

检索号	2025-HP-0099
商密级别	普通商密

核技术利用建设项目

齐康原医疗科技（常州）有限公司新建 放射性同位素生产项目环境影响报告书 （重新报批） （报批稿）

齐康原医疗科技（常州）有限公司

2026 年 1 月

生态环境部监制

目录

第一章 概 述.....	1
1.1 项目名称、地点.....	1
1.2 项目概况.....	1
1.2.1 建设单位概况及项目由来	1
1.2.2 项目建设内容	6
1.2.3 项目建设概况	8
1.2.4 背景及意义	8
1.2.5 项目周围环境	10
1.2.6 与相关规划符合性分析	15
1.2.7 产业政策符合性分析	16
1.2.8 公司现有核技术利用项目及相关环保手续履行情况	17
1.3 编制依据.....	17
1.3.1 法律法规	17
1.3.2 产业政策与行业管理规定	19
1.3.3 地方性法规	19
1.3.4 技术导则及相关标准	20
1.3.5 附件	21
1.3.6 参考文献	22
1.4 评价标准.....	23
1.4.1 剂量限值	23
1.4.2 剂量约束值	23
1.4.3 工作场所分级	24
1.4.4 表面污染控制水平	24
1.4.5 辐射剂量率控制水平	25
1.4.6 放射性废水排放控制水平	26
1.4.7 放射性废气排放控制水平	27
1.4.8 放射性固体废物排放控制水平	28
1.4.9 衍生产物臭氧和二氧化氮排放控制水平	28

1.4.10 噪声排放控制水平	28
1.5 评价范围和保护目标	29
1.5.1 评价范围	29
1.5.2 保护目标	30
第二章 自然环境与社会环境状况	32
2.1 自然环境状况	32
2.1.1 地理位置	32
2.1.2 地形、地貌、地质和地震	32
2.1.3 气候气象	33
2.1.4 水文特征	33
2.1.5 自然生态状况	34
2.2 社会经济状况	34
2.2.1 地区经济	34
2.2.2 科教文化	34
2.2.3 医疗卫生	35
2.3 环境质量和辐射现状	35
2.3.1 区域环境质量	35
2.3.2 辐射现状	35
2.4 环境质量现状检测与评价	36
2.4.1 辐射环境质量现状检测与评价	36
2.4.2 声环境质量现状检测与评价	47
2.5 场址适宜性评价	49
第三章 工程分析与源项	51
3.1 项目规模与基本参数	51
3.1.1 项目规模	51
3.1.2 放射性核素用量	54
3.1.3 主要原辅材料	54
3.2 工程设备与工艺分析	55
3.2.1 回旋加速器	55

3.2.2 靶站	57
3.2.3 热室	58
3.2.4 靶材设计和结构	59
3.2.5 靶材传输系统	59
3.2.6 包装间及成品库	62
3.2.7 质检车间	63
3.2.8 公用和辅助工程	64
3.3 工艺流程	69
3.3.1 放射性核素生产工作流程	69
3.3.2 成品库	76
3.3.3 放射性核素的运输	76
3.3.4 回旋加速器、热室设备运行负荷	76
3.3.5 工作人员配置及工作负荷	77
3.4 污染源项	81
3.4.1 放射性核素特性	81
3.4.2 放射性污染	89
3.4.3 模拟计算源项	93
3.4.4 非放射性污染	104
3.5 废弃物	106
3.5.1 废气	106
3.5.2 废水	106
3.5.3 固体废弃物	108
第四章 辐射安全与防护	110
4.1 场所布局与屏蔽	110
4.1.1 总平面布局	110
4.1.2 人流、物流路径合理性分析	110
4.1.3 辐射安全与防护分区管理	116
4.1.4 屏蔽设计	117
4.2 辐射安全与防护措施	129

4.2.1 加速器机房和靶室	129
4.2.2 放射性同位素生产车间	137
4.2.3 质检车间	137
4.2.4 地下层放射性废物暂存间	138
4.2.5 放射性核素包装、销售	139
4.3 三废的治理	140
4.3.1 放射性废气处理	140
4.3.2 放射性废水处理	141
4.3.3 放射性固体废物处理	144
4.3.4 非放射性废物处理	146
4.3.5 废物处理措施变更分析	148
4.4 服务期满后的环境保护措施	148
第五章 环境影响分析	150
5.1 建设阶段对环境的影响	150
5.1.1 大气环境影响分析	150
5.1.2 水环境影响分析	151
5.1.3 声环境影响分析	152
5.1.4 固体废物影响分析	152
5.1.5 生态环境影响分析	153
5.2 运行阶段对环境的影响	154
5.2.1 环境辐射水平分析	154
5.2.2 人员受照剂量分析	183
5.2.3 非放射性环境影响分析	204
5.2.4 放射性废物的环境影响分析	205
5.2.5 非放射性废物的环境影响分析	207
5.2.6 销售及运输影响分析	209
5.3 事故影响分析	209
5.3.1 事故分析	209
5.3.2 事故预防措施	213

5.3.3 事故应急处理措施	214
5.3.4 辐射事故报告	216
第六章 辐射安全管理.....	217
6.1 机构与人员	217
6.2 辐射安全管理规章制度	219
6.3 辐射监测	221
6.3.1 工作场所及环境监测	221
6.3.2 个人剂量监测和职业健康体检	224
6.3.3 辐射监测设备	224
6.4 辐射事故应急	225
6.5 竣工环保验收	228
第七章 利益-代价简要分析	233
7.1 利益分析	233
7.1.1 产业发展前景	233
7.1.2 促进地区经济、社会发展	233
7.1.3 经济效益	233
7.2 代价分析	233
7.2.1 经济代价	233
7.2.2 社会和环境代价	233
7.2.3 资源代价	234
7.3 正当性分析	234
第八章 结论与建议.....	235
8.1 项目工程概况	235
8.1.1 建设项目规模	235
8.1.2 污染源项分析	235
8.2 产业政策及实践正当性评价	235
8.3 辐射安全与防护措施评价	236
8.3.1 辐射防护措施评价	236
8.3.2 辐射安全措施评价	236

8.4 环境影响评价 236

 8.4.1 施工期环境影响评价 236

 8.4.2 运行期环境影响评价 237

8.5 辐射防护监测仪器评价 240

8.6 辐射安全管理 240

8.7 公众参与情况评价 240

8.8 结论 241

8.9 建议和承诺 241

附图：

附图 1 齐康原医疗科技（常州）有限公司生产厂房地下层设计变更前平面布局示意图

附图 2 齐康原医疗科技（常州）有限公司生产厂房地下层设计变更后平面布局示意图

附图 3 齐康原医疗科技（常州）有限公司生产厂房一层设计变更前平面布局示意图

附图 4 齐康原医疗科技（常州）有限公司生产厂房一层设计变更后平面布局示意图

附图 5 齐康原医疗科技（常州）有限公司生产厂房二层设计变更前平面布局示意图

附图 6 齐康原医疗科技（常州）有限公司生产厂房二层设计变更后平面布局示意图

附图 7 齐康原医疗科技（常州）有限公司生产厂房三层平面布局示意图

附图 8 齐康原医疗科技（常州）有限公司生产厂房四层平面布局示意图

附图 9-1 齐康原医疗科技（常州）有限公司生产厂房 1-1 剖面图

附图 9-2 齐康原医疗科技（常州）有限公司生产厂房 2-2 剖面图

附图 10 本项目回旋加速器机房和靶室结构示意图

附图 11 本项目放射性同位素生产车间辐射安全措施布设示意图

附图 12 本项目质检车间辐射安全措施布设示意图

附图 13 本项目放射性废物暂存间辐射安全措施布设示意图

附图 14-1 本项目生产厂房地下层放射性排风管道布设示意图

附图 14-2 本项目生产厂房一层放射性排风管道布设示意图

附图 14-3 本项目生产厂房二层放射性排风管道布设示意图

附图 14-4 本项目生产厂房三层放射性排风管道布设示意图

附图 14-5 本项目生产厂房屋顶放射性排风管道布设示意图

附图 15 本项目放射性废水衰变系统结构示意图

附图 16-1 本项目放射性同位素生产车间放射性排水管道布设示意图

附图 16-2 本项目质检车间放射性排水管道布设示意图

附件：

附件1 项目委托书

附件2 射线装置使用情况承诺书

附件3 放射性同位素使用情况承诺书

附件4 公司营业执照

附件5 公司投资项目备案证

附件6 公司土地不动产权证书

附件7 公司一期项目原环评报告主要内容及批复

附件8 项目辐射环境质量现状检测报告及检测单位检测资质

附件9 项目噪声环境质量现状检测报告及检测单位检测资质

附件10 放射性废物委托处置意向性协议

附件11 项目编制主持人现场踏勘照片

第一章 概述

1.1 项目名称、地点

项目名称：齐康原医疗科技（常州）有限公司新建放射性同位素生产项目（重新报批）

建设性质：新建（重新报批）

项目建设单位：齐康原医疗科技（常州）有限公司

项目建设地点：江苏省常州市金坛区珠山路188号

本项目的地理位置见图1.1-1。



图1.1-1 项目地理位置

1.2 项目概况

1.2.1 建设单位概况及项目由来

1、项目概况

齐康原医疗科技（常州）有限公司成立于2021年4月，注册地址为江苏省常州市

金坛区珠山路188号，经营业务主要为放射性同位素的生产，公司营业执照见附件4。该公司原是德国埃齐放射及医药科技股份有限公司（Eckert & Ziegler Group）在中国的全资子公司，2023年11月14日，东诚药业全资子公司烟台东诚核医疗健康产业集团有限公司（以下简称“东诚核医疗”）与Eckert & Ziegler Radiopharma Projekte UG（以下简称“EZP”）签署《合资协议》，东诚核医疗增资入股齐康原医疗科技（常州）有限公司，增资后股权结构为EZP持有其50%股权，东诚核医疗持有其50%股权，双方利用各自技术与优势资源，就 ^{225}Ac 、 ^{177}Lu 、 ^{68}Ge 和 ^{68}Ge （ ^{68}Ga ）发生器等多种医用同位素的研发、生产、销售等达成全面合作，未来保障中国及全球的医用同位素的需求。

齐康原医疗科技（常州）有限公司生产厂房位于常州市金坛区珠山路188号，分为地下一层和地上四层，地下层包括放射性废物暂存间、生活泵房、冷冻机房、消防水池、消防泵房；一层包括1座回旋加速器机房（以下简称“加速器机房”）、4间靶室、热室操作间、产品包装间、成品库以及预留场所等；二层包括放化实验室、微生物实验室、新风机房、办公区等，三层包括办公区、研发中心、变电所、辅助机房等，四层为会议室及楼顶平台，厂房三层和四层均不涉及放射性工作。

公司建设项目分两期建设，一期为利用回旋加速器、1#和2#靶室、热室操作间生产、分装、销售放射性核素 ^{68}Ge ，预计年生产量为 $4.70\text{E}+12\text{Bq}$ ，并利用放化实验室、微生物实验室对生产的放射性核素 ^{68}Ge 进行质检，生产的放射性核素 ^{68}Ge （原液）全部返销欧洲，由埃齐放射及医药科技股份有限公司下属子公司负责生产 ^{68}Ge （ ^{68}Ga ）发生器并在全球销售；二期为利用回旋加速器、3#和4#靶室、预留场所生产 ^{68}Ge （ ^{68}Ga ）发生器及其他放射性核素，除供国内市场以外，还外销海外。

其中，一期项目已由苏州热工研究院有限公司编制了《齐康原医疗科技（常州）有限公司新建放射性同位素生产项目环境影响报告书》，并于2023年4月3日取得了江苏省生态环境厅的批复，批复文号：苏环审〔2023〕17号，批复的建设内容为：公司新建1座主厂房（共四层，三楼为办公和研发区、四楼为展厅），在厂房一层新建1座加速器机房和4个靶室并配备1台回旋加速器（质子最大能量为 30MeV ，属I类射线装置）用于生产放射性核素 ^{68}Ge ，日等效最大操作量为 $4.05\text{E}+09\text{Bq}$ ，属甲级非密封放射性物质工作场所；在厂房二层新建2个实验室（质控实验室和微生物实验室）用于分装放射性核素 ^{68}Ge ，日等效最大操作量为 $2.78\text{E}+08\text{Bq}$ ，属乙级非密封放射性物质工作场所。

目前，项目所在的生产厂房的主体工程正处于施工建设阶段，一期项目原环评报告主要内容及批复见附件7，原环评内容见表1.2-1。

表 1.2-1 公司一期项目原环评内容一览表

非密封放射性物质工作场所										
序号	工作场所等级	核素名称	种类范围	工作场所名称	日最大操作量(Bq)	日等效最大操作量(Bq)	年最大用量(Bq)	备注		
1	甲级	^{68}Ge	生产、销售、使用	生产厂房一层	4.05E+10	4.05E+09	4.70E+12	已环评、未建成		
2	乙级	^{68}Ge	使用	生产厂房二层	2.78E+09	2.78E+08	3.22E+11			
射线装置										
序号	射线装置名称		数量	最大能量(MeV)	束流强度(μA)	类别	工作场所名称	环评情况	许可情况	备注
1	IBA S250i 型回旋加速器		1	30	1300	I 类	回旋加速器机房	已环评	未许可	未建成

2、项目由来

现公司根据生产需要，对原一期项目的部分设计主要进行如下变更调整：

(1) 为便于放射性废物在地下层放射性废物暂存间的转运、储存，以及考虑到一层热室的承重，公司调整生产厂房地下层放射性废物暂存间的局部布局和部分墙体的屏蔽厚度（具体见表4.1-11），并调整高活度放射性废物储存区中放射性废物的储存方式，即将装有放射性废物的锡罐由罗列在储存架上改为暂存在蜂巢坑内，公司生产厂房地下层设计变更前平面布局见附图1，设计变更后平面布局见附图2；

(2) 为便于放射性核素的传递和管理，调整生产厂房一层、二层的平面布局，将所有涉及放射性操作的房间集中设置在一起，公司生产厂房一层设计变更前平面布局见附图3，设计变更后平面布局见附图4，二层设计变更前平面布局见附图5，设计变更后平面布局见附图6；

(3) 根据生产和质检需要，调整放射性核素 ^{68}Ge 的生产量和质检操作量，原放射性核素 ^{68}Ge 的生产量和质检操作量见表1.2-1，变更后的放射性核素 ^{68}Ge 的生产量和质检操作量见表1.2-4；并调整货包的包装活度和屏蔽防护设计，货包变更前、后的包装活度和屏蔽防护设计见表4.1-6；

(4) 取消靶站聚乙烯屏蔽体，回旋加速器靶站周围原设计有5cm厚的聚乙烯屏蔽体，考虑到靶站维护时，工作人员在靶室内需要花费较长的时间进行拆除和组装聚乙烯屏蔽体，会导致工作人员的受照剂量明显增加；此外，靶室内温度过高时，聚乙烯容易软化、易燃。为此，取消该聚乙烯屏蔽体，并将加速器机房和靶室的屏蔽厚度增加10cm混凝土作为补偿屏蔽，加速器机房和靶室变更前、后的屏蔽防护设计见表4.1-2；

(5) 调整靶材传输管道盖板的屏蔽防护设计, 同时考虑到热室内部自带的靶材铅屏蔽盒的屏蔽防护作用, 将适当减小1#~5#热室的屏蔽防护设计厚度, 热室变更前、后的屏蔽防护设计见表4.1-3;

(6) 因成品质检操作量的减小, 将质检车间的通风柜非正对人员操作位的屏蔽防护厚度由10mmPb调整为5mmPb, 人员操作位的屏蔽防护厚度保持不变, 通风柜变更前、后的屏蔽防护设计见表4.1-7;

(7) 加速器型号由IBA S250i型变更为IBA Cyclone® IKON 30型, 加速器的生产厂家、能量、束流强度保持不变, 考虑到加速器机房和靶室为无迷道设计以及实际使用情况, 取消加速器机房和靶室原防护门处的防人误入光电装置的设计, 以及将加速器与4间靶室防护门同时联锁变更为加速器可只与受照靶室防护门单独联锁。

对照《关于印发核技术利用建设项目重大变动清单(试行)的通知》(环办辐射函〔2025〕313号), 本次设计变更情况对比分析见表1.2-2。

表1.2-2 本次设计变更情况与(环办辐射函〔2025〕313号)对比分析一览表

序号	设计变更内容	与环办辐射函〔2025〕313号对比分析	结论
1	调整地下层放射性废物暂存间的局部布局和部分墙体的屏蔽厚度; 并调整高活度放射性废物储存区中放射性废物的储存方式, 将装有放射性废物的锡罐由罗列在储存架上改为暂存在蜂巢坑内。	辐射防护措施得到优化和加强, 未导致不利影响加重, 不属于重大变动。	一般变动
2	调整生产厂房一层、二层的平面布局, 将所有涉及放射性操作的房间集中设置在一起。	原环评文件将一层的废弃物测试间(1-270)划为监督区, 本次设计变更后将调整其调整为控制区, 非密封放射性物质工作场所功能和布局变化导致增加控制区, 属于重大变动。	重大变动
3	调整放射性核素 ⁶⁸ Ge的生产量和质检操作量。	本次设计变更后, 质检车间日最大操作量由2.78E+09Bq减少至9.25E+08 Bq。原环评文件中放射性同位素生产车间日最大操作量为4.05E+10Bq, 日等效最大操作量为4.05E+09Bq; 本次设计变更后, 放射性同位素生产车间日最大操作量为4.67E+10Bq, 日等效最大操作量为4.67E+11Bq, 因操作方式与放射源状态修正因子取值不同导致放射性同位素生产车间日等效最大操作量相差较大, 而非放射性核素活度增加导致非密封放射性物质工作场所的日等效最大操作量增加50%及以上, 不属于重大变动。	一般变动

4	调整货包的包装活度和屏蔽防护设计。	根据后文对货包的辐射影响分析，并对照原环评文件，货包设计变更前表面外30cm处辐射剂量率为26.9 μ Sv/h，设计变更后为14.4 μ Sv/h，屏蔽防护能力增强，辐射防护措施改变未导致不利影响加重，不属于重大变动。	一般变动
5	取消靶站聚乙烯屏蔽体，并将加速器机房和靶室的屏蔽厚度增加10cm混凝土作为补偿屏蔽。	根据后文对加速器机房和靶室的辐射影响分析，并对照原环评文件，加速器机房和靶室设计变更前表面外30cm处辐射剂量率为0.21 μ Sv/h~20 μ Sv/h，设计变更后为8.46E-03 μ Sv/h~8.87 μ Sv/h，屏蔽防护能力增强，辐射防护措施改变未导致不利影响加重，不属于重大变动。	一般变动
6	调整靶材传输管道盖板的屏蔽防护设计。	根据后文对靶材传输管道的辐射影响分析，并对照原环评文件，靶材传输管道设计变更前表面外30cm处辐射剂量率为13 μ Sv/h，设计变更后为9.88 μ Sv/h，屏蔽防护能力增强，辐射防护措施改变未导致不利影响加重，不属于重大变动。	一般变动
7	热室内部自带靶材铅屏蔽盒，适当减小1#~5#热室的屏蔽防护设计厚度。	热室设计变更后的整体屏蔽防护厚度较设计变更前变薄，屏蔽防护能力较设计变更前减弱，辐射防护措施改变导致不利影响加重，属于重大变动。	重大变动
8	将质检车间的通风柜非正对人员操作位的屏蔽防护厚度由10mmPb调整为5mmPb，人员操作位的屏蔽防护厚度保持不变。	根据后文对通风柜的辐射影响分析，并对照原环评文件，通风柜设计变更前人员操作位处辐射剂量率为0.33 μ Sv/h（距辐射源0.6m），非正对人员操作位表面辐射剂量率为4.62 μ Sv/h；设计变更后人员操作位处辐射剂量率为0.482 μ Sv/h（此值为距辐射源0.5m，距辐射源0.6m时辐射剂量率为0.33 μ Sv/h），非正对人员操作位表面辐射剂量率为1.97 μ Sv/h，辐射防护措施改变未导致不利影响加重，不属于重大变动。	一般变动
9	回旋加速器型号由IBA S250i型变更为IBA Cyclone® IKON 30型，回旋加速器的生产厂家、能量、束流强度保持不变。	本次设计变更后，回旋加速器输出剂量率不变，不属于重大变动。	一般变动

10	取消加速器机房和靶室原防护门处的防人误入光电装置的设计，以及将加速器与4间靶室防护门同时联锁变更为加速器可只与受照靶室防护门单独联锁。	加速器和靶室防护门的辐射安全联锁系统的联锁方式、联锁逻辑发生改变导致联锁功能减弱，属于重大变动。	重大变动
----	---	--	------

根据表1.2-2可知，本次设计变更中增加了控制区、热室的屏蔽防护厚度减弱导致不利影响加重、加速器与靶室防护门的安全联锁系统发生改变导致联锁功能减弱属于重大变动，根据《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《建设项目环境保护管理条例》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，本项目应重新办理环境影响评价手续，并报审管部门审批。

此外，本次项目的设计变更优化了设计方案，降低了建设成本，提高了项目的整体安全性和可操作性，对项目具有积极的促进作用，能提高项目的整体效益，符合公司的整体目标 and 需求。因此，项目的设计变更具有一定的必要性和合理性，也符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

1.2.2 项目建设内容

本次只调整生产厂房一层放射性同位素生产车间和二层质检车间的局部布局，不改变人流、物流的主通道，且一层放射性同位素生产车间和二层质检车间有相对独立、明确的监督区和控制区划分，有各自连续完整的工艺流程，有相对独立的辐射防护措施，本项目仍将生产厂房一层放射性同位素生产车间、二层质检车间分别作为单独的非密封放射性物质工作场所。本次设计变更后，回旋加速器的型号、最大能量和束流强度见表1.2-3，放射性核素⁶⁸Ge的生产量和质检操作量见表1.2-4。

表1.2-3 本项目回旋加速器最大能量和束流强度一览表

序号	名称	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	束流强度 (μA)	工作场所	活动种类
1	回旋加速器	IBA Cyclone® IKON 30	质子	30	1300	回旋加速器机房	使用

表 1.2-4 本项目放射性核素 ⁶⁸Ge 操作量一览表

序号	核素名称	单次打靶生产或质检操作量 (Bq)	单次打靶生产所需时间 (h)	日最大操作量 (Bq)	年打靶或质检批次	年最大生产或使用量 (Bq)	工作场所名称	活动种类
1	⁶⁸ Ge	4.67E+10	120	4.67E+10	120	5.60E+12	生产厂房一层放射性同位素生产车间	生产、销售、使用
2	⁶⁸ Ge	9.25E+08	/	9.25E+08	120	1.11E+11	生产厂房二层质检车间	使用

本项目为外购成品固体靶材，在一层放射性同位素生产车间利用回旋加速器打靶生产，并使用离子交换的方法对打靶后的固体靶材化学提纯放射性核素 ^{68}Ge 溶液；在二层质检车间对核素产品溶液稀释、取样后进行质检，均不涉及危险操作。根据《辐射防护手册第三分册》（原子能出版社）中对于非密封放射性物质的不同操作方式给出的说明（P143）“其中很简单的操作会有少量的放射性物质散布开来，主要是防止撒漏，例如少量稀释溶液合并、分装或稀释，污染不太严重的器皿和工具的洗涤等；简单的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，例如溶液的取样、转移、沉淀、过滤或者离心分离、萃取或反萃取、离子交换、色层分析、吸移或滴定核素溶液等”以及《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430号）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中将放射性药品生产活动视为简单操作的相关原则，并根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中各核素的毒性组别及使用因子，经过毒性组别及使用因子的双重修正，本项目生产厂房一层放射性同位素生产车间、二层质检车间日等效最大操作量见表1.2-5。

表 1.2-5 本项目生产厂房的一层、二层日等效最大操作量一览表

序号	工作场所	核素	日最大操作量 (Bq)	毒性组别 修正因子	操作方式与放射 源状态修正因子	日等效最大操作 量 (Bq)
1	生产厂房 一层放射性同 位素生产车间	^{68}Ge	4.67E+10	中毒, 0.1	简单操作 (固体), 0.01	4.67E+11
2	生产厂房 二层质检车间	^{68}Ge	9.25E+08	中毒, 0.1	简单操作 (液体), 1	9.25E+07

根据表1.2-1和表1.2-5可知，本次设计变更后，公司生产厂房一层放射性同位素生产车间日等效最大操作量由4.05E+09Bq增加至4.67E+11Bq，二层质检车间日等效最大操作量由2.78E+08Bq降至9.25E+07Bq，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，公司生产厂房一层放射性同位素生产车间仍属于甲级非密封放射性物质工作场所（ $>4\text{E}+09\text{Bq}$ ），公司生产厂房二层质检车间仍属于乙级非密封放射性物质工作场所（ $2\text{E}+07\text{Bq}\sim4\text{E}+09\text{Bq}$ ）。

本项目回旋加速器打靶生产的放射性核素 ^{68}Ge 为非PET用放射性同位素，根据《射线装置分类》（2017年修订版），本项目回旋加速器为生产放射性同位素用加速器（不含制备正电子发射计算机断层显像装置（PET）用放射性药物的加速器），仍属于I类射线装置。

本项目为生产、销售、使用非密封放射性物质（甲级非密封放射性物质工作场所、乙级非密封放射性物质工作场所）以及使用I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），应编制环境影响报告书。受齐康原医疗科技（常州）有限公司的委托，江苏辐环环境科技有限公司承担该公司新建放射性同位素生产项目（重新报批）的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、项目工程分析，并结合现场勘察等工作，编制了该环境影响报告书。

1.2.3 项目建设概况

公司放射性同位素生产项目于2021年9月完成了可研报告编制，并向金坛经济开发区管委会报备，于2024年10月12日重新取得了《江苏省投资项目备案证》（备案证号：坛开经发备字（2024）222号），项目代码：2209-320458-89-05-181331，公司投资项目备案证文件见附件5。公司在2021年12月取得了新建项目不动产权证书，厂区占地面积约6603m²，生产厂房占地约2900m²，厂区建设用地的性质为工业用地，公司土地不动产权证书详见附件6。

公司生产厂房一层辐射工作场所为放射性同位素生产车间（包括加速器机房、靶室、热室操作间、包装间和成品库等，用于放射性核素的生产、销售）；厂房二层辐射工作场所为质检车间（包括放化实验室和微生物实验室，用于放射性核素的质检）；厂房三层为研发和办公区，厂房四层由原来的展厅改为会议室，厂房三层和四层均不涉及放射性工作；地下层辐射工作场所为放射性废物暂存间。目前，公司生产厂房主体工程、回旋加速器机房和靶室已完成混凝土浇筑，公司生产厂房外立面基本装修完毕，厂房二层办公区域已完成装修、装饰，后期还需进行放射性废物暂存间内放射性废物储存设施的施工建设、热室区域和质检车间等场所的施工建设、回旋加速器、热室、通风柜等设备的安装以及各楼层的装修、装饰等。

本项目总投资约1.75亿元人民币，其中环保投资约1750万元，占总投资的10%。投资费用全部由公司自筹解决。

1.2.4 背景及意义

（1）项目优势和意义

随着国内核医学水平的进步，国内放射性药物产业近年来迅猛发展，中国国内市场对于放射性核素和药物的需求日益增长。本项目利用德国医药企业生产和管理经验，在江苏省常州市金坛区投资建设放射性同位素生产项目，打造中国区放射性同位素⁶⁸Ge生产基地。

（2）投资方背景介绍

埃齐放射及医药科技股份有限公司是全球最大的医疗、科学和工业用同位素提供商之一，总部位于德国柏林。该集团核心业务是癌症治疗、工业放射测量和核医学成像，划分为两大事业部：医疗产品和同位素产品。该公司成立于1997年，旗下子公司Eckert & Ziegler BEBIG GmbH的前身是原东德科学院中央同位素技术研究所，具有很强的放射性药物生产、研发能力。

东诚药业成立于1998年，是一家覆盖原料药、制剂、核医疗、大健康四大领域，融药品研发、生产、销售于一体的大型制药企业集团，已建成国内领先的放射性药品生产配送网络；在售产品已实现“筛查—诊断—治疗”全覆盖；在研的多个创新品种处于临床前和临床试验阶段。公司目前已初步形成了稳定的核素供应平台、药物孵化平台、转化服务平台、生产配送平台、诊疗营销平台五大平台，基本完成了从原料供应、研发、临床转化、生产、销售的核医疗全产业链布局，构建了完整的东诚药业核医疗生态圈。

埃齐放射及医药科技股份有限公司和东诚药业双方利用各自技术与优势资源，就 ^{225}Ac 、 ^{177}Lu 、 ^{68}Ge 和 ^{68}Ge （ ^{68}Ga ）发生器等多种医用同位素的研发、生产、销售等达成全面合作，未来保障中国及全球的医用同位素的需求。

（3）公司发展规划

公司建设项目分两期建设，一期为利用回旋加速器、1#和2#靶室、热室操作间生产、分装、销售放射性核素 ^{68}Ge ，预计年生产量为 $5.60\text{E}+12\text{Bq}$ ，并利用二层质检车间对生产的放射性核素 ^{68}Ge 进行质控检验，生产的放射性核素 ^{68}Ge （原液）全部返销欧洲，由埃齐放射及医药科技股份有限公司下属子公司负责生产 ^{68}Ge （ ^{68}Ga ）发生器并在全全球销售；二期为利用回旋加速器、3#和4#靶室、预留场所生产 ^{68}Ge （ ^{68}Ga ）发生器及其他放射性核素，除供国内市场以外，还外销海外。本次仅对设计变更后的一期项目重新进行环境影响评价。

（4）主要产品介绍

公司一期项目产品为放射性核素 ^{68}Ge 原液；二期项目主要是利用放射性核素 ^{68}Ge 原液生产 ^{68}Ge （ ^{68}Ga ）发生器，发生器内的放射性核素是 ^{68}Ge ，发生器销售给核素使用单位后，通常在非密封放射性物质工作场所内淋洗制备 ^{68}Ga 放射性药物。医疗机构将 ^{68}Ga 放射性药物注射入患者体内，进行正电子断层扫描（PET），用于肿瘤前期的诊断。

1.2.5 项目周围环境

公司生产厂房位于江苏省常州市金坛区珠山路188号，公司厂区周边是已开发和规划的工业用地、开发区道路。本项目涉及公司生产厂房的地下层、一层和二层，三层为办公和研发区，四层为会议室，三层、四层不涉及放射性工作。公司生产厂房外观见图1.2-1。

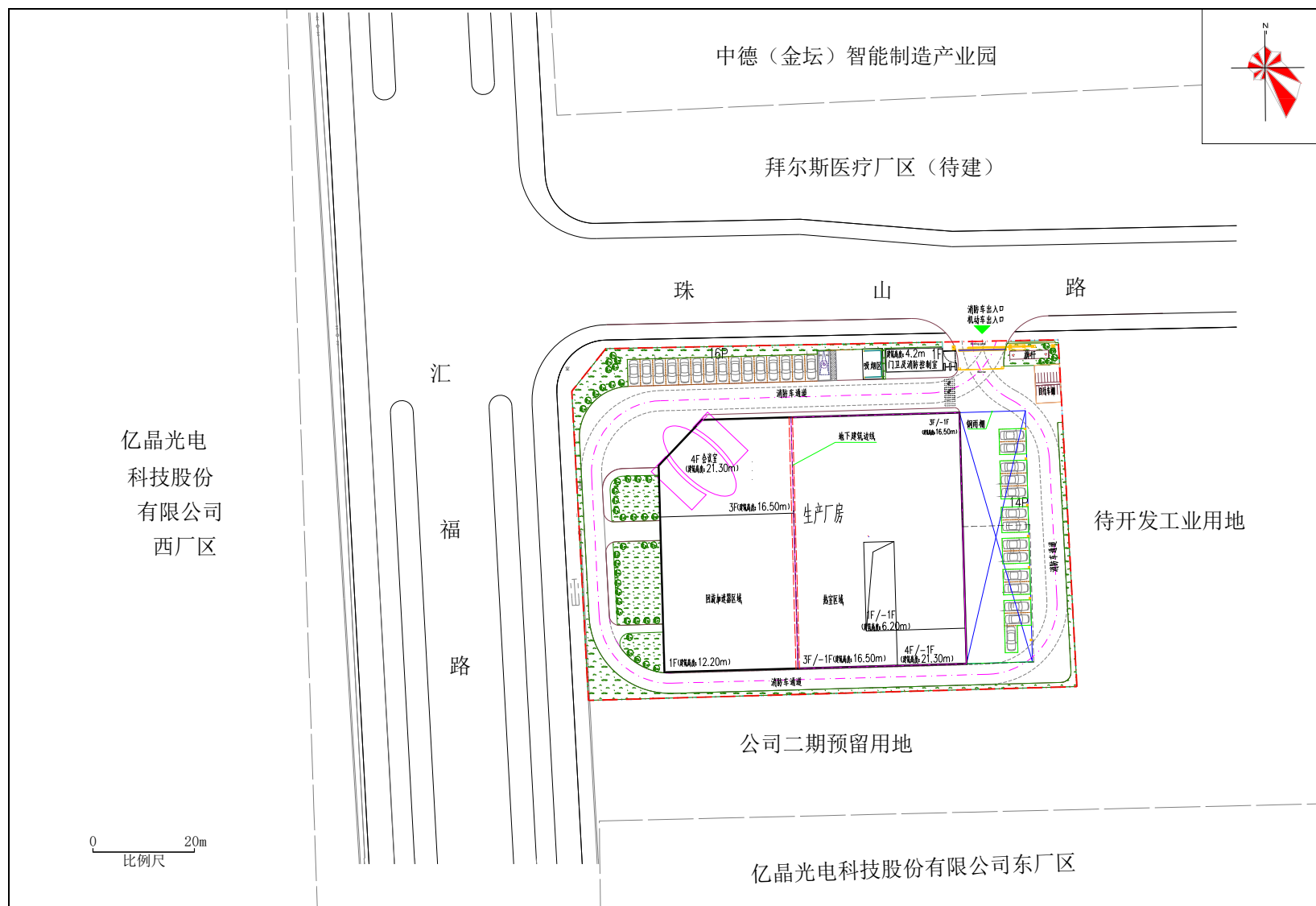


图1.2-1 公司生产厂房外观图

公司生产厂房地下层设计变更前平面布局见附图1，设计变更后的平面布局见附图2；生产厂房一层设计变更前平面布局见附图3，设计变更后的平面布局见附图4；生产厂房二层设计变更前平面布局见附图5，设计变更后的平面布局见附图6；生产厂房三层平面布局见附图7；生产厂房四层平面布局见附图8；生产厂房剖面图见附图9（剖切位置见附图4）。

公司生产厂房东侧500m范围依次为规划工业用地、极马自动化(常州)有限公司、凯斯宝玛五金科技(江苏)有限公司，南侧500m范围依次为公司二期预留用地、亿晶光电科技股份有限公司(东厂区)，西侧500m范围依次为汇福路、亿晶光电科技股份有限公司(西厂区)、爱思开电池材料科技(江苏)有限公司，西北侧500m范围依次为汇福路、汇乐智能装备(常州)有限公司，北侧500m范围依次为珠山路、待建拜尔斯医疗厂区、中德(金坛)智能制造产业园，东北侧500m范围依次为珠山路、常州艾迪信轴承制造有限公司。本项目建设场址周围500m范围内无居民区、学校等环境敏感目标。

公司厂区平面布局见图1.2-2，500m范围内周围环境见图1.2-3。项目拟建址及公司厂区周围环境现状见图1.2-4。



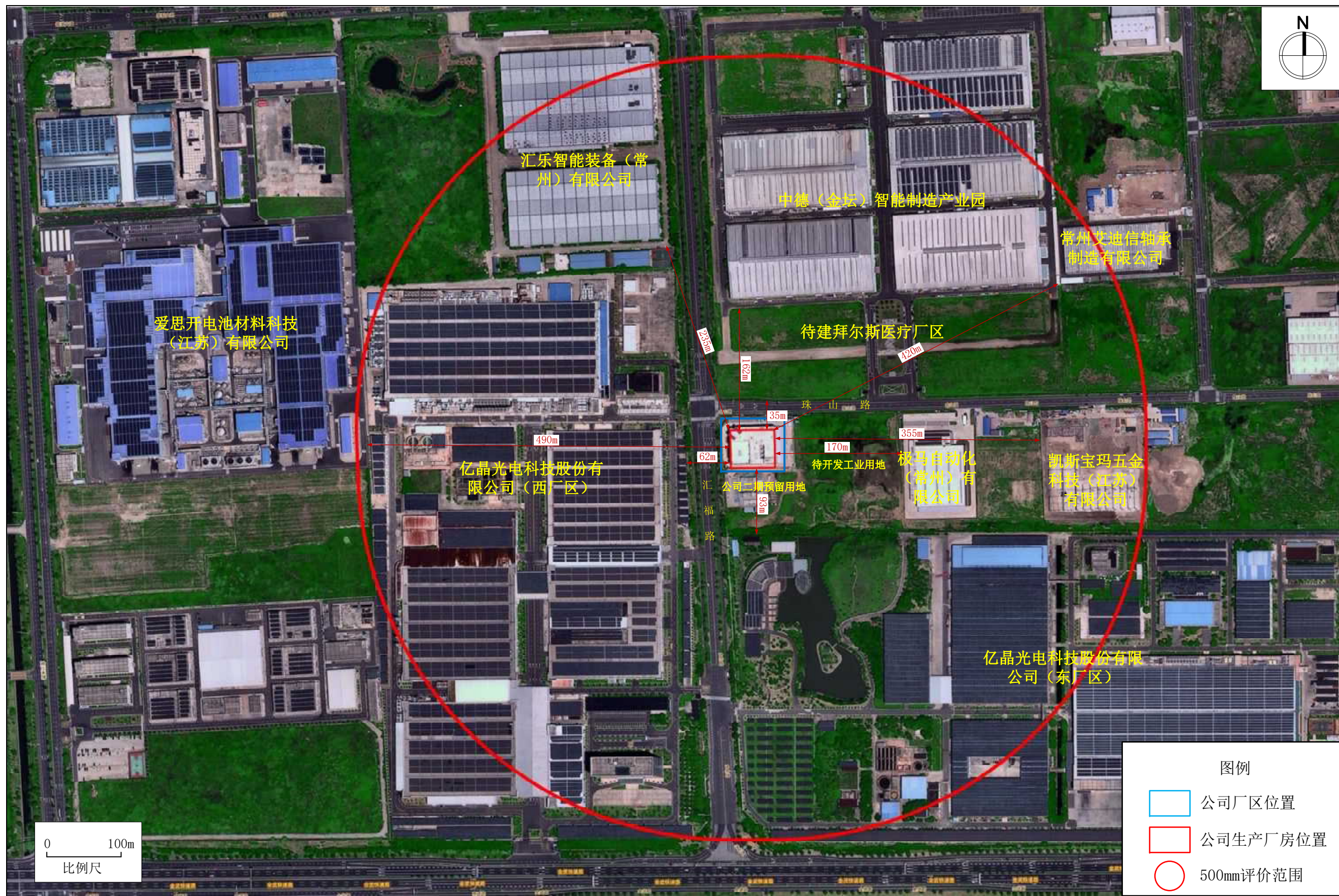


图1.2-3 公司周围环境示意图



公司厂房一层放射性同位素生产车间拟建址



公司厂房二层质检车间拟建址



极马自动化（常州）有限公司

公司东侧由近及远依次为待开发工业用地、极马自动化（常州）有限公司



公司南侧由近及远依次为公司二期预留用地、亿晶光电科技股份有限公司东厂区



公司西侧由近及远依次为汇福路、亿晶光电科技股份有限公司西厂区



公司北侧由近及远依次为珠山路、待建拜尔斯医疗厂区、中德（金坛）智能制造产业园

图1.2-4 公司厂区及周围环境现状

1.2.6 与相关规划符合性分析

1.2.6.1 用地规划符合性分析

本项目位于常州市金坛经济开发区内，用地性质为工业用地，符合《省政府关于金坛市城市总体规划（2013-2030）的批复》（苏政复〔2015〕5号）中土地利用规划的要求。

1.2.6.2 “三线一单”符合性分析

根据《关于以改善环境质量为核心加强环境影响评价管理的通知》（环环评〔2016〕150号），“三线一单”即“生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和环境准入负面清单”，项目建设应强化“三线一单”约束作用。

1、与“生态保护红线”的符合性分析

本项目位于江苏省常州市金坛区珠山路188号，属于江苏省金坛经济开发区重点管控单元，环境管控单元编码：ZH32041320063，对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1号）、《江苏省生态空间管控区域调整管理办法》（苏政办发〔2021〕3号）、《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》（苏政发〔2018〕74号）以及《国务院关于<常州市国土空间总体规划（2021-2035年）>的批复》（国函〔2025〕9号）、《江苏省自然资源厅关于常州市金坛区2023年度生态空间管控区域调整方案的复函》（苏自然资函〔2023〕209号），本项目评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线和常州市生态保护红线。本项目与江苏省国家级生态保护红线和江苏省生态环境管控单元相对位置图见图1.2-5。

2、与“环境质量底线”的符合性分析

根据环境质量现状监测结果，项目拟建址及周围辐射环境质量现状在正常范围内。在落实本环评报告提出的各项污染防治措施后，本项目运行对周围环境影响很小，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、与“资源利用上线”的符合性分析

项目用地为工业用地，生产过程所用的资源主要是水、电，整体而言本项目所用资源相对较小，也不占用当地其他自然资源 and 能源，因此本项目符合资源利用上线的要求。

4、与“环境准入负面清单”的符合性分析

本项目符合现行国家产业、行业政策。本项目不属于《关于印发〈长江经济带发展负面清单指南〉（试行，2022年版）的通知》（长江办〔2022〕7号）、《关于印发〈长江经济带发展负面清单指南（试行，2022年版）〉江苏省实施细则的通知》（苏长江办发〔2022〕55号）中禁止类条款，不属于《市场准入负面清单（2025年版）》中禁止准入类，不在《关于印发〈江苏省“两高”项目管理目录（2025年版）〉的通知》（苏发改规发〔2025〕4号）中规定的江苏省“两高”项目管理目录中，不属于《外商投资准入特别管理措施（负面清单）（2024年版）》中特别管理措施类项目。因此本项目符合环境准入负面清单相关要求。

综上所述，本项目符合《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49号）和《常州市“三线一单”生态环境分区管控实施方案》（常环〔2020〕95号）的相关要求。

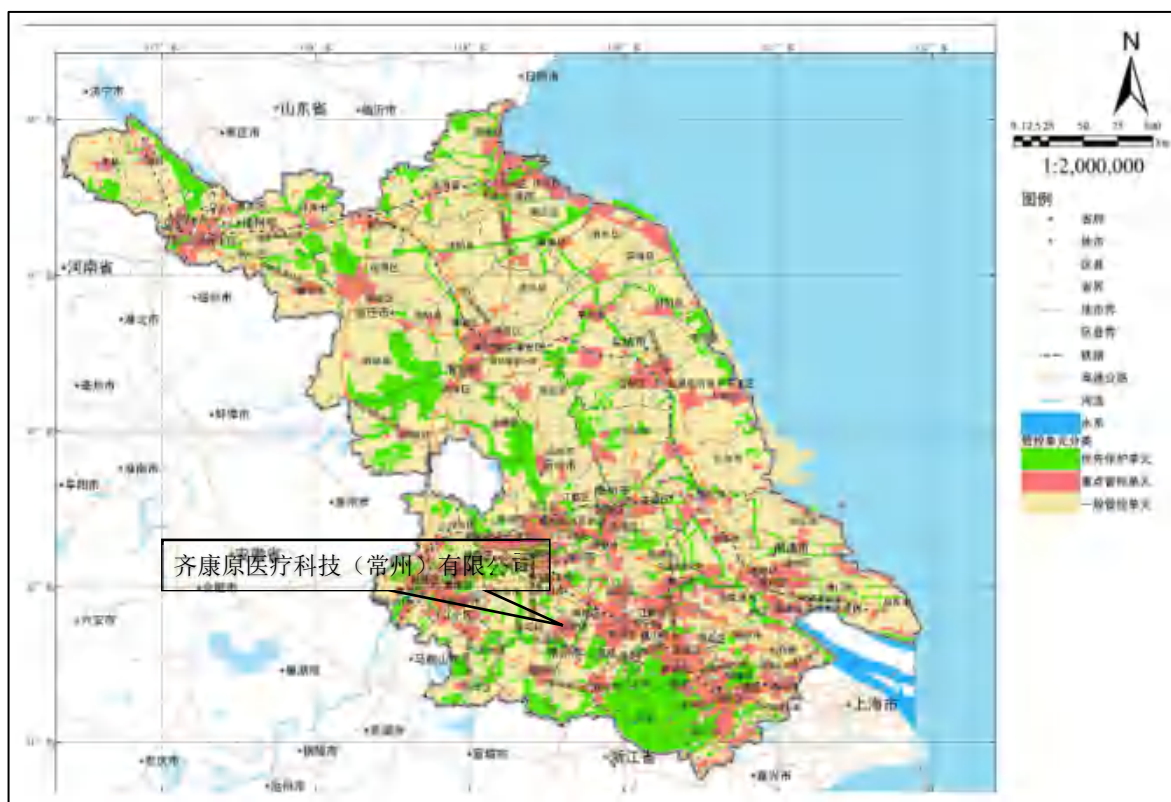


图 1.2-5 本项目与江苏省国家级生态保护红线和江苏省生态环境管控单元相对位置示意图

1.2.7 产业政策符合性分析

本项目属于《产业结构调整指导目录（2024年本）》（2024年修订）中“鼓励类”第六项“核能”中第4条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，本项目建设符合国家产业政策。

本项目不属于《省政府办公厅关于印发江苏省化工产业结构调整限制和淘汰目录（2025年本）的通知》（苏政办规〔2025〕7号）中限制和淘汰类项目，本项目建设符合江苏省产业政策。

1.2.8 公司现有核技术利用项目及相关环保手续履行情况

公司一期项目已由苏州热工研究院有限公司编制了《齐康原医疗科技（常州）有限公司新建放射性同位素生产项目环境影响报告书》，并于2023年4月3日取得了江苏省生态环境厅的批复，批复文号：苏环审〔2023〕17号，批复的建设内容为：公司新建1座主厂房（共四层，三楼为办公和研发区、四楼为展厅），在厂房一层新建1座加速器机房和4个靶室并配备1台回旋加速器（质子最大能量为30MeV，属I类射线装置）用于生产放射性核素⁶⁸Ge，日等效最大操作量为4.05E+09Bq，属甲级非密封放射性物质工作场所；在厂房二层新建2个实验室（质控实验室和微生物实验室）用于分装放射性核素⁶⁸Ge，日等效最大操作量为2.78E+08Bq，属乙级非密封放射性物质工作场所。

目前，项目主体工程正处在施工建设阶段，未投入运行。其中，公司生产厂房主体工程、回旋加速器机房和靶室已完成混凝土浇筑，公司生产厂房外立面基本装修完毕，厂房二层办公区域已完成装修、装饰，后期还需进行放射性废物暂存间内放射性废物储存设施的施工建设、热室区域和质检车间等场所的施工建设、回旋加速器、热室、通风柜等设备的安装以及各楼层的装修、装饰等。

1.3 编制依据

1.3.1 法律法规

（1）《中华人民共和国环境保护法》（第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议于2014年4月24日修订通过），2015年1月1日起施行；

（2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正版），自2018年12月29日起施行；

（3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003年10月1日起施行；

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

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

（6）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正版），生态环境部令第20号，自2021年1月4日起施行；

- (7)《建设项目环境影响评价分类管理名录》(2021 年修正版),生态环境部令第 16 号,2021 年 1 月 1 日起施行;
- (8)《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》,环境保护部令第 18 号,2011 年 5 月 1 日起施行;
- (9)《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》,国家环境保护总局文件,环发〔2006〕145 号文;
- (10)《关于发布<射线装置分类>的公告》(2017 年修订版),环境保护部 国家卫生计生委公告 2017 年公告第 66 号公布,自 2017 年 12 月 5 日起施行;
- (11)关于印发《建设项目环境影响评价政府信息公开指南(试行)》的通知,环办〔2013〕103 号,2014 年 1 月 1 日起施行;
- (12)《关于发布<放射性废物分类>的公告》,环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告 2017 年公告第 65 号公布,自 2018 年 1 月 1 日起施行;
- (13)《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》,生态环境部令第 9 号,2019 年 11 月 1 日起施行;
- (14)《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 11 月 1 日起施行;
- (15)《生态环境部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 日生成;
- (16)《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,2020 年 1 月 1 日起施行;
- (17)《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》,环办辐射函〔2016〕430 号,2016 年 3 月 7 日发布;
- (18)《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,自 2025 年 1 月 1 日起施行;
- (19)《环境影响评价公众参与办法》,生态环境部令第 4 号,自 2019 年 1 月 1 日起施行;
- (20)《关于发布<环境影响评价公众参与办法>配套文件的公告》,生态环境部公告 2018 年第 48 号,自 2019 年 1 月 1 日起施行;
- (21)《关于印发核技术利用建设项目重大变动清单(试行)的通知》,环办辐射函

〔2025〕313号，生态环境部，2025年8月29日发布。

1.3.2 产业政策与行业管理规定

（1）《产业结构调整指导目录（2024年本）》，国家发展改革委令第7号，自2024年2月1日起施行；

（2）《省政府办公厅关于印发江苏省化工产业结构调整限制和淘汰目录（2025年本）的通知》（苏政办规〔2025〕7号），2026年1月24日起施行；

（3）《市场准入负面清单（2025年版）》，发改体改规〔2025〕466号，2025年4月16日发布；

（4）《关于印发〈长江经济带发展负面清单指南〉（试行，2022年版）的通知》，长江办〔2022〕7号，2022年1月19日起施行；

（5）《关于印发〈长江经济带发展负面清单指南（试行，2022年版）〉江苏省实施细则的通知》，苏长江办发〔2022〕55号，2022年8月16日起施行；

（6）《关于印发〈江苏省“两高”项目管理目录（2025年版）〉的通知》，苏发改规发〔2025〕4号，2025年8月17日起施行；

（7）《外商投资准入特别管理措施（负面清单）（2024年版）》，国家发展改革委、商务部令第23号，2024年11月1日起施行。

1.3.3 地方性法规

（1）《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修订版），江苏省人大常委会公告第2号，2018年3月28日修改，2018年5月1日起施行；

（2）《江苏省辐射事故应急预案》（2020年修订版），苏政办函〔2020〕26号，2020年2月19日起施行；

（3）《江苏省国家级生态保护红线规划》，苏政发〔2018〕74号，2018年6月9日起施行；

（4）《江苏省生态空间管控区域规划》，苏政发〔2020〕1号，2020年1月8日发布；

（5）《省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，苏政发〔2020〕49号，2020年6月21日发布；

（6）《江苏省生态空间管控区域调整管理办法》，苏政办发〔2021〕3号，2021年1月6日发布，2021年2月1日起施行；

（7）《关于进一步加强生态保护红线监督管理的通知》，苏自然资函〔2023〕880号，2023年10月10日发布；

(8) 《江苏省固体废物污染环境防治条例》(2024年修订)，江苏省第十四届人民代表大会常务委员会第十二次会议，自2025年3月1日起施行；

(9) 《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书(表)编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187号，2021年5月31日发布；

(10) 《省生态环境厅关于做好<危险废物贮存污染控制标准>等标准规范实施后危险废物环境管理衔接工作的通知》，苏环办〔2023〕154号，2023年6月9日发布；

(11) 《省生态环境厅关于印发<江苏省固体废物全过程环境监管工作意见>的意见》，苏环办〔2024〕16号，2024年1月29日发布；

(12) 《江苏省自然资源厅关于常州市金坛区2023年度生态空间管控区域调整方案的复函》，苏自然资函〔2023〕209号，2023年4月4日发布；

(13) 《国务院关于<常州市国土空间总体规划(2021-2035年)>的批复》，国函〔2025〕9号，2025年1月13日发布；

(14) 《江苏省生态环境保护公众参与办法》，苏环规〔2023〕2号，2024年2月1日起施行；

(15) 《关于印发常州市“三线一单”生态环境分区管控实施方案的通知》，常环〔2020〕95号，2020年12月31日发布；

(16) 《常州市环境空气质量功能区划分规定(2017)》，常政发〔2017〕160号，2017年11月30日发布；

(17) 《常州市市区声环境功能区划(2017)》，常政发〔2017〕161号，2017年11月30日发布；

(18) 《省政府关于金坛市城市总体规划(2013-2030)的批复》，苏政复〔2015〕5号，2015年1月19日发布。

1.3.4 技术导则及相关标准

(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)；

(2) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016)；

(3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；

(4) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；

(5) 《表面污染测定 第1部分： β 发射体($E_{\beta\max}>0.15\text{ MeV}$)和 α 发射体》(GB/T 14056.1-2008)；

- (6) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
- (7) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；
- (8) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）（参考）；
- (9) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）（参考）；
- (10) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）（参考）；
- (11) 《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）（2026年5月1日将由《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB5172-2025）代替）；
- (12) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；
- (13) 《医院污水处理工程技术规范》（HJ2029-2013）（参考）；
- (14) 《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》（GB11928-1989）；
- (15) 《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）；
- (16) 《放射性物质运输包装质量保证》（GB/T15219-2009）；
- (17) 《工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）；
- (18) 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）；
- (19) 《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）；
- (20) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）；
- (21) 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）（及2018年第1号修改单）；
- (22) 《声环境质量标准》（GB3096-2008）；
- (23) 《放射性药物生产场所辐射安全设计要求》（T/CIRA 5-2019）；
- (24) 《开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范》（EJ380-1989）；
- (25) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；
- (26) 《职业性内照射个人监测规范》（GBZ129-2016）；
- (27) 《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB27742-2011）；
- (28) 《核技术利用放射性废物库选址、设计与建造技术规范》（HJ1258-2022）（参考）；
- (29) 《核技术利用放射性废物库运行管理技术规范》（HJ1417-2025）（参考）。

1.3.5 附件

- (1) 项目委托书（附件 1）；
- (2) 射线装置使用情况承诺书（附件 2）；
- (3) 放射性同位素使用情况承诺书（附件 3）；

- (4) 公司营业执照（附件4）；
- (5) 公司投资项目备案证（附件5）；
- (6) 公司土地不动产权证书（附件6）；
- (7) 公司一期项目原环评报告主要内容及批复（附件7）；
- (8) 项目辐射环境质量现状检测报告及检测单位检测资质（附件8）；
- (9) 项目噪声环境质量现状检测报告及检测单位检测资质（附件9）；
- (10) 放射性废物委托处置意向性协议（附件10）；
- (11) 项目编制主持人现场踏勘照片（附件11）。

1.3.6 参考文献

- (1) 《放射防护实用手册》，赵兰才、张丹枫主编；
- (2) 《辐射防护导论》，方杰主编；
- (3) 《辐射防护手册》，潘自强主编；
- (4) 《简明放射性同位素手册》，卢玉楷主编；
- (5) 《2023全国辐射环境质量报告》，生态环境部2024年7月发布；
- (6) IAEA-19 号报告《Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment》，国际原子能机构第 19 号报告，2001 年；
- (7) 《核设施正常工况气载放射性排出物后果评价推荐模式》，方栋、李红，辐射防护，2002 年 11 月，第 22 卷第 6 期；
- (8) 《核设施正常工况气载放射性排出物后果评价推荐模式的参数》，方栋、李红，辐射防护，2003 年 1 月，第 23 卷第 1 期；
- (9) 《发射光子的放射性核素各向同性点源的剂量学常数》，李士骏，辐射防护，1999 年 7 月，第 19 卷第 4 期；
- (10) 《发射光子的放射性核素各向同性点源的剂量学常数（续 I）》，李士骏，辐射防护，2000 年 5 月，第 20 卷第 3 期；
- (11) 《发射光子的放射性核素各向同性点源的剂量学常数（续 II）》，李士骏，辐射防护，2000 年 7 月，第 20 卷第 4 期；
- (12) 《2024年常州市环境状况公报》，常州市生态环境局2025年6月发布；
- (13) 《中国环境天然放射性水平》，原国家环境保护局出版，李洪昌等，1995年8月。

江苏省环境天然 γ 辐射剂量率调查结果 单位: nGy/h

类别	原野	道路	室内
测值范围	33.1~72.6	18.1~102.3	50.7~129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差 (s)	7.0	12.3	14.0

注: [1]测量值已扣除宇宙射线响应值。

[2]现状评价时, 取测值范围数值: 即原野为 (33.1~72.6) nGy/h; 道路为 (18.1~102.3) nGy/h; 室内为 (50.7~129.4) nGy/h。

1.4 评价标准

1.4.1 剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的规定, 本项目辐射工作人员和公众的年剂量限值见下表。

表1.4-1 剂量限值

	剂量限值
职业照射 剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值: ①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任何一年中的有效剂量, 50mSv。
公众照射 剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值: ①年有效剂量, 1mSv; ②特殊情况下, 如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv, 则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

1.4.2 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)、《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-1985) (2026年5月1日将由《粒子加速器辐射安全与防护规定》(GB5172-2025)代替)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021), 本项目剂量约束值见下表。

表1.4-2 剂量约束值

适用范围	剂量约束值
辐射职业照射有效剂量	5 mSv/年
公众照射有效剂量	0.1 mSv/年

1.4.3 工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中附录C规定的,非密封源工作场所的分级,应按下表将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表1.4-3 非密封源工作场所分级

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 $\sim 2 \times 10^7$

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见以下两表:

表1.4-4 放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表1.4-5 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 较低的固体	液体, 溶 液, 悬浮液	表面有污染 的固体	气体, 蒸汽, 粉末, 压 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

1.4.4 表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中表B11的规定,对于工作场所的放射性表面污染应满足一定的控制水平,如下:

表1.4-6 工作场所的放射性表面污染控制水平（单位：Bq/cm²）

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、 墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 ⁻¹	4	4
工作服、手套、 工作鞋	控制区	4×10 ⁻¹	4×10 ⁻¹	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻²	4×10 ⁻²	4×10 ⁻¹
1) 该区内的高污染子区除外。				

1.4.5 辐射剂量率控制水平

1、参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的屏蔽要求：

6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于10μSv/h。

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于25μSv/h。

6.1.7 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面30cm处的周围剂量当量率小于2.5μSv/h。

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

2、参考《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，辐射函〔2023〕20号的屏蔽要求：

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021，以下称核医学标准）第6.1.5节规定，距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于10μSv/h。本条规定的具体含义为：

1.控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2），周围剂量当量率应小于2.5μSv/h。

2.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），如给药

/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

本项目辐射剂量率控制水平：

（1）加速器系统屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

（2）非密封放射性物质工作场所控制区内各房间的四周墙体、防护门、顶部外表面 30cm 处及底部人员可达处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；若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 $<1/2$ ），周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ；

（3）放射性核素操作的热室、通风柜外表面 30cm 处人员操作位的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 $25\mu\text{Sv/h}$ ；

（4）固体放射性废物收集铅桶、曝露于地面致使人员可接近的放射性废水排水管道外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

（5）根据人员工作时距辐射源的距离以及工作负荷，建议废物转运容器、废弃物转运铅罐表面外 1m 处的周围剂量当量率小于 $20\mu\text{Sv/h}$ ，放射性废物蜂巢池表面外 30cm 处的周围剂量当量率小于 $100\mu\text{Sv/h}$ 。

1.4.6 放射性废水排放控制水平

1、参考《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）第4.1条规定，医疗机构水污染物中总 α 、总 β 的排放限值分别为 1Bq/L 、 10Bq/L 。第5.4.1条规定，低放射性废水应经衰变池处理。第6.1.2条规定，总 α 、总 β 在衰变池出口取样监测。

2、参考《医院污水处理工程技术规范》（HJ 2029-2013）第6.3.1.1条“特殊性质污水预处理”的“（6）放射性废水处理”规定：放射性废水处理设施出口监测值应满足总 $\alpha<1\text{Bq/L}$ ，总 $\beta<10\text{Bq/L}$ 。

3、参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）第7.3.3条规定，

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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 α 不大于 1Bq/L 、总 β 不大于 10Bq/L 、碘-131的放射性活度浓度不大于 10Bq/L 。

7.3.3.3 放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

1.4.7 放射性废气排放控制水平

1、参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）第5.2.3条规定：

核医学工作场所的通风按表1要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

2、参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）第6.3条和7.4条规定：

6.3 密闭和通风要求

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。

6.3.2 使用回旋加速器制备放射性药物的工作场所应设有单独的通风系统，加速器自屏蔽区内应有单独排气管道，并相对加速器室呈负压状态。

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 气态放射性废物的管理

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。

3、参考《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，辐射函〔2023〕20号的规定：

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道在汇入“主排风管道前”的部分，应独立设置，防止发生气体回流和交叉污染。经过滤后的气体汇入到一个主管道中排放不违反标准要求。

1.4.8 放射性固体废物排放控制水平

参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）第7.2.3条规定：

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， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

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。

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 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、其他 α 发射体应小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

7.2.3.3 固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

1.4.9 衍生产物臭氧和二氧化氮排放控制水平

《工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中规定：工作场所空气中臭氧最高容许浓度为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ，二氧化氮最高允许浓度为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

1.4.10 噪声排放控制水平

施工期施工场地厂界执行《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025），具体见表1.4-7。

表1.4-7 施工期施工场地厂界噪声排放标准

执行标准	昼间	夜间
《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）	70 dB(A)	55 dB(A)

根据《常州市市区声环境功能区划（2017）》（常政发〔2017〕161号），本项目区域环境噪声功能区划为3类，项目运行后，厂界噪声执行《工业企业厂界环境噪

声排放标准》（GB12348-2008）中3类功能区的排放限值，具体见表1.4-8。

表1.4-8 运行期厂界噪声排放标准

执行标准	昼间	夜间
《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3类	65 dB(A)	55 dB(A)

1.5 评价范围和保护目标

1.5.1 评价范围

（1）辐射环境影响评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016），“以项目实体边界为中心，放射性同位素生产项目（放射性药物生产除外）的评价范围半径不小于3km；放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径500m的范围，乙级、丙级取半径50m的范围。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（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于100m的范围），对于I类放射源或I类射线装置的项目可根据环境影响的范围适当扩大”。

本项目使用回旋加速器生产的核素 ^{68}Ge 为 ^{68}Ga 的母体，用于制备放射性药物 ^{68}Ga ，为生产、销售及使用时非密封放射性物质（甲级非密封放射性物质工作场所、乙级非密封放射性物质工作场所）以及使用I类射线装置，同时根据项目特点，本项目评价范围应以放射性同位素生产车间的墙体为起点外延500m的区域，以及以质检车间的墙体为起点外延50m的区域。因本项目放射性同位素生产车间、质检车间、放射性废物暂存间位于同一座生产厂房内，故本项目评价范围保守以公司生产厂房的外墙为起点，外延500m的区域。

（2）非放射性环境影响评价范围

本项目不直接向周围环境排放废水和固体废物，项目运行时非放射性污染主要是噪声。厂房地下层安装的空调冷水机、冷却系统水泵、生活污水泵和消防水泵等公用辅助设备是室内主要的噪声源，经过室内隔声和地下混凝土楼板隔声，对厂界外环境的噪声影响较小。生产厂房的三层屋顶安装办公用空调外机、闭式工业冷却塔、排风机，厂界周围均为工业企业和开发区道路，受此噪声影响的人员较少。根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021），建设项目所处的声环境功能区为《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的3类功能区，且受影响人口数量变化不大，声环境影响按照三级评价简单分析和评价，评价范围取厂界外200m。

综上，本项目评价范围保守以公司生产厂房的外墙为起点，外延500m的区域。评价范围示意图见图1.2-3。

1.5.2 保护目标

本项目的保护目标主要为本项目生产厂房内辐射工作人员、公司的非辐射工作人员以及500m评价范围内的公众。本项目环境保护目标见表1.5-1。

表1.5-1 本项目评价范围内的环境保护目标一览表

环境保护目标名称		方位	距生产厂房最近距离	人口规模	保护要求
本项目辐射工作人员	回旋加速器区域	生产厂房内	/	共8名工作人员	5mSv/a
	一层放射性同位素生产车间		/	共14名工作人员	
	二层质检车间		/	共2名工作人员	
	地下层放射性废物暂存间		/	共2名工作人员，平时在三层办公室	
	辐射安全管理人员		/	共4名工作人员，平时在三层办公室	
评价范围内公众	生产厂房内、门卫处等齐康原公司非辐射工作人员	公司厂区内	紧邻	约10名人员	0.1mSv/a
	待开发工业用地处公众	生产厂房东侧	约21m	流动人员	
	极马自动化（常州）有限公司厂区内公众		约170m	约30人	
	凯斯宝玛五金科技（江苏）有限公司厂区内公众		约355m	约40人	
	公司二期预留用地处公众	生产厂房南侧	约5m	流动人员	
	亿晶光电科技股份有限公司（东厂区）内公众		约93m	约600名人员	
	汇福路处公众	生产厂房西侧	约16m	流动人员	
	亿晶光电科技股份有限公司（西厂区）内公众		约62m	约800名人员	
	爱思开电池材料科技（江苏）有限公司厂区内公众		约490m	约250人员	

	汇乐智能装备（常州）有限公司厂区内公众	生产厂房 西北侧	约235m	约250名人员	
	珠山路处公众	生产厂房 北侧	约14m	流动人员	
	待建拜尔斯医疗厂区处 公众		约35m	流动人员	
	中德（金坛）智能制造产 业园内公众		约162m	约1500名人员	
	常州艾迪信轴承制造有限 公司厂区内公众	生产厂房 东北侧	约420m	约22人	

第二章 自然环境与社会环境状况

2.1 自然环境状况

2.1.1 地理位置

金坛区地处江苏省南部，位于北纬 $31^{\circ}33'42''\sim 31^{\circ}53'22''$ 、东经 $119^{\circ}17'45''\sim 119^{\circ}44'59''$ ，为宁（南京）、沪（上海）、杭（杭州）三角地带之中枢。全区总面积975.68平方千米，其中陆地面积784.9平方千米，水域面积190.78平方千米。常州至溧水公路东西横贯，镇江至广德公路南北穿越。境内水陆交通便捷，东与常州市武进区相连；西界茅山，与句容市接壤；南濒太湖，与溧阳、宜兴市依水相望；北与丹阳市、镇江丹徒区毗邻。

项目拟建址所在的金坛经济开发区，地理位置条件优越。京杭大运河支流-丹金溧漕河贯穿南北，江苏省省道常宁一级公路直穿东西，华北运输大动脉沪宁铁路、沪宁高速公路横穿基地北，国内航班机场常州机场紧临基地东，国际空港南京禄口国际机场、上海虹桥机场距离分别为90公里、200公里，国家一类口岸常州港、镇江港、张家港距离分别为30公里、50公里、100公里。

2.1.2 地形、地貌、地质和地震

1、地形地貌

金坛区西缘为南北走向的茅山低山丘陵，其东为长江三角洲西部的冲积湖积平原区，冲积湖积平原区中央微凹，东西两侧微凸，自西向东可进一步分为三个次一级地貌单元：西部的黄土缓岗，中部的冲积湖积圩田平原和东部的高亢平原。从总体上看，全区地势自西向东倾斜，常态地貌有基岩的低山丘陵，黄土岗地，冲积、湖积平原。

2、地质地震

在大地构造上，金坛区属于扬子古陆东端的下扬子台褶带。境内广大地区为古生代以来的拗陷区沉积了古生界和中生界地层。在地质历史上，这些地层经受多期构造运动，每期构造运动都破坏和改造了原有的构造体系并以重叠和交接的方式复合，其中尤以中生代燕山期的构造运动最为强烈，形成了一系列的深大断裂和断陷盆地，特别是控制了晚白垩纪到老第三纪沉积盆地的形成和发展，老第三纪以来的构造运动产生的北西、北西西向断裂又切割了燕山期北东、北北东向的断陷和隆起构造，形成了更为复杂的构造格局。境内最主要的断裂有6条。北西向断裂规模相对较小，主要有4条。此外，与茅山断裂带相伴生的还有一些北西、北北西向的张扭性断裂斜切茅山。

项目拟建址区域地质构造体比较完整，断裂构造不发育，基底岩系刚性程度低，第四纪以来，特别是最近一万年以来无活动性断裂，地震活动少并且强度小，周边无强地震带通过。

2.1.3 气候气象

1、气候条件

根据金坛气象站近20年气象资料和常州市气象台站有关气象资料整理分析：金坛区气候属于北亚热带南部季风气候区，气候温和湿润，四季分明，雨量充沛，日照充足，无霜期长。

2、气象概况

金坛区总的气候特点是气温偏高、降水偏多、日照时数正常，年平均气温17℃。近50年金坛区年平均气温约15℃。金坛区多年平均降水量超过1000毫米。

金坛地区常年主导风向，夏季以东南风为主，秋冬季以偏北风为主，年平均风速3.3m/s。

2.1.4 水文特征

截至2021年末，金坛区有大小河流433条，总长1249.15千米，其中县区级骨干河道有33条，长260.02千米。乡镇级河道有上新河等168条，长546.91千米。村级河道232条，长442.22千米。现有湖泊2个。金坛市区的水系以丹金溧漕河为主，上游接丹阳境内大运河，下游向南连长荡湖、漏湖，注入太湖，市区内有通济河、运粮河、社桥河，东有尧塘河、下丘河，南有老鸭河及东、西城河。老城河仅在北部及东南部尚有残留河段，其余均已填没。金坛市区以外还有许多湖泊，主要包括长荡湖、小型湖泊（如钱资荡）、湖荡（如天荒湖）三种。丹金溧漕河、钱资荡、长荡湖为市区地表水水源。

丹金溧漕河：该河为太湖流域地区排洪、引水、航运的骨干河流，北接京杭运河，南入长荡湖。市区段河面宽60米，底宽20米，航道等级为4级。2000年汛期入境水量为6.992亿立方米，年平均流量为28.8m³/s，最高洪水水位为6.4米，最低枯水水位为2.12米，常年平均水位为3.49米，市区段全年水质处于IV~V类。

尧塘河：该河为丹金溧漕河的支流，水面宽32米，平均水深1.5米，流速0.16m/s。

通济河：又名直溪、直里河，自丹徒丁角开始至三岔河入金坛境，经直溪、舍田桥至三里桥与丹金溧漕河相会，金坛区地段全长25.88公里。

钱资荡：位于市区南部3公里，东西长5.3公里，南北最阔有1.2公里，荡底标高一般在1.4~1.6米，平均水深2.0米，正常蓄水量1000万立方米，冬季约为750立方米，该

湖具有灌溉、养殖和少量航运功能。水质基本满足IV类水质标准。

2.1.5 自然生态状况

1、水生生态

本地区内丹金漂漕河、尧塘河、钱资荡有较丰富的水产资源，常见的鱼类有60余种，主要是鲤、鲫、草、青、鲢、鳙、鲈、红鲌、银鱼和梅鲢等，另有螺、蚬、蚌、虾和蟹等。

2、陆生生态

本区属中亚热带常绿阔叶林地区，自然植被基本上是常绿阔叶林。除了分布于北亚热带落叶常绿阔叶林混交林中的种数外，还有许多江苏境内其他地方未见的亚热带植物。乔木主要有三尖杉、金钱松等，灌木有钱氏胡椒、乌药、红叶甘檀等，藤本植物有清风藤等。毛竹遍布山地深处的岭谷间，杉木林延伸于山前坡麓，高大茂密、蜿蜒不绝。本地区主要种植水稻、小麦、玉米、红香芋、无节水芹、蔬菜等农作物，饲养家畜、家禽及养蜂和水产养殖。经济林主要有茶园、油茶、油桐、桑等，广泛分布于山前岗地。

2.2 社会经济状况

2.2.1 地区经济

2022年，金坛区实现地区生产总值（GDP）1216.40亿元，按可比价计算，同比增长6.8%。其中，第一产业增加值43.49亿元，增长5.5%；第二产业增加值669.20亿元，增长11.7%；第三产业增加值503.71亿元，增长1.4%。三次产业增加值比例为3.6:55.0:41.4。

2023年，金坛区实现地区生产总值（GDP）1302.92亿元，按可比价计算，同比增长8.2%。其中，第一产业增加值45.57亿元，增长4.4%；第二产业增加值716.74亿元，增长9.7%；第三产业增加值540.61亿元，增长6.6%。三次产业增加值比例为3.5:55.0:41.5。

2024年，金坛区实现地区生产总值（GDP）1402.54亿元，按可比价计算，同比增长5.9%。

2.2.2 科教文化

2023年，金坛区编制全区教育设施布局规划（2023-2035），优化调整4所城区学校施教区，3所学校建成投用，新增学位4260个，实施华罗庚中学高质量发展办学改革，全区高考本科达线率取得新突破，985、211高校录取数较上年翻倍提升。

2023 年，金坛区新增国家级博士后科研工作站 2 个，培育省级产教融合型试点企业 6 家。引进各类人才 1.45 万人，入选国家重大人才工程 3 人、省“双创计划”11 人、市“龙城英才计划”39 人。

2.2.3 医疗卫生

截至 2022 年末，金坛区拥有各类医疗卫生机构 233 家，其中区属医院 2 家、卫生院 11 家、城市社区服务中心 2 家、民营医院 8 家；拥有卫生技术人员 3931 人，其中执业（助理）医师 1737 人，注册护士 1987 人；新增市级中医重点临床专科 2 个，省级基层特色科室建设单位 1 个，市级基层特色科室 6 个。

2.3 环境质量和辐射现状

2.3.1 区域环境质量

1、环境空气质量

根据《2024 年常州市生态环境状况公报》，2024 年，全市环境空气质量持续改善，细颗粒物（PM_{2.5}）年均浓度为有监测数据以来最低，连续三年达到环境空气质量二级标准。全市空气质量优良天数 293 天，优良率 80.1%，同比改善 2.0 个百分点；其中市区空气质量优良天数 292 天，同比增加 9 天，优良率为 79.8%，同比改善 2.3 个百分点。

2、水环境质量

根据《2024 年常州市生态环境状况公报》，2024 年，国考、省考断面水质达到或好于Ⅲ类比例完成省定考核要求，太湖水质自 2007 年蓝藻事件以来首次达到Ⅲ、重回“良好”湖泊，连续 17 年实现安全度夏。长江干流（常州段）水质连续 8 年稳定Ⅱ类水平，主要入湖河道、集中式饮用水源地水质达到省定考核目标。

3、声环境质量

根据《2024 年常州市生态环境状况公报》，2024 年，全市区域环境噪声昼间平均值为 53.6dB(A)，较上年下降 0.1dB(A)。按照《环境噪声监测技术规范 城市声环境常规监测》（HJ640-2012），城市区域昼间环境噪声总体水平等级为“二级”，属于“较好”水平。全市道路交通噪声昼间平均值为 66.2dB(A)，较上年上升 0.3dB(A)；按照《环境噪声监测技术规范 城市声环境常规监测》（HJ640-2012），道路交通噪声强度等级（昼间）为“一级”，属于“好”水平。

2.3.2 辐射现状

根据《2024 年常州市生态环境状况公报》，2024 年，全市辐射环境 2 个国控点和 11 个省控点监测结果表明，全市电离辐射水平未有异常变化，总体处于正常偏低的安

全范围。其中，空气吸收剂量率、大气和土壤中放射性核素浓度保持在天然本底范围内；常州长江魏村取水口水中放射性指标总 α 、总 β 活度浓度分别为0.058Bq/L和0.11Bq/L，低于《生活饮用水卫生标准》限值；电磁辐射综合场强符合《电磁环境控制限值》中公众曝露控制限值。全市环境 γ 辐射剂量率累积监测范围为71.2~107nGy/h，平均值为82.8nGy/h，处于天然本底涨落范围内。与2023年相比，保持稳定。全市电磁辐射水平亦无显著变化，符合《电磁辐射防护规定》的公众照射导出限值要求。

2.4 环境质量现状检测与评价

2.4.1 辐射环境质量现状检测与评价

因项目处于施工建设阶段，未投入运行，仅二层部分办公场所投入使用，不涉及射线装置和放射性同位素，公司厂区周围环境基本无变化，也无排放放射性废水、放射性废气和放射性固体废物的企业进驻，故项目拟建址及厂区周围辐射环境质量现状引用原环评文件中的辐射环境现状检测报告，不再另行检测。

2.4.1.1 检测内容

齐康原医疗科技（常州）有限公司于2022年1月委托苏州热工研究院有限公司环境检测中心（CMA证书编号：171012050252）对项目所在区域及周围辐射环境进行了现状检测，具体检测内容如下：

1、检测因子

检测因子包括：环境 γ 辐射空气吸收剂量率、中子周围剂量当量率、空气中氡、空气中 γ 核素、土壤中 γ 核素、土壤中总 β 、水中 γ 核素、水中氡、水中总 α 、总 β 。

因项目不直接外排放射性废水，生活污水接入市政污水管网。评价范围内仅在厂区南侧企业（亿晶光电科技股份有限公司）厂区内有地表水（景观功能），附近没有地下水取水井，厂区周围也没有向环境排放放射性废水的企业。综合以上区域环境现状和项目污染物排放特点，环境现状监测时对周围地表水取样，未进行地下水取样。

2、检测方法

检测单位依据以下监测标准规定的检测和分析方法开展检测工作：

- （1）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；
- （2）《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；
- （3）《辐射防护仪器中子周围剂量当量（率）仪》（GB/T14318-2019）；
- （4）《空气中放射性核素的 γ 能谱分析方法》（WS/T184-2017）；
- （5）《气载放射性物质取样一般规定》（HJ/T22-1998）；

- (6) 《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》(GB/T 11743-2013)；
- (7) 《环境中放射性核素测量-土壤-第六部分：总 α 和总 β 活度测量》(ISO18589-2019)；
- (8) 《高纯锗 γ 能谱分析通用方法》(GB/T 11713-2015)；
- (9) 《水中氚的分析方法》(HJ1126-2020)；
- (10) 《水质 总 α 放射性的测定 厚源法》(HJ898-2017)；
- (11) 《水质 总 β 放射性的测定 厚源法》(HJ899-2017)；
- (12) 《水中放射性核素的 γ 能谱分析方法》(GB/T16140-2018)。

3、监测布点原则

环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测点位主要布设在厂区内拟建加速器机房、热室区域以及厂区周围有公众居留的区域，并对加速器机房拟建区域加密布设监测点位，共设置37个检测点位。中子检测点位与环境 γ 辐射空气吸收剂量率同点位处布设。

根据项目运行后周围主要环境保护目标情况以及公众居留场所，选取拟建加速器机房及热室区域、厂区西侧相邻厂区2个点进行空气（气溶胶）取样，并对厂区四周土壤进行取样，分别开展空气氚、空气中 γ 核素、土壤中 γ 核素、土壤中总 β 实验室分析测量。

根据周围地表水分布情况，在厂区南侧亿晶光电科技股份有限公司东厂区内景观水体中进行地表水和底泥取样并进行实验室分析测量，检测水中 γ 核素、水中氚、水中总 α 、总 β 、底泥中 γ 核素。

4、监测仪器

本次环境现状检测采用的仪器及设备主要技术参数见表2.4-1。所有检测设备的性能指标均满足环境辐射本底水平检测要求。

表2.4-1 项目检测因子及检测设备主要性能指标一览表

检测项目	检测设备名称	检测设备性能指标	设备检定有效期
环境 γ 辐射空气吸收剂量率	环境X- γ 剂量率仪 (6150AD)	能量响应范围： 20keV~7.0MeV， 剂量率测量范围： 5nSv/h~99.9 μ Sv/h	2021.10.22~2022.10.21
中子周围剂量当量率	中子剂量当量率仪 (FHT762)	能量响应范围： 0.025eV~5.0GeV， 剂量率测量范围： 10nSv/h~100mSv/h， 灵敏度：0.84cps/(μ Sv/h)	2021.4.15~2022.4.14

土壤中 γ 核素	N型高纯锗 γ 谱仪 (GMX50P4-83)	能量范围3.0keV~ 10MeV; 本底计数率2.9cps; 能量分辨率 2.0keV, 相对探测效率50.0%	2022.8.17~2024.8.16
空气中 γ 核素 水中 γ 核素	高纯锗 γ 谱仪 (GEM50P4-83)	能量范围10keV~ 10MeV; 本底计数率2.9cps; 能量分辨率 1.9keV, 相对探测效率50.0%	2020.6.24~2022.6.23
	空气大流量TSP采样器 (HY-2300)	大流量孔口流量计: 1050L/min 流量点相对误差不超过 $\pm 1\%$	2022.1.4~2024.1.3
水中总 β 土壤中总 β	低本底 α 、 β 测量仪 (MPC9604)	本底计数率: $\alpha < 0.1\text{CPM}$ 、 $\beta < 0.9\text{CPM}$	2022.1.10~2024.1.9
空气中氚 水中氚	超低本底液体闪烁谱仪 (Quantulus1220)	H-3: 探测效率约为20%, 本底计数率小于1cmp; C-14: 探测效率约为60%, 本底计数率小于3cmp	2020.5.8~2022.5.7

5、质量保证

(1) 检测单位已通过CMA计量认证 (CMA证书编号: 171012050252), 具备有相应的检测资质和检测能力。

(2) 检测单位制定有质量管理体系文件, 所有检测活动均按照质量体系文件要求进行, 实施检测全过程质量控制。

(3) 检测采用的监测设备均通过计量部门检定合格, 并在检定有效期内。

(4) 所有检测人员均通过专业的技术培训和考核, 并取得检测人员上岗资格。

(5) 检测报告经过编制、审核、批准三级审核。

2.4.1.2 检测结果

2.4.1.2.1 γ 辐射剂量率检测结果

项目拟建区域及周围环境的 γ 辐射空气吸收剂量率检测点位见图2.4-1, 检测结果见表2.4-2, 检测报告见附件8。

表2.4-2 项目拟建区域及周围环境 γ 辐射剂量率现状检测结果

检测点 序号	检测点位置	环境 γ 辐射空气吸收剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	标准偏差 ($\mu\text{Gy/h}$)
1	加速器及热室区域A-1	0.069	0.002
2	加速器及热室区域B-1	0.068	0.002
3	加速器及热室区域C-1	0.070	0.004
4	加速器及热室区域D-1	0.069	0.002
5	加速器及热室区域E-1	0.067	0.002

6	加速器及热室区域F-1	0.073	0.003
7	加速器及热室区域A-2	0.074	0.004
8	加速器及热室区域B-2	0.070	0.003
9	加速器及热室区域C-2	0.063	0.002
10	加速器及热室区域D-2	0.065	0.002
11	加速器及热室区域E-2	0.068	0.002
12	加速器及热室区域F-2	0.066	0.003
13	加速器及热室区域A-3	0.056	0.002
14	加速器及热室区域B-3	0.061	0.002
15	加速器及热室区域C-3	0.063	0.002
16	加速器及热室区域D-3	0.061	0.003
17	加速器及热室区域E-3	0.065	0.002
18	加速器及热室区域F-3	0.071	0.003
19	加速器及热室区域A-4	0.063	0.001
20	加速器及热室区域B-4	0.064	0.002
21	加速器及热室区域C-4	0.061	0.002
22	加速器及热室区域D-4	0.067	0.002
23	加速器及热室区域E-4	0.066	0.002
24	加速器及热室区域F-4	0.067	0.001
25	加速器及热室区域A-5	0.064	0.003
26	加速器及热室区域B-5	0.062	0.001
27	加速器及热室区域C-5	0.069	0.002
28	加速器及热室区域D-5	0.071	0.001
29	加速器及热室区域E-5	0.071	0.002
30	加速器及热室区域F-5	0.075	0.002
31	厂区南侧（厂区内）	0.068	0.001
32	厂区东侧（厂区内）	0.072	0.001
33	厂区北侧（厂区内）	0.062	0.001
34	厂区西侧（厂区内）	0.064	0.001
35	厂址北侧（中德（金坛）智能制造产业园外）	0.055	0.002

36	厂址西侧（亿晶光电西厂区外）	0.067	0.001
37	厂址南侧（亿晶光电东厂区）	0.086	0.002

注：表中数据未扣除宇响值。

检测结果表明，项目拟建区域及周围环境的 γ 辐射空气吸收剂量率范围为（0.055~0.086） $\mu\text{Gy/h}$ ，扣除本项目测量设备的宇响值（0.016 $\mu\text{Gy/h}$ ）后，参考《中国环境天然放射性水平》（原国家环境保护局出版，李洪昌等，1995年8月），项目拟建区域及周围环境辐射水平处于江苏省原野 γ 辐射水平范围（33.1~72.6） nGy/h 的正常波动范围内，处于正常水平。

2.4.1.2.2 中子周围剂量当量率检测结果

项目拟建区域及周围环境的中子周围剂量当量率检测点位见图2.4-1，检测结果见表2.4-3，检测报告见附件8。

表2.4-3 项目拟建区域及周围环境中子剂量率现状检测结果

检测点序号	检测点位置	中子周围剂量当量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）
1	加速器及热室区域A-1	<0.01
2	加速器及热室区域B-1	<0.01
3	加速器及热室区域C-1	<0.01
4	加速器及热室区域D-1	<0.01
5	加速器及热室区域E-1	<0.01
6	加速器及热室区域F-1	<0.01
7	加速器及热室区域A-2	<0.01
8	加速器及热室区域B-2	<0.01
9	加速器及热室区域C-2	<0.01
10	加速器及热室区域D-2	<0.01
11	加速器及热室区域E-2	<0.01
12	加速器及热室区域F-2	<0.01
13	加速器及热室区域A-3	<0.01
14	加速器及热室区域B-3	<0.01
15	加速器及热室区域C-3	<0.01
16	加速器及热室区域D-3	<0.01
17	加速器及热室区域E-3	<0.01

18	加速器及热室区域F-3	<0.01
19	加速器及热室区域A-4	<0.01
20	加速器及热室区域B-4	<0.01
21	加速器及热室区域C-4	<0.01
22	加速器及热室区域D-4	<0.01
23	加速器及热室区域E-4	<0.01
24	加速器及热室区域F-4	<0.01
25	加速器及热室区域A-5	<0.01
26	加速器及热室区域B-5	<0.01
27	加速器及热室区域C-5	<0.01
28	加速器及热室区域D-5	<0.01
29	加速器及热室区域E-5	<0.01
30	加速器及热室区域F-5	<0.01
31	厂区南侧（厂区内）	<0.01
32	厂区东侧（厂区内）	<0.01
33	厂区北侧（厂区内）	<0.01
34	厂区西侧（厂区内）	<0.01
35	厂址北侧（中德（金坛）智能制造产业园外）	<0.01
36	厂址西侧（亿晶光电西厂区外）	<0.01
37	厂址南侧（亿晶光电东厂区）	<0.01

检测结果表明，项目拟建区域及周围环境的中子周围剂量当量率均小于仪器探测下限（仪器探测下限为0.01 μ Sv/h）。



图2.4-1 环境 γ 空气吸收剂量率、中子周围剂量当量率检测点位布设示意图

2.4.1.2.3 空气、土壤和水中放射性核素检测结果

1、空气中放射性核素检测结果

空气中氡和 γ 核素检测结果分别见表2.4-4和表2.4-5，取样点位布设见图2.4-2，检测报告见附件8。

表2.4-4 空气中氡检测结果

序号	样品名称	空气样品冷凝水活度浓度 (Bq/L)	空气样品氡活度浓度 (mBq/m ³)
1	厂址西侧亿晶光电西厂区空气氡	<1.1	<4.5
2	厂址区域空气氡	<1.1	<4.9

检测结果表明，项目厂址区域空气氡的活度浓度低于4.9mBq/m³，项目厂址周围工业区空气氡的活度浓度低于4.5mBq/m³，参考生态环境部发布的《2023全国辐射环

境质量报告》，全国空气中氡的活度浓度范围为<MDC~5.0mBq/m³，项目周围空气中氡的活度浓度在全国空气氡活度浓度的测量范围内，处于正常水平。

表2.4-5 空气中 γ 核素检测结果

序号	样品名称	核素	活度浓度 (mBq/m ³)
1	厂址西侧亿晶光电西厂区气溶胶	K-40	<0.18
		Ra-226	<0.028
		Be-7	4.89±0.13
		Th-232	<0.031
		Ar-41	<0.007
		U-238	<0.35
2	厂址区域气溶胶	K-40	< 0.17
		Ra-226	0.040±0.018
		Be-7	6.45±0.14
		Th-232	< 0.032
		Ar-41	< 0.007
		U-238	< 0.35

检测结果表明，项目厂址区域气溶胶中⁷Be的活度浓度为6.45mBq/m³，²²⁶Ra的活度浓度为0.040mBq/m³，其余核素的活度浓度均小于仪器探测下限；项目厂址周围工业区气溶胶中⁷Be的活度浓度为4.89mBq/m³，其余核素的活度浓度均小于仪器探测下限。

2、土壤中放射性核素检测结果

土壤中总 β 和 γ 核素检测结果分别见表2.4-6和表2.4-7，取样点位布设见图2.4-2，检测报告见附件8。

表2.4-6 土壤中总 β 检测结果

序号	样品名称	总 β 活度浓度 (Bq/kg)
1	厂址北侧土壤	0.785±0.024
2	厂址南侧土壤	0.834±0.025
3	厂址西侧花坛土壤	0.794±0.024
4	厂址东侧空地土壤	0.785±0.024

检测结果表明，项目厂址周围土壤中总 β 的活度浓度为0.785Bq/kg~0.834Bq/kg。

表2.4-7 土壤中 γ 核素测量结果

序号	样品名称	核素	活度浓度 (Bq/kg·干)
1	厂址南侧亿晶光电东厂区内景观水塘底泥	Co-57	<0.32
		Co-58	<0.49
		Co-60	<0.56
		Ga-67	<2.0
		K-40	488±11
		Ra-226	49±1
		Mn-54	<0.54
		Ni-57	<2.2
		Th-232	58±2
		Zn-65	<1.1
		U-238	35±7
		Ge-69	<1.2
2	厂址东侧空地土壤	Co-57	<0.33
		Co-58	<0.49
		Co-60	<0.57
		Ga-67	<2.0
		K-40	481±11
		Ra-226	45±1
		Mn-54	<0.53
		Ni-57	<1.2
		Th-232	55±2
		Zn-65	<1.1
		U-238	37±7
		Ge- 69	<1.2
3	厂址西侧花坛土壤	Co-57	<0.31
		Co-58	<0.50
		Co-60	<0.57
		Ga-67	<2.0

		K-40	519±12
		Ra-226	41±1
		Mn-54	<0.54
		Ni-57	<2.2
		Th-232	54±2
		Zn-65	<1.2
		U-238	32±7
		Ge-69	<1.2
4	厂址北侧土壤	Co-57	<0.32
		Co-58	<0.50
		Co-60	<0.59
		Ga-67	<2.0
		K-40	509±12
		Ra-226	44±1
		Mn-54	<0.54
		Ni-57	<2.2
		Th-232	54±2
		Zn-65	<1.2
		U-238	25±7
		Ge-69	<1.2
5	厂址南侧土壤	Co-57	<0.31
		Co-58	<0.50
		Co-60	<0.59
		Ga-67	<2.0
		K-40	468±11
		Ra-226	44±1
		Mn-54	<0.53
		Ni-57	<2.2
		Th-232	52±2
		Zn-65	<1.2

		U-238	32±7
		Ge-69	<1.2

检测结果表明，项目厂址附近土壤、底泥样品中核素²³⁸U、²²⁶Ra、²³²Th、⁴⁰K的含量分别为25Bq/kg~37Bq/kg、41Bq/kg~49Bq/kg、52Bq/kg~58Bq/kg、468Bq/kg~519Bq/kg，对照《2023全国辐射环境质量报告》和《中国环境天然放射性水平》（江苏省），上述核素的活度浓度均处于正常波动范围；其余核素的活度浓度均小于仪器探测下限。

3、地表水中放射性核素检测结果

项目厂址南侧亿晶光电东厂区内景观水塘中总 α 、总 β 、水中氡和水中 γ 核素检测结果分别见表2.4-8和表2.4-9，取样点位布设见图2.4-2，检测报告见附件8。

表2.4-8 水中总 α 、总 β 和水中氡检测结果

序号	样品名称	总 α (Bq/L)	总 β (Bq/L)	水中氡活度浓度 (Bq/L)
1	厂址南侧亿晶光电东厂区内景观水塘地表水	0.029±0.008	0.070±0.004	<1.1

检测结果表明，厂址南侧亿晶光电东厂区内景观水塘（地表水）中总 α 、总 β 活度浓度分别为0.029Bq/L、0.070Bq/L，对照《2023全国辐射环境质量报告》中主要江河流域的水中放射性监测结果，地表水中总 α 、总 β 的活度浓度未见异常；水中氡活度浓度小于仪器探测下限。

表2.4-9 水中 γ 核素检测结果

序号	样品名称	核素	活度浓度 (mBq/L)
1	厂址南侧亿晶光电东厂区内景观水塘地表水	Co-57	<2.8
		Co-58	<1.8
		Co-60	<1.9
		Ga-67	<11
		Mn-54	<1.8
		Ni-57	<2.5
		Zn-65	<3.7
		Ge-69	<5.3

检测结果表明，厂址南侧亿晶光电科技股份有限公司东厂区内景观水塘（地表水）中各核素的活度浓度均小于仪器探测下限。



图2.4-2 环境空气、土壤、底泥和地表水现场采样点位布设示意图

2.4.2 声环境质量现状检测与评价

齐康原医疗科技（常州）有限公司于2025年8月19日委托江苏辐环环境科技有限公司（CMA证书编号：231012341512）对公司厂界四周声环境质量进行了现状检测，具体检测内容如下：

2.4.2.1 检测内容

1、检测因子

检测因子为工业企业厂界环境噪声。

2、检测方法

检测单位依据以下监测标准规定的监测和分析方法开展检测工作：

- （1）《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）；
- （2）《环境噪声监测技术规范噪声测量值修正》（HJ706-2014）。

3、检测布点原则

主要布设在厂界四周，检测频次为昼夜各1次。

4、检测仪器

本次噪声检测采用的仪器及设备主要技术参数见表2.4-10。所有检测设备的性能指标均满足环境辐射本底水平检测要求。

表2.4-10 本次检测因子及检测设备主要性能指标一览表

检测项目	检测设备名称 (型号)	检测设备性能指标	设备检定单位、检定证书编号、检定有效期
工业企业厂界环境噪声	多功能声级计 (AWA6292)	测量范围：20dB(A)~143dB(A)； 频率范围：10Hz~20kHz	江苏省计量科学研究院 E2024-0128727 2024.12.24~2025.12.23
	声校准器 (AWA6021A)	/	江苏省计量科学研究院 E2024-0128722 2024.12.19~2025.12.18

5、质量保证

- (1) 检测单位已通过CMA计量认证（CMA证书编号：231012341512），具备有相应的检测资质和检测能力。
- (2) 检测单位制定有质量管理体系文件，所有检测活动均按照质量体系文件要求进行，实施检测全过程质量控制。
- (3) 检测采用的监测设备均通过计量部门检定合格，并在检定有效期内。
- (4) 所有检测人员均通过专业的技术培训和考核，并取得检测人员上岗资格。
- (5) 检测报告经过编制、审核、批准三级审核。

2.4.2.2 检测结果

检测单位对公司厂区边界的声环境质量现状进行了监测，昼夜各监测1次，监测结果见表2.4-11，监测点位见图2.4-3，检测报告见附件9。

表 2.4-11 公司厂区边界噪声环境现状监测结果一览表

序号	监测点位	昼间噪声值 (dB(A))	夜间噪声值 (dB(A))
1	公司南侧围墙外 1m 处	50	46
2	公司东侧围墙外 1m 处	49	48
3	公司北侧围墙外 1m 处	51	42
4	公司西侧围墙外 1m 处	51	44

注：昼间噪声测值受施工作业影响。

根据表 2.4-11 可知，公司厂区边界围墙外 1m 各测点处昼间噪声为 49dB(A)~51dB(A)，夜间噪声为 42dB(A)~48dB(A)，项目所在区域声环境质量良好，满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 3 类声环境功能区要求（昼间 65dB(A)、夜间 55dB(A)）。

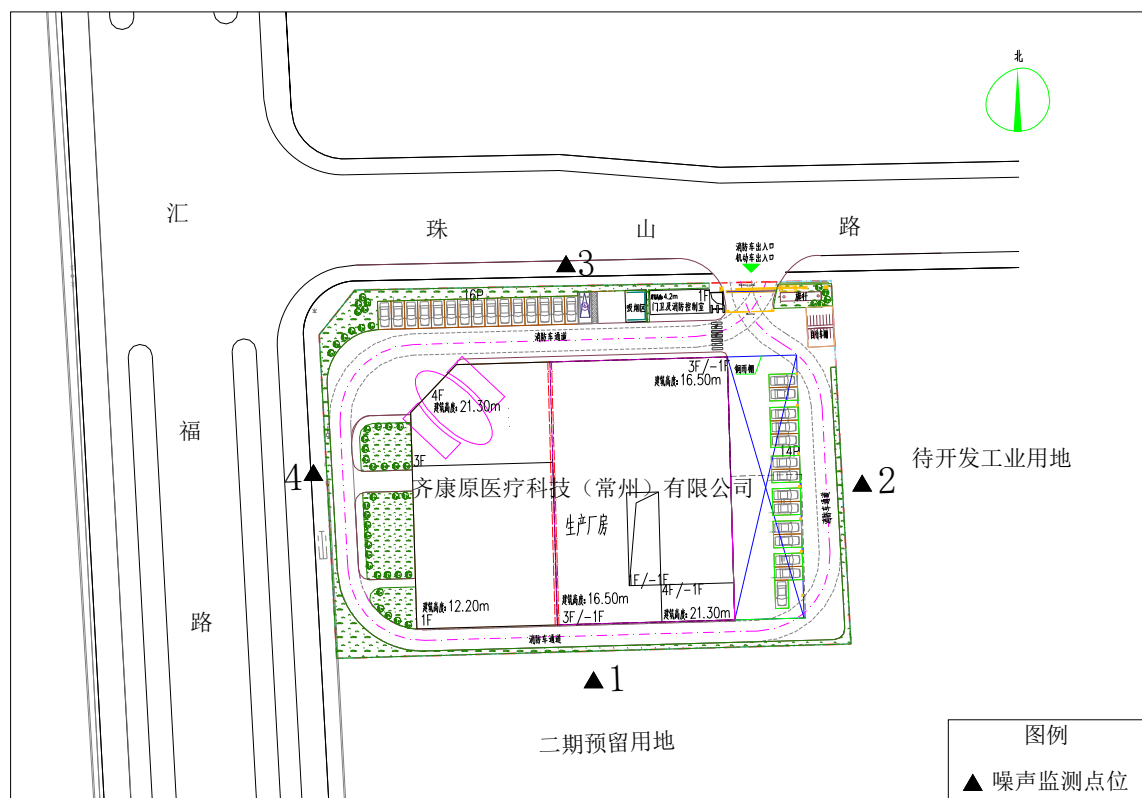


图2.4-4 齐康原医疗科技（常州）有限公司厂区边界噪声监测点位示意图

2.5 场址适宜性评价

本项目属于《产业结构调整指导目录（2024年本）》（2024年修订）中的鼓励类（第六项“核能”中第4条“同位素、加速器及辐照应用技术开发），本项目属于高科技企业，符合可持续发展目标，项目的建成和实施可以为金坛经济开发区带来可观的经济效益，企业招收高层次的医药化学专业人才，提供研发创新平台，具有良好的社会效益，促进当地行业发展。因此本项目符合国家产业政策。

根据《市场准入负面清单（2025年版）》及《长江经济带发展负面清单指南（试行，2022年版）》，本项目不属于禁止准入类，属于许可准入类，“未经许可，不得从事放射性物品研究、运输和生产经营”，许可准入措施为“生产、销售、使用放射性同位素与射线装置单位的许可证核发”。

本项目位于公司生产厂房内，用地性质为工业用地，符合《金坛市城市总体规划》（2013-2030年）中土地利用规划的要求。

本项目放射性同位素生产车间占据生产厂房的一层,质检车间位于生产厂房二层的东部,放射性废物暂存间位于生产厂房地下层的西南部,均设计有相应的物理隔断和单独的人员、物流通道,并与非放射性工作场所有明确的分界隔离,不毗邻人员密集区。根据环境质量现状监测结果,项目场址及周围辐射环境质量现状在正常范围内。

根据分析可见,本项目符合国家产业政策和当地城市总体规划,本项目选址位于金坛经济开发区内,区域内基础设施配套良好,环境质量达标,辐射水平无异常,因此本项目选址是合理的。

第三章 工程分析与源项

3.1 项目规模与基本参数

3.1.1 项目规模

本项目主要建设内容为新建1座生产厂房，分为地下一层和地上四层，其中地下层用于暂存放射性核素生产和核素质控检验过程中产生的放射性废物；一层放射性同位素生产车间内开展放射性核素⁶⁸Ge的生产、销售；二层质检车间内开展放射性核素⁶⁸Ge的质检检验，主要包括放化实验和微生物实验；三层为办公和研发区；四层为会议室和楼顶平台。生产厂房的三层和四层不涉及放射性工作。

公司在生产厂房的一层建设放射性同位素生产车间，包括1座加速器机房和4间靶室，以及热室操作间、成品包装间、成品库、预留场所等，上述场所共用人流、物流通道，作为一个非密封放射性物质工作场所。加速器机房和4间靶室使用1台回旋加速器系统，最大能量为30MeV，属于I类射线装置。热室操作间新建1套放射性同位素提纯、分装热室，共包括5个热室，放射性同位素生产车间年生产放射性核素⁶⁸Ge为5.60E+12Bq（约151Ci），日最大生产量为4.67E+10Bq（约1.26Ci），日等效最大操作量为4.67E+11Bq，属于甲级非密封放射性物质工作场所。

公司在生产厂房的二层建设质检车间，包括放化实验室和微生物实验室，两个实验室共用人流、物流通道，作为一个非密封放射性物质工作场所。质检车间内放射性核素⁶⁸Ge日最大操作量为9.25E+08Bq（25mCi），日等效最大操作量为9.25E+07Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目核技术利用情况见表 3.1-1 和表 3.1-2，主要工程清单见表 3.1-3。

表3.1-1 主要业务内容

业务项目	涉及核素	类别	工作场所	备注
放射性核素 ⁶⁸ Ge 的生产、销售	⁶⁸ Ge	生产、使用、销售	生产厂房一层 放射性同位素生产车间	使用回旋加速器生产
放射性核素 ⁶⁸ Ge 的质检	⁶⁸ Ge	使用	生产厂房二层 质检车间	/

表3.1-2 本项目核技术利用项目一览表

射线装置							
序号	名称	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	束流强度 (μA)	工作场所	活动 种类
1	回旋加速器	IBA Cyclone® IKON 30	质子	30	1300	回旋加速器机房	使用

非密封放射性物质						
序号	核素名称	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	工作场所名称	活动种类
1	^{68}Ge	4.67E+10	4.67E+11	5.60E+12	生产厂房一层放射性同位素生产车间	生产、销售、使用
2	^{68}Ge	9.25E+08	9.25E+07	1.11E+11	生产厂房二层质检车间	使用

表3.1-3 工程清单

类型		项目内容
主体工程	放射性工作场所	放射性同位素生产车间、质检车间、放射性废物暂存间
	设备	加速器机房和靶室内 IBA Cyclone® IKON 30 型回旋加速器系统 1 台；放射性同位素生产车间内放射性同位素提纯、分装热室 1 套；质检车间内通风柜 1 套
	人员	1 名专职辐射防护负责人和 1 名辐射环境监测与评价专职人员（该 2 名人员需持注册核安全工程师证书）、2 名生产和实验主管、26 名生产和实验人员，共 30 名辐射工作人员
辅助工程	场所	研发和办公区以及各类辅助机房等
	设备	配套的辐射防护检测设备
公用工程	供水	依托生产厂房主体项目
	供电	依托生产厂房主体项目
环保工程	放射性废气	项目一层放射性同位素生产车间、二层质检车间和地下层放射性废物暂存间均设计有通风系统，加速器机房、靶室通风换气次数不低于20次/h（机房排风量4373.2m³/h、1#靶室排风量1018.4m³/h、2#靶室排风量859.3m³/h），其他辐射工作场所及地下放射性废物暂存间通风换气次数不小于2次/h，热室、通风柜风速不低于1m/s，热室、通风柜的顶壁设计有高效过滤器，各辐射工作场所的排风系统设计有止回阀，6套放射性排风系统在生产厂房的二层设计有高效过滤器，在三层屋顶汇至主排气管道，并设置1个总排放口，1套含酸废气的排风系统在三层屋顶单独设计有1个排放口，并设计有活性炭过滤装置，该两个废气排放口均高出三层屋顶6.5m，高出四层屋顶约2m，排放口周围200m范围内没有高于本项目生产厂房的其他建筑物。
	放射性废水	<p>（1）回旋加速器系统冷却水正常情况下闭式循环使用，不外排。如发生冷却水泄漏或加速器系统检修，泄漏或外排的冷却水经机房或靶室地面预埋管道排至地下层放射性废物暂存间的放射性废水衰变系统内单独储存，暂存至少1年后取样检测，满足总$\alpha < 1\text{Bq/L}$、总$\beta < 10\text{Bq/L}$、^3H的放射性活度浓度$< 10\text{Bq/L}$后，重新回用或作为非放射性废水由有资质单位回收处置。</p> <p>（2）靶材在热室化学提纯过程中，每批次产品生产产生的含有放射性的废酸溶液，包括废硫酸溶液、废盐酸溶液，在生产过程中分类收集，收集容器为两层结构，内层为防摔玻璃瓶、外套锡罐，在防摔玻璃瓶内提前放置树脂粉将废液进行固化，降低废液流动性，并分别用塑料和锡制材质的盖子双层</p>

	<p>密封盖紧，防摔玻璃瓶和锡罐外表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签。通过废物转运容器运送至地下层放射性废物暂存间的放射性废物仓储系统，并在防护柜取出锡罐，由桁车吊至仓储系统的蜂巢仓内进行暂存，作为放射性固体废物定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。</p> <p>（3）放射性同位素生产车间的清洗间设计有清洗池，控制区出入口处设计有洗手池，工作场所的清洗废水倒入清洗间的清洗池，通过专用管道排至地下层放射性废物暂存间的放射性废水衰变系统，工作人员操作放射性核素后的清洗废水通过专用管道排至地下层放射性废物暂存间的放射性废水衰变系统，清洗废水在放射性废水衰变系统内进行暂存，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。</p> <p>（4）质检车间每批次产品质检产生的放射性工艺废液，收集在防摔玻璃瓶中，外套锡罐，防摔玻璃瓶和锡罐外表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签，通过废弃物转运铅罐运送至地下层放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域暂存，暂存十个半衰期，经检测容器表面辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于0.08Bq/cm^2、β表面污染小于0.8Bq/cm^2后，再移至危废暂存间内，最终作为危废定期委托有资质的危废回收单位回收处置。</p> <p>（5）质检车间的放化实验更衣室和放化实验室设计有洗手池，设备器皿及工作场所等清洗产生的含放射性核素的清洗废水倒入洗手池，通过专用管道排至地下层放射性废物暂存间的放射性废水衰变系统内进行暂存，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。</p> <p>（6）放射性同位素生产车间和质检车间的卫生通过间设计有成品应急淋浴系统，应急淋浴下方设置集水箱，每次应急淋浴产生的放射性废水收集在集水箱中，密封后（箱体表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签）运送至地下层放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域暂存，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。</p>
放射性 固废	<p>（1）加速器机房区域设计有加速器废弃物间，废弃物间内设置1个高活性铅废物桶和1个非高活性铅废物桶，铅废物桶内放置专用垃圾袋，分别用于储存废碳膜等高活性固废和一次性沾污废物等非高活性固废，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。</p> <p>（2）加速器系统检维修过程中产生的活化部件由承担维护保养的设备生产单位（IBA公司）负责从机房或靶室中取出，密封在专用垃圾袋内（垃圾袋表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签），暂存在加速器废弃物间中，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。</p> <p>（3）热室内产生的废靶件、离子树脂交换柱等放射性固体废物分别用收集容器进行收集，收集容器为内衬塑料的锡罐，并用内衬塑料的锡制盖子密封盖紧，锡罐外表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签。通过废物转运容器运送至地下层放射性废物暂存间的放射性废物仓储系统，并在防护柜取出锡罐，由桁车吊至仓储系统的蜂巢仓内进行暂存，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。</p> <p>（4）热室检维修过程中产生的废弃元器件由设备生产单位（ITD公司）负责从热室中取出，密封在专用垃圾袋内（垃圾袋表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签），运送至地下层放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域暂存，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。</p>

		(5)放射性同位素生产车间、质检车间和放射性废物暂存间被污染的手套、口罩、工作服、吸水纸、注射器、移液器、高效过滤器的滤芯、毛细管、针头等耗材，一般放射性活度较低，分类收集后进行密封并在垃圾袋表面贴上标签（注明废物类型、存放日期等信息），运送至地下层放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域暂存，经检测垃圾袋表面辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，作为非放射性固废由有资质的危废回收单位回收处置。
	危险废物	靶材在热室化学提纯过程中使用硫酸、盐酸、柠檬酸等化学试剂，每年产生约9.3L的废酸（主要是超过有效期的废弃试剂，不含放射性），分类收集密封在专用玻璃瓶中，作为危险废物暂存于危废暂存间，定期委托有资质的危废回收单位回收处置。 放射性核素生产及质检过程中产生的不含放射性的无菌瓶、卡套、硅胶板、移液枪枪头、针头针孔、培养基、废活性炭等，分类收集密封在专用垃圾袋中，作为危险废物暂存于危废暂存间，定期委托有资质的危废回收单位回收处置。
	废水	工作人员产生的少量生活污水排入城市污水管网。
	固体废物	项目运行过程中产生的非放射性工艺固体废物分类收集后交由废品收购站处置，对不可回收的固体废物集中收集后交由市政环卫部门处理；工作人员产生的少量生活垃圾交由市政环卫部门定期清运。
	废气	加速器机房内产生的少量臭氧和氮氧化物通过通风系统排入大气环境中。
	噪声	项目采用低噪声的风机，采取基础减振，进行降噪处理，经建筑隔声、距离衰减，对周围环境影响很小。

3.1.2 放射性核素用量

本项目回旋加速器技术参数和放射性同位素的操作量见表3.1-2，根据表3.1-2可知，本项目放射性同位素生产车间日等效最大操作量为 $4.67\text{E}+11\text{Bq}$ ，质检车间日等效最大操作量为 $9.25\text{E}+07\text{Bq}$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，本项目放射性同位素生产车间属于甲级非密封放射性物质工作场所，质检车间属于乙级非密封放射性物质工作场所。

3.1.3 主要原辅材料

本项目使用的原料、辅助材料主要是回旋加速器使用的靶材、靶材传输盒、化学分离提纯热室中使用的化学试剂、核素产品包装用的西林瓶、铅罐、外包装等，具体见表3.1-4。

表3.1-4 本项目原辅料年使用量一览表

原辅料名称	年使用量
靶材	120个
靶材传输盒	4个

产品包装用西林瓶	480个
产品包装用铅罐	480个
产品包装盒（含海绵、纸箱）	若干
化学试剂*	若干

*化学试剂种类和使用量具体见表3.3-1。

3.2 工程设备与工艺分析

3.2.1 回旋加速器

1、设备组成

回旋加速器一般由磁场系统、射频系统、真空系统、离子源系统、束流传输系统、诊断系统、靶系统和冷却系统等主系统组成；

①磁场系统：提供被加速的带电粒子在所控制的轨道中做圆周运动所需要的磁场强度，由磁铁、线圈、磁场电源配给系统等组成；

②射频系统：提供加速带电粒子所需的高频振荡加速电压，其频率与粒子多级轨道的旋转频率相等，由射频谐振腔、射频发生器和馈通电缆组成；

③离子源系统：产生需要加速的负离子，由离子源、离子源电源配给器和气体控制系统组成。离子源的类型是冷阴极电离计，产生氢负离子或氘负离子；

④束流传输系统：直接将加速的带电负离子从真空箱中引出，该系统的基础是剥离膜。被加速的负离子在通过剥离膜时被脱去2个电子而转变为阳离子，并能够调整引出的束流进入所选定的核素生产靶；

⑤靶系统：是完成特定核反应而产生产品核素的装置，各种类型的靶系统主要由自动充靶系统、靶室、真空绝缘箔、冷却系统组成；自动充靶系统采用气动装置将靶件传输到靶室；

⑥真空系统：建立离子加速所需要的真空压力水平，降低束流的丢失，为高电压射频场提供绝缘；

⑦冷却系统：水冷却系统主要用于从不同系统中将热量带出，带出的热量在二级冷却系统中进行热交换，并将热量传送到初级冷却系统。

2、特征参数

本项目在加速器机房和4间靶室内安装1套IBA Cyclone® IKON 30型回旋加速器系统，该系统主要由1台回旋加速器、束流传输系统、4个靶站和控制系统组成。本项目IBA Cyclone® IKON 30型回旋加速器系统主要技术参数见表3.2-1，主要结构外观

示意图见图3.2-1，束流传输系统和靶站主要结构示意图见图3.2-2。

表 3.2-1 本项目 IBA Cyclone® IKON 30 型回旋加速器主要技术参数

指标	参数
加速器类型	回旋加速器
射线种类	质子
最大能量	30MeV
最大束流强度	1300μA
打到 2 个靶材上的束流强度	2×500μA
加速器功率	100kW
设备预期使用寿命	20 年

生产放射性核素 ^{68}Ge 的基本参数见表 3.2-2。

表 3.2-2 本项目回旋加速器生产核素离子的基本参数

生产的核素	核反应	靶	质子能量 (MeV)	最大束流强度 (μA)	照射时间 (h)	最大产额 (Ci)
⁶⁸ Ge	⁶⁹ Ga (p, 2n) ⁶⁸ Ge	固体靶 ⁶⁹ Ga	30	500	约 120	1.26

3、工作原理

在回旋加速器中心部位的离子源经高压电弧放电而使气体电离发射出粒子束流，该粒子束流在称为Dee的半圆形电极盒（简称D型盒）中运动。D型盒与高频振荡电源相联为加速粒子提供交变的电场。在磁场和电场的作用下被加速的粒子在近似于螺旋的轨道中运动加速，经多次加速后被加速粒子能量达到一定值时偏转引出，与其路径上的靶核碰撞，入射粒子被靶核吸收，激活的靶核发生核反应发射出中子或α粒子，同时可产生具有一定阈能的放射性核素。放射性核素的产率取决于束流强度、被轰击靶物的量、核反应截面及轰击时间，通过改变靶物质可获得不同的放射性核素。

根据回旋加速器基本原理，本项目加速粒子（质子）在真空中加速至指定能量，加速粒子加速过程不产生感生放射性核素，仅在加速粒子打在靶材料上之后，靶材料俘获加速粒子，产生放射性同位素；同时，周围屏蔽材料俘获加速粒子后，可能会产生少量短半衰期放射性同位素。

回旋加速器的工作原理如图3.2-3所示。

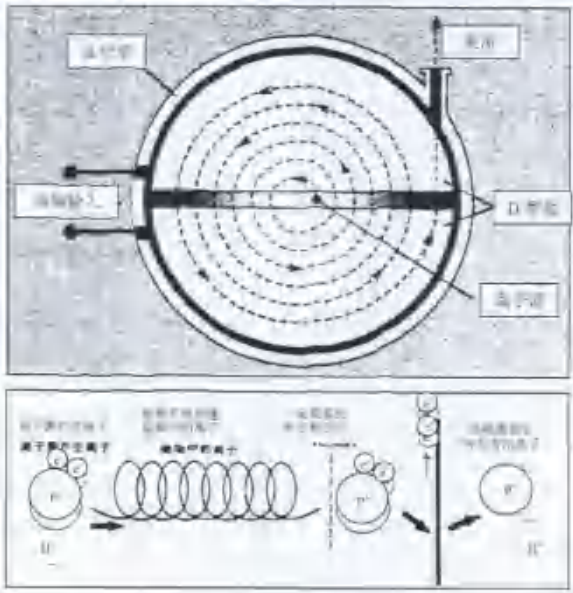
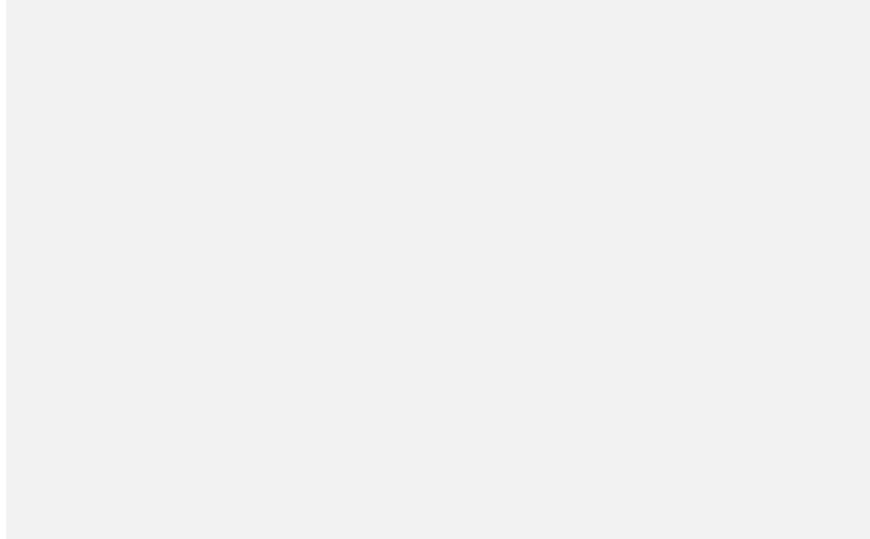


图 3.2-3 回旋加速器工作原理示意图

3.2.2 靶站

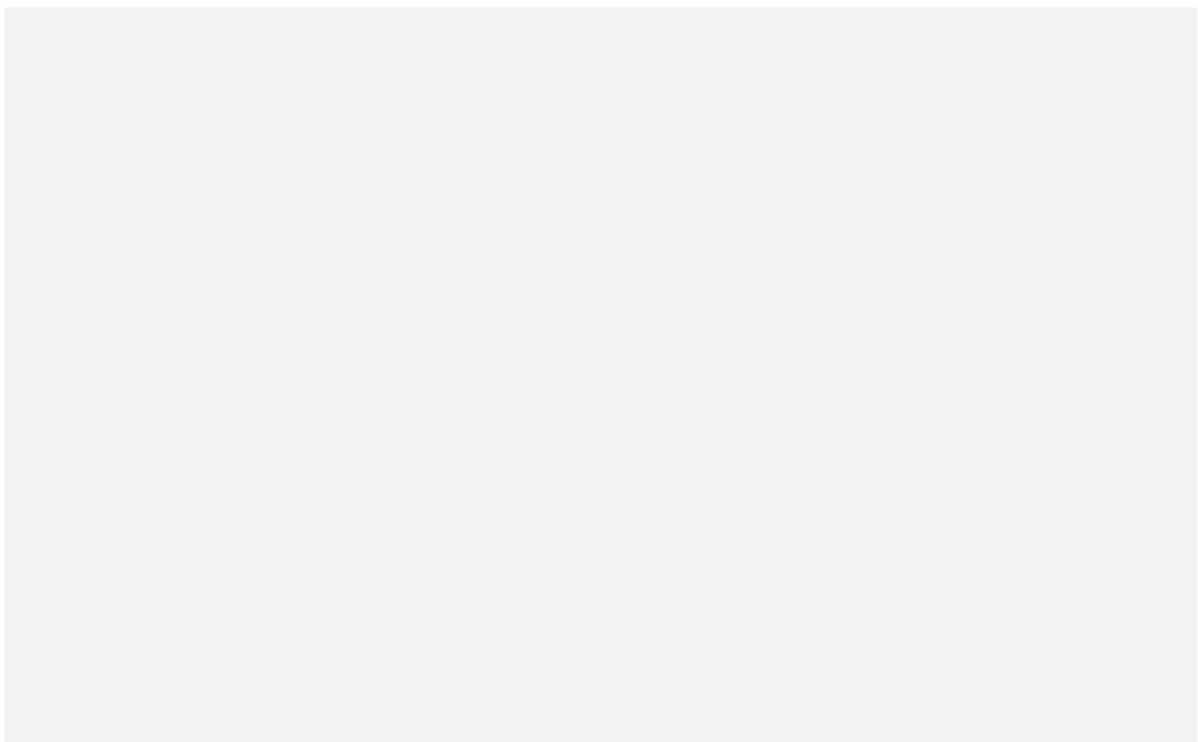
回旋加速器在靶室内对固定在靶站上的靶材进行大束流照射，轰击⁶⁹Ga通过(p,2n)反应生成⁶⁸Ge。

本项目1台回旋加速器设有4条束流传输线，每条传输线穿过加速器机房屏蔽墙，进入4间靶室，每间靶室内建有1个靶站。本项目只使用西侧的两条传输线和2间靶室（1#靶室和2#靶室）生产放射性同位素 ^{68}Ge ，另外预留的两条传输线和2间靶室（3#靶室和4#靶室）与本项目一并建设用于二期使用，为今后生产其他放射性同位素预留，本期生产放射性同位素 ^{68}Ge 不使用3#靶室和4#靶室。靶站外观示意图见图3.2-4。



3.2.3 热室

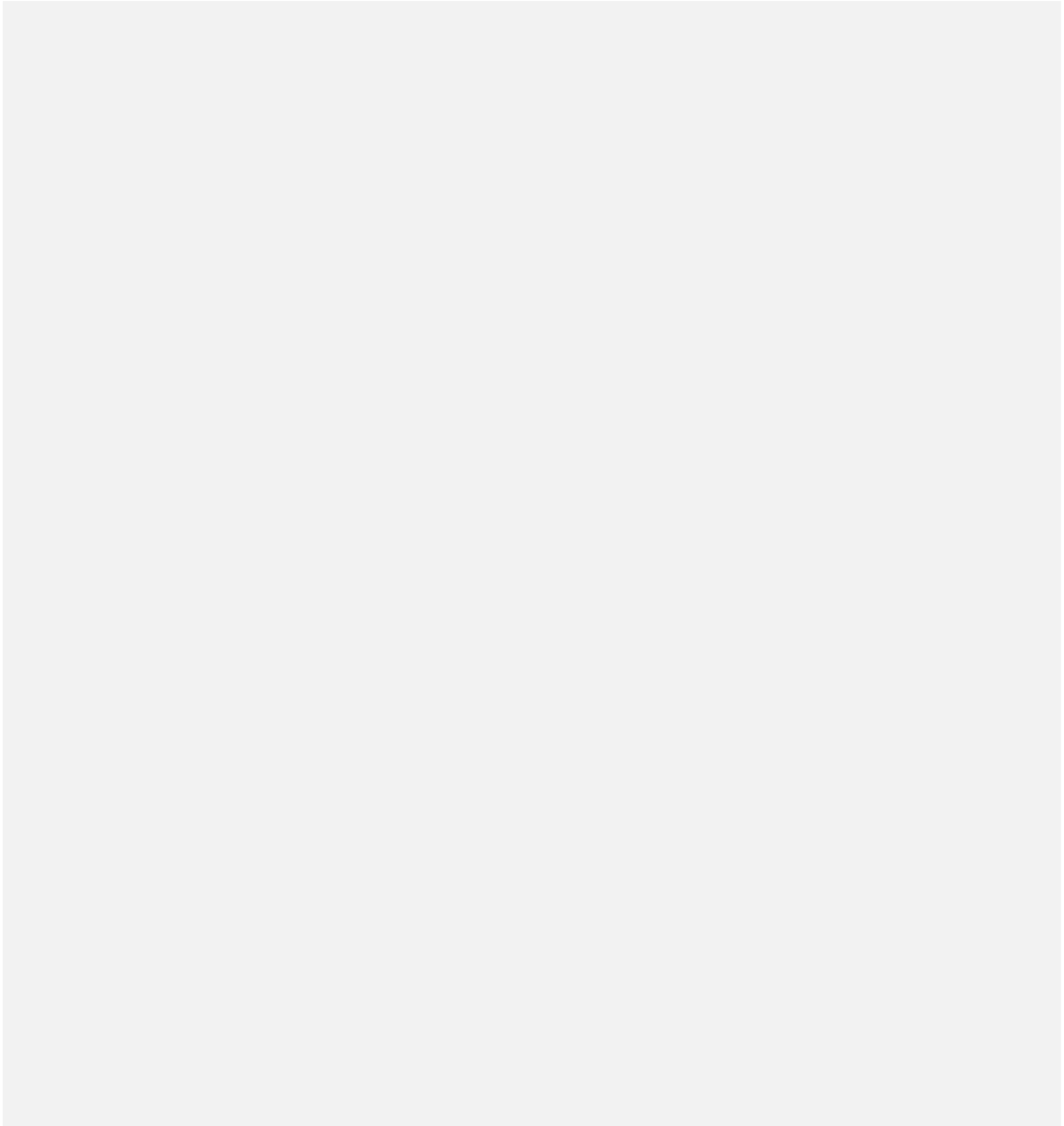
靶室内经照射后的靶材，经靶材传输系统传输至热室区域。热室区域内安装有1套提纯分装热室（简称热室）。该装置由德国EZAG公司下属子公司-德累斯顿（ITD）公司设计并建造，在齐康原医疗科技（常州）有限公司厂区内组装。



3.2.4 靶材设计和结构

本项目从回旋加速器的束流传输线上引出质子束流，轰击靶室内固体靶，经热室内放射化学提纯和分装后，最终得到放射性同位素 ^{68}Ge 。

本项目使用的靶材均为外购成品，齐康原医疗科技（常州）有限公司厂区内不进行相关靶材的制作和加工。

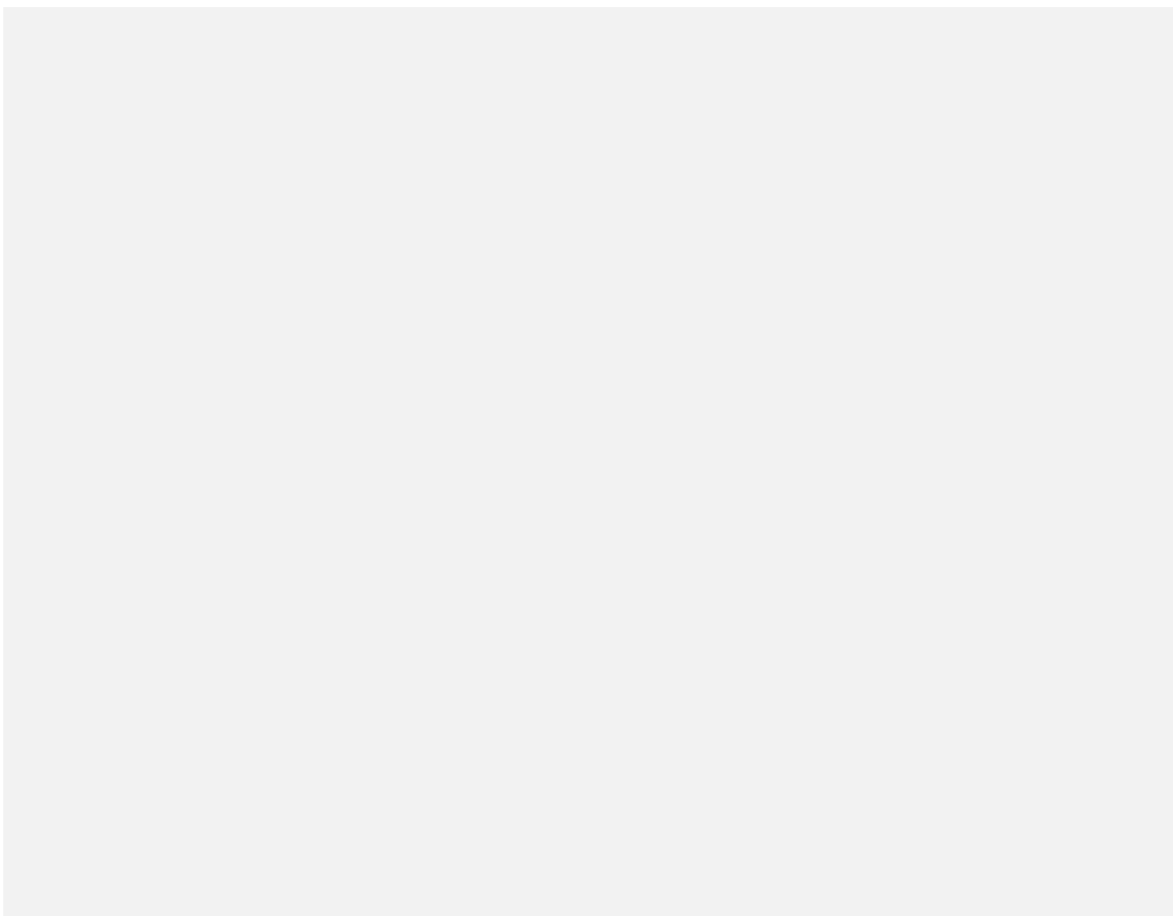


3.2.5 靶材传输系统

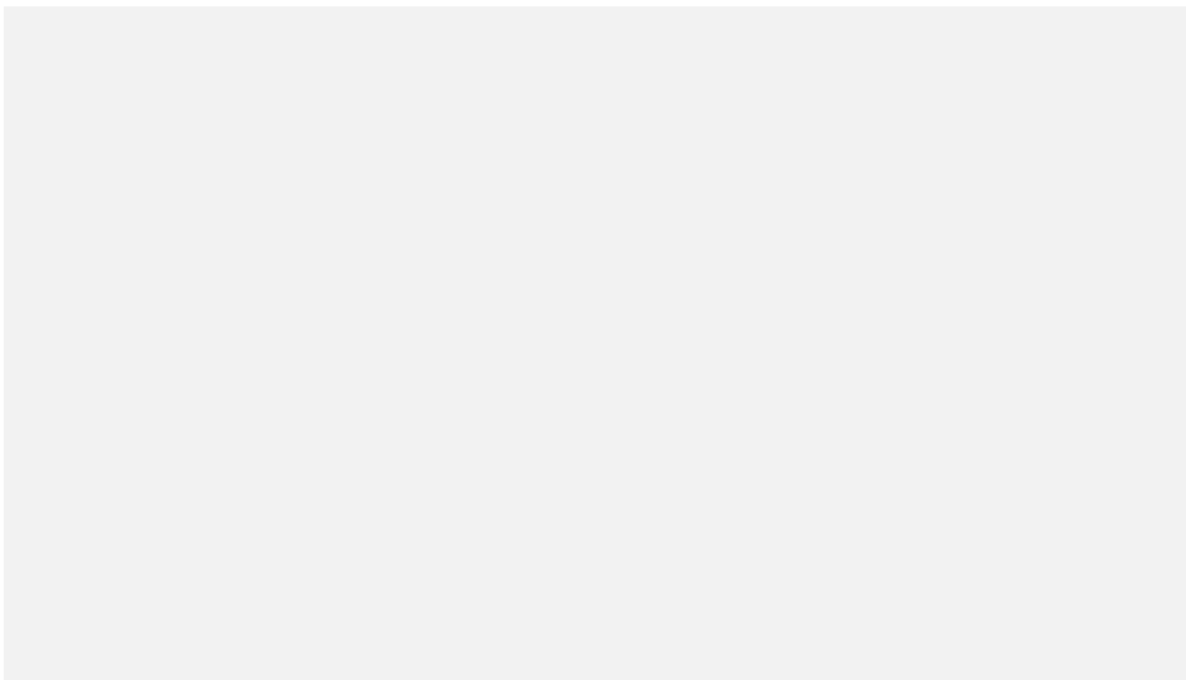
1、靶材传输系统结构和运行

靶材通过传输管道在靶站和1#接收热室之间传输，传输时靶材装在靶材传输盒中。靶站和1#接收热室之间的传输管道水平铺设在地下，地下传输管道深度约70cm，最

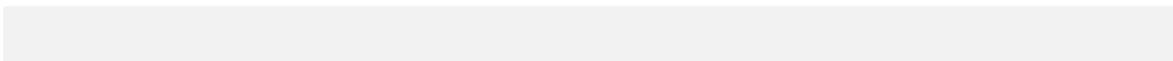
下面是传输管道，



2、靶材传输盒



3、热室至靶站之间的靶材传输



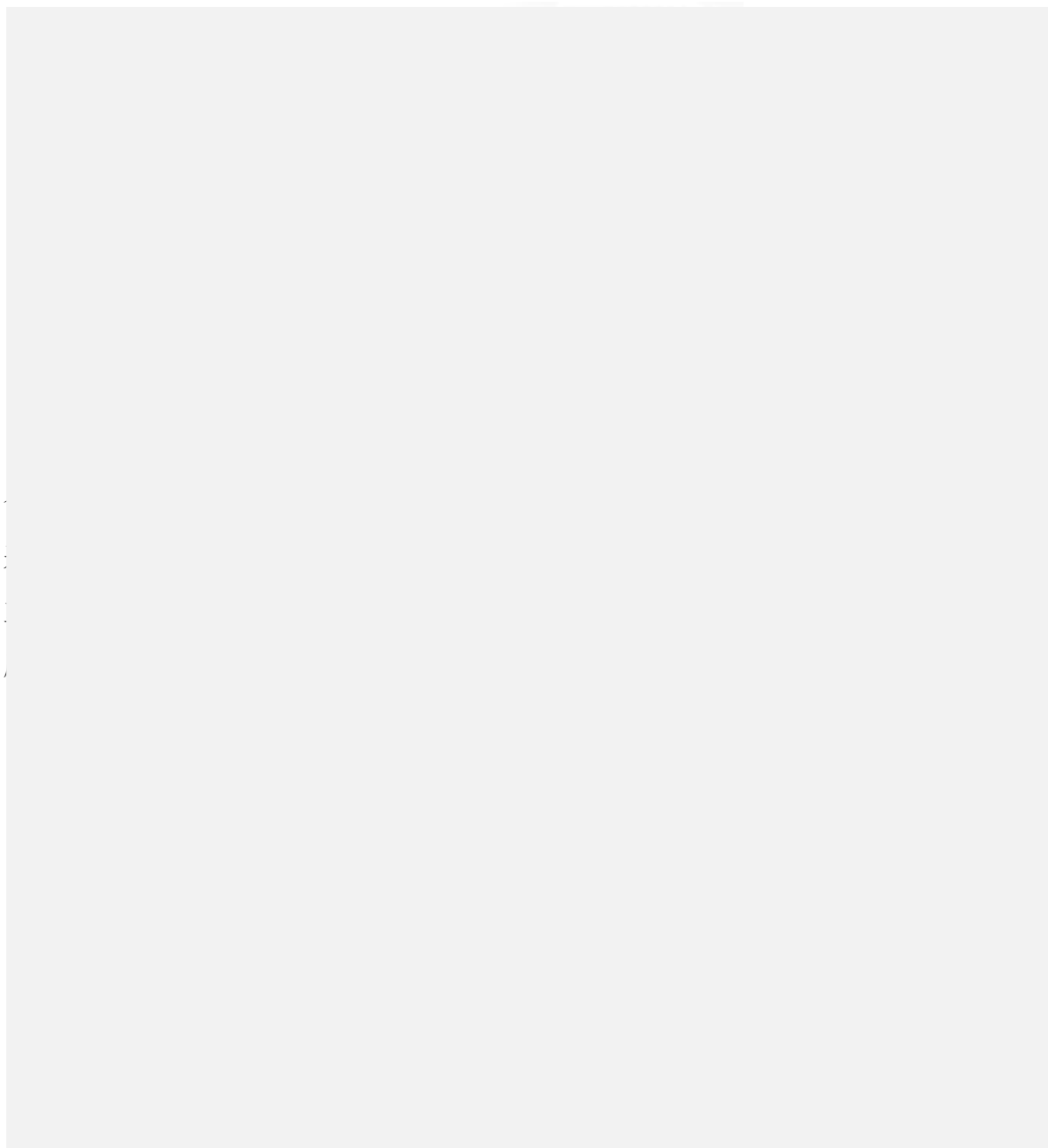
4、热室内靶材接收装置设计

热室内的靶材接收装置根据工艺流程分两部分设计，一是新靶材经热室左侧的小铅门放置在1#接收热室中，再通过传输系统送至靶室，二是靶室内完成打靶后，旧靶材经传输系统传输至1#接收热室。

3.2.6 包装间及成品库

放射性核素⁶⁸Ge在3#或4#化学提纯热室提纯后通过毛细管输送至5#分装热室，并在5#分装热室中由分装设备自动分装至4个西林瓶中（单瓶活度不超过250mCi），操作人员在热室操作位通过热室的机械杆将西林瓶放置于货包铅罐中，每个西林瓶对应

一个货包铅罐，每瓶分装结束后工作人员打开5#分装热室将运输铅罐取出，并通过热室操作间南侧的传递窗传出，运送人员将货包铅罐放置在运输小车上，经走廊和包装缓冲间运送至包装间，共分4次运送，每次只运送一个铅罐。货包铅罐结构示意图见图3.2-12。



3.2.7 质检车间

1、质检用放射性核素来源及运输

二层质检车间所需的放射性核素来自一层放射性同位素生产车间的5#分装热室，生产的每批次 ^{68}Ge 同位素产品在5#分装热室内分装出不超过25mCi的样品至西林瓶中并放置在铅罐内，运送至二层质检车间用于产品出厂前的质控检验和留样保存。

质检车间使用的放射性核素先在5#分装热室内分装在西林瓶中，放入铅罐中，铅罐通过热室操作间的传递窗传出后，放置在运输小车上，由一层辐射工作人员用运输小车经走廊运送至一层中部核素专用货梯（G货梯），人员不能进入核素专用货梯，样品乘货梯到达二层后由质检车间工作人员接收。放射性同位素生产车间辐射工作人员在运送前填写相关记录便于与质检车间工作人员交接。

2、样品接收

质检车间工作人员收到核素铅罐后，核对样品，做好样品登记和相关台账，然后运送至样品接收间的通风柜内。

3、留样和质控检验

核素样品在样品接收间内的通风柜中先进行溶液清晰度检验和PH检测，然后稀释并依次分装出3份留样样品至3个西林瓶中，每个西林瓶0.5ml的样品，除了留样样品1.5ml（3瓶）以外，其余核素样品经稀释后分别取样送至放化实验室和微生物实验室进行质控检验。

3.2.8 公用和辅助工程

3.2.8.1 空调与通风系统

空调与通风系统为放射性工作场所的工作人员提供新鲜空气并控制空气的温湿度，可实现空气净化、除湿、降温、供暖、新风量调节等多种功能。空调与通风系统利用新风过滤装置对入风进行净化，送入各个场所。加速器机房、靶室和热室区域内保持负压，并设置单独的排风管道。本项目一层放射性同位素生产车间、二层质检车间和地下层放射性废物暂存间共设置7套独立的排风系统，其中6套为放射性排风系统，1套为危废暂存间、准备间和理化间的含酸废气排风系统，6套放射性排风系统在生产

厂房的二楼设计有高效过滤器，在三层屋顶汇至主排气管道，并设置1个总排放口（距四层会议室约40m），1套含酸废气的排风系统在三层屋顶单独设计有1个排放口（距四层会议室约29m），并设计有活性炭过滤装置，该两个废气排放口均高出三层屋顶6.5m，高出四层屋顶约2m，排放口周围200m范围内没有高于本项目生产厂房的其他建筑物。生产厂房内三层和四层建筑内的辅房和办公、研发区的排风管道在生产厂房屋顶另设排放口。

本项目各场所的排风系统在汇合前设计有止回阀，止回阀与通风系统联锁，通风系统关闭时同步关闭止回阀，防止放射性废气从该系统所在的辐射场所与其他场所相通，同时防止各管路之间逆向回风。本项目加速器机房（排风量4373.2m³/h）、靶室（1#靶室排风量1018.4m³/h、2#靶室排风量859.3m³/h）的通风换气次数不小于20次/h，其他辐射工作场所及地下放射性废物暂存间通风换气次数不小于2次/h，并维持控制区压力小于监督区，保证空气从监督区流向控制区，防止污染扩散。

3.2.8.2 加速器循环冷却水系统

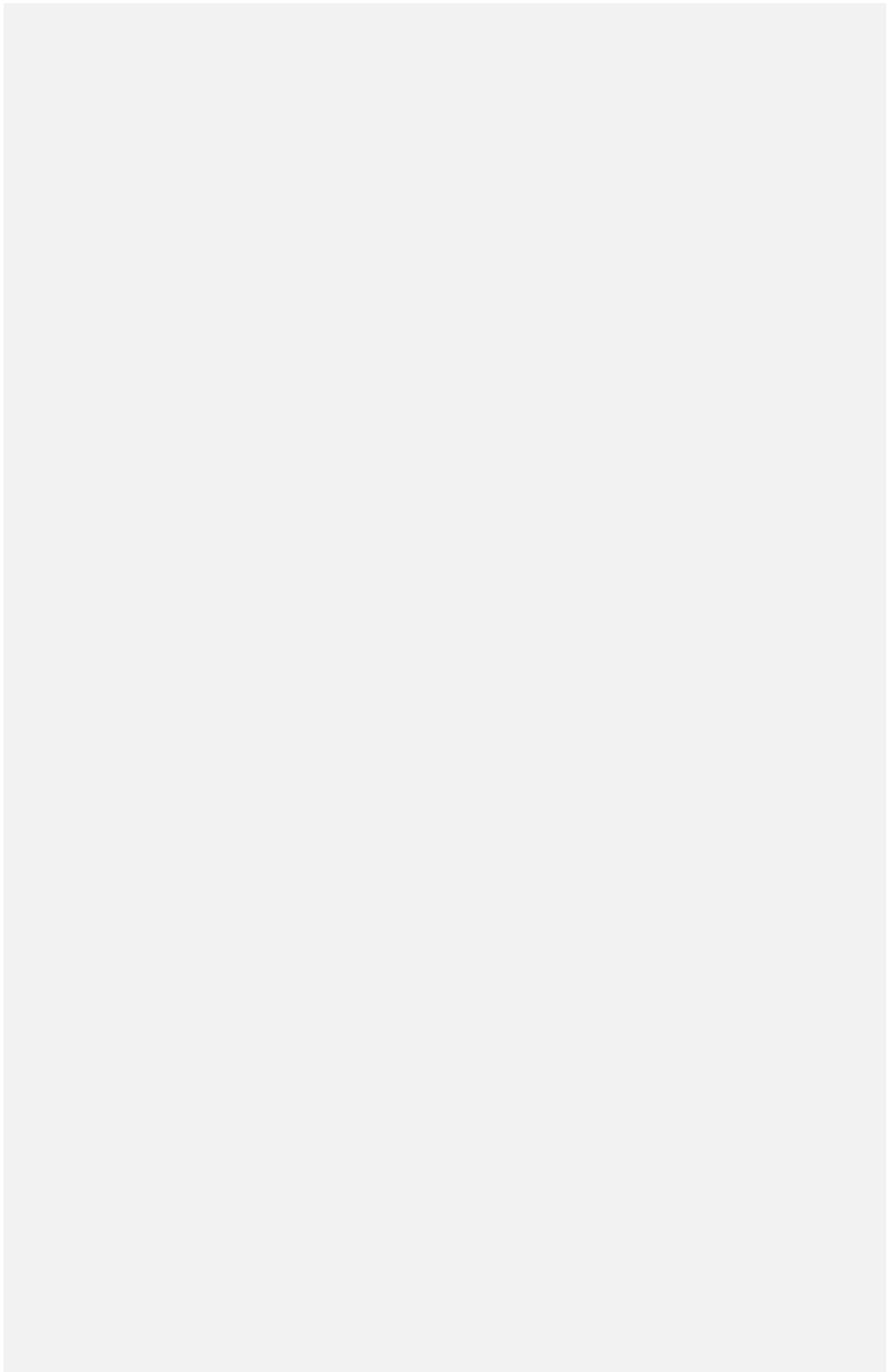
回旋加速器和打靶系统均配备冷却水循环系统。冷却水的冷源由制冷机组提供，经换热器热交换之后产生冷却水为加速器、电源柜、靶站和传输系统提供冷却。冷却水使用去离子水。

冷却水系统中冷却水共有3个回路，回旋加速器冷却水量为300L，单个靶站冷却水量为200L，回旋加速器与打靶系统冷却水总量为1.1m³。冷却水循环使用，日常运行不外排，每年根据耗损情况补充约0.01m³。

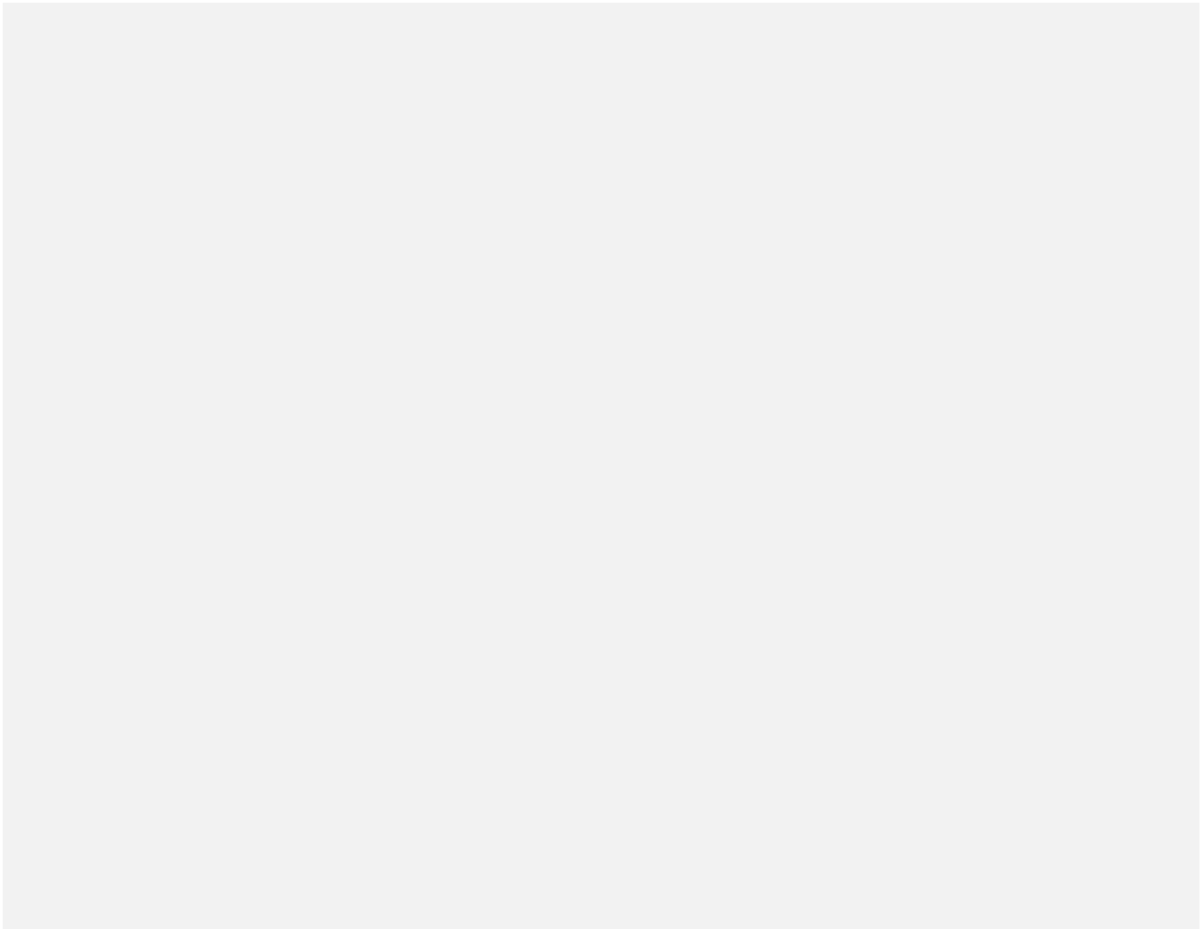
3.2.8.3 放射性废物仓储系统

公司拟在地下层放射性废物暂存间的高活度放射性废物储存区#3（0-160区域）设计一套放射性废物仓储系统，主要包含4个部分：锡罐储存蜂巢、废物防护柜、吊装桁车、仓储管理系统。

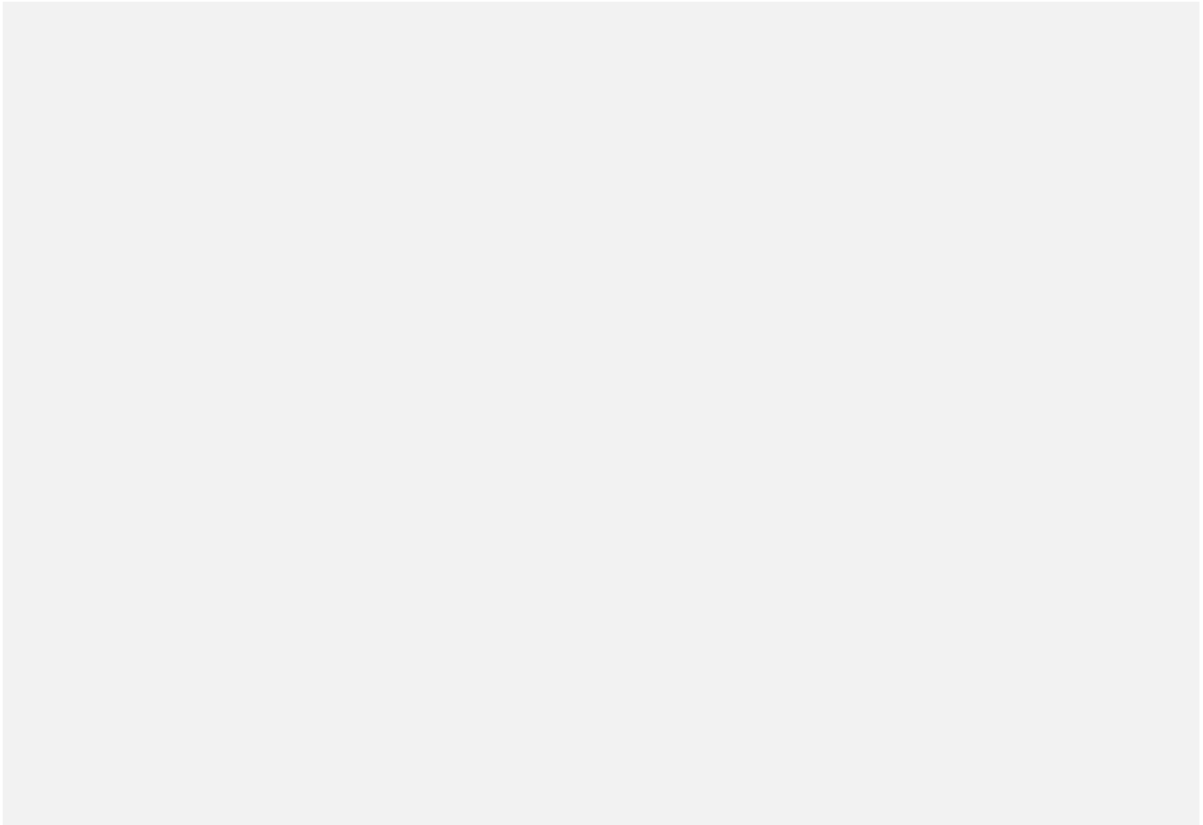
1、锡罐储存蜂巢

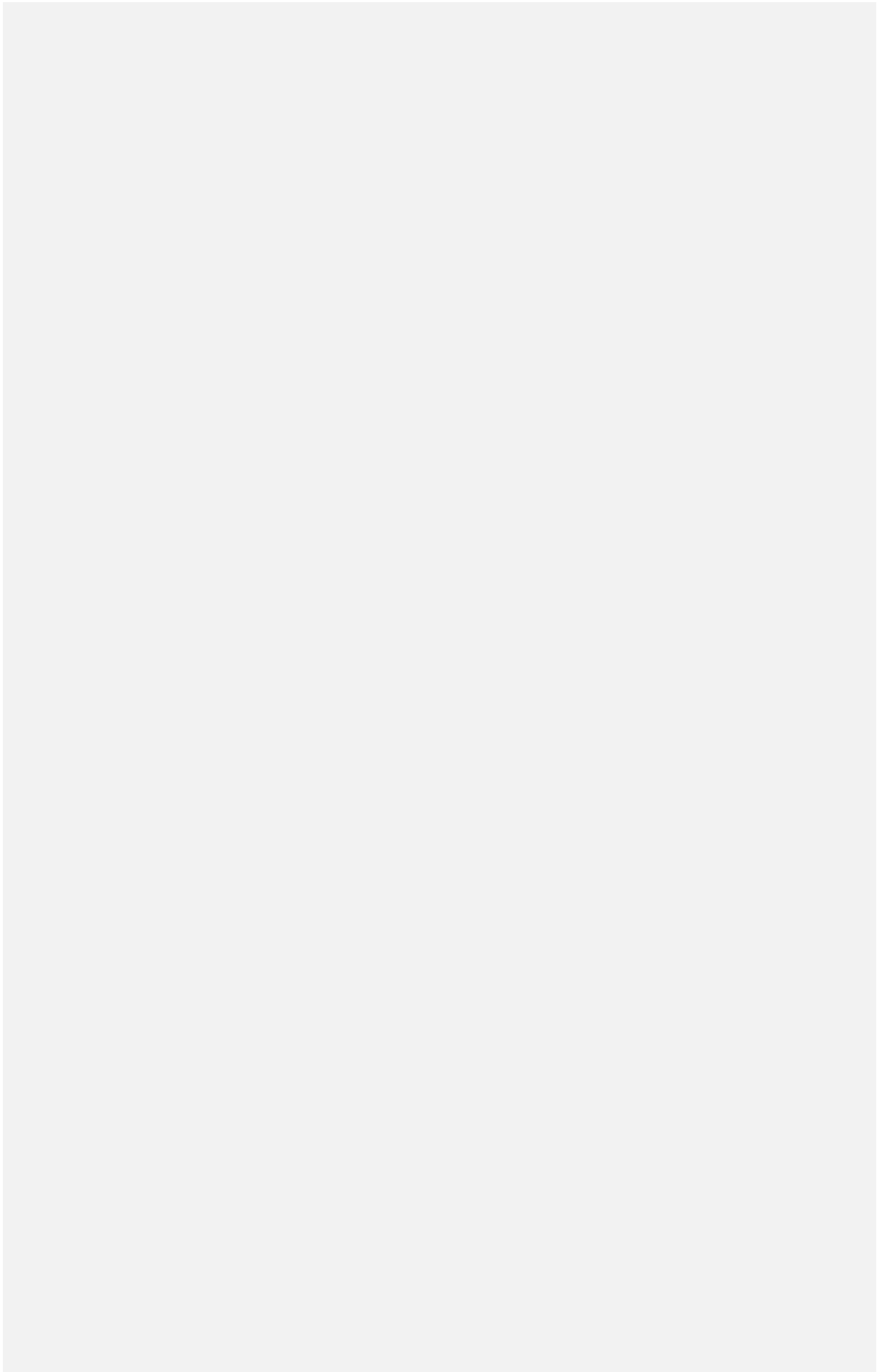


2、废物防护柜



3、放射性废物的包装、转运、吊装





4、仓储管理系统

仓储管理系统位于控制室内，主要负责锡罐编码、蜂巢编码、信息查询等数据管理功能。

本项目放射性废物仓储系统由WMS系统做信息收集与处理，存储和取出的流程正好相反。

3.2.8.4 放射性废水衰变系统

公司放射性废物暂存间内设计有一套槽式放射性废水衰变系统，包含3个不锈钢集水箱和30个不锈钢衰变罐，其中1#集水箱用于接收加速器机房和靶室检维修时外排的冷却水，2#集水箱用于接收一层放射性同位素生产车间放射性清洗废水，3#集水箱用于接收二层质检车间放射性清洗废水，30个不锈钢衰变罐用于放射性废水的储存衰变，30个不锈钢衰变罐并联使用，并分三层叠放，每个集水箱和衰变罐均采用防腐、防渗、耐酸碱腐蚀的材质，容积均为 1m^3 ，有效容积均为 0.8m^3 ，并设有取样口和电缆浮球液位计。本项目槽式放射性废水衰变系统的设计满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中槽式废液衰变池应由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为2组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液，在废液池上预设取样口，有防止废液溢出等相关措施的要求，本项目放射性废水衰变系统结构示意见附图15。

本项目放射性废水衰变系统的具体工作流程为：加速器机房和靶室外排的冷却水、放射性同位素生产车间和质检车间的清洗废水先通过专用管道流至相应的集水箱，当集水箱电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将打开相应衰变罐的进水阀，将1#集水箱中放射性废水排入一层的衰变罐，将2#集水箱中放射性废水排入二层的衰变罐，将3#集水箱中放射性废水排入三层的衰变罐，当衰变罐中放射性废水达到80%时，液位计报警，电子控制系统将自动关闭该衰变罐的进水阀，同时打开另外衰变罐的进水阀，依此类推，各层衰变罐交替使用。

3.3 工艺流程

3.3.1 放射性核素生产工作流程

项目设计变更后，放射性同位素 ^{68}Ge 生产工艺流程与原工艺流程一致，具体如下：

1、加速器开机运行：辐射工作人员每次开机前检查各项辐射安全措施，对加速

器机房和靶室清场后，返回控制室通过程序启动加速器开机运行，加速器连续运行，年开机时间最多300天，正常情况下，无需人员进入机房和靶室。

2、靶材安装：生产 ^{68}Ge 核素的靶为固体靶，靶材批量采购后存放于原料库。辐射

驱动新靶材传输至靶室内，靶材被自动安装到靶站上。

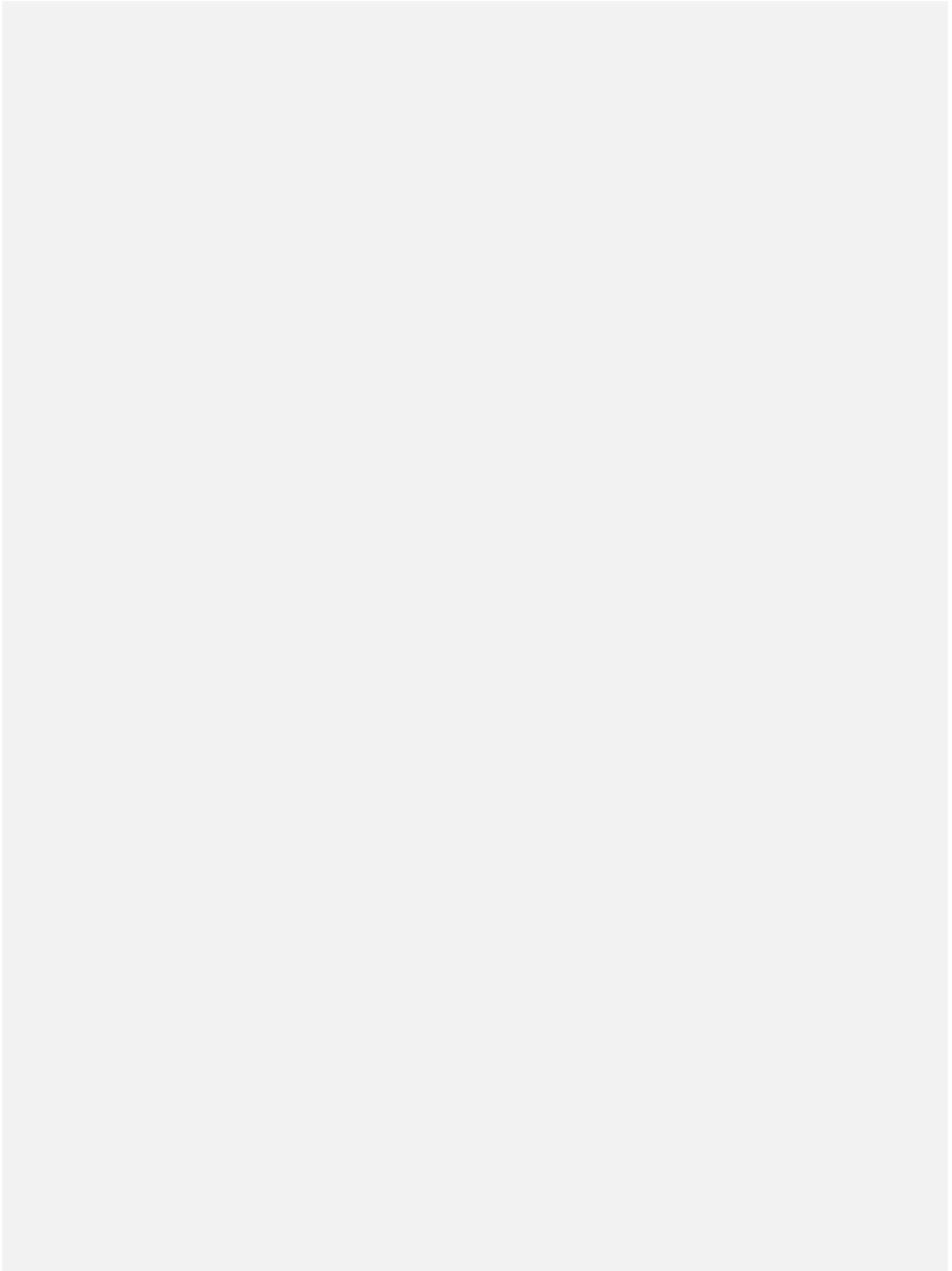
3、靶站照射：加速器开始照射靶材，通过 $^{69}\text{Ga}(\text{p}, 2\text{n})^{68}\text{Ge}$ 反应生产 ^{68}Ge 。质

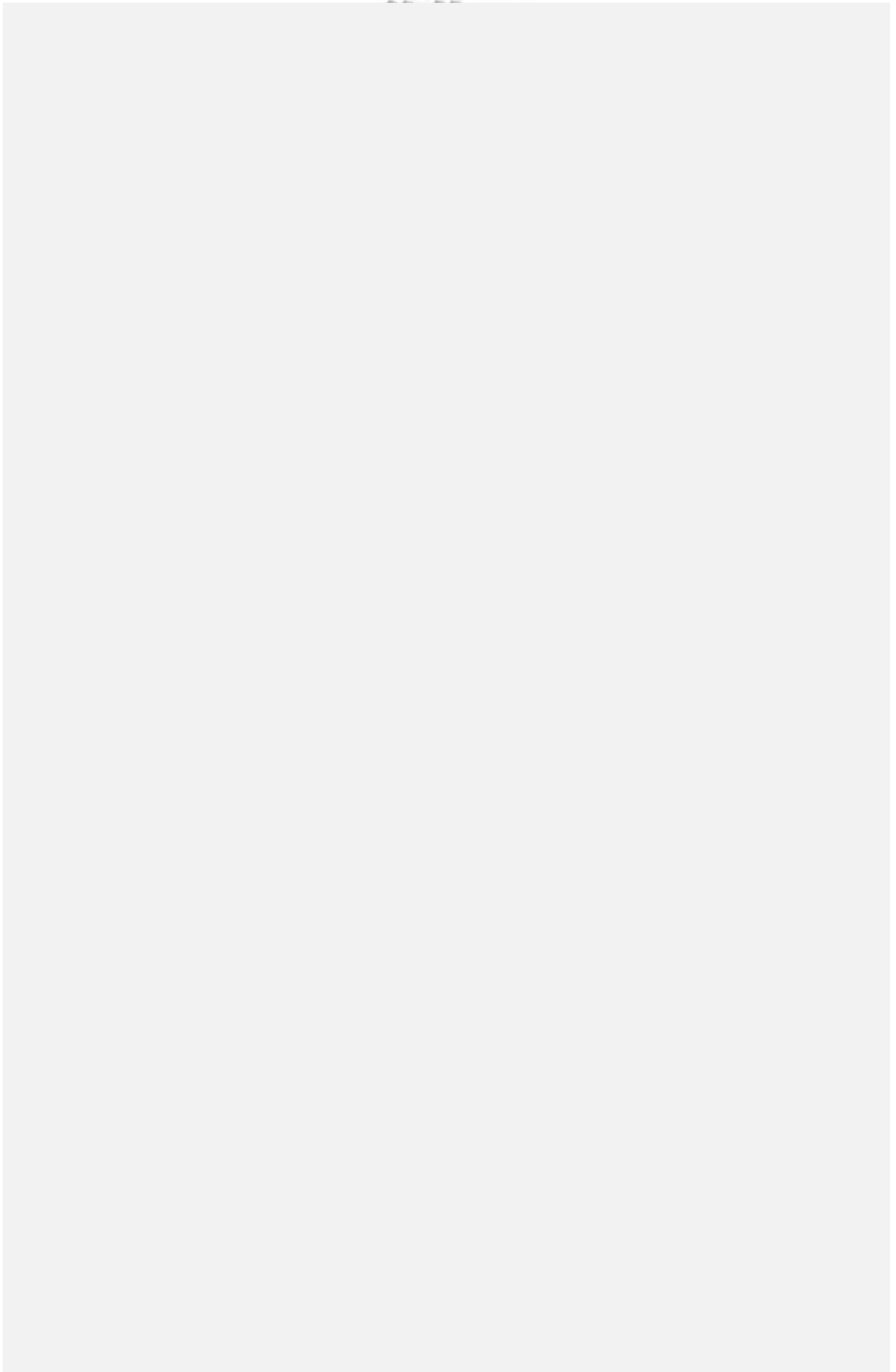
成1个靶的照射。靶材发生 $(\text{p}, 2\text{n})$ 反应时产生中子，并伴随着 γ 射线， γ 射线将加速器机房和靶室内的空气电离为臭氧和氮氧化物。

4、照射后的靶材在靶室内静置20分钟后，通过靶材传输系统，利用接收端-传输

5、辐射工作人员采用操作杆将靶材从1#接收热室转移至2#贮存热室，靶材在2#

6、辐射工作人员采用操作杆将靶材从2#贮存热室转移至3#或4#化学提纯热室，





8、质控检验、留样：生产的每批次 ^{68}Ge 同位素产品在5#分装热室内分装出不超过25mCi的样品至西林瓶中并放置在铅罐内，通过专用核素货梯运送至二层的样品接收间，在样品接收间内的通风柜中稀释并依次分装出3份留样样品至3个西林瓶中，（西林瓶放置在10mmPb铅罐中），每个西林瓶5mCi（0.5ml）的样品，除了留样样品15mCi（1.5ml，共3瓶）以外，其余核素样品经稀释后分别取样送至放化实验室、微生物实验室进行质控检验，每年实验室核素使用量体积为300ml（2.5ml/批，120批次/年）。

（1）放化实验

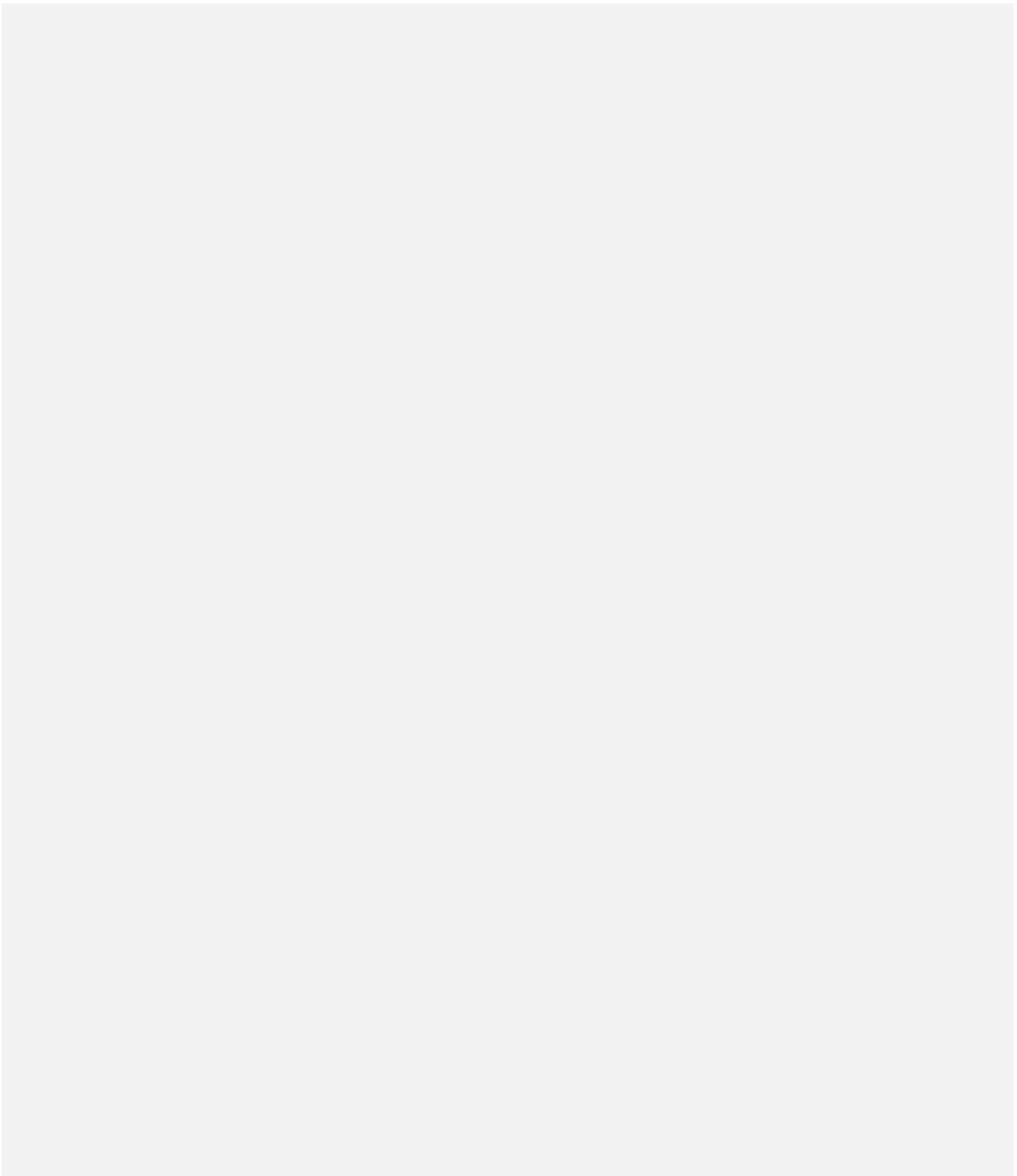
(2) 微生物实验

9、包装：装有⁶⁸Ge核素的货包铅罐从热室操作间运送至包装间后，包装间辐射工作人员手动操作，逐一将货包铅罐放入包装纸箱，并在包装纸箱内填充海绵等。包装后的货包需进行检测，满足相关表面辐射水平和表面污染标准后发货，若不满足相

关标准，则需去污或重新包装。不能及时发货的货包送至成品库暂存，若观察有铅罐有液体溢出、西林瓶有破损的情况，应及时去污，擦拭物和破损的西林瓶作为放射性固体废物处理。人员在搬运和包装放射性货包时会受到 γ 射线外照射辐射影响。

10、成品销售：根据销售订单，将包装好的同位素货包委托有资质的单位外运，销售给有需求的单位。外运前对运输容器、货包表面污染和辐射水平进行检测，满足运输要求的才能发货。货包外粘贴、填写签收单，内容包括：品名、批号、放射性活度、体积、生产时间、发货时间、订购单位以及订购剂量等。

本项目放射性同位素 ^{68}Ge 生产工艺流程及产污环节见图3.3-7。



3.3.2 成品库

由于放射性同位素具有时效性，本项目放射性核素生产执行以销定产的生产制度，生产的放射性核素打包后直接销售，正常情况下一般不在成品库内暂存，若遇特殊原因，最多在成品库内暂存2个批次的成品。

3.3.3 放射性核素的运输

本项目生产所需的原材料（主要是靶材、化学试剂等）均不含有放射性。

放射性同位素生产后的产品运输，公司拟委托有资质单位运输，运输期间的辐射安全管理由运输单位负责。

公司生产、销售的放射性同位素，按照《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）规定的II级A类货包进行包装，按照相关规定，货包外表面辐射剂量率不超过2mSv/h， α 表面污染水平不超过0.4Bq/cm²， β 表面污染水平不超过4Bq/cm²。货包在运输前，公司对货包表面辐射水平和表面污染水平监测，确保满足相关要求。

运输工作由建设单位委托有资质的专业公司，遵守《放射性物品运输安全管理条例》《放射性物品运输安全监督管理办法》和《放射性物品安全运输规程》等法律法规的要求，确保放射性物品运输安全，货运单位做好货包数量的核实和记录。

3.3.4 回旋加速器、热室设备运行负荷

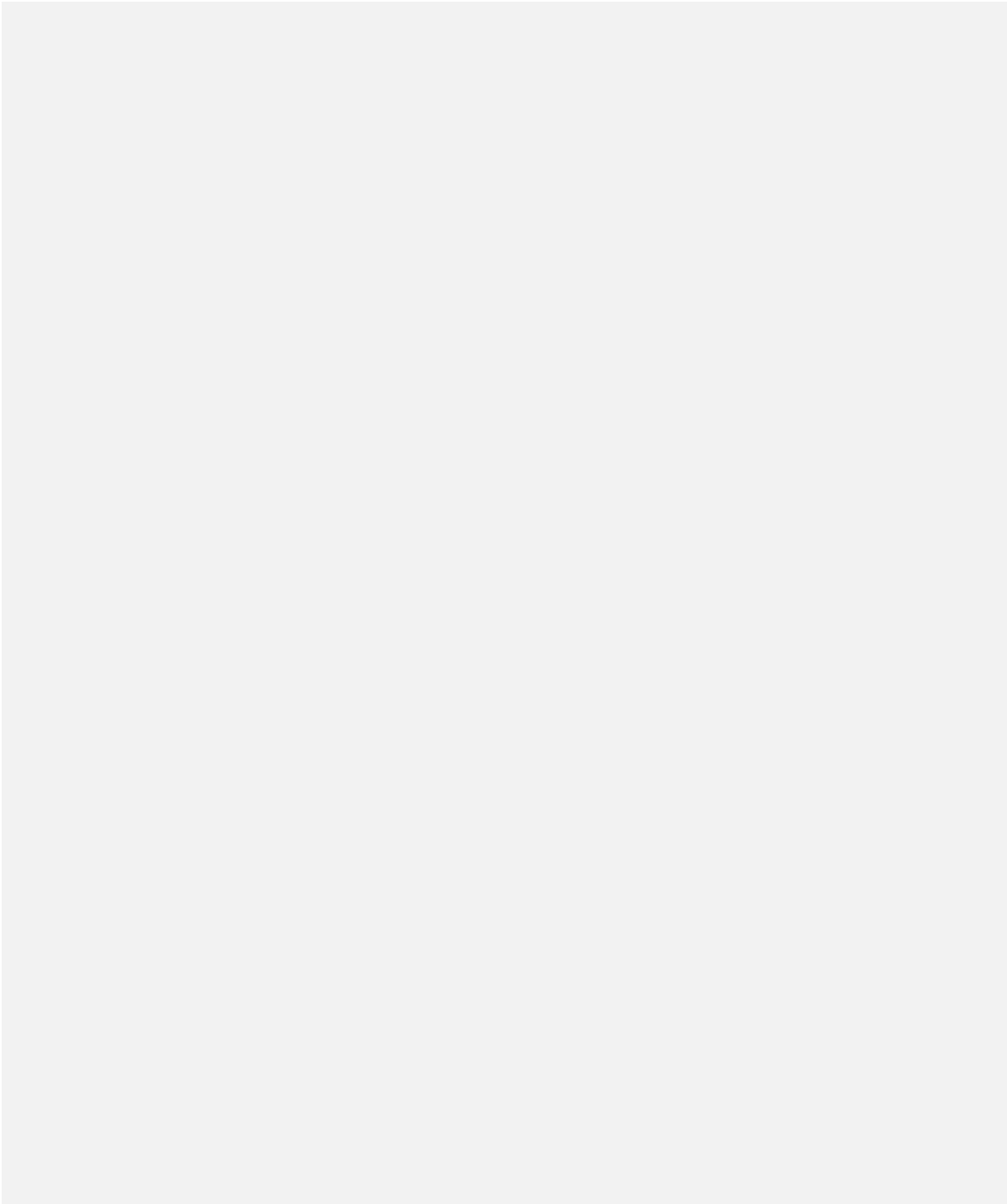
回旋加速器系统的运行负荷是决定辐射工作场所感生辐射水平的主要因素，本项目回旋加速器全年连续运行时间为300天，每半年停机检维修一次，期间连续运行。2个靶室内的靶站单个连续出束时间（即每个固体靶连续打靶时间）为120h，即5天完成1个靶的照射，之后需要更换靶材。新靶进入2个靶室的时间错开2.5天，打靶后进入热室后每隔2.5天有1个批次产品完成生产。

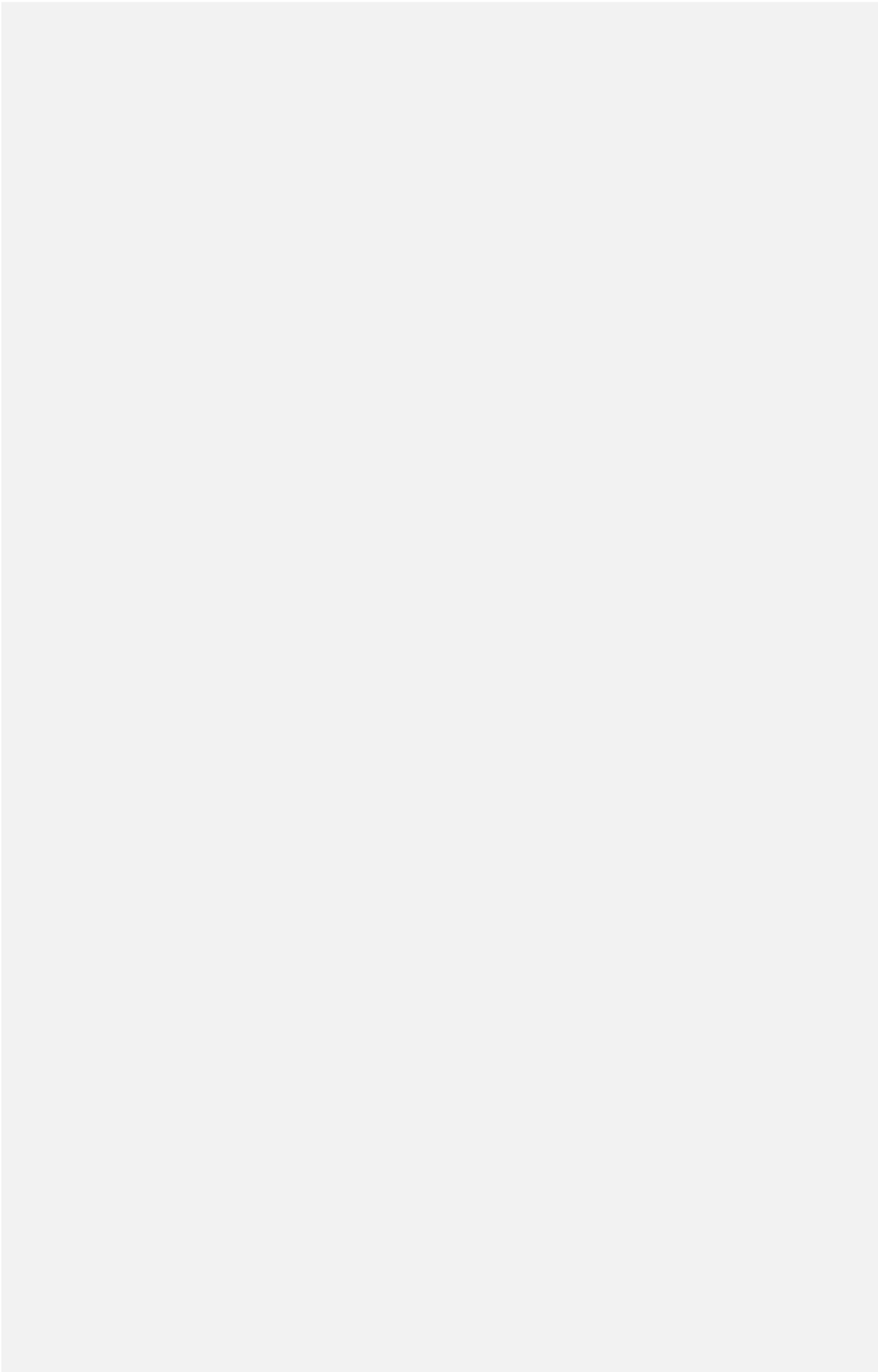
回旋加速器首次安装后，由设备生产单位（IBA公司）负责调试，安装调试期间建设单位辐射工作人员不参与出束调试。

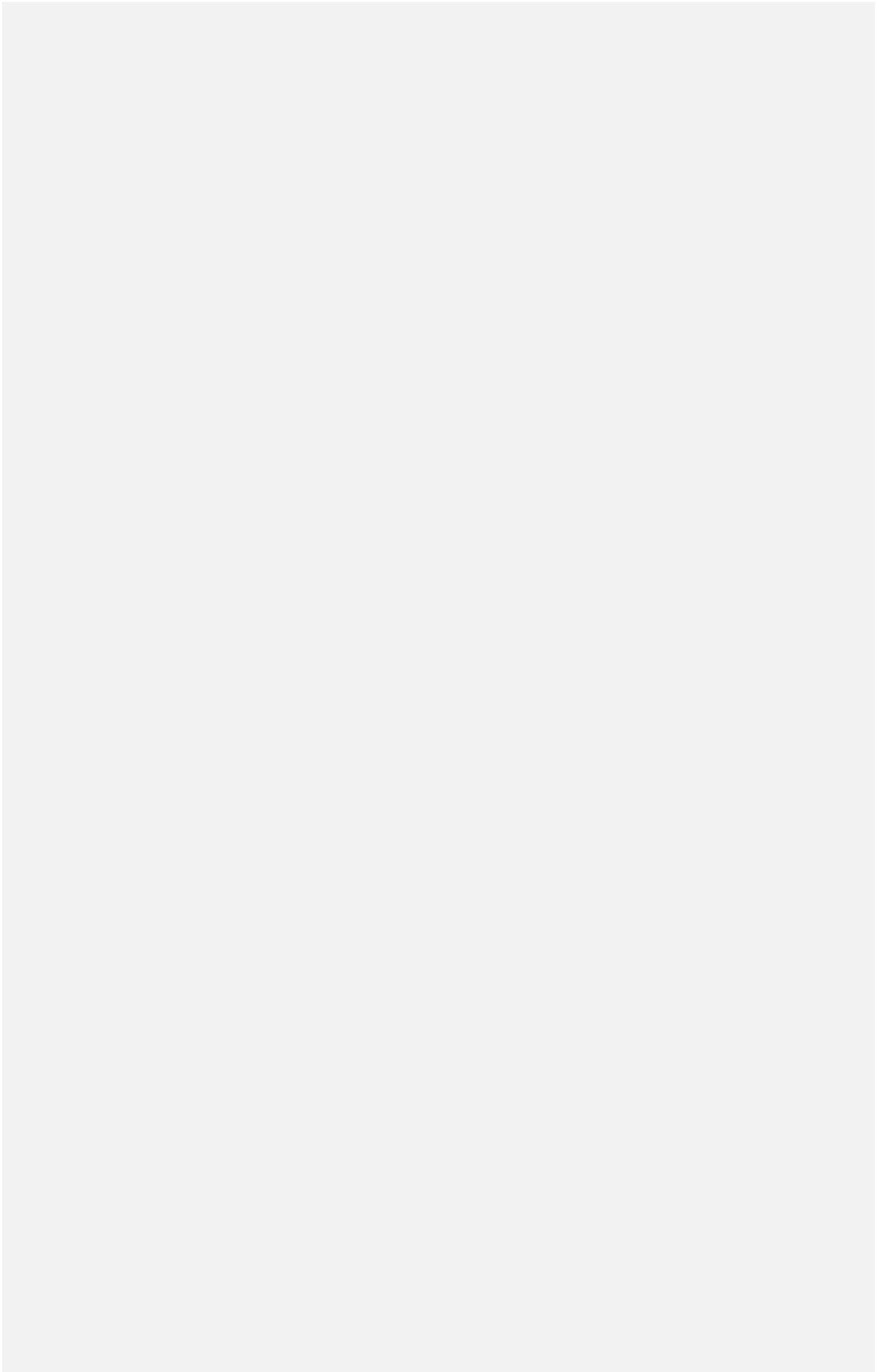
回旋加速器系统正式投入运行后，每半年停机检维修一次，每次检维修时间约15天，检维修期间不出束，该检维修工作公司将委托设备生产单位（IBA公司）负责，检维修期间公司辐射工作人员不参与检维修工作。

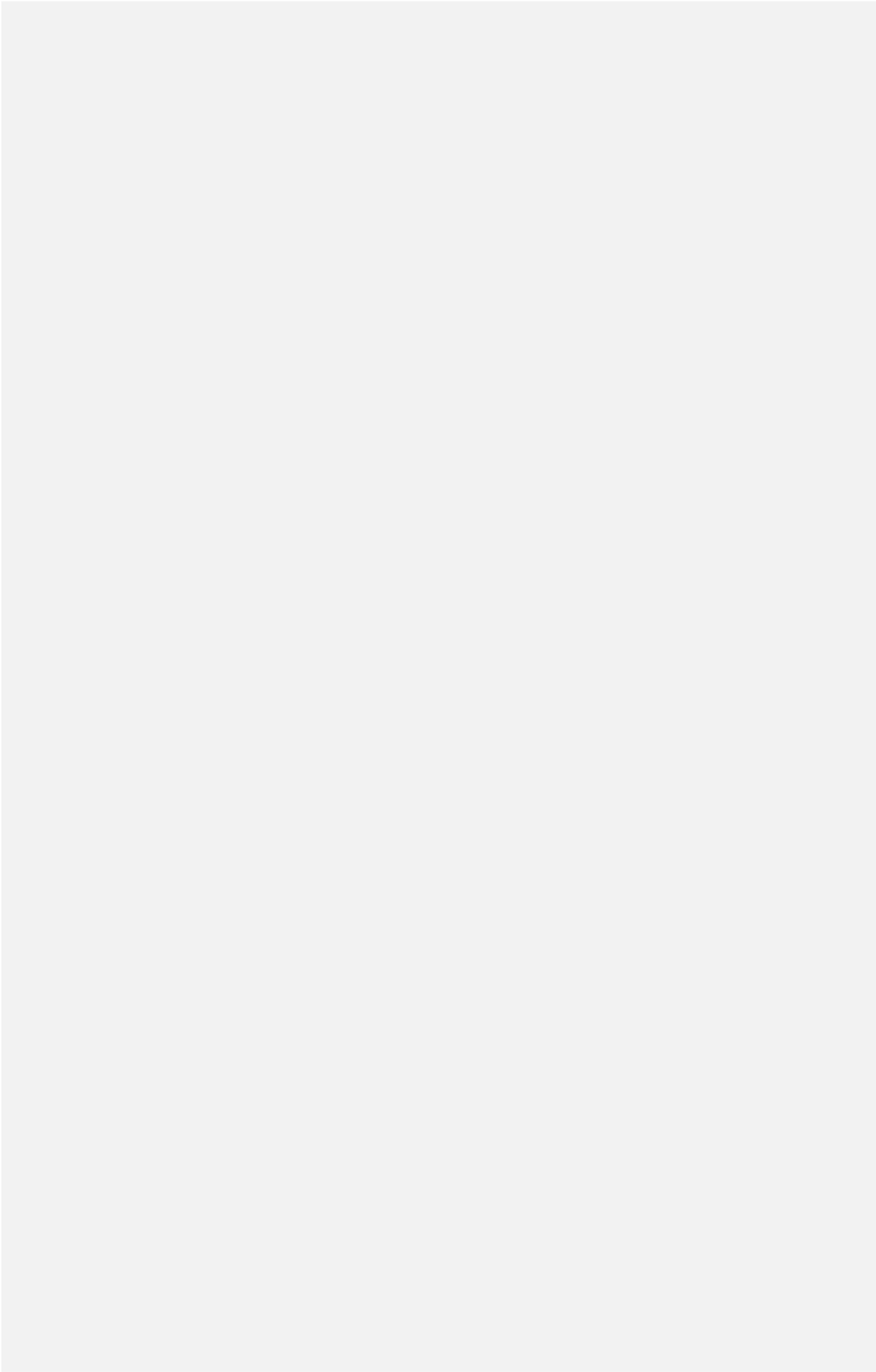
3.3.5 工作人员配置及工作负荷

公司劳动定员40人，其中从事行政管理、后勤等工作人员10人，其余30人均为辐射工作人员。其中，辐射防护负责人1人，辐射环境监测与评价专职人员1人，一层放射性同位素生产车间生产主管1名，二层质检车间实验室主管1名，一层放射性同位素生产车间22名辐射工作人员，二层质检车间2名辐射工作人员，地下层放射性废物暂存间2名辐射工作人员，辐射工作人员从事的工作岗位固定，各工种之间不交叉作业，具体安排如下：









3.4 污染源项

3.4.1 放射性核素特性

本项目打靶生产过程除产生目标核素⁶⁸Ge外，靶材经照射还会产生镓、镍和其他放射性杂质核素。本项目目标核素⁶⁸Ge和主要杂质核素的特性见表3.4-1。

表 3.4-1 放射性核素特性一览表

序号	核素	半衰期	衰变类型及分支比 (%)	主要 α 、 β 射线能量 (keV) 与绝对强度 (%)	主要 γ 、X 射线能量 (keV) 与绝对强度 (%)	周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
1	⁶⁸ Ge	270.8d	ε (100)	——	XK _{β} :10.3 (5.45) XK _{$\alpha 2$} :9.22482 (13.07) XK _{$\alpha 1$} :9.25174 (25.6)	1.17E-04
2	⁵³ Co	240ms	β^+ (100)	5954 (5.6) 7282 (94.4) 7431 (98.4)	1328 (5.6) XK _{$\alpha 1$} :6.403 (0.0197) γ^{\pm} : 511 (≤ 200.0)	——
3	⁵⁴ Co	193.28ms	ε (0.1) β^+ (99.9)	4660.04 (0.0045) 7221.02 (99.893)	1153 (0.0045) γ^{\pm} : 511 (≤ 199.8)	——
		1.48m	ε (0.44) β^+ (99.56)	4472 (99.558)	1130.0 (98) 1407.0 (100) γ^{\pm} : 511 (≤ 199.12)	
4	⁵⁵ Co	17.53h	ε (24.1) β^+ (75.9)	285.3 (0.0149) 1020.8 (25.6) 1498.0 (46) 1020.8 (25.6)	931.1 (75) 1316.6 (7.1) 1408.5 (16.9) XK _{$\alpha 1$} :640384 (4.38) γ^{\pm} : 511 (≤ 151.79)	0.31
5	⁵⁶ Co	77.233d	ε (81) β^+ (19)	421.1 (0.9) 584.1 (0.017) 1458.9 (18.1)	846.764 (99.94) 1037.84 (14.17) 1238.274 (66.9) 1771.327 (15.47) 2034.752 (7.89) 2598.437 (17.3) 3253.402 (8.12) XK _{$\alpha 1$} :6.40384 (14.6) γ^{\pm} : 511 (≤ 38.03)	0.482
6	⁵⁷ Co	271.8d	ε (100)	——	14.4130 (9.15) 122.06065 (85.51) 136.4736 (10.71) XK _{β} :7.06 (6.68) XK _{$\alpha 2$} :6.39084 (16.8) XK _{$\alpha 1$} :6.40384 (33.1)	2.27E-02

7	^{58}Co	70.83d	ε (85.1) β^+ (14.9)	474.6 (14.9)	810.759 (99.45) 863.951 (0.69) 1674.73 (0.52) XK_{β} :7.06 (3.1) $\text{XK}_{\alpha 2}$:6.39084 (7.79) $\text{XK}_{\alpha 1}$:6.40384 (15.4) γ^{\pm} : 511 (≤ 29.8)	0.154
8	^{60}Co	10.467m	β^- (0.24) IT (99.76)	723.43 (0.0084) 1549.71 (0.23)	1332.501 (0.24) 58.603 (2.0359) XL: 0.78 (0.441) XK_{β} :7.65 (3.59) $\text{XK}_{\alpha 2}$:6.9153 (8.94) $\text{XK}_{\alpha 1}$:6.9303 (17.62)	0.354
		5.271a	β^- (100)	317.87 (99.925) 664.81 (0.011) 1491.11 (0.057)	1173.228 (99.85) 1332.492 (99.9826)	
9	^{61}Co	1.65h	β^- (100)	412.5 (4.4) 1254.3 (95.6)	67.415 (84.7) 909.2 (3.6) $\text{XK}_{\alpha 1}$:7.47815 (2.5)	1.74E-02
10	^{62}Co	1.5m	β^- (100)	1803 (1.4) 2052 (1.21) 2164 (2.4) 3020 (25.8) 4149 (67.8)	1128.9 (11.1) 1172.9 (83.5) 1985 (1.6) 2301.8 (14.7) 2345.9 (1.3)	0.188
		13.91m	β^- (100)	1289 (10.2) 2066 (4.8) 2167 (19.9) 3007 (61.6)	1163.5 (68.0) 1172.9 (97.7) 1718.7 (6.7) 2003.7 (18.6) 2104.7 (6.4)	
11	^{63}Co	27.4s	β^- (100)	2222 (1.43) 2605 (3.71) 3587 (93)	87.13 (49) 981.7 (2.11) $\text{XK}_{\alpha 1}$:7.47815 (10.2)	---
12	^{64}Co	0.3s	β^- (100)	5030 (5) 5961 (5) 7307 (90)	931.1 (5) 1346.1 (10)	---
13	^{51}Cr	27.703d	ε (100)	---	320.0835 (9.87) XK_{β} :5.43 (2.62) $\text{XK}_{\alpha 2}$:4.94464 (6.6) $\text{XK}_{\alpha 1}$:4.9522 (13.1)	5.44E-03
14	^{57}Cu	196.3ms	ε (0.1) β^+ (99.9)	6635 (8.6) 6979 (0.94) 7748 (89.8)	768.5 (0.94) 1112.6 (8.6) 3007.0 (0.35) $\text{XK}_{\alpha 1}$:7.478 (0.0264) γ^{\pm} : 511 (≤ 199.81)	0.153
15	^{58}Cu	3.204s	ε (0.3) β^+ (99.7)	4597.7 (9.6) 4638.1 (4.3) 6086.4 (1.3) 7540.9 (82)	1321.4 (1.17) 1448.3 (11.5) 1454.6 (16.0) γ^{\pm} : 511 (≤ 199.39)	---

16	⁵⁹ Cu	81.5s	ε (1.9) β^+ (98.1)	2043.9 (1.88) 2477.2 (18.9) 2900.6 (8.6) 3313.6 (3.35) 3439.2 (5.89) 3778.6 (57.5)	339.3 (7.97) 464.9 (5.87) 878.0 (11.4) 1301.35 (14.78) XK _{a1} :7.4781 (0.388) γ^{\pm} : 511 (\leq 196.24)	0.191
17	⁶⁰ Cu	23.7m	ε (7.5) β^+ (92.5)	1910.7 (11.6) 1980.7 (49.0) 2945.9 (15.0) 3772.3 (5)	826.4 (21.7) 1333 (88.0) 1791.6 (45.4) XK _{a1} :7.47815 (1.69) γ^{\pm} : 511 (\leq 185.19)	0.54
18	⁶¹ Cu	3.333h	ε (38.5) β^+ (61.5)	559.2 (2.6) 932.2 (5.5) 1147.8 (2.3) 1215.2 (51)	67.412 (4.2) 282.956 (12.2) 656.008 (10.8) 1185.234 (3.7) XK _{a1} :7.47815 (8.4) γ^{\pm} : 511 (\leq 122.87)	0.136
19	⁶² Cu	9.67m	ε (2.57) β^+ (97.43)	878 (0.077) 1754 (0.135) 2927 (97.2)	875.71 (0.15) 1173.02 (0.342) XK _{a1} :7.47815 (0.47) γ^{\pm} : 511 (\leq 194.86)	0.168
20	⁶⁴ Cu	12.7h	ε (43.6) β^+ (17.4)	653.09 (17.4)	1345.77 (0.473) XK _{β} :8.26 (1.91) XK _{a2} :7.46089 (4.76) XK _{a1} :7.47815 (9.36) γ^{\pm} : 511 (\leq 34.79)	2.9E-02
21	⁶⁶ Cu	5.12m	β^- (100)	1602.8 (9.01) 2642.0 (90.77)	833.0 (0.22) 1039.2 (9.23)	1.26E-02
22	⁶⁷ Cu	61.83h	β^- (100)	576 (20.0) 483 (22.0) 391 (57.0) 182 (1.1)	91.266 (7.0) 93.311 (16.1) 184.577 (48.7) XK _{a1} :8.63886 (3.8)	1.98E-02
23	⁶⁸ Cu	3.75m	β^- (16)	1571 (4.5) 1722 (3.2) 1995 (1.9) 2763 (2.0) 2842 (2.2)	151.6 (5.5) 1041.0 (9.6) 1077.7 (12) XK _{a1} :8.6388 (0.028)	---
			IT (84)	---	84.6 (70) 111.3 (17.2) 525.9 (73.3) 636.9 (9.5)	
		31.1s	β^- (100)	2120 (13.8) 2576 (3.7) 3382 (43) 4460 (33)	577.8 (1.7) 1077.7 (64) 1261.8 (12.5) 1743.7 (1.7) 1883.8 (2.4)	

24	⁶⁹ Cu	2.85m	β^- (100)	848 (1.8) 1246 (6.9) 1495 (4.2) 1668 (24) 1842 (8.8) 2145 (2.5) 2676 (51)	531.2 (6.0) 594.9 (2.6) 649.4 (2.1) 834.4 (13.1) 1007.5 (23) 1180.7 (2.3) 1429.8 (3.4)	6.73E-02
25	⁵² Fe	8.275h	ϵ (44.51) β^+ (55.49)	804 (55.49)	168.688 (99) 377.748 (1.64) XK _{a1} :5.89875 (7.44) γ^\pm : 511 (\leq 110.98)	0.125
		45.9s	ϵ (0.42) β^+ (99.58)	4333 (99.58)	621.7 (51) 869.9 (93) 929.5 (100.0) 1416.1 (48) 2037.6 (50) γ^\pm : 511 (\leq 199.16)	
26	⁵³ Fe	8.51m	ϵ (2.96) β^+ (97.04)	2343.7 (41) 2721.6 (55)	1619.9 (0.5) 2273.5 (0.38) XK _{a1} :5.89875 (0.47) γ^\pm : 511 (\leq 194.08)	0.158
		2.526m	IT (100)	---	701.1 (100) 1011.5 (86) 1328.1 (87) 2339.7 (13.0)	
27	⁵⁵ Fe	2.73a	ϵ (100)	---	XL: 0.64 (0.421) XK _{β} :6.49 (3.29) XK _{a2} :5.88765 (8.24) XK _{a1} :5.8987 (16.28)	---
28	⁵⁹ Fe	44.495d	β^- (100)	130.4 (1.31) 273.1 (45.3) 465.4 (53.1) 1564.7 (0.18)	142.651 (0.972) 192.349 (2.918) 1099.245 (56.59) 1291.59 (43.2) XK _{a2} :6.9153 (0.00614) XK _{a1} :6.93032 (0.0121)	0.171
29	⁶¹ Fe	5.98m	β^- (100)	1966 (5.0) 2332 (8.0) 2653 (27) 2773 (38) 2950 (16) 3978 (5)	120.34 (5.3) 177.61 (2.0) 297.9 (22) 1027.42 (43) 1205.07 (44) 1645.95 (7.0) 2011.6 (4.4)	0.169

30	⁶⁶ Ga	9.49h	ε (44) β^+ (56)	362 (0.97) 772 (0.71) 924 (3.81) 1781 (0.326) 4153 (50.0)	833.532 (5.89) 1039.222 (36.9) 2189.616 (5.58) 2751.835 (23.3) XK _{a1} :8.6388 (11.21) γ^\pm : 511 (\leq 112.01)	0.317
31	⁶⁷ Ga	3.2612d	ε (100)	—	91.266 (3.16) 93.311 (39.2) 184.577 (21.2) 208.951 (2.4) 300.219 (16.8) 393.529 (4.68) XK _{β} :9.57 (6.8) XK _{a2} :8.61578 (17.0) XK _{a1} :8.63886 (33.3)	2.65E-02
32	⁶⁸ Ga	68.3min	ε (10.9) β^+ (89.1)	1899.1 (88.1)	1077.4 (3.0) γ^\pm : 511 (178.6)	0.134
33	⁷⁰ Ga	21.14m	β^- (99.59)	441 (0.32) 617 (0.36) 1656 (98.91)	176.17 (0.29) 1039.2 (0.65) XK _{β} :11.0 (0.0016) XK _{a2} :9.8553 (0.00365) XK _{a1} :9.8864 (0.0071)	1.13E-03
			ε (0.41)	—	XL: 1.01 (0.0026) XK _{β} :9.57 (0.021) XK _{a2} :8.6157 (0.052) XK _{a1} :8.6388 (0.101)	
34	⁷² Ga	14.1h	β^- (100)	659.3 (15.0) 676.1 (21.7) 965.5 (27.7) 1486.3 (8.9) 1936.1 (2.99) 2537.1 (8.5) 3167.1 (10.3)	600.95 (5.54) 629.96 (24.8) 834.03 (95.63) 894.25 (9.88) 2201.66 (25.9) 2507.79 (12.78)	0.367
35	⁶⁷ Ge	18.9m	ε (9.7) β^+ (90.3)	1224 (0.086) 1390 (4.1) 1560 (7.5) 2118 (3.5) 2372 (1.0) 3033 (74)	167.01 (84) 828.3 (3.0) 911.2 (3.1) 914.8 (3.0) 1472.8 (4.9) XK _{a1} :9.25174 (1.76) γ^\pm : 511 (\leq 180.62)	0.226
36	⁶⁹ Ge	39.05h	ε (76.5) β^+ (23.5)	629 (2.3) 1203.3 (21)	574.11 (13.3) 871.98 (11.9) 1106.77 (36) 1336.6 (4.5) XK _{β} :10.3 (4.3) XK _{a2} :9.22482 (10.2) XK _{a1} :9.25174 (20.0) γ^\pm : 511 (\leq 47.12)	0.136

37	^{71}Ge	20.40ms	IT (100)	——	23.438 (0.48) 174.954 (91) XK $_{\beta}$:11.0 (6.3) XK $_{a2}$:9.85532 (14) XK $_{a1}$:9.88642 (28)	1.18E-04
		11.43d	ϵ (100)	——	XK $_{\beta}$:10.3 (3.52) XK $_{a2}$:9.2248 (13.24) XK $_{a1}$:9.25174 (25.9)	
38	^3H	12.33a	β^- (100)	18.5866 (100.0)	——	——
39	^{50}Mn	283.29ms	ϵ (0.1) β^+ (99.9)	6610.9 (99.9)	3628 (0.00038) XK $_{a1}$:5.41472 (0.0152) γ^{\pm} : 511 (≤ 199.79)	——
		1.75m	β^+ (100)	3014 (28.5) 3515 (69) 3676 (8.0)	661.5 (25.0) 783.3 (100.0) 1098.0 (98.5) 1282.4 (33.0) 1443.3 (69) XK $_{a1}$:5.41472 (0.13) γ^{\pm} : 511 (≤ 200)	
40	^{51}Mn	46.2m	ϵ (2.92) β^+ (97.08)	1436.7 (0.2003) 2185.8 (96.86)	603.8 (0.015) 749.07 (0.265) XK $_{a1}$:5.41472 (0.43) γ^{\pm} : 511 (≤ 194.17)	0.166
41	^{52}Mn	21.1m	ϵ (1.55) β^+ (96.7)	905.9 (0.164) 2633.5 (96.5)	1434.06 (98.3) 1727.53 (0.216) XK $_{a1}$:5.4147 (0.246) γ^{\pm} : 511 (≤ 193.43)	0.508
			IT (1.75)	——	377.738 (1.68) XK $_{a1}$:5.89875 (0.0111)	
		5.591d	ϵ (70.4) β^+ (29.6)	576.0 (29.6)	744.233 (90.0) 935.544 (94.5) 1434.092 (100.0) XK $_{a1}$:5.41472 (10.4) γ^{\pm} : 511 (≤ 59.2)	
42	^{52m}Mn	21.3m	ϵ (>1.49) β^+ (>97.22)	2631 (97)	1434.06 (98.22) 377.738 (17.09) γ^{\pm} : 511 (≤ 194)	0.359
43	^{54}Mn	312.13d	ϵ (100) β^+ (3E-07)	——	834.838 (99.975) XL: 0.57 (0.37) XK $_{\beta}$:5.95 (2.95) XK $_{a2}$:5.40551 (7.43) XK $_{a1}$:5.41472 (14.7)	0.13

44	^{56}Mn	2.5824h	β^- (100)	735.6 (14.6) 1038.0 (27.9) 2848.7 (56.3)	846.764 (98.8) 1810.72 (27.6) 2113.09 (14.8)	0.235
45	^{57}Mn	85.4s	β^- (100)	1064 (1.1) 1985 (6.3) 2324 (2.2) 2554 (15) 2677 (75)	14.4129 (11) 122.063 (14) 352.32 (2.1) 692.0 (5.5) XK _{a2} :6.39084 (8.12) XK _{a1} :6.40384 (16.0)	1.20E-02
46	^{56}Ni	6.075d	ϵ (100) β^+ (6E-04)	144 (0.0006) 956 (0.00003) 1114 (0.00003)	158.38 (98.8) 269.5 (36.5) 480.44 (36.5) 749.95 (49.5) 811.85 (86.0) 161.8 (14.0) XK _{a2} :6.9153 (10.07) XK _{a1} :6.9303 (19.85)	0.271
47	^{57}Ni	35.6h	ϵ (56.4) β^+ (43.6)	485 (0.8) 737 (7.04) 865 (35.3)	127.164 (16.7) 1224.0 (0.063) 1730.44 (0.052) 1757.55 (5.75) XL: 0.78 (0.268) XK _{β} :7.65 (2.28) XK _{a2} :6.9153 (5.69) XK _{a1} :6.93032 (11.22) γ^\pm : 511 (≤ 87.17)	0.271
48	^{59}Ni	76000a	ϵ (100) β^+ (4E-05)	50.9 (0.000037)	XL: 0.78 (0.473) XK _{β} :7.65 (4.02) XK _{a2} :6.9153 (10.03) XK _{a1} :6.9303 (19.77)	—
49	^{63}Ni	100.1a	β^- (100)	66.945 (100.0)	—	—
50	^{65}Ni	2.5172h	β^- (100)	654.4 (28.4) 1020.6 (10.18) 2136.2 (60.0)	366.27 (4.81) 1115.53 (15.43) 1481.84 (23.59)	7.63E-02
51	^{47}V	32.6m	ϵ (3.5) β^+ (96.5)	355.9 (0.0054) 1905.8 (96.54)	159.8 (0.107) 1793.9 (0.191) XK _{a1} :4.5108 (0.396) γ^\pm : 511 (≤ 193.09)	0.166
52	^{49}V	330d	ϵ (100)	—	XK _{β} :4.93 (2.3) XK _{a2} :4.50486 (5.78) XK _{a1} :4.51084 (11.47)	—

53	⁶¹ Zn	89.1s	ε (1.7) β^+ (98.3)	1822 (1.61) 2955 (11.0) 4140 (11.0) 4615 (65.6)	475.0 (16.8) 970.0 (2.57) 1660.4 (7.8) XK _{a1} :8.0477 (0.359) γ^{\pm} : 511 (≤ 196.56)	0.197
54	⁶² Zn	9.186h	ε (91.6) β^+ (8.4)	605 (8.4)	40.85 (25.5) 507.6 (14.8) 548.35 (15.3) 596.56 (26.0) XK _{β} :8.91 (5.1) XK _{a2} :8.02783 (12.7) XK _{a1} :8.04778 (24.9) γ^{\pm} : 511 (≤ 16.8)	7.49E-02
55	⁶³ Zn	38.47m	ε (7.3) β^+ (92.7)	1383.0 (4.9) 1675.5 (7.0) 2345.1 (80.3)	669.62 (8.2) 962.06 (6.5) XK _{a1} :8.04778 (1.66) γ^{\pm} : 511 (≤ 185.49)	0.18
56	⁶⁵ Zn	244.06d	ε (98.5) β^+ (1.5)	328.8 (1.403)	1115.539 (50.6) XK _{β} :8.91 (4.61) XK _{a2} :8.02783 (11.51) XK _{a1} :8.04778 (22.6) γ^{\pm} : 511 (≤ 2.81)	8.50E-02
57	⁶⁹ Zn	56.4m	β^- (100)	587 (0.0012) 905 (99.9986)	318.4 (0.0012) 871.7 (0.00025)	9.97E-07
		13.76h	β^- (0.03) IT (99.97)	770 (0.033)	XK _{a1} :8.63886 (1.26)	
58	⁷¹ Zn	2.45m	β^- (100)	1187 (4.1) 1909 (8.0) 2307 (32.0) 2819 (55.0)	121.52 (3.0) 390.0 (3.8) 511.6 (32.0) 910.3 (7.8) 1120.0 (2.18) XK _{a1} :9.2517 (0.043)	4.14E-02
		3.96h	β^- (99.95) IT (0.05)	172 (0.34) 376 (0.7) 526 (0.66) 730 (6.7) 1478 (0.61) 1483 (89)	142.6 (5.6) 386.28 (93) 487.34 (62) 511.55 (28.4) 596.07 (27.9) 620.19 (57) XK _{a1} :9.2517 (0.103)	

注：数据来源于《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)、《简明放射性同位素应用手册》《发射光子的放射性核素各向同性点源的剂量学常数 (续 I)》《发射光子的放射性核素各向同性点源的剂量学常数 (续 II)》。

3.4.2 放射性污染

本项目放射性工作场所产生的主要放射性污染因子见表3.4-2。

表 3.4-2 放射性工作场所产生的主要放射性污染因子一览表

放射性工作场所	主要放射性污染因子
加速器机房和靶室	γ 射线、中子、感生放射性、活化的冷却水、 β 表面污染、放射性固体废物、放射性废气
放射性同位素生产车间	γ 射线、 β 射线及其韧致辐射、 β 表面污染、放射性废水、放射性固体废物、放射性废气
质检车间	γ 射线、 β 表面污染、放射性废水、放射性固体废物、放射性废气
放射性废物暂存间	γ 射线、 β 射线及其韧致辐射、 β 表面污染、放射性固体废物

3.4.2.1 加速器机房和靶室

(1) γ 射线

本项目回旋加速器最大质子能量为30MeV，加速器用高能质子轰击靶，发生核反应，产生 β^+ 电子，与核外电子和原子核相互作用产生电子损失、韧致辐射和弹性散射，伴随产生 γ 射线。因此， γ 射线是回旋加速器运行过程中的主要污染因子。

(2) 中子

回旋加速器用高能质子轰击靶发生核反应，在产生放射性核素的同时，也产生中子。因此，中子辐射也是回旋加速器运行过程中的主要污染因子。

(3) 感生放射性

感生放射性是指当射束停止后，仍有“残留”辐射的现象，通常是中子活化的结果，较高能量的粒子加速器（大于10MeV）都可能通过 (γ, n) 、 (p, n) 等核反应产生泄漏或污染中子，进而产生感生放射性。感生放射性衰减较快，一般2~10分钟可减少一半或更多，如人员在停止出束后立即进入加速器机房或靶室，可能受到感生放射性的照射。

回旋加速器的感生放射性主要是由中子引起的，这是因为不管中子能量如何，均会产生活化，感生放射性的辐射水平取决于加速粒子的能量、种类、束流强度和加速器的运行时间等因素。感生放射性主要产生于回旋加速器的结构材料、冷却水、混凝土屏蔽结构、周围土壤以及加速器机房和靶室的空气中，与此同时还伴有放射性废物的产生。

(4) 放射性废水

本项目回旋加速器系统的冷却水总量约为1.1m³，水冷系统是为设备发热部件冷

却而设计的封闭循环系统，是加速器整体部件中的一部分，加速器工作中靶体的冷却水受中子照射被活化，但该冷却水系统采用闭合回路循环使用均不外排，正常情况下不会产生放射性废水。若因事故或检维修等原因需外排活化的冷却水，则外排的冷却水通过专用管道排至地下层的放射性废水衰变系统。

（5）放射性固体废物

在回旋加速器生产放射性核素过程中，产生的放射性固体废物主要有废靶材、废靶材盒等，年产生量不超过18.8kg；回旋加速器系统检维修过程中产生的废碳膜、废活化部件（如束流管、泵、密封圈、准直器等）等高活性固废和一次性沾污废物等非高活性固废，年产生量不超过55kg；通风系统中置换下的废高效过滤器滤芯，年产生量不超过20kg。

回旋加速器引起活化的主要部位是束流损失较大处的部件，如束流管、泵、密封圈、准直器等，这些部件使用的材质主要是铜、铝和不锈钢。产生的感生放射性核素主要是 ^{24}Na 、 ^{62}Cu 、 ^{64}Cu 、 ^{56}Mn 和 ^{65}Ni 等，半衰期为9.67min~14.961h，主要产生方式是 $^{27}\text{Al}(\text{n}, \alpha)^{24}\text{Na}$ 、 $^{63}\text{Cu}(\text{n}, 2\text{n})^{62}\text{Cu}$ 、 $^{65}\text{Cu}(\text{n}, 2\text{n})^{64}\text{Cu}$ 、 $^{63}\text{Cu}(\text{n}, \gamma)^{64}\text{Cu}$ 、 $^{56}\text{Fe}(\text{n}, \text{p})^{56}\text{Mn}$ 和 $^{64}\text{Ni}(\text{n}, \gamma)^{65}\text{Ni}$ 反应。因此，加速器检维修更换的结构材料需作为放射性固体废物处理，每年检维修更换的部件约55kg。检维修时工作人员必须佩戴个人剂量计、个人剂量报警仪和辐射巡测仪跟踪测量，操作时应戴防污染手套、穿工作服，并于操作后进行表面污染检测。

（6）放射性废气

回旋加速器运行时，加速器机房和靶室内空气受中子或 γ 射线照射后将生成放射性活化气体，产生的感生放射性核素主要是 ^{41}Ar 、 ^{13}N ，半衰期为10min~110min，主要产生方式是 $^{40}\text{Ar}(\text{n}, \gamma)^{41}\text{Ar}$ 、 $^{14}\text{N}(\gamma, \text{n})^{13}\text{N}$ 反应。空气中氩占大气体积的0.934%，所以，中子与空气中 ^{40}Ar 发生 $^{40}\text{Ar}(\text{n}, \gamma)^{41}\text{Ar}$ 核反应生成 ^{41}Ar 核素，加上产生 ^{41}Ar 的活化反应截面很小，所以 ^{41}Ar 的生成率极低。其他核素被活化的产额远小于 ^{41}Ar 放射性气体，且主要以气溶胶形式存在。因此，本项目其他活化气体和放射性气溶胶的危害几乎可以忽略，主要考虑 ^{41}Ar 。

因此，在加速器停机后，必须等待一定的时间后才能进入加速器机房和靶室，加速器机房和靶室内安装的固定式辐射剂量仪与防护门进行联锁，低于剂量阈值后才可打开防护门，以强制实现此等待时间的要求。

（7）表面污染

因机房或靶室内活化材料剥落等原因，可能会对地面、墙壁或设备产生放射性 β

表面污染。

3.4.2.2 放射性同位素生产车间

(1) 射线

根据表3.4-2，考虑到放射性核素 ^{68}Ge 及其他杂质核素，放射性同位素生产车间主要考虑 β 射线及其韧致辐射和 γ 射线的辐射影响。

(2) 表面污染

工作人员在放射性核素操作过程中，可能会发生液态核素溶液撒落事故，对工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等产生放射性 β 表面污染。

(3) 放射性废水

本项目放射性同位素生产车间产生的放射性废水主要是少量的放射性工艺废液、含有放射性核素的清洗废水以及发生核素泼洒等意外情况时人员淋浴产生的含有放射性核素的淋浴废水。本项目每个靶材分离纯化过程中产生不超过1L带放射性的硫酸废液和1L带放射性的盐酸废液，每年生产120个批次，则放射性工艺废液年产生量不超过 0.24m^3 （过氧化氢、柠檬酸经反应混于硫酸和盐酸废液中），含有放射性核素的清洗废水年产生量不超过 0.2m^3 。

(4) 放射性固体废物

在放射性核素操作过程中，产生的放射性固体废物主要有沾有少量放射性核素的工作服、一次性手套、口罩、棉签、吸水纸、注射器、移液器、离子树脂交换柱、毛细管、针头等，年产生量不超过30kg；热室检维修过程中产生的废弃元器件，年产生量不超过2kg；通风系统中置换下的废高效过滤器滤芯，年产生量不超过70kg。

(5) 放射性废气

在放射性核素操作过程中会产生少量的放射性气体，放射性核素的操作均在热室中进行，挥发的放射性气体很少。

3.4.2.3 质检车间

(1) 射线

根据表3.4-2，质检车间主要考虑 γ 射线外照射辐射影响。质检车间 ^{68}Ge 日最大操作量为 $9.25\text{E}+08\text{Bq}$ ，单次取样最大操作量为 $3.70\text{E}+07\text{Bq}$ ，单次最大操作量所致1m处辐射剂量率为 $2.2\mu\text{Sv/h}$ 。

(2) 表面污染

工作人员在放射性核素操作过程中，可能会发生液态核素溶液撒落事故，对工作

台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等产生 β 表面污染。

(3) 放射性废水

本项目质检车间产生的放射性废水主要是少量的放射性工艺废液、含有放射性核素的清洗废水以及发生液态核素溶液泼洒等意外情况时人员淋浴产生的含有放射性核素的淋浴废水，放射性工艺废液年产生量不超过2.49L，含有放射性核素的清洗废水年产生量不超过0.2m³。

(4) 放射性固体废物

在放射性核素操作过程中，产生的放射性固体废物主要有沾有少量放射性核素的工作服、一次性手套、口罩、棉签、吸水纸、试剂瓶及移液器等，年产生量不超过30kg；通风系统中置换下的废高效过滤器滤芯，年产生量不超过50kg。

(5) 放射性废气

在放射性核素操作过程中会产生少量的放射性气体，放射性核素的操作基本在质检车间的通风柜中进行，挥发的放射性气体很少。

3.4.2.4 地下层放射性废物暂存间

(1) 射线

根据表3.4-2，考虑到放射性核素⁶⁸Ge及其他杂质核素，地下层放射性废物暂存间主要考虑 β 射线及其韧致辐射和 γ 射线的辐射影响。

(2) 表面污染

工作人员在收储放射性废物时，可能会发生液体废物撒落事故，对设备、墙壁、地面、工作服、手套等产生放射性 β 表面污染。

(3) 放射性废水

本项目放射性废物暂存间本身不产生放射性废水，若发生液体废物撒落事故时，采用擦拭法去污，擦拭物作为放射性固体废物处理。

(4) 放射性固体废物

本项目放射性废物暂存间产生的放射性固体废物主要是少量沾有放射性核素的工作服、一次性手套、口罩等，年产生量不超过5kg。

(5) 放射性废气

暂存在放射性废物暂存间内的放射性废物均打包密封，高活度的液体放射性废物均密封在玻璃瓶内，低活度的液体放射性废物均收集在密封的放射性废水衰变系统内，挥发的放射性气体很少。

3.4.2.5 成品库

正常情况下,本项目生产的液态放射性核素打包后直接销售,不在成品库内暂存,成品库一般为空置状态,对周围环境无辐射影响,也无放射性废水、放射性固体废物和放射性气体的产生。当成品在成品库暂存时,主要考虑 γ 射线和放射性 β 表面污染的辐射影响。

3.4.3 模拟计算源项

3.4.3.1 回旋加速器

1、回旋加速器及束流损失参数说明

2、源项部件说明

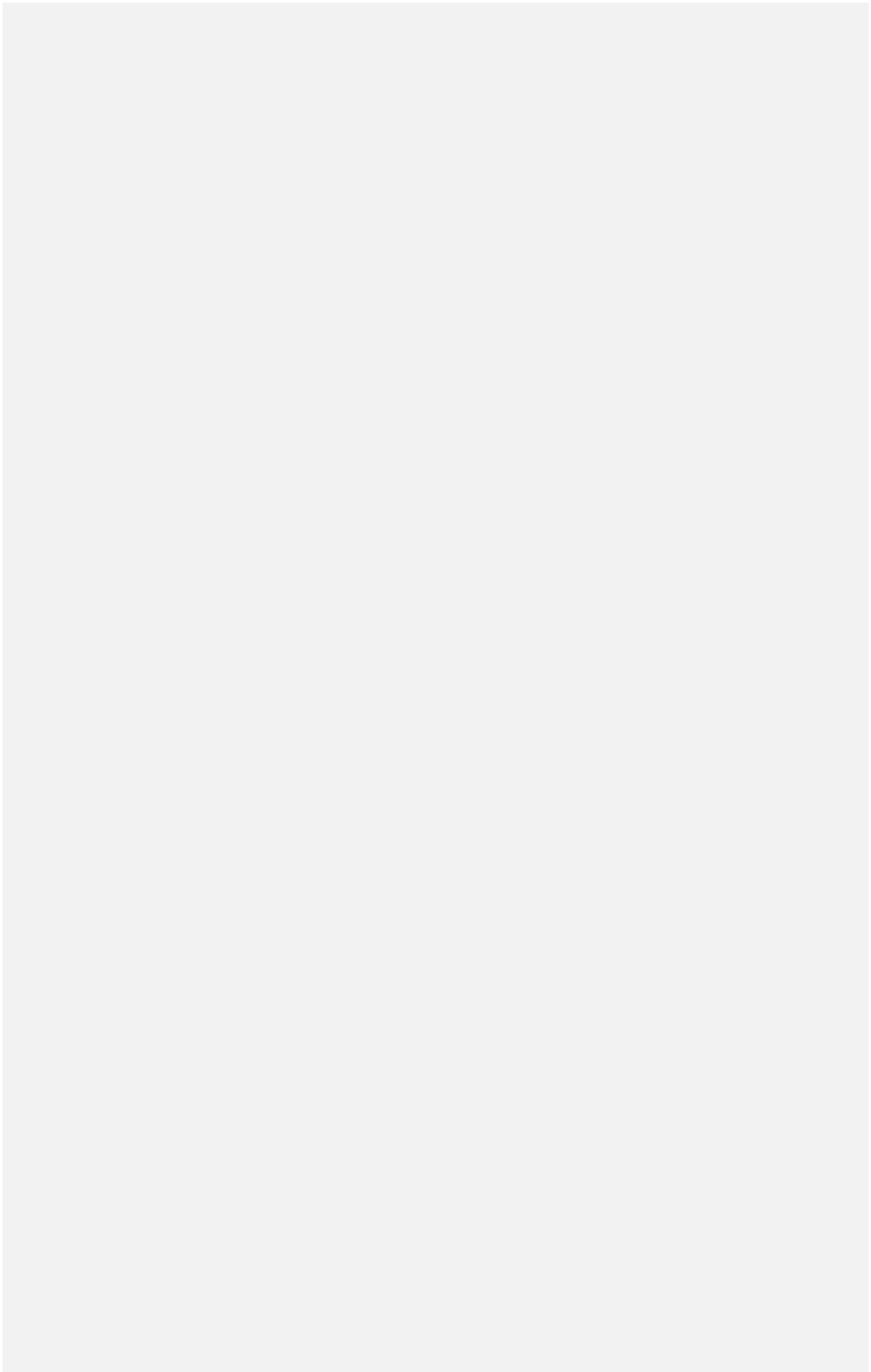
(1) 回旋加速器

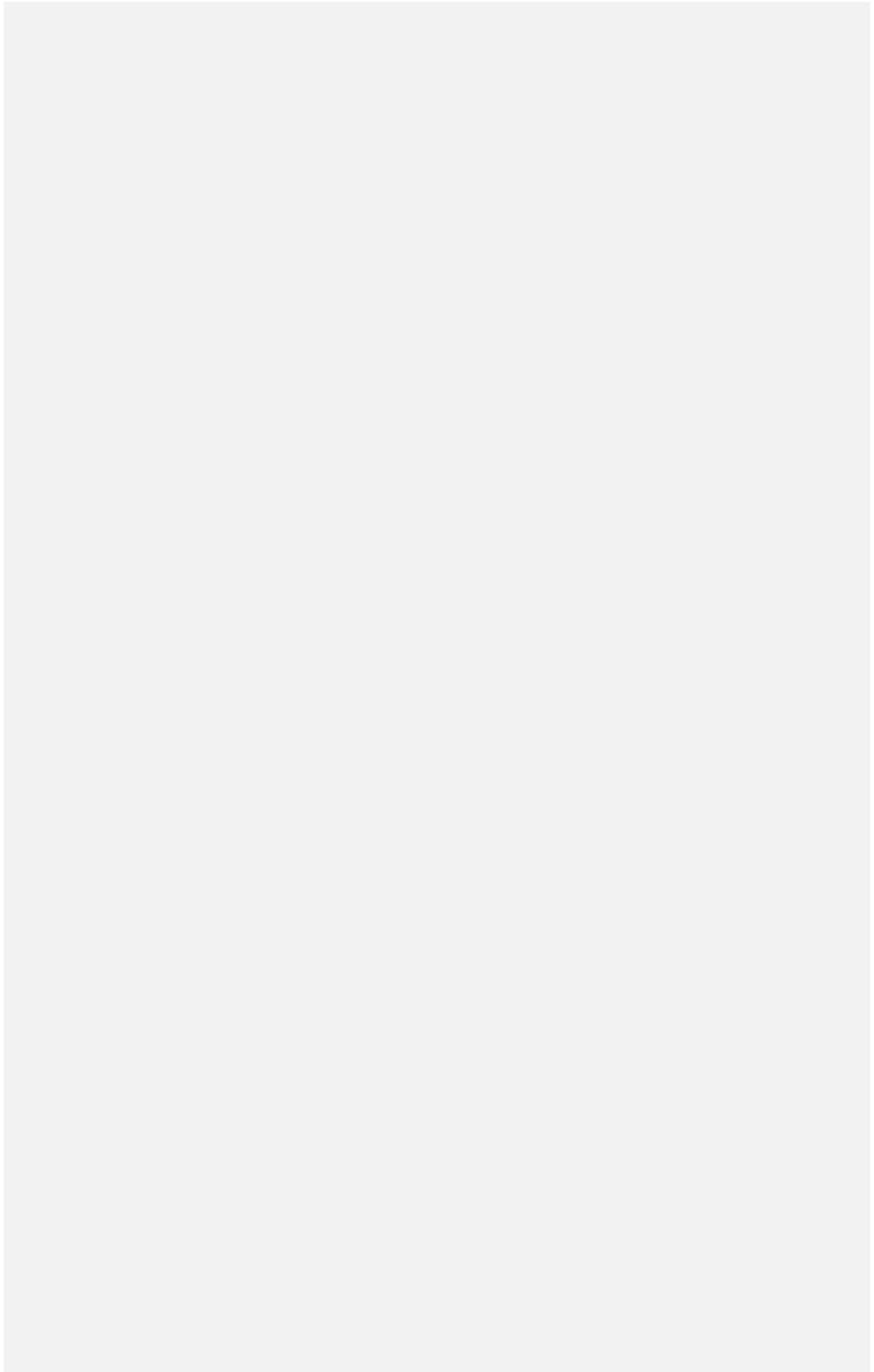
回旋加速器的束流方向为顺时针(俯视图),设置四个对称点损位置,其中两个位于引出部分,两个远离引出部分作为环线束损。加速器结构建模完整,将束损点直接设置于加速器中间层铝材料位置。

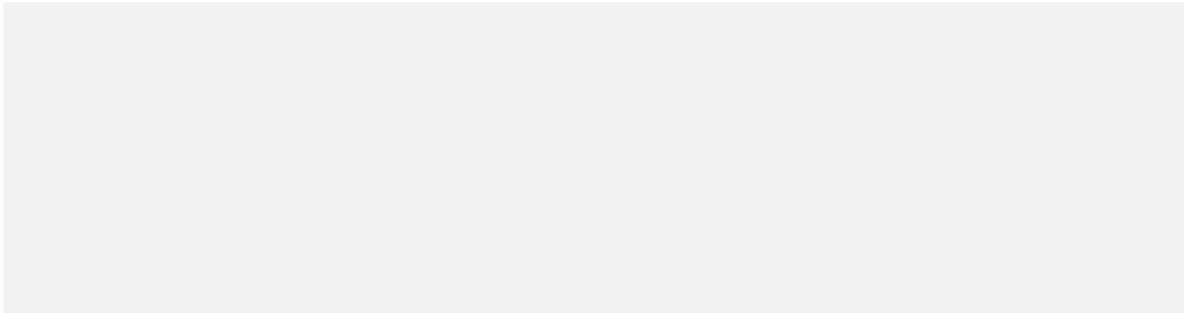
(2) 准直器

本项目束流引出后轰击靶材前,需对束流进行准直,准直器位于靶室内。准直器由4个碳块组成,4个碳块两两前后叠加布置,通过调节碳块间距实现对束流的准直。碳块尺寸长15cm、宽7.5cm、高7.5cm。为简化建模计算,准直器以30cm(束流方向) \times 15cm \times 15cm的长方体靶来仿真,材料为碳。

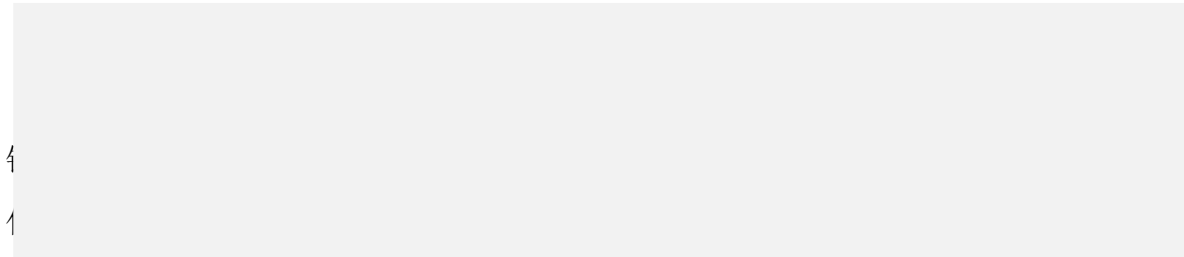
(3) 靶材料





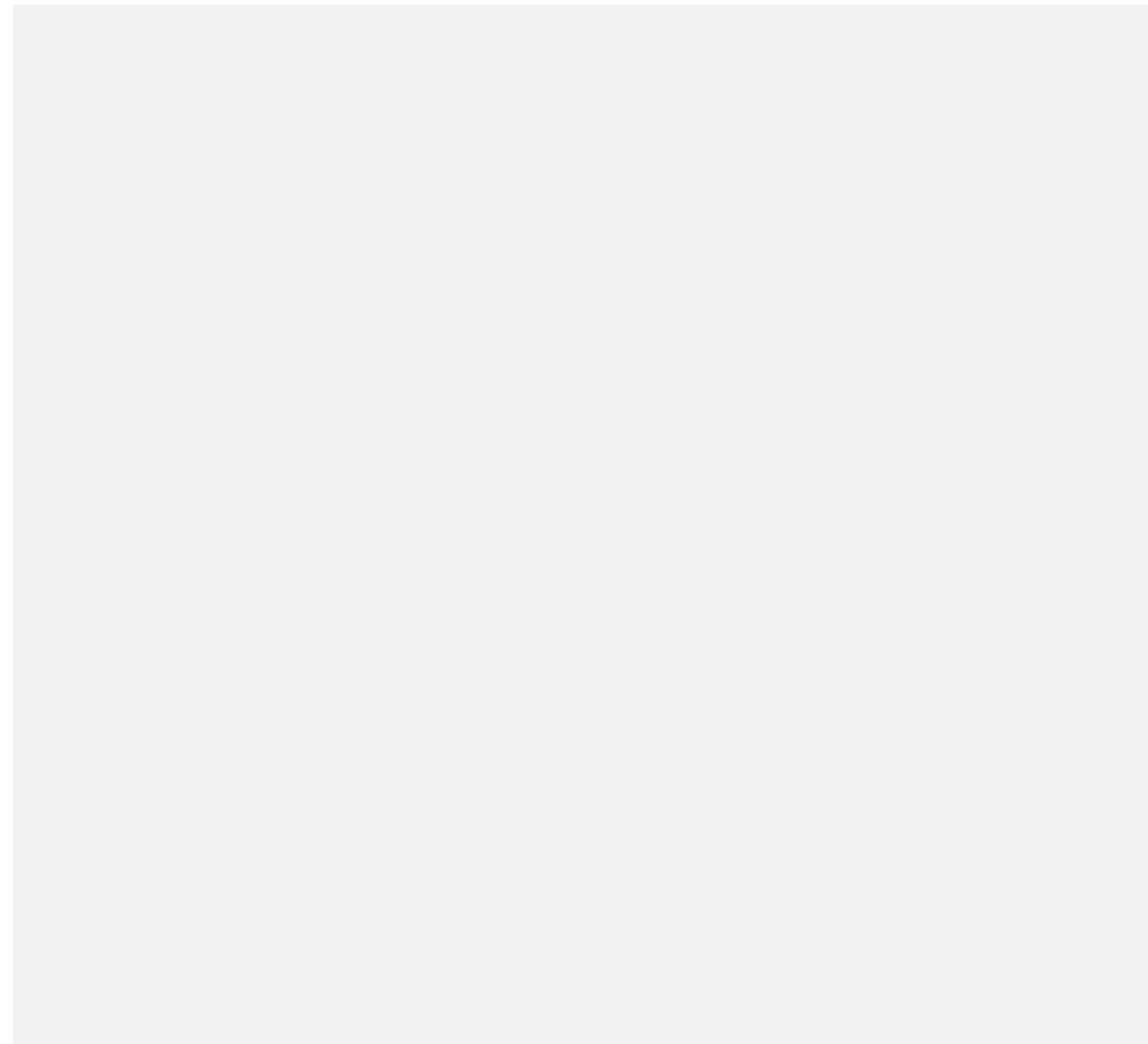


(4) 靶材传输盒



(5) 加速器的活化部件

加速器的活化部件主要是束流损失区域的部件，包括加速器、准直器和终端靶体（靶材），各部件的化学组分见表3.4-5。



（6）加速器机房和靶室混凝土材质

本项目加速器机房和靶室混凝土密度为 2.3g/cm^3 ，化学组分为：H:1%、C:0.1%、O:52.9%、Na:1.6%、Mg:0.2%、Al:3.4%、Si:33.8%、K:1.3%、Ca:4.4%、Fe:1.4%。

（7）其他材料说明

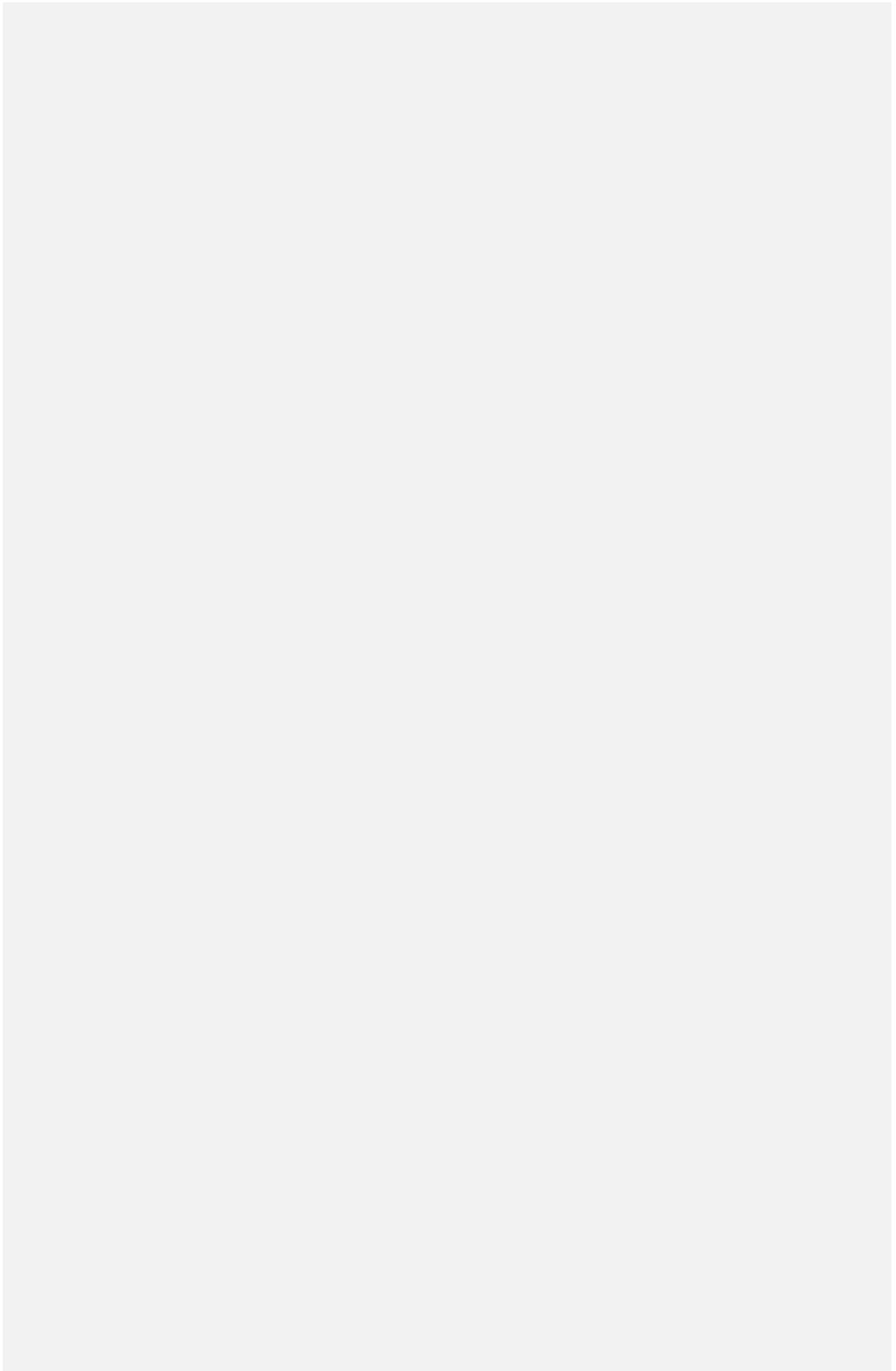
本项目加速器机房和靶室底部混凝土厚度均为1.8m，混凝土下方为土壤，土壤密度为 1.6g/cm^3 ，化学组分为：C:1.0%、N:0.1%、O:34.1%、Na:0.5%、Mg:0.5%、Al:8.0%、Si:40.2%、K:2.4%、Ca:2.3%、Ti:1.0%、Mn:0.2%、Fe:9.7%。

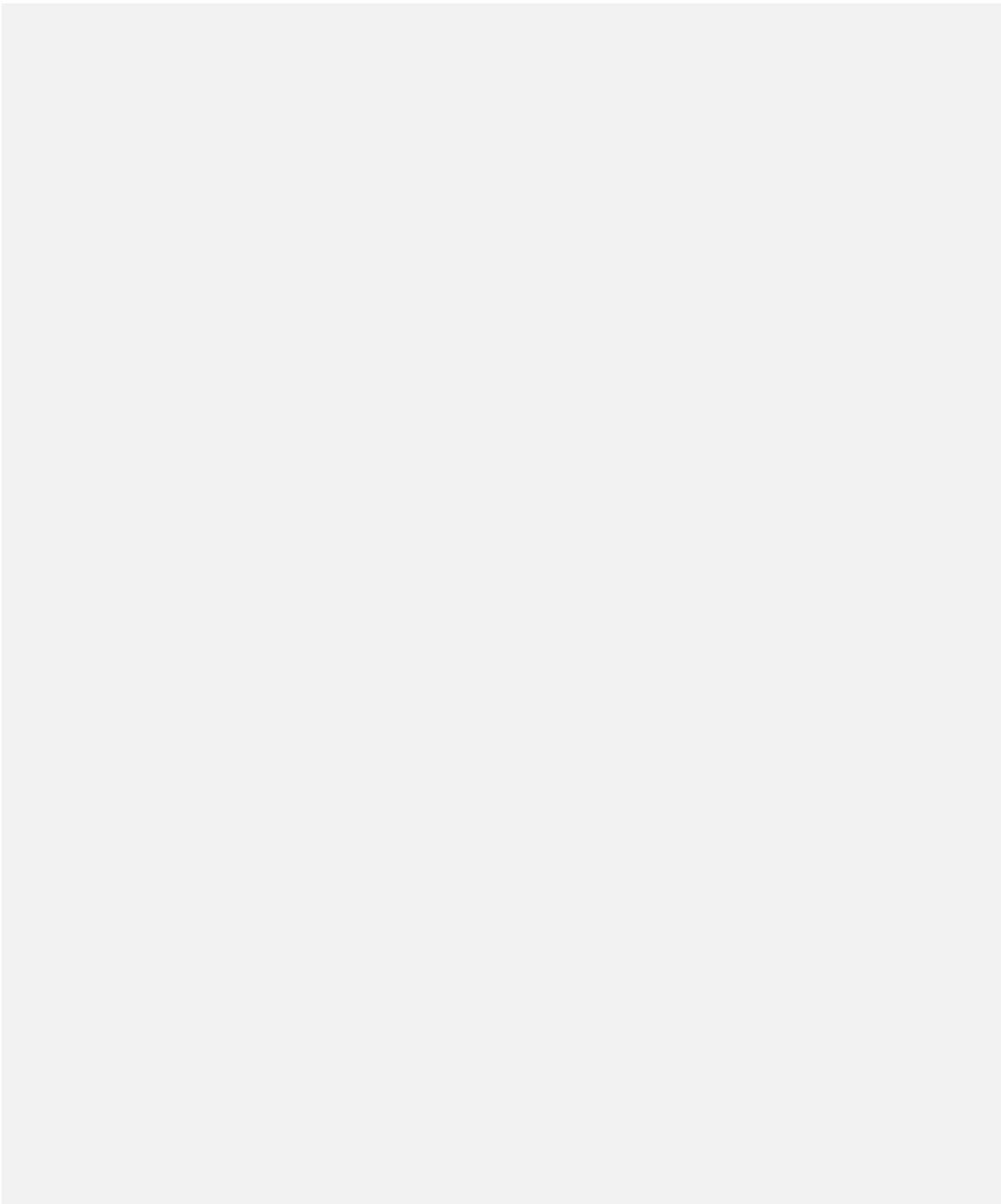
3.4.3.2 靶材输送管道

照射后的靶材在靶室内静置20分钟后，通过靶材传输系统，利用接收端-传输端的压力差，驱动靶材连同外部靶材盒传输至1#接收热室，则靶材静置20分钟后目标核素及杂质核素的活度见表3.4-4。

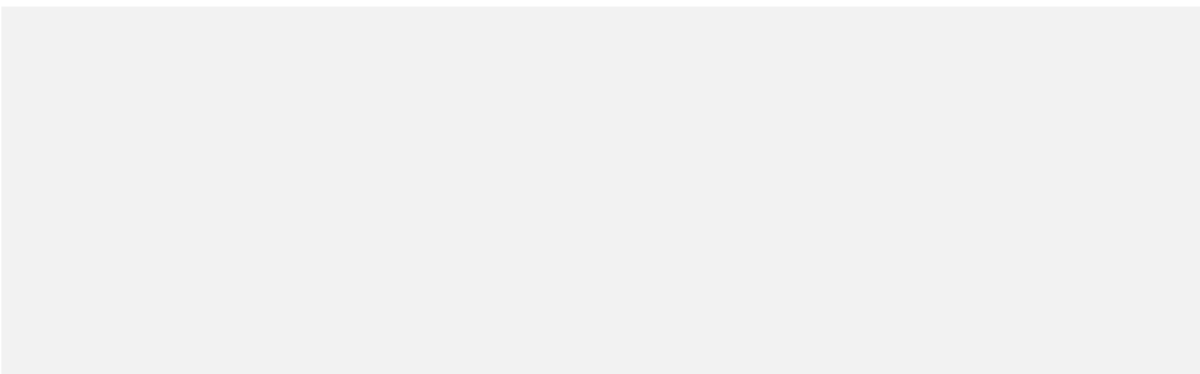
3.4.3.3 热室

本项目单个靶材经5天（120h）连续打靶结束后，静置20分钟后传输至1#热室，在1#热室内存放4天后传输至2#热室，在2#热室内贮存10天，传输至3#或4#热室内进行化学提纯，最终成品在5#热室中分装运出。

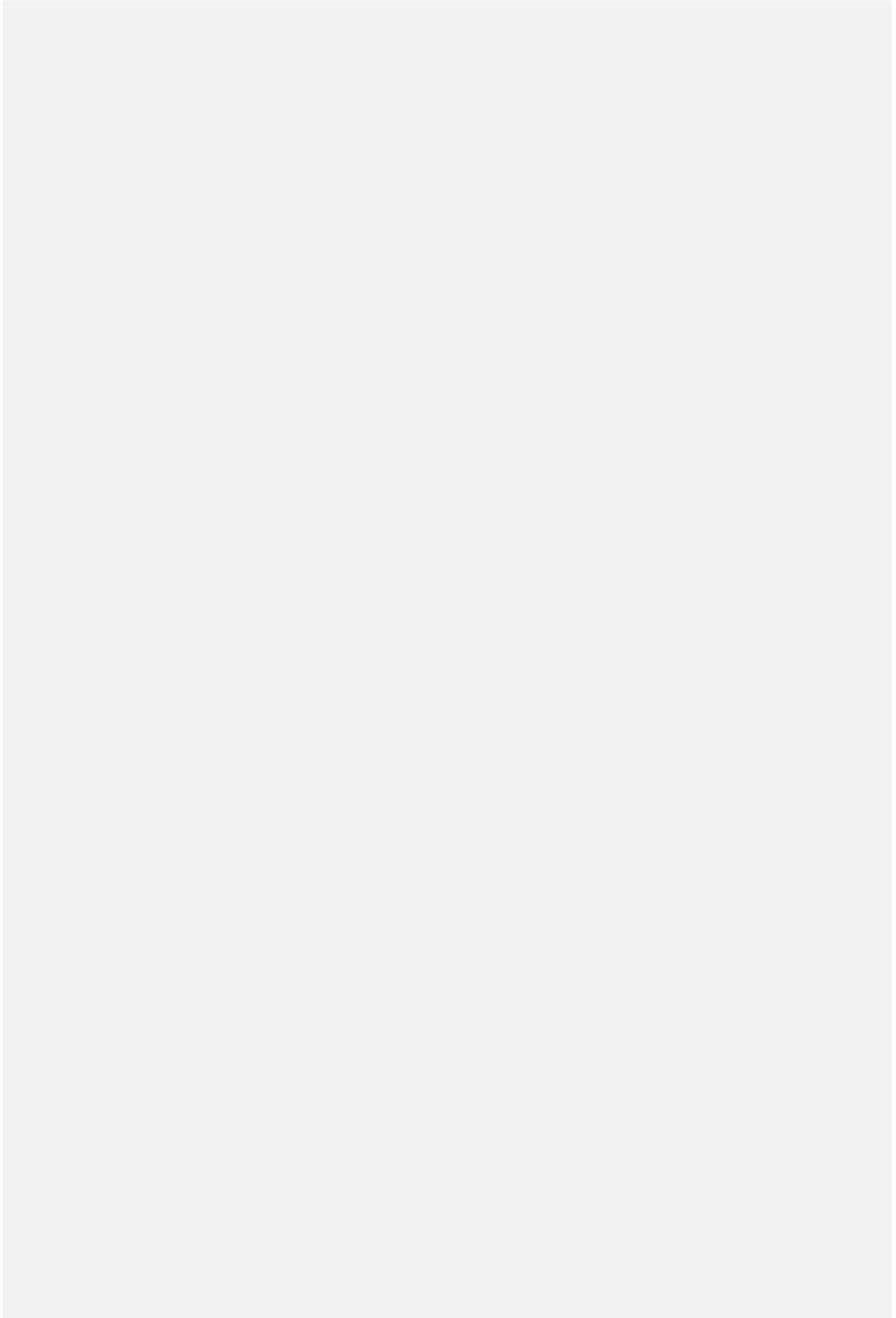


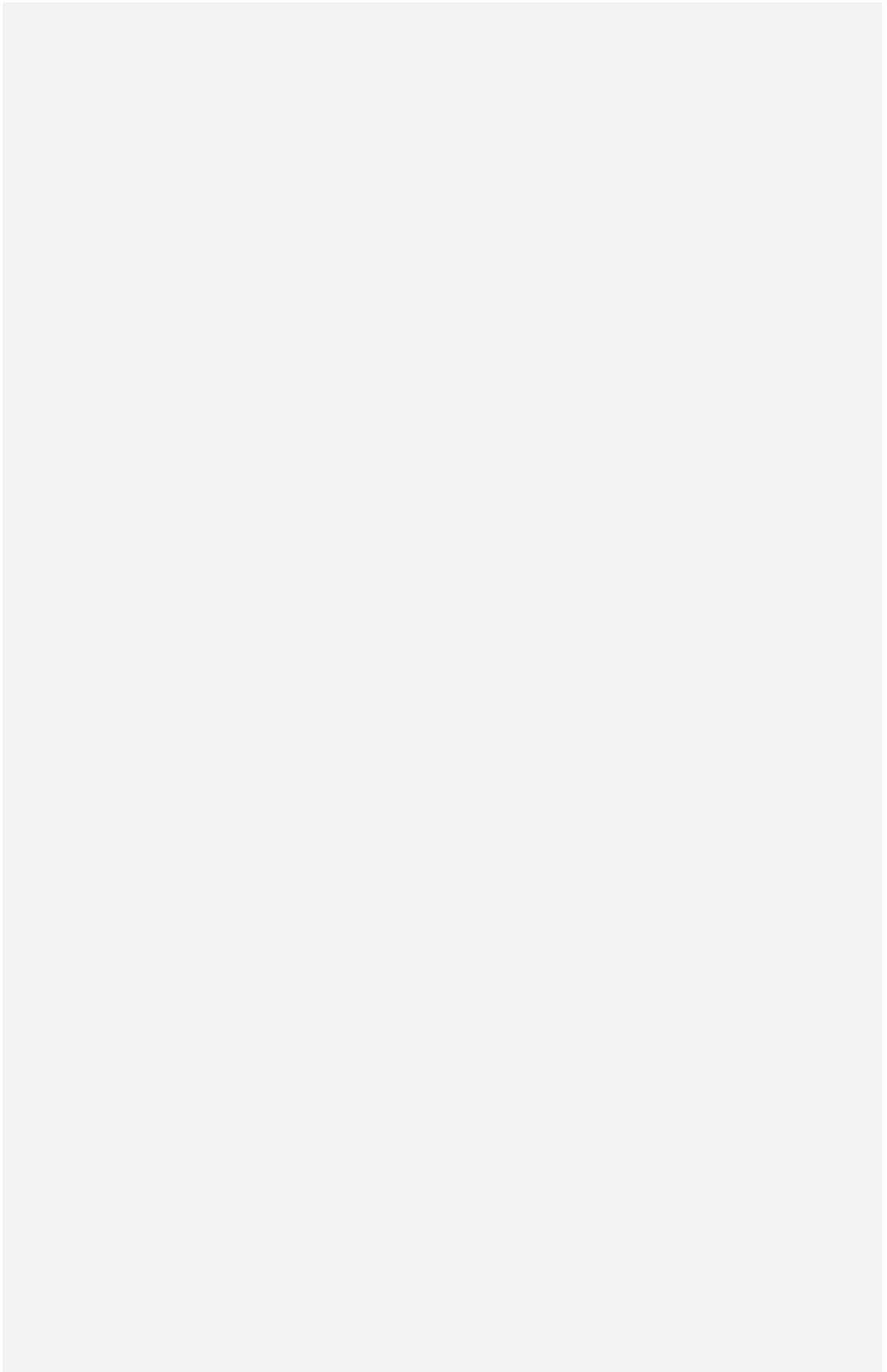


3.4.3.4 货包及成品库



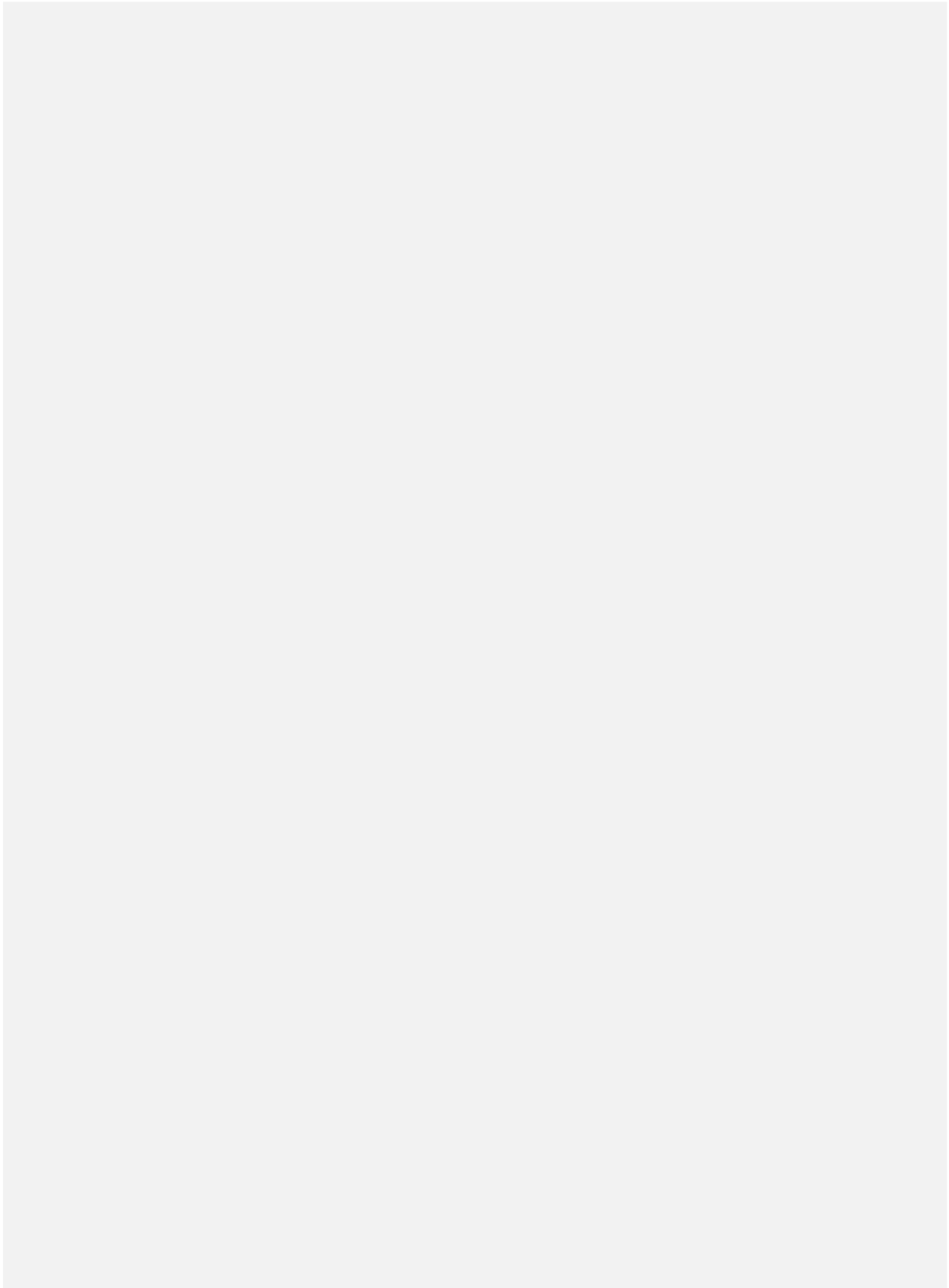
3.4.3.5 废物转运容器

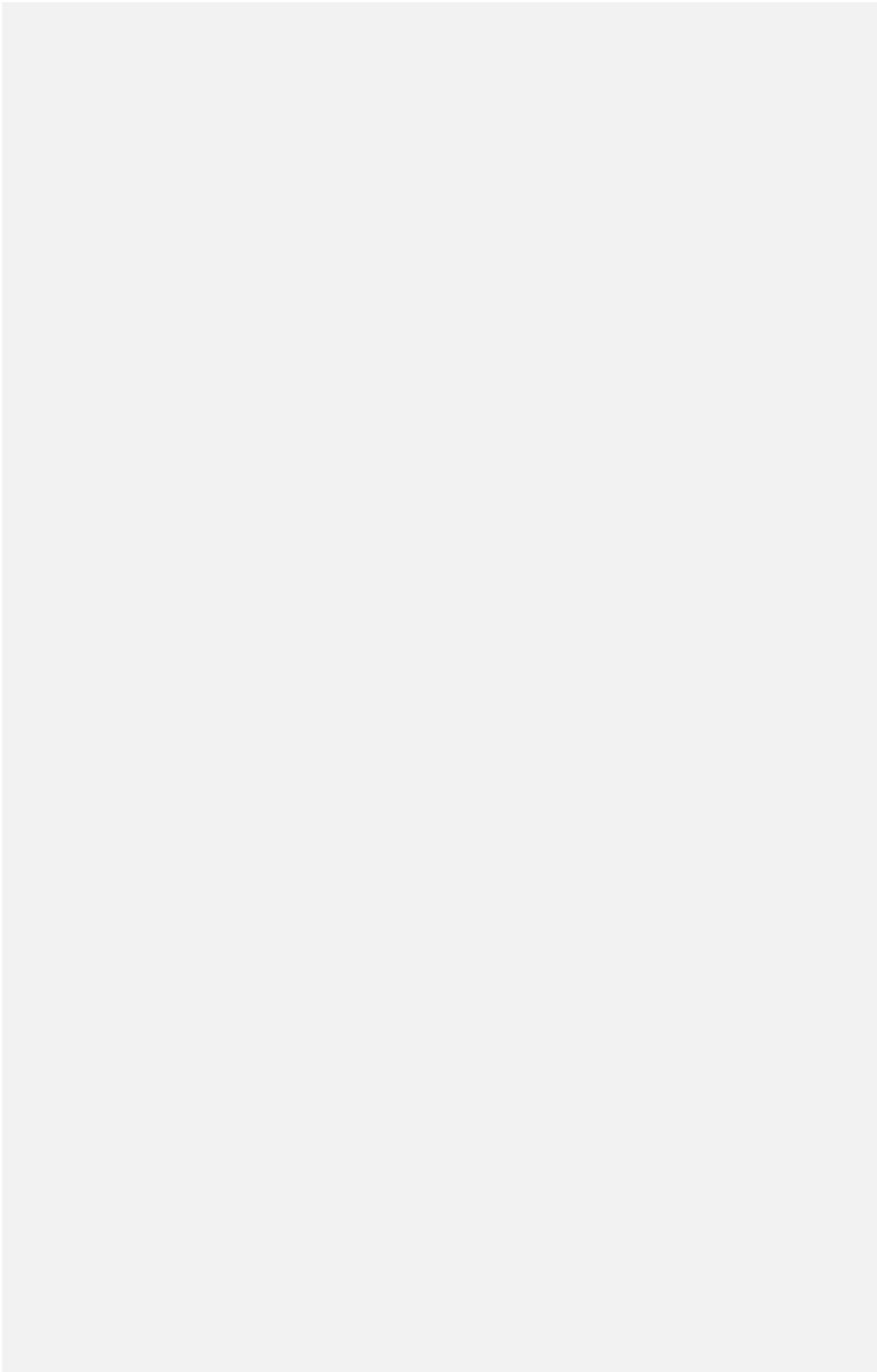




3.4.3.6 放射性废物仓储系统

根据蜂巢池的设计，放射性废物仓储系统可储存约950个靶材的废物，经估算，放射性废物仓储系统为暂存满状态时的放射性废物活度见表3.4-9。





3.4.4 非放射性污染

(1) 电磁辐射

回旋加速器运行时可能产生电磁辐射的区域主要有离子源系统、加速腔、高压电源等。整个加速器均位于金属外壳内，高压电源外设柜体，金属外壳能有效的屏蔽电磁辐射，且加速器机房和靶室采用钢筋混凝土结构，因此电磁辐射不会对周围环境造成影响。

(2) 废气

项目运行过程中产生的非放射性废气主要是回旋加速器工作时产生的高能射线电离加速器机房和靶室内空气产生的少量臭氧和氮氧化物。

本项目回旋加速器运行工况相同，每小时通风换气次数有所增加，参考《齐康原医疗科技（常州）有限公司新建放射性同位素生产项目环境影响报告书》中加速器机房和靶室内臭氧浓度为 $4.10\text{E-}05\text{mg/m}^3$ ，由此可推断本次设计变更后的加速器机房和靶室内的臭氧浓度仍低于《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中工作场所臭氧最高容许浓度 0.30mg/m^3 。由此可知，本项目回旋加速器正常运行时，产生的 O_3 对工作人员产生的影响较小， O_3 的排放对周围环境影响较小。

(3) 生活污水

按照公司工作人员40人考虑，每人每天消耗约60L水，排放量约为消耗量的80%，300个工作日/年工况下，公司年排放生活污水约576t，接管金坛经济开发区内的污水管网，管网接口位于厂界外西北角（汇福路和珠山路交界口）。

(4) 一般固体废物

公司劳动定员40人，按照每人每天产生约0.5kg生活垃圾，300个工作日来计算，公司年产生生活垃圾约6t。

公司生产过程中产生的废弃物，包括废西林瓶（未沾有放射性核素）、废包装材料等，年产生量约0.6t。

(5) 危险废物

放射性核素生产车间使用的硫酸、盐酸、柠檬酸等化学试剂，年用量约192.6L（不含去离子水），上述试剂作为危险化学品，存储在原辅料存放间内，每年会产生约9.63L的废酸（主要是超过有效期的废弃试剂，不含放射性，占使用量的5%），属于《国家危险废物名录》（2025年版）中的HW49-其他废物，废物代码为900-047-49，暂存于

厂区危废暂存间（生产厂房一层，1-271室）。

质检车间质检过程中产生的放射性工艺废液（2.49L/年），因含氢氧化钠或乙腈等化学试剂，也属于《国家危险废物名录》（2025年版）中的HW49-其他废物，废物代码为900-047-49。先暂存在放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域，解控后移至厂区危废暂存间。

放射性核素生产及质检过程中产生的不含放射性的无菌瓶、卡套、硅胶板、移液枪枪头、针头针孔、培养基、废活性炭等年产生量不超过60kg，属于《国家危险废物名录》（2025年版）中的HW49-其他废物，废物代码为900-047-49，暂存于厂区危废暂存间。

（6）噪声

本项目室内噪声源主要包括：地下层的空调冷水机、生活污水提升泵和消防水泵，一层的非放射性区域的排风机，二层的新风机组、循环冷却水水泵、去离子水泵和非放射性区域的排风机，上述设备的噪声源强基本小于65dB(A)，且均为室内布置，采用建筑隔声，对厂界外的噪声影响很小，相对室外噪声源对厂界外的噪声影响可忽略不计。

本项目室外噪声源主要是三层屋顶上安装的空压机、闭式冷却塔、风冷空调外机和排风机，其中空压机、闭式冷却塔、风冷空调外机的噪声源强较小（不超过65dB(A)），排风机的噪声源强较大（大于65dB(A)，具体见表3.4-10）。经距离的衰减，噪声较小的空压机、闭式冷却塔、风冷空调外机对厂界外的噪声影响很小，相对噪声较大的排风机对厂界外的噪声影响可忽略不计。故本项目将三层屋顶的排风机作为本项目的主要噪声源，三层屋顶各排风机的噪声源与厂界的位置关系见表3.4-10。

表3.4-10 项目噪声源源强及与厂界的位置关系

安装位置	排风机序号	源强 (dB(A))	排风量 (m³/h)	距离四周厂界的水平距离 (m)			
				东厂界	南厂界	西厂界	北厂界
三层屋顶	EG-3-1	83	25500	43	28	53	41
	EG-3-2	85	22000	51	12	45	57
	EG-3-3	85	19000	44	14	52	55
	EG-3-4	81	14700	44	16	52	53
	EG-3-5	80	4000	51	22	45	47
	EG-3-6	86	1800	43	26	53	43
	EG-3-7	66	2800	38	33	58	36

（7）其他非放射性污染物

公司内未规划食堂，餐食委托周围餐饮企业加工后送至厂区内，厨余垃圾、餐盘容器等也一并委托餐饮企业处置和外包清洗，因此厂区内无食堂油烟和废水排放。

3.5 废弃物

3.5.1 废气

3.5.1.1 放射性废气

本项目放射性废气主要是放射性核素在操作过程中产生的少量放射性气体，以及回旋加速器运行时产生的放射性活化气体。本项目放射性核素一般在热室和通风柜中操作，挥发的放射性气体很少；放射性活化气体主要考虑 ^{41}Ar ，但其半衰期较短（110min），机房内保持通风换气，活化核素不会长期累积，且空气中活化核素的毒性较小，对进入加速器机房和靶室工作的人员和周围公众影响较小。

3.5.1.2 非放射性废气

本项目非放射性废气主要是回旋加速器工作时产生的高能射线电离加速器机房和靶室内空气产生的少量臭氧和氮氧化物。

3.5.2 废水

本项目每年使用的酸性试剂、去离子水等总量为259.8L，其中7.68L转化为 ^{68}Ge 液体产品；二层质检车间每批次样品（2.5ml）稀释后开展实验分析，稀释后年排放量约2.49L；废酸试剂（不含放射性）9.63L；热室内产生的放射性工艺废液约240L。本项目酸性试剂、工艺废液平衡分析见表3.5-1。

表3.5-1 本项目酸性试剂、工艺废液平衡分析表

性质	来源	体积	备注
非放射性废液	废弃化学试剂	9.63L/a	化学试剂总量192.6L的5%
放射性工艺废液	一层车间的热室	240L/a	2L*120批次
	二层质检车间	2.49L/a	2.5ml*120批次，稀释后排放量2.49L/a
产品	^{68}Ge （液体）	7.68L/a	16ml*4瓶/批次*120批次
总计		259.8L/a	化学试剂192.6L+去离子水67.2L

3.5.2.1 放射性废水

本项目放射性核素生产过程中产生的放射性工艺废液主要是在热室内化学提纯过程中使用的盐酸、硫酸、柠檬酸等试剂， ^{68}Ge 核素提纯过程中产生的废液除了含有盐酸、硫酸等化学成分以外，还含有随酸性物质淋洗下来的 ^{68}Ge 、 ^{55}Fe 、 ^{54}Mn 、 ^{60}Co 、

^{65}Zn 等放射性杂质核素，使用专用容器收集，暂存在地下层放射性废物暂存间的放射性废物仓储系统，暂存时间规划不超过8年，期间大部分放射性核素活度因半衰期较短已降至较低水平，但废液中存在 ^{55}Fe 、 ^{54}Mn 、 ^{60}Co 、 ^{65}Zn 等半衰期较长的放射性核素，仍需作为放射性废物处理。

本项目放射性核素质检过程中产生的放射性工艺废液主要是含有氢氧化钠或乙腈的质检废液，先作为放射性废物暂存在地下层放射性废物暂存间内，解控后作为危险废物处理。

此外，放射性废水还包括回旋加速器因事故或检维修等原因需外排活化的冷却水，一层放射性同位素生产车间和二层质检车间产生的含有放射性核素的清洗废水以及发生核素泼洒等意外情况时人员淋浴产生的含有放射性核素的淋浴废水。

本项目运行过程中放射性废水来源、数量、含有主要核素具体见表3.5-2。

表 3.5-2 本项目放射性废水一览表

放射性废水名称	来源	含有主要核素	年产生量
活化的冷却水	加速器机房、靶室	^3H 、 ^{14}C 、 ^{15}C 、 ^{16}N 、 ^{15}O 等	总量为1.1m ³ ，正常情况下不外排，若发生泄漏或系统检修时，需外排的冷却水
放射性工艺废液	放射性同位素生产车间	^{68}Ge 、 ^{55}Fe 、 ^{54}Mn 、 ^{60}Co 、 ^{65}Zn 等	约0.24m ³
含放射性核素的清洗废水			约0.2m ³
事故应急淋浴废水			正常情况下不产生，发生事故时，淋浴冲洗才会产生，每次不超过0.1 m ³
放射性工艺废液	质检车间	^{68}Ge	约2.49E-03m ³
含放射性核素的清洗废水			约0.2m ³
事故应急淋浴废水			正常情况下不产生，发生事故时，淋浴冲洗才会产生，每次不超过0.1 m ³
总计			约0.64m ³ （不含淋浴废水）

3.5.2.2 非放射性废水

根据表3.5-1可知，本项目年产生约 9.63L 的废弃化学试剂，属于《国家危险废物名录》（2025年版）中的HW49-其他废物，废物代码为900-047-49。此外，公司约有40名工作人员，年排放生活污水约 576m^3 。

3.5.3 固体废弃物

3.5.3.1 放射性固体废物

本项目放射性固体废物主要来自加速器运行、检维修以及放射性核素生产、质检过程中产生的废活化部件、废弃元器件、废靶材和废靶材盒、离子树脂交换柱、毛细管、针头、实验室废物及高效过滤器滤芯等，产生量约280.8kg/年，分类收集后存放在放射性废物暂存间内，经过一段时间衰变，大多数核素活度已降至较低的水平，但还有一些较长半衰期核素如 ^{60}Co 存在，使得放射性废物仍有一定的辐射影响。

（1）废碳膜、废活化部件等

本项目加速器定期维护保养、检维修过程中更换部件，产生的废碳膜、废活化部件（如束流管、泵、密封圈、准直器等）等高活性固废和一次性沾污废物等非高活性固废，每年估计产生不超过55kg，这部分部件不能再利用，作为放射性固体废物处理。

（2）废弃元器件

本项目热室检维修过程中更换的废弃元器件，每年估计产生不超过2kg，这部分元器件不能再利用，作为放射性固体废物处理。

（3）废靶材和废靶材盒

公司生产放射性核素过程中，每年购买并使用120块金属靶材，打靶后每年产生120块废靶材（140g/个，总重约16.8kg）。每个靶材盒循环使用约30次后报废，每年使用4个靶材盒（总重约2kg）。废靶材和废靶材盒作为放射性固体废物处理。

（4）离子树脂交换柱

本项目在热室中使用离子树脂交换柱来纯化 ^{68}Ge 溶液，在此过程中会产生含有放射性核素的离子树脂交换柱，不能重复利用，年消耗量不超过15kg，因吸收了各种放射性核素需作为放射性固体废物处理。

（5）高效过滤器滤芯

本项目在热室、通风柜的顶壁以及加速器机房、靶室、放射性同位素生产车间、质检车间排风系统的排放口前安装有高效过滤器，过滤效率不低于99%，各场所产生的放射性废气在排放前经高效过滤器过滤后排放，高效过滤器可以有效的吸附气溶胶中的放射性核素，高效过滤器定期需要更换滤芯，每年更换1次，年消耗量不超过140kg（共6套高效过滤器装置，每套约20kg；热室和通风柜顶壁共约20kg）。高效过滤器的滤芯因吸收了各种放射性核素需作为放射性固体废物处理。

(6) 易耗品

易耗品主要包括辐射工作场所日常工作所用的工作服、一次性手套、口罩、棉签、吸水纸、注射器、试剂瓶、移液器、毛细管和针头等，该类物品的产生量每年约50kg，因沾染了放射性核素，需作为放射性固体废物处理。

本项目运行过程中放射性固体废物来源、数量、含有主要核素具体见表3.5-3。

表 3.5-3 本项目放射性固体废物一览表

放射性固体废物名称	来源	含有主要核素	年产生量
废碳膜、废活化部件等	加速器系统	^{64}Cu 、 ^{62}Cu 、 ^{65}Ni 、 ^{63}Ni 、 ^{60}Co 、 ^{59}Fe 、 ^{55}Fe 、 ^{24}Na 、 ^{54}Mn 、 ^{51}Cr 、 ^3H 等	约55kg
废靶材盒			约2kg
废靶材	加速器系统	^{68}Ge 、 ^{60}Co 、 ^{51}Cr 、 ^{64}Cu 、 ^{62}Cu 、 ^{59}Fe 、 ^{55}Fe 、 ^{54}Mn 、 ^{59}Ni 、 ^{63}Ni 、 ^{65}Zn 等	约16.8kg
离子树脂交换柱	热室		约15kg
高效过滤器滤芯	通风系统	^{68}Ge 、 ^{60}Co 、 ^{51}Cr 、 ^{64}Cu 、 ^{62}Cu 、 ^{59}Fe 、 ^{55}Fe 、 ^{54}Mn 、 ^{59}Ni 、 ^{63}Ni 、 ^{65}Zn 等	约140kg
废弃元器件	热室		约2kg
工作服、一次性手套、口罩、棉签、吸水纸、注射器、试剂瓶、移液器、毛细管和针头等易耗品	地下层、一层、二层辐射工作场所	^{68}Ge 、 ^{60}Co 、 ^{51}Cr 、 ^{64}Cu 、 ^{62}Cu 、 ^{59}Fe 、 ^{55}Fe 、 ^{54}Mn 、 ^{59}Ni 、 ^{63}Ni 、 ^{65}Zn 等	约50kg
总计			约280.8kg

3.5.3.2 非放射性固体废物

本项目放射性核素生产及质检过程中产生的不含放射性的无菌瓶、卡套、硅胶板、移液枪枪头、针头针孔、培养基、废活性炭等年产生量不超过60kg，属于《国家危险废物名录》（2025年版）中的HW49-其他废物，废物代码为900-047-49。

公司生产过程中产生的废西林瓶（未沾有放射性核素）、废包装材料等，年产生量约0.6t，以及工作人员产生的生活垃圾，年产生量约6t。

第四章 辐射安全与防护

4.1 场所布局与屏蔽

4.1.1 总平面布局

齐康原医疗科技（常州）有限公司厂址地块长97.36m（东西方向）、宽69.36m（南北方向），地块总占地面积6603m²。厂区中部拟建一座生产厂房，生产厂房四周被厂内道路围绕，四周沿厂界布设车辆泊位和绿化带，厂区平面布置见图1.2-2。

生产厂房规划设计长59.6m（东西方向）、宽49.5m（南北方向）、高21.3m。生产厂房建筑共计五层，地下一层、地面四层；其中地下层为放射性废物暂存间、生活用水泵房、空调冷水机房、消防水泵房、消防水池等；地面一层为加速器机房及靶室、热室、包装间、接收和发货区、预留区域等；地面二层为生产办公室、质检车间、新风机房等；地面三层主要是办公研发区、空压机房、变电所等；地面四层（顶楼）西北角建设一间会议室和东南角建设一间锅炉房。

生产厂房各楼层按功能分区，地面一层为放射性同位素生产车间，包含1台回旋加速器系统、1套热室系统以及包装间、成品库等；二层是产品放射性核素⁶⁸Ge的质检车间；地下层部分区域用于暂存生产、质检过程中产生的放射性工艺废液和放射性固体废物（即放射性废物暂存间），上述区域均属于辐射工作场所；其余楼层（三层和四层）不开展辐射工作。

本项目一层放射性同位素生产车间和二层质检车间中的各放射性功能单元相对集中，便于统一管理。

4.1.2 人流、物流路径合理性分析

本项目一层放射性同位素生产车间、二层质检车间和地下层放射性废物暂存间均设有单独的工作人员通道、物流通道，其中：

1、一层放射性同位素生产车间人流、物流路径

（1）人流路径

回旋加速器人员路径（控制室操作）：一层西北角大厅→走道→回旋加速器控制室；工作结束后原路返回。

回旋加速器人员路径（加速器巡检）：一层西北角大厅→走道→卫生通过间→门斗→加速器走廊→回旋加速器工作场所巡检；工作结束后原路返回。

热室操作间人员路径：一层西北角大厅→走道→卫生通过间→走道→一更→二

更衣室→走廊→更衣室→缓冲间→热室操作间；工作结束后原路返回。

收发货区人员路径：一层西北角大厅→走道→接收区；一层西北角大厅→走道→物流更衣区→包装发货区；工作结束后原路返回。

（2）物流路径

原料路径：一层东北角的接收区→走廊→原辅料存放间，工作人员在生产前根据订单情况至原辅料存放间领取相应的原材料；热室区域所需的盐酸、硫酸等试剂→原辅料缓冲间→走廊→物流通道→走廊→准备间→物料通道→热室；热室区域所需的靶材→原辅料缓冲间→走廊→物流通道→走廊→物料通道→热室；包装发货区所需的原辅料→原辅料缓冲间→走廊→包装缓冲间→包装间或包材库。

成品核素路径：受照后的靶材通过靶材传输系统传输至1#接收热室静置4天→传递至2#贮存热室静置10天→传递至3#/4#化学提纯热室化学提存→提纯后的核素产品通过毛细管传递至5#分装热室→热室工作人员在5#分装热室内分装核素成品至货包铅罐→货包铅罐通过热室操作间东南角传递窗递出→运输工作人员从传递窗取出铅罐放置在运输小车上→走廊→包装缓冲间→包装间→剂量率和表面污染检测、清点、贴标签→成品出库区发货/成品库暂存。

（3）放射性废物路径

回旋加速器更换的废旧部件路径：机房/靶室防护门→加速器走廊→加速器废弃物间暂存衰变→经检测辐射剂量率达到环境本底水平后→加速器走廊→热室区域走廊→废弃物走道→货梯间→缓冲间→由有资质单位回收处理。

热室产生的废靶和工艺废水路径：热室内产生的放射性废物通过热室下方管道分类收集在锡罐内→在热室设备走廊利用液压叉车推出装有废靶件和工艺废水的锡罐（锡罐放置在转运容器内）→热室区域走廊→废弃物走道→货梯间→专用货梯（E货梯）→地下层放射性废物暂存间。

其他放射性废物：分类收集后→废弃物走道→货梯间→专用货梯（D货梯）→地下层放射性废物暂存间。

本项目一层放射性同位素生产车间人流和物流路径见图4.1-1，从图中可以看出，本项目放射性同位素生产车间设计有独立的人流、物流通道，因设备管理员巡检需要，巡检通道和物流通道有部分重叠，公司拟采取相应的管理措施，设备管理员巡检时避开成品核素和放射性废物的运输，从时间上将人流、物流分开，防止发生交叉污染。

2、二层质检车间人流、物流路径

（1）人流路径

人流路径：一层西北角大厅→走道→西北角电梯→走道→质检车间入口→质检车间走道→卫生通过间→经缓冲间进入非放射性实验区或经放化实验室更衣室进入放射性实验区；工作结束后原路返回。

（2）物流路径

非放射性原料路径：非放射性物料通过一层预留其他项目辐射工作场所东南角的H专用货梯运送至二层质检车间的各房间；

核素样品路径：核素样品通过包装间对面的G专用货梯运送至二层质检车间→放化实验区走廊→样品接收间→在通风柜内进行稀释、分样→留样样品直接运送至留样及稳定性室留样，其他样品运送至各实验室进行质检。

（3）放射性废物路径

放射性固体废物：各场所产生的放射性废物分类收集→传递窗传递至废弃物间→专用货梯（E货梯）→地下层放射性废物暂存间。

本项目二层质检车间人流和物流路径见图4.1-2，从图中可以看出，本项目质检车间设有独立的原辅料电梯、质检样品核素电梯、放射性废物电梯，设计有独立的人流、物流通道。

3、地下层放射性废物暂存间人流、物流路径

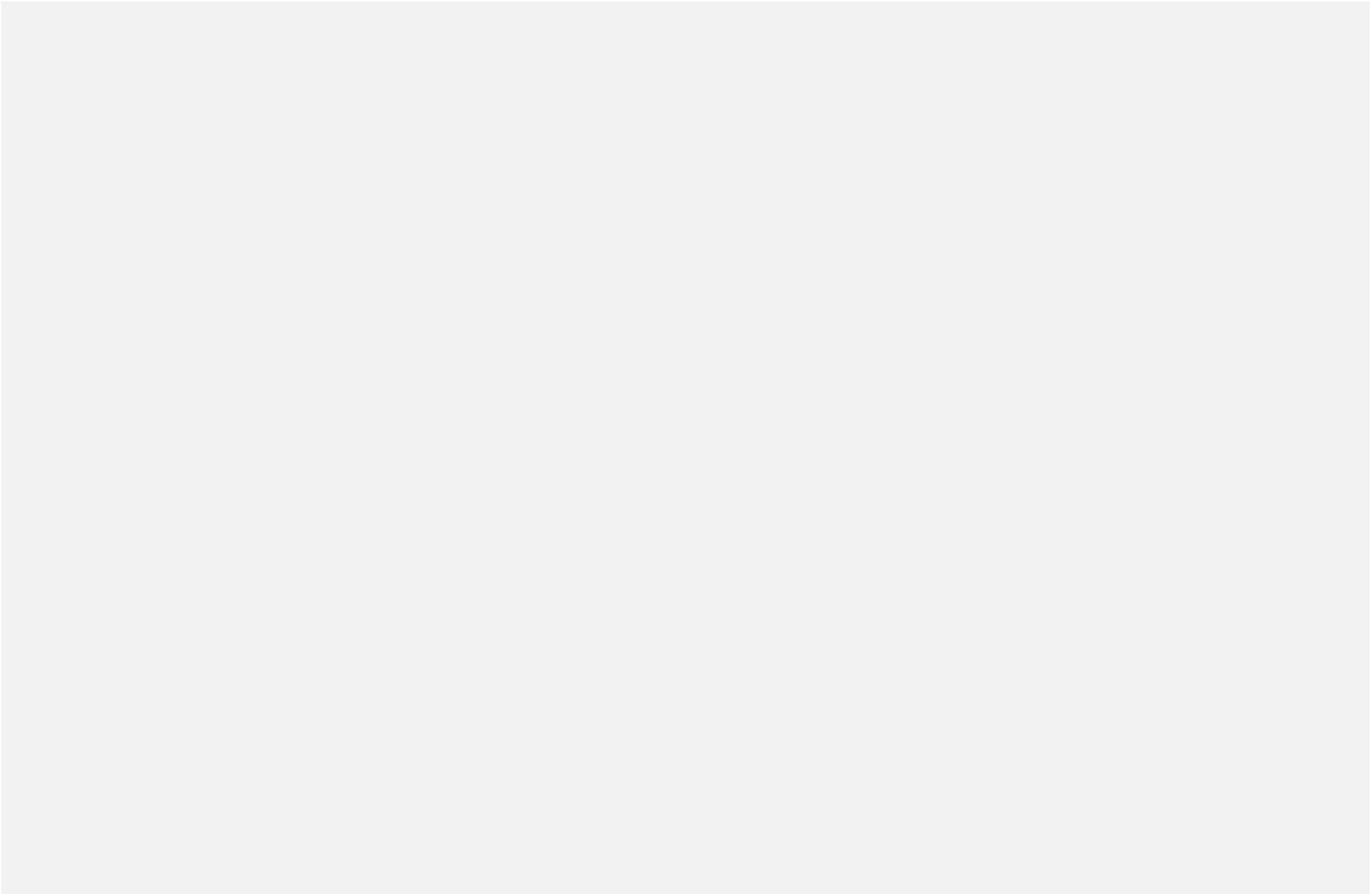
（1）人流路径

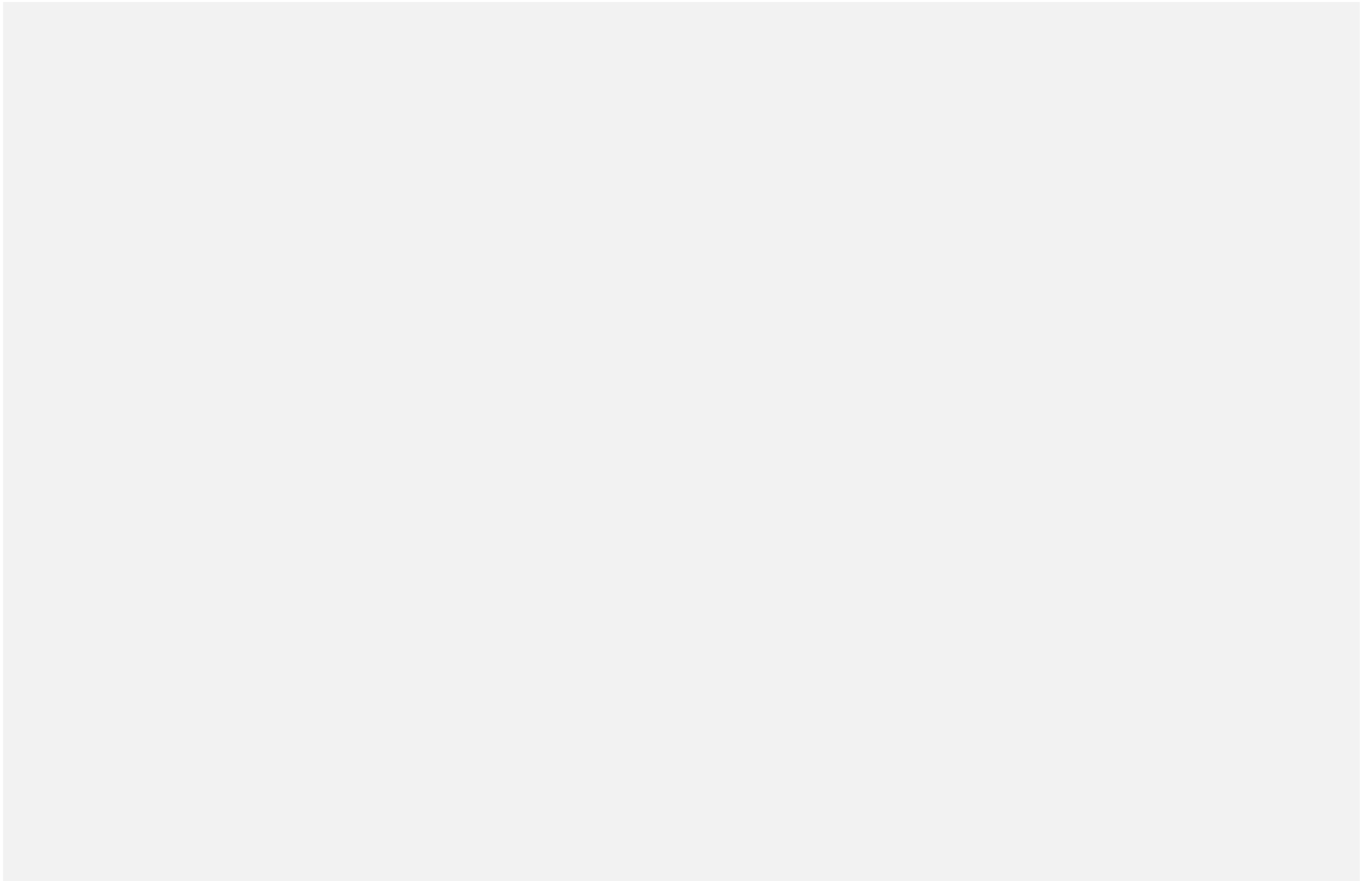
人流路径：一层东南角入口楼梯→放射性废物暂存间缓冲区→放射性废物暂存间的控制室或放射性废物暂存间内；工作结束后原路返回。

（2）放射性废物路径

放射性废物：专用货梯（D货梯或E货梯）→过道→放射性废物暂存间。

本项目地下层放射性废物暂存间人流和物流路径见图4.1-3，从图中可以看出，本项目放射性废物暂存间设有独立的放射性废物电梯和工作人员楼梯，设计有独立的人流、物流通道。





本项目分别在一层放射性同位素生产车间的卫生通过间区域的走道处（1-521）和物流更衣区处（1-220）、二层质检车间的卫生通过间区域的缓冲间处（2-094）、地下层放射性废物暂存间的缓冲区处（0-011）设置辐射巡检仪、表面沾污仪，工作人员离开放射性工作场所时，利用辐射巡检仪测量人员身体周围的辐射剂量率，并利用表面沾污仪进行表面污染检测，如果工作服、手套、鞋、帽的表面污染大于表面污染控制水平，应及时脱下更换清洗或作为放射性固废处理，如果手、皮肤暴露部分的表面污染大于表面污染控制水平，应进一步清洗去污直至满足表面污染控制水平，检测合格后方可离开。从控制区取出任何物品都应进行表面污染水平检测，以杜绝超过GB18871规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

综上，公司放射性同位素生产车间、质检车间、放射性废物暂存间设计有独立的人流、物流通道，因设备巡检需要，设备管理员巡检通道和物流通道不能分开时，公司拟采取相应的管理措施，设备管理员巡检时避开成品核素和放射性废物的运输，从时间上将人流、物流分开，避免交叉辐射污染，满足辐射防护要求，本项目放射性同位素生产车间、质检车间、放射性废物暂存间的平面布局以及人流、物流通道的设置基本合理。

4.1.3 辐射安全与防护分区管理

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求：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；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，对控制区运用行政管理程序（如工作许可证制度）和实体屏蔽（包括门锁和联锁装置）限制进入；监督区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。

本项目控制区和监督区具体划分情况见表4.1-1，一层放射性同位素生产车间控制区和监督区的划分见图4.1-1，二层质检车间控制区和监督区的划分见图4.1-2，地下层放射性废物暂存间控制区和监督区的划分见图4.1-3。

表 4.1-1 本项目控制区和监督区具体划分情况一览表

场所	控制区	监督区
一层放射性同位素生产车间	加速器机房、靶室、热交换室、加速器废弃物间、热室区域、成品暂存和包装发货区、核素运输走廊及专用电梯、放射性废物运输走廊及专用电梯	卫生通过间、加速器辅房（控制室、配电间、维修间、开关室、技术间及走廊等）、备用间、洗衣间、维修间、清洁室、不合格品室、办公室、原辅料存放间和接收区、原辅料缓冲间、物流更衣区、废物缓冲间、危废暂存间及走道

二层质检车间	无菌检测室（含一更、二更）、样品接收间、培养室、内毒素检测室、留样及稳定性室、放化实验室、放化实验室走廊、废弃物间及专用电梯	卫生通过间、设备间、备用间、理化室、普通仪器室、高温室、天平室、档案室、办公室、试剂室、清洗间、灭菌间、准备间、微限检测室（含一更、二更）、阳性对照室（含一更、二更）、走廊、废弃物缓冲间
地下层放射性废物暂存间	放射性废物暂存间的废物存放区域及内部过道	放射性废物暂存间的缓冲区、过道、控制室

控制区管理要求：经授权的本项目辐射工作人员在工作期间才能进入控制区，未经授权的无关人员不允许进入；控制区入口处明显位置粘贴符合GB18871-2002要求的电离辐射警告标志和中文警示说明；加速器机房及靶室防护门入口有声光信号警示装置，并安装安全连锁系统，回旋加速器运行时，机房和受照靶室内禁止人员进入、滞留；辐射工作场所设有视频监控，进入控制区的辐射工作人员必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；人员离开控制区前需开展四肢及体表、携带物品的表面污染监测，经检测满足相关标准要求后才能离开。

监督区管理要求：监督区入口处明显位置粘贴监督区标识或电离辐射警告标志和中文警示说明；监督区入口设置门禁系统，根据辐射工作人员的不同工种和管理权限才能进入相应的区域，进入监督区的人员要佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。禁止未经授权的无关人员进入监督区。

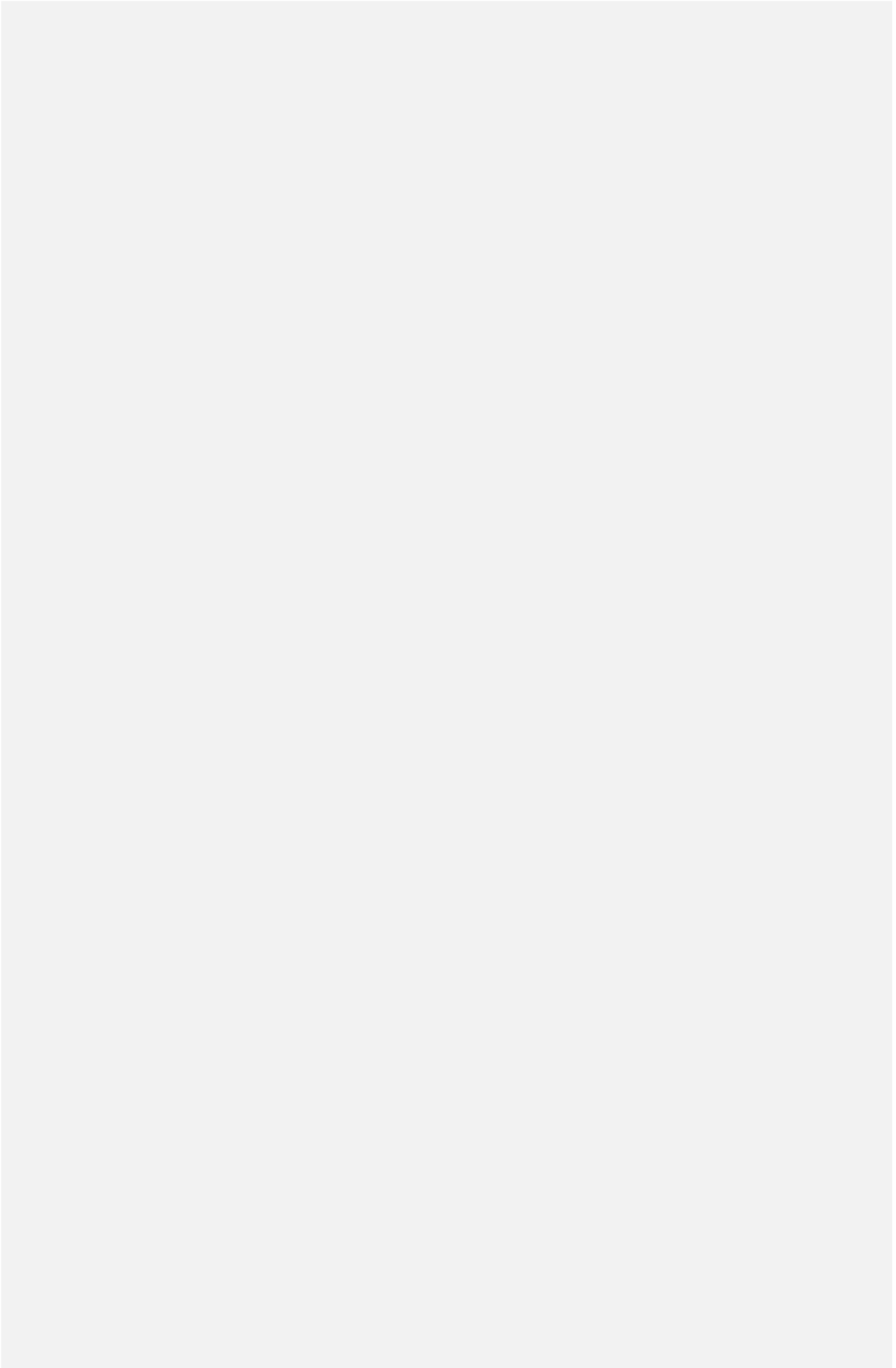
综上所述，本项目放射性同位素生产车间、质检车间、放射性废物暂存间的监督区、控制区划分明确、独立，设置合理，能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射工作场所分区要求。

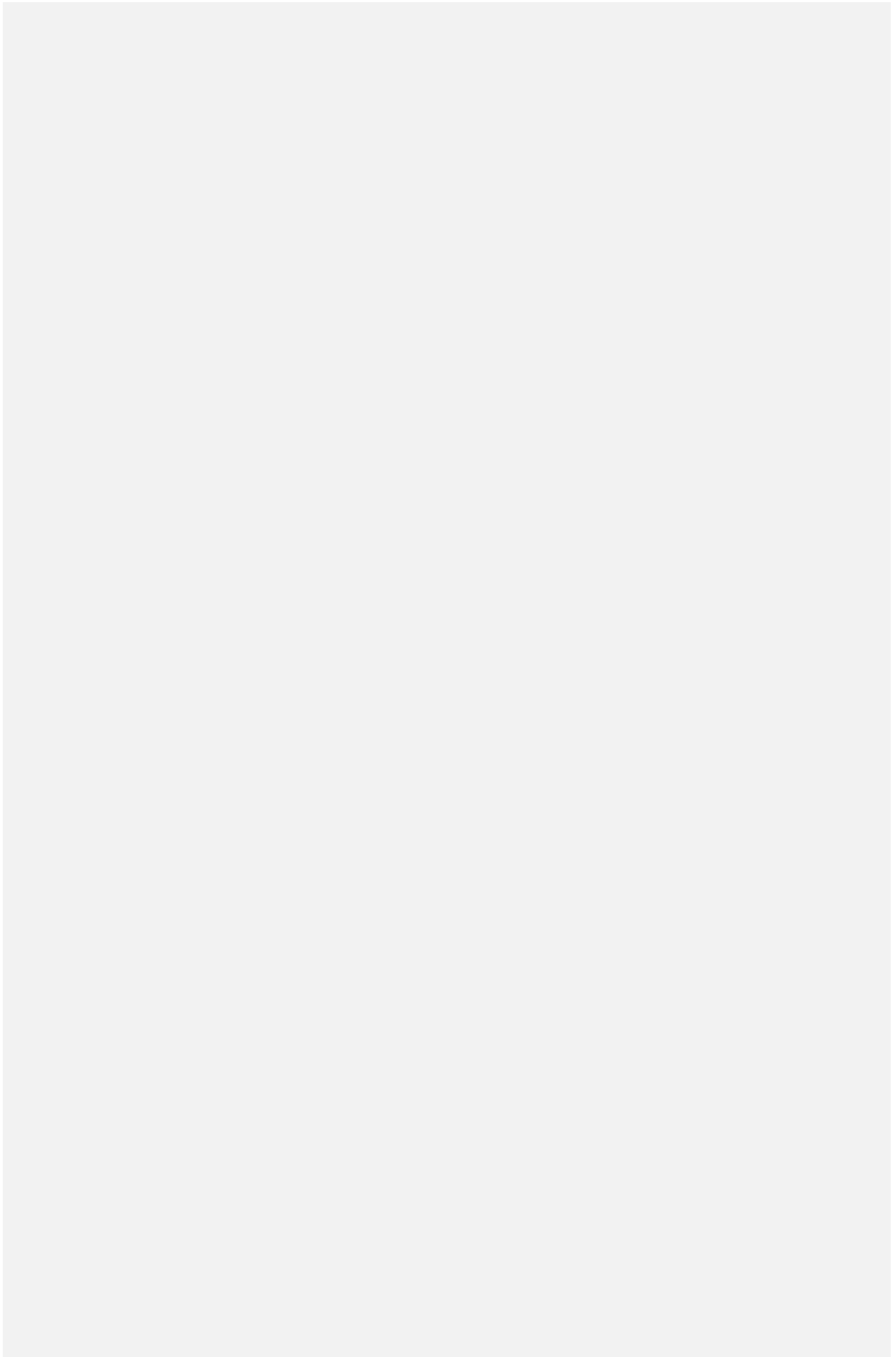
4.1.4 屏蔽设计

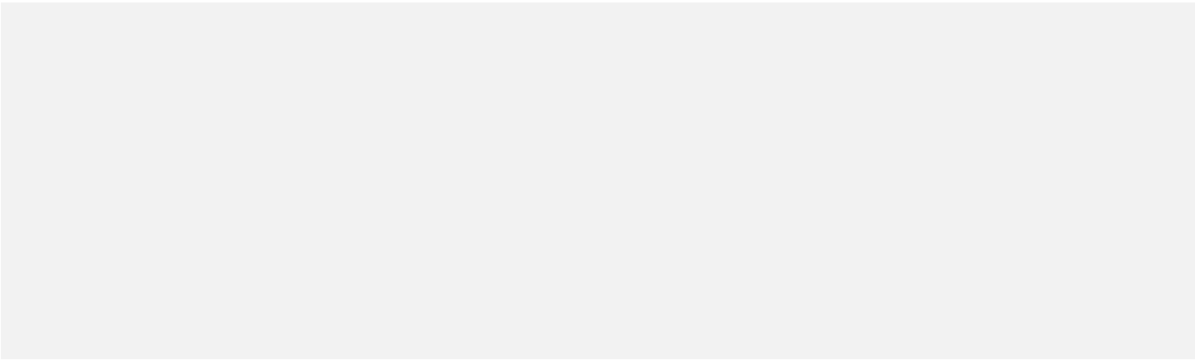
4.1.4.1 一层放射性同位素生产车间

1、加速器机房和靶室屏蔽设计

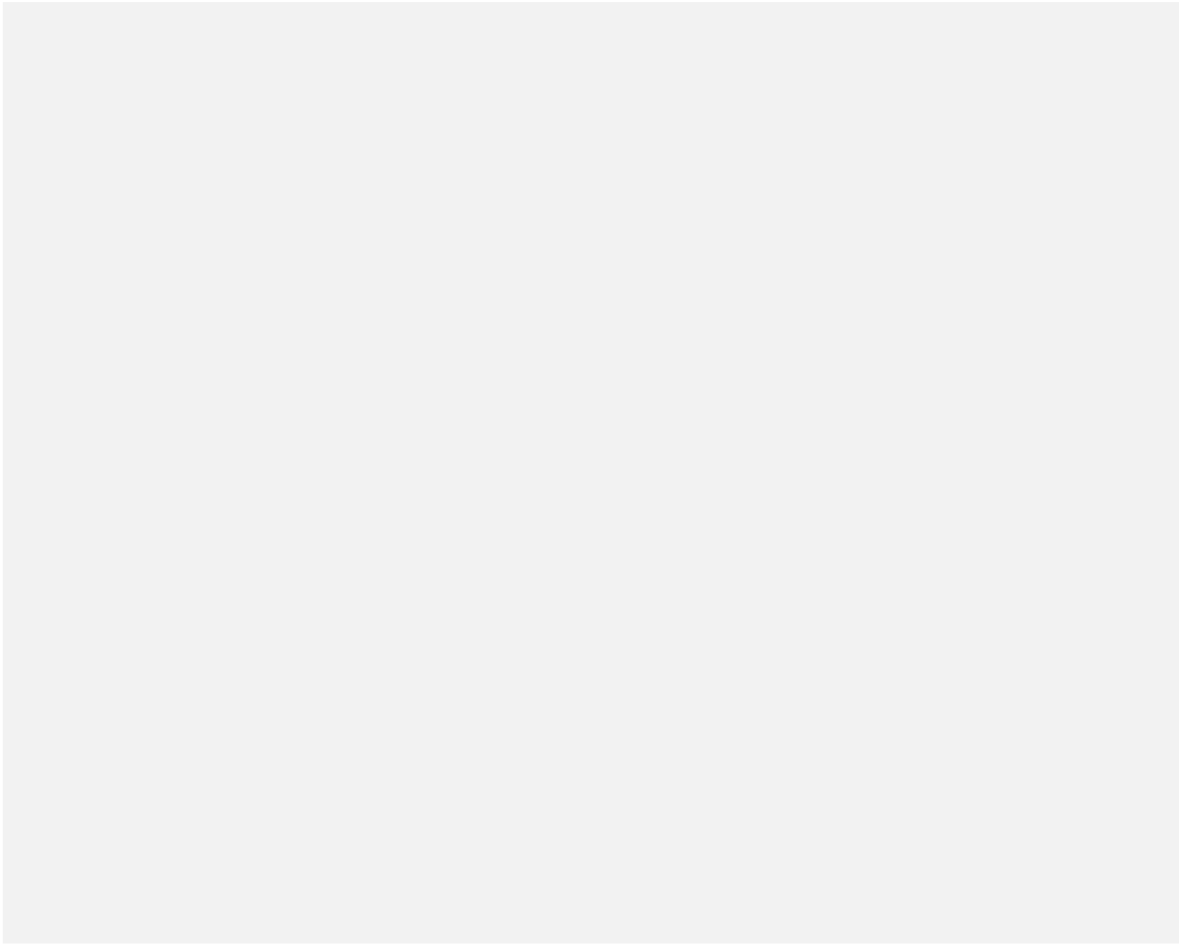
本项目加速器机房和靶室均采用混凝土结构，加速器机房和各靶室均设置1扇人员进出的防护门，防护门均采用与同侧墙体相同密度和厚度的混凝土。防护门采用活塞式电动门，为了尽量降低射线在防护门及门缝处泄漏，防护门与两侧、顶部墙体为3层阶梯式互相契合，间隙小于10mm。防护门底部轨道铺设在地平面上，门与地面间隙小于10mm，加速器机房和各靶室内拟设置挡板，可进一步降低防护门底部门缝处的泄漏。加速器机房和靶室变更前、后的屏蔽防护设计见表4.1-2，设计变更后的结构图见附图10。





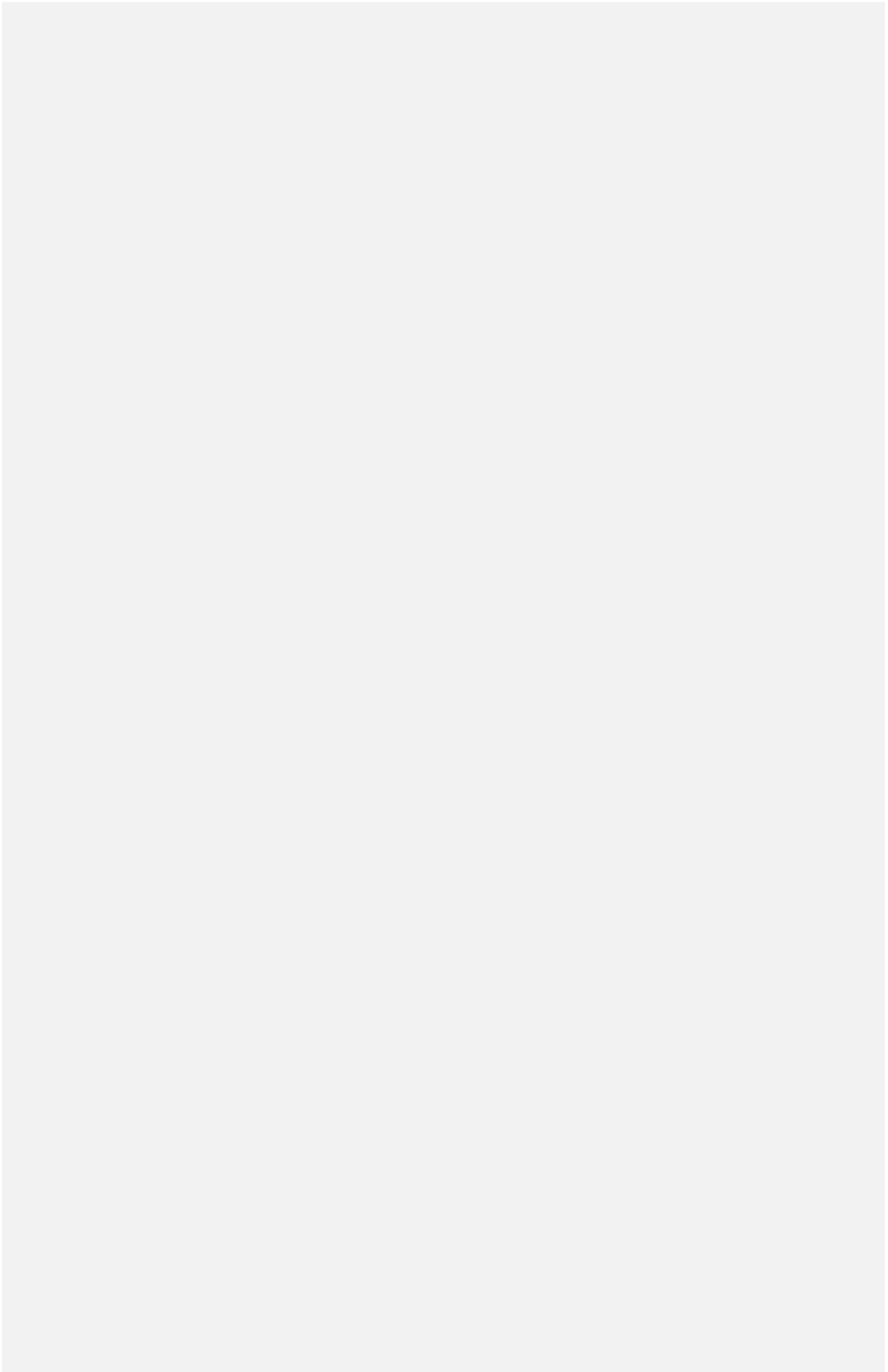


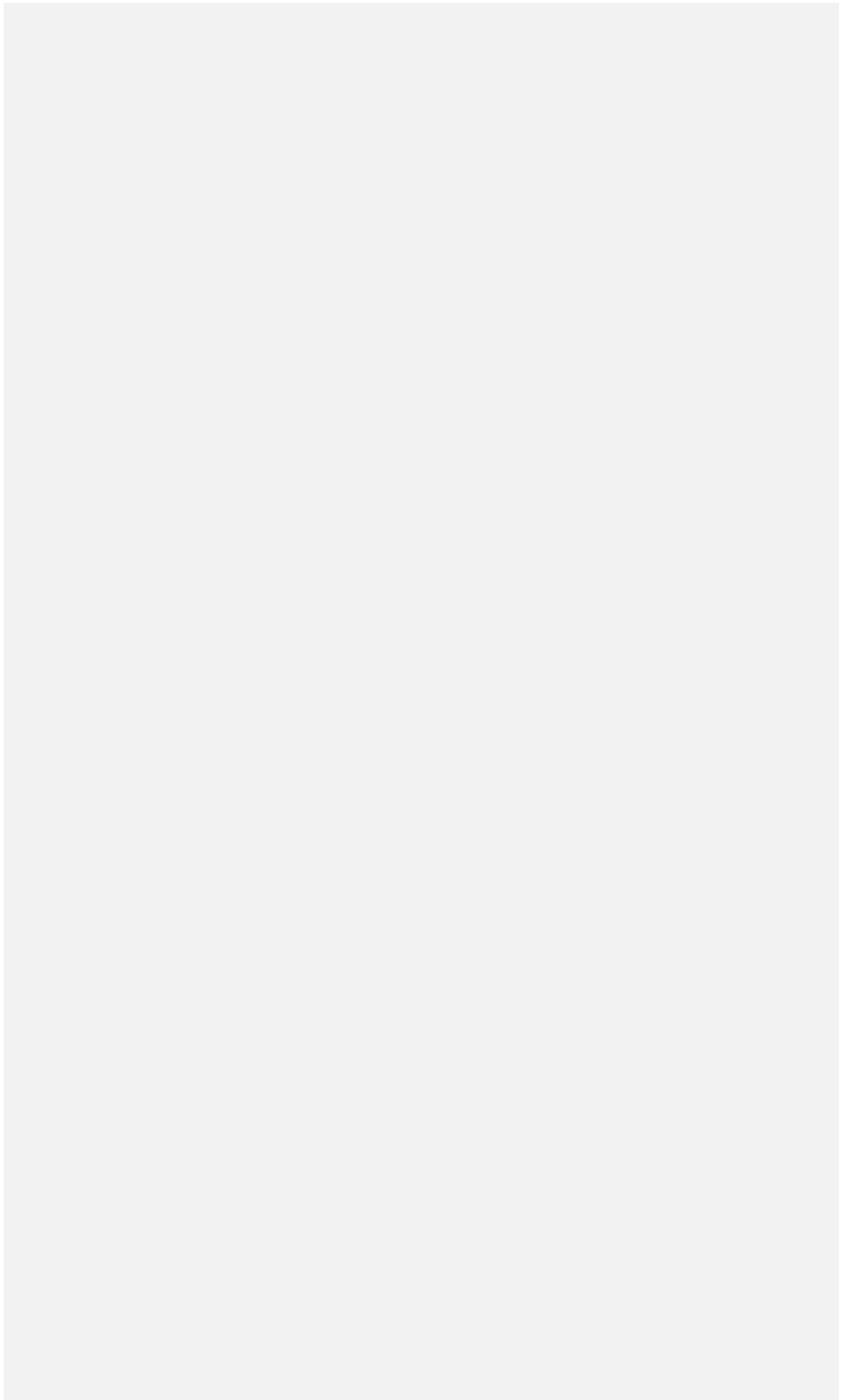
(1) 靶件传输管道屏蔽设计



(2) 穿墙管道设计

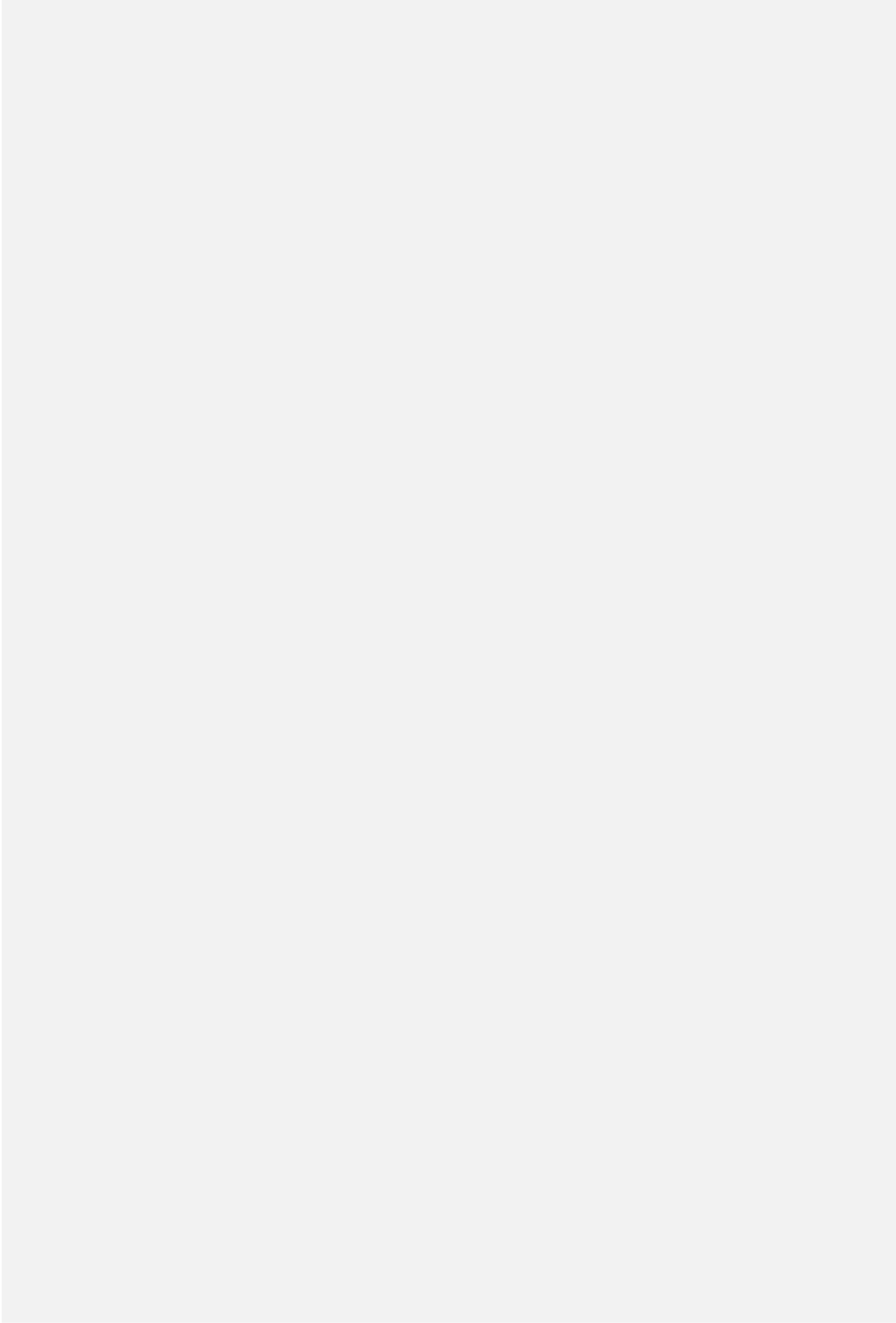
本项目供电电缆管、信号传输线缆管、水管、通风管采用斜穿、“Z”、“S”形以及埋地管道等方式穿过屏蔽墙，防止射线在管道内直穿屏蔽墙发生泄漏。通风管道从加速器机房和靶室顶部进入室内，在屏蔽墙中的路径至少经过3次转折，防止在管道开口处射线泄漏。本项目加速器机房和靶室的管线走向示意图4.1-5~图4.1-7。





2、热室屏蔽设计

考虑到放射性同位素生产车间的1#、2#热室内部自带靶材铅屏蔽盒，其具有一定的屏蔽防护作用，本项目将适当减小1#~5#热室的屏蔽防护设计厚度。热室下方的废



3、工作场所屏蔽设计

本项目放射性同位素生产车间工作场所的屏蔽防护设计与原环评文件中的屏蔽

防护设计一致，保持不变，具体见表4.1-4。

4、其他防护设备和放射性核素成品包装措施

(1) 防护设备

本项目放射性同位素生产车间拟配置的其他防护设备见表4.1-5。

(2) 放射性核素分装活度及包装措施

公司生产的放射性同位素⁶⁸Ge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， α 表面污染不超过0.4Bq/cm²， β 表面污染不超过4Bq/cm²）进行包装和管理。产品货包

设计变更前、后的包装活度及包装措施见表4.1-6。

4.1.4.2 二层质检车间

1、通风柜屏蔽设计

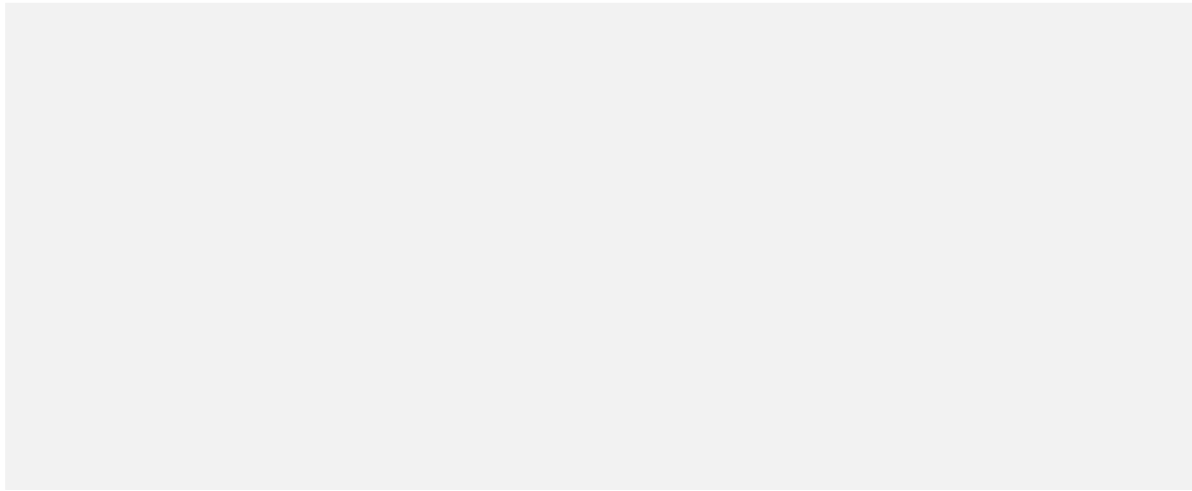
本项目质检车间的通风柜变更前、后的屏蔽防护设计见表4.1-7。

2、工作场所屏蔽设计

本项目质检车间工作场所的屏蔽防护设计与原环评文件中的屏蔽防护设计一致，保持不变，具体见表4.1-8。

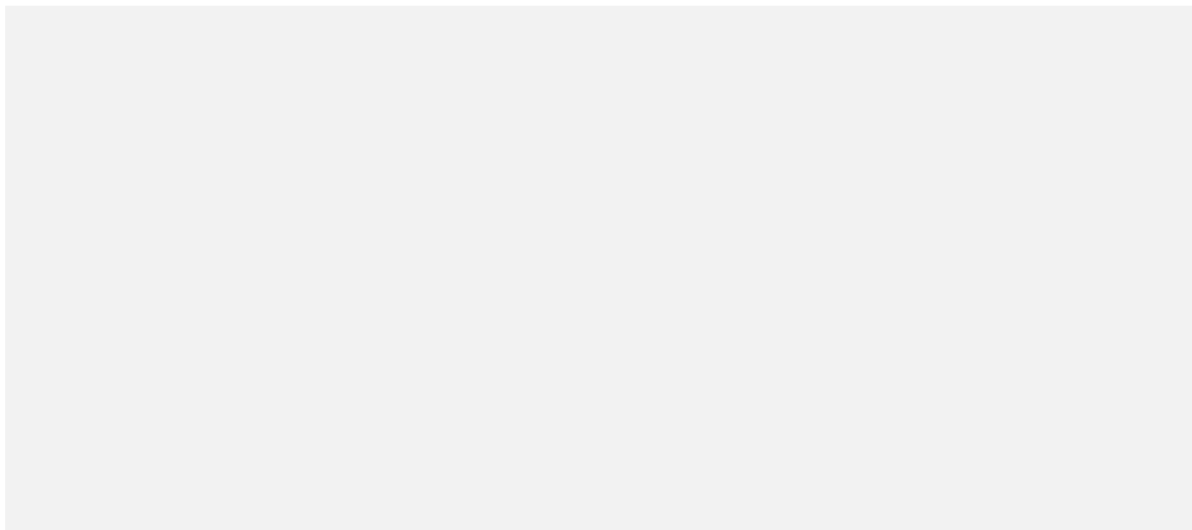
3、其他防护设备

本项目质检车间拟配置的其他防护设备见表4.1-9。



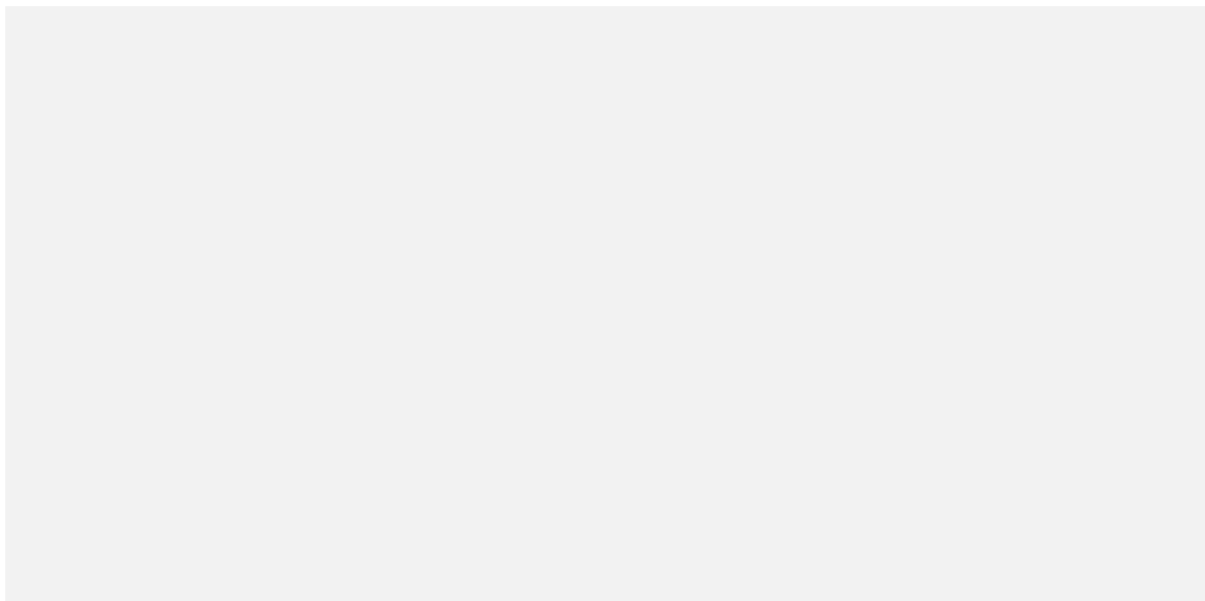
4.1.4.3 地下层放射性废物暂存间

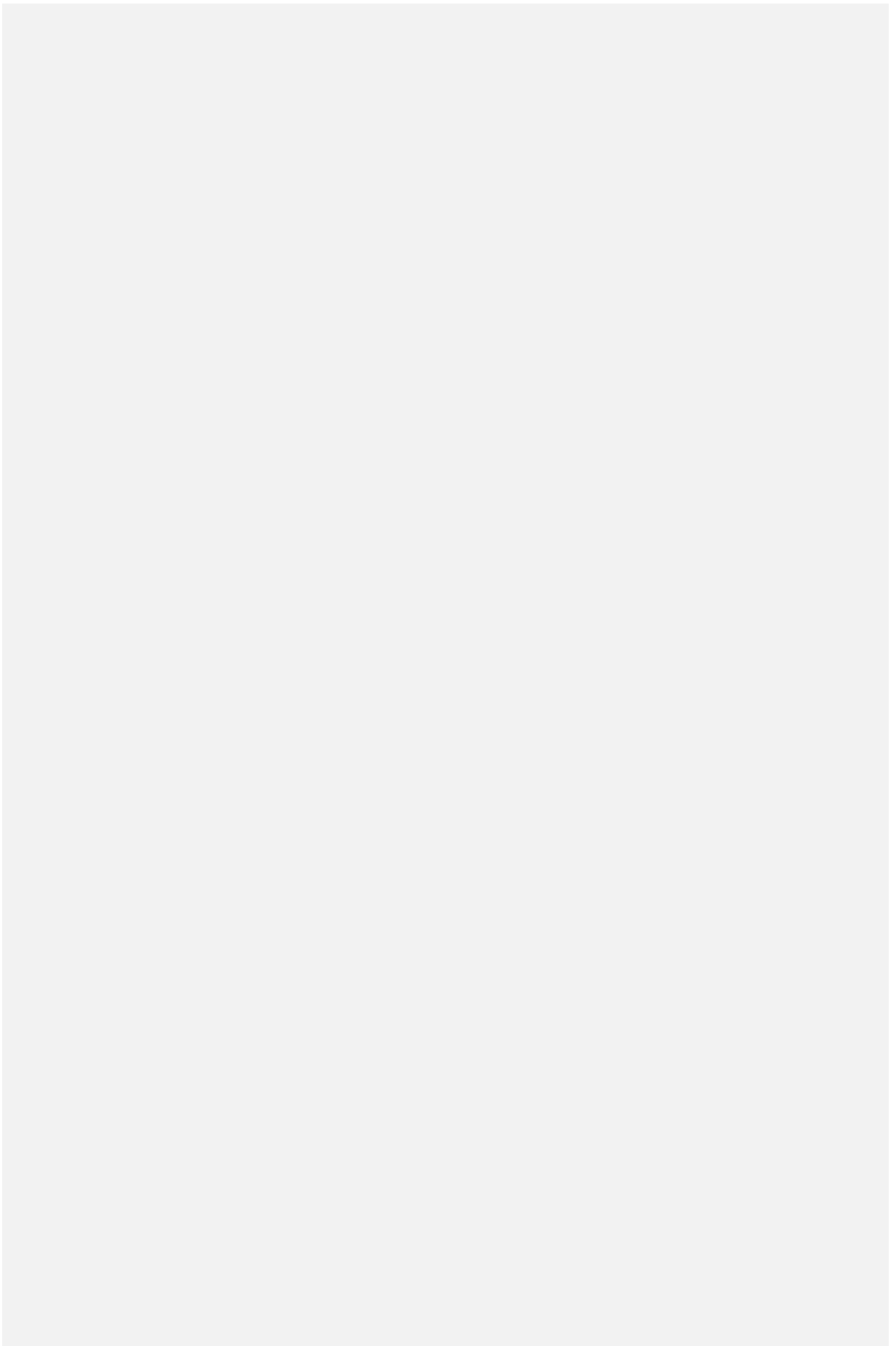
1、防护柜屏蔽设计



2、工作场所屏蔽设计

本项目放射性废物暂存间工作场所变更前、后的屏蔽防护设计见表4.1-11。





4.2 辐射安全与防护措施

4.2.1 加速器机房和靶室

1、安全联锁设计原则

安全联锁系统的设计，用于保护辐射工作人员的人身安全，避免加速器开机出束时人员受到意外照射，安全联锁的设计主要遵循以下原则：

- （1）简单可靠：系统设计应在简洁基础上保证运行可靠性及稳定性。
- （2）最优切断：当加速器处于“准备”或“运行”状态时，安全联锁系统在加速器中央控制系统联锁逻辑中具有最优先的权力切断加速器束流。
- （3）失效保护：当安全联锁系统关键设备失效时，系统有相应的应急保护措施来保障工作人员的人身安全。
- （4）冗余性：系统关键设备采取冗余设计，以保障系统的可靠性、减少系统故障时间并预留有进一步改进的余地。
- （5）纵深防护：设计系统时要充分考虑并合理安排辐射安全设施设备的联锁逻辑，实现对工作人员人身安全的交叉纵深防护。
- （6）自我巡检：系统能对所属联锁设备的工作状态进行巡检，并能将巡检结果实时显示，如在巡检过程中发现设备工作异常则生成报警事件并通知工作人员进行处理。
- （7）以人为本：安全联锁系统是在保障工作人员人身安全的基础上兼顾加速器的运行安全，此外系统要具备人性化的特点——联锁逻辑简洁合理、操作简单、维护方便、人机交互性好。

2、辐射安全措施

安全联锁系统由逻辑控制系统、急停开关、巡检开关、剂量联锁、声光信号警示装置、门机联锁等设备构成。逻辑控制系统实现对这些系统信号和设备的联锁控制，保障人员在加速器机房或靶室内时加速器无法开机。安全联锁设计遵循多元性、独立性、冗余性等原则。本项目加速器机房和靶室内设计的辐射安全措施如下：

（1）加速器操作许可

加速器控制台用户操作控制界面拟设置用户密码，只有被专门授权许可的操作人员才能进行回旋加速器的开机操作。

（2）急停开关

加速器机房内每面墙体均拟设置急停开关（共4个），每间靶室内共拟设置4个急停开关，控制室操作台上拟设置1个急停开关，急停开关处拟设置标签和使用说明。

按下急停开关后加速器立即停止出束。任何一处急停被触发，加速器都无法运行。急停开关不会自动复位，需要工作人员现场复位后才能再次开机。

(3) 巡检开关

加速器机房和靶室内拟根据人员清场检查和巡逻路线设置巡检开关，巡检开关处拟设置标签，加速器机房内每面墙体均拟设置巡检开关（共4个），每间靶室内共拟设置4个巡检开关，辐射工作人员在开机前需要根据规定的路线，在规定时间内按顺序依次触发加速器机房和受照靶室内的巡检开关，并关闭防护门后，才能开启加速器。

防护门被再次打开后，机房和受照靶室内的巡检开关被复位，需要重新巡检才能启动加速器，加速器开机出束前若无防护门开启记录则不需要巡检。巡检路径从室内至机房和靶室外口依次按下，未按规定顺序巡检，设备也不能出束。

(4) 门机联锁

加速器机房和受照靶室的防护门与加速器束流拟设置门机联锁，且加速器与每间受照靶室均可实现单独联锁，加速器机房防护门和受照靶室防护门处于打开状态时，设备无法供束。在设备开机状态突然打开加速器机房防护门和受照靶室防护门中的任何一扇防护门，则加速器立即停止供束并切断高压。

防护门拟设置延时开门的安全联锁，设备停机后，加速器机房和受照靶室的防护门延时15min才能开门，该功能通过加速器程序控制，延时的目的是使得通过通风和时间衰减，降低机房和受照靶室内的感生放射性和臭氧浓度。

(5) 剂量联锁

加速器机房内、每间靶室内、控制室内均拟设置1个 γ 剂量探头，并在加速器机房和每间靶室门口均拟设置1个中子剂量探头（至少6个 γ 剂量探头和5个中子剂量探头），辐射剂量率测量结果实时显示在控制室的控制台上，当机房或靶室内剂量率高于预设阈值（阈值设为 $10\mu\text{Sv/h}$ ）时，加速器处于运行状态或停机不久，机房或靶室内辐射剂量较大，防护门不能从外面打开，只能通过机房或者靶室出口内侧的紧急开门按钮打开（此时触发急停）或停机后剂量率降低至阈值以下后才能打开防护门；当机房或靶室外的剂量率高于预设阈值时，加速器立即停止供束并切断高压。

(6) 紧急开门按钮

加速器机房防护门和每间靶室防护门的内侧均拟设置紧急开门按钮，并拟设置中文标识，按下紧急开门按钮后，防护门自动打开，加速器停止出束。

(7) 声光信号警示装置

加速器机房和每间靶室内部以及防护门外的上方均拟设置带有声音报警功能的工作状态指示灯，声光信号警示装置处拟设置信号意义的说明。加速器机房和受照靶室的声光信号警示装置与加速器出束联锁，绿灯亮表示防护门开启、人员可进入；黄灯亮表示加速器处于待机状态，并伴随预备警报声提醒机房和受照靶室内的人员尽快撤离；红灯亮表示加速器正在出束运行，并伴随警报声。

(8) 警告标志

加速器机房防护门、每间靶室的防护门、加速器废弃物间门、热交换间门上拟设置符合GB18871-2002要求的电离辐射警告标志和进入辐射工作场所的中文警示说明。废物铅桶表面拟设置电离辐射标志。

(9) 视频监控

加速器机房内、每间靶室内以及机房和靶室周围区域拟安装视频监控，并无死角覆盖机房和靶室内部以及周围情况，监视器设置于控制室内，工作人员可及时掌握加速器机房和靶室内部情况，防止出束时人员误入、滞留等辐射事故发生。

(10) 防夹装置

加速器机房、靶室的防护门均为电动门，拟设置防夹装置，检测到障碍物（如人体部位、物品）时自动停止动作，防止夹伤或挤压坏设备。

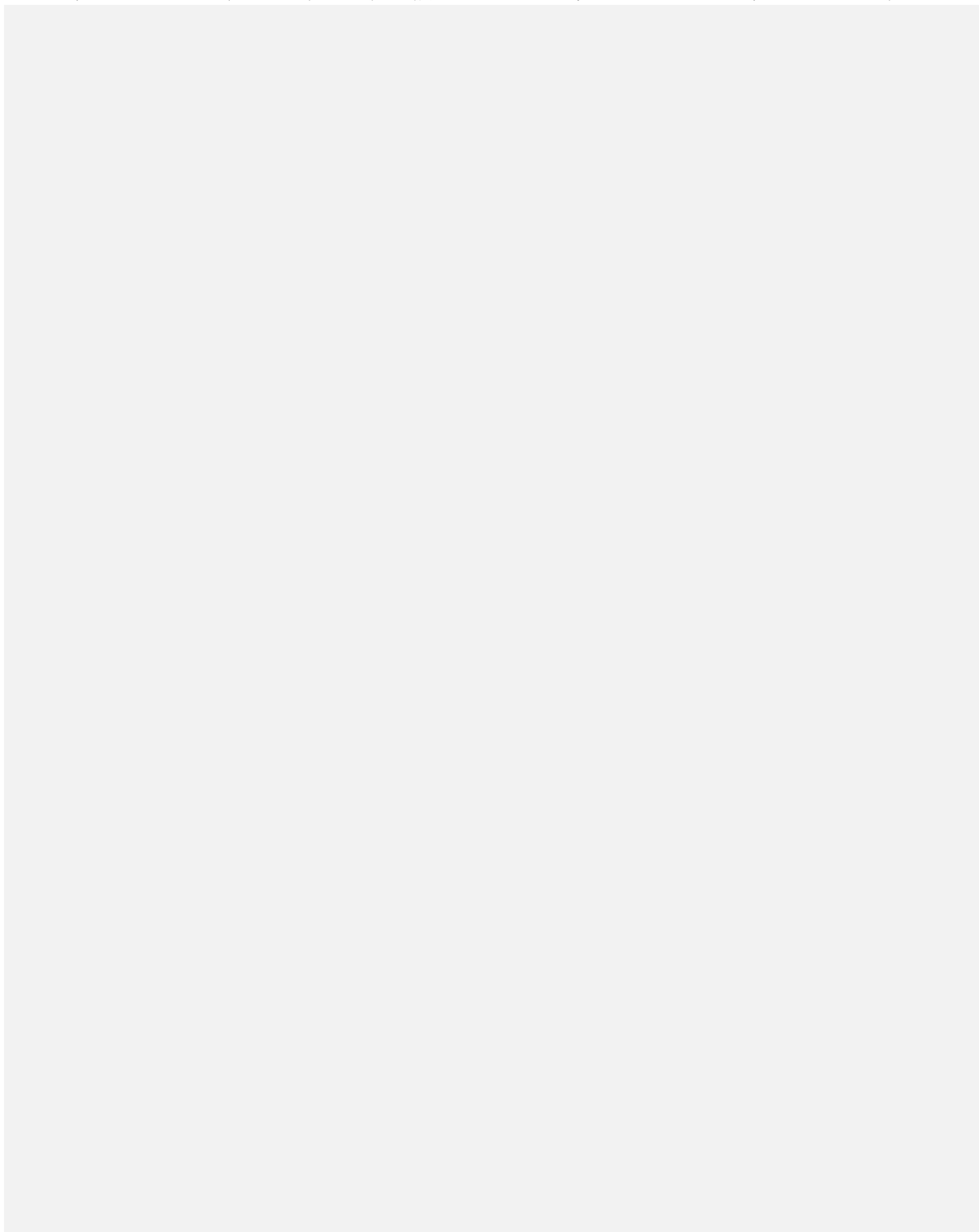
(11) 门禁系统

加速器机房、靶室、加速器控制室、加速器废弃物间、热交换间以及监督区、控制区进出口门处拟设置门禁系统，只有授权的工作人员才能进入，防止无关人员进入。其他人员如有必要确需进入，则由辐射安全管理人员陪同。

在回旋加速器和靶室处于工作状态或者检维修状态时，上述安全联锁装置均有效的工况下设备才能出束，若其中任意一项安全联锁装置无法工作或者旁路，设备均不能出束。设备出束和安全联锁遵循图4.2-2中的逻辑控制。

各设施设备正常情况下，检查急停开关和室内各项安全设施是否有效，加速器开机前开始清场（巡检），人员离开后关闭防护门，防护门关闭到位的信号触发，人员返回控制室，输入操作系统密码，启动加速器出束。接收到“开机”信号时，按预定要求管制相关区域。接收到“停机”信号后，允许授权人员按规定方式进入控制区。出现异常情况时，可通过急停开关、门机联锁或紧急开门按钮触发紧急停机动作，待异常情况解除后才可重新复位开机。

本项目加速器机房和靶室部分辐射安全装置拟安装位置示意图4.2-1和附图11。



3、回旋加速器安全联锁运行逻辑及流程

本项目回旋加速器安全系统分为：加速器设备自带安全控制系统（Accelerator Control System-ACS）和场所安全联锁系统（Building Safety System-BBS），其中设备自带安全控制系统在设备出厂时已被设定入加速器联锁控制程序（PLC系统）中，场所安全联锁系统由PLC系统预留可编辑逻辑输入扩展模块，输入扩展模块主要负责将：

搜索按钮、急停开关、门禁系统、火灾报警、通风系统等输入设备的状态发送给PLC。输出扩展模块主要负责将PLC的控制信号发送给加速器安全设备以及声光信号警示装置等输出设备。声光信号警示装置用于显示放射性工作区域的状态信息，其与PLC通过TCP/IP网络通讯。

所有安全相关功能都通过故障安全PLC核心控制器执行，安全相关功能的外围线缆采用双通道冗余设置。除了负责声光信号警示装置部分的输出扩展模块之外，其它输入输出扩展模块与核心控制器之间的通信均采用满足故障安全协议的总线系统，以保证系统的可靠性。采用自动化技术的安全联锁系统最重要的功能就是有效地防止运行过程人员受到辐射损伤。为此，将对各阶段过程中安全设备设计故障安全的联锁信号，并由安全联锁系统直接控制。当联锁被破坏时，核心控制器将根据事先定义好的逻辑，最优切断功率源系统。

本项目 BBS、ACS 与加速器输入/出入逻辑关系如下：

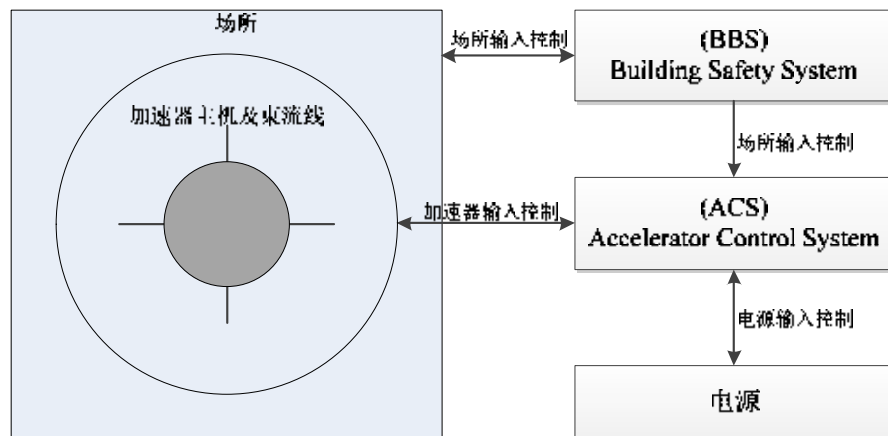


图 4.2-2 ACS 和 BBS 联锁控制关系图

（1）回旋加速器运行逻辑

回旋加速器若需正常开机需要 BBS 和 ACS 同时正常才能正常开机，即需满足下面所有条件：

①ACS 正常需具备条件：磁场系统正常、离子源正常、射频系统正常、真空系统正常、冷却系统正常、束流传输系统正常、靶系统正常、控制系统正常。

②BBS 正常需具备条件：清场巡检开关拍下、急停开关未触动、通风系统正常、机房防护门和受照靶室防护门正常关闭、紧急开门按钮未触动。

本项目回旋加速器正常开机逻辑关系见图 4.2-3。

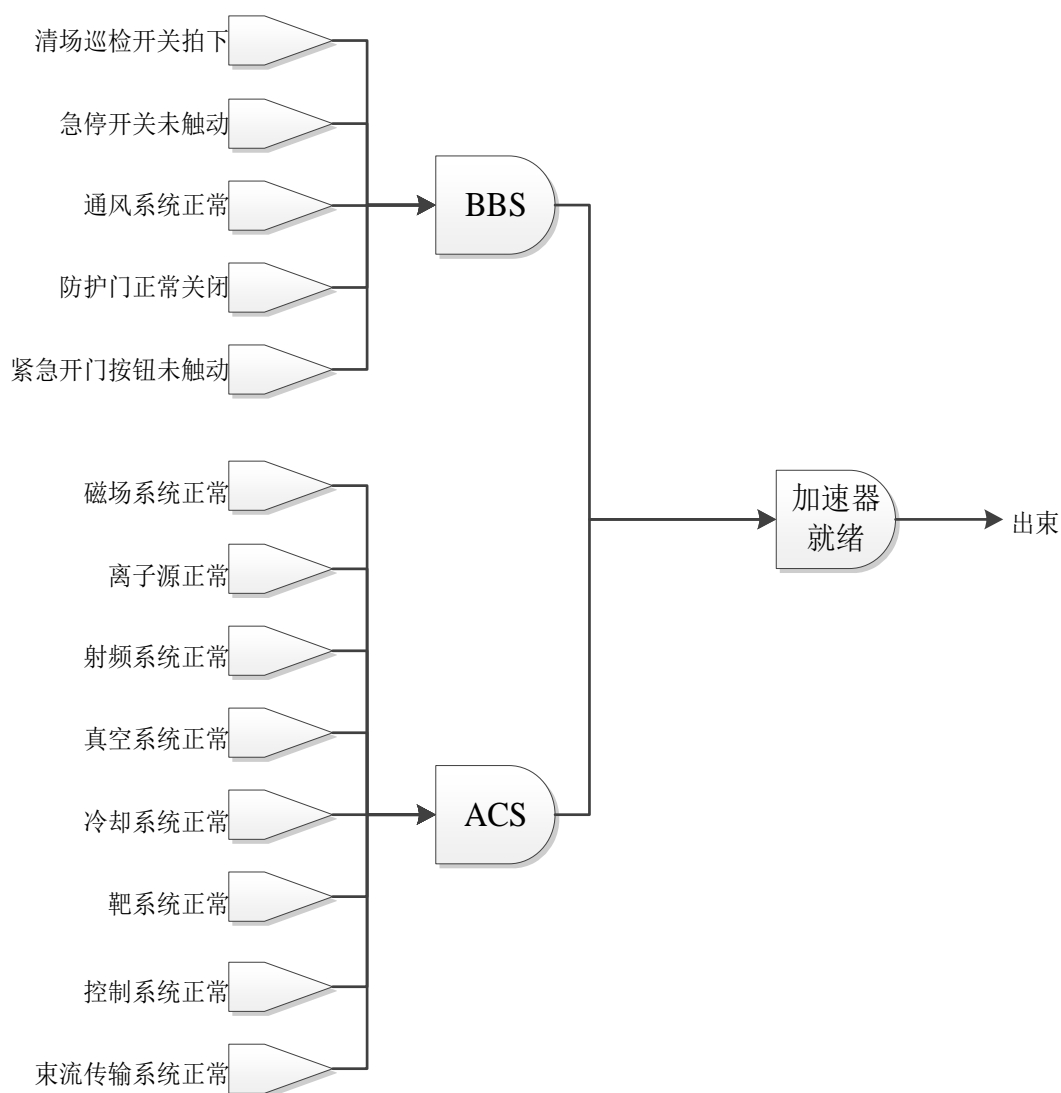


图 4.2-3 本项目回旋加速器正常开机逻辑关系图

（2）回旋加速器急停逻辑

BBS 和 ACS 中若任意条件被破坏将触发加速器断电停机（冗余性和独立性，不存在逻辑先后关系）如下：

①ACS 破坏条件：磁场系统异常、离子源异常、射频系统异常、控制系统异常、真空失效、温度异常、靶位偏移、束流异常或偏转。

②BBS 破坏条件：急停开关触动、机房防护门和受照靶室防护门打开、紧急开门按钮触动。

本项目回旋加速器急停逻辑关系见图 4.2-4。

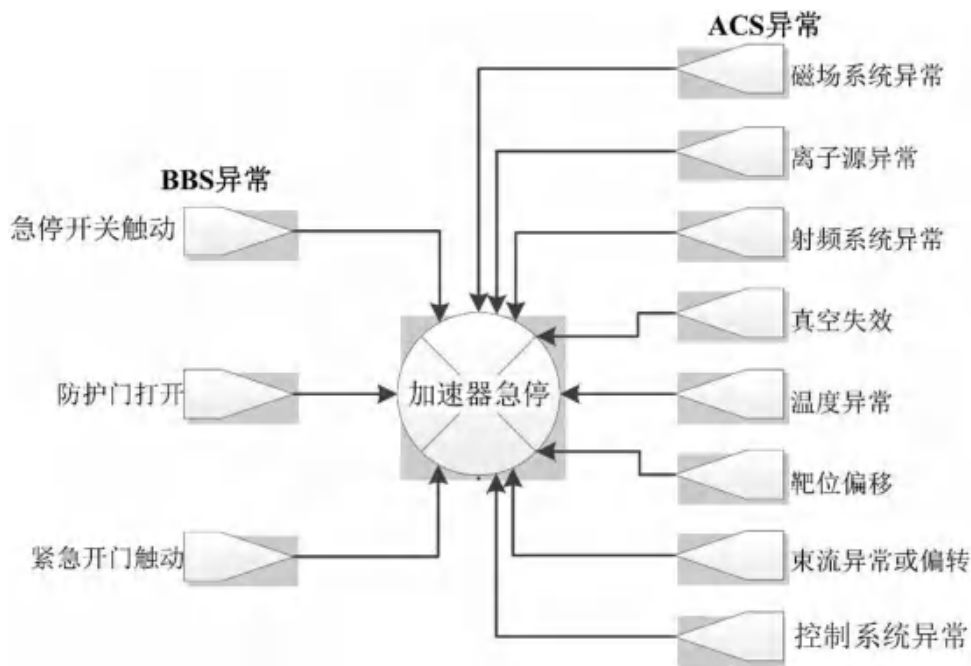


图 4.2-4 本项目回旋加速器急停逻辑关系图

本项目场所安全联锁（BBS）建立及运行流程如下：

- ①在其他系统就绪后，辐射工作人员准备清场，声光报警装置响起，通知滞留人员离开加速器机房和受照靶室，同时辐射工作人员按照既定的路线巡查清场，清空滞留人员；
- ②巡查清场结束后关闭加速器机房和受照靶室防护门，安全联锁建立完成；
- ③测试控制系统给出“准备”信号，在准备阶段，加速器机房和受照靶室进行一定时间的报警，再次提醒误留人员按下急停开关，保证人身安全；
- ④准备阶段结束后，安全联锁系统允许进入运行状态，并启动功率源系统，同时实时监测可能触发停机或紧急停机的各项信号；
- ⑤运行过程中，安全联锁系统建立切束联锁状态，“禁止进入控制区”状态启动；
- ⑥接收到“停机”信号并停机后，如果有进入加速器机房和受照靶室需求，必须等待剂量衰减至设定的阈值以下，且通风时间足够的情况下进入。出现异常情况时，可通过按下急停开关或紧急开门按钮来触发紧急停机动作，待异常解除后才可重新复位开机。

本项目加速器安全联锁运行逻辑及流程图见图4.2-5。

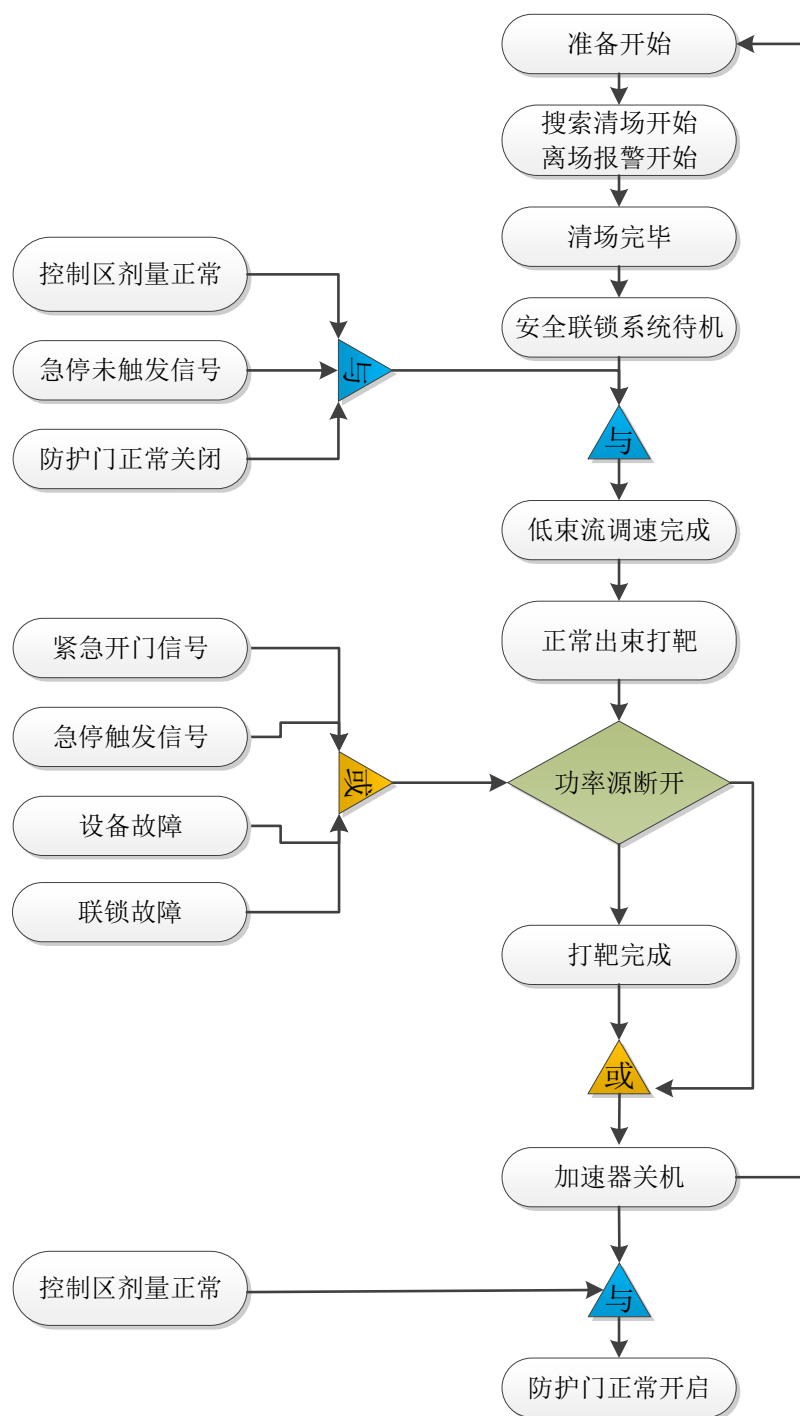


图 4.2-5 本项目回旋加速器安全联锁系统运行逻辑及流程图

综上所述，本项目回旋加速器采取的辐射安全措施有效、可行，满足纵深防御（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）、冗余性（采用比完成某一安全功能所必须的最少数目物项更多物项）、多元性（采用不同的运行原理，不同的物理变量，不同的运行工况，不同的元器件等提高装置的可靠性）、独立性（某一安全部件发生故障时，不会造成其他安全部件的功能故障或失去作用）等安全原则，满足辐射安全要求。

4.2.2 放射性同位素生产车间

本项目放射性同位素生产车间拟采取的辐射安全措施如下，具体布设示意图附图11。

(1) 门禁系统

工作场所人员出入口处、热室操作间和成品库等房间出入口处拟设置门禁系统，只有授权的工作人员才能进入，防止无关人员进入。

(2) 警告标志

工作场所人员出入口处、热室操作间和成品库等房间出入口处醒目位置拟设置符合GB18871-2002要求的电离辐射警告标志。热室等核素操作设备表面、放射性废物桶表面等醒目位置均拟设置电离辐射标志。

(3) 固定式辐射剂量监测系统

热室操作间内拟安装1个固定式 γ 辐射剂量监测探头，显示屏位于探头旁，用于实时监测工作场所内的辐射水平。

(4) 视频监控

工作场所人员出入口处、热室操作间和成品库等房间内以及工作场所走道内拟安装视频监控，监视器拟设置于门卫室内，门卫工作人员实行24小时值守，可实时掌握各场所情况。

(5) 双人双锁

成品库防护门拟设置双人双锁，双锁钥匙分别由生产负责人和成品库管理员保管，确保放射性核素的安全。

(6) 入侵报警系统

成品库内拟设置入侵报警系统，出现非法入侵成品库时，系统立即发出报警声，确保放射性核素的安全。

4.2.3 质检车间

本项目质检车间拟采取的辐射安全措施如下，具体布设示意图附图12。

(1) 门禁系统

工作场所人员出入口处、样品接收间、留样及稳定性室等房间出入口处拟设置门禁系统，只有授权的工作人员才能进入，防止无关人员进入。

(2) 警告标志

工作场所人员出入口处、样品接收间、留样及稳定性室、放化实验室等房间出入

口处醒目位置拟设置符合GB18871-2002要求的电离辐射警告标志。通风柜等核素操作设备表面、放射性废物桶表面等醒目位置均拟设置电离辐射标志。

(3) 固定式辐射剂量监测系统

样品接收间和每间放化实验室内各拟安装1个固定式 γ 辐射剂量监测探头，显示屏位于探头旁，用于实时监测各工作场所内的辐射水平。

(4) 视频监控

工作场所人员出入口处、样品接收间、放化实验室、留样及稳定性室等房间内以及场所走道内拟安装视频监控，监视器拟设置于门卫室内，门卫工作人员实行24小时值守，可实时掌握各场所情况。

(5) 双人双锁

留样及稳定性室出入口门拟设置双人双锁，双锁钥匙分别由实验室负责人和质检人员保管，确保放射性核素的安全。

4.2.4 地下层放射性废物暂存间

本项目放射性废物暂存间拟采取的辐射安全措施如下，具体布设示意图见附图13。

(1) 门禁系统

放射性废物暂存间及控制室人员出入口处拟设置门禁系统，只有授权的工作人员才能进入，防止无关人员进入。

(2) 警告标志

放射性废物暂存间人员出入口处等醒目位置拟设置符合GB18871-2002要求的电离辐射警告标志。防护柜等设备表面、锡罐表面等醒目位置均拟设置电离辐射标志。

(3) 固定式辐射剂量监测系统

放射性废物暂存间人员出入口门外拟安装1个固定式 γ 辐射剂量监测探头，显示屏位于探头旁，用于实时监测放射性废物暂存间周围辐射水平。

(4) 视频监控

放射性废物暂存间人员出入口处、放射性废物暂存间内的储存区和过道、控制室内拟安装视频监控，监视器设置于门卫室内，门卫工作人员实行24小时值守，可实时掌握各场所情况。

(5) 双人双锁

放射性废物暂存间人员出入口门拟设置双人双锁，双锁钥匙分别由两名放射性废物暂存间辐射工作人员保管，确保放射性废物的安全。

(6) 入侵报警系统

放射性废物暂存间人员出入口处拟设置入侵报警系统,出现非法入侵放射性废物暂存间时,系统立即发出报警声,确保放射性废物的安全。

(7) 其他安全措施

放射性废物暂存间辐射工作人员拟配备专用的通讯系统,放射性废物暂存间内拟设置烟雾报警系统和灭火器材,确保放射性废物暂存间的安全。

4.2.5 放射性核素包装、销售

(1) 建立放射性同位素生产、销售台账,并定期上报生态环境管理部门。销售给用户时,建设单位需核对对方相应资质,放射性核素只能销售给有相应资质的单位。

(2) 放射性同位素的包装使用专用放射性物品包装容器,安全适用,具有与放射性剂量相适应的防护,产品包装分内包装和外包装两部分,外包装贴有商标、标签、说明书和放射性标志等,内包装贴有标签,标签注明核素名称、放射性比活度、包装活度等。

(3) 对放射性同位素包装表面污染和辐射水平实施监测,并记录档案。监测结果不符合国家放射性物品运输安全标准的,重新包装直至满足要求后方可运输。

(4) 在销售过程中,按辐射安全许可证规定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,记载非密封放射性物质的时间、名称、活度、类别、购销数量、采购商名称及相关资质信息、记录人、记录时间、审核人、审核日期等事项,接受生态环境部门的检查。运输过程中,公司拟指定人员与运输公司密切联系,对运输过程进行跟踪。

(5) 运输均委托有放射性药物运输资质的单位负责,运输前将检查运输单位车辆是否具有有效行驶证和营运证;驾驶人、押运人员是否具有有效资质证件;运输车辆、容器是否在检验合格有效期内;所装货物是否与货物运单载明的事项相一致。另外,需明确对装载查验情况进行记录,并做好签字交接,留档备查。

此外,公司还将严禁工作人员在控制区内进食、饮水、吸烟、化妆,严禁进行无关工作及存放无关物件,防止含有微量放射性核素的空气被工作人员吸入体内造成内照射;辐射工作人员进入控制区均拟穿戴工作服、一次性手套、工作鞋,佩戴过滤式口罩,近距离接触放射性核素时还将穿戴铅衣等个人防护用品,并尽可能熟练操作技能、缩短操作时间;放射性同位素生产车间、质检车间、放射性废物暂存间内墙面、地面均采用易于去污的材料或涂料,并平整光滑;地面与墙面交接做成圆角,且有一定的坡度朝向地漏(如设置地漏);放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整

光滑，室内地面与墙壁衔接处无接缝，易于清洗、去污。

综上所述，以上辐射安全措施在严格落实且有效运行的情况下，可确保本项目的辐射安全。

4.3 三废的治理

4.3.1 放射性废气处理

4.3.1.1 放射性废气处理措施

本项目一层放射性同位素生产车间、二层质检车间和地下层放射性废物暂存间均设计有通风系统，新风经新风过滤装置过滤后送至各工作场所，本项目辐射工作场所共设置7套独立的排风系统，其中6套为放射性排风系统，1套为危废暂存间、准备间和理化间的含酸废气的排风系统，本项目排风系统设计见表4.3-1。

表 4.3-1 本项目各辐射工作场所排风系统设计情况一览表

风机位置	风机序号	排风区域	备注
三层屋顶	EG-3-1	一层热室区域工作场所（不含热室）	在三层屋顶合并为1个总排放口
	EG-3-2	一层回旋加速器区域	
	EG-3-3	地下层放射性废物暂存间和一层包装、发货、废物通道区域	
	EG-3-4	二层质检车间放射性操作区域	
	EG-3-6	一层热室和地下层防护柜	
	EG-3-7	二层质检车间无放射性操作区域	
	EG-3-5	一层危废暂存间、一层准备间和二层理化间的酸性溶液操作区域	在三层屋顶设置1个总排放口

本项目热室、通风柜的顶壁设计有高效过滤器，各辐射工作场所的排风系统设计有止回阀，6套放射性排风系统在生产厂房的二层设计有高效过滤器，在三层屋顶汇至主排气管道，并设置1个总排放口，排放口高出三层屋顶6.5m，高出四层屋顶约2m；1套含酸废气的排风系统在三层屋顶单独设计有1个排放口，并设计有活性炭过滤装置，排放口高出三层屋顶6.5m，高出四层屋顶约2m；该两个废气排放口周围200m范围内没有高于本项目生产厂房的其他建筑物，对周围公众辐射影响很小。本项目放射性同位素生产车间、质检车间、放射性废物暂存间的放射性排风系统管道布设见附图14，气流流向示意图分别见图4.1-1~图4.1-3。

本项目加速器机房、靶室通风换气次数不低于20次/h，其他辐射工作场所及地下放射性废物暂存间通风换气次数不小于2次/h，热室、通风柜风速不低于1m/s，采取较高的通风换气频率、提高空气流通速度，保持室内负压，降低空气中感生放射性活度。

通风系统通过控制各区域送风口、吸风口的风量大小，起到使各区域与相邻区域产生一定的压差的能力，保证清洁区为正压，监督区相对清洁区为微负压，控制区相对监督区为负压，控制区内的放射性操作间相对其他区域为负压，热室、通风柜相对工作场所为负压，最终实现气流流向，控制气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

本项目日常运行期间，厂内辐射工作人员不进入加速器机房和受照靶室内，定期委托设备生产单位的专业技术人员开展检维修工作，尽量减小因进入高辐射剂量场所受到加速器长期运行后室内放射性气溶胶的吸入内照射和空气浸没外照射影响。为减小放射性气溶胶排放环境后对周围公众的辐射影响，放射性排风系统设计有高效过滤排风机箱，高效过滤器前后设置压差表，当检测到高效过滤器表面阻力达到初始值的2倍以上时，更换高效过滤器滤芯。根据设计单位提供的资料，本项目高效过滤器中包括中效过滤器F6和高效过滤器H14。中效过滤器F6主要用于捕集0.5-5 μm 颗粒灰尘及各种悬浮物，过滤效率 $\geq 45\%$ ；高效过滤器H14主要用于捕集0.5 μm 粒径以下的各种气溶胶和悬浮物，过滤效率 $\geq 99\%$ 。

4.3.1.2 放射性废气处理措施可行性评价

本项目放射性废气处理措施能够满足《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）（2026年5月1日将由《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB5172-2025）代替）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置等放射性废气排放的要求。经预测，经高效过滤器过滤后，可有效减少本项目辐射工作场所排放的放射性气溶胶，因此本项目通风系统的设计和放射性废气排放的方式是可行的，少量放射性核素的排放对周围公众的辐射影响较小。

4.3.2 放射性废水处理

4.3.2.1 一层放射性同位素生产车间放射性废水处理措施

（1）回旋加速器系统冷却水收集和处置方式

本项目回旋加速器系统冷却水系统内共有1.1 m^3 的去离子水，正常情况下闭式循环使用，不外排。如发生冷却水泄漏或加速器系统检维修，泄漏或外排的冷却水经机房或靶室地面预埋管道排至地下层放射性废物暂存间的放射性废水衰变系统内单独储存，暂存至少1年后取样检测，满足总 $\alpha < 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta < 10\text{Bq/L}$ 、 ^3H 的放射性活度浓度 $< 10\text{Bq/L}$ 后，重新回用或作为非放射性废水由有资质单位回收处置。

（2）热室产生的工艺废水收集和处置方式

靶材在热室化学提纯过程中，每批次产品生产产生的含有放射性的废酸溶液，包括废硫酸溶液、废盐酸溶液，在生产过程中分类收集，收集容器为两层结构，内层为防摔玻璃瓶、外套锡罐，在防摔玻璃瓶内提前放置树脂粉将废液进行固化，降低废液流动性，并分别用塑料和锡制材质的盖子双层密封盖紧，防摔玻璃瓶和锡罐外表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签。通过废物转运容器运送至地下层放射性废物暂存间的放射性废物仓储系统，并在防护柜取出锡罐，由桁车吊至仓储系统的蜂巢仓内进行暂存，作为放射性固体废物定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。

（3）场所和工作人员的清洗废水收集和处置方式

放射性同位素生产车间的清洗间设计有清洗池，控制区出入口处设计有洗手池，工作场所的清洗废水倒入清洗间的清洗池，通过专用管道排至地下层放射性废物暂存间的放射性废水衰变系统，工作人员操作放射性核素后的清洗废水通过专用管道排至地下层放射性废物暂存间的放射性废水衰变系统，清洗废水在放射性废水衰变系统内进行暂存，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。

（4）应急淋浴废水收集和处置方式

放射性同位素生产车间的卫生通过间设计有成品应急淋浴系统，应急淋浴下方设置集水箱，每次应急淋浴产生的放射性废水收集在集水箱中，密封后（箱体表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签）运送至地下层放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域暂存，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。

4.3.2.2 二层质检车间放射性废水处理措施

（1）质检废液收集和处置方式

质检车间每批次产品质检产生的放射性工艺废液，收集在防摔玻璃瓶中，外套锡罐，防摔玻璃瓶和锡罐外表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签，通过废弃物转运铅罐运送至地下层放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域暂存，暂存十个半衰期，经检测容器表面辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，再移至危废暂存间内，最终作为危废定期委托有资质的危废回收单位回收处置。

（2）场所和工作人员的清洗废水收集和处置方式

质检车间的放化实验更衣室和放化实验室设计有洗手池，设备器皿及工作场所等清洗产生的含放射性核素的清洗废水倒入洗手池，通过专用管道排至地下层放射性废物暂存间的放射性废水衰变系统内进行暂存，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。

(3) 应急淋浴废水收集和处置方式

质检车间的卫生通过间设计有成品应急淋浴系统，应急淋浴下方设置集水箱，每次应急淋浴产生的放射性废水收集在集水箱中，密封后(箱体表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签)运送至地下层放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域暂存，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。

本项目放射性同位素生产车间放射性排水管道布设示意图见附图16-1，质检车间放射性排水管道布设示意图见附图16-2。本项目放射性废水处置措施汇总见表4.3-2。

表 4.3-2 本项目放射性废水处置措施汇总一览表

放射性废水名称	来源	含有主要核素	年产生量	暂存设施	最终处置措施
活化的冷却水	加速器机房、靶室	^3H 、 ^{14}C 、 ^{15}C 、 ^{16}N 、 ^{15}O 等	总量为1.1m ³ ，正常情况下不外排，若发生泄漏或系统检修时，会外排的冷却水	放射性废水衰变系统	暂存至少1年后取样检测，满足总 $\alpha < 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta < 10\text{Bq/L}$ 、 ^3H 的放射性活度浓度 $< 10\text{Bq/L}$ 后，重新回用或作为非放射性废水由有资质单位回收处置
含放射性核素的清洗废水	放射性同位素生产车间	^{68}Ge 、 ^{55}Fe 、 ^{54}Mn 、 ^{60}Co 、 ^{65}Zn 等	约0.2m ³	放射性废水衰变系统	定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置
含放射性核素的清洗废水	质检车间	^{68}Ge	约0.2m ³		
放射性工艺废液	放射性同位素生产车间	^{68}Ge 、 ^{55}Fe 、 ^{54}Mn 、 ^{60}Co 、 ^{65}Zn 等	约0.24m ³	放射性废物仓储系统	定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置
放射性工艺废液	质检车间	^{68}Ge	约2.49E-03m ³	低活度放射性废物储存区域	暂存十个半衰期，经检测容器表面辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于0.08Bq/cm ² 、 β 表面污染小于0.8Bq/cm ² 后，再移至危废暂存区内，最终作为危废定期委托有资质的危废回收单位回收处置
事故应急淋浴废水	放射性同位素生产车间	^{68}Ge 、 ^{55}Fe 、 ^{54}Mn 、 ^{60}Co 、 ^{65}Zn 等	正常情况下不产生，发生事故时，淋浴冲洗才会产生，每次不超过0.1m ³	低活度放射性废物储存区域	定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置
事故应急淋浴废水	质检车间	^{68}Ge			

4.3.2.3 放射性废水处置措施可行性评价

本项目一层放射性同位素生产车间和二层质检车间放射性清洗废水年产生量均不超过 0.2m^3 ，回旋加速器冷却水正常情况下闭式循环使用不外排，本项目放射性废水衰变系统可暂存约36年的废水量。由此可知，本项目放射性废水衰变系统容积足够大，满足放射性废水的暂存需求，也可为二期项目预留有足够的容积。

本项目放射性废水排水管道将使用耐腐蚀的PVC管道，并在排水管道走向上设有标记，人员可近距离接触的地方使用2mm铅皮包裹，穿楼板的竖管布设于场所的墙角处，使用实心砖管井包封，可使放射性废水排水管道所致人员可接近处辐射剂量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，且放射性废水在管道内停留的时间很短，对周围环境辐射影响很小。

公司将安排专人负责本项目放射性废水的暂存和处理，并建立废水暂存和处理台账，详细记录放射性废水所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间等信息。综上所述，本项目放射性废水均可以得到有效处理，对周围环境影响较小。

4.3.3 放射性固体废物处理

4.3.3.1 一层放射性同位素生产车间放射性固体废物处理措施

(1) 加速器机房区域设计有加速器废弃物间，废弃物间内设置1个高活性铅废物桶和1个非高活性铅废物桶，铅废物桶内放置专用垃圾袋，分别用于储存废碳膜等高活性固废和一次性沾污废物等非高活性固废，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。

(2) 加速器系统检维修过程中产生的活化部件由承担维护保养的设备生产单位（IBA公司）负责从机房或靶室中取出，密封在专用垃圾袋内（垃圾袋表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签），暂存在加速器废弃物间中，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。

(3) 热室内产生的废靶件、离子树脂交换柱等放射性固体废物分别用收集容器进行收集，收集容器为内衬塑料的锡罐，并用内衬塑料的锡制盖子密封盖紧，锡罐外表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签。通过废物转运容器运送至地下层放射性废物暂存间的放射性废物仓储系统，并在防护柜取出锡罐，由桁车吊至仓储系统的蜂巢仓内进行暂存，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。

(4) 热室检维修过程中产生的废弃元器件由设备生产单位（ITD公司）负责从热室中取出，密封在专用垃圾袋内（垃圾袋表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签），运送至地下层放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域暂存，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。

(5) 放射性同位素生产车间产生的被污染的手套、口罩、工作服、吸水纸、注射器、移液器、高效过滤器的滤芯、毛细管、针头等耗材，一般放射性活度较低，分类收集后进行密封并在垃圾袋表面贴上标签（注明废物类型、存放日期等信息），运送至地下层放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域暂存，经检测垃圾袋表面辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，作为非放射性固废由有资质的危废回收单位回收处置。

4.3.3.2 质检车间放射性固体废物处理措施

质检车间产生的被污染的手套、口罩、工作服、吸水纸、注射器、移液器、高效过滤器的滤芯等耗材，一般放射性活度较低，分类收集后进行密封并在垃圾袋表面贴上标签（注明废物类型、存放日期等信息），运送至地下层放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域暂存，经检测垃圾袋表面辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，作为非放射性固废由有资质的危废回收单位回收处置。

4.3.3.3 放射性废物暂存间放射性固体废物处理措施

放射性废物暂存间产生的被污染的手套、口罩、工作服，一般放射性活度较低，集中收集后进行密封并在垃圾袋表面贴上标签（注明废物类型、存放日期等信息），暂存在低活度放射性废物储存区域，经检测垃圾袋表面辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，作为非放射性固废由有资质的危废回收单位回收处置。

本项目放射性固体废物处置措施汇总见表4.3-3。

表 4.3-3 本项目放射性固体废物处置措施汇总一览表

放射性固体废物名称	来源	含有主要核素	年产生量	暂存设施	最终处置措施
废碳膜、废活化部件等	加速器系统	^{64}Cu 、 ^{62}Cu 、 ^{65}Ni 、 ^{63}Ni 、 ^{60}Co 、 ^{59}Fe 、 ^{55}Fe 、 ^{24}Na 、 ^{54}Mn 、 ^{51}Cr 、 ^3H 等	约55kg	加速器废弃间	定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置
废靶材盒	加速器系统	^{64}Cu 、 ^{62}Cu 、 ^{65}Ni 、 ^{63}Ni 、 ^{60}Co 、 ^{59}Fe 、 ^{55}Fe 、 ^{24}Na 、 ^{54}Mn 、 ^{51}Cr 、 ^3H 等	约2kg	放射性废物仓储系统	定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置
废靶材	加速器系统	^{68}Ge 、 ^{60}Co 、 ^{51}Cr 、 ^{64}Cu 、 ^{62}Cu 、 ^{59}Fe 、 ^{55}Fe 、 ^{54}Mn 、 ^{59}Ni 、 ^{63}Ni 、 ^{65}Zn 等	约16.8kg		
离子树脂交换柱	热室		约15kg		

高效过滤器滤芯	通风系统	^{68}Ge 、 ^{60}Co 、 ^{51}Cr 、 ^{64}Cu 、 ^{62}Cu 、 ^{59}Fe 、 ^{55}Fe 、 ^{54}Mn 、 ^{59}Ni 、 ^{63}Ni 、 ^{65}Zn 等	约140kg	低活度放射性废物储存区域	经检测垃圾袋表面辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于0.08Bq/cm ² 、 β 表面污染小于0.8Bq/cm ² 后，作为非放射性固废由有资质的危废回收单位回收处置
废弃元器件	热室		约2kg		
工作服、一次性手套、口罩、棉签、吸水纸、注射器、试剂瓶、移液器、毛细管和针头等易耗品	地下层、一层、二层辐射工作场所	^{68}Ge 、 ^{60}Co 、 ^{51}Cr 、 ^{64}Cu 、 ^{62}Cu 、 ^{59}Fe 、 ^{55}Fe 、 ^{54}Mn 、 ^{59}Ni 、 ^{63}Ni 、 ^{65}Zn 等	约50kg		

4.3.3.4 放射性固体废物处置措施可行性评价

本项目放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域有效储存面积约135m²，根据不同的需求放置不锈钢废物桶或塑料垃圾桶，按照15年的库容设计，能够满足公司低活度放射性废物的暂存需求。

本项目放射性废物仓储系统共计可存储5704个锡罐，每个靶材产生的放射性废物分装至6个锡罐，可储存约950个靶材产生的废物量，每年照射120个靶材，则放射性废物仓储系统可暂存约8年的高活度放射性废物，能够满足公司高活度放射性废物的暂存需求。

公司已与国内有经验和资质单位（中核清原环境技术工程有限责任公司）签订了委托处置意向性协议，放射性废物运输前的废物整备、废物运输和后期处置也一并委托中核清原环境技术工程有限责任公司。废物处置前，公司将把拟委托处置的情况上报生态环境管理部门备案。

公司将安排专人负责放射性固体废物的存储和处理，并将建立废物存储和处理台账，详细记录放射性固体废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。综上所述，本项目采取上述措施后，放射性固体废物被集中收集，均可得到有效处理，对周围环境影响很小。

4.3.4 非放射性废物处理

4.3.4.1 非放射性废物处理措施

1、废气处理措施

本项目加速器机房和靶室内设计有通风系统，通风系统的通风量可使机房和靶室通风换气次数均不小于20次/h（机房排风量4373.2m³/h、1#靶室排风量1018.4m³/h、2#靶室排风量859.3m³/h），机房和靶室内产生的少量臭氧和氮氧化物通过通风系统排入大气环境中，臭氧在常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

本项目加速器机房和靶室的通排风管道在房间吊顶上方采用双“Z”形穿墙，通排风管道穿墙孔避开初级射线直接照射，射线至少经过3次散射才能到达机房和靶室外，可确保通排风管道穿墙孔外侧的辐射剂量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。在工作中公司应保证通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员和设备产生危害。

2、废水处理措施

靶材在热室化学提纯过程中使用硫酸、盐酸、柠檬酸等化学试剂，每年产生约9.3L的废酸（主要是超过有效期的废弃试剂，不含放射性），属于《国家危险废物名录》（2025年版）中的HW49-其他废物，废物代码为900-047-49，这部分废酸作为危险废物暂存于厂区的危废暂存间（生产厂房一层，1-271室），定期委托有资质的危废回收单位回收处置。

公司的危废暂存间拟按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）相关要求建设，做到防风、防晒、防雨、防漏、防渗、防腐，危废暂存间内将设消防设施，防止出现火灾。公司拟参照《环境保护图形标志-固体废物贮存（处置）场》（GB15562.2-1995，2023版）和《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）规定设置危险废物识别标志并进行分区管理，暂存废液将使用耐腐蚀容器。存放装载废液使用的容器的区域的地面与裙脚将用坚固、防渗、耐腐蚀的材料建造且与危险废物相容；存放废液的区域有耐腐蚀的硬化地面且表面无裂隙；不相容危险废物分别存放或存放在不渗透间隔分开的区域内，每个部分均设有防漏裙脚或储漏盘，防漏裙脚或储漏盘的材料与危险废物相容，危废暂存间将能满足“防雨淋、防渗漏、防流失”的要求。公司拟将本项目危险废物分类存储并做好标志，不混入其他杂物。危废暂存间门上拟张贴环保标识牌，明确危险废物种类。公司将安排专人管理危废暂存间，按照要求根据危险废物情况进行记录，并注明危险废物的名称、来源、数量、特性、入库日期等登记工作，严格执行转移联单管理制度、国家和省有关转移管理规定、安全操作规程、档案管理制度等，严格按照有关要求办理转移手续。

生产厂房内工作人员日常工作中，年产生生活污水约576t，直接汇入金坛经济开发区内的污水管网，经金坛第二污水处理厂集中处理后，尾水排放至尧塘河，本项目生活污水排放不会对周围环境水体产生不良影响。

3、固体废物

放射性核素生产及质检过程中产生的不含放射性的无菌瓶、卡套、硅胶板、移液

枪枪头、针头针孔、培养基、废活性炭等，属于《国家危险废物名录》（2025年版）中的HW49-其他废物，废物代码为900-047-49，暂存于厂区的危废暂存间（生产厂房一层，1-271室），定期委托有资质的危废回收单位回收处置。

本项目运行过程中产生的非放射性工艺固废分类收集后交由废品收购站处置，对不可回收的固体废物集中收集后交由市政环卫部门处理；工作人员产生的少量生活垃圾交由市政环卫部门定期清运，对周围环境影响较小。

4、噪声

本项目将采用低噪声的风机，并采取基础减振，进行降噪处理，经建筑隔声、距离衰减，对厂界噪声的贡献值很小。

4.3.4.2 非放射性废物处理措施可行性评价

采取上述措施后，本项目非放射性废物的处置方式能够满足当前环保管理的要求。

4.3.5 废物处理措施变更分析

综上所述，对照原环评文件，本项目设计变更后，除高活度放射性废物储存区中放射性废物的储存方式由罗列在储存架上改为暂存在蜂巢坑内外，其他废物的储存设施不变；除外排的活化冷却水和工作服、一次性手套、口罩、棉签、吸水纸、注射器、试剂瓶、移液器、毛细管和针头等易耗品作为放射性废物由有资质的放射性废物处理单位回收处置改为解控后作为非放射性废物由有资质的危废回收单位回收处置外，其他废物的处置措施不变。

4.4 服务期满后的环境保护措施

本项目服务期满前，公司辐射安全防护领导小组负责项目退役前、退役中、退役后的辐射安全管理工作。项目退役前，按相关法律法规要求，应履行相关的退役手续。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），甲级非密封放射性物质工作场所的退役应编制退役环境影响报告书，乙级非密封放射性物质工作场所的退役应编制退役环境影响报告表。

建设单位将为本项目的退役设立专项资金账号，退役经费取项目总投资的0.5%，专款专用，由财务总监管理。

针对退役对象，公司拟制定相应的退役计划，退役过程中的相关安全责任由公司辐射安全防护领导小组负责，整个退役计划主要为：

- （1）退役前的准备工作，包括源项调查、编制退役方案等；
- （2）对拟退役场所进行辐射环境现状检测，根据检测结果及国家相关标准判断

本项目场所是否满足国家相关标准，是否需要采取进一步退役措施；

(3) 环评单位对拟退役场所进行辐射环境影响评价，出具环境影响评价报告，办理退役审批手续；

(4) 按照环评要求及环评审批要求实施退役；

(5) 委托有资质单位对拟退役工作场所进行终态验收监测，开展退役验收工作；

(6) 经审管部门批准后，该退役工作场所可无限制开放。

第五章 环境影响分析

5.1 建设阶段对环境的影响

本项目生产厂房建设包括地上四层厂房和地下库房，公司厂区于2023年3月开工，预计于2025年12月完成厂房混凝土浇筑施工。项目在施工建设过程中会产生一定量的扬尘、施工噪声、施工废水、固体垃圾等污染物，对周围环境产生一定的影响。项目建设施工时对环境的影响及已采取的污染防治措施如下：

5.1.1 大气环境影响分析

施工过程中产生的废气主要为土方开挖、土方运输、施工材料装卸过程中产生的扬尘，各类施工机械运行排放的尾气等。

（1）施工期扬尘

根据施工期工程特点，该建设项目施工期的土方开挖、土方回填、土方运输、施工材料装卸、混凝土水泥砂浆的配制等施工过程都会产生大量的粉尘，施工场地道路与砂石堆场遇风亦会产生扬尘，搅拌车辆和运输车辆往来也会造成道路扬尘，因此会对周围大气环境产生一定的影响，主要污染因子为TSP（总悬浮颗粒物）。

建筑物主体结构施工期和装修期间，主要是装卸建筑材料和搅拌水泥灰浆的过程中易产生粉尘，此外，在大风天气下，堆积的建筑材料也会产生扬尘。但与施工前期的土石方工程相比，这个过程中产生的粉尘较少，主要集中在施工场区范围内，对周围的空气环境影响不大。

建设单位在施工过程中，已严格按照相关环境保护法律法规要求进行，主要采取了以下防护措施：

①施工工地按照规定设置围挡，严禁敞开式作业，围挡、场内主要道路等区域设置降尘系统，抑制施工扬尘；

②施工现场出入口、场内主要道路、主要材料加工和堆放区域、现场办公区等采用混凝土硬化或硬质材料铺设，每天进行洒水降尘，保持路面湿润、清洁。所有工地出入口设置专门的洗车台，有深基坑开挖的设置过水池；

③容易产生扬尘的建筑材料，采取密闭存储、设置围挡或堆砌围墙、覆盖防尘网或者采用防尘布等，配合定期洒水等其他防尘措施；

④在建建筑物正常施工阶段采取密目网进行封闭，减少主体作业产生的扬尘飘散，主体结构施工产生的建筑垃圾严禁高空抛物和焚烧；

⑤在施工现场设置独立的建筑垃圾（工程渣土）收集场所，建筑垃圾在48小时内不能完成清运的，采取覆盖或洒水等措施，工地建筑垃圾（工程渣土）运输单位的车辆密闭不严、土石方高度超过车厢挡板、冲洗不净的，一律不得驶离施工现场；

⑥使用预搅拌混凝土，减少扬尘的产生，尽量避免在大风天气下进行施工作业。

该建设项目施工期的扬尘污染属于局部和短期的影响，建设单位在施工期间采取有效的防尘、降尘措施，及时开展处理措施，扬尘污染对所在地大气环境影响较小。

（2）机械设备尾气

机械设备尾气主要来自于施工机械和交通运输车辆，排放的主要污染物为 NO_x 、CO和碳氢化合物等，会对当地的空气环境产生一定的负面影响。施工机械废气属于间断性无组织排放，特点是排放量小，废气产生量和施工机械的选用、机械性能和维护水平有关。建设单位定期检维修机械设备，使其能够正常运行，提高设备利用率，同时机械设备采用环保型的能源，由于使用期相对较短，在室外施工场地稍有风速扩散条件良好的情况下，尾气中的污染物扩散较快，对所在地的空气环境影响较小。

5.1.2 水环境影响分析

项目施工期的废水主要来源于两个部分：一是施工人员产生的生活污水；二是建筑施工产生的生产废水。

（1）生活污水

施工人员产生少量生活污水，施工人员约150人，每人每天产生的生活污水量约50L，产生量约 $7.5\text{m}^3/\text{d}$ 。生活污水经工地临时化粪池处理后排入市政污水管网，最终将排入金坛第二污水处理厂，做到污水不直接外排。

（2）施工废水

施工期水污染主要来源于机械的冲洗，地面和墙面的冲洗、材料的冲刷和桩基基础施工中排出的泥浆等，该部分废水中的主要污染物为pH、SS（悬浮物）、COD（化学需氧量）、石油类等。本项目施工期施工废水排放量约为 $10\text{m}^3/\text{d}$ 。为防止施工废水对项目所在区域地表水环境造成影响，公司采取以下污染防治措施：

①施工场地设置沉淀池，施工废水经沉淀后用于工地洒水和车辆冲洗。

②施工机械和车辆冲洗废水含有少量油污，修建简易隔油池及配套排水沟，污水经隔油处理后经排水沟引入沉淀池处理后回用，废油委托有资质单位处置。

建设单位在施工期间采取了以上防治措施，对地表水和地下水环境影响较小，且随着施工期的结束，污染情况随之结束。

5.1.3 声环境影响分析

施工噪声主要来源于施工机械噪声、施工作业噪声和运输车辆噪声，施工机械，如挖土机械、打桩机械等多为点声源，施工作业噪声主要是一些零星的敲打声、装卸车辆的撞击声等，多为瞬时噪声；运输车辆的噪声属于交通噪声。在这些施工噪声中，对声环境影响最大的是施工机械噪声。

根据《齐康原医疗科技（常州）有限公司新建放射性同位素生产项目环境影响报告书》，生产厂房主体工程施工阶段噪声影响相对较大，昼间达标距离约60m（建筑施工场界噪声排放限值：昼间70dB(A)）。

本项目评价范围内没有居民、学校等声环境保护目标，四周相邻工业企业距本项目最近约为62m，为减轻施工期噪声对其影响，建设单位在施工边界设置围挡，合理布设施工机械。建设单位在施工前向生态环境部门报备，并服从生态环境有关部门的监督。建设单位结合项目实际建设情况，在施工期采取了如下措施：

（1）采取封闭作业的方式进行，建设单位在施工场界建设围墙或彩钢板围栏，减轻噪声对周围环境的影响。

（2）加强施工管理，合理安排作业时间，避免强噪声设备同时施工、持续作业，严格按照施工噪声管理的有关规定，严禁夜间施工，施工中高噪声机械设备的使用尽量限制在7:00~12:00、14:00~22:00时间范围内。

（3）在不影响施工质量的前提下，尽量选用低噪声、低振动的施工机械与施工方式，并注意施工机械的维修保养，避免因设备性能减退而使噪声增强的现象发生。

（4）使用商品混凝土，不在施工场地内设置混凝土搅拌机。

（5）加强对运输车辆的管理，运输车辆进场安排专人指挥，场内禁止运输车辆鸣笛。

（6）优化施工方案，合理布置施工机械工作区域。

建设单位在施工期间采取了以上防治措施，能够达到《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）中的要求，本项目建筑工程量小，施工周期不长，对周围影响时间较短，随着施工的结束，项目施工期噪声对周围声环境的影响就会停止，因此施工期产生的噪声对周围环境影响是可以接受的。

5.1.4 固体废物影响分析

项目在施工建设过程中产生的固体废物有：施工人员生活垃圾、开挖出的土石方、建筑垃圾和装修垃圾等。

(1) 生活垃圾人均产生量约0.5kg/d，施工期人数最多不超过150人，生活垃圾产生量约75kg/d，收集后由市政环卫部门统一进行清运处理。

(2) 根据建设单位提供资料，项目开挖产生的土石方，部分用于场地回填、调整场平和绿化，其余弃方交由有资质的渣土清运公司外运送至当地政府指定的堆土场规范堆放。

(3) 根据建设单位提供资料，项目施工期建筑垃圾产生总量约为10t。建设单位在施工现场设置建筑废弃物临时堆场，并进行防雨、防渗漏等处理。施工产生的废料优先考虑回收利用，对于不能回收利用的建筑垃圾，及时清运到管理部门指定的建筑垃圾倾倒点；装修过程中产生的废油漆包装桶、废漆料等危险废物，设置单独的收集点进行收集，集中储存，做好防雨、防渗、防漏等措施，并交由有资质的单位进行处置，落实危废管理制度。

建设单位在施工期间采取了以上防治措施，施工期固废能得到综合利用和合理处置，对周围环境影响较小。

5.1.5 生态环境影响分析

建设单位对开挖的土壤，采取分层开挖，并利用表层沃土绿化，对土壤及植被的不利影响将得到有效控制。本项目在对地下区域进行施工时尽量避开雨季，场地内设置有导流渠对雨水进行引导和收集，渣土、垃圾堆放区域设置有防雨棚和围堰，防止被雨水冲刷随雨水外流加重水土流失问题。本项目所在位置较为平坦，土方开挖完成后立即对基坑进行了封闭，防止水浸和暴露，并及时进行地下结构施工，对周边环境影响不大。

目前，公司生产厂房主体工程、回旋加速器机房和靶室已完成混凝土浇筑，公司生产厂房外立面基本装修完毕，厂房二层办公区域已完成装修、装饰，后期还需进行放射性废物暂存间内放射性废物储存设施的施工建设、热室区域和质检车间等场所的施工建设、回旋加速器、热室和通风柜等设备的安装以及各楼层的装修、装饰等，施工量不大，会产生少量的扬尘、施工噪声、施工废水、固体垃圾等污染物。在后期施工建设过程中，建设单位仍将继续采取上述相应的污染防治措施，减少对周边环境的影响。

综上所述，由于本项目施工期不长，对当地大气环境、水环境、声环境、生态环境等影响时间较短，只要建设单位继续认真落实上述相应的污染防治措施，委托有资质的单位开展环境监理，工程施工的环境影响可以得到有效控制，对周围环境影响较小，不会降低当地环境质量现状。

5.2 运行阶段对环境的影响

5.2.1 环境辐射水平分析

为评估30MeV质子回旋加速器在生产核素 ^{68}Ge 过程中可能引起的辐射影响，结合实际运行流程及装置布局，开展了多工况辐射传输模拟计算。模拟主要包括以下工况：

（1）束流运行阶段：束流自加速器分别引出至1#和2#靶室，束流损失点包括准直器和靶材，考虑最大束流工况，束流损失参数见表3.4-3。考虑质子束打靶过程中产生的中子、 γ 射线等瞬发辐射场，评估关键位置的剂量率分布。

（2）靶后产品转运与暂存阶段：模拟打靶后靶材在传输通道中传输，放射性核素产品在提纯、转运、储存过程中的辐射场。

（3）装置短时间运行后停机阶段和长期运行累计工况：评估加速器部件、靶站周围结构材料（如空气、混凝土、土壤、冷却水等）感生放射性衰变产生的残余剂量场；在加速器设备运行年限内某些时间节点（如1年、20年）后，评估关键部位放射性积累及其对维护作业的影响。

仿真采用蒙特卡洛方法进行粒子输运与剂量估算，模型构建贴合实际结构尺寸、材质和屏蔽条件，力求预测结果具有工程可用性和安全评估意义。

5.2.1.1 加速器机房和靶室周围辐射水平分析

1、瞬发辐射影响分析

30MeV质子束轰击靶材产生的中子能谱图见图5.2-1，30MeV质子束轰击靶材产生的光子能谱图见图5.2-2。

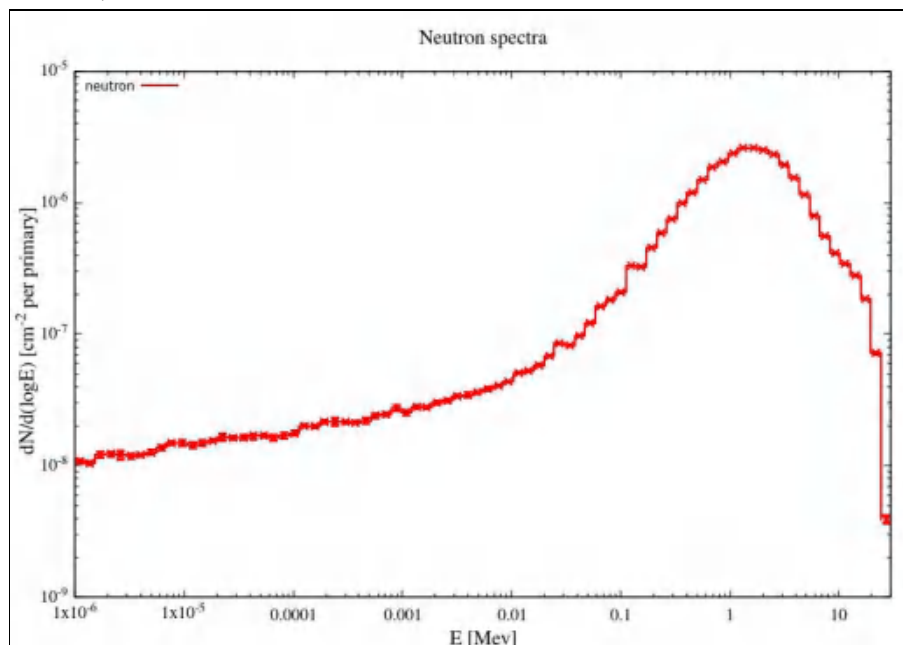


图 5.2-1 30MeV 质子束轰击靶材产生的中子能谱图

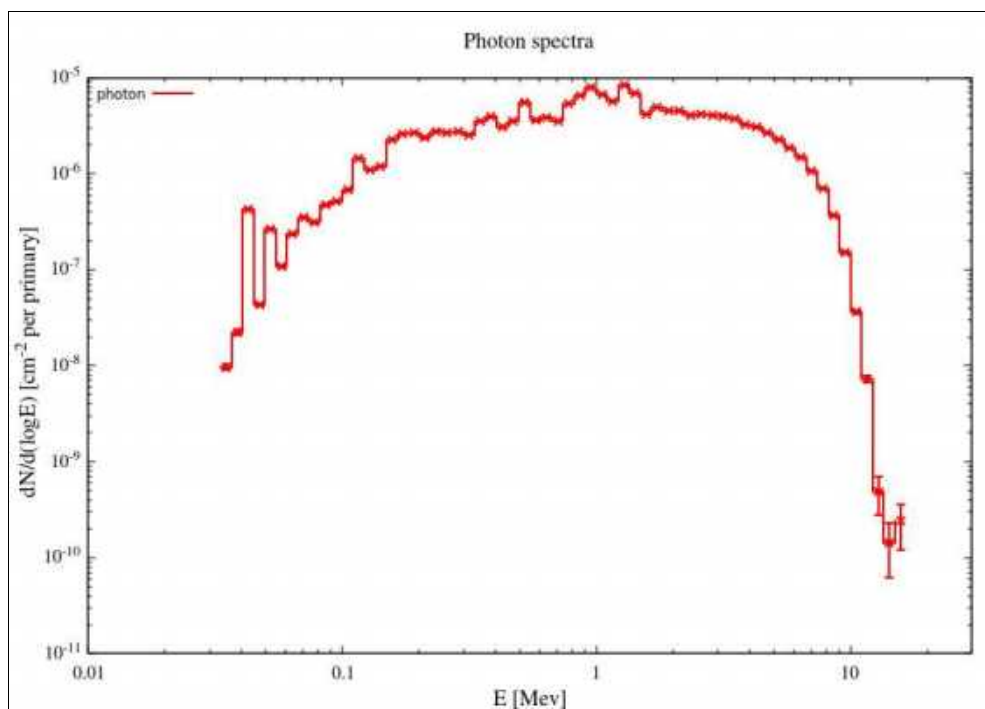


图 5.2-2 30MeV 质子束轰击靶材产生的光子能谱图

(1) 加速器引出30MeV质子束在1#靶室出束打靶时辐射剂量率分布见图5.2-3，参考点位见图5.2-4，参考点处辐射剂量率预测结果见表5.2-1。

表 5.2-1 1#靶室出束打靶时，加速器机房及 1#靶室周围辐射剂量率预测结果

序号	参考点位	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
1	加速器机房东墙外表面 30cm (技术间内)	9.95E-03	2#靶室不出束打靶
2	加速器机房南墙外表面 30cm (4#靶室内)	0.851	
3	加速器机房南墙外表面 30cm (2#靶室内)	0.494	
4	加速器机房西墙外表面 30cm (热交换间内)	2.33E-02	
5	加速器机房北墙外表面 30cm (3#靶室内)	3.29	
6	加速器机房顶部外表面 30cm	2.77E-02	
7	1#靶室东墙外表面 30cm (3#靶室内)	6.83	
8	1#靶室西墙外表面 30cm (加速器维修间内)	9.52E-02	
9	1#靶室北墙外表面 30cm (走道处)	7.96E-02	
10	1#靶室顶部外表面 30cm	1.09	
11	控制室内	1.08E-02	

(2) 加速器引出30MeV质子束在2#靶室出束打靶时辐射剂量率分布见图5.2-5，参考点位见图5.2-6，参考点处辐射剂量率预测结果见表5.2-2。

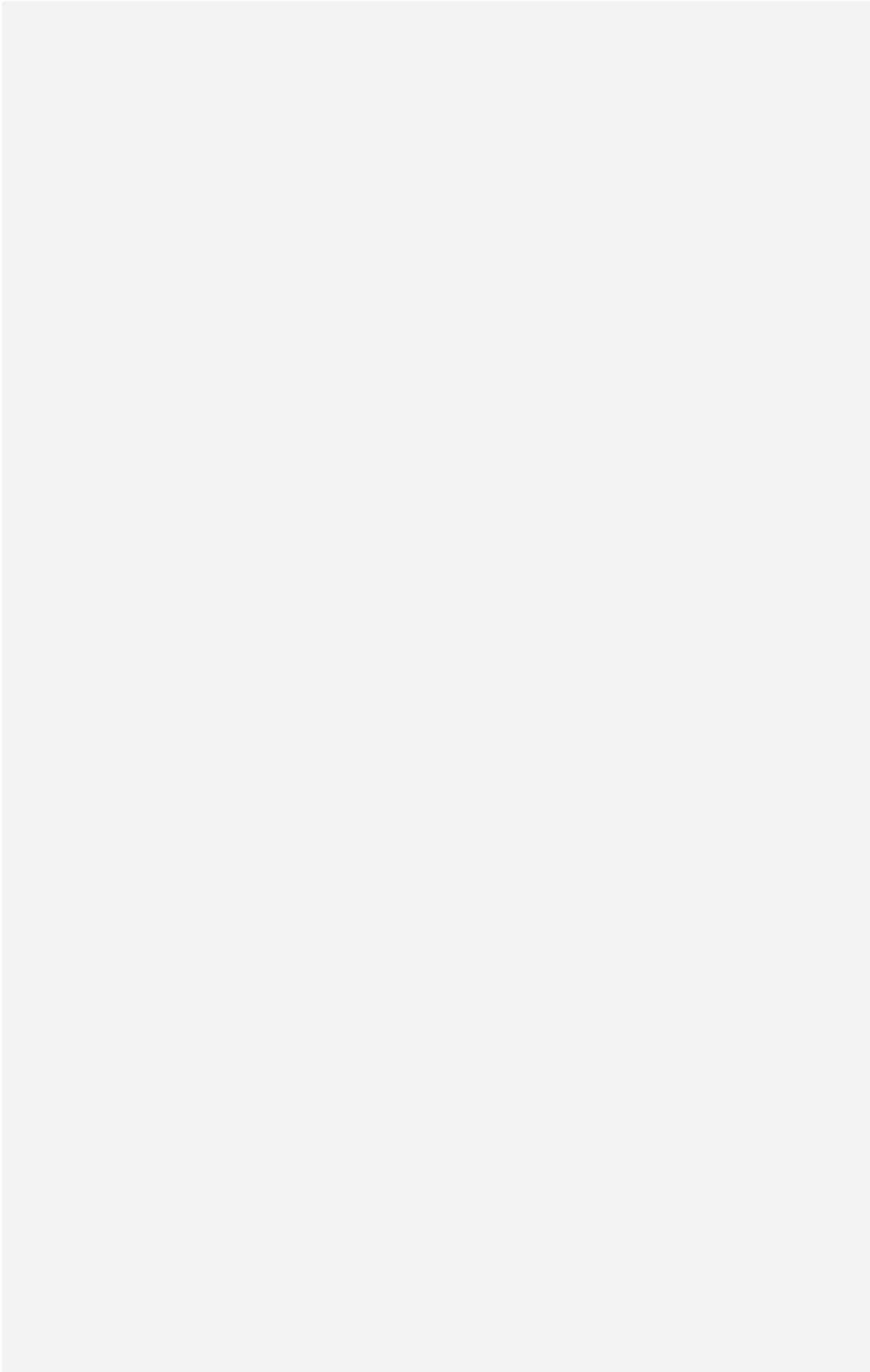


表 5.2-2 2#靶室出束打靶时，加速器机房及 2#靶室周围辐射剂量率预测结果

序号	参考点位	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
1	加速器机房东墙外表面 30cm (技术间内)	8.46E-03	1#靶室不出束打靶
2	加速器机房南墙外表面 30cm (4#靶室内)	4.77	
3	加速器机房西墙外表面 30cm (热交换间内)	1.64E-02	
4	加速器机房北墙外表面 30cm (1#靶室内)	0.476	
5	加速器机房北墙外表面 30cm (3#靶室内)	0.442	
6	加速器机房顶部外表面 30cm	3.27E-02	
7	2#靶室东墙外表面 30cm (4#靶室内)	8.87	
8	2#靶室南墙外表面 30cm (走道处)	0.118	
9	2#靶室西墙外表面 30cm (走道处)	0.208	
10	2#靶室顶部外表面 30cm	1.18	

(3) 加速器引出30MeV质子束在1#靶室和2#靶室同时出束打靶时辐射剂量率分布见图5.2-7，参考点位见图5.2-8，参考点处辐射剂量率预测结果见表5.2-3。

表 5.2-3 1#、2#靶室同时出束打靶时，加速器机房及靶室周围辐射剂量率预测结果

序号	参考点位	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
1	加速器机房东墙表面 30cm (技术间内)	1.48E-02	1#、2#靶室同时出束打靶
2	加速器机房南墙表面 30cm (4#靶室内)	3.60	
3	加速器机房西墙表面 30cm (热交换间内)	1.96E-02	
4	加速器机房北墙表面 30cm (3#靶室内)	3.93	
5	加速器机房顶部表面 30cm	6.75E-02	
6	1#靶室东墙表面 30cm (3#靶室内)	6.41	
7	1#靶室西墙表面 30cm (加速器维修间内)	9.72E-02	
8	1#靶室北墙表面 30cm (走道处)	8.71E-02	
9	1#靶室顶部表面 30cm	1.07	
10	2#靶室东墙表面 30cm (4#靶室内)	5.36	
11	2#靶室南墙表面 30cm (走道处)	6.75E-02	
12	2#靶室西墙表面 30cm (走道处)	3.86	
13	2#靶室顶部表面 30cm	1.41	
14	控制室内	7.47E-03	

根据预测结果可知：

①当1#靶室单独出束打靶时，加速器机房东墙（含防护门）、南墙、西墙及1#靶室西墙（含防护门）、北墙外表面30cm人员可达处最大辐射剂量率为 $0.851\mu\text{Sv/h}$ ，低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的周围剂量当量率限值；加速器机房北墙及1#靶室东墙外表面30cm处均为3#靶室，辐射剂量率最大为 $6.83\mu\text{Sv/h}$ ，经3#靶室屏蔽墙屏蔽后，对3#靶室外的剂量率贡献可忽略；加速器机房及1#靶室顶部外表面30cm处最大辐射剂量率为 $1.09\mu\text{Sv/h}$ ，低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的周围剂量当量率限值；

②当2#靶室单独出束打靶时，加速器机房东墙（含防护门）、西墙、北墙及2#靶室南墙、西墙（含防护门）外表面30cm人员可达处最大辐射剂量率为 $0.476\mu\text{Sv/h}$ ，低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的周围剂量当量率限值；加速器机房南墙及2#靶室东墙外表面30cm处均为4#靶室，辐射剂量率最大为 $8.87\mu\text{Sv/h}$ ，经4#靶室屏蔽墙屏蔽后，对4#靶室外的剂量率贡献可忽略；加速器机房及2#靶室顶部外表面30cm处最大辐射剂量率为 $1.18\mu\text{Sv/h}$ ，低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的周围剂量当量率限值；

③当1#、2#靶室同时出束打靶时，加速器机房周围辐射剂量率最大为 $3.93\mu\text{Sv/h}$ ，1#靶室周围辐射剂量率最大为 $6.41\mu\text{Sv/h}$ ，2#靶室周围辐射剂量率最大为 $5.36\mu\text{Sv/h}$ ，与1#靶室、2#靶室单独出束打靶时加速器机房和靶室周围辐射剂量率相差不大；

④当1#靶室、2#靶室出束打靶时，与1#靶室、2#靶室相邻的3#靶室、4#靶室内辐射剂量率最大值分别为 $6.83\mu\text{Sv/h}$ 、 $8.87\mu\text{Sv/h}$ ，大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的周围剂量当量率限值。1#靶室、2#靶室出束打靶时，当3#靶室、4#靶室内辐射剂量率高于预设阈值 $10\mu\text{Sv/h}$ 时，因靶室内安装的固定式辐射剂量仪与防护门联锁，靶室防护门无法从外面打开，人员无法进入靶室；当3#靶室、4#靶室内辐射剂量率低于预设阈值 $10\mu\text{Sv/h}$ 时才可打开防护门，此时工作人员若需要进入3#靶室、4#靶室进行检维修工作，应先检测3#靶室、4#靶室内的辐射水平，根据靶室内的辐射水平制定工作计划，工作人员佩戴个人剂量计并携带个人剂量报警仪或便携式辐射巡检仪，并使辐射监测仪器一直保持开机状态，并尽量缩短其工作时间，并尽量选择在受照靶室对角的靶室内进行检维修工作，降低人员受照剂量。

2、感生放射性辐射影响分析

加速器停止运行后，由于加速器机房和靶室内部件、混凝土墙和空气活化导致短时间内机房和靶室内有较强的辐射场。虽然缓发辐射场随停机时间衰减较快，但由于本项目束流强度较高，加速器停机数天后，机房和靶室内依然有较高辐射水平。

本项目加速器每年停机检维修工作委托设备生产单位IBA公司负责，检维修期间

公司辐射工作人员不进入加速器机房和受照靶室内部。因此，设备停机检维修期间，对本项目建设单位的辐射工作人员和公众不会有辐射影响。

(1) 感生放射性所致场所辐射水平

为评估检维修工作期间加速器机房和靶室内辐射剂量场的辐射水平，本报告给出了加速器连续打靶1天，然后停机1天、3天、7天、15天后，加速器机房和靶室内的缓发辐射场，加速器机房和靶室平面及剖面辐射剂量率分布见图5.2-9，加速器机房和靶室内最大辐射剂量率预测结果见表5.2-4。

表5.2-4 加速器引出30MeV质子束在靶室1#、2#以最大束流工况打靶1d，停机1d/3d/7d/15d后感生放射性所致机房、靶室内辐射剂量率预测结果

序号	参考点位		最大辐射剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）
1	停机 1 天	加速器机房内	1.01E+03
2		1#靶室内	1.95E+04
3		2#靶室内	1.66E+04
4	停机 3 天	加速器机房内	109
5		1#靶室内	2.11E+03
6		2#靶室内	1.80E+03
7	停机 7 天	加速器机房内	1.65
8		1#靶室内	25.5
9		2#靶室内	22.8
10	停机 15 天	加速器机房内	0.345
11		1#靶室内	0.818
12		2#靶室内	1.62

本项目每个靶材需连续打靶5天，而从上表预测结果可知，即使加速器连续打靶1天，停机1~3天后加速器机房和靶室内大部分区域辐射水平高于 $100\mu\text{Sv/h}$ ，停机15天后加速器机房和靶室内辐射水平将逐渐降低至辐射环境本底水平，故加速器停机后立即进入机房或靶室会对人员产生一定的辐射影响。

由于本项目缓发辐射场较强且与加速器连续运行的时间有关，当需进入加速器机房、靶室进行检维修时，从事检维修的设备生产单位应根据机房内固定式监测仪表的测量结果，制定详细的检维修工作方案，确定停机冷却时间、进入工作区域、工作时间等，控制检维修人员单次受照剂量。

（2）加速器部件感生放射性

本项目每年使用4个靶材盒，每个靶材传输盒大约使用30次（即150天）后更换，则按最大出束工况预测靶材传输盒在加速器出束打靶150天和300天后产生的感生放射性核素活度，具体结果见表5.2-5。

本项目加速器系统每年维修一次，使用寿命为20年，则以一年出束300天的工况预测加速器部件和准直器在加速器出束打靶1年、20年后产生的感生放射性核素活度，具体结果见表5.2-6~表5.2-7。

表 5.2-5 靶材传输盒活化核素活度一览表

序号	核素	半衰期	加速器运行 150 天 放射性活度 (Bq)	加速器运行 300 天 放射性活度 (Bq)	GB18871 豁免 活度 (Bq)
1	Cu-64	12.7h	1.00E+09	1.00E+09	1.00E+06
2	Cu-62	9.67m	7.16E+09	7.16E+09	/
3	Cu-61	3.333h	6.73E+09	6.73E+09	/
4	Ni-65	2.5172h	5.00E+07	5.00E+07	1.00E+06
5	Ni-63	100.1a	2.49E+06	4.96E+06	1.00E+08
6	Ni-59	76000a	2.79E+05	5.58E+05	1.00E+08
7	Co-61	1.65h	7.50E+07	7.50E+07	1.00E+06
8	Co-60	5.271a	1.18E+07	2.30E+07	1.00E+05
9	Co-58	70.83d	9.22E+09	1.13E+10	1.00E+06
10	Co-57	271.8d	8.29E+10	1.40E+11	1.00E+06
11	Fe-59	44.495d	4.52E+07	4.95E+07	1.00E+06
12	Fe-55	2.73a	2.06E+11	3.92E+11	1.00E+06
13	Mn-56	2.5824h	2.97E+09	2.97E+09	1.00E+05
14	Mn-54	312.13d	1.69E+10	2.90E+10	1.00E+06
15	Mn-53	3.74E+06a	1.72E+04	3.46E+04	1.00E+09
16	Cr-51	27.703d	4.63E+11	4.74E+11	1.00E+07
17	Al-26	7.17E+05a	4.57E+02	9.15E+02	/
18	Na-24	14.961h	1.02E+10	1.02E+10	1.00E+05
19	H-3	12.33a	2.51E+07	4.96E+07	1.00E+09

表 5.2-6 加速器部件活化核素活度一览表

序号	核素	半衰期	加速器运行 1 年放 射性活度 (Bq)	加速器运行 20 年 放射性活度 (Bq)	GB18871 豁免 活度 (Bq)
1	Cu-64	12.7h	1.20E+12	1.20E+12	1.00E+06
2	Cu-62	9.67m	6.26E+10	6.26E+10	/
3	Cu-61	3.333h	2.70E+07	2.70E+07	/
4	Ni-65	2.5172h	3.84E+09	3.84E+09	1.00E+06
5	Ni-63	100.1a	8.87E+08	1.66E+10	1.00E+08
6	Ni-59	76000a	1.27E+06	2.75E+07	1.00E+08

7	Co-61	1.65h	4.19E+08	4.19E+08	1.00E+06
8	Co-60	5.271a	1.74E+09	1.31E+10	1.00E+05
9	Co-58	70.83d	3.36E+10	3.45E+10	1.00E+06
10	Co-57	271.8d	3.24E+09	5.34E+09	1.00E+06
11	Fe-59	44.495d	4.43E+09	4.45E+09	1.00E+06
12	Fe-55	2.73a	2.62E+10	1.61E+11	1.00E+06
13	Mn-56	2.5824h	1.82E+10	1.82E+10	1.00E+05
14	Mn-54	312.13d	1.02E+10	1.84E+10	1.00E+06
15	Cr-51	27.703d	6.39E+10	6.39E+10	1.00E+07
16	V-49	330d	3.70E+08	7.01E+08	/
17	Al-26	7.17E+05a	3.13E+06	6.27E+07	/
18	Na-24	14.961h	6.07E+10	6.07E+10	1.00E+05
19	Na-22	2.6027a	3.25E+09	1.38E+10	1.00E+06
20	H-3	12.33a	1.21E+09	1.49E+10	1.00E+09

表 5.2-7 准直器活化核素活度一览表

序号	核素	半衰期	加速器运行 1 年放射性活度 (Bq)	加速器运行 20 年放射性活度 (Bq)	GB18871 豁免活度 (Bq)
1	H-3	12.33a	1.80E+08	2.22E+09	1.00E+09
2	Be-7	53.22d	2.35E+10	2.37E+10	1.00E+07
3	Be-10	1.51E+06a	3.73E+01	7.45E+02	/
4	B-12	20.2ms	4.46E+08	4.46E+08	/
5	C-10	19.255s	8.11E+08	8.11E+08	/
6	C-11	20.39m	9.54E+11	9.54E+11	/
7	N-12	11ms	3.34E+10	3.34E+10	/
8	N-13	9.965m	7.14E+09	7.14E+09	/

从上表预测结果可知，以铁、铜、铝材料为主的加速器、靶材传输盒等部件活化后放射性核素种类多、活度高，包括常见的⁶⁴Cu、⁶²Cu、⁶⁵Ni、⁶³Ni、⁶⁰Co、⁵⁸Co、⁵⁹Fe、⁵⁵Fe、⁵⁶Mn、⁵⁴Mn、⁵¹Cr、²⁴Na、²²Na、³H等放射性核素，通过与GB18871-2002中放射性核素豁免值相比较，靶材传输盒使用150天后，靶材传输盒中活化的放射性核素活度基本上高于GB18871-2002中豁免活度值；加速器运行1年后，大部分束流损失点处的部件中活化的放射性核素活度也基本上高于GB18871-2002中豁免活度值；由碳材

料制成的准直器活化的放射性核素种类较少，半衰期较长且活度较高的主要为 ^3H 和 ^7Be ，放射性活度也基本上高于GB18871-2002中豁免活度值。

根据上述分析，本项目加速器系统运行期间，更换的靶材传输盒、加速器部件（如束流管、泵、密封圈等）、准直器均应作为放射性废物进行管理和处置。加速器区域设计有带迷道的50cm混凝土浇筑的加速器废弃物间，加速器系统更换的部件、准直器等废弃物放置在该加速器废弃物间，更换的加速器部件和准直器等废弃物量较小，所含活化的核素活度不大，经50cm混凝土屏蔽后，可使加速器废弃物间外的辐射剂量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

（3）空气、冷却水、混凝土和土壤感生放射性

对于空气、冷却水、混凝土和土壤的感生放射性和有害气体的产生，采用束流传输线的隧道模型，参考文献《恒健质子治疗装置的辐射与屏蔽设计》（吴青彪等）建立如图5.2-10所示的简化模型进行计算。

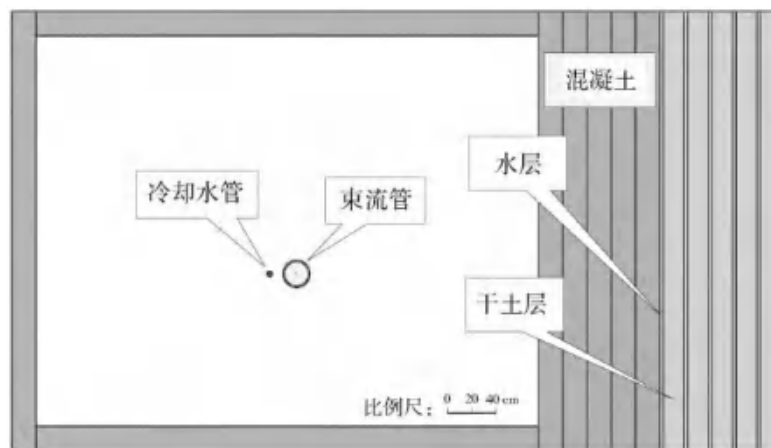


图 5.2-10 感生放射性预测的蒙特卡洛仿真模型

①空气感生放射性

加速器运行期间次级粒子（中子、光子等）与机房和靶室内空气分子的直接核反应是空气感生放射性核素的主要来源。空气感生放射性核素一般为短半衰期核素，核素在放射性衰变和空气稀释效应下可快速降低到较低的辐射水平。空气中活化的放射性核素主要通过热中子俘获、 (γ, n) 反应和散裂反应而产生。在最大工况下，采用FLUKA蒙特卡洛程序计算连续打靶5天，机房和靶室内空气在无通风条件下的最大放射性活度浓度（ A_{\max} ），预测结果见表5.2-8。

表 5.2-8 无通风条件下，连续打靶 5 天室内空气主要核素最大活度浓度一览表

序号	核素	半衰期 (s)	无通风条件下，最大活度浓度 (Bq/m^3)
1	H-3	3.89E+08	2.94

2	C-14	1.81E+11	5.42
3	N-13	598	1.20E+03
4	Ar-37	3.03E+06	16.9
5	Ar-39	8.48E+09	5.69E-03
6	Ar-41	6.56E+03	6.70E+03

从上表预测结果可知，加速器机房和靶室内产生的活化核素主要为¹³N和⁴¹Ar等短半衰期核素，对人体的危害途径主要为空气浸没外照射和吸入内照射。

表 5.2-9 加速器机房、靶室体积及排放参数一览表

序号	场所	室内体积 (m ³)	排风量 (m ³ /h)	每小时换气次数
1	加速器机房	217.6	4373.2	约 20
2	1#靶室	44.94	1018.4	约 22
3	2#靶室	36.54	859.3	约 23

将相关参数代入公式（5-1）和公式（5-2），保守选取通风换气次数最小的加速器机房进行计算，则本项目加速器机房排放的活化空气放射性核素活度浓度计算结果见表5.2-10。

表5.2-10 本项目加速器机房排放的活化空气活度浓度计算结果一览表

序号	场所	核素	半衰期 (s)	无通风条件下最大活度 浓度 A_{max} (Bq/m ³)	通风条件下最大活度 浓度 A_r (Bq/m ³)
1	加速器 机房	H-3	3.89E+08	2.94	9.38E-07
2		C-14	1.81E+11	5.42	3.72E-09
3		N-13	598	1.20E+03	206
4		Ar-37	3.03E+06	16.9	6.92E-04
5		Ar-39	8.48E+09	5.69E-03	8.33E-11
6		Ar-41	6.56E+03	6.70E+03	124

从上表计算结果可知，半衰期较长的核素 ³H、¹⁴C、³⁷Ar、³⁹Ar等因通风换气降低了活化时间，排放活度浓度很小；短半衰期核素 ¹³N、⁴¹Ar等很容易达到饱和活度浓度，加速器运行期间向环境排放的放射性核素主要为短半衰期核素 ¹³N、⁴¹Ar，活度浓度最大为206Bq/cm³，通风系统可有效的稀释机房和靶室空气中的活化气体。

综上所述，本项目回旋加速器运行期间向环境排放的感生放射性气溶胶中所含核素的半衰期较短，产生量较少，经过高效过滤器过滤后，所致辐射工作人员和公众的空气浸没外照射和吸入内照射很小，可忽略不计。

②冷却水感生放射性

本项目加速器部件和靶件使用去离子水冷却，冷却水长期在高辐射场内照射因活化而产生放射性，系统中冷却水总水量约为1.1m³，大部分位于加速器机房外的管路和热交换机房内。冷却水中活化核素的主要来源是束流集中损失区域内的冷却水，即靶件处和加速器内部。质子束流轰击靶件产生的次级射线（主要是中子）穿过冷却水管使冷却水受照活化。根据模型估算，加速器运行一年（300天）后，冷却水活化的核素及活度浓度预测结果见表5.2-11。

表 5.2-11 加速器运行一年（300 天），冷却水活化的核素活度一览表

序号	核素	半衰期	总活度 (Bq)	活度浓度 (Bq/L)	GB18871 豁免活度 (Bq)
1	H-3	12.33a	1.25E+03	9.98E-01	1.00E+09
2	C-14	5730a	1.09E+02	8.71E-02	1.00E+07
3	C-15	2.449s	3.32E+04	2.65E+01	/
4	N-16	7.13s	5.14E+06	4.10E+03	/
5	O-15	122.24s	9.15E+04	7.30E+01	1.00E+09

根据上表预测结果可知，活化的冷却水所含核素的半衰期较短，产生量较少，基

本低于GB18871-2002中豁免活度值，对本项目辐射工作人员和周围公众辐射影响很小，可忽略不计。

本项目冷却水闭式循环使用，正常运行期间不排放，如发生冷却水泄漏或加速器系统检维修，泄漏或外排的冷却水经机房或靶室地面预埋管道排至地下层放射性废物暂存间的放射性废水衰变系统内单独储存，暂存至少1年后取样检测，满足总 $\alpha < 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta < 10\text{Bq/L}$ 、 ^3H 的放射性活度浓度 $< 10\text{Bq/L}$ 后，重新回用或作为非放射性废水由有资质单位回收处置。

③机房和靶室混凝土屏蔽墙及机房和靶室下方土壤感生放射性

根据模型估算，机房和靶室混凝土屏蔽墙、机房和靶室下方土壤在加速器运行1年、20年后的放射性核素及活度浓度分别见表5.2-12和表5.2-13。

表 5.2-12 机房和靶室混凝土屏蔽墙中放射性核素活度浓度一览表

序号	核素	半衰期	加速器运行 1 年 放射性活度浓度 (Bq/g)	加速器运行 20 年 放射性活度浓度 (Bq/g)	GB18871 豁免 活度浓度 (Bq/g)
1	Fe-59	44.495d	1.76E-02	1.76E-02	1.00E+01
2	Fe-55	2.73a	1.39E-01	6.20E-01	1.00E+04
3	Mn-56	2.5824h	4.40E-03	4.40E-03	1.00E+01
4	Mn-54	312.13d	3.60E-03	6.47E-03	1.00E+01
5	Sc-49	57.2m	4.05E-02	4.05E-02	/
6	Sc-47	3.3492d	8.26E-04	8.26E-04	1.00E+02
7	Ca-47	4.536d	8.26E-04	8.26E-04	1.00E+01
8	Ca-45	162.61d	2.94E-01	3.73E-01	1.00E+04
9	Ca-41	1.03E+5a	5.48E-05	1.64E-03	/
10	K-42	12.36h	6.15E-01	6.15E-01	1.00E+02
11	K-40	1.277E+09a	7.02E-09	2.10E-07	1.00E+02
12	Ar-41	109.31m	4.20E-04	4.20E-04	1.00E+02
13	Ar-39	269a	4.85E-04	1.40E-02	/
14	Ar-37	35.04d	2.79E-01	2.79E-01	1.00E+06
15	Cl-36	3.01E+05a	1.59E-07	4.76E-06	1.00E+04
16	S-35	0.78s	1.75E-04	1.86E-04	1.00E+05
17	Si-31	157.3m	8.68E-01	8.68E-01	1.00E+03
18	Al-26	7.17E+05a	1.56E-09	4.68E-08	/

19	Na-24	14.961h	2.47E-02	2.47E-02	1.00E+01
20	C-14	5730a	8.48E-06	2.54E-04	1.00E+04
21	H-3	12.33a	7.29E-05	1.09E-03	1.00E+06

表 5.2-13 机房和靶室下方土壤感生放射性核素活度浓度一览表

序号	核素	半衰期	加速器运行 1 年 放射性活度浓度 (Bq/g)	加速器运行 20 年 放射性活度浓度 (Bq/g)	GB18871 豁免 活度浓度 (Bq/g)
1	Fe-59	44.495d	1.60E-05	1.07E-05	1.00E+01
2	Fe-55	2.73a	9.46E-05	4.22E-04	1.00E+04
3	Mn-56	2.5824h	1.07E-03	1.07E-03	1.00E+01
4	Mn-54	312.13d	2.63E-06	4.73E-06	1.00E+01
5	Sc-49	57.2m	1.69E-06	1.69E-06	/
6	Sc-47	3.3492d	4.08E-07	4.08E-07	1.00E+02
7	Ca-47	4.536d	4.38E-08	4.38E-08	1.00E+01
8	Ca-45	162.61d	2.03E-05	2.59E-05	1.00E+04
9	Ca-41	1.03E+5a	2.60E-09	7.80E-08	/
10	K-42	12.36h	1.05E-04	1.05E-04	1.00E+02
11	K-40	1.277E+09a	1.16E-12	3.48E-11	1.00E+02
12	Ar-41	109.31m	6.92E-08	6.92E-08	1.00E+02
13	Ar-39	269a	7.45E-08	2.15E-06	/
14	Ar-37	35.04d	1.32E-05	1.32E-05	1.00E+06
15	Cl-36	3.01E+05a	2.82E-11	8.46E-10	1.00E+04
16	S-35	0.78s	7.00E-09	7.41E-09	1.00E+05
17	Si-31	157.3m	1.15E-04	1.15E-04	1.00E+03
18	Al-26	7.17E+05a	8.17E-13	2.45E-11	/
19	Na-24	14.961h	2.08E-04	2.08E-04	1.00E+01
20	Na-22	2.6027a	3.27E-08	1.40E-07	1.00E+01
21	C-14	5730a	4.26E-08	1.28E-06	1.00E+04
22	H-3	12.33a	1.43E-08	2.14E-07	1.00E+06

从上表预测结果可知，加速器运行1年或20年后，机房和靶室混凝土屏蔽墙及机房和靶室下方土壤中感生放射性核素的活度浓度很小，均远低于GB18871-2002中豁免活度浓度值，故机房和靶室混凝土屏蔽墙及机房和靶室下方土壤可不作为放射性废物处置。

5.2.1.2 靶材输送管道上方辐射水平分析

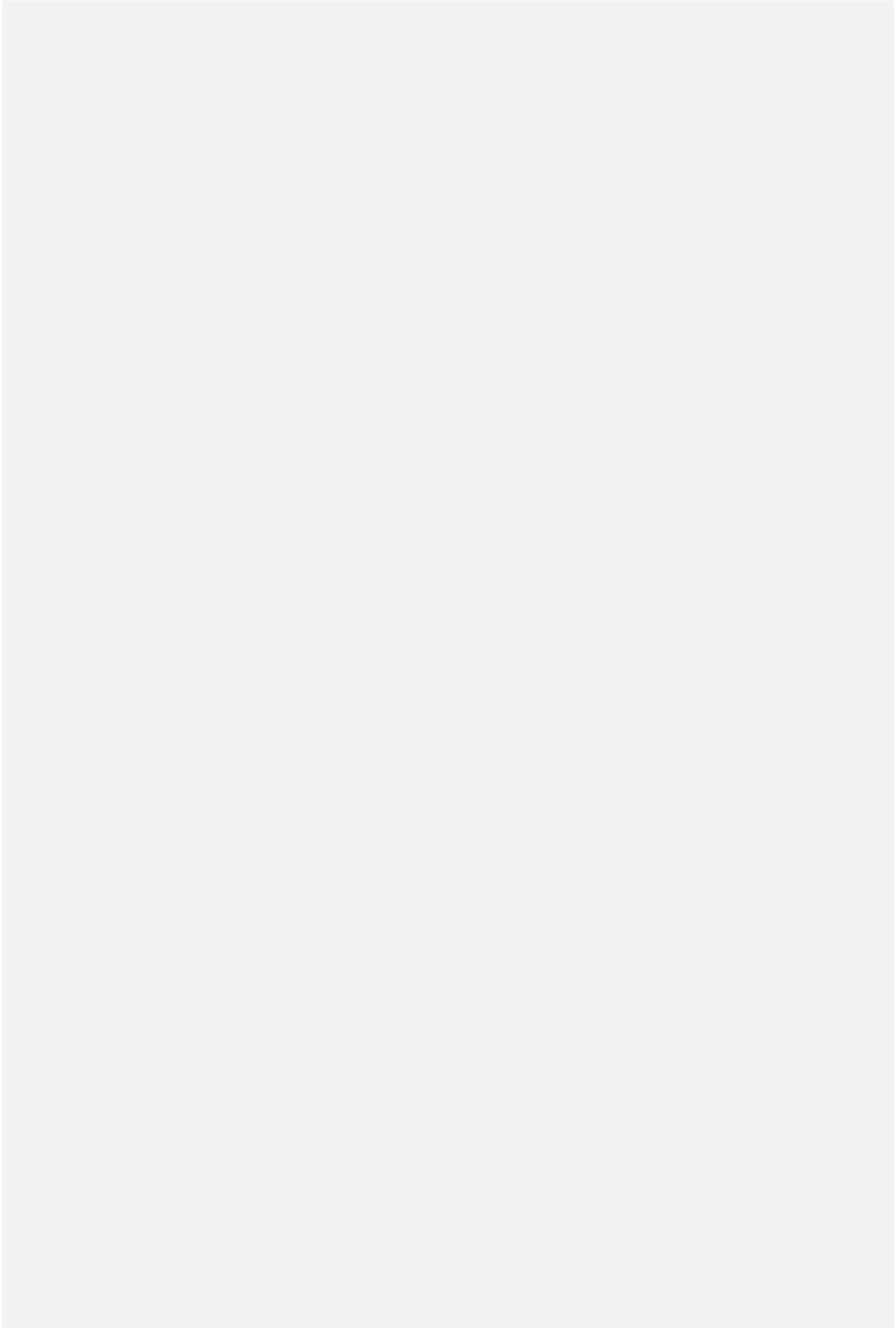


表 5.2-14 靶材传输管道外表面 30cm 处辐射剂量率预测结果

序号	参考点位	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	靶材传输管道外表面 30cm 处	9.88

从上表预测结果可知，靶材传输管道外表面30cm处最大辐射剂量率为9.88 $\mu\text{Sv/h}$ ，低于10 $\mu\text{Sv/h}$ 的周围剂量当量率限值。

本项目加速器出束打靶时，加速器区域基本无人员在此逗留，且靶材传输管道上方地面的两侧拟设置警戒线和警示标语，禁止人员在靶材传输管道上方行走或在附近逗留，减少人员受照剂量。

5.2.1.3 热室周围辐射水平分析

根据热室结构，建立热室三维模型，热室三维模型及各热室半剖图见图5.2-13，各热室均在最大源强（见表3.4-6）时的平面及剖面辐射剂量率分布见图5.2-14，参考点处辐射剂量率预测结果见表5.2-15。

表5.2-15 热室参考点处辐射剂量率计算结果

序号	参考点位	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
1	1#热室正对人员操作位表面 30cm	0.322	操作位
	1#热室后侧表面外 5cm	2.84	/
	1#热室左侧表面外 5cm	0.869	/
	1#热室顶部表面外 5cm	8.93	/
	1#热室底部表面外 5cm	8.98	非正对人员操作面最大值
2	2#热室正对人员操作位表面 30cm	0.153	操作位
	2#热室后侧表面外 5cm	2.57	/
	2#热室顶部表面外 5cm	5.05	非正对人员操作面最大值
	2#热室底部表面外 5cm	1.48	/
3	3#或 4#热室正对人员操作位表面 30cm	0.201	操作位
	3#或 4#热室后侧表面外 5cm	2.22	/
	3#或 4#热室顶部表面外 5cm	2.43	/
	3#或 4#热室底部表面外 5cm	2.55	非正对人员操作面最大值

4	5#热室正对人员操作位表面 30cm	2.32	操作位
	5#热室后侧表面外 5cm	3.95	/
	5#热室右侧表面外 5cm	3.28	/
	5#热室顶部表面外 5cm	3.89	/
	5#热室底部表面外 5cm	4.01	非正对人员操作面最大值
5	热室操作间楼上辐射剂量率最大值	1.15	/
6	热室操作间楼下辐射剂量率最大值	0.336	/

注：①厂房地下层层高为6.15m，一层、二层层高为6m。

②厂房一层地板为1200mm混凝土、顶部楼板为150mm混凝土。

从上表预测结果可知：

（1）1#热室外表面30cm处人员操作位最大辐射剂量率为0.322 μ Sv/h，非正对人员操作位表面最大辐射剂量率为8.98 μ Sv/h；2#热室外表面30cm处人员操作位最大辐射剂量率为0.153 μ Sv/h，非正对人员操作位表面最大辐射剂量率为5.05 μ Sv/h；3#或4#热室外表面30cm处人员操作位最大辐射剂量率为0.201 μ Sv/h，非正对人员操作位表面最大辐射剂量率为2.55 μ Sv/h；5#热室外表面30cm处人员操作位最大辐射剂量率为2.32 μ Sv/h，非正对人员操作位表面最大辐射剂量率为4.01 μ Sv/h；均能够满足热室外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于2.5 μ Sv/h，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于25 μ Sv/h的要求；

（2）热室操作间四周辐射剂量率小于3.95 μ Sv/h，热室操作间楼上最大辐射剂量率为1.15 μ Sv/h，楼下最大辐射剂量率为0.336 μ Sv/h，热室操作间四周为准备间、更衣缓冲区、走廊、设备走廊，均为控制区且为居留因子小于1/2的场所，满足控制区内各房间的四周墙体、防护门、顶部外表面30cm处及底部人员可达处的周围剂量当量率小于2.5 μ Sv/h，若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 $<1/2$ ），周围剂量当量率应小于10 μ Sv/h的要求。本项目热室操作间楼上为风机房，楼下为放射性废物暂存间，均无人员长时间逗留。

5.2.1.4 包装间周围辐射水平分析

1、成品货包铅罐表面辐射水平分析

本项目单个货包（单罐）内核素 ^{68}Ge 的活度最大为250mCi，货包铅罐为40mmPb，货包铅罐三维模型见图5.2-15，平面及剖面辐射剂量率分布见图5.2-16，货包铅罐参考点处辐射剂量率预测结果见表5.2-16。

表 5.2-16 货包铅罐参考点处辐射剂量率预测结果

序号	参考点位	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	货包铅罐外表面	107
2	货包铅罐外表面 30cm	14.4
3	货包铅罐外表面 100cm	5.97

从上表预测结果可知，货包铅罐外表面辐射剂量率最大为 $107\mu\text{Sv/h}$ ，满足货包铅罐表面辐射剂量率不超过 2mSv/h 的要求。

2、成品库周围辐射水平估算

成品库中设置两个成品储存柜，两个成品储存柜放置于成品库的东南角，单个储存柜为长1m、宽0.7m、高1m、壁厚5cm的铅屏蔽箱，每个储存柜最多容纳1个批次4个货包铅罐。成品库三维模型及铅储存柜平面及剖面见图5.2-17，平面及剖面辐射剂量率分布见图5.2-18，成品库参考点处辐射剂量率预测结果见表5.2-17。

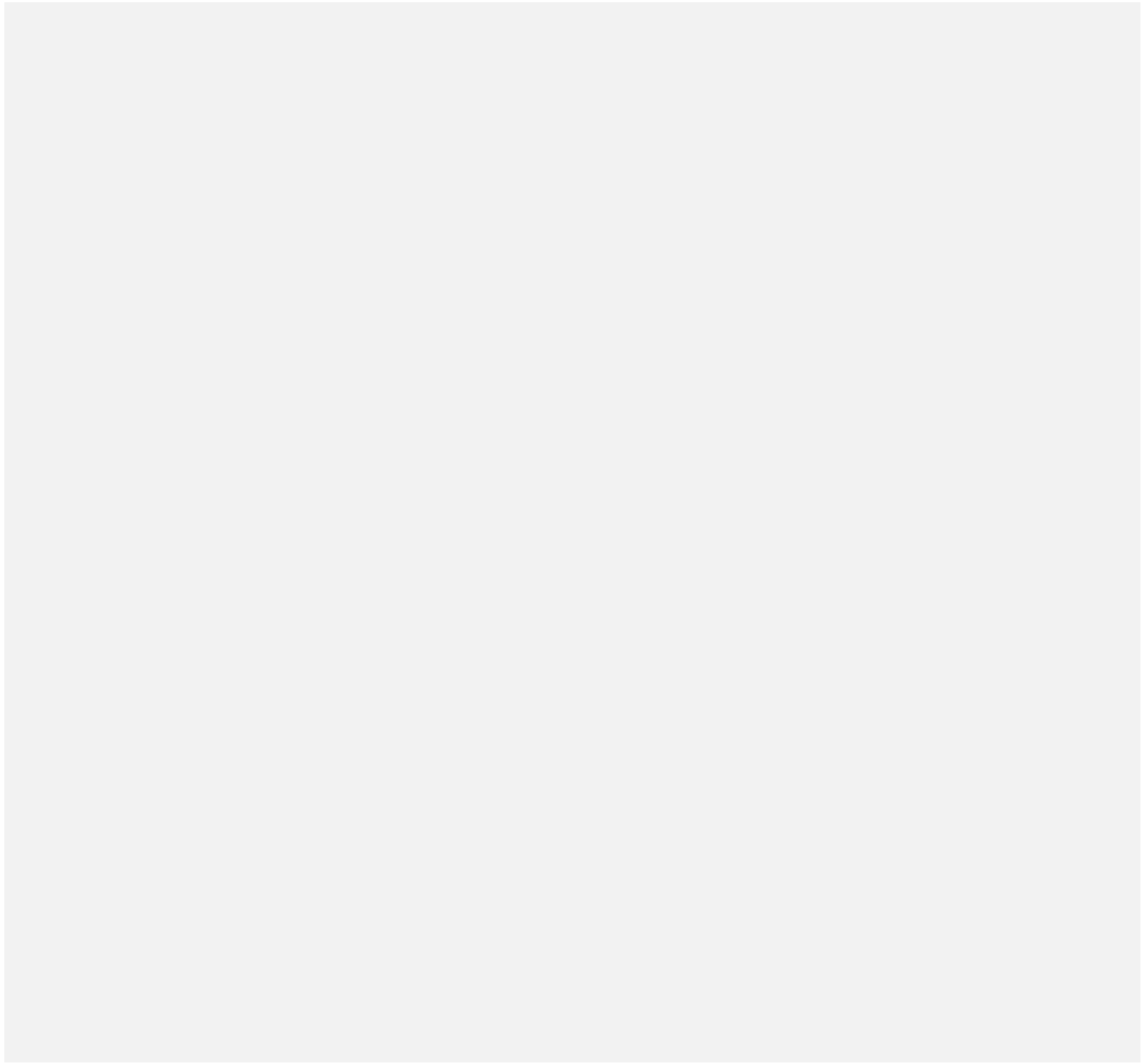


表5.2-17 成品库参考点处辐射剂量率预测结果

序号	参考点位	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	成品库东墙外表面 30cm (厂区道路处)	5.90E-02
2	成品库南墙外表面 30cm (包材库内)	8.46E-02
3	成品库西墙 (含防护门) 外表面 30cm (包装间内)	2.60E-02
4	成品库北墙外表面 30cm (成品出库间内)	4.54E-02
5	成品库楼上 (过道和放化实验室)	1.03E-02
6	成品库楼下 (低活度放射性废物储存区)	7.85E-03
7	铅储存柜外表面 30cm	1.11

注：①厂房地下层层高为 6.15m，一层、二层层高为 6m。

②预测成品库外剂量率时，考虑成品库的屏蔽防护。

从上表预测结果可知，成品库四周墙体 (含防护门)、楼上外表面30cm处最大辐射剂量率为8.46E-02 $\mu\text{Sv/h}$ ，楼下最大辐射剂量率为7.85E-03 $\mu\text{Sv/h}$ ，满足控制区内各房

间的四周墙体、防护门、顶部外表面30cm处及底部人员可达处的周围剂量当量率小于2.5μSv/h,若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),周围剂量当量率应小于10μSv/h的要求。

5.2.1.5 二层质检车间周围辐射水平分析

本项目通风柜周围剂量当量率可近似按照点源模式计算,采用《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)附录I中公式(I.1)计算参考点周围剂量当量率:

$$K_{\alpha} = \frac{A \cdot \Gamma}{R^2} \cdot \eta \quad (\text{式 5-3})$$

上式中:

K_{α} —周围剂量当量率, μSv/h;

A—放射性药物的活度, MBq;

Γ —周围剂量当量率常数, μSv·m²/(MBq·h);

R—距放射源的距离, m;

η —透射比,无屏蔽情况下取 1,有屏蔽情况下,根据相对应屏蔽材料的什值层计算相应的透射比,计算方法见式(5-4)。

$$\eta = 10^{-X/\text{TVL}} \quad (\text{式 5-4})$$

上式中: X—屏蔽物质厚度,与 TVL 取相同的单位。

计算时,样品核素⁶⁸Ge保守按其子体⁶⁸Ga进行保守计算。二层在通风柜中进行质检,25mCi样品装在40mmPb的样品转运铅罐中,再放在通风柜中,然后在铅罐内稀释并分装出3份留样样品(每份不超过5mCi),分别放置在40mmPb的留样铅罐中,运送至留样及稳定性室,剩余样品在通风柜内稀释、取样用于分析检测。从铅罐中取出部分样品,单次取样的样品最大活度不超过1mCi,周围使用2cm铅砖进行屏蔽防护,再经稀释后分别取出不超过50μCi的样品送至放化实验室、无菌检测室和内毒素检测室进行检测。

质检结束后,质检车间产生的放射性废物(稀释后的废液)以及部分试剂瓶等(活度共计不超过10mCi)放置在20mmPb的废弃物转运铅罐中,运送至放射性废物暂存间暂存。质检车间各参考点位处辐射剂量率计算结果见表5.2-18。

从上表计算结果可知：

（1）通风柜外表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 $0.482\mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的辐射剂量率最大为 $1.97\mu\text{Sv/h}$ ，满足通风柜外表面 30cm 处人员操

作位的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 $25\mu\text{Sv/h}$ 的要求；

(2) 质检车间各房间外表面30cm处辐射剂量率最大为 $1.61\mu\text{Sv/h}$ ，满足控制区内各房间的四周墙体、防护门、顶部外表面30cm处及底部人员可达处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，若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 $<1/2$ ），周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 的要求；

(3) 废弃物转运铅罐表面外1m处辐射剂量率为 $3.09\mu\text{Sv/h}$ ，能够满足废弃物转运铅罐表面外1m处的周围剂量当量率小于 $20\mu\text{Sv/h}$ 的要求；

(4) 辐射工作人员在质检、转运放射性废物时工作位处辐射剂量率相对较大，对辐射工作人员有一定的辐射影响。

5.2.1.6 废物转运容器周围辐射水平分析

热室内废物转运容器三维模型及剖面图见图 5.2-19，平面及剖面辐射剂量率分布见图 5.2-20，废物转运容器参考点位处辐射剂量率预测结果见表 5.2-19。

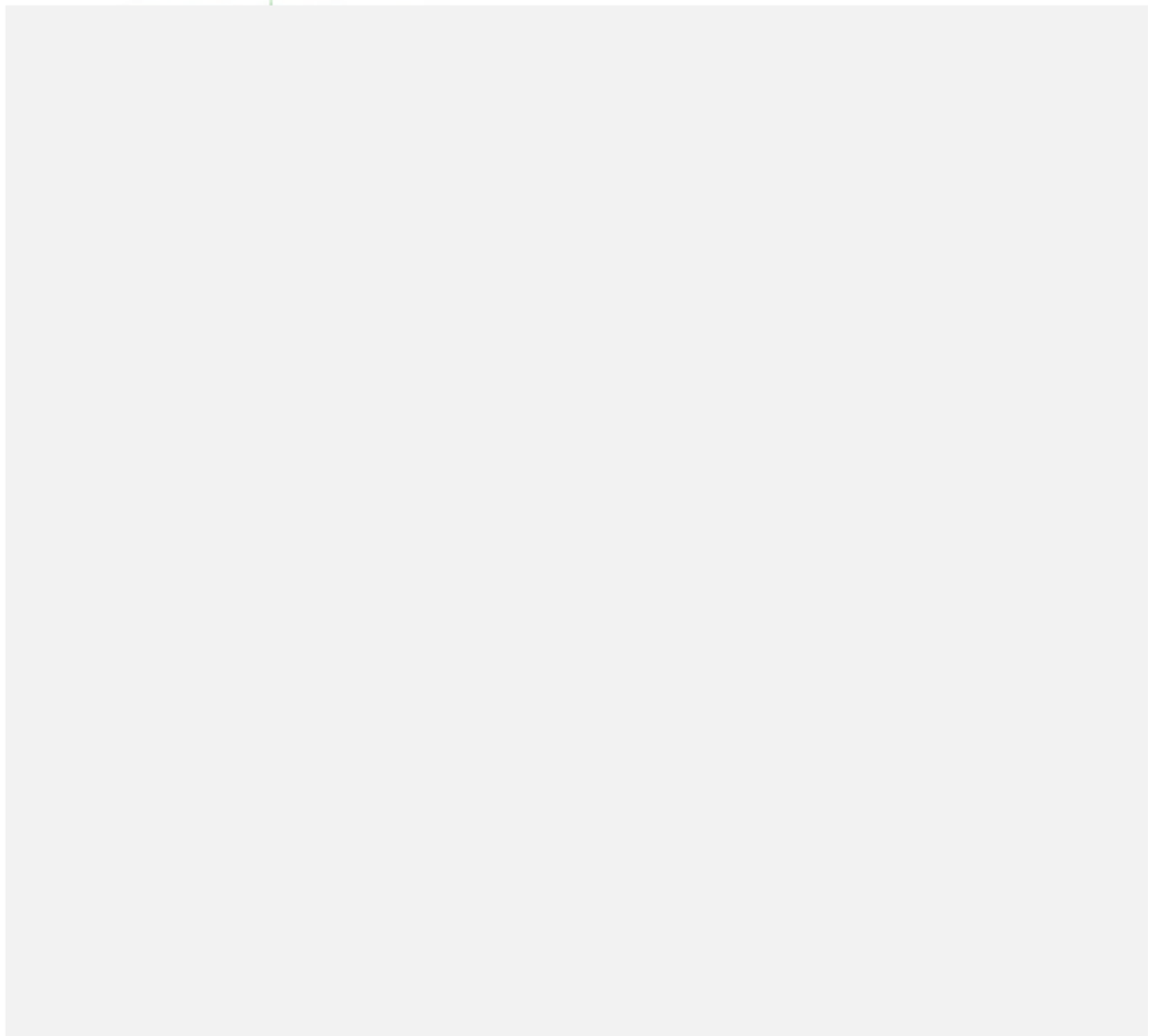


表5.2-19 废物转运容器参考点处辐射剂量率预测结果

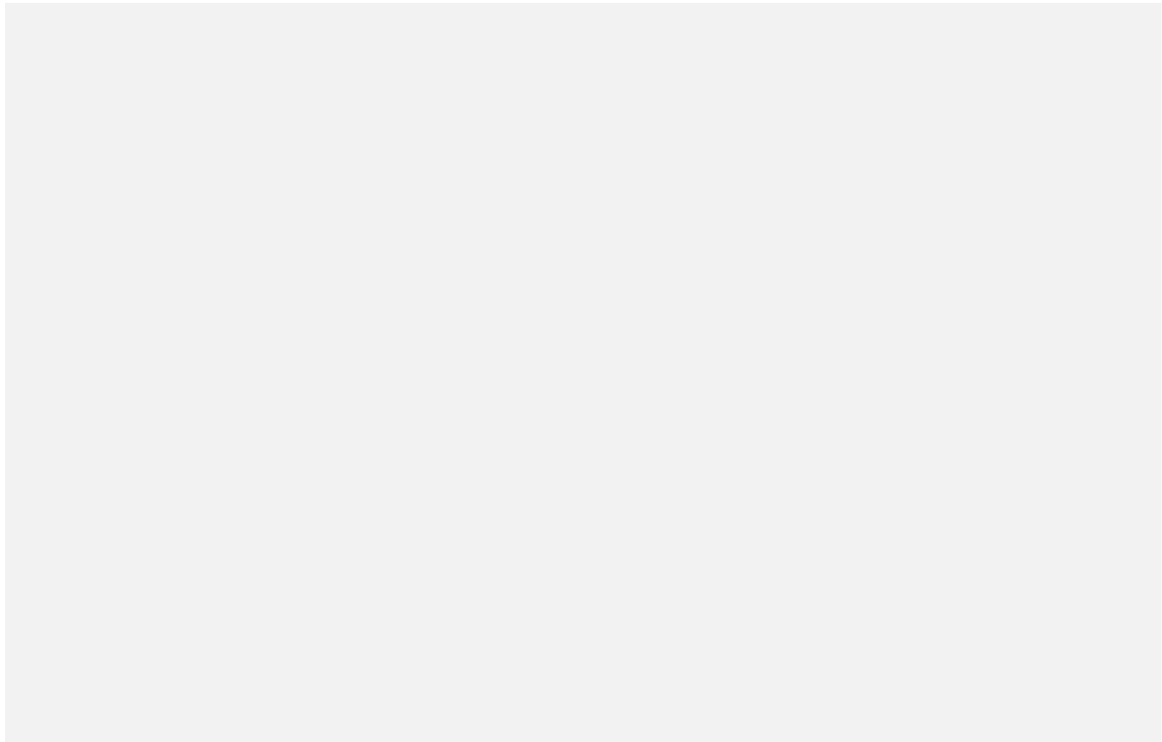
序号	参考点位	辐射剂量率 (μSv/h)
1	废物转运容器外表面 50cm	29.8
2	废物转运容器外表面 100cm	11.5

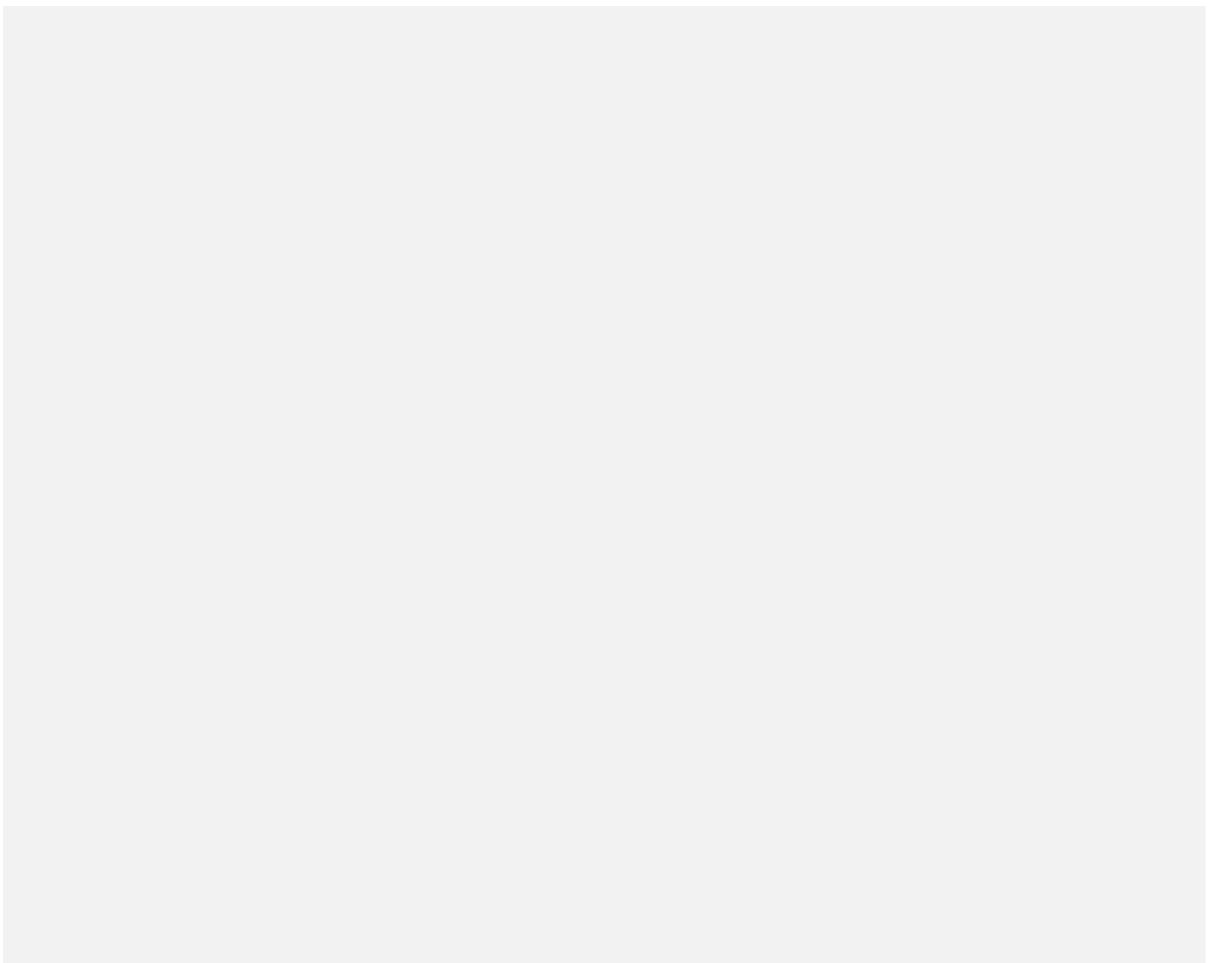
从上表计算预测可知，废物转运容器外表面100cm处最大辐射剂量率为11.5μSv/h，满足废物转运容器表面外1m处的周围剂量当量率小于20μSv/h的要求。使用废物转运容器转运热室内放射性废物时对周围环境有一定的辐射影响，工作人员在转运放射性废物时，应尽量增大与转运容器的距离、缩短转运时间，减少受照剂量。

5.2.1.7 放射性废物暂存间周围辐射水平分析

本项目放射性废物暂存间主要包括放射性废物仓储系统、低活度放射性废物储存区、放射性废水衰变系统、预留区域等，放射性核素⁶⁸Ge在化学提纯过程中，杂质核素及剩余⁶⁸Ge基本附着或转移至靶材、离子树脂交换柱、硫酸和盐酸废液中，上述废物暂存在放射性废物仓储系统内，而低活度放射性废物储存区、放射性废水衰变系统中废物所含的放射性核素活度较低，相对放射性废物仓储系统中核素活度可忽略不计，故本项目放射性废物暂存间主要考虑放射性废物仓储系统的辐射影响。

当放射性废物仓储系统内无放射性废物，防护柜内有2个含硫酸废液的锡罐时，放射性废物仓储系统平面及剖面辐射剂量率分布见图5.2-21；当放射性废物仓储系统储存满放射性废物，防护柜内无放射性废物时，放射性废物仓储系统平面及剖面辐射剂量率分布见图5.2-22。





本项目放射性废物暂存间及周围参考点位见图5.2-23，参考点处辐射剂量率预测结果见表5.2-20。

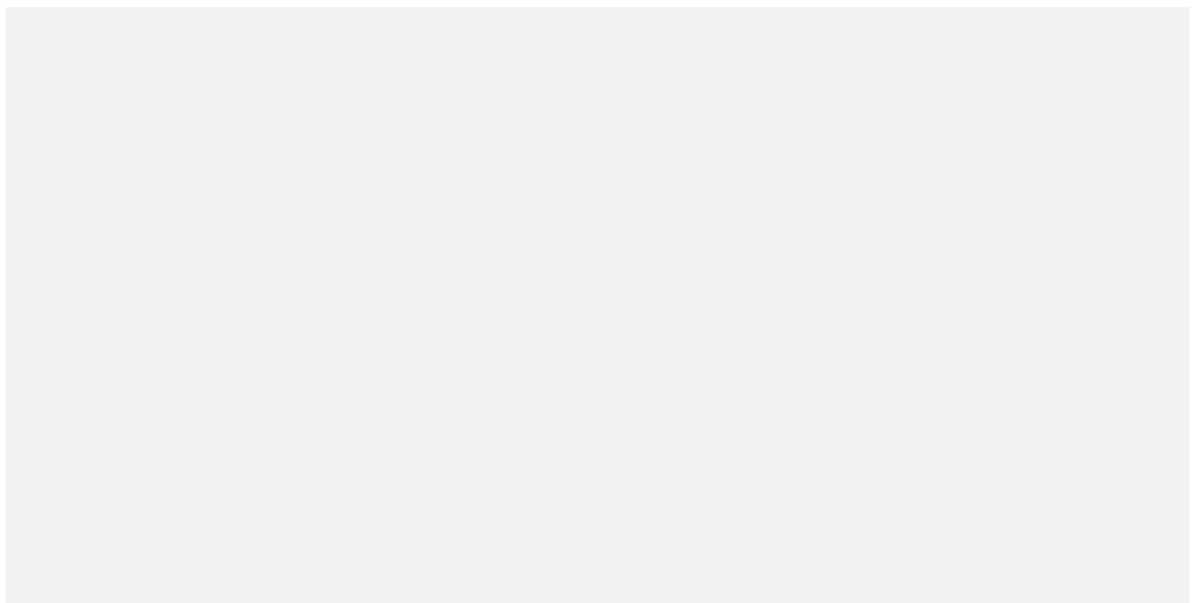


表 5.2-20 放射性废物暂存间及周围参考点处辐射剂量率计算结果

参考点位	参考点位	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
1	1#蜂巢池上方 30cm 处	28.9	放射性废物仓储系统储存满放射性废物，防护柜内无放射性废物
2	2#蜂巢池上方 30cm 处	28.7	
3	3#蜂巢池上方 30cm 处	36.1	
4	4#蜂巢池上方 30cm 处	34.9	
5	5#蜂巢池上方 30cm 处	80.6	
6	防护柜外表面 30cm 处人员操作位	0.97	
7	放射性废物仓储系统迷道外口处通道	1.00E-03	
8	放射性废物仓储系统控制室内	<1.00E-03	
9	放射性废物暂存间东侧墙体外表面 30cm	<1.00E-03	
10	放射性废物仓储系统北侧放射性废物收集区	<1.00E-03	
11	放射性废物仓储系统楼上地面 30cm	0.02	
6	防护柜外表面 30cm 处人员操作位	45.6	放射性废物仓储系统内无放射性废物，防护柜内有 2 个含硫酸废液的锡罐

注：厂房地下层层高为6.15m，放射性废物暂存区顶部为1200mm砼。

从上表预测结果可知：

(1) 放射性废物蜂巢池表面外30cm处辐射剂量率最大为80.6 $\mu\text{Sv/h}$ ，满足放射性废物蜂巢池表面外30cm处的周围剂量当量率小于100 $\mu\text{Sv/h}$ 的要求；放射性废物暂存间外周围辐射剂量率最大为0.02 $\mu\text{Sv/h}$ ，远低于2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 的周围剂量当量率限值；

(2) 在防护柜提取废物锡罐时、在检维修放射性废物蜂巢池时辐射剂量率较大，对辐射工作人员有一定的辐射影响，工作人员应尽量缩短在防护柜处和检维修蜂巢池的工作时间。

5.2.1.8 各辐射工作场所及设施设计变更前、后辐射水平对比分析

根据各辐射工作场所及防护设施辐射影响分析，并对照原环评文件可知：

(1) 加速器机房和靶室设计变更前周围辐射剂量率为0.21 $\mu\text{Sv/h}$ ~20 $\mu\text{Sv/h}$ ，设计变更后为8.46E-03 $\mu\text{Sv/h}$ ~8.87 $\mu\text{Sv/h}$ ，屏蔽防护能力增强；

(2) 靶材传输管道设计变更前表面外30cm处辐射剂量率为13 $\mu\text{Sv/h}$ ，设计变更后为9.88 $\mu\text{Sv/h}$ ，屏蔽防护能力增强；

(3)通风柜设计变更前人员操作位处辐射剂量率为 $0.33\mu\text{Sv/h}$ (距辐射源 0.6m)，非正对人员操作位表面辐射剂量率为 $4.62\mu\text{Sv/h}$ ；设计变更后人员操作位处辐射剂量率为 $0.482\mu\text{Sv/h}$ (此值为距辐射源 0.5m 的结果，距辐射源 0.6m 时辐射剂量率为 $0.33\mu\text{Sv/h}$)，非正对人员操作位表面辐射剂量率为 $1.97\mu\text{Sv/h}$ ，未导致不利影响加重；

(4)放射性废物暂存间设计变更前周围辐射剂量率为 $0.01\mu\text{Sv/h}\sim 0.11\mu\text{Sv/h}$ ，设计变更后为 $1.00\text{E-}03\mu\text{Sv/h}\sim 0.02\mu\text{Sv/h}$ ，屏蔽防护能力增强；

(5)货包设计变更前表面外 30cm 处辐射剂量率为 $26.9\mu\text{Sv/h}$ ，设计变更后为 $14.4\mu\text{Sv/h}$ ，屏蔽防护能力增强；

(6)根据表4.1-3-1和表4.1-3-2，热室设计变更后的整体屏蔽防护厚度较设计变更前变薄，屏蔽防护能力较设计变更前减弱。

5.2.2 人员受照剂量分析

加速器首次安装时调试工作由设备生产厂商负责，本项目建设单位的辐射工作人员不参与调试，公众(包括厂区内和厂区外公众)距离一层辐射工作场所距离较远，在机房和靶室屏蔽设施完好的工况下开机调试，可忽略调试阶段所致本项目辐射工作人员和公众的受照剂量。

加速器运行期间的停机检维修工作委托设备厂商开展，本项目建设单位的辐射工作人员和公众均不进入停机后的机房和靶室，因此不考虑机房和靶室内感生放射性对本项目辐射工作人员和公众的辐射影响。

本项目辐射工作人员包括辐射工作场所管理人员、加速器操作人员、热室操作人员、设备管理员、生产区核素和废物运输人员、包装间人员、成品库管理人员、质检车间实验室人员、放射性废物暂存间管理人员，辐射工作人员的受照剂量途径包括：加速器机房和靶室产生的中子和 γ 射线外照射，其他辐射工作场所产生的 γ 射线和 β 射线所致韧致辐射的外照射；公众除受到一定的中子、 γ 射线和 β 射线所致韧致辐射外照射外，还受到感生放射性气体和放射性气溶胶排放至周围环境所致的浸没外照射和吸入内照射。因加速器运行期间向环境排放的感生放射性气溶胶中所含核素的半衰期较短，产生量较少，经高效过滤器过滤后，所致人员的空气浸没外照射和吸入内照射很小，可忽略不计。本项目主要考虑放射性核素 ^{68}Ge 及其化学提纯过程中产生的杂质核素挥发产生的放射性气溶胶所致公众的空气浸没外照射和吸入内照射。上述途径所致受照剂量计算方法如下：

(1) 外照射计算方法

中子、 γ 射线和 β 射线所致韧致辐射外照射按联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)-2000年报告中的公式计算, 具体见公式(5-5):

$$H=D \times t \times T \quad (\text{式 } 5-5)$$

式中:

H—人员年有效剂量, mSv/a;

D—参考点处辐射剂量率, mSv/h;

T—人员在相应关注点驻留的居留因子;

t—照射时间, 单位为h/a。

(2) 空气浸没外照射和吸入内照射计算方法

5.2.2.1 辐射工作人员年有效剂量

本项目辐射工作人员工作负荷见表3.3-2，辐射工作人员的工作岗位固定，不兼职其他辐射工作。本项目辐射工作人员年有效剂量计算结果见表5.2-21。

表5.2-21 本项目辐射工作人员年有效剂量计算结果一览表

工作人员 岗位	工作内容	参考点位处辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv)	叠加年有 效剂量 (mSv)
辐射工作场 所管理人员	各辐射工作场所 的巡视	保守取2.5	300	0.75	0.75
一层加速器 操作人员	控制室内操作加 速器	1.08E-02 (取控制室内辐射剂量 率)	2400	2.59E-02	0.381
	设备日常维护	8.87 (取加速器出束打靶时， 机房和受照靶室周围最大 辐射剂量率)	40	0.355	
一层热室操 作人员	化学提纯	0.201 (取3#/4#热室外表面 30cm处人员操作位最大 辐射剂量率)	240	4.82E-02	1.07
	分装及清洁热室	2.32 (取5#热室外表面30cm处 人员操作位辐射剂量率)	240	0.557	
	成品传递	5.97 (取货包铅罐外表面 100cm处辐射剂量率)	30	0.179	
	热室其他工作	0.322 (保守取1#~2#热室外表 面30cm处人员操作位最 大辐射剂量率)	900	0.29	
一层设备管 理员	热室巡检	2.32 (保守取1#~5#热室外表 面30cm处人员操作位最 大辐射剂量率)	300	0.696	1.05
	加速器巡检	1.18 (保守取2#靶室楼上辐射 剂量率)	300	0.354	
一层生产区 放射性核素 和放射性废 物运输人员	成品核素运输	5.97 (取货包铅罐外表面 100cm处辐射剂量率)	20	0.119	1.16
	放射性废物运输	11.5 (取废物转运容器外表面 100cm处辐射剂量率)	90	1.04	

一层成品包装间人员	成品核素包装	5.97 (取货包铅罐外表面 100cm处辐射剂量率)	240	1.43	1.43
一层成品库管理人员	进出库盘点	1.11 (取铅储存箱外表面 30cm处辐射剂量率)	30	3.33E-02	3.33E-02
二层质检车间实验人员	样品接收	0.483 (取样品转运铅罐外表面 100cm处辐射剂量率)	10	4.83E-03	0.434
	样品留样	9.65E-02 (取留样铅罐外表面 100cm处辐射剂量率)	10	9.65E-04	
	样品稀释分样等操作	0.482 (取通风柜外表面30cm处 人员操作位辐射剂量率)	20	9.64E-03	
	放化检验	0.992 (取质检操作位处辐射剂 量率)	120	0.119	
	微生物检验	0.992 (取质检操作位处辐射剂 量率)	240	0.238	
	放射性废物收集 打包、运输	3.09 (取废弃物转运铅罐外表 面100cm处辐射剂量率)	20	6.18E-02	
地下层放射性废物暂存间工作人员	热室放射性废物 入库	11.5 (取废物转运容器外表面 100cm处辐射剂量率)	60	0.69	3.27
	防护柜前提取 锡罐	45.6+0.97 (保守取防护柜和仓储系 统叠加辐射影响)	30	1.40	
	控制室内吊装 工作	<1.00E-03 (取控制室辐射剂量率)	60	<6.00E-05	
	其他放射性废物 入库	3.09 (取质检车间废弃物转运 铅罐外表面100cm处辐射 剂量率)	120	0.371	
	放射性废物暂存 间巡检	0.97 (取迷道内口防护柜处 辐射剂量率)	6	5.82E-03	
	放射性废物仓储 系统检维修	80.6 (保守取5#蜂巢池顶部 30cm处辐射剂量率)	10	0.806	

注：加速器机房和靶室周围辐射剂量率保守取1#、2#靶室单独出束打靶工况下的值。

从上表计算结果可知，本项目所致辐射管理人员年有效剂量最大约为0.75mSv；一层放射性同位素生产车间辐射工作所致辐射工作人员年有效剂量最大的工种是成品包装间工作人员，所致年有效剂量最大约为1.43mSv；二层质检车间辐射工作所致辐射工作人员年有效剂量最大约为0.434mSv；地下层放射性废物暂存间辐射工作所致辐射工作人员年有效剂量最大约为3.27mSv。

此外，一层放射性同位素生产车间辐射工作人员还受到楼上质检车间和地下层放射性废物暂存间的辐射影响，二层质检车间辐射工作人员还受到楼下放射性同位素生产车间的辐射影响，地下层放射性废物暂存间辐射工作人员还受到楼上放射性同位素生产车间的辐射影响，则各辐射工作场所的相互叠加辐射影响见表5.2-22。

表5.2-22 本项目各辐射工作场所相互叠加辐射影响分析一览表

工作人员 岗位	工作内容	参考点位处辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv)	叠加年有效剂量 (mSv)
一层放射性同位素生产车间辐射工作人员	楼下放射性废物暂存间所致年有效剂量最大值	0.02 (保守取放射性废物仓储系统楼上辐射剂量率)	2400 (取一层车间人员年工作时间)	0.048	1.52
	楼上质检车间所致年有效剂量最大值	0.018 (保守取留样及稳定性室楼下辐射剂量率)	2400 (取一层车间人员年工作时间)	0.043	
	本场所辐射工作所致年有效剂量最大值 (取成品包装间辐射工作人员年有效剂量)			1.43	
二层质检车间辐射工作人员	楼下放射性同位素生产车间所致年有效剂量最大值	1.03E-02 (保守取成品库楼上辐射剂量率)	410 (取二层车间人员年工作时间)	4.22E-03	0.438
	本场所辐射工作所致年有效剂量最大值			0.434	
地下层放射性废物暂存间辐射工作人员	楼上放射性同位素生产车间所致年有效剂量最大值	0.336 (保守取热室操作间楼下辐射剂量率)	376 (取暂存间人员在废物暂存间的年工作时间)	0.126	3.40
	本场所辐射工作所致年有效剂量最大值			3.27	

综上，本项目放射性同位素生产车间辐射工作人员叠加年有效剂量最大约为1.52mSv；二层质检车间辐射工作人员叠加年有效剂量最大约为0.438mSv；地下层放射性废物暂存间辐射工作人员叠加年有效剂量最大约为3.40mSv。

5.2.2.2 公众年有效剂量

(1) 外照射所致公众年有效剂量

本项目评价范围内的公众主要是公司内其他员工以及周围相邻厂区的员工，居留时间保守按每年2000小时计。根据本项目环境保护目标分布情况，以及与辐射工作场所区域的距离关系，估算公众的外照射年有效剂量，计算结果见表5.2-23。

表5.2-23 外照射所致公众年有效剂量估算结果一览表

序号	人员	距离	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年工作负荷 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv)
1	生产厂房一层大厅接待区处公众 (加速器北侧)	距加速器机房和靶室最近约10m	1.08E-02 (保守取加速器控制室辐射剂量率)	2000	1	2.16E-02
2	生产厂房二层新风机房处公众 (热室区楼上)	紧邻	1.15 (取热室区域楼上辐射剂量率)	2000	1/40	5.75E-02
3	生产厂房二层办公区处公众 (加速器控制室及更衣缓冲间楼上)	距加速器机房和靶室最近约6m	1.08E-02 (保守取加速器控制室辐射剂量率)	2000	1	2.16E-02
4	生产厂房三层研发中心处公众 (质检车间楼上)	紧邻	0.018 (取留样及稳定性室楼上辐射剂量率)	2000	1	0.036
5	生产厂房四层会议室处公众 (加速器控制室及更衣缓冲间楼上)	距加速器机房和靶室最近约12m	1.08E-02 (保守取加速器控制室辐射剂量率)	2000	1/4	5.40E-03
6	公司厂区道路处公众 (生产厂房四周)	距加速器机房和靶室最近约1m	0.118 (保守取2#靶室南墙外表面30cm处辐射剂量率)	2000	1/16	1.48E-02
7	公司门卫处公众 (生产厂房北侧)	距加速器机房和靶室最近约40m	1.08E-02 (保守取加速器控制室辐射剂量率)	2000	1	2.16E-02
8	预留待开发工业用地处公众 (公司厂区东侧)	距生产厂房最近约21m	1.34E-04 (根据成品库东墙外表面30cm处辐射剂量率的值5.90E-02 $\mu\text{Sv/h}$ 进行估算)	2000	保守取1	2.68E-04
9	极马自动化(常州)有限公司内公众 (公司厂区东侧)	距生产厂房最近约170m	5.07E-07 (根据成品库东墙外表面30cm处辐射剂量率的值5.90E-02 $\mu\text{Sv/h}$ 进行估算)	2000	1	1.01E-06

10	凯斯宝玛五金科技（江苏）有限公司内公众（公司厂区东侧）	距生产厂房最近约355m	1.17E-07 （根据成品库东墙外表面30cm处辐射剂量率的值5.90E-02μSv/h进行估算）	2000	1	2.34E-07
11	公司二期预留用地处公众（公司厂区南侧）	距生产厂房最近约5m	0.03 （根据2#靶室南墙外表面30cm处辐射剂量率的值0.118μSv/h进行估算）	2000	保守取1	0.06
12	亿晶光电科技股份有限公司（东厂区）内公众（公司厂区南侧）	距生产厂房最近约93m	3.68E-04 （根据2#靶室南墙外表面30cm处辐射剂量率的值0.118μSv/h进行估算）	2000	1	7.36E-04
13	汇福路上公众（公司厂区西侧）	距生产厂房最近约16m	4.92E-03 （根据2#靶室西墙外表面30cm处辐射剂量率的值0.208μSv/h进行估算）	2000	1/16	6.15E-04
14	亿晶光电科技股份有限公司（西厂区）内公众（公司厂区西侧）	距生产厂房最近约62m	6.42E-04 （根据2#靶室西墙外表面30cm处辐射剂量率的值0.208μSv/h进行估算）	2000	1	1.28E-03
15	爱思开电池材料科技（江苏）有限公司厂区内公众（公司厂区西侧）	距生产厂房最近约490m	1.58E-05 （根据2#靶室西墙外表面30cm处辐射剂量率的值0.208μSv/h进行估算）	2000	1	3.16E-05
16	汇乐智能装备（常州）有限公司内公众（公司厂区西北侧）	距生产厂房最近约235m	3.33E-05 （根据1#靶室西墙外表面30cm处辐射剂量率的值9.52E-02μSv/h进行估算）	2000	1	6.66E-05
17	珠山路上公众（公司厂区北侧）	距生产厂房最近约14m	1.37E-03 （根据1#靶室北墙外表面30cm处辐射剂量率的值7.96E-02μSv/h进行估算）	2000	1/16	1.71E-04
18	待建拜尔斯医疗厂区内公众（公司厂区北侧）	距生产厂房最近约35m	6.07E-04 （根据1#靶室北墙外表面30cm处辐射剂量率的值7.96E-02μSv/h进行估算）	2000	1	1.21E-03

19	中德（金坛）智能制造产业园内公众（公司厂区北侧）	距生产厂房最近约162m	6.67E-05 （根据1#靶室北墙外表面30cm处辐射剂量率的值7.96E-02μSv/h进行估算）	2000	1	1.33E-04
20	常州艾迪信轴承制造有限公司内公众（公司厂区东北侧）	距生产厂房最近约420m	8.34E-08 （根据成品库东墙外表面30cm处辐射剂量率的值5.90E-02μSv/h进行估算）	2000	1	1.67E-07

注：加速器机房和靶室周围辐射剂量率保守取1#、2#靶室单独出束打靶工况下的值。

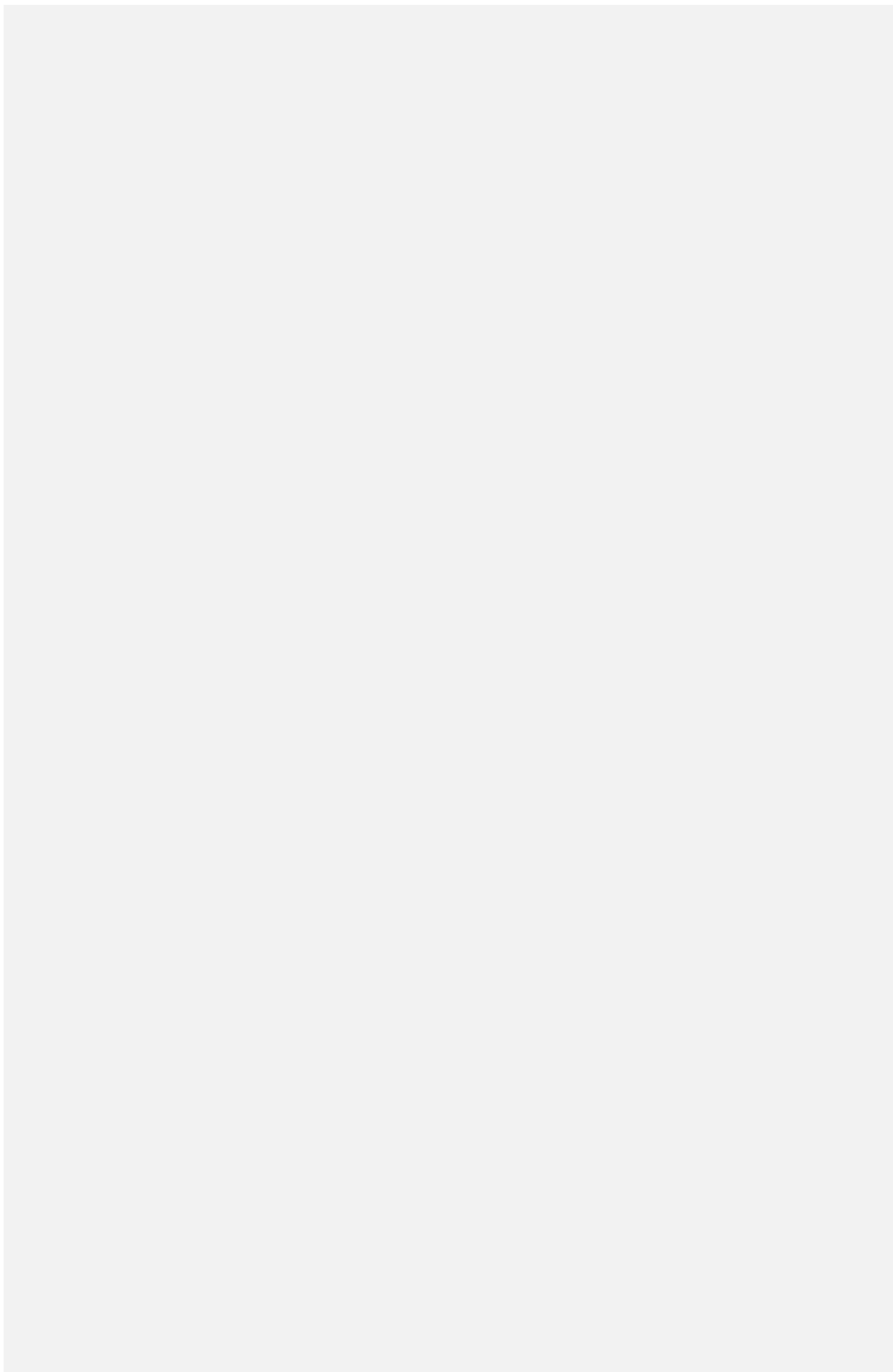
从上表计算结果可知，本项目外照射所致公众年有效剂量最大约为0.06mSv。

（2）放射性气溶胶所致公众年有效剂量

本项目产生的放射性气载流出物对公众的照射途径主要包括空气浸没外照射和吸入内照射。

1）放射性核素的排放量

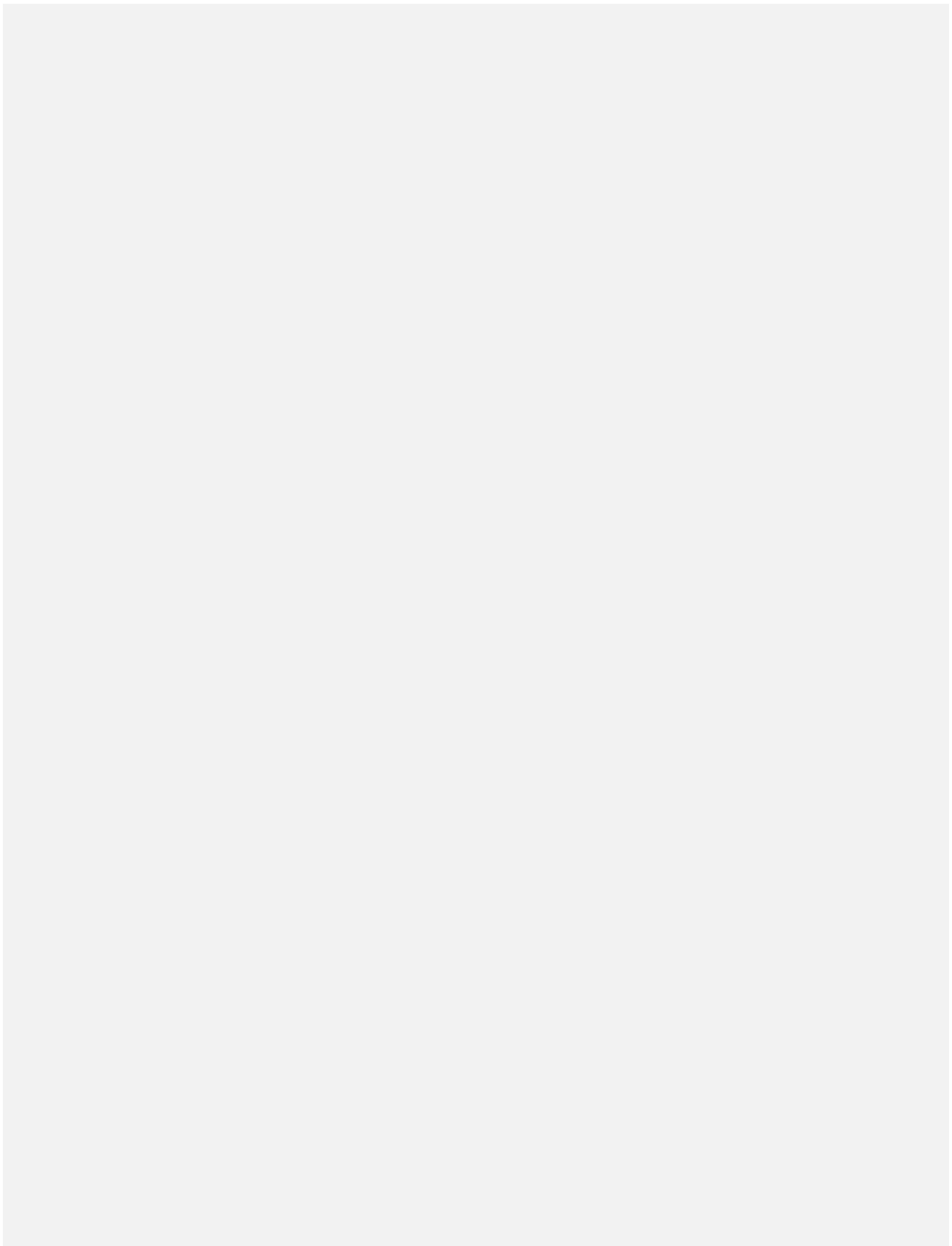
本项目放射性核素 ^{68}Ge 化学提纯、分装、质检过程中会产生少量的放射性气溶胶，上述操作均在热室、通风柜中进行，根据行业生产经验，挥发率保守按0.1‰考虑。公司热室、通风柜顶壁均设计有第一道高效过滤器，屋顶排风口设计有第二道高效过滤器，每道高效过滤器吸附效率均不小于99%。计算时，保守不考虑核素衰变。本项目放射性核素 ^{68}Ge 及杂质核素年排放量见表5.2-24。





2) 地面空气浓度计算模式





根据各核素的年排放量和操作时间，可估算出其年均排放率，计算参数及结果见表5.2-25。

表 5.2-25 各核素年均排放率计算结果一览表

序号	核素	年排放量 (Bq)	年排放时间 (s)	年均排放率 (Bq/s)
1	⁶⁸ Ge	5.61E+04	3.15E+07	1.78E-03
2	⁵³ Co	7.08E-03	3.15E+07	2.25E-10
3	⁵⁴ Co	9.25E+03	3.15E+07	2.94E-04
4	⁵⁵ Co	5.68E+04	3.15E+07	1.80E-03
5	⁵⁶ Co	1.49E+04	3.15E+07	4.73E-04
6	⁵⁷ Co	6.61E+04	3.15E+07	2.10E-03
7	⁵⁸ Co	5.15E+03	3.15E+07	1.64E-04
8	⁶⁰ Co	1.87E+01	3.15E+07	5.93E-07
9	⁶¹ Co	2.40E+03	3.15E+07	7.61E-05
10	⁶² Co	1.56E+02	3.15E+07	4.95E-06
11	⁶³ Co	5.49E+01	3.15E+07	1.74E-06
12	⁶⁴ Co	8.31E-02	3.15E+07	2.64E-09
13	⁵¹ Cr	7.59E+01	3.15E+07	2.41E-06
14	⁵⁷ Cu	2.25E+03	3.15E+07	7.15E-05
15	⁵⁸ Cu	8.98E+04	3.15E+07	2.85E-03
16	⁵⁹ Cu	5.81E+04	3.15E+07	1.84E-03
17	⁶⁰ Cu	1.52E+05	3.15E+07	4.83E-03
18	⁶¹ Cu	8.11E+04	3.15E+07	2.57E-03
19	⁶² Cu	4.17E+06	3.15E+07	1.32E-01
20	⁶⁴ Cu	8.15E+05	3.15E+07	2.59E-02
21	⁶⁶ Cu	1.19E+03	3.15E+07	3.77E-05
22	⁶⁷ Cu	1.49E+03	3.15E+07	4.74E-05
23	⁶⁸ Cu	4.72E+00	3.15E+07	1.50E-07
24	⁶⁹ Cu	3.24E-04	3.15E+07	1.03E-11
25	⁵² Fe	9.89E-03	3.15E+07	3.14E-10
26	⁵³ Fe	1.52E+02	3.15E+07	4.84E-06
27	⁵⁵ Fe	2.00E+02	3.15E+07	6.36E-06
28	⁵⁹ Fe	2.05E-01	3.15E+07	6.52E-09

29	⁶¹ Fe	4.67E-02	3.15E+07	1.48E-09
30	⁶⁶ Ga	8.40E+02	3.15E+07	2.67E-05
31	⁶⁷ Ga	1.23E+06	3.15E+07	3.89E-02
32	⁶⁸ Ga	8.22E+06	3.15E+07	2.61E-01
33	⁷⁰ Ga	1.33E+06	3.15E+07	4.21E-02
34	⁷² Ga	2.85E+02	3.15E+07	9.03E-06
35	⁶⁷ Ge	4.91E+04	3.15E+07	1.56E-03
36	⁶⁹ Ge	2.13E+06	3.15E+07	6.76E-02
37	⁷¹ Ge	1.36E+05	3.15E+07	4.32E-03
38	³ H	4.02E+01	3.15E+07	1.28E-06
39	⁵⁰ Mn	1.74E-02	3.15E+07	5.53E-10
40	⁵¹ Mn	5.64E+02	3.15E+07	1.79E-05
41	⁵² Mn	3.55E+00	3.15E+07	1.13E-07
42	^{52m} Mn	9.89E-03	3.15E+07	3.14E-10
43	⁵⁴ Mn	8.15E-01	3.15E+07	2.59E-08
44	⁵⁶ Mn	1.22E-01	3.15E+07	3.87E-09
45	⁵⁷ Mn	2.00E+00	3.15E+07	6.33E-08
46	⁵⁶ Ni	4.70E+03	3.15E+07	1.49E-04
47	⁵⁷ Ni	1.59E+06	3.15E+07	5.04E-02
48	⁵⁹ Ni	2.99E-01	3.15E+07	9.48E-09
49	⁶³ Ni	3.09E+00	3.15E+07	9.81E-08
50	⁶⁵ Ni	1.94E+02	3.15E+07	6.17E-06
51	⁴⁷ V	7.52E-04	3.15E+07	2.39E-11
52	⁴⁹ V	5.72E-04	3.15E+07	1.82E-11
53	⁶¹ Zn	2.08E-02	3.15E+07	6.62E-10
54	⁶² Zn	3.93E+05	3.15E+07	1.25E-02
55	⁶³ Zn	2.79E+06	3.15E+07	8.85E-02
56	⁶⁵ Zn	3.90E+04	3.15E+07	1.24E-03
57	⁶⁹ Zn	1.25E+04	3.15E+07	3.97E-04
58	⁷¹ Zn	1.27E+01	3.15E+07	4.04E-07

根据公式（5-8）至公式（5-14），可估算出评价范围内不同距离处各核素地面空气浓度，计算结果见表5.2-26。

表 5.2-26 评价范围内不同距离处核素地面空气浓度计算结果一览表（单位：Bq/m³）

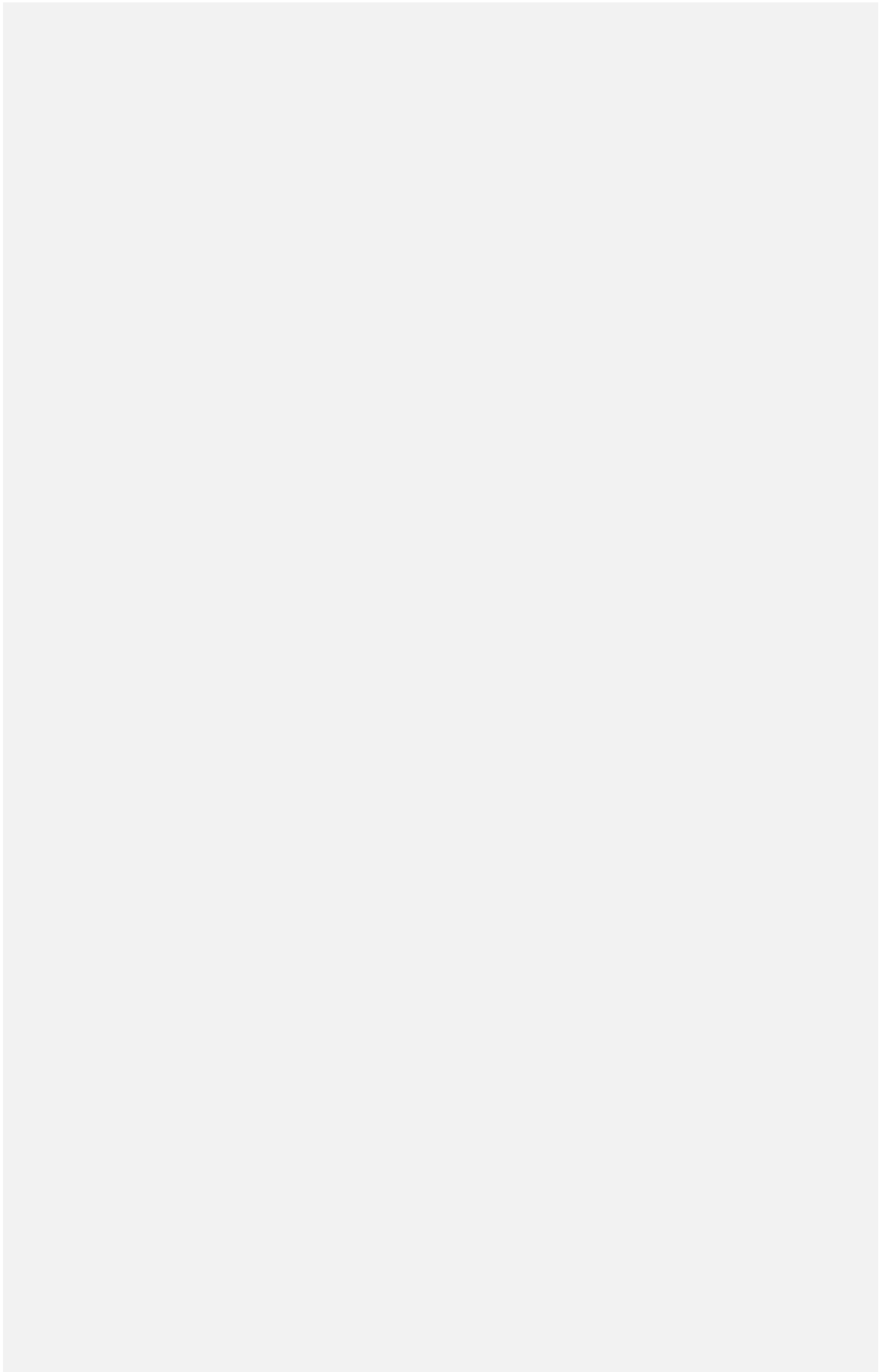
序号	核素	40m	100m	150m	200m	300m	400m	500m
1	⁶⁸ Ge	1.20E-06	3.59E-07	7.89E-08	5.68E-08	3.24E-08	2.24E-08	1.66E-08
2	⁵³ Co	1.51E-13	4.52E-14	9.95E-15	7.17E-15	4.09E-15	2.83E-15	2.10E-15
3	⁵⁴ Co	1.98E-07	5.91E-08	1.30E-08	9.38E-09	5.34E-09	3.70E-09	2.74E-09
4	⁵⁵ Co	1.21E-06	3.63E-07	7.98E-08	5.75E-08	3.28E-08	2.27E-08	1.68E-08
5	⁵⁶ Co	3.19E-07	9.52E-08	2.09E-08	1.51E-08	8.60E-09	5.96E-09	4.42E-09
6	⁵⁷ Co	1.42E-06	4.23E-07	9.30E-08	6.70E-08	3.82E-08	2.65E-08	1.96E-08
7	⁵⁸ Co	1.10E-07	3.29E-08	7.24E-09	5.22E-09	2.97E-09	2.06E-09	1.53E-09
8	⁶⁰ Co	4.00E-10	1.19E-10	2.63E-11	1.89E-11	1.08E-11	7.47E-12	5.54E-12
9	⁶¹ Co	5.13E-08	1.53E-08	3.37E-09	2.43E-09	1.38E-09	9.59E-10	7.11E-10
10	⁶² Co	3.34E-09	9.97E-10	2.19E-10	1.58E-10	9.00E-11	6.24E-11	4.62E-11
11	⁶³ Co	1.17E-09	3.51E-10	7.72E-11	5.56E-11	3.17E-11	2.20E-11	1.63E-11
12	⁶⁴ Co	1.78E-12	5.31E-13	1.17E-13	8.42E-14	4.80E-14	3.32E-14	2.46E-14
13	⁵¹ Cr	1.62E-09	4.85E-10	1.07E-10	7.69E-11	4.38E-11	3.04E-11	2.25E-11
14	⁵⁷ Cu	4.82E-08	1.44E-08	3.17E-09	2.28E-09	1.30E-09	9.02E-10	6.68E-10
15	⁵⁸ Cu	1.92E-06	5.74E-07	1.26E-07	9.10E-08	5.19E-08	3.60E-08	2.66E-08
16	⁵⁹ Cu	1.24E-06	3.71E-07	8.17E-08	5.88E-08	3.35E-08	2.32E-08	1.72E-08
17	⁶⁰ Cu	3.25E-06	9.72E-07	2.14E-07	1.54E-07	8.78E-08	6.08E-08	4.51E-08
18	⁶¹ Cu	1.74E-06	5.18E-07	1.14E-07	8.22E-08	4.68E-08	3.24E-08	2.40E-08
19	⁶² Cu	8.92E-05	2.67E-05	5.86E-06	4.23E-06	2.41E-06	1.67E-06	1.24E-06
20	⁶⁴ Cu	1.74E-05	5.21E-06	1.15E-06	8.25E-07	4.70E-07	3.26E-07	2.42E-07
21	⁶⁶ Cu	2.54E-08	7.59E-09	1.67E-09	1.20E-09	6.86E-10	4.75E-10	3.52E-10
22	⁶⁷ Cu	3.19E-08	9.54E-09	2.10E-09	1.51E-09	8.61E-10	5.97E-10	4.42E-10
23	⁶⁸ Cu	1.01E-10	3.02E-11	6.63E-12	4.78E-12	2.72E-12	1.89E-12	1.40E-12
24	⁶⁹ Cu	6.93E-15	2.07E-15	4.56E-16	3.28E-16	1.87E-16	1.30E-16	9.61E-17
25	⁵² Fe	2.12E-13	6.32E-14	1.39E-14	1.00E-14	5.71E-15	3.96E-15	2.93E-15
26	⁵³ Fe	3.26E-09	9.74E-10	2.14E-10	1.54E-10	8.80E-11	6.10E-11	4.52E-11

27	⁵⁵ Fe	4.29E-09	1.28E-09	2.82E-10	2.03E-10	1.16E-10	8.02E-11	5.94E-11
28	⁵⁹ Fe	4.39E-12	1.31E-12	2.89E-13	2.08E-13	1.19E-13	8.21E-14	6.09E-14
29	⁶¹ Fe	1.00E-12	2.99E-13	6.57E-14	4.73E-14	2.70E-14	1.87E-14	1.39E-14
30	⁶⁶ Ga	1.80E-08	5.37E-09	1.18E-09	8.51E-10	4.85E-10	3.36E-10	2.49E-10
31	⁶⁷ Ga	2.62E-05	7.84E-06	1.72E-06	1.24E-06	7.08E-07	4.91E-07	3.64E-07
32	⁶⁸ Ga	1.76E-04	5.25E-05	1.16E-05	8.33E-06	4.75E-06	3.29E-06	2.44E-06
33	⁷⁰ Ga	2.84E-05	8.48E-06	1.86E-06	1.34E-06	7.66E-07	5.30E-07	3.93E-07
34	⁷² Ga	6.09E-09	1.82E-09	4.00E-10	2.88E-10	1.64E-10	1.14E-10	8.44E-11
35	⁶⁷ Ge	1.05E-06	3.14E-07	6.91E-08	4.98E-08	2.84E-08	1.97E-08	1.46E-08
36	⁶⁹ Ge	4.56E-05	1.36E-05	2.99E-06	2.16E-06	1.23E-06	8.52E-07	6.31E-07
37	⁷¹ Ge	2.91E-06	8.70E-07	1.91E-07	1.38E-07	7.86E-08	5.44E-08	4.03E-08
38	³ H	8.60E-10	2.57E-10	5.65E-11	4.07E-11	2.32E-11	1.61E-11	1.19E-11
39	⁵⁰ Mn	3.73E-13	1.11E-13	2.45E-14	1.77E-14	1.01E-14	6.97E-15	5.17E-15
40	⁵¹ Mn	1.21E-08	3.61E-09	7.93E-10	5.72E-10	3.26E-10	2.26E-10	1.67E-10
41	⁵² Mn	7.60E-11	2.27E-11	4.99E-12	3.60E-12	2.05E-12	1.42E-12	1.05E-12
42	^{52m} Mn	2.12E-13	6.32E-14	1.39E-14	1.00E-14	5.71E-15	3.96E-15	2.93E-15
43	⁵⁴ Mn	1.74E-11	5.21E-12	1.15E-12	8.26E-13	4.70E-13	3.26E-13	2.42E-13
44	⁵⁶ Mn	2.61E-12	7.78E-13	1.71E-13	1.23E-13	7.03E-14	4.87E-14	3.61E-14
45	⁵⁷ Mn	4.27E-11	1.28E-11	2.81E-12	2.02E-12	1.15E-12	7.98E-13	5.92E-13
46	⁵⁶ Ni	1.01E-07	3.00E-08	6.61E-09	4.76E-09	2.71E-09	1.88E-09	1.39E-09
47	⁵⁷ Ni	3.40E-05	1.01E-05	2.23E-06	1.61E-06	9.17E-07	6.35E-07	4.71E-07
48	⁵⁹ Ni	6.39E-12	1.91E-12	4.20E-13	3.03E-13	1.72E-13	1.20E-13	8.86E-14
49	⁶³ Ni	6.61E-11	1.98E-11	4.34E-12	3.13E-12	1.78E-12	1.24E-12	9.16E-13
50	⁶⁵ Ni	4.16E-09	1.24E-09	2.73E-10	1.97E-10	1.12E-10	7.77E-11	5.76E-11
51	⁴⁷ V	1.61E-14	4.81E-15	1.06E-15	7.62E-16	4.34E-16	3.01E-16	2.23E-16
52	⁴⁹ V	1.22E-14	3.66E-15	8.05E-16	5.80E-16	3.31E-16	2.29E-16	1.70E-16
53	⁶¹ Zn	4.46E-13	1.33E-13	2.93E-14	2.11E-14	1.20E-14	8.34E-15	6.18E-15
54	⁶² Zn	8.40E-06	2.51E-06	5.52E-07	3.98E-07	2.27E-07	1.57E-07	1.16E-07
55	⁶³ Zn	5.96E-05	1.78E-05	3.92E-06	2.82E-06	1.61E-06	1.11E-06	8.26E-07
56	⁶⁵ Zn	8.36E-07	2.50E-07	5.49E-08	3.96E-08	2.25E-08	1.56E-08	1.16E-08

57	⁶⁹ Zn	2.68E-07	8.00E-08	1.76E-08	1.27E-08	7.22E-09	5.01E-09	3.71E-09
58	⁷¹ Zn	2.72E-10	8.13E-11	1.79E-11	1.29E-11	7.34E-12	5.09E-12	3.77E-12

3) 放射性气载流出物所致公众年有效剂量

浸没外照射放射性核素对人体的有效剂量转换因子 $DF_{E\text{Ai}}$ 和吸入内照射放射性核素对人体的有效剂量转换因子 $DF_{E\text{Ii}}$ 的取值见表5.2-27。



①空气浸没外照射所致年有效剂量

根据公式（5-6），放射性气载流出物对公众产生的浸没外照射所致年有效剂量见表5.2-28。

表 5.2-28 放射性气载流出物对公众产生的浸没外照射所致年有效剂量一览表（单位：mSv/a）

序号	核素	40m	100m	150m	200m	300m	400m	500m
1	⁶⁸ Ge	2.89E-15	8.63E-16	1.90E-16	1.37E-16	7.79E-17	5.40E-17	4.00E-17
2	⁵³ Co	/	/	/	/	/	/	/
3	⁵⁴ Co	/	/	/	/	/	/	/
4	⁵⁵ Co	3.51E-09	1.05E-09	2.31E-10	1.66E-10	9.47E-11	6.56E-11	4.86E-11
5	⁵⁶ Co	1.76E-09	5.25E-10	1.15E-10	8.32E-11	4.74E-11	3.28E-11	2.43E-11
6	⁵⁷ Co	2.17E-10	6.49E-11	1.43E-11	1.03E-11	5.86E-12	4.06E-12	3.01E-12
7	⁵⁸ Co	1.53E-10	4.56E-11	1.00E-11	7.23E-12	4.12E-12	2.86E-12	2.12E-12
8	⁶⁰ Co	1.49E-12	4.44E-13	9.76E-14	7.03E-14	4.01E-14	2.78E-14	2.06E-14
9	⁶¹ Co	7.26E-12	2.17E-12	4.77E-13	3.44E-13	1.96E-13	1.36E-13	1.01E-13
10	⁶² Co	8.79E-12	2.62E-12	5.77E-13	4.16E-13	2.37E-13	1.64E-13	1.22E-13
11	⁶³ Co	/	/	/	/	/	/	/
12	⁶⁴ Co	/	/	/	/	/	/	/
13	⁵¹ Cr	6.96E-14	2.08E-14	4.57E-15	3.30E-15	1.88E-15	1.30E-15	9.65E-16
14	⁵⁷ Cu	1.14E-10	3.39E-11	7.46E-12	5.38E-12	3.07E-12	2.12E-12	1.57E-12
15	⁵⁸ Cu	/	/	/	/	/	/	/
16	⁵⁹ Cu	2.76E-09	8.23E-10	1.81E-10	1.31E-10	7.44E-11	5.15E-11	3.82E-11
17	⁶⁰ Cu	1.93E-08	5.75E-09	1.27E-09	9.12E-10	5.20E-10	3.60E-10	2.67E-10
18	⁶¹ Cu	2.03E-09	6.06E-10	1.33E-10	9.60E-11	5.47E-11	3.79E-11	2.81E-11
19	⁶² Cu	1.38E-07	4.12E-08	9.05E-09	6.52E-09	3.72E-09	2.58E-09	1.91E-09
20	⁶⁴ Cu	4.60E-09	1.37E-09	3.02E-10	2.18E-10	1.24E-10	8.60E-11	6.38E-11
21	⁶⁶ Cu	6.64E-12	1.98E-12	4.36E-13	3.14E-13	1.79E-13	1.24E-13	9.20E-14
22	⁶⁷ Cu	4.95E-12	1.48E-12	3.25E-13	2.34E-13	1.33E-13	9.25E-14	6.86E-14

23	⁶⁸ Cu	/	/	/	/	/	/	/
24	⁶⁹ Cu	5.96E-18	1.78E-18	3.92E-19	2.82E-19	1.61E-19	1.11E-19	8.26E-20
25	⁵² Fe	2.17E-16	6.49E-17	1.43E-17	1.03E-17	5.87E-18	4.06E-18	3.01E-18
26	⁵³ Fe	5.72E-12	1.71E-12	3.76E-13	2.71E-13	1.54E-13	1.07E-13	7.93E-14
27	⁵⁵ Fe	8.83E-22	2.64E-22	5.80E-23	4.18E-23	2.38E-23	1.65E-23	1.22E-23
28	⁵⁹ Fe	7.72E-15	2.31E-15	5.07E-16	3.66E-16	2.08E-16	1.44E-16	1.07E-16
29	⁶¹ Fe	2.18E-15	6.50E-16	1.43E-16	1.03E-16	5.87E-17	4.07E-17	3.02E-17
30	⁶⁶ Ga	7.13E-11	2.13E-11	4.69E-12	3.38E-12	1.93E-12	1.33E-12	9.89E-13
31	⁶⁷ Ga	5.22E-09	1.56E-09	3.43E-10	2.47E-10	1.41E-10	9.77E-11	7.24E-11
32	⁶⁸ Ga	2.45E-07	7.31E-08	1.61E-08	1.16E-08	6.61E-09	4.58E-09	3.39E-09
33	⁷⁰ Ga	2.06E-09	6.14E-10	1.35E-10	9.73E-11	5.55E-11	3.84E-11	2.85E-11
34	⁷² Ga	2.51E-11	7.51E-12	1.65E-12	1.19E-12	6.78E-13	4.70E-13	3.48E-13
35	⁶⁷ Ge	2.25E-09	6.71E-10	1.48E-10	1.06E-10	6.06E-11	4.20E-11	3.11E-11
36	⁶⁹ Ge	6.26E-08	1.87E-08	4.11E-09	2.96E-09	1.69E-09	1.17E-09	8.67E-10
37	⁷¹ Ge	7.11E-15	2.12E-15	4.67E-16	3.37E-16	1.92E-16	1.33E-16	9.85E-17
38	³ H	1.03E-18	3.07E-19	6.76E-20	4.87E-20	2.78E-20	1.92E-20	1.43E-20
39	⁵⁰ Mn	/	/	/	/	/	/	/
40	⁵¹ Mn	1.79E-11	5.34E-12	1.17E-12	8.46E-13	4.82E-13	3.34E-13	2.48E-13
41	⁵² Mn	3.83E-13	1.14E-13	2.52E-14	1.81E-14	1.03E-14	7.16E-15	5.31E-15
42	^{52m} Mn	7.67E-16	2.29E-16	5.04E-17	3.63E-17	2.07E-17	1.43E-17	1.06E-17
43	⁵⁴ Mn	2.08E-14	6.22E-15	1.37E-15	9.86E-16	5.62E-16	3.89E-16	2.88E-16
44	⁵⁶ Mn	6.83E-15	2.04E-15	4.49E-16	3.23E-16	1.84E-16	1.28E-16	9.46E-17
45	⁵⁷ Mn	1.10E-14	3.27E-15	7.20E-16	5.19E-16	2.96E-16	2.05E-16	1.52E-16
46	⁵⁶ Ni	2.45E-10	7.32E-11	1.61E-11	1.16E-11	6.61E-12	4.58E-12	3.39E-12
47	⁵⁷ Ni	9.78E-08	2.92E-08	6.43E-09	4.63E-09	2.64E-09	1.83E-09	1.36E-09
48	⁵⁹ Ni	1.38E-19	4.11E-20	9.04E-21	6.51E-21	3.71E-21	2.57E-21	1.91E-21
49	⁶³ Ni	9.62E-18	2.87E-18	6.32E-19	4.56E-19	2.60E-19	1.80E-19	1.33E-19
50	⁶⁵ Ni	3.72E-12	1.11E-12	2.44E-13	1.76E-13	1.00E-13	6.95E-14	5.15E-14
51	⁴⁷ V	2.35E-17	7.03E-18	1.55E-18	1.11E-18	6.35E-19	4.40E-19	3.26E-19
52	⁴⁹ V	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

53	⁶¹ Zn	1.09E-15	3.26E-16	7.16E-17	5.16E-17	2.94E-17	2.04E-17	1.51E-17
54	⁶² Zn	5.06E-09	1.51E-09	3.32E-10	2.39E-10	1.36E-10	9.45E-11	7.01E-11
55	⁶³ Zn	9.69E-08	2.90E-08	6.37E-09	4.59E-09	2.61E-09	1.81E-09	1.34E-09
56	⁶⁵ Zn	7.08E-10	2.12E-10	4.65E-11	3.35E-11	1.91E-11	1.32E-11	9.81E-12
57	⁶⁹ Zn	6.70E-12	2.00E-12	4.40E-13	3.17E-13	1.81E-13	1.25E-13	9.29E-14
58	⁷¹ Zn	1.53E-13	4.56E-14	1.00E-14	7.23E-15	4.12E-15	2.85E-15	2.11E-15
叠加值		6.90E-07	2.06E-07	4.53E-08	3.27E-08	1.86E-08	1.29E-08	9.56E-09

②吸入内照射所致年有效剂量

根据公式（5-7），放射性气载流出物对公众产生的吸入内照射所致年有效剂量见表5.2-29。

表 5.2-29 放射性气载流出物对公众产生的吸入内照射所致年有效剂量一览表（单位：mSv/a）

序号	核素	40m	100m	150m	200m	300m	400m	500m
1	⁶⁸ Ge	1.22E-07	3.65E-08	8.03E-09	5.78E-09	3.30E-09	2.28E-09	1.69E-09
2	⁵³ Co	/	/	/	/	/	/	/
3	⁵⁴ Co	/	/	/	/	/	/	/
4	⁵⁵ Co	4.68E-09	1.40E-09	3.08E-10	2.22E-10	1.26E-10	8.75E-11	6.49E-11
5	⁵⁶ Co	1.55E-08	4.64E-09	1.02E-09	7.35E-10	4.19E-10	2.90E-10	2.15E-10
6	⁵⁷ Co	1.03E-08	3.07E-09	6.76E-10	4.87E-10	2.78E-10	1.92E-10	1.43E-10
7	⁵⁸ Co	1.68E-09	5.03E-10	1.11E-10	7.97E-11	4.54E-11	3.15E-11	2.33E-11
8	⁶⁰ Co	9.01E-11	2.69E-11	5.92E-12	4.26E-12	2.43E-12	1.68E-12	1.25E-12
9	⁶¹ Co	1.90E-11	5.68E-12	1.25E-12	9.01E-13	5.13E-13	3.56E-13	2.64E-13
10	⁶² Co	/	/	/	/	/	/	/
11	⁶³ Co	/	/	/	/	/	/	/
12	⁶⁴ Co	/	/	/	/	/	/	/
13	⁵¹ Cr	4.37E-13	1.31E-13	2.87E-14	2.07E-14	1.18E-14	8.17E-15	6.06E-15
14	⁵⁷ Cu	/	/	/	/	/	/	/
15	⁵⁸ Cu	/	/	/	/	/	/	/
16	⁵⁹ Cu	/	/	/	/	/	/	/
17	⁶⁰ Cu	8.04E-10	2.40E-10	5.28E-11	3.81E-11	2.17E-11	1.50E-11	1.11E-11
18	⁶¹ Cu	9.84E-09	2.94E-09	6.47E-10	4.66E-10	2.66E-10	1.84E-10	1.36E-10
19	⁶² Cu	/	/	/	/	/	/	/

20	⁶⁴ Cu	1.52E-08	4.54E-09	9.99E-10	7.20E-10	4.10E-10	2.84E-10	2.11E-10
21	⁶⁶ Cu	/	/	/	/	/	/	/
22	⁶⁷ Cu	1.42E-10	4.23E-11	9.30E-12	6.70E-12	3.82E-12	2.65E-12	1.96E-12
23	⁶⁸ Cu	/	/	/	/	/	/	/
24	⁶⁹ Cu	/	/	/	/	/	/	/
25	⁵² Fe	/	/	/	/	/	/	/
26	⁵³ Fe	1.49E-11	4.46E-12	9.81E-13	7.07E-13	4.03E-13	2.79E-13	2.07E-13
27	⁵⁵ Fe	2.40E-11	7.17E-12	1.58E-12	1.14E-12	6.48E-13	4.49E-13	3.33E-13
28	⁵⁹ Fe	1.28E-13	3.82E-14	8.39E-15	6.05E-15	3.45E-15	2.39E-15	1.77E-15
29	⁶¹ Fe	/	/	/	/	/	/	/
30	⁶⁶ Ga	5.75E-11	1.72E-11	3.78E-12	2.72E-12	1.55E-12	1.08E-12	7.97E-13
31	⁶⁷ Ga	4.58E-08	1.37E-08	3.01E-09	2.17E-09	1.24E-09	8.56E-10	6.35E-10
32	⁶⁸ Ga	6.26E-08	1.87E-08	4.12E-09	2.97E-09	1.69E-09	1.17E-09	8.68E-10
33	⁷⁰ Ga	3.30E-09	9.86E-10	2.17E-10	1.56E-10	8.91E-11	6.17E-11	4.57E-11
34	⁷² Ga	2.35E-11	7.01E-12	1.54E-12	1.11E-12	6.33E-13	4.39E-13	3.25E-13
35	⁶⁷ Ge	1.91E-10	5.71E-11	1.26E-11	9.05E-12	5.16E-12	3.57E-12	2.65E-12
36	⁶⁹ Ge	9.61E-08	2.87E-08	6.31E-09	4.55E-09	2.59E-09	1.80E-09	1.33E-09
37	⁷¹ Ge	2.33E-10	6.96E-11	1.53E-11	1.10E-11	6.28E-12	4.35E-12	3.23E-12
38	³ H	1.62E-12	4.85E-13	1.07E-13	7.69E-14	4.38E-14	3.04E-14	2.25E-14
39	⁵⁰ Mn	/	/	/	/	/	/	/
40	⁵¹ Mn	3.60E-12	1.07E-12	2.36E-13	1.70E-13	9.71E-14	6.73E-14	4.99E-14
41	⁵² Mn	7.73E-13	2.31E-13	5.08E-14	3.66E-14	2.09E-14	1.45E-14	1.07E-14
42	^{52m} Mn	4.46E-17	1.33E-17	2.93E-18	2.11E-18	1.20E-18	8.35E-19	6.18E-19
43	⁵⁴ Mn	1.90E-13	5.68E-14	1.25E-14	9.00E-15	5.13E-15	3.56E-15	2.64E-15
44	⁵⁶ Mn	2.27E-15	6.79E-16	1.49E-16	1.08E-16	6.13E-17	4.25E-17	3.15E-17
45	⁵⁷ Mn	/	/	/	/	/	/	/
46	⁵⁶ Ni	7.31E-10	2.18E-10	4.81E-11	3.46E-11	1.97E-11	1.37E-11	1.01E-11
47	⁵⁷ Ni	1.31E-07	3.91E-08	8.60E-09	6.20E-09	3.53E-09	2.45E-09	1.81E-09
48	⁵⁹ Ni	2.04E-14	6.11E-15	1.34E-15	9.68E-16	5.52E-16	3.82E-16	2.83E-16
49	⁶³ Ni	6.25E-13	1.87E-13	4.11E-14	2.96E-14	1.69E-14	1.17E-14	8.66E-15
50	⁶⁵ Ni	2.72E-12	8.13E-13	1.79E-13	1.29E-13	7.34E-14	5.09E-14	3.77E-14
51	⁴⁷ V	3.39E-18	1.01E-18	2.23E-19	1.61E-19	9.16E-20	6.35E-20	4.70E-20

52	⁴⁹ V	2.14E-16	6.39E-17	1.40E-17	1.01E-17	5.77E-18	4.00E-18	2.96E-18
53	⁶¹ Zn	/	/	/	/	/	/	/
54	⁶² Zn	3.36E-08	1.00E-08	2.21E-09	1.59E-09	9.07E-10	6.28E-10	4.66E-10
55	⁶³ Zn	1.60E-08	4.79E-09	1.05E-09	7.60E-10	4.33E-10	3.00E-10	2.22E-10
56	⁶⁵ Zn	1.34E-08	3.99E-09	8.78E-10	6.33E-10	3.61E-10	2.50E-10	1.85E-10
57	⁶⁹ Zn	5.45E-11	1.63E-11	3.58E-12	2.58E-12	1.47E-12	1.02E-12	7.55E-13
58	⁷¹ Zn	/	/	/	/	/	/	/
叠加值		5.83E-07	1.74E-07	3.83E-08	2.76E-08	1.57E-08	1.09E-08	8.09E-09

4) 放射性气载流出物所致公众年有效剂量

根据表5.2-28和表5.2-29可知, 放射性气载流出物空气浸没外照射所致周围公众年有效剂量最大约为6.90E-07mSv, 吸入内照射所致公众年有效剂量最大约为5.83E-07mSv, 则本项目放射性气载流出物所致周围公众年有效剂量最大约为1.27E-06mSv。

(3) 叠加剂量分析

综上, 本项目外照射所致公众年有效剂量最大约为0.06mSv, 放射性气载流出物所致周围公众年有效剂量最大约为1.27E-06mSv, 则本项目所致周围公众叠加年有效剂量最大约为0.06mSv。

5.2.2.3 辐射影响分析小结

综上所述, 在做好个人防护措施、安全措施的情况下, 本项目所致辐射工作人员年有效剂量最大约为3.40mSv, 所致评价范围内公众年有效剂量最大约为0.06mSv, 能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 和本项目管理目标(职业人员年有效剂量不超过5mSv, 公众年有效剂量不超过0.1mSv) 的剂量限值要求。

5.2.3 非放射性环境影响分析

本项目非放射性环境影响主要是噪声影响, 本次噪声预测分析采用《环境影响评价技术导则 声环境》(HJ2.4-2021) 中的工业噪声预测模式, 预测软件采用Cadna/A噪声预测软件, 计算本项目投入运行后, 三层屋顶排风机所致厂界排放噪声贡献值(地面1.2m处), 并绘制噪声贡献值等声级曲线图。

根据表3.4-10中噪声源强与厂界的位置关系, 经预测, 公司厂界噪声昼间、夜间贡献值均能满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 中3类功能区标准要求, 预测结果见表5.2-30, 噪声贡献值等声级曲线图见图5.2-24。

表5.2-30 项目运行后厂界噪声预测结果

点位描述	时段	贡献值dB(A)	标准限值dB(A)	达标分析
东厂界	昼间	29.0	65	达标
	夜间	29.0	55	达标
南厂界	昼间	33.3	65	达标
	夜间	33.3	55	达标
西厂界	昼间	28.2	65	达标
	夜间	28.2	55	达标
北厂界	昼间	26.3	65	达标
	夜间	26.3	55	达标

5.2.4 放射性废物的环境影响分析

5.2.4.1 放射性废气

本项目一层放射性同位素生产车间、二层质检车间和地下层放射性废物暂存间均设计有通风系统，加速器机房、靶室通风换气次数不低于20次/h，其他辐射工作场所及地下放射性废物暂存间通风换气次数不小于2次/h，热室、通风柜风速不低于1m/s，热室、通风柜的顶壁设计有高效过滤器，各辐射工作场所的排风系统设计有止回阀，6套放射性排风系统在生产厂房的二层设计有高效过滤器，在三层屋顶汇至主排气管道，并设置1个总排放口，1套含酸废气的排风系统在三层屋顶单独设计有1个排放口，

并设计有活性炭过滤装置，该两个废气排放口均高出三层屋顶6.5m，高出四层屋顶约2m，产生的放射性废气经高效过滤器过滤后排放，对周围辐射环境影响很小。

5.2.4.2 放射性废水

(1) 回旋加速器系统泄漏或外排的冷却水经机房或靶室地面预埋管道排至地下层放射性废物暂存间的放射性废水衰变系统内单独储存，暂存至少1年后取样检测，满足总 $\alpha < 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta < 10\text{Bq/L}$ 、 ^3H 的放射性活度浓度 $< 10\text{Bq/L}$ 后，重新回用或作为非放射性废水由有资质单位回收处置；

(2) 放射性同位素生产车间和质检车间产生的含有放射性核素的清洗废水通过专用管道排至地下层放射性废物暂存间的放射性废水衰变系统内暂存，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置；

(3) 本项目每批次产品生产产生的含有放射性的废酸溶液，分类收集在防摔玻璃瓶内，玻璃瓶外套锡罐（玻璃瓶和锡罐外表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签），暂存在地下层放射性废物暂存间放射性废物仓储系统的蜂巢仓内，最终作为放射性固体废物定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置；

(4) 本项目每批次产品质检产生的放射性工艺废液，收集在防摔玻璃瓶内，玻璃瓶外套锡罐（玻璃瓶和锡罐外表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签），暂存在地下层放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域，暂存十个半衰期，经检测容器表面辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，再移至危废暂存间内，最终作为危废定期委托有资质的危废回收单位回收处置；

(5) 放射性同位素生产车间和质检车间事故工况下产生的应急淋浴废水，收集在应急淋浴下方的集水箱中，密封后（箱体表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签）运送至地下层放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域暂存，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。

公司将安排专人负责放射性废水的暂存和处理，并将建立废水暂存和处理台账，详细记录放射性废水所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间等信息。综上所述，本项目采取上述措施后，放射性废水均可得到有效处理，对周围环境影响较小。

5.2.4.3 放射性固体废物

(1) 加速器机房区域设计有加速器废弃物间，废弃物间内设置1个高活性铅废物

桶和1个非高活性铅废物桶，铅废物桶内放置专用垃圾袋，分别用于储存废碳膜等高活性固废和一次性沾污废物等非高活性固废，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。

(2) 加速器系统检维修过程中产生的活化部件由承担维护保养的设备生产单位(IBA公司)负责从机房或靶室中取出，密封在专用垃圾袋内(垃圾袋表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签)，暂存在加速器废弃物间中，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。

(3) 热室内产生的废靶件、离子树脂交换柱等放射性固体废物分别用内衬塑料的锡罐收集，锡罐外表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签，暂存在地下层放射性废物暂存间放射性废物仓储系统的蜂巢仓内，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。

(4) 热室检维修过程中产生的废弃元器件由设备生产单位(ITD公司)负责从热室中取出，密封在专用垃圾袋内(垃圾袋表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签)，暂存在地下层放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。

(5) 放射性同位素生产车间、质检车间和放射性废物暂存间产生的被污染的手套、口罩、工作服、吸水纸、注射器、移液器、高效过滤器的滤芯、毛细管、针头等耗材，分类收集后进行密封并在垃圾袋表面贴上标签(注明废物类型、存放日期等信息)，暂存在地下层放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域，经检测垃圾袋表面辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为非放射性固废由有资质的危废回收单位回收处置。

公司将安排专人负责放射性固体废物的存储和处理，并将建立废物存储和处理台账，详细记录放射性固体废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。综上所述，本项目采取上述措施后，放射性固体废物被集中收集，均可得到有效处理，对周围环境影响很小。

5.2.5 非放射性废物的环境影响分析

5.2.5.1 废气

本项目加速器机房和靶室内设置有通风系统，通风系统的通风量可使机房、靶室通风换气次数不小于 $20\text{次}/\text{h}$ ，机房、靶室内产生的少量臭氧和氮氧化物通过通风系统排入大气环境中，臭氧在常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

本项目加速器机房和靶室的通排风管道在房间吊顶上方采用双“Z”形穿墙，通排风管道穿墙孔避开初级射线直接照射，射线至少经过3次散射才能到达机房和靶室外，可确保通排风管道穿墙孔外侧的辐射剂量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。在工作中公司应保证通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员和设备产生危害。

5.2.5.2 废水

靶材在热室化学提纯过程中使用硫酸、盐酸、柠檬酸等化学试剂，每年产生约9.3L的废酸（主要是超过有效期的废弃试剂，不含放射性），属于《国家危险废物名录》（2025年版）中的HW49-其他废物，废物代码为900-047-49，这部分废酸作为危险废物暂存于厂区的危废暂存间，定期委托有资质的危废回收单位回收处置，对周围环境影响很小。

生产厂房内工作人员日常工作中，年产生生活污水约576t，直接汇入金坛经济开发区内的污水管网，经金坛第二污水处理厂集中处理后，尾水排放至尧塘河，因此本项目生活污水排放不会对周围环境水体产生不良影响。

5.2.5.3 固体废物

放射性核素生产及质检过程中产生的不含放射性的无菌瓶、卡套、硅胶板、移液枪枪头、针头针孔、培养基、废活性炭等，属于《国家危险废物名录》（2025年版）中的HW49-其他废物，废物代码为900-047-49，暂存于厂区的危废暂存间，定期委托有资质的危废回收单位回收处置，对周围环境影响很小。

本项目运行过程中产生的非放射性工艺固废分类收集后交由废品收购站处置，对不可回收的固体废物集中收集后交由市政环卫部门处理；工作人员产生的少量生活垃圾交由市政环卫部门定期清运，对周围环境影响较小。

5.2.5.4 噪声

本项目室内噪声源主要包括：地下层的空调冷水机、生活污水提升泵和消防水泵，一层的非放射性区域的排风机、二层的新风机组、循环冷却水水泵、去离子水泵和非放射性区域的排风机，均为室内布置，采用建筑隔声；室外噪声源主要是三层屋顶上安装的空压机、闭式冷却塔、风冷空调外机和排风机。本项目将采用低噪声的风机，并采取基础减振，进行降噪处理，经预测，公司厂界噪声昼间、夜间贡献值均能满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中3类功能区标准要求，对周围环境影响很小。

5.2.6 销售及运输影响分析

本项目放射性核素的运输委托具有“放射性物品道路运输资质”的单位负责。根据《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）中5.3.1规定：“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.....”，以及5.4规定：“对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体为4Bq/cm³；对所有其他 α 发射体为0.4Bq/cm³”，本项目在货包运输前，应对货包表面进行辐射剂量率和表面污染检测，满足要求后，才能装车运输。

建设单位生产的放射性核素经包装间完成货包包装后，委托有资质单位运输。所有放射性核素全部外销（出口），经车辆运输至机场，采用航空运输方式送达客户所在国。

放射性核素货包离开厂区后，运输过程中的辐射安全由运输单位负责，国内运输过程中运输单位将遵守我国有关放射性同位素安全运输管理要求。销售过程中建设单位的辐射工作人员不受到辐射影响。运输过程中相关运输人员的受照剂量和采取的辐射安全措施，由运输单位进行管控。放射性核素销售后，建设单位不提供售后服务。

公司拟针对放射性核素销售的各个环节制定“同位素发运操作规程”、“发运记录管理规程”等规程制度来确保销售过程的安全管理。此外，公司还拟制定《放射性同位素运输辐射事故应急预案》，设立相应的应急组织机构并划清职责，确定应急联络、报警、现场指挥程序，制定辐射事故应急处理的过程，一旦发生运输辐射事故，能做到及时响应和处理。

5.3 事故影响分析

5.3.1 事故分析

5.3.1.1 回旋加速器的可能事故

（1）安全联锁系统失效，人员误留、误入加速器机房或靶室内，回旋加速器运行产生误照射。

（2）回旋加速器装置失灵、损坏、调试和操作失误等，导致固体靶因意外停留在传输管道中，在传输管道堵塞或泄漏等情况下，可能导致工作人员误照射或放射性核素污染相关工作场所。

（3）回旋加速器排风系统故障，工作人员进入停机后的机房或靶室，造成意外照射。

（4）工作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射。

（5）束流强度超出靶材耐受阈值或冷却系统故障，可能导致靶材局部过热，可

能导致回旋加速器发生熔靶事故，导致冷却系统失效，造成设备局部损坏，释放放射性气溶胶，污染工作场所。

（6）高效过滤器失效导致放射性物质通过通风系统扩散至机房或靶室外，导致环境辐射污染和人员超剂量照射。

5.3.1.2 同位素的污染事故

在放射性同位素操作过程中如操作管理不善或发生异常情况，会对公众和环境造成辐射危害，可能出现的情况有：

（1）在放射性核素操作过程中，因容器破碎、核素溶液泼洒等，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。

（2）放射性核素或受照靶件丢失、被盗，造成放射性事故。

（3）放射性核素在转移过程中由于操作人员违反操作规定或误操作引起意外泄漏而造成放射性表面污染。

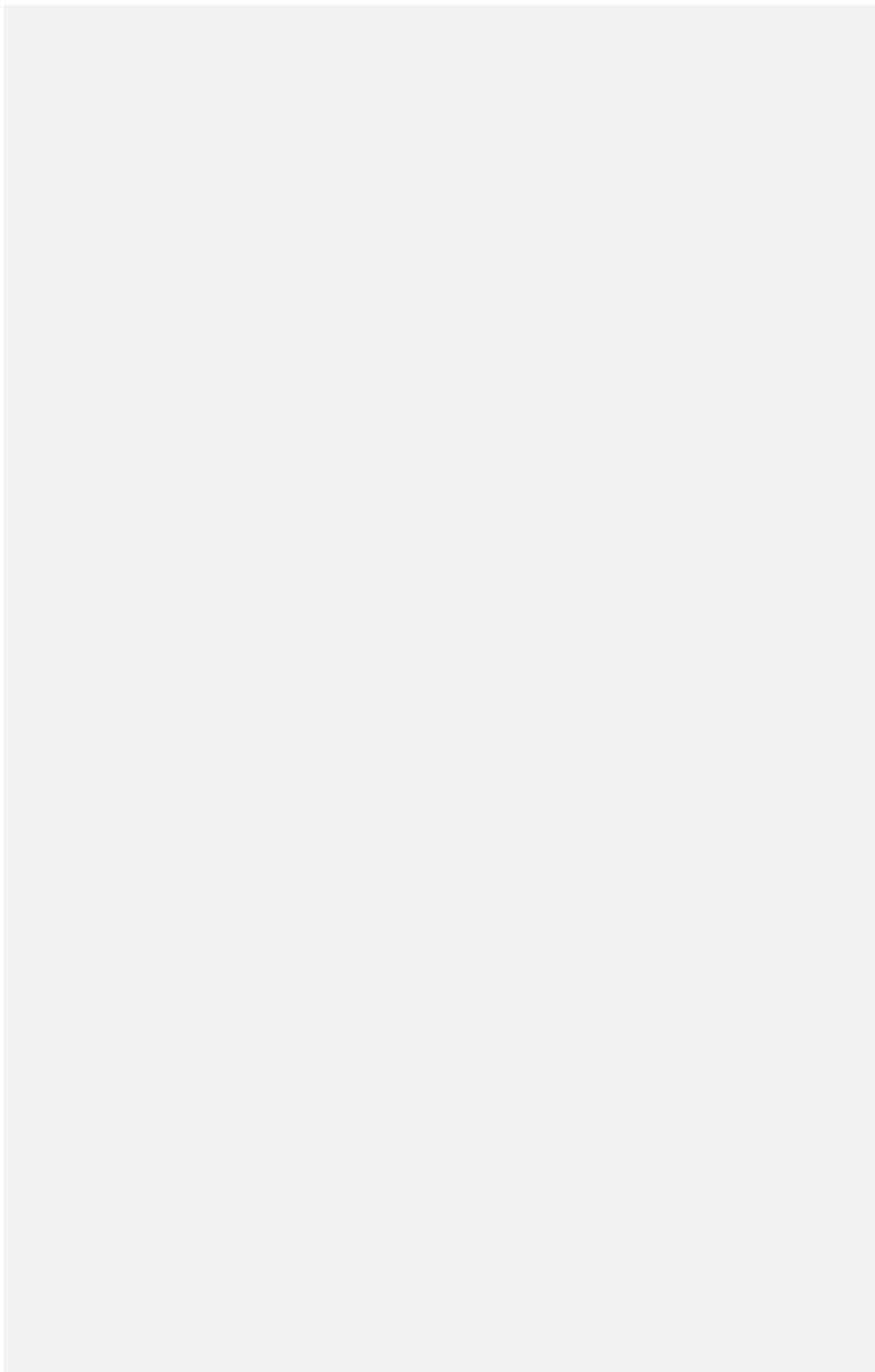
（4）放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

（5）工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成附加照射剂量。

（6）高效过滤器失效导致放射性物质通过通风系统扩散至生产厂房外，导致环境辐射污染和人员超剂量照射。

（7）放射性核素在运输时发生意外，造成放射性核素泼洒、泄漏等。

下面针对辐射影响较严重和发生概率较大的放射性核素在化学提纯过程中发生泼洒导致泄漏至屏蔽箱体外的事故进行分析。当发生液态放射性核素泼洒导致泄漏至屏蔽箱体外的事故时，去污过程会对工作人员产生外照射辐射影响。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中点源计算方法以及《辐射防护导论》中韧致辐射计算方法（公式4.21）计算出参考点处辐射剂量率水平，再根据公式（5-5）计算出年受照剂量。计算时，以单个靶材打靶暂存14天后，转移至3#或4#热室化学提纯时目标核素和杂质核素的活度、事故处置时间10min进行估算，计算结果见表5.3-1。



从上表计算结果可知，本项目在事故工况下所致人员受照剂量最大为11.1mSv，对人员有一定的辐射影响。故当发生液态放射性核素泼洒导致泄漏至屏蔽箱体外的事故时，应保持车间的通风，并及时去污，尽量转移至放射性固废，防止污染扩散。

5.3.2 事故预防措施

辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理制度等进行防范。公司将采取以下一系列的预防措施，尽可能减小或控制事故的危害和影响。

5.3.2.1 回旋加速器辐射事故预防措施

(1)回旋加速器与加速器机房防护门和受照靶室防护门实现门机联锁保护装置，防护门打开时加速器自动停止出束，加速器机房防护门和靶室防护门外设置信号警示装置和电离辐射警告标志，加速器机房和靶室内及控制室均设置急停开关，加速器机房和靶室内设置紧急开门按钮、视频监控，能够有效防止人员误入事故的发生。辐射工作人员要严格遵守操作规程，每次开机运行前要确认加速器机房和受照靶室内无人员时，才能开机运行。辐射工作人员必须定期检查防护门上的信号警示装置、门机联锁装置等辐射安全措施是否正常，如果失灵，应立即修理，使其恢复正常后方可运行。

(2)加速器机房和靶室内设置固定式辐射监测系统，并与各防护门联锁。当检测到机房或靶室内辐射剂量率超过设置阈值时，防护门无法打开，同时实时监控机房和靶室内辐射剂量率。

(3)加强对工作人员安全教育，严格按操作规程操作。为避免加速器运行时人员滞留、误入造成的辐射事故，工作人员每次上班时需要检查防护门上信号警示装置等辐射安全设施是否正常。如果信号警示装置等辐射安全设施未能正常运行，应立即修理，恢复正常。一旦出现设备控制系统出现故障，工作人员应立即切断电源、关闭机房和靶室防护门，然后尽快联系专业人员维修。建设单位应严格遵循所用辐射设备的安全使用年限，避免机械事故造成辐射污染，严禁超期使用。

公司需严格控制辐射工作人员受照剂量，在非例行加速器检维修时段，如加速器意外停机或者故障停机，若重启前需要开展机房或靶室内清场巡检的工作流程，设备停机状态进入机房或靶室需等待一段时间，以使得机房或靶室内辐射水平能够有效降低，工作时与易活化部件保持一定距离，机房或靶室内其他工作根据剂量探头探测的室内辐射水平，制定详细操作步骤，限制工作时间，尽量避免超剂量照射事故发生。工作人员进入机房或靶室时需关注进入高辐射区内人员的剂量，及时送检个人剂量计。

在加速器系统例行检维修时，设备生产单位的工作人员需要进入辐射水平较高的机房或靶室内，本项目建设单位作为辐射安全许可证的持证单位，承担工作场所的辐射安全管理责任。检维修人员进入前需根据机房或靶室内固定式监测系统的监测数据，初步估算法机房或靶室内工作点的剂量率水平，制定可行的工作方案，对人员工作时间

进行管控，采取轮流工作，尽量缩短工作时间的的方式，减少受照剂量。公司辐射安全管理人员应监督检维修人员进入机房或靶室时佩戴好可以累计受照剂量的报警仪，设置合理的单次活动受照剂量阈值，严格控制人员受照剂量不超过年剂量约束值。

（4）操作人员接受专业培训，规范操作流程；采用冗余冷却设计，采用防腐蚀材料；实时监控束流强度，防止过聚焦或过载；定期检查维护回旋加速器靶系统和冷却系统，及时更换老化部件；确保引入束流准直系统、靶系统、冷却系统等正常工作。

（5）采用冗余排风设计、定期检查和监测高效过滤器的有效性，定期更换高效过滤器的滤芯。

5.3.2.2 放射性核素操作辐射事故预防措施

（1）对放射性工作场所进行严格的分区管理，设置控制区和监督区，控制区禁止无关人员进入，控制区入口设置门禁和电离辐射警告标志等。

（2）制定和完善放射性同位素安全管理制度，在日常工作中，设置专人负责管理原料的入库和放射性核素的出库，都由专人进行登记，设立生产、使用、销售台账。做好日常检查，防止放射性核素和受照靶件被盗、丢失。

（3）工作人员进行岗前培训，合格后方可上岗，工作人员须熟练掌握放射性核素操作技能和熟悉辐射防护基本知识，能正确处置意外情况。

（4）制定完善的操作规范，对辐射工作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少核素洒漏事故的发生。操作过程中，操作者应穿戴防护服、防护眼镜等个人防护用品，如果液体溅到皮肤上，立即用清水冲洗。

（5）加强放射性废物的管理，对放射性废物制定放射性三废的处理制度，设置放射性废物管理员，对放射性废物单独收集，按照国家规定处理。对储存的放射性废物，在废物袋或储存容器外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期等说明，并做好相应的记录。放射性废水和固体废物经衰变后按相应要求进行处理，并做好监测记录。

（6）各辐射工作场所内配备防护面罩、吸水纸、纱布、去污试剂等应急物资和灭火器材。

（7）定期检查通风系统、安全措施是否正常，如果失灵，应立即修理，使其恢复正常后方可开展放射性工作。

5.3.3 事故应急处理措施

在发生事故时，建设单位拟采取的应急处理措施如下。

5.3.3.1 加速器机房辐射事故应急处理措施

(1) 在加速器机房和靶室内及控制室人员易到达位置均设置急停开关，并在醒目处设置标签，标明使用方法，一旦有人员滞留立即按下急停开关，切断电源。

(2) 若发生回旋加速器装置失灵、损坏、调试和操作失误及生产核素的过程中盛放靶件的管子破裂，传输管道堵塞或泄漏等情况，加速器将立即自动停机，并且要经过24小时且机房和靶室内的辐射剂量率降低到 $10\mu\text{Sv/h}$ 以下，相关人员才被允许进入机房或靶室内检维修和去污，假设单次检维修时间为4h，则单次检维修所致人员年受照剂量约为 0.04mSv 。

(3) 若回旋加速器排风系统发生故障，立即停止加速器工作，并且要经过24小时且机房和靶室内的辐射剂量率降低到 $10\mu\text{Sv/h}$ 以下，相关人员才被允许进入机房或靶室内检维修。排风系统功能恢复前不得开启加速器。假设单次检维修时间为2h，则单次检维修所致人员年受照剂量约为 0.02mSv 。

(4) 若发生回旋加速器熔靶事故，立即切断束流，启动备用冷却系统，封闭机房和靶室防止放射性物质扩散，并对污染区域进行辐射监测及去污。

(5) 若发生高效过滤器失效事故，立即切断束流，封闭污染区域并启动应急排风系统，对污染区域进行辐射监测及去污，对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗。

5.3.3.2 放射性核素操作辐射事故应急处理措施

(1) 当发生液态放射性核素泼洒、泄漏导致的表面污染事故时，工作人员应保持相关场所的通风，应及时去污，尽量转移至放射性固废。如：迅速用吸附衬垫或滤纸吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。去污结束后，需用 α - β 表面沾污仪测量污染区，如果测量结果大于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中工作场所的放射性表面污染控制水平，则表明该污染区未达到去污控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，确保测量结果符合GB18871-2002中工作场所的放射性表面污染控制水平要求。工作人员脱去受污染的手套及防护工作服，防护工作服和手套作为放射性固体废物处理。使用污染监测仪对人员进行监测，若无污染，则人员正常离去，若有污染，则人员到应急淋浴间进行清洗，清洗废水作为放射性废水处理。

(2) 若发生放射性核素或受照靶件丢失、被盗，应第一时间将事故情况通报有关(生态环境、公安、卫生健康等)主管部门；分析确定丢失、被盗事故的具体时间

及原因，并向相关部门提供信息，根据有关线索，组织人员协同相关部门查找丢失、被盗的放射性核素或受照靶件，在查找过程中携带辐射监测仪器，防止事故处理人员受到照射；对放射性核素或受照靶件丢失前存放场所进行监测，根据现场辐射剂量率的大小确定是否受污染。如现场受到污染，应划定警戒线，撤离警戒区域内的所有人员，事故处理人员应穿戴防护用品，佩戴个人剂量计进入事故现场。

（3）当放射性同位素或放射性废物管理或处置不当造成污染时，应立即划定警戒区，设置放射性污染标识，限制人员随意走动或靠近，由专业人员处理，根据现场辐射强度，确定工作人员在现场处置的工作时间；现场经监测满足解控要求后再解除警戒。

（4）若发生高效过滤器失效事故，立即停止放射性工作，并立即修理，使其恢复正常后方可开展放射性工作。

（5）运输途中出现车辆受损及放射性核素泼洒等特殊情况，公司将协助运输单位立即启动相应的事故应急方案，及时与当地公安、生态环境部门电话通报，寻求支援保护，并隔离事故现场，在现场周边设置安全警示标志，提示过往行人和车辆注意避让，公司协助运输单位派专业人员配合当地生态环境主管部门，清理受污染现场，并采用监测仪器进行检测，确认安全后方可解除事故警戒。

（6）应尽可能记录下现场有关情况，对工作人员可能受到的事故照射剂量，可针对事故实际情况进行评估，并对工作人员进行健康检查和跟踪，按照国家有关放射卫生防护标准和规范以及相关程序，评估事故对工作人员健康的影响；事故处理后，必须组织有关人员进行讨论，分析事故发生的原因，从中吸取经验和教训，必须采取措施防止类似事故再次发生。

5.3.4 辐射事故报告

针对以上可能发生的事故风险，公司拟将制定相应的辐射事故应急预案。依照原国家环保总局的《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）中的规定，发生辐射事故时，公司应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后一小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

第六章 辐射安全管理

6.1 机构与人员

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年版）第十三条、第十四条、第十六条条款，以及《关于规范核技术利用领域辐射安全关键岗位从业人员管理的通知》（国核安发〔2015〕40号）中的要求，公司拟成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定1名具有本科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；设有不少于30名核物理、放射化学、核医学和辐射防护等相关专业的技术人员，其中具有高级职称的不少于6名；从事辐射工作的人员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；拟设置两个辐射安全关键岗位，分别为辐射防护负责人、辐射环境监测与评价专职人员，每岗最少在岗人数1名，并均由注册核安全工程师担任。

公司拟在项目运行前，成立辐射安全与环境保护管理小组，指定专职辐射防护负责人和小组成员，并明确辐射安全与环境保护管理小组、专职辐射防护负责人和辐射环境监测与评价专职人员职责。其中：

1、辐射安全与环境保护管理小组职责应包括：

- （1）认真贯彻执行国家辐射安全与环境保护各项法规相关文件精神；
- （2）负责公司所有辐射安全与环境保护管理工作；
- （3）组织制定辐射安全与环境保护管理制度，做好管理工作；
- （4）研究审查公司新建、扩建、改建项目的设施和场所的防护工作；
- （5）组织人员参加辐射安全与环境保护培训和应急演练；
- （6）安排从事辐射工作的辐射工作人员参加生态环境部门组织的关于辐射安全和防护的培训和考核；
- （7）监督辐射工作人员的职业健康检查、个人剂量监测，并做好相应资料的档案管理工作；
- （8）负责审核用户单位在辐射安全许可方面的资质，避免将产品销售给不具备资质的用户单位；
- （9）定期向生态环境部门和主管部门报告安全工作，接受生态环境部门、公安部门和卫生健康部门的监督检查；
- （10）若发生辐射事故，负责处理辐射事故，防止事故蔓延扩大，将放射损伤和损失降低到最低限度，并负责上报集团公司和有关部门。

2、公司专职辐射防护负责人职责应包括：

- (1) 起草和修订与辐射安全与防护有关的管理制度；
- (2) 检查放射性物质的生产操作是在符合国家有关辐射安全和防护规定的要求下进行；
- (3) 负责辐射工作人员的个人剂量管理工作；
- (4) 定期对公司放射性同位素转让审批情况进行检查，确保对每个客户的核素销售均有转让审批手续并在有效期内；
- (5) 检查辐射安全设施，对公司的安全与防护情况进行年度评估；
- (6) 负责对放射性物质的运输等工作进行安全监督检查；
- (7) 协助辐射安全与环境保护管理小组做好辐射安全事故的处理工作，当确认辐射应急终止时，负责将《辐射应急终止报告》上报公司辐射安全与环境保护管理小组和总公司辐射安全部；
- (8) 协助辐射安全与环境保护管理小组做好辐射安全和防护管理的其他工作。

3、公司专职辐射环境监测与评价专职人员职责应包括：

- (1) 使用专业仪器对辐射工作场所及周围环境开展定期或应急监测，确保数据准确可靠；
- (2) 分析监测数据，评估环境质量现状及变化趋势，编制辐射环境质量报告，为公司辐射安全管理工作提供科学依据；
- (3) 维护保养监测仪器，确保其正常运行；
- (4) 在突发辐射污染事故中开展应急监测，参与事故调查及去污工作；
- (5) 协助辐射安全与环境保护管理小组和辐射防护负责人做好辐射安全和防护管理的其他工作。

公司辐射工作人员初步定员约30名，从事辐射安全管理、加速器运行、热室操作、成品质检、产品包装、放射性废物转运及管理等相关工作。经公司辐射安全管理部门授权后，相关辐射工作人员才能进入辐射工作场所工作（包括控制区和监督区）。根据《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》等法律法规的要求，自2020年1月1日起，新从事辐射活动的人员以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核。公司拟将组织辐射工作人员通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名，自主学习并报名参加考核，辐射防护负责人报考类别为“辐射安全管理”，辐射工作人员报考类

别为“科研、生产及其他”，通过考核后，方能从事辐射工作。

此外，公司还拟将组织辐射工作人员参加职业健康体检，体检合格后，方可上岗。

6.2 辐射安全管理规章制度

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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的有关要求，公司拟针对本项目制订一系列辐射安全管理制度，主要包括《操作规程》《岗位职责》《辐射防护和安全保卫制度》《设备检修维护制度》《放射性同位素、射线装置使用登记制度》《放射性同位素生产、销售台账管理制度》《人员培训计划》《监测方案》《放射性三废管理制度》《辐射事故应急措施》《运输安全管理制度》等，同时在之后的实际工作中不断根据法律法规及实际情况对各项管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。本报告对各项制度的要点提出以下建议：

（1）操作规程：明确回旋加速器、放射性同位素分离纯化、分装、质检等项目的操作规程，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、操作步骤以及工作过程中各注意要点；明确工作时必须佩戴个人剂量计和剂量报警仪或检测仪器，避免辐射事故发生。

（2）岗位职责：明确管理人员、操作人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

（3）辐射防护和安全保卫制度：根据本项目制定辐射防护和安全保卫制度，重点是：①定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全装置、检测仪器等保持良好工作状态；②辐射工作人员定期开展个人剂量监测和职业健康体检；④指定专人负责受照靶件和放射性核素的管理，防止受照靶件和放射性核素被盗、丢失；⑤做好辐射工作场所的安全保卫工作，并定期检查。

（4）设备检修维护制度：明确设备和门机联锁装置等辐射安全措施在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保辐射安全装置有效运转；重点是辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器等必须保持良好工作状态。

（5）放射性同位素、射线装置使用登记制度：根据本项目制定射线装置使用和放射性同位素生产登记制度，规范射线装置使用和放射性同位素生产登记记录，对购入的射线装置使用情况和放射性同位素生产情况进行专人登记和跟踪记录，确保正确无误，账物相符。

（6）放射性同位素生产、销售台账管理制度：根据本项目制定生产、销售台账

管理制度，对公司生产的放射性同位素种类、数量、销售去向及日期等均记录在台账上，重点是：①单位放射性同位素仅能销售（转让）给已有相应资质并具备使用该放射性同位素资格的客户；②在转让前，双方应已签订书面转让协议，并需到相关生态环境部门办理转让申请，获得批准后方可转让。

（7）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。

（8）个人剂量监测方案和职业健康体检制度：明确辐射工作人员开展辐射工作时均应佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送有资质部门进行监测，明确个人剂量计的佩戴和监测周期，个人剂量监测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量检测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标；明确辐射工作人员进行职业健康体检的周期，建立个人累积剂量和职业健康体检档案。

（9）辐射环境监测方案：根据本项目购置环境辐射巡测仪、中子剂量率仪、表面沾污仪等监测设备，明确日常工作的监测项目和监测频次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。此外，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中相关要求，生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统提交上一年度的评估报告。

（10）放射性三废管理制度：明确放射性废物应根据类型分开单独收集处理，制定放射性废气排放管理措施，以及放射性废水、放射性固体废物收集、暂存、处置措施，安排专人做好放射性废物产生、暂存、处理、处置（包括排放）的记录，并建立档案。

（11）事故应急措施：根据本项目可能发生的辐射事故制定事故应急方案，方案中应明确应急机构和职责分工、应急人员的组织、培训、事故报告制度、辐射防护措施及事故处理程序等，能有效控制事故，及时制止事故的恶化，保证上报渠道通畅。发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，并根据事故应急方案采取必要的防范措施。

（12）运输安全管理制度：根据本项目制定运输安全管理制度，重点是与有资质单位签订运输委托协议，明确各自的辐射安全责任。如发生道路运输安全事故，承运人应立即启动应急预案，并将事故情况及时通报齐康原科技（常州）有限公司联系人，公司接到事故报告后，应立即启动本公司应急预案，协助承运人并按照其应急预案做好应急处理工作，保护好现场，认真配合当地生态环境部门、公安部门的调查处理。

6.3 辐射监测

本项目运行后，为保证本项目运行过程的安全，为控制和评价辐射危害，使工作人员和公众所受照射尽可能低。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）（2026年5月1日将由《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB5172-2025）代替）中的相关规定，本项目监测内容包括：工作场所及环境监测、个人剂量监测。

6.3.1 工作场所及环境监测

（1）竣工环保验收监测

根据《建设项目环境保护管理条例》《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》，本项目竣工后3个月内，公司拟委托有资质的单位对本项目进行验收监测，并按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行自主验收。

（2）年度监测

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB5172-2025），本项目正常运行时，公司拟定期委托有资质公司对本项目进行监测，监测结果连同单位的年度辐射安全评估报告一起，在次年的1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统提交。本项目年度监测内容见表6.3-1。

表6.3-1 本项目年度监测内容一览表

监测对象	监测点	监测项目	监测频次	控制要求
加速器机房、靶室	机房、靶室四周墙体、顶部、防护门外表面30cm及四周门缝、各管线孔、操作位等	X-γ辐射剂量率、中子剂量率	不少于1次/季度	表面污染控制水平见第1.4.4节，剂量率控制水平见第1.4.5节
	机房和靶室内墙面、地面、设备表面	α、β表面污染		

放射性同位素生产车间、质检车间、放射性废物暂存间	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	X- γ 辐射剂量率	不少于 1 次/季度	表面污染控制水平见第 1.4.4 节，剂量率控制水平见第 1.4.5 节
	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁、地面、放射性废物桶和包装袋表面等	α 、 β 表面污染		
土壤	以生产厂房为中心，半径 500m 内	应用核素 ^①	不少于 1 次/年	/
放射性废气	排放口	应用核素 ^①	不少于 1 次/年	控制水平见第 1.4.7 节

注：①如应用核素难以分析，可用总放替代。

②本项目放射性废水由有资质单位回收处置，不直接对外排放。

（3）企业自检

公司拟利用自配的辐射监测仪器对辐射工作场所定期进行自主监测，并建立档案，监测内容包括：

①公司用自配备的辐射巡检仪定期对辐射工作场所及周围环境X- γ 辐射剂量率进行监测，并记录档案，参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中工作场所监测要求，监测频次不少于1次/月。

②公司用自配备的中子剂量率仪定期对加速器机房和靶室周围环境中子剂量率进行监测，并记录档案，监测频次不少于1次/月。

③公司用自配备的表面沾污仪定期对加速器机房和靶室内墙面、地面和设备表面的表面污染进行监测，当各类物体的表面污染水平超过GB18871中相应的要求时，应根据污染情况采取去污措施，防止污染扩散。

④公司用自配备的表面沾污仪在每次工作结束后对放射性核素操作台面、设备表面、墙壁、地面、放射性废物桶和包装袋表面、工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等处的表面污染进行监测。如果工作服、手套、鞋、帽的表面污染大于表面污染控制水平，应及时脱下更换清洗或作为放射性固废处理，如果手、皮肤暴露部分的表面污染大于表面污染控制水平，应进一步清洗去污直至满足表面污染控制水平；从控制区取出任何物品都应进行表面污染水平检测，以杜绝超过GB18871规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。以上监测均将记录档案，并在监测方案

中列出GB18871中表面污染控制水平。

⑤每次发货前，对放射性核素货包的表面污染和辐射水平进行自主监测，并编制辐射监测报告，记录档案。

⑥发生放射性核素洒落等辐射污染事故或怀疑有污染时，应及时进行监测。

公司自主监测内容见表6.3-2。

表6.3-2 公司自主监测内容一览表

监测对象	监测点	监测项目	监测频次	控制要求
加速器机房、靶室	机房、靶室四周墙体、顶部、防护门外表面 30cm 及四周门缝、各管线孔、操作位等	X- γ 辐射剂量率、中子剂量率	不少于 1 次/月	表面污染控制水平见第 1.4.4 节，剂量率控制水平见第 1.4.5 节
	机房和靶室内墙面、地面、设备表面	α 、 β 表面污染		
放射性同位素生产车间、质检车间、放射性废物暂存间	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	X- γ 辐射剂量率	不少于 1 次/月	表面污染控制水平见第 1.4.4 节，剂量率控制水平见第 1.4.5 节
	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁、地面、放射性废物桶和包装袋表面、工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等	α 、 β 表面污染	每次工作结束后（出现放射性核素洒落应及时进行监测）	
货包	货包表面	X- γ 辐射剂量率、 α 、 β 表面污染	发货前	辐射剂量率不超过 2mSv/h， α 表面污染水平不超过 0.4Bq/cm ² ， β 表面污染水平不超过 4Bq/cm ²

此外，根据《粒子加速器辐射安全与防护规定》（GB5172-2025），粒子加速器安装调试阶段和投入运行前，应基于最大运行或稳定运行工况下屏蔽体外辐射水平监测数据对辐射屏蔽设计和施工效果进行评价，确定符合设计要求后方可投入运行若监测结果超出该区域辐射屏蔽设计目标，应查明原因并及时采取增加局部屏蔽、限制束流参数等措施以确保屏蔽体外辐射水平满足设计要求。当粒子加速器运行参数、屏蔽条件或屏蔽体外居留情况发生有可能影响辐射安全的变化时，应进行工作场所的监测。

6.3.2 个人剂量监测和职业健康体检

按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《职业性外照射个人监测规范》的相关要求，公司拟委托有资质的单位定期对公司所有辐射工作人员进行个人剂量监测（常规监测周期一般为1个月，最长不得超过3个月），并安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案，并对职业照射个人监测档案终生保存。辐射工作人员有权查阅和复制本人的个人剂量档案。

此外，按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《放射工作人员健康要求及监护规范》的相关规定，辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作。公司拟组织公司所有辐射工作人员定期进行职业健康体检，职业健康体检包括上岗前、在岗期间、离岗时、受到应急照射或者事故照射时的健康检查，以及职业性放射性疾病患者和受到过量照射的辐射工作人员的医学随访观察；辐射工作人员在岗期间职业健康检查周期为1~2年，但不得超过2年，必要时可适当增加检查次数。公司将对公司所有从事辐射工作的工作人员建立并终生保存职业健康监护档案，并有专人负责管理。

6.3.3 辐射监测设备

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，生产、销售、使用非密封放射性物质和射线装置的单位，应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警、便携式辐射监测、表面污染监测等设备，对直接从事使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

公司拟配备4台辐射巡检仪、1台中子剂量率仪、4台表面沾污仪、6台个人剂量报警仪、13台固定式场所剂量监测仪和5台固定式中子剂量监测仪，以及为每名辐射工作人员配备个人剂量计。公司拟配备的辐射监测仪器见表6.3-3。

表 6.3-3 公司拟配备的辐射监测仪器一览表

设备名称	数量（台）	工作场所
辐射巡检仪	4	一层放射性同位素生产车间的卫生通过间区域的走道处（1-521）和物流更衣区处（1-220）各 1 台，二层质检车间的卫生通过间区域的缓冲间处（2-094）1 台，地下层放射性废物暂存间的缓冲间处（0-011）1 台
中子剂量率仪	1	加速器机房
表面沾污仪	4	一层放射性同位素生产车间的卫生通过间区域的走道处（1-521）和物流更衣区处（1-220）各 1 台，二层质检车间的卫生通过间区域的缓冲间处（2-094）1 台，地下层放射性废物暂存间的缓冲间处（0-011）1 台
个人剂量报警仪	6	放射性同位素生产车间 2 台、质检车间 2 台、放射性废物暂存库 2 台
固定式场所剂量监测仪	13	加速器机房内、4 间靶室内、加速器控制室内、热室操作间内、样品接收间内、4 间放化实验室内、放射性废物暂存间门口各 1 套
固定式中子剂量监测仪	5	加速器机房门口和 4 间靶室门口各 1 套

6.4 辐射事故应急

公司拟将根据本项目可能发生的辐射事故制定相应的辐射事故应急方案，并成立辐射事故应急管理小组，该小组主要负责放射安全和防护工作，确保项目安全运行；制订应急管理相关规定，明确辐射事故类型、事故应急响应程序、事故上报、应急终止及后续改进、应急培训演练、应急预案修订等方面内容。公司拟制定的辐射事故应急方案内容主要包括：

（1）辐射事故应急管理小组

公司辐射事故应急管理小组由公司法人任组长，组员主要由辐射专职管理人员和相关部门的负责人组成。

（2）事故类型

本项目辐射事故主要是指回旋加速器异常，放射性同位素污染，放射性核素或受照靶件丢失、被盗，回旋加速器误照射或个人剂量超标的事件，运输时发生意外导致放射性核素泼洒、泄漏。

（3）事故应急响应程序

回旋加速器异常：对于使用加速器生产放射性核素时，一旦出现异常，应第一时间停止加速器运行，同时保持加速器机房和靶室通风良好，将人员撤离至安全范围，设立警示标志，通知应急小组进行处理，在污染现场尚未达到安全水平以前，不得解除封锁。

放射性同位素污染事故：在生产、包装放射性核素过程中，如发生放射性核素泼洒、泄漏污染事故时，工作人员应保持相关场所的通风，防止气溶胶的形成，人员迅速撤离现场并设置警示标志，通知应急小组进行处理，在污染现场尚未达到安全水平以前，不得解除封锁。

放射性核素或受照靶件丢失、被盗：对于发生放射性核素或受照靶件丢失、被盗情况，应立即通知应急小组，并第一时间将事故情况通报有关（生态环境、公安、卫生健康等）主管部门。同时，公司应保护好现场，并认真配合生态环境、公安、卫生健康等部门调查事故原因，追回放射性物品，防止事故再次发生。

意外照射或个人剂量超标：若发生人员误入加速器机房或靶室造成意外照射，需立即停止加速器运行，并将人员撤离至安全范围，通知应急小组进行处理，对该人员进行体检或治疗；如发生人员误入受到放射性同位素照射，应将人员撤离至安全范围并立即通知应急小组，对该人员进行监测去污，并对该人员进行体检或治疗；若发生个人剂量超标事件，立即报告辐射安全小组组长及超标剂量当事人，确定个人剂量超标原因。排除个人剂量仪接受非正常照射情况后，立即将个人剂量超标人员调离辐射工作岗位，增加该人员的体检频率，在体检结果正常，且有医生开具该人员能继续从事放射性岗位工作的情况下方能回到原来岗位工作。

放射性同位素运输事故：运输途中出现车辆受损及放射性同位素泼洒等特殊情况，公司协助运输单位立即启动相应的事故应急方案，及时与当地公安、生态环境部门电话通报，寻求支援保护，并隔离事故现场，在现场周边设置安全警示标志，提示过往行人和车辆注意避让，公司协助运输单位派专业人员配合当地生态环境主管部门，清理受污染现场，并采用监测仪器进行检测，确认安全后方可解除事故警戒。

（4）事故上报

领导小组接到事故发生报告后，立即启动应急方案，并及时向生态环境、公安、卫生健康等相关主管部门报告，并在两小时内填写《辐射事故初始报告表》，报当地生态环境部门。

（5）应急终止与后续整改

应急终止：当发生辐射事故的射线装置或场所修复后，需经生态环境部门监测安全合格，报请卫生健康主管部门批准，应急措施方可解除。

应急终止条件：环境放射性水平已降至国家规定的限值以内，辐射事故所造成的危害已消除或可控，事故现场的各种专业应急处置行动已无继续必要。

应急终止程序：对辐射事故所导致的应急状态的终止，由应急管理小组组长根据事故应急处理小组意见报应急管理小组，并经生态环境部门批准后实施终止。应急状态终止后，应急管理小组应当根据生态环境部门的指示和实际情况，安排应急事故处理小组继续进行环境放射性巡测、采样和评价工作，直到自然过程或其他补救措施无需继续进行。

后续整改：应急终止后，应急管理小组在充分听取应急事故处理小组意见基础上，负责以下工作：

- ①评价所有应急日志、记录和书面信息等；
- ②评价应急期间所采取的一切行动；
- ③评价造成应急状态的事故，指导有关部门和事故责任单位查出原因，防止重复出现类似事故；
- ④编制应急总结报告，并于应急终止后2周内报生态环境部门辐射应急办公室；
- ⑤审批、管理必要的区域去污计划和因事故及去污产生的放射性废物的处理和处置计划，并监督实施。

（6）应急培训

凡在应急期间执行任务的辐射事故应急人员，须接受辐射安全与防护培训，每年年初由辐射安全专职负责人制定当年年度培训计划并严格实施。培训由应急管理小组具体组织，主要参加生态环境部门组织的辐射事故应急培训。辐射事故应急人员均由公司辐射工作人员兼职，辐射安全与防护培训合格证书快到期人员应及时报名并参加考核，考核合格后方可继续从事相应辐射工作。

（7）应急演练

每年至少开展1次综合或单项的应急演练，演练前编制演习计划，包括演练模拟事故/事件情景；演练参与人员等。应急演习分专业性演习和综合性演习两步进行，专业性演习由应急事故处理小组成员参加，综合性演习由应急事故处理小组、各相关单位和应急人员参加。应急方案演练工作一定要注重实效，注重实战，增强应急方案

演练场景的仿真程度，防止应急预案演练流于形式，停留于导演剧本阶段；在演练过程中，要有指挥机构、救援队伍，有通信、交通、技术、医疗、治安等协同配合，加强部门联动；同时，动员社会力量参与演练，普及应急知识，提高自救互救能力。演练后要认真总结、评估；针对演练中暴露的问题，及时制定整改措施、完善预案。

（8）应急预案修订

应急预案每年至少评审修订1次。评审时须注意如下问题：在脆弱性分析时发现的问题和不足是否得到充分重视；各应急管理和响应人员是否理解各自职责；辐射安全风险有无变化；应急预案是否根据布局和工艺变化更新；建设单位布置图和记录是否保持最新；新成员是否经过培训；培训是否达到目的；方案中人员姓名、岗位和电话是否正确；是否逐渐将应急管理融入建设单位的整体管理。

此外，在项目运行期间，公司将加强管理，加强工作人员辐射防护知识的培训，学习结束后及时进行总结，发现问题及时解决，并在实际工作中不断完善辐射安全管理制度，尽可能避免辐射事故的发生，还将经常监测辐射工作场所的环境辐射水平等，确保辐射工作安全有效运转。

6.5 竣工环保验收

根据《建设项目环境保护管理条例》，本项目竣工后，建设单位应当按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行自主验收，编制验收报告，“三同时”验收清单见表 6.5-1。

表 6.5-1 “三同时”验收一览表

项目	“三同时”验收内容	验收要求
辐射防护措施	加速器机房、靶室、放射性废物暂存间、各放射性工作场所及场所内配备的热室、通风柜、防护用品等采取实体屏蔽方式，具体屏蔽参数见报告表 4.1-2~表 4.1-11。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及本项目管理目标要求。
辐射安全措施	<p>（1）加速器机房和靶室辐射安全措施：加速器操作许可、急停开关、巡检开关、门机联锁、剂量联锁、紧急开门按钮、声光信号警示装置、警告标志、视频监控、防夹装置、门禁系统等。</p> <p>（2）放射性同位素生产车间辐射安全措施：门禁系统、警告标志、固定式辐射监测系统、视频监控、双人双锁、入侵报警系统等。</p> <p>（3）质检车间辐射安全措施：门禁系统、视频监控、双人双锁等。</p> <p>（4）放射性废物暂存间辐射安全措施：门禁系</p>	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及开展本项目的辐射安全需要。

		统、警告标志、固定式辐射监测系统、视频监控、双人双锁、入侵报警系统以及专用的通讯系统、烟雾报警系统和灭火器材等。	
	通风措施	一层放射性同位素生产车间、二层质检车间和地下层放射性废物暂存间均设置通风系统,加速器机房、靶室通风换气次数不低于 20 次/h (机房排风量 4373.2m³/h、1#靶室排风量 1018.4m³/h、2#靶室排风量 859.3m³/h),其他辐射工作场所及地下放射性废物暂存间通风换气次数不小于 2 次/h,热室、通风柜风速不低于 1m/s。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)及开展本项目相关通风要求。
	人员配备	所有辐射工作人员均参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的考核,考核合格后上岗。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中人员培训要求。
		所有辐射工作人员均配备个人剂量计,并定期(不超过 3 个月)送有资质部门进行监测,建立个人累积剂量档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中个人剂量监测的要求。
		所有辐射工作人员均定期(不超过 1 次/2 年)进行职业健康体检,建立职业健康监护档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中职业健康体检的要求。
	监测仪器和防护用品	配备 4 台辐射巡检仪、1 台中子剂量率仪、4 台表面沾污仪、6 台个人剂量报警仪、13 台固定式场所剂量监测仪和 5 台固定式中子剂量监测仪。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中监测仪器和防护用品配备的要求。
		配备足够数量的 0.5mmPb 的铅衣、铅围脖、铅眼镜等个人防护用品。	
管理措施	管理机构	成立专门的辐射安全与环境保护管理机构,指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作,并以文件形式明确各成员管理职责;专职辐射防护负责人和辐射环境监测与评价专职人员由注册核安全工程师担任。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射安全管理的要求。
	管理制度	制定辐射安全管理制度,制度主要包括:《操作规程》《岗位职责》《辐射防护和安全保卫制度》《设备检修维护制度》《放射性同位素、射线装置使用登记制度》《放射性同位素生产、销售台账管理制度》《人员培训计划》《监测方案》《放射性三废管理制度》《辐射事故应急措施》《运输安全管理制度》,并在之后的实际工作中不断根据法律法规及实际情况对各项管理制度进行补充和完善。	

放射性 “三 废”处 置措施	放射性 废气	<p>一层放射性同位素生产车间、二层质检车间和地下层放射性废物暂存间均设计有通风系统,加速器机房、靶室通风换气次数不低于 20 次/h (机房排风量 4373.2m³/h、1#靶室排风量 1018.4m³/h、2#靶室排风量 859.3m³/h),其他辐射工作场所及地下放射性废物暂存间通风换气次数不小于 2 次/h,热室、通风柜风速不低于 1m/s,热室、通风柜的顶壁设计有高效过滤器,各辐射工作场所的排风系统设计有止回阀,6 套放射性排风系统在生产厂房的二层设计有高效过滤器,在三层屋顶汇至主排气管道,并设置 1 个总排放口,1 套含酸废气的排风系统在三层屋顶单独设计有 1 个排放口,并设计有活性炭过滤装置,该两个废气排放口均高出三层屋顶 6.5m,高出四层屋顶约 2m,排放口周围 200m 范围内没有高于本项目生产厂房的其他建筑物。</p>	满足放射性“三废”处置措施相关环保要求。
	放射性 废水	<p>(1) 回旋加速器系统冷却水正常情况下闭式循环使用,不外排。如发生冷却水泄漏或加速器系统检修,泄漏或外排的冷却水经机房或靶室地面预埋管道排至地下层放射性废物暂存间的放射性废水衰变系统内单独储存,暂存至少1年后取样检测,满足总$\alpha < 1\text{Bq/L}$、总$\beta < 10\text{Bq/L}$、^3H的放射性活度浓度$< 10\text{Bq/L}$后,重新回用或作为非放射性废水由有资质单位回收处置。</p> <p>(2) 靶材在热室化学提纯过程中,每批次产品生产产生的含有放射性的废酸溶液,包括废硫酸溶液、废盐酸溶液,在生产过程中分类收集,收集容器为两层结构,内层为防摔玻璃瓶、外套锡罐,在防摔玻璃瓶内提前放置树脂粉将废液进行固化,降低废液流动性,并分别用塑料和锡制材质的盖子双层密封盖紧,防摔玻璃瓶和锡罐外表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签。通过废物转运容器运送至地下层放射性废物暂存间的放射性废物仓储系统,并在防护柜取出锡罐,由桁车吊至仓储系统的蜂巢仓内进行暂存,作为放射性固体废物定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。</p> <p>(3) 放射性同位素生产车间的清洗间设计有清洗池,控制区出入口处设计有洗手池,工作场所的清洗废水倒入清洗间的清洗池,通过专用管道排至地下层放射性废物暂存间的放射性废水衰变系统,工作人员操作放射性核素后的清洗废水通过专用管道排至地下层放射性废物暂存间的放射性废水衰变系统,清洗废水在放射性废水衰</p>	

		<p>变系统内进行暂存,定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。</p> <p>(4) 质检车间每批次产品质检产生的放射性工艺废液,收集在防摔玻璃瓶中,外套锡罐,防摔玻璃瓶和锡罐外表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签,通过废弃物转运铅罐运送至地下层放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域暂存,暂存十个半衰期,经检测容器表面辐射剂量率满足所处环境本底水平,α表面污染小于$0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$、$\beta$表面污染小于$0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$后,再移至危废暂存间内,最终作为危废定期委托有资质的危废回收单位回收处置。</p> <p>(5) 质检车间的放化实验更衣室和放化实验室设计有洗手池,设备器皿及工作场所等清洗产生的含放射性核素的清洗废水倒入洗手池,通过专用管道排至地下层放射性废物暂存间的放射性废水衰变系统内进行暂存,定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。</p> <p>(6) 放射性同位素生产车间和质检车间的卫生通过间设计有成品应急淋浴系统,应急淋浴下方设置集水箱,每次应急淋浴产生的放射性废水收集在集水箱中,密封后(箱体表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签)运送至地下层放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域暂存,定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。</p>	
	放射性 固废	<p>(1) 加速器机房区域设计有加速器废弃物间,废弃物间内设置1个高活性铅废物桶和1个非高活性铅废物桶,铅废物桶内放置专用垃圾袋,分别用于储存废碳膜等高活性固废和一次性沾污废物等非高活性固废,定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。</p> <p>(2) 加速器系统检维修过程中产生的活化部件由承担维护保养的设备生产单位(IBA公司)负责从机房或靶室中取出,密封在专用垃圾袋内(垃圾袋表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签),暂存在加速器废弃物间中,定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。</p> <p>(3) 热室内产生的废靶件、离子树脂交换柱等放射性固体废物分别用收集容器进行收集,收集容器为内衬塑料的锡罐,并用内衬塑料的锡制盖子密封盖紧,锡罐外表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签。通过废物转运容器运送至地下层放射性废物暂存间的放射性废物仓储系</p>	

		<p>统，并在防护柜取出锡罐，由桁车吊至仓储系统的蜂巢仓内进行暂存，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。</p> <p>（4）热室检维修过程中产生的废弃元器件由设备生产单位（ITD公司）负责从热室中取出，密封在专用垃圾袋内（垃圾袋表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签），运送至地下层放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域暂存，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。</p> <p>（5）放射性同位素生产车间、质检车间和放射性废物暂存间产生的被污染的手套、口罩、工作服、吸水纸、注射器、移液器、高效过滤器的滤芯、毛细管、针头等耗材，一般放射性活度较低，分类收集后进行密封并在垃圾袋表面贴上标签（注明废物类型、存放日期等信息），运送至地下层放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域暂存，经检测垃圾袋表面辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于$0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$、$\beta$表面污染小于$0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$后，作为非放射性固废由有资质的危废回收单位回收处置。</p>	
--	--	---	--

第七章 利益-代价简要分析

7.1 利益分析

7.1.1 产业发展前景

根据研究资料,放射性药物将是全球以及我国国内发展增速最快的医疗细分领域之一,预计将以每年20%以上的幅度增长。放射性药物生产对于我国而言,起步较晚,与先进发达国家相比技术差距明显。本项目生产的放射性同位素 ^{68}Ge ,是生产医疗影像诊断设备常用的锗-镓发生器关键原料,目前国内尚无相关产品上市。本项目的投运,有利于填补我国此类产品生产空白,后期公司计划扩建并生产锗-镓发生器,在国内销售后有利于降低放射性药物的价格,为医疗患者减少费用。

7.1.2 促进地区经济、社会发展

项目位于我国最具发展活力的长江经济带,项目建设对常州地区医药产业的打造有较好的推动力,并有利于提升金坛经济开发区的竞争力。项目建设后,将会产生对研发、生产技术、销售及其他职能人员的一定需求,为新型核药研发人才打造很好的就业平台。

7.1.3 经济效益

项目运行后,预测每年营业收入约2500万元人民币,将为当地贡献税收约500万元人民币。

综上所述,本项目建设符合新兴医药产业的发展需要,有利于加快实现区域产业发展布局规划,有利于促进当地经济快速发展,增加就业机会,具有明显的经济和社会效益。

7.2 代价分析

7.2.1 经济代价

本项目计划环保投资约1750万元,占总投资的10%。环保投资主要用于回旋加速器屏蔽结构建设,各类安全设施、防护用品、监测仪器的购买和建设,人员的培训、体检、剂量监测,废气、废水、噪声和固体废物的处置,环境管理、环境监测及事故预防设施建设等。

7.2.2 社会和环境代价

本项目建设用地不涉及居民拆迁和土地、农作物等征购问题,项目建设和运行对社会影响较小。项目运行依托金坛经济开发区内基础设施,厂址地块已具备通水通电

条件，项目建设的社会代价较小。

经预测，项目对环境的影响满足国家标准要求，对环境的影响是可接受的。

7.2.3 资源代价

本项目利用的是金坛经济开发区内已规划预留的工业用地，厂区占地面积6603m²。项目建成后在生产厂房四周进行适当绿化，恢复部分绿化资源。

本项目总投资17500万元，环保投资1750万元。环保投资一览表见表7.2-1。

表7.2-1 本项目环保投资一览表

序号	类别	环保设施（措施）	投资金额（万元）
1	辐射安全和防护措施	各场所的屏蔽防护设施及辐射安全措施的施工建设，热室、通风柜、防护柜、铅废物桶等辐射防护设备购买，放射性废物暂存设施和通风设施的施工建设	1675
2	辐射工作人员管理	辐射工作人员的辐射安全与防护培训、职业健康体检、个人剂量监测	15
3	监测仪器	4台辐射巡检仪、1台中子剂量率仪、4台表面沾污仪、6台个人剂量报警仪、13台固定式场所剂量监测仪和5台固定式中子剂量监测仪	30
4	事故应急措施	事故应急救援物资和装备的准备	10
5	其他	辐射安全规章制度的制定、竣工环保验收	20
合计			1750

7.3 正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“4.3 辐射防护要求”：对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

公司引进和使用的回旋加速器系统属于国际和国内技术领先的放射性核素生产装置。项目的建成和实施可以为金坛经济开发区带来可观的经济效益，公司招收高层次的医药化学专业人才，提供研发创新平台，具有良好的社会效益。项目在创造良好经济效益和社会效益的同时，在经采取辐射防护屏蔽和安全管理措施后，其对受电离辐射照射的个人和社会带来的利益要远大于其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

第八章 结论与建议

8.1 项目工程概况

8.1.1 建设项目规模

根据生产需求，公司对已环评的新建放射性同位素生产项目进行设计变更，包括对加速器的型号、放射性核素 ^{68}Ge 的生产量、加速器机房、靶室和热室的屏蔽防护厚度、非密封放射性工作场所的布局以及放射性废物的储存方式等均进行了调整，重新办理环境影响评价手续，并报审管部门审批。

公司新建放射性同位素生产项目设计变更后，回旋加速器型号由IBA S250i型变更为IBA Cyclone® IKON 30型，质子最大能量仍为30MeV、束流强度仍为1300 μA ，仍属于I类射线装置；生产厂房一层放射性同位素生产车间日等效最大操作量由 $4.05\text{E}+09\text{Bq}$ 变更为 $4.67\text{E}+11\text{Bq}$ ，二层质检车间日等效最大操作量由 $2.78\text{E}+08\text{Bq}$ 变更为 $9.25\text{E}+07\text{Bq}$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，公司生产厂房一层放射性同位素生产车间仍属于甲级非密封放射性物质工作场所，公司生产厂房二层质检车间仍属于乙级非密封放射性物质工作场所。

8.1.2 污染源项分析

回旋加速器在运行时会产生 γ 射线、中子辐射、感生放射性、表面污染以及放射性废水、放射性固体废物、放射性废气等放射性废物；放射性同位素在生产、质检过程中会产生 γ 射线、 β 射线及其韧致辐射、表面污染以及放射性废水、放射性固体废物、放射性废气等放射性废物。

8.2 产业政策及实践正当性评价

本项目属于《产业结构调整指导目录（2024年本）》（2024年修订）中“鼓励类”第六项“核能”中第4条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，本项目建设符合国家产业政策。

本项目不属于《省政府办公厅关于印发江苏省化工产业结构调整限制和淘汰目录（2025年本）的通知》（苏政办规〔2025〕7号）中限制和淘汰类项目，本项目建设符合江苏省产业政策。

公司引进和使用的回旋加速器系统属于国际和国内技术领先的放射性核素生产装置。项目的建成和实施可为金坛经济开发区带来可观的经济效益，公司招收高层次的医药化学专业人才，提供研发创新平台，具有良好的社会效益。项目在创造良好经

济效益和社会效益的同时，在经采取辐射防护屏蔽和安全管理措施后，其对受电离辐射照射的个人和社会带来的利益要远大于其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

8.3 辐射安全与防护措施评价

8.3.1 辐射防护措施评价

本项目放射性同位素生产车间、质检车间相对独立，放射性同位素生产车间和质检车间根据不同的生产要求和用途划分为各个独立的功能单元，各功能单元内均配备单独的辐射工作人员，各功能单元布局较为紧凑，既能有机联系、又互不干扰，同时各功能单元内分设物流通道和人流通道，人流、物流通道分开。同时，加速器机房、靶室采用混凝土浇筑，各功能单元内采用热室、通风柜等屏蔽措施，加速器机房、靶室、热室、通风柜的屏蔽防护设计满足辐射防护的要求。

8.3.2 辐射安全措施评价

本项目投入运行后，放射性同位素生产车间、质检车间和放射性废物暂存间人员出入门表面拟设置电离辐射警告标志，并拟设置门禁和监控系统，防止无关人员进入。各放射性工作场所拟采取的辐射安全措施主要有：

（1）加速器机房和靶室辐射安全措施：加速器操作许可、急停开关、巡检开关、门机联锁、剂量联锁、紧急开门按钮、声光信号警示装置、警告标志、视频监控、防夹装置、门禁系统等。

（2）放射性同位素生产车间辐射安全措施：门禁系统、警告标志、固定式辐射监测系统、视频监控、双人双锁、入侵报警系统等。

（3）质检车间辐射安全措施：门禁系统、视频监控、双人双锁等。

（4）放射性废物暂存间辐射安全措施：门禁系统、警告标志、固定式辐射监测系统、视频监控、双人双锁、入侵报警系统以及专用的通讯系统、烟雾报警系统和灭火器材等。

本项目拟采取的辐射安全措施具有多元性、冗余性、独立性的特点，以上辐射安全措施在严格落实且有效运行的情况下，可确保本项目的辐射安全。

8.4 环境影响评价

8.4.1 施工期环境影响评价

项目施工期产生的废气、废水、噪声和固体废弃物等将会对环境产生一定程度的影响，公司在施工期已采取了及时洒水抑制扬尘；施工期产生的泥浆经沉淀池沉淀，

上清液纳管排放，沉沙作为固体废物处理，施工人员的生活污水纳入城市污水管网；合理安排施工时间，选用低噪声工艺和设备；对建筑垃圾进行及时清运，生活垃圾统一收集后由环卫部门定期清运处理等措施，对周围环境影响较小。

公司生产厂房的土建施工已基本完成，后期主要进行内部场所的施工建设、设备安装及装修装饰等。在后期施工建设过程中，建设单位将继续采取上述相应的污染防治措施，本项目施工期不长，对当地大气环境、水环境、声环境、生态环境等影响时间较短，随着施工期间的结束，对环境的影响也将消除。

8.4.2 运行期环境影响评价

8.4.2.1 辐射环境影响评价

场所辐射剂量率评价：本项目加速器机房、靶室、放射性同位素生产车间、质检车间、放射性废物暂存间、热室、通风柜、放射性废物转运容器及货包表面的辐射剂量率满足相关标准要求。

人员年有效剂量评价：本项目所致辐射工作人员年有效剂量最大约为3.40mSv，所致评价范围内公众年有效剂量最大约为0.06mSv，辐射工作人员和公众年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本项目管理目标（职业人员年有效剂量不超过5mSv，公众年有效剂量不超过0.1mSv）的剂量限值要求。

8.4.2.2 放射性三废治理措施评价

（1）放射性废气治理措施评价

本项目一层放射性同位素生产车间、二层质检车间和地下层放射性废物暂存间均设计有通风系统，加速器机房、靶室通风换气次数不低于20次/h，其他辐射工作场所及地下放射性废物暂存间通风换气次数不小于2次/h，热室、通风柜风速不低于1m/s，热室、通风柜的顶壁设计有高效过滤器，各辐射工作场所的排风系统设计有止回阀，6套放射性排风系统在生产厂房的二层设计有高效过滤器，在三层屋顶汇至主排气管道，并设置1个总排放口，1套含酸废气的排风系统在三层屋顶单独设计有1个排放口，并设计有活性炭过滤装置，该两个废气排放口均高出三层屋顶6.5m，高出四层屋顶约2m，产生的放射性废气经高效过滤器过滤后排放，对周围辐射环境影响很小。

（2）放射性废水治理措施评价

①回旋加速器系统泄漏或外排的冷却水经机房或靶室地面预埋管道排至地下层放射性废物暂存间的放射性废水衰变系统内单独储存，暂存至少1年后取样检测，满

足总 $\alpha < 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta < 10\text{Bq/L}$ 、 ^3H 的放射性活度浓度 $< 10\text{Bq/L}$ 后，重新回用或作为非放射性废水由有资质单位回收处置；

②放射性同位素生产车间和质检车间产生的含有放射性核素的清洗废水通过专用管道排至地下层放射性废物暂存间的放射性废水衰变系统内暂存，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置；

③本项目每批次产品生产产生的含有放射性的废酸溶液，分类收集在防摔玻璃瓶内，玻璃瓶外套锡罐（玻璃瓶和锡罐外表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签），暂存在地下层放射性废物暂存间放射性废物仓储系统的蜂巢仓内，最终作为放射性固体废物定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置；

④本项目每批次产品质检产生的放射性工艺废液，收集在防摔玻璃瓶内，玻璃瓶外套锡罐（玻璃瓶和锡罐外表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签），暂存在地下层放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域，暂存十个半衰期，经检测容器表面辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，再移至危废暂存间内，最终作为危废定期委托有资质的危废回收单位回收处置；

⑤放射性同位素生产车间和质检车间事故工况下产生的应急淋浴废水，收集在应急淋浴下方的集水箱中，密封后（箱体表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签）运送至地下层放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域暂存，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。

（3）放射性固体废物

①加速器机房区域设计有加速器废弃物间，废弃物间内设置1个高活性铅废物桶和1个非高活性铅废物桶，铅废物桶内放置专用垃圾袋，分别用于储存废碳膜等高活性固废和一次性沾污废物等非高活性固废，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。

②加速器系统检维修过程中产生的活化部件由承担维护保养的设备生产单位（IBA公司）负责从机房或靶室中取出，密封在专用垃圾袋内（垃圾袋表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签），暂存在加速器废弃物间中，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。

③热室内产生的废靶件、离子树脂交换柱等放射性固体废物分别用内衬塑料的锡罐收集，锡罐外表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签，暂存在地下层放射性废物暂存间放射性废物仓储系统的蜂巢仓内，定期委托有放射性废物处理资质的单

位回收处置。

④热室检维修过程中产生的废弃元器件由设备生产单位（ITD公司）负责从热室中取出，密封在专用垃圾袋内（垃圾袋表面粘贴标明废物类型、储存日期等信息的标签），暂存在地下层放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域，定期委托有放射性废物处理资质的单位回收处置。

⑤放射性同位素生产车间、质检车间和放射性废物暂存间产生的被污染的手套、口罩、工作服、吸水纸、注射器、移液器、高效过滤器的滤芯、毛细管、针头等耗材，分类收集后进行密封并在垃圾袋表面贴上标签（注明废物类型、存放日期等信息），暂存在地下层放射性废物暂存间的低活度放射性废物储存区域，经检测垃圾袋表面辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，作为非放射性固废由有资质的危废回收单位回收处置。

综上所述，采取上述措施后，本项目产生的放射性废物均能得到有效的控制和处理，对周围环境影响很小。

8.4.2.3 非放射性三废治理措施评价

（1）废气治理措施评价

本项目加速器机房和靶室内设置有通风系统，通风系统的通风量可使机房、靶室通风换气次数不小于20次/h，机房、靶室内产生的少量臭氧和氮氧化物通过通风系统排入大气环境中，臭氧在常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

（2）废水治理措施评价

靶材在热室化学提纯过程中使用硫酸、盐酸、柠檬酸等化学试剂，每年产生约9.3L的废酸（主要是超过有效期的废弃试剂，不含放射性），属于《国家危险废物名录》（2025年版）中的HW49-其他废物，废物代码为900-047-49，这部分废酸作为危险废物暂存于厂区的危废暂存间，定期委托有资质的危废回收单位回收处置，对周围环境影响很小。

生产厂房内工作人员日常工作中，年产生生活污水约576t，直接汇入金坛经济开发区内的污水管网，经金坛第二污水处理厂集中处理后，尾水排放至尧塘河，因此本项目生活污水排放不会对周围环境水体产生不良影响。

（3）固体废物治理措施评价

放射性核素生产及质检过程中产生的不含放射性的无菌瓶、卡套、硅胶板、移液枪枪头、针头针孔、培养基、废活性炭等，属于《国家危险废物名录》（2025年版）

中的HW49-其他废物，废物代码为900-047-49，暂存于厂区的危废暂存间，定期委托有资质的危废回收单位回收处置，对周围环境影响很小。

本项目运行过程中产生的非放射性工艺固废分类收集后交由废品收购站处置，对不可回收的固体废物集中收集后交由市政环卫部门处理；工作人员产生的少量生活垃圾交由市政环卫部门定期清运，对周围环境影响较小。

(4) 噪声治理措施评价

本项目室内噪声源主要包括：地下层的空调冷水机、生活污水提升泵和消防水泵，一层的非放射性区域的排风机、二层的新风机组、循环冷却水水泵、去离子水泵和非放射性区域的排风机，均为室内布置，采用建筑隔声；室外噪声源主要是三层屋顶上安装的空压机、闭式冷却塔、风冷空调外机和排风机。本项目将采用低噪声的风机，并采取基础减振，进行降噪处理，经预测，公司厂界噪声昼间、夜间贡献值均能满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中3类功能区标准要求，对周围环境影响很小。

8.5 辐射防护监测仪器评价

公司拟配备4台辐射巡检仪、1台中子剂量率仪、4台表面沾污仪、6台个人剂量报警仪、13台固定式场所剂量监测仪和5台固定式中子剂量监测仪，以及为每名辐射工作人员配备个人剂量计。落实后，能够满足辐射监测仪器配备要求。

8.6 辐射安全管理

公司拟成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确各成员的管理职责。公司辐射工作人员均拟将参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训并考核合格，佩戴个人剂量计和参加职业健康体检，按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。公司还拟针对本项目制定相应的辐射安全管理规章制度和监测计划，使其具有较强的针对性和可操作性，同时在工作中将其落到实处，确保辐射工作的安全。公司在落实和完善上述各项辐射防护措施及管理要求后，公司将具备从事本项目辐射活动的综合能力。

8.7 公众参与情况评价

建设单位根据《环境影响评价公众参与办法》《江苏省生态环境保护公众参与办法》的要求开展了公众参与工作，通过公共媒体网站公示、张贴公告等方式广泛征求了公众意见，满足相关法规要求，公示期间未收到与本项目环境保护相关的反馈意见。

8.8 结论

综上所述，齐康原医疗科技（常州）有限公司新建放射性同位素生产项目（重新报批）在落实本报告所提出的各项污染防治和管理措施后，该公司具备与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

8.9 建议和承诺

（1）项目在建造和运行过程中必须严格落实项目设计及本报告中提出的安全防护措施和相关管理要求。

（2）所有设备资料、台账和监测资料等均应妥善保管，存档备案。

（3）项目取得批复并建成后，应根据有关规定及时申领辐射安全许可证。

（4）项目必须在取得辐射安全许可证并通过竣工环保验收合格后，才能投入使用。

（5）项目投入运行后要加强监管监测，严格遵循操作规程，加强对工作人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和工作人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。

（6）建设项目竣工后，公司应按照国家生态环境行政主管部门规定的程序 and 标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，验收期限一般不超过3个月，最长不超过12个月。