

核技术利用建设项目

四川海同同位素科技有限公司

同位素及药物研制大楼建设项目

环境影响报告书

(送审本)

四川海同同位素科技有限公司

二〇二二年五月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

四川海同同位素科技有限公司

同位素及药物研制大楼建设项目

环境影响报告书

建设单位名称：四川海同同位素科技有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：乐山市夹江县木城镇核技术应用产业园

邮政编码：614106

联系人：***

电子邮箱：***

联系电话：***

目录

第一章 概述.....	1
1.1 项目名称、地点	1
1.1.1 名称	1
1.1.2 地点	1
1.2 项目概况	1
1.2.1 项目由来.....	1
1.2.2 项目基本情况	2
1.2.3 劳动定员和工作制度	12
1.2.4 区域规划与产业政策符合性.....	13
1.2.5 项目单位的能力及项目建设的正当性.....	14
1.2.6 项目所在地周边环境简述	15
1.2.7 项目选址合理性分析	15
1.3 编制依据	17
1.3.1 国家相关法律	17
1.3.2 国家相关行政法规、条例	18
1.3.3 部门规章、规范性文件.....	18
1.3.4 技术规范和标准	18
1.3.5 与项目有关的文件、资料.....	19
1.4 评价标准	19
1.4.1 放射性评价标准.....	19

1.4.2 非放射性评价标准	21
1.5 评价等级	22
1.6 评价范围和保护目标	24
1.6.1 评价范围	24
1.6.2 保护目标	24
第二章 自然环境与社会环境状况	25
2.1 自然环境状况	25
2.1.1 地理位置	25
2.1.2 地形、地貌	25
2.1.3 地质、地震	26
2.1.4 水文概况	28
2.1.5 气候气象	30
2.1.6 土壤、植被	30
2.1.7 矿产资源	31
2.2 社会经济状况	31
2.2.1 经济发展状况	31
2.2.2 人口	32
2.2.3 教育、文化	33
2.2.4 交通	33
2.3 环境质量和辐射现状	33
2.3.1 非放射性环境质量现状	33
2.3.2 辐射环境质量现状	33

2.4 场址适宜性评价	33
第三章 工程分析与源项.....	35
3.1 项目规模与基本参数	35
3.1.1 项目建设情况	35
3.1.2 项目组成及依托的公辅设施	48
3.1.3 项目涉及核素的基本参数及理化性质	53
3.1.4 产品规模	54
3.1.5 工作场所分级	55
3.2 工程设备与工艺分析	61
3.2.1 工程设备及主要原辅料消耗	61
3.2.2 工艺分析	68
3.2.3 人流和物流路径规划	69
3.3 污染源项	72
3.3.1 施工期污染源项	72
3.3.2 营运期污染源项	74
3.4 废弃物	89
3.4.1 放射性废弃物	89
3.4.2 非放射性废弃物	103
3.5 总量控制	105
3.5.1 总量计算	105
3.5.2 总量控制指标	106
第四章 辐射安全与防护.....	107

4.1 场所布局与屏蔽	107
4.1.1 场所布局	107
4.1.2 屏蔽设计	109
4.2 辐射安全与防护措施	116
4.2.1 建筑物屏蔽	116
4.2.2 生产装置屏蔽	117
4.2.3 工作场所与放射性物质的实体保卫	119
4.2.4 操作过程中的辐射安全与防护措施	120
4.2.5 其他辐射安全与防护措施	121
4.2.6 辐射安全与防护措施要求对照分析	122
4.2.7 生产场所的防渗处理措施	123
4.3 三废的治理	124
4.3.1 放射性污染物治理措施	124
4.3.2 非放射性污染物治理措施	130
4.4 服务期满后的环境保护措施	131
4.4.1 设计阶段对退役实施的考虑	131
4.4.2 退役环保措施	132
第五章 环境影响分析	133
5.1 建设阶段对环境的影响	133
5.1.1 施工期废气及其环境影响	133
5.1.2 施工期废水及其环境影响	136
5.1.3 施工期噪声及其环境影响	137

5.1.4 施工期固体废物及其环境影响	140
5.1.5 施工期水土流失的影响分析	141
5.2 运行阶段对环境的影响	142
5.2.1 项目运行期放射性环境影响	142
5.2.2 项目运行期非放射性环境影响	142
5.3.1 事故分级	144
5.3.2 辐射事故识别	144
5.3.3 最大潜在事故影响分析	145
5.3.4 事故预防措施	145
第六章 辐射安全管理	147
6.1 机构与人员	147
6.1.1 辐射安全与环境保护机构	147
6.1.2 辐射工作人员配备计划	147
6.2 辐射安全管理规章制度	149
6.2.1 辐射安全与防护管理制度	149
6.2.2 生产操作规程及岗位职责	149
6.3 辐射监测	150
6.3.1 个人剂量监测	150
6.3.2 工作场所监测	150
6.3.3 流出物监测	152
6.3.4 环境监测	152
6.4 辐射事故应急	153

6.4.1 应急响应机构	153
6.4.2 应急响应	154
6.4.3 应急物资与保障	155
6.4.4 应急培训与演练	156
第七章 利益-代价简要分析	157
7.1 利益分析	157
7.1.1 产品用途	157
7.1.2 社会效益	157
7.2 代价分析	161
7.2.1 社会代价	161
7.2.2 经济代价	162
7.2.3 环境代价	163
第八章 结论与建议	165
8.1 项目工程概况	165
8.2 辐射安全与防护	165
8.3 环境影响分析	166
8.4 辐射安全管理	166
8.5 建议和承诺	167
8.6 项目竣工验收检查内容及要求	167
8.6.1 项目竣工验收检查内容	167
8.6.2 项目竣工验收检查要求	169

第一章 概述

1.1 项目名称、地点

1.1.1 名称

项目名称：同位素及药物研制大楼建设项目。

建设单位：四川海同同位素科技有限公司（以下简称海同公司）。

建设性质：新建。

1.1.2 地点

项目建设地点位于四川省乐山市夹江县木城镇核技术应用产业园。中心位置为东经 103°28′，北纬 29°46′。厂址距乐山市 36.5km，离夹江县城 10.5km，东侧距青衣江 1.5km。四面环山，西北 6.6km 处为大旗山，海拔 1095m；西南 9km 处为黑包山，海拔 1266m。

1.2 项目概况

1.2.1 项目由来

四川海同同位素科技有限公司为中国核动力研究设计院全资子公司、成都核总核动力研究设计工程有限公司依法出资设立的控股子公司，公司成立于 2022 年，拟开展同位素生产线及其配套设施建设，具备靶件处理、制备提纯、产品分装、质量检验、废物收集暂存等功能，用于医用同位素原料处理，满足批量化生产需求，为国内市场提供急需的医用同位素原料，解决医用同位素原料依赖进口的“卡脖子”问题，提升我国医用同位素产业影响力。

在现阶段及可预期的将来一段时间内，全球医用同位素面临生产能力萎缩、市场需求量稳定增长的矛盾，且中国医用同位素严重依赖进口，制约医用同位素市场的健康发展。为了解决医用放射性同位素原料供应问题，以及实现医用同位素国产化，促进我国核技术应用产业的快速发展，创造显著的经济和社会效益，提升我国同位素领域国际市场竞争力和行业影响力。公司拟实施同位素及药物研制大楼建设项目，于夹江县夹江核技术应用产业园内新建厂区，用于医用同位素

的生产、使用和销售。

本项目属于核技术利用项目中的生产、使用、销售非密封放射性物质（属于甲级非密封放射性物质工作场所），按照《中华人民共和国环境保护法》、《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》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第 449 号）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（国家环保部令 第 18 号）规定和要求，本项目需进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部部令 第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行），本项目属于“第五十五项—172 条核技术利用建设项目—甲级非密封放射性物质工作场所”，应编制环境影响报告书。为此，四川海同委托中国核动力研究设计院承担本项目的的环境影响报告书编制工作。我单位接受委托后，通过现场勘察、收集资料等工作，结合本项目的特点，按照国家有关技术规范要求，编制完成《同位素及药物研制大楼建设项目环境影响报告书》。

1.2.2 项目基本情况

项目总投资 9691 万元，工程总用地面积 33447.33m²，构筑物总占地面积约 5496m²，总建筑面积约为 10500m²。

本工程新建中试楼、研发楼、包材试剂库房、门卫及大门、消防水池、烟囱等构筑物。中试楼为医用同位素生产设施的主工艺厂房，研发楼为配套实验、研发、办公设施，包材试剂库房、消防水池、烟囱等为生产配套设施。

建设内容包括：

① 中试楼

中试楼占地面积约为 4104m²，建筑面积约为 7141m²，主要为同位素生产设施区域，地下一层为废液收集间；地上一层布置 ¹²⁵I、¹⁴C、¹⁷⁷Lu、²²³Ra、⁹⁰Y、³²P、¹⁶⁶Ho、¹⁸⁸Re 等 8 条同位素生产线；设 2 个放化分析实验室、1 个制样间和 1 个样品间；此外一层还布置放射性阳性接种室和放射性无菌室，二层布置 3 个放化实验室、1 个标记实验室、1 个放射性原料间和 1 个靶件制备间以及废物暂存区。

② 研发楼

研发楼占地面积约为 1024m²，建筑面积约为 2992m²，与中试楼通过连廊通道连接，主要为配套实验、研发、办公设施，地上一层布置纯水制备间、男女更衣

间、淋浴间、门厅、会议室等，二层主要为办公室、阅览室等房间；三层主要为化学试剂间、化学实验室以及化学检验间以及标准物质间等房间。

③ 包材试剂库房

包材试剂库房占地面积约为 320m²，建筑面积约为 320m²，由前厅、试剂库、包材库房和水泵房组成。

④ 门卫及大门

门卫及大门占地面积约为 47.5m²，建筑面积约为 47.5m²，主要由值班室、休息室和卫生间组成。

⑤ 消防水池和烟囱

消防水池为室外独立地下构筑物、烟囱为室外构筑物。

1.2.2.1 建设内容

本项目建筑占地面积约 5496m²，总建筑面积约为 10500m²，主要建筑分为中试楼、研发楼、包材试剂库房、门卫及大门。其中主体工程为同位素生产区域（中试楼），其余部分为同位素生产辅助设施区域，下面分别对不同区域进行描述。

1.2.2.1.1 主体工程

中试楼局部地下 1 层，地上 2 层、局部 1 层的建筑物，建筑物长×宽为：93.5m×43.9m（外墙尺寸含保温层），地下一层层高 5.00m，一、二层层高 7.50m。建筑占地面积约 4104m²，建筑面积约 7141m²。共设置 8 条同位素生产线，分别为 I-125 生产线、C-14 生产线、Lu-177 生产线、P-32 生产线、Ra-223 生产线、¹⁸⁸W-¹⁸⁸Re 发生器生产线、Y-90 生产线、Ho-166 生产线；设置 2 间放化分析实验室、1 间制样间和 1 间样品间用于产品质检等过程；设置放射性阳性接种室和放射性无菌室用于后端产品进行细菌毒素研究；设置 3 间放化实验室用于开展相关放射性实验；设置 1 间标记实验室用于医用放射性同位素标记与应用研究；设置 1 间放射性原料间和靶件制备间用于放射性原料的暂存以及靶件制备；此外地下一层设置废液收集间用于放射性废液和其他非放废液的收集暂存，二层设置废物暂存区用于放射性固体废物的收集暂存。

（1）8 条同位素生产线

① 碘-125 生产线

碘-125 生产线由 5 个屏蔽工作箱组成, 编号为 I-1、I-2、I-3、I-4、I-5。产品是碘 ^{125}I 化钠溶液, 产品活度浓度为 $3.7\times 10^{10}\text{Bq/ml}$, 该生产线对于 ^{125}I 核素的单批次最大操作量为 $1.85\times 10^{13}\text{Bq}$, 每批次处理时间 5h, 每天处理 1 批次, 日最大操作量为 $1.85\times 10^{13}\text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $3.7\times 10^{12}\text{Bq}$, 年最大操作量为 $1.11\times 10^{15}\text{Bq}$ (30000Ci)。

② 碳-14 生产线

碳-14 生产线由 2 个屏蔽工作箱和 1 个热室组成, 编号分别为 C-1、C-2、RS 1。产品是碳 ^{14}C 酸钡, 产品活度浓度为 $9.25\times 10^9\text{Bq/g}$, 该生产线对于 ^{14}C 核素的单批次最大操作量为 $7.4\times 10^{10}\text{Bq}$, 每批次处理时间 12h, 每天处理 1 批次, 日最大操作量为 $7.4\times 10^{10}\text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $7.4\times 10^{12}\text{Bq}$, 年最大操作量为 $7.4\times 10^{12}\text{Bq}$ (200Ci)。

③ 磷-32 生产线

磷-32 生产线由 5 个屏蔽工作箱组成, 编号分别为 P-1、P-2、P-3、P-4、P-5。产品包括有载体磷 ^{32}P 酸钠溶液、无载体磷 ^{32}P 酸钠溶液和磷 ^{32}P 玻璃微球, 该生产线对于有载体磷 ^{32}P 酸钠溶液的单批次最大操作量为 $5.55\times 10^{11}\text{Bq}$, 产品的活度浓度为 $1.85\times 10^9\text{Bq/ml}$, 每批次处理时间 4h, 每天处理 1 批次, 日最大操作量为 $5.55\times 10^{11}\text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $5.55\times 10^{13}\text{Bq}$, 年最大操作量为 $2.775\times 10^{13}\text{Bq}$ (7500Ci)。该生产线对于无载体磷 ^{32}P 酸钠溶液的单批次最大操作量为 $5.55\times 10^{11}\text{Bq}$, 产品的活度浓度为 $1.85\times 10^9\text{Bq/ml}$, 每批次处理时间 4h, 每天处理 1 批次, 日最大操作量为 $5.55\times 10^{11}\text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $5.55\times 10^{13}\text{Bq}$, 年最大操作量为 $2.775\times 10^{13}\text{Bq}$ (7500Ci)。该生产线对于磷 ^{32}P 玻璃微球的单批次最大操作量为 $5.55\times 10^{11}\text{Bq}$, 产品的活度浓度为 $7.4\times 10^{12}\text{Bq/kg}$, 每批次处理时间 4h, 每天处理 1 批次, 日最大操作量为 $5.55\times 10^{11}\text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $5.55\times 10^9\text{Bq}$, 年最大操作量为 $2.775\times 10^{13}\text{Bq}$ (7500Ci)。

磷-32 生产线建成后, 具备单批次 15 Ci 处理能力, 年操作 150 批次, 年操作量为 $8.325\times 10^{13}\text{Bq}$ (2250 Ci)。

④ 镥-177 生产线

镥-177 生产线由 6 个屏蔽工作箱和 1 个热室组成, 编号为 Lu-1、Lu-2、Lu-3、Lu-4、Lu-5、Lu-6、RS2。产品为氯化镥 ^{177}Lu 溶液, 产品的活度浓度为

3.7×10^{10} Bq/mL。该生产线对于 ^{177}Lu 核素的单批次最大操作量为 7.4×10^{12} Bq，每批次处理时间 8h，每天处理 1 批次，日最大操作量为 7.4×10^{12} Bq，日等效最大操作量为 7.4×10^{14} Bq，年最大操作量为 3.7×10^{14} Bq（10000Ci）。

⑤ 镭-223 生产线

镭-223 生产线由 6 个屏蔽工作箱组成，工作箱体编号为 Ra-1、Ra-2、Ra-3、Ra-4、Ra-5、Ra-6。产品为 $^{223}\text{RaCl}_2$ 溶液，产品的活动浓度为 1.85×10^8 Bq/ml。操作过程涉及核素有 ^{226}Ra 、 ^{227}Ac 、 ^{223}Ra ，该生产线对于 ^{226}Ra 核素的单批次最大操作量为 7.4×10^9 Bq，每天处理 1 批，每批次处理 4h，每年处理 50 批，日最大操作量为 7.4×10^9 Bq，日等效最大操作量为 7.4×10^{13} Bq，年最大操作量为 3.7×10^{11} Bq（10 Ci）。该生产线对于 ^{227}Ac 核素的单批次最大操作量为 3.7×10^9 Bq，每天处理 1 批，每批次处理 4h，每年处理 70 批，日最大操作量为 3.7×10^9 Bq，日等效最大操作量为 3.7×10^9 Bq，年最大操作量为 2.59×10^{11} Bq。该生产线对于 ^{223}Ra 核素的单批次最大操作量为 9.25×10^{10} Bq，每次淋洗 100 条，每年操作 20 次。日最大操作量为 9.25×10^{10} Bq，日等效最大操作量为 9.25×10^{10} Bq，年最大操作量为 1.85×10^{12} Bq（50 Ci）。

⑥ ^{90}Y 生产线

^{90}Y 生产线由 5 个屏蔽工作箱组成，工作箱体编号为 Y-1、Y-2、Y-3、Y-4、Y-5。产品为 $^{90}\text{YCl}_3$ 溶液，产品活度浓度为 1.85×10^9 Bq/ml。涉及核素有 ^{90}Y 、 ^{90}Sr ，该生产线对于 ^{90}Y 核素的单批次最大操作量为 3.7×10^{11} Bq，每批次淋洗 20 个发生器，操作时间 8h，每天操作 1 批次，每年操作 120 批次，日最大操作量为 3.7×10^{11} Bq，日等效最大操作量为 3.7×10^9 Bq，年最大操作量为 4.44×10^{13} Bq（1200Ci）。该生产线对于 ^{90}Sr 核素的单批次最大操作量为 7.4×10^{10} Bq，每批次操作时间 5h，每天操作 1 批次，每两个月操作 5 天，每年操作 30 天，日最大操作量为 7.4×10^{10} Bq，日等效最大操作量为 7.4×10^{10} Bq，年最大操作量为 2.22×10^{12} Bq（60Ci）。

⑦ ^{188}W - ^{188}Re 发生器生产线

^{188}W - ^{188}Re 发生器生产线由 5 个屏蔽工作箱和 1 个热室组成，箱体编号为 Re-1、Re-2、Re-3、Re-4、Re-5、RS3。产品有两种分别为钨镱发生器和 $^{188}\text{ReCl}_2$ 溶液，产品活度浓度分别为 1.85×10^{10} Bq/条和 1.85×10^9 Bq/ml。涉及核素有 ^{188}Re 、 ^{188}W 。该生产线对于 ^{188}W 核素的单批次最大操作量为 3.7×10^{10} Bq，每批次操作时间

6h, 每天操作 1 批次, 每年操作 100 天, 日最大操作量为 3.7×10^{10} Bq, 日等效最大操作量为 3.7×10^{11} Bq, 年最大操作量为 3.7×10^{12} Bq (100Ci)。该生产线对于 ^{188}Re 核素的单批次最大操作量为 1.85×10^{11} Bq, 每批次淋洗 10 个发生器, 每天操作一次, 每年操作 100 天, 每批次操作时间 5h, 日最大操作量为 1.85×10^{11} Bq, 日等效最大操作量为 1.85×10^9 Bq, 年最大操作量为 1.85×10^{13} Bq (500Ci)。

⑧ 钬-166 生产线

钬-166 生产线由 4 个屏蔽工作箱组成, 工作箱体编号为 Ho-1、Ho-2、Ho-3、Ho-4。产品为钬 [^{166}Ho] 聚乳酸微球, 产品的活动浓度为 1.85×10^{10} Bq/g。该生产线对于 ^{166}Ho 核素的单批次最大操作量为 7.4×10^{10} Bq, 每批次生产时间 1h, 每天操作 10 批次, 每年操作 200 天, 日最大操作量为 7.4×10^{11} Bq, 日等效最大操作量为 7.4×10^9 Bq, 年最大操作量为 1.48×10^{14} Bq (4000Ci)。

(2) 放化分析实验室和制样间、样品间

中试楼一层共有 2 间放化分析实验室和 1 间制样间、样品间, 放射化学实验室主要用于样品检验, 实验分析等操作, 配置化学实验台、双位通风柜等实验台面和酸度计、电子天平等设备, 具备常规化学处理功能, 拟操作核素有 I-125, 日最大操作量 9.25×10^8 Bq, 年最大操作量 3.7×10^{10} Bq; C-14, 日最大操作量 1.85×10^8 Bq, 年最大操作量 7.4×10^9 Bq; P-32, 总日最大操作量 4.44×10^9 Bq, 年最大操作量 1.78×10^{11} Bq; Lu-177, 日最大操作量 3.7×10^8 Bq, 年最大操作量 1.48×10^{10} Bq; Ra-223, 日最大操作量 9.25×10^7 Bq, 年最大操作量 3.7×10^9 Bq; Y-90, 日最大操作量 7.4×10^{10} Bq, 年最大操作量 2.96×10^{12} Bq; Re-188, 日最大操作量 1.85×10^{11} Bq, 年最大操作量 7.4×10^{12} Bq; Ho-166, 日最大操作量 7.4×10^9 Bq, 年最大操作量 2.96×10^{11} Bq。

(3) 放射性阳性接种室和无菌室

中试楼一层布置 1 间放射性阳性接种室和 1 间无菌室, 主要用于后端产品细菌毒素研究, 阳性接种室拟操作核素 P-32, 日最大操作量为 4.44×10^5 Bq, 年最大操作量为 1.776×10^7 Bq; Lu-177, 日最大操作量为 3.7×10^4 Bq, 年最大操作量为 1.48×10^6 Bq; Ra-223, 日最大操作量为 9.25×10^3 Bq, 年最大操作量为 3.7×10^5 Bq; Y-90, 日最大操作量为 7.4×10^5 Bq, 年最大操作量为 2.96×10^7 Bq; Re-188, 日最大操作量为 1.85×10^6 Bq, 年最大操作量为 7.4×10^7 Bq; Ho-166, 日最大操作量为 7.4×10^9

^{55}Fe ，年最大操作量为 $2.96 \times 10^7 \text{Bq}$ 。放射性无菌室拟操作核素 P-32，日最大操作量为 $4.44 \times 10^6 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $1.776 \times 10^8 \text{Bq}$ ；Lu-177，日最大操作量为 $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $1.48 \times 10^7 \text{Bq}$ ；Ra-223，日最大操作量为 $9.25 \times 10^4 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $3.7 \times 10^6 \text{Bq}$ ；Y-90，日最大操作量为 $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $2.96 \times 10^9 \text{Bq}$ ；Re-188，日最大操作量为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ ；Ho-166，日最大操作量为 $7.4 \times 10^6 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $2.96 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

(4) 放化实验室

中试楼二层布置 3 间放化实验室，其中放化实验室 1、2 拟操作核素 C-14，日最大操作量 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大操作量 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；P-32，总日最大操作量 $4.44 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大操作量 $1.78 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；Lu-177，日最大操作量 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大操作量 $1.48 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；Sr-90，日最大操作量 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，年最大操作量 $7.4 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；Y-90，日最大操作量 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，年最大操作量 $7.4 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；放化实验室 3 拟操作核素 C-14，日最大操作量 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大操作量 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；P-32，日最大操作量 $4.44 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大操作量 $1.78 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；Lu-177，日最大操作量 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大操作量 $1.48 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；Sr-90，日最大操作量 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，年最大操作量 $7.4 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；Y-90，日最大操作量 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，年最大操作量 $7.4 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；Ra-226，日最大操作量 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大操作量 $2.96 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；Ac-227，日最大操作量 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大操作量 $1.48 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；Ra-223，日最大操作量 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大操作量 $2.96 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。

(5) 放射性原料间和靶件制备间

放射性原料间和靶件制备间主要用于原料的暂存和靶件的制备，放射性原料间拟操作核素 Ra-226，日最大操作量 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；Sr-90，日最大操作量 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $2.22 \times 10^{12} \text{Bq}$ ；Y-90 日最大操作量 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $1.11 \times 10^{13} \text{Bq}$ ，靶件制备间拟操作核素核素 Ra-226，日最大操作量 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。

(6) 标记实验室

中试楼二层布置 1 间标记实验室，同位素标记研究实验室，用于医用放射性同位素标记与应用研究，配置化学实验台、双位通风柜、超洁净工作台和真空手套箱等实验台面和酸度计、电子天平等设备，实验室具备洁净区功能。标记实验

室拟操作核素 C-14，日最大操作量 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，年最大操作量 $7.4 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；Lu-177，日最大操作量 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，年最大操作量 $7.4 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；Ra-223，日最大操作量 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大操作量 $1.48 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；Y-90，日最大操作量 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，年最大操作量 $7.4 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；Re-188，日最大操作量 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，年最大操作量 $7.4 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。

1.2.2.1.2 辅助工程

同位素生产辅助设施主要是研发楼、包材试剂库房、门卫及大门、消防水池及烟囱。

(1) 研发楼

研发楼占地面积约为 1024m^2 ，建筑面积约为 2992m^2 ，与中试楼通过连廊通道连接，主要为同位素生产辅助设施区域，共三层，地上一层布置纯水制备间、男女更衣间、淋浴间、门厅、会议室等，二层主要为办公室、阅览室等房间；三层主要为化学试剂间、化学实验室以及化学检验间以及标准物质间等房间。

(2) 包材试剂库房

包材试剂库房为地上一层，占地面积约为 320m^2 ，建筑面积约为 320m^2 ，主要用于试剂包装存放。

(3) 门卫及大门

门卫及大门占地面积约为 47.5m^2 ，建筑面积约为 47.5m^2 ，供安保人员值班用。

(4) 消防水池及烟囱

消防水池为室外独立地下构筑物、烟囱为室外构筑物。

1.2.2.1.3 非密封放射性同位素

本项目操作的核素包括 8 条生产线操作 ^{125}I 、 ^{14}C 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{90}Sr 、 ^{90}Y 、 ^{32}P 、 ^{166}Ho 、 ^{188}Re 、 ^{188}W 、 ^{227}Ac 、 ^{226}Ra 等 12 种核素；一层布置放化分析实验室和制样间、样品间，拟操作核素有 I-125、C-14、P-32、Lu-177、Ra-223、Y-90、Re-188、Ho-166。放射性阳性接种室和无菌室拟操作核素 P-32、Lu-177、Ra-223、Y-90、Re-188、Ho-166；二层布置 3 间放化实验室，放化实验室 1、2 拟操作核素 C-14、P-32、Lu-177、Sr-90、Y-90；放化实验室 3 拟操作核素 C-14、P-32、Lu-177、Sr-90、Y-90、Ra-226、Ac-227、Ra-223。放射性原料间和靶件制备间拟操作核素

Ra-226、Sr-90、Y-90；标记实验室操作核素 C-14、Lu-177、Ra-223、Y-90、Re-188。

各放射性核素操作的具体情况见表 1.2-1。

表1.2-1 放射源同位素操作情况

序号	工作场所名称	场所等级	生产线	核素	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年操作量 (Bq)	活动种类	备注
1	8条生产线	甲级	碘-125 生产线	^{125}I	1.85×10^{13}	1.85×10^{12}	1.11×10^{15}	生产、使用、销售	生产区的场所等级由所有核素的日等效最大操作量之和决定
2			碳-14 生产线	^{14}C	7.4×10^{10}	7.4×10^{12}	7.4×10^{12}	生产、使用、销售	
3			磷-32 生产线	^{32}P	5.55×10^{11}	5.55×10^{13}	2.775×10^1_3	生产、使用、销售	
					5.55×10^{11}	5.55×10^{13}	2.775×10^1_3		
					5.55×10^{11}	5.55×10^9	2.775×10^1_3		
4			镭-177 生产线	^{177}Lu	7.4×10^{12}	7.4×10^{14}	3.7×10^{14}	生产、使用、销售	
5			镭-223 生产线	^{226}Ra	7.4×10^9	7.4×10^{13}	3.7×10^{11}	生产、使用、销售	
				^{227}Ac	3.7×10^9	3.7×10^9	2.59×10^{11}		
				^{223}Ra	9.25×10^{10}	9.25×10^{10}	1.85×10^{12}		
6			钇-90 生产线	^{90}Sr	7.4×10^{10}	7.4×10^{10}	2.22×10^{12}	生产、使用、销售	
				^{90}Y	3.7×10^{11}	3.7×10^9	4.44×10^{13}		
7	钨铼发生器生产线	^{188}W	3.7×10^{10}	3.7×10^{11}	3.7×10^{12}	生产、使用、销售			
		^{188}Re	1.85×10^{11}	1.85×10^9	1.85×10^{13}				
8	钷-166 生产线	^{166}Ho	7.4×10^{11}	7.4×10^9	1.48×10^{14}	生产、使用、销售			
9	一层放化分析	/	^{125}I	9.25×10^8	9.25×10^7	3.7×10^{10}	使用		
10		/	^{14}C	1.85×10^8	1.85×10^8	7.4×10^9	使用		
11		/	^{32}P	1.48×10^9	1.48×10^8	5.92×10^{10}	使用		
	1.48×10^9			1.48×10^8	5.92×10^{10}				
	1.48×10^9			1.48×10^7	5.92×10^{10}				

序号	工作场所名称	场所等级	生产线	核素	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年操作量 (Bq)	活动种类	备注
12	实验室		/	¹⁷⁷ Lu	3.7×10 ⁸	3.7×10 ⁷	1.48×10 ¹⁰	使用	
13			/	²²³ Ra	9.25×10 ⁷	9.25×10 ⁸	3.7×10 ⁹	使用	
14			/	⁹⁰ Y	7.4×10 ¹⁰	7.4×10 ⁸	2.96×10 ¹²	使用	
15			/	¹⁸⁸ Re	1.85×10 ¹¹	1.85×10 ¹⁰	7.4×10 ¹²	使用	
16			/	¹⁶⁶ Ho	7.4×10 ⁹	7.4×10 ⁷	2.96×10 ¹¹	使用	
17			二层放射分析实验室 1-3		/	³² P	1.48×10 ⁹	1.48×10 ⁹	5.92×10 ¹⁰
	1.48×10 ⁹	1.48×10 ⁹					5.92×10 ¹⁰		
	1.48×10 ⁹	1.48×10 ⁷					5.92×10 ¹⁰		
18	/	¹⁷⁷ Lu			3.7×10 ⁹	3.7×10 ⁸	1.48×10 ¹¹	使用	
19	/	⁹⁰ Sr			1.85×10 ¹⁰	1.85×10 ¹⁰	7.4×10 ¹¹	使用	
20	/	⁹⁰ Y			1.85×10 ¹⁰	1.85×10 ⁹	7.4×10 ¹¹	使用	
21	/	¹⁴ C			1.85×10 ⁹	1.85×10 ¹⁰	7.4×10 ¹⁰	使用	
22	/	²²⁶ Ra			7.4×10 ⁹	7.4×10 ¹²	2.96×10 ¹¹	使用	
23	/	²²⁷ Ac			3.7×10 ⁹	3.7×10 ¹⁰	1.48×10 ¹¹	使用	
24	/	²²³ Ra			7.4×10 ⁹	7.4×10 ¹⁰	2.96×10 ¹¹	使用	
25	阳性接种室		/	³² P	4.44×10 ⁵	4.44×10 ⁴	1.776×10 ⁷	使用	
26			/	¹⁷⁷ Lu	3.7×10 ⁴	3.7×10 ³	1.48×10 ⁶	使用	
27			/	²²³ Ra	9.25×10 ³	9.25×10 ⁴	3.7×10 ⁵	使用	
28			/	⁹⁰ Y	7.4×10 ⁵	7.4×10 ⁴	2.96×10 ⁷	使用	
29			/	¹⁸⁸ Re	1.85×10 ⁶	1.85×10 ⁵	7.4×10 ⁷	使用	
30			/	¹⁶⁶ Ho	7.4×10 ⁵	7.4×10 ³	2.96×10 ⁷	使用	
31	放射性无菌室		/	³² P	4.44×10 ⁶	4.44×10 ⁵	1.776×10 ⁸	使用	
32			/	¹⁷⁷ Lu	3.7×10 ⁵	3.7×10 ⁴	1.48×10 ⁷	使用	
33			/	²²³ Ra	9.25×10 ⁴	9.25×10 ⁵	3.7×10 ⁶	使用	
34			/	⁹⁰ Y	7.4×10 ⁷	7.4×10 ⁶	2.96×10 ⁹	使用	
35			/	¹⁸⁸ Re	1.85×10 ⁸	1.85×10 ⁷	7.4×10 ⁹	使用	

序号	工作场所名称	场所等级	生产线	核素	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年操作量 (Bq)	活动种类	备注
36	原料暂存和靶件制备间		/	¹⁶⁶ Ho	7.4×10 ⁶	7.4×10 ⁴	2.96×10 ⁸	使用	
37			/	²²⁶ Ra	7.4×10 ⁹	7.4×10 ¹³	3.7×10 ¹¹	使用	
38			/	⁹⁰ Sr	7.4×10 ¹⁰	7.4×10 ¹⁰	2.22×10 ¹²	使用	
39			/	⁹⁰ Y	3.7×10 ¹¹	3.7×10 ⁹	1.11×10 ¹³	使用	
40	二层标记实验室		/	¹⁴ C	1.85×10 ¹⁰	1.85×10 ¹¹	7.4×10 ¹¹	使用	
41			/	¹⁷⁷ Lu	1.85×10 ¹⁰	1.85×10 ⁹	7.4×10 ¹¹	使用	
42			/	²²³ Ra	3.7×10 ⁹	3.7×10 ¹⁰	1.48×10 ¹¹	使用	
43			/	⁹⁰ Y	1.85×10 ¹⁰	1.85×10 ⁹	7.4×10 ¹¹	使用	
44			/	¹⁸⁸ Re	1.85×10 ¹⁰	1.85×10 ⁹	7.4×10 ¹¹	使用	

1.2.2.2 产品方案

本项目产品包括碘^[125I]化钠溶液、碳^[14C]酸钡固体、氯化镱^[177Lu]溶液、有载体磷^[32P]酸钠溶液、无载体磷^[32P]酸钠溶液、磷^[32P]玻璃微球固体、²²³RaCl₂溶液、¹⁸⁸W-¹⁸⁸Re发生器、¹⁸⁸ReCl₃溶液、⁹⁰Y溶液、钬^[166Ho]聚乳酸微球。本项目产品方案详见表1.2-2。

表 1.2-2 项目产品方案

核素名称	产品活度范围	产品数量	是否对外销售	规格	产品包装材料	厚度
碘-125	3.7×10 ¹⁰ Bq/ml	每批次生产 50 瓶	是	10mL/瓶	西林瓶+铅罐	10mm
碳-14	9.25×10 ⁹ Bq/g	每批次生产 8g	是	根据需求进行分装，不大于 8g/瓶（10mL 西林瓶）	西林瓶+铅罐	2mm
有载体磷 ^[32P] 酸钠/溶液	1.85×10 ⁹ Bq/ml	每批次生产 10-30 瓶	是	10ml/瓶 30mL/瓶	西林瓶+铅罐（带 5mm 聚四氟乙烯内衬）	20 mm 铅
无载体磷 ^[32P] 酸钠/溶液	1.85×10 ⁹ Bq/ml	每批次生产 10-30	是	10ml/瓶 30mL/瓶	西林瓶+铅罐（带 5mm 聚四	20 mm 铅

液		瓶			氟乙烯内衬)	
³² P 玻璃微 球/固体	7.4×10^{12} Bq/kg	每批次生 产 10-30 瓶	是	5g/瓶 15g/瓶	西林瓶+铅罐 (带 5mm 聚四 氟乙烯内衬)	20 mm 铅
镭-177	3.7×10^{10} Bq/mL	每批次生 产 50 瓶	是	100ml/瓶	西林瓶+铅罐	20mm
镭-223	1.85×10^8 Bq/ml	每批次生 产 100 瓶	是	5ml/瓶	西林瓶+铅罐	10mm
⁹⁰ Y	1.85×10^9 Bq/ml	每批次生 产 10 瓶	是	10ml/瓶	西林瓶+铅罐 (带 5mm 聚四 氟乙烯内衬)	20mm
钨铼发生器	1.85×10^{10} Bq/条	每批次生 产两条	是	/	铅	30mm
¹⁸⁸ Re	1.85×10^9 B q/ml	每批次生 产 10 瓶	是	10ml/瓶	西林瓶+铅罐	20mm
¹⁶⁶ Ho	1.85×10^{10} Bq/g	每批次生 产 1 瓶	是	4g/瓶	西林瓶+铅罐 (带 15mm 聚 四氟乙烯内 衬)	40mm

上述产品完成生产后，产品销售的运输由专业物流公司承担，公司具有相关运输资质，有能力开展项目产品的运输。

1.2.3 劳动定员和工作制度

项目建成后公司拟配置工作人员 70 名，其中生产人员为 40 人，管理人员 3 人，其余为技术人员和质保人员等。人员结构具体如下：人员只考虑了管理、生产、运行必要的辅助人员，其他销售、财务、采购等人员暂未考虑。

生产及辅助人员共计 70 人。人员构成如下：

(1) 管理人员

主任 1 人，副主任 2 人

(2) 后勤保障部

后勤保障人员 8 人，负责实验器材、辅助设备、记录、等管理，以及制水、通风保障、水电保障、产品包装等工作。

(3) 生产人员

I-125 生产线：6 人；C-14 生产线：6 人；Lu-177：5 人；P-32 生产线：5 人；Ho-166：5 人；Ra-223：5 人；Y-90：4 人；¹⁸⁸W-¹⁸⁸Re 发生器：5 人。

(4) 技术部

研发人员 10 人。

(5) 质检部

质量检验人员 6 人。

(6) 质安部

质量安全管理 3 人。

表 1.2-3 公司人员配置表

序号	类别	项目	人数(人)	年工作时间(天)	备注
1	生产 人员	I-125 生产线	6	250	
		C-14 生产线	6	250	
		Lu-177 生产线	5	250	
		P-32 生产线	5	250	
		Ra-223 生产线	5	250	
		Y-90 生产线	4	250	
		¹⁸⁸ W- ¹⁸⁸ Re 发生器生产线	5	250	
		Ho-166 生产线	5	250	
2		研发人员	10	250	
3		质量检验人员	6	250	
4		质量安全管理人员	3	250	
5		后勤保障人员	8	250	
6	管理 人员	主任	1	250	
7		副主任	2	250	
合计				70	

注：各个岗位工作人员独立设置不交叉操作。

1.2.4 区域规划与产业政策符合性

(1) 与国家产业政策的符合性

本项目选址在夹江核技术应用产业园内，夹江核技术应用产业园以核技术应用产业为主导，重点发展放射性同位素研发及应用、密封放射源和放射性药物研发及生产、辐照加工、核仪器仪表和放射医疗设备研发设计及制造、核技术服务等相关产业。由此可见，本项目属于放射性同位素研发及应用，与园区产业发展方向一致，符合园区规划要求。

根据中华人民共和国国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，本项目属于**鼓励类**第六项“核能”的第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，项目符合国家产业政策。

因此，本项目符合国家现行产业政策要求。

(2) 项目与相关规划的符合性分析

本项目拟建于夹江核技术应用产业园内，园区于 2019 年编制完成《夹江核技术应用产业园规划环境影响报告书》，并取得了四川省生态环境厅《关于夹江核技术产业园规划环境影响报告书的审查意见》（川环建函[2019]57 号）。该规划

环评及其审查意见中明确了园区准入负面清单包括：①不符合国家环保法律法规、产业政策、环境标准、准入条件、列入国家产能过剩的项目；②贮存、生产危险化学品的企业；③核动力厂（核电厂、核热电厂、核供汽供热厂等）；反应堆（研究堆、实验堆、临界装置等）；核燃料生产、加工、贮存、后处理；铀矿开采、冶炼；铀矿地质勘探、退役治理；伴生放射性矿产资源的采选等项目。本项目属于医用同位素的生产、使用及销售，未列入负面清单，符合入园要求。同时，该规划环评及其审查意见中明确：鼓励园区引入符合夹江县核技术应用产业园主导产业项目，园区规划以核技术应用产业为主导产业。重点发展放射性同位素研发及应用、密封放射源和放射性药物研发及生产、辐照加工、核仪器仪表和放射医疗设备研发设计及制造、核技术服务等相关产业的项目；鼓励发展主业的下游产业、循环经济项目中与区域规划实施不冲突的企业。

综上所述，本项目与夹江核技术产业园规划均相符，项目符合区域相关规划。

1.2.5 项目单位的能力及项目建设的正当性

(1)项目单位的能力

四川海同同位素科技有限公司为中国核动力研究设计院全资子公司、成都核总核动力研究设计工程有限公司依法出资设立的控股子公司，公司将于 2024 年完成 ^{125}I 、 ^{14}C 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{90}Y 、 ^{32}P 、 ^{166}Ho 、 ^{188}Re 等 8 条同位素生产线及其配套设施建设，具备靶件处理、制备提纯、产品分装、质量检验、废物收集暂存等功能，用于医用同位素原料处理，满足批量化生产需求，项目建成后，上述八种核素可依据市场需求，于一至三年内陆续投产，可为国内市场提供急需的医用同位素原料，解决医用同位素原料依赖进口的“卡脖子”问题，提升我国医用同位素产业影响力。

(2)项目正当性分析

国防科工局已将核技术应用产业发展纳入核工业“十三五”发展规划统筹考虑：“加大医用同位素生产等方面的技术储备，合理布局开展医用同位素生产基地、放射性药物生产基地建设”。目前缺少专用的医用同位素生产设施，一旦完成相关设施建设，可向国内外提供同位素核素产品，可解决我国医用放射性同位素严重依赖进口的“卡脖子”问题。

1.2.6 项目所在地周边环境简述

本项目建设地点位于四川省乐山市夹江县核技术应用产业园西南侧，目前项目拟建地及其周边均为在建工地或空地，项目拟建地西南邻成渝环线高速公路（乐雅高速），东临园区规划道路。东面隔园区规划道路为跃进渠，北面目前暂无拟引入的企业，为空地，南面为同辐放射源研发生产基地。

1.2.7 项目选址合理性分析

(1) 与园区功能的相容性

本项目选址于夹江核技术产业园核技术应用生产区的南端，西南邻成渝环线高速公路（乐雅高速），东隔园区规划道路为园区核技术应用综合配套区。本项目为非密封放射性物质研发及生产，属于夹江核技术产业园主导产业之一。项目符合园区的产业规划。

本项目产生污水排入园区工业污水处理厂进行处理，项目产生的非放射性污水可充分依托园区拟建的污水处理设施对项目污水进行处理。同时项目可充分依托园区配套完善的给排水、供配电、供气、道路等配套设施。

(2) 与周围环境关系的相容性

由前述项目外环境关系描述可知，西南邻成渝环线高速公路，东面隔园区规划道路为园区核技术应用综合配套区，南面为同辐放射源研发生产基地，与本项目性质类似，北面地块为目前暂无拟引入的企业，为空地。

项目东面为跃进渠，根据夹江核技术应用产业园规划，园区将跃进渠按 50 年一遇洪水频率设防，根据本项目岩土工程勘察报告，跃进渠历史最高水位为 428.2m，本项目对厂址地基进行了整体填高，整个厂区填方为 33390.91m³，填高后厂址高程为 431.78m，高出跃进渠历史最高水位 3.58m。

跃进渠河堤距离项目主要建筑物中试楼约 139m，中试楼局部地下 1 层，地上 2 层、局部 1 层的建筑物。建筑物内部开展的主要项目如同位素生产均在天上 1 层开展，不会受洪水影响。首先厂址进行了整体填高，跃进渠的洪水不会通过中试楼外墙漫过厂区，项目生产区为密闭厂房，洪水也不可能通过厂房墙体流入厂房内；其次项目中试楼地下 1 层布置有废液收集间，为重点防渗区，采取了等效黏土防渗层 $M_b \geq 6.0\text{m}$ ， $K \leq 1 \times 10^{-7}\text{cm/s}$ 的措施。所以洪水不会通过漫入或入渗的方

式进入厂房地下一层。即使因为其他原因导致洪水少量进入地下负一层，放射性废液均由贮槽储存，贮槽的材料为 06Cr18Ni11Ti，尺寸为 $\varnothing 2000 \times 4000 \text{mm}$ ，壁厚 8mm，能一定程度阻挡洪水的浸泡。故项目采取的各项措施能有效抵御洪水的影响。

项目周围无大型居民聚集区，无项目建设的限制性因素。项目周边为类似医药生产企业，无易燃、易爆物品的生产和贮存区，项目所在地的环境适合项目的建设。

综上所述，本项目选址与周边环境相容，并且综合考虑项目所在地周边的自然环境、社会经济状况和环境质量现状，本项目选址较为合理。

(3) 与四川省“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》（以下简称《通知》），《通知》要求切实加强环境影响评价管理，落实“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”约束，建立项目环评审批与规划环评、现有项目环境管理、区域环境质量联动机制，更好地发挥环评制度从源头防范环境污染和生态破坏的作用，加快推进改善环境质量。项目“三线一单”符合性分析如下：

① 生态保护红线

生态保护红线是指依法在重点生态功能区、生态环境敏感区和脆弱区等区域划定的严格管控边界，是国家和区域生态安全的底线，对于维护生态安全格局、保障生态服务功能、支撑经济社会可持续发展具有重要作用。

根据《四川省生态保护红线方案》（川府发[2018]24号），四川省生态保护红线总面积 14.80 万 km^2 ，空间分布格局呈“四轴九核”，分为 5 大类 13 个区块，主要分布在川西高原山地、盆周山地的水源涵养、生物多样性维护、水土保持生态功能富集区和金沙江下游水土流失敏感区、川东南石漠化敏感区。

经与《四川省生态保护红线分布图》对照，项目不在生态保护红线范围内，因此符合严守生态保护红线的原则。

② 环境质量底线

项目所在区域（乐山市夹江县）环境质量底线为：环境空气质量目标为《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准；地表水环境质量目标为《地表水环

境质量标准》（GB3838-2002）III 类标准；地下水环境质量目标为《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）III 类标准；声环境质量目标为《声环境质量标准》（GB3096-2008）3 类标准。

经现状调查，项目区域现状环境空气质量中所有污染物均符合环境空气质量标准，新建项目排放的废气主要为酸碱废气，且排放量较小，对区域环境贡献值较小，不触及环境空气质量底线；项目区域声环境质量现状均满足声环境质量目标；地表水环境质量达标。因此，本项目不会改变周围地表水环境质量。

综上，对建设区域环境影响较小，不会改变区域环境功能类别，建设区域的环境质量是符合要求。

③ 资源利用上线

本项目主要消耗资源包括水资源、电能资源，消耗水资源、电能资源量相对较少；项目所在区域水、电资源丰富，项目用水、用电不会触及区域资源利用上线。

因此，项目建设符合区域资源利用上线。

④ 生态环境准入清单

根据查阅资料，根据《四川省国家重点生态功能区产业准入负面清单（第一批）》（试行）和《四川省重点生态功能区产业准入负面清单(第二批)》(试行)，项目不在生态红线内，未超出环境质量底线及资源利用上线，未列入环境准入负面清单内。

因此，本项目的建设是符合四川省“三线一单”相关要求的。

1.3 编制依据

1.3.1 国家相关法律

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日实施；
- (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日实施；
- (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日实施；
- (4) 《中华人民共和国大气污染防治法》，2018 年 10 月 26 日实施；
- (5) 《中华人民共和国水污染防治法》，2018 年 1 月 1 日实施；
- (6) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020 年 9 月 1 日实施；

(7) 《中华人民共和国噪声污染防治法》，2018年12月29日实施。

1.3.2 国家相关行政法规、条例

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

(2) 《放射性物品运输安全管理条例》，国务院令第562号，2010年1月1日；

(3) 《放射性废物安全管理条例》，国务院令第612号，2012年3月1日；

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

(5) 《危险化学品安全管理条例》（2002年1月26日中华人民共和国国务院令第344号公布，2011年2月16日国务院第144次常务会议修订通过），中华人民共和国国务院令第591号。

1.3.3 部门规章、规范性文件

(1) 《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日起实施；

(2) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021修正四）》，生态环境部部令第20号，2021年1月4日起实施；

(3) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，生态环境部部令第16号，2021年1月1日起实施；

(4) 《产业结构调整指导目录（2019年本）》，国家发展和改革委员会令第29号，2020年1月1日起实施。

(5) 关于发布《放射性废物分类》的公告，环公告2017年第65号，2018年1月1日起实施。

1.3.4 技术规范和标准

(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》（HJ/T10.1-2016）；

(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；

- (3) 《开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范》（EJ380-1989）；
- (4) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；
- (5) 《核辐射环境质量评价一般规定》（GB11215-89）；
- (6) 《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》（GB11928-1989）；
- (7) 《低、中水平放射性固体废物包装安全标准》（GB12711-1991）；
- (8) 《放射性同位素生产和加工中的辐射防护监测》（EJ748-1993）；
- (9) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；
- (10) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；
- (11) 《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2019）；
- (12) 《放射性物质运输包装质量保证》（GB/T15219-2009）；
- (13) 《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB27742-2011）；
- (14) 《 γ 辐照装置的辐射防护与安全规范》（GB10252-2009）；
- (15) 《环境影响评价技术导则·总纲》（HJ2.1-2016）；
- (16) 《环境影响评价技术导则·大气环境》（HJ2.2-2018）；
- (17) 《环境影响评价技术导则·地表水环境》（HJ2.3-2018）；
- (18) 《环境影响评价技术导则·声环境》（HJ2.4-2009）；

1.3.5 与项目有关的文件、资料

- (1) 《同位素及药物研制大楼建设项目建议书》，2020年12月；
- (2) 其他相关文件资料。

1.4 评价标准

1.4.1 放射性评价标准

1.4.1.1 剂量约束值

本项目正常运行期间对职业人员和公众中任何个人造成的有效剂量的约束值依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定：“对任何工作人员的照射的剂量限值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）不超过20mSv，其中任何一年中的有效剂量不超过50mSv；公众照射剂量限值是公众中有关关键人群组的成员所受到的平均个人年有

效剂量估计值不超过 1mSv”，同时，结合本项目的实际情况，提出了严于国家标准的职业照射和公众照射的剂量约束值，见表 1.4-1，以此作为本项目辐射环境影响评价标准。

表 1.4-1 辐射环境影响评价标准 单位：mSv/a

分类	GB18871-2002 基本限值标准	剂量约束值
职业照射	20	5
公众照射	1	0.1

1.4.1.2 工作场所的放射性表面污染控制水平

遵循《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定，确定工作场所的放射性表面污染控制水平如下表 1.4-2。

表 1.4-2 工作场所的放射性表面污染控制水平 单位：Bq/cm²

表面类型	β 放射性物质	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区（该区内的 高污染子区除外）	40
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻¹

1.4.1.3 事故分级

根据中华人民共和国国务院令 第 709 号《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条之规定，根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

特别重大事故，是指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。

重大辐射事故，是指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。

较大辐射事故，是指 III 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。

一般辐射事故，是指 IV 类、V 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

1.4.2 非放射性评价标准

1.4.2.1 环境质量标准

(1) 环境空气质量标准

环境空气质量标准执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准。

(2) 地表水环境质量标准

本项目废放射性废水接纳水体青衣江，评价河段环境现状评价执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III 类水域标准。

(3) 声环境质量标准

项目拟建地位于夹江核技术产业园区内，属于《声环境质量标准》（GB3096-2008）中划定的 3 类区域，确定如下表 1.4-3 所示的环境噪声限值。

表 1.4-3 声环境质量标准

声环境功能区类别	环境噪声限值, L_{eq} (dB(A))	
	昼间	夜间
3 类	65	55

(4) 地下水环境质量

本项目评价区域地下水环境现状评价执行《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）III 类标准。

(5) 土壤环境质量

根据项目用地性质，土壤环境评价标准执行《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》（GB36600-2018）中第二类用地筛选值。

1.4.2.2 污染物排放标准

本项目污染物的排放执行以下标准：

(1) 大气污染物排放标准

项目废气排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）二级标准。

(2) 水污染物排放标准

项目废水经预处理后排入园区污水管网，再进入园区污水处理厂。水污染物排入园区污水处理厂执行《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准。

(3) 环境噪声排放标准

① 施工期

项目建设施工期噪声排放执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）规定的排放限值，具体值列入表 1.4-4 中。

表 1.4-4 建筑施工场界环境噪声排放限值 单位：dB（A）

昼间	夜间
70	55

② 运营期

项目运营期厂界环境噪声排放执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）3 类功能区标准，其控制标准列入表 1.4-5 中。

表 1.4-5 厂界环境噪声排放限值

厂界外声环境功能区类别	厂界环境噪声排放限值 L_{eq} dB(A)	
	昼间	夜间
3 类	65	55

1.5 评价等级

(1) 大气环境

根据《环境影响评价技术导则·大气环境》(HJ2.2-2018)中大气评价工作分级方法确定评价工作等级，其判据详见表 1.5-1。

表 1.5-1 大气评价工作等级判据

评价工作等级	评价工作分级判据
一级	$P_{max} \geq 10\%$
二级	$1\% \leq P_{max} < 10\%$
三级	$P_{max} < 1\%$

其中 P_{max} 为选择的主要污染物的最大地面空气质量浓度占标率 P_i 值最大者， $D_{10\%}$ 为其对应的污染物地面空气质量浓度达标准值的 10% 时所对应的最远距离。

$$\text{其中 } P_i \text{ 定义为: } P_i = \frac{C_i}{C_{0i}} \times 100\%$$

式中：

P_i —第 i 个污染物的最大地面空气质量浓度占标率, %;

C_i —采用估算模式计算出的第 i 个污染物的最大 1h 地面空气质量浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

C_{oi} —第 i 个污染物的环境空气质量浓度标准, (一般选用 GB3095 中 1h 平均质量浓度的二级浓度限值), $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

经过对建设项目的工程分析, 项目营运期主要大气污染物为酸碱废气, 其影响范围和影响程度有限, 营运期大气污染物主要考虑盐酸废气和硝酸废气, 根据估算模式计算得到污染物的 P_{\max} , 如表 1.5-2 所示。

表 1.5-2 评价工作等级判定表

大气污染物	$C_{oi}(\mu\text{g}/\text{m}^3)$	C_{oi} 来源	$P_{\max}(\%)$
酸碱废气(氯化氢)	50	《环境影响评价技术导则·大气环境》(HJ2.2-2018)	0.74

根据表 1.5-1 及估算模式计算结果, 确定本项目大气环境影响评价工作等级为三级。

(2) 地表水环境

本项目营运期污水主要为工艺废水和生活污水。生产废水和职工生活污水经化粪池处理后排入市政排水管网。工艺废水中的放射性废水收集暂存于废液收集罐, 槽车转运至核动力院新三废处理中心, 不进入评价区内的地表水环境。

根据《环境影响评价技术导则—地表水环境》(HJ/T2.3-2018)规定, 项目污水排放方式为间接排放, 因此本次地表水评价级别为三级 B。

(3) 声环境

本项目位于夹江核技术产业园内, 属于《声环境质量标准》(GB3096-2008)中 3 类声环境功能区, 项目营运期噪声声源少, 其主要噪声源为生活噪声(人群活动等)和设施噪声(公用设施), 其噪声值在 45~60dB(A)之间, 经采取各种减降噪措施后, 满足外环境的要求。项目建设前后评价区内敏感目标噪声级增高量在 3dB(A)以下(不含 3dB(A))。根据《环境影响评价技术导则—声环境》(HJ2.4-2009)确定声环境评价等级为三级。

1.6 评价范围和保护目标

1.6.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ/T10.1-2016），本项目属于放射性药物生产及甲级非密封放射性物质工作场所项目，评价范围为以生产区域边界为中心，半径 500m 包络的区域。

1.6.2 保护目标

本项目选址在夹江核技术产业园内，500m 范围内主要是园区内的其他企业，厂区附近无大型居民聚集区等环境敏感目标。本项目的保护目标见表 1.6-1。

表 1.6-1 项目 500m 范围内主要环境保护目标

环境因素	保护目标	位置、距离 (m)		受影响人数	保护要求
		生产区			
电离辐射	西南面农户	SW	226	5	本项目所致辐射剂量不超过规定的剂量约束值 0.1mSv/a
	西面农户	W	187	10	
	西北面农户	NW	233	15	
	北面某项目工作人员	N	433	200	
	东南面中国同辐放射源生产基地工作人员	SE	278	60	
	东南面农户	SE	365	10	
电离辐射	职业照射	本项目工作人员		70	5mSv/a

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

夹江县位于成都平原西南侧，乐山市腹地，地理位置在东经 $103^{\circ}17' \sim 103^{\circ}44'$ ，北纬 $29^{\circ}38' \sim 29^{\circ}55'$ 之间。东倚青神县，东南连乐山市中区，南靠峨眉山市，西接洪雅县，北邻丹棱县、眉山市东坡区。东西长 43.7km，南北宽 33.5km，幅员面积为 748.47km²。

木城镇位于夹江县城以西 20km，距洪雅县 20km、峨眉山市 27km，东倚濛城街道，西接华头镇，幅员面积 108.71km²。

本项目位于夹江核技术应用产业园内，产业园的范围为：东、南至规划经二路，西邻成渝环线高速公路（乐雅高速），北到成渝环线高速公路（乐雅高速）木城连接线，涉及木城镇泉水村、代桥村、桂香村、王宿村、石柱村。本项目位于产业园西侧的核技术应用生产区，东至跃进渠，南、西、北三面至园区规划道路，主要涉及木城镇泉水村 3 社、4 社、王宿村等。

2.1.2 地形、地貌

夹江县县境地处峨眉山东北麓，为四川盆地西南边缘向峨眉中山区的过渡地带。县境西部海拔 1000m 以上的山岭属峨眉山余脉，山高、坡陡、谷深，山脉呈树枝状分布；中部青衣江流域为河漫滩及谷地，千佛岩处最窄，上有木城大坝，下有云甘大坝；县域东部以平坝和台地为主，西部为低山区。整个地势由西北向东南倾斜，构成山地、平坝、台地的地貌轮廓。最高为华头镇斗笠口，海拔 1451 米（1997 年县界勘界图），最低为甘江镇青衣江出境处，海拔 380m。县域地貌区划按其成因不同，分为侵蚀堆积地形、构造剥蚀地形和侵蚀构造地形。

木城镇全镇地貌属丘陵低山区，山丘起伏，河谷纵横，最高峰地洗药湖为 841.4 米，全镇山地占 72.3%、耕地占 12.7%、水面占 4.9%，故有“七山半水分半田，一分道路和庄园”之称。

夹江核技术应用产业园属青衣江漫滩，地形较平缓。场地整体海拔高程为 426

~432m 范围内，整体相对高差为 6m，地形起伏小。产业园地形简单，地貌类型单一。

2.1.3 地质、地震

2.1.3.1 区域地质构造

区域地处龙门山构造带的中新生代前陆盆地—四川盆地的西南隅，地表主要出露中生代和老第三纪红色碎屑岩及新第三纪和第四纪河流相砂砾石层，仅西南隅出露古生代地层。地质构造主要表现为一系列走向北北东的褶皱和压扭性断层。此外，在近场的西南角的峨眉山北麓地带还分布有一系列小型弧形断裂构造等，具有漫长的演化历史。

夹江核技术应用产业园附近范围地质构造主要表现为宽缓褶皱和压扭性断层。褶皱构造变形不强烈，其褶皱轴方向为 NNE~NE 向，局部为近 SN 向，多为宽缓褶皱。地层产状除局部受断层影响而陡立外，其余大部分地区都较平缓。主要有 NNE 向尖尖石背斜、南安向斜和三苏场背斜，其中产业园就位于南安向斜内。尖尖石背斜位于产业园西部，在区域上为一规模较大的反“S”形褶曲。产业园附近范围为该背斜中段和北段，它的南段走向 320。该背斜核部地层为下一中侏罗统自流井组（J1-2z），两翼依次为 J2s1、J2s2、J3sn、J3p、K2j、K2g1。尖尖石之北轴向 NNW（335），背斜北段轴面陡立，总体产状 $68\angle 5$ ，两翼产状近于对称（ $320\angle 13$ ， $20\angle 21$ ）枢纽向 NNW 倾伏（ $335\angle 15$ ），两翼夹角 160，为近直立对称水平纵弯褶皱。

南安向斜位于产业园附近范围中部。该向斜轴向总体为 NNE~近 SN。向斜形态十分开阔，两翼地层平缓，其倾角均小于 25，一般在 10~15 之间，向斜槽部地层为上白垩统灌口组下段（K2g1），两翼依次为上白垩统夹关组（K2j），上侏罗统蓬莱镇组（J3p）和遂宁组（J3sn）。

三苏场背斜位于产业园附近范围东部，为一狭长背斜，轴向 N20E。背斜总体轴向 NNE，核部地层为中侏罗统上沙溪庙组，翼部地层依次为上侏罗统遂宁组（J3sn），蓬莱镇组（J3p），上白垩统夹关组（K2j）。总体显示两翼较陡，而核部较平缓。青衣江北卷洞桥—冷水湾一带核部为上沙溪庙组。

产业园附近范围内分布着 9 条断层，主要有白马场断层、欧大山断层、瓦窑

山断层和龙沱寺断层等，按走向分布可分为北东向、北北东向和近南北向 3 组，但数量不多，规模均较小。这些断层均显压性或压扭性，其形成与褶皱变形有着成因上的联系。

2.1.3.2 地层岩性

经工程地质测绘、调查，产业园由第四系覆盖层（ Q_4 ）、白垩系下统灌口组（ K_{1g1} ）基岩组成。拟建区域第四系覆盖层分布于整个场地。产业园内第四系由填土、粉质粘土、卵石以及块石组成。灌口组（ K_{1g1} ）由紫红色粉砂质泥岩和粉砂质泥岩组成。各种岩土体特征详述如下：

（1）第四系覆盖层（ Q_4 ）

①第四系全新统人工填土（ Q_4^{ml} ）

建设用地填筑土主要由耕植土、素填土组成。

耕植土：呈褐红等色，松散，稍湿，主要由全风化泥岩及大量植物根系组成，含少量粉砂质泥岩碎石，主要分布于丘陵缓坡及平原地带。

素填土：黄褐色，稍密，稍湿，主要由强-中风化粉砂质泥岩、粉砂质泥岩的碎石、块石、及粘粒组成，为新近填土。主要分布遮云岗人工开挖边坡段及大堰溪沟口两侧地段。

②第四系全新统残坡积层（ Q_4^{el+dl} ）

粉质粘土：黄褐色，粉质粘土呈可塑状，不均匀含碎石、角砾，多为棱角状，母岩成分主要为强-中风化粉砂质泥岩、粉砂质泥岩，碎石含量约 15%~35%，局部零星含有块石。该层主要分布在斜坡坡顶及地形坡度较缓地段。

③第四系全新统冲洪积层（ Q_4^{al+pl} ）

粉质粘土：灰褐色，可塑，干强度、韧性中等，底部含少量细砂，无摇振反应，切面平面，稍有光泽。广泛分布于青衣江阶地地带。

卵石：青灰色、灰白色，稍湿-饱和，中密为主，局部稍密，呈圆状、亚圆状一般粒径 30—80mm，最大粒径 220mm，砂土充填，轻微胶结，含量大于 50%，母岩为火成岩及沉积岩。主要分布在青衣江阶地、大堰溪及南安河两岸坡地带。

④第四系全新统崩坡积层（ Q_4^{col+dl} ）

块石：灰褐色，紫红色，稍湿，松散，存在架空现象，主要由强-中风化粉砂质泥岩、粉砂质泥岩的块石和碎石组成，粒径一般为 40-80cm，最大约 200cm，块

石含量约 50%，碎石含量约 20%，充填少许角砾及岩屑等。该层主要分布于丘陵地带陡坡及 1#地块白杨坡中前缘位置。

(2) 白垩系下统灌口组 (K_{1g})

通过工程地质测绘，该层广泛分布于场地，分布部位为卵石层底部，主要由紫红色粉砂质泥岩、粉砂质泥岩及粉砂岩组成，呈互层状分布，可见泥裂、波痕等层面构造，局部可见石膏团块、溶蚀小孔及孔壁晶簇。层面节理发育，局部层间见有软弱夹层。（岩体的微观结构，如孔、洞、微裂隙及破碎带等）。

2.1.3.3 地震

根据《××工程场地地震安全性评价报告》（四川省地震局工程地震研究院、中国地震局地球物理研究所防灾减灾工程技术研究院，2005 年 6 月），近区域近代地震活动的空间分布大致以斜贯近区域的青衣江为界，西南部地震相对密集，东北部地震相对稀疏。在近区域西南部，地震活动主要分布在汉王—中宝—歇马场—双福场一带、天宫—桃源—桂花场一线和柳江—吴河—脚盆坝一带，形成了大致呈北西走向展布的地震条带，绝大多数的 2.0 级以上地震均沿这一条带分布；在近区域东北部，地震活动水平明显降低，地震部分密度、强度均有大幅度下降；产业园及其附近 5km 范围内地震活动水平不高，迄今尚无 M≥4.0 级的地震记录，显示产业园处于地震构造环境相对稳定的地区。

根据《××工程地震安全性评价复核报告》（中国地震局地球物理研究所、四川赛思特科技有限责任公司 2009 年 10 月）确定，场地的地震基本烈度定为 VII 度，SL-2 级设计基准地面运动基岩峰值加速度水平向值为 0.21g；竖直向值为 0.14g。

根据《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010），勘察区地震基本烈度为 7 度区，设计地震分组属第三组，结合四川省地震局、四川省建设厅关于“川震防发（2013）74 号”文件规定，设计基本地震加速度值为 0.10g

2.1.4 水文概况

2.1.4.1 地表水

(1) 跃进渠（石面堰）

跃进渠原名石面堰，从青衣江上游的金釜乡境内段引水入堰，流经木城镇

(核动力院一号点地区)、甘江镇等。跃进渠从核动力院二号点地区迂回流过，最后在双福境内汇入双福河(为大渡河一级支流，最终在乐山市三江口处汇入岷江)。

跃进渠属于青衣江水系的人工灌溉河流，取水口位于夹江水文站上游 12km 的青衣江右岸石面渡处，为无坝引水，取水枢纽以上集雨面积 12250km²，占青衣江全流域面积的 95.0%。跃进渠取水口上、下游河段顺直，水流平缓，河谷开阔，河床由卵石组成。在取水口以上右岸为山丘地带，植被条件良好，左岸为平坝，取水口以下河床两岸为农田。总干渠全长 9.07km，自身灌溉面积仅 2612 亩，主要为农田灌溉，其次为沿途工业供水和农村人畜饮水。

跃进渠 1958 年 3 月建成通水，历年引水流量在 2~20m³/s。90 年代末对取水口进行了整治，降低了底板高程，引水流量有所增加，设计引水流量达 30.0m³/s，自 1995 年 3 月至今，月平均引水流量在 16.5~30.0 m³/s 之间。

本项目段跃进渠在产业园内为西北—东南走向，河道宽度约为 15.3~16.8m，深约 4.5m，勘测期水位 1.5~3.0m，流速约 0.3~0.5m/s，流量约 10.8~22.5m³/s。岸坡未见鼓胀变形迹象，岸坡整体稳定。

(2)大堰溪

大堰溪位于青衣江右岸，属青衣江一级支流，青衣江属于岷江水系的二级支流。大堰溪及其支沟蜿蜒曲折，坡度陡、水流快，属典型的山区型河流，汇水面积 3.8km²，域内河长 7.6km，河道上游较陡，中下游相对较缓。受降雨量的影响，径流年内分配不均，季节变化明显，一般 6~9 月为丰水期，12 月到次年 3 月为枯水期，枯洪季节差异大。大堰溪流域内成片森林稀少，开垦度大，植被一般，其余支沟植被发育。河流宽度约 4~7m 不等，水深一般为 0.15~0.4m，流速约 0.2~0.5m/s，流量约 120~520L/s。

2.1.4.2 洪水

据岷江五通桥水文站建站以来的资料记载，跃进渠历史调查最大洪水 1917 年水位 346.85m、相应流量 54000m³/s，实测最高洪水 1961 年 6 月 29 日洪峰水位 344.27m、相应流量 36200m³/s，实测最低水 1980 年 2 月 18 日水位 334.37m，相应流量 330m³/s。产业园规划环评将跃进渠按 50 年一遇洪水频率设防。

根据工程地质测绘调查及洪痕观测，大堰溪一般洪水水深约 2.0m，极端最高

洪水水深约 3.5m，具有暴涨暴落特点。

2.1.4.3 地下水

区域地下水分为第四系孔隙水和基岩裂隙水。地下水赋水性差异大，以基岩裂隙水为主，第四系孔隙水为次。基岩裂隙水主要含水层为分布于粉砂质泥岩中，水量较小，透水性较弱。第四系松散层孔隙水主要分布在青衣江 I 级阶地及大堰溪两岸漫滩，含水层主要为第四系碎石土层，透水性好。区内地下水以青衣江、大堰溪、跃进渠和大气降水补给为主，地下水位随降雨的多少而升降，经山体斜坡下部松散堆积层运移，向地势低洼地段及河流下游排泄。

2.1.5 气候气象

夹江县属亚热带湿润季风气候，夏秋两季易受西太平洋副热带高压及青藏高原影响，处于青衣江暴雨中心，总体气候温和，雨量充沛，日照偏少，湿度较大。

项目拟建地最近的气象站为夹江县气象站，东经 103°36′，北纬 29°44′，观测场海拔高度 407.1m。据夹江县气象站 1981 年至 2010 年近 30 年资料记载，夹江年平均气温为 17.2℃，最冷月平均气温 6.8℃，最热月平均气温 26.0℃，极端最高气温为 38.7℃，极端最低气温为-3.8℃。年平均降水量为 1267.5mm，分布不均，5-10 月降雨量为 1076.6mm，占全年降雨量的 85%。年平均相对湿度为 82%，最小相对湿度为 11%。全年无霜期 300 天。年平均日照时数为 959.1 小时。年平均风速 1.1m/s，最多风向为 NNW。年平均蒸发量为 1068.2mm。年平均雷暴日日数 27.9 天。主要气象灾害有暴雨、洪涝、干旱、雷电、大风、寒潮、冰雹、高温、低温阴雨、大雾等。

2.1.6 土壤、植被

根据资料，拟建场地地层主要由①₁可塑粉质粘土、①₂软塑粉质粘土、②细砂、③₁松散卵石、③₂稍密卵石、③₃中密卵石、④₁强风化粉砂质泥岩及④₂中风化粉砂质泥岩组成。结合拟建建筑物的工程性质，各层岩土体作为地基土的适宜性评价如下：

①₁粉质粘土（ Q_4^{al+pl} ）：可塑状，为有一定承载力的中压缩性土，分布厚度较小，均匀性较差，该层不能直接作为拟建物的基础持力层；

①₂ 粉质粘土 (Q_4^{al+pl})：软塑状，承载力低，压缩性大，分布厚度较小，均匀性较差，该层不能直接作为拟建物的基础持力层；

② 细砂 (Q_4^{al+pl})：松散，承载力较低，分布厚度较小，均匀性较差，具有轻微液化，不能作为拟建物的基础持力层；

③₁ 松散卵石 (Q_4^{al+pl})：承载力较低，变形较大，分布不连续，存在一定的不均匀性，不能作为拟建建筑物的基础持力层；

③₂ 稍密卵石 (Q_4^{al+pl})：该层广泛分布在整个场区内，钻探揭露厚度较小承载力较高，变形较小，起伏较大，局部地段层厚较薄，可作为拟建建筑物的基础持力层；

③₃ 中密卵石 (Q_4^{al+pl})：该层广泛分布在整个场区内，钻探揭露厚度变化较大，承载力较高，变形较小，起伏较大，局部地段层厚较薄，可作为拟建建筑物的基础持力层；

④₁ 强风化粉砂质泥岩 (K_{lg1})：该层广泛分布在整个场区内，钻探揭露厚度 0.5~2.2m，岩体破碎，变形较大，分布厚度较薄，不宜作为基础持力层；

④₂ 中风化粉砂质泥岩 (K_{lg1})：该层广泛分布在整个场区内，分布较均匀，承载力较高，变形较小，由于该层埋藏深，适宜作为拟建物桩基础的桩端持力层。

拟建场地主要为耕地及花、果园地，局部为已拆迁民房荒地，植被茂盛，灌木成林。

2.1.7 矿产资源

夹江县矿藏主要有煤、页岩和高岭土。华头山区有烟煤储量约 1000 万吨，无烟煤储量约 500 万吨，该地区的采煤业已有 100 多年历史，近年的年产量约 20 万吨。页岩储量约 3 亿立方米，高岭土储量约 5000 万吨。

2.2 社会经济状况

2.2.1 经济发展状况

2016 年夹江县全县实现地区生产总值 (GDP) 137 亿元，比上年增长 9%。其中，第一产业增加值 19.57 亿元，增长 3.6%；第二产业增加值 75.68 亿元，增长 1

0%；第三产业增加值 41.75 亿元，增长 9.5%。三次产业对经济增长的贡献率分别为 5.8%、63.2%和 31%。三次产业分别拉动 GDP 增长 0.52、5.69、2.79 个百分点。三次产业结构由上年的 14.3：56.4：29.3 调整为 14.3：55.2：30.5。

2.2.2 人口

2.2.2.1 夹江县人口概述

截止 2016 年末，夹江县全县总户数 124626 户，年末户籍人口 34.89 万人。其中，乡村人口 23.28 万人，城镇人口 11.61 人；男性人口 17.58 万人，女性人口 17.31 人，男女性别比为 101.5。年末全县常住人口 33.25 万人，其中：城镇常住人口 13.39 万人。城镇化率为 40.27%，比上年提高 1.56 个百分点。

表 2.2-1 项目厂址周围 3km 范围内主要关心点

乡镇	村	方位	距离 (km)	人数	乡镇	村	方位	距离 (km)	人数
木城镇	桂香村	北	0.95	835	南安乡	王宿村	西南	0.8	875
	郑村	北	1.9	1420		联丰村	西南	3	567
	中坝村	北	2.5	1330		邓村	东南	1	789
	泉水村	北	0.6	1404		彭村	东南	1	1678
	白庙村	北	1.3	1475		兰坝村	东南	1.5	1904
	太平村	北	3	1359	迎江乡	郭坪村	东	2.5	842
	石柱村	西	1.3	507	群星村	东北	2.5	1646	
	民安村	西	2.2	567	XX 单位家属区	东南	1.4	1086	
	代桥村	东	1.2	1374					
	后街社区	东北	1.5	1101					
	五里村	东北	2.1	455					

注：人口数来源于各乡（镇）政府 2017 年统计数据。表中人口数仅计入各村在园区半径 5km 范围内的人数。

2.2.2.2 附近重要居民点和人口数

项目 3km 评价范围内主要是农村地区，行政区域主要属于夹江县，人口相对集中的重要居民点有 4 个，分别为木城镇、南安乡、XX 单位家属区（位于南安乡）和迎江乡，重要居民点分布、位置及人口数见表 2.2-2。

表 2.2-2 项目半径 3km 范围内人口相对集中的重要居民点及人口数

重要居民点	方位	距离 (km)	人口数
木城镇	NE	1.0	5164
南安乡	SE	0.84	538
迎江乡	ENE	2.0	1930
XX 单位家属区	SE	1.0	1086

2.2.2.3 流动人口

项目 3km 范围内主要为农村地区，青壮年在外地上学、打工者居多，外来务工者很少，长期流动人口（暂住人口）很少。项目 3km 范围内无风景旅游区，旅游者等短期流动人口也很少。

2.2.3 教育、文化

夹江县有 4 所高中，24 所初中，151 所小学，1 所职业中学，1 所技工学校。夹江县从建立广播局，成立文化局以后，又相继设立了县编史修志委员会及县档案局、文管所等文化事业单位。夹江县有一些富有地方特色的民间文艺（如堂灯、花灯、彩绘、灯舞）和工艺美术（如年画、纸扎、刺绣、印染）以及传统戏剧曲艺。夹江县还是名扬四海的中国书画纸之乡，竹纸制作技艺列入国家首批非物质文化遗产名录。

2.2.4 交通

项目所在园区附近的铁路运输线是成都——昆明铁路线（简称成昆线）；项目周围公路运输比较发达，等级公路已经初步形成网络。规划区通过公路可与夹江、洪雅、峨眉、乐山、成都等城市相通。项目附近内主要的公路：木城至双福、木城至华头、木城至龙沱以及迎江至夹江的公路。项目周围 10km 范围内没有民用飞机场及飞机航线。

2.3 环境质量和辐射现状

2.3.1 非放射性环境质量现状

略

2.3.2 辐射环境质量现状

略

2.4 场址适宜性评价

本项目选址于夹江核技术应用产业园西南侧，夹江核技术应用产业园主导产业为核技术应用，重点发展放射性同位素研发及应用、密封放射源和放射性药物

研发及生产、辐照加工、核仪器仪表和放射医疗设备研发设计及制造、核技术服务等相关产业。本项目为医用同位素生产设施建设，项目符合园区的产业规划。

项目可充分依托园区配套完善的给排水、供配电、供气等配套，园区交通便利。目前项目拟建地及其周边均为在建工地或空地，项目拟建地西南邻成渝环线高速公路（乐雅高速），东临园区规划道路。东面隔园区规划道路为跃进渠，北面目前暂无拟引入的企业，为空地，南面为同辐放射源研发生产基地，项目周围无大型居民聚集区，无项目建设的限制性因素。项目周边为核技术应用企业，无易燃、易爆物品的生产和贮存区，项目所在地的环境适合项目的建设。

综上所述，本项目选址与周边环境相容，并且综合考虑项目所在地周边的自然环境、社会经济状况和环境质量现状，本项目选址较合理。

第三章 工程分析与源项

3.1 项目规模与基本参数

3.1.1 项目建设情况

项目总投资 9691 万元（其中直接工程费用 23569.57 万元），项目总占地面积约 33333.5m²，建筑占地面积约为 5496m²，总建筑面积 10500m²。

建设中试楼，主要为同位素生产设施区域，地下一层为废液收集间；地上一层布置 ¹²⁵I、¹⁴C、¹⁷⁷Lu、²²³Ra、⁹⁰Y、³²P、¹⁶⁶Ho、¹⁸⁸Re 等 8 条同位素生产线，设 2 个放化分析实验室以及制样间和样品间，设放射性阳性接种室和无菌室；二层布置 3 个放化实验室和 1 个标记实验室，1 个放射性原料间和靶件制备间以及废物暂存区。

建设研发楼，主要为同位素生产辅助设施区域，与中试楼通过连廊通道连接，地上一层布置纯水制备间、男女更衣间、淋浴间、门厅、会议室等，二层主要为办公室、阅览室等房间；三层主要为化学试剂间、化学实验室以及化学检验间以及标准物质间等房间。

此外，还建设有包材试剂库房和门厅以及大门等项目辅助设施。

本项目主要经济技术指标如表 3.1-1 所示。

表 3.1-1 本项目主要技术经济指标

序号	项目	单位	指标	备注
1	厂区总占地面积	hm ²	3.35	约 50 亩
2	建构筑物总占地面积	m ²	5496	
3	建构筑物总建筑面积	m ²	10500	
4	道路及硬化场地面积	m ²	12000	
5	停车场占地面积	m ²	4353.4	
6	绿化面积	m ²	2400	
7	围栏及安防区占地面积	m ²	4000	
8	建筑系数	%	16.46%	
9	容积率		0.42	
10	绿化率	%	7.2%	

以下针对同位素生产设施区域中试楼和辅助设施区域研发楼以及其他配套辅助工程分别描述项目规模及相关参数。

3.1.1.1 主体工程建设情况

本项目主体工程建设主要是中试楼，中试楼局部地下 1 层，地上 2 层、局部 1 层的建筑物，建筑物长×宽为：93.5m×43.9m（轴线尺寸），建筑高度为 16.95m（室外地坪至女儿墙顶），建筑占地面积约 4104m²，建筑面积约 7141m²。一层共布置 8 条同位素生产线，分别为 I-125 生产线、C-14 生产线、Lu-177 生产线、P-32 生产线、Ra-223 生产线、¹⁸⁸W-¹⁸⁸Re 发生器生产线、Y-90 生产线、Ho-166 生产线。一层设置 2 间放化分析实验室和制样间以及样品间，用于产品质检等过程，设置 1 间放射性阳性接种室和无菌室，用于后端产品进行细菌毒素研究；二层设置 3 间放化实验室和 1 间标记实验室，分别用于开展相关放射性实验和医用放射性同位素标记与应用研究；设置 1 间放射性原料间和靶件制备间，主要用于放射性原料的暂存和靶件的制备。

(1) 8 条生产线：

1) 碘-125 生产线

碘-125 生产线由 5 个屏蔽工作箱组成，编号为 I-1、I-2、I-3、I-4、I-5。生产原料为在堆内辐照生成的 ¹²⁵I 的吸附器，在屏蔽工作箱内通过淋洗工艺得到产品 Na¹²⁵I 水溶液，产品活度浓度为 3.7×10¹⁰Bq/ml。每批次生产 50 瓶，每瓶 10ml，得到产品 Na¹²⁵I 水溶液约 500mL。每批次处理时间 5h，每天处理 1 批次，日最大操作量为 1.85×10¹³Bq，每年处理 60 批次，年操作量 1.11×10¹⁵Bq（30000Ci）。生产原料（收集有 ¹²⁵I 的吸附器）送到本项目工作场所同位素生产设施中试楼（碘-125 生产线），通过吊装大厅进入进料箱（I-1），生产原料暂存于进料箱。产品 Na¹²⁵I 水溶液用西林瓶（10mL/瓶）分装，再装入铅罐，铅罐厚度为 10mm。在出货间将铅罐装入包装容器内，产品暂存于出货间。

2) 碳-14 生产线

碳-14 生产线由 2 个屏蔽工作箱和 1 个热室组成，编号分别为 C-1、C-2、RS 1。生产原料为在堆内辐照生成的 C-14 固体粉末，在吸收箱中用 NaOH 溶液进行吸收，然后用 BaCl₂ 溶液沉淀，得到产品碳[¹⁴C]酸钡沉淀，产品活度浓度为 9.25×10⁹ Bq/g。每批次生产 8g，根据需求进行分装，不大于 8g/瓶（10mL 西林瓶）。每批次处理时间 12h，每天处理 1 批次，日最大操作量为 7.4×10¹⁰Bq，每年处理 100 批次，年操作量 7.4×10¹²Bq（200Ci）。生产原料（C-14 固体粉末）送到本项目工作

场所同位素生产设施中试楼（碳-14 生产线），通过吊装大厅进入切割热室（RS 1），生产原料暂存于切割热室 RS1。产品碳^[14C]酸钡沉淀用西林瓶（10mL/瓶）分装，再装入铅罐，铅罐厚度为 2mm。将装有产品瓶的铅罐转入包装间，在包装间进行包装后暂存和发货。

3) 磷-32 生产线

磷-32 生产线由 5 个屏蔽工作箱组成，编号分别为 P-1、P-2、P-3、P-4、P-5。产品包括有载体磷^[32P]酸钠溶液、无载体磷^[32P]酸钠溶液和磷^[32P]玻璃微球，下面分别进行描述：

① 有载体磷^[32P]酸钠溶液

有载体磷^[32P]酸钠溶液，生产原料为堆内辐照生成的磷^[32P]固体粉末，在屏蔽工作箱内通过清洗、破碎、溶解、过滤、蒸发、氧化等工序得到产品有载体磷^[32P]酸钠水溶液，产品活度浓度为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq/ml}$ 。每批次处理 15 Ci，每批次处理时间 4h，每天处理 1 批次，每年处理 50 批次，日最大操作量为 $5.55 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，年操作量 $2.775 \times 10^{13} \text{Bq}$ （750 Ci）。

生产原料（磷^[32P]固体粉末）通过厂内运输送到本项目工作场所中试楼（磷-32 生产线），通过吊装大厅进入切割热室（RS2），生产原料暂存于切割热室。在 5# 屏蔽工作箱，根据用户需求用分装装置对产品进行分装到产品玻璃瓶中。产品每批次生产 10-30 瓶，共有两种包装规格 10ml/瓶和 30mL/瓶，包装材料为西林瓶+铅罐（带 5mm 聚四氟乙烯内衬），铅罐厚度为 20mm。用小车将产品瓶运送至发货箱，装入铅罐中，在出货间将铅罐装入包装容器内，产品暂存于出货间。

② 无载体磷^[32P]酸钠溶液

无载体磷^[32P]酸钠溶液，生产原料为堆内辐照生成的磷^[32P]固体粉末，在屏蔽工作箱内通过溶解、萃取分离、氧化蒸馏等工序得到产品无载体磷^[32P]酸钠水溶液，产品活度浓度为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq/ml}$ 。每批次处理 15 Ci，每批次处理时间 4h，每天处理 1 批次，每年处理 50 批次，日最大操作量为 $5.55 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，年操作量 $2.775 \times 10^{13} \text{Bq}$ （750 Ci）。

生产原料（磷^[32P]固体粉末）通过厂内运输送到本项目工作场所中试楼（磷-32 生产线），通过吊装平台进入切割热室（RS2），生产原料暂存于切割热室。在 5# 屏蔽工作箱，根据用户需求用分装装置对产品进行分装到产品玻璃瓶中。产品活度

为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq/ml}$ ，每批次生产 10-30 瓶，共有两种包装规格 10ml/瓶和 30mL/瓶，包装材料为西林瓶+铅罐（带 5mm 聚四氟乙烯内衬），铅罐厚度为 20mm。用小車将产品瓶运送至发货箱，装入铅罐中，在发货间将铅罐装入包装容器内。

③ 磷 ^{32}P 玻璃微球

磷 ^{32}P 玻璃微球，生产原料为堆内辐照生成的磷 ^{32}P 玻璃微球固体颗粒，磷 ^{32}P 玻璃微球的比活度为 $7.4 \times 10^{12} \text{Bq/kg}$ 。在屏蔽工作箱内通过切割、分装等工序，最后按用户需求将磷 ^{32}P 玻璃微球分装到产品玻璃瓶中。每批次处理 15 Ci，每批次处理时间 4h，每天处理 1 批次，每年处理 50 批次，日最大操作量为 $5.55 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，年操作量 $2.775 \times 10^{13} \text{Bq}$ （750 Ci）。生产原料（磷 ^{32}P 玻璃微球）铅罐通过厂内运输送到本项目工作场所中试楼（磷-32 生产线），通过吊装平台进入切割热室（RS 2），生产原料暂存于切割热室。在屏蔽工作箱，根据用户需求用分装装置对产品进行分装到产品玻璃瓶中。产品活度为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq/ml}$ ，每批次生产 10-30 瓶，共有两种包装规格 10ml/瓶和 30mL/瓶，包装材料为西林瓶+铅罐（带 5mm 聚四氟乙烯内衬），铅罐厚度为 20mm。用小車将产品瓶运送至发货箱，装入铅罐中，在出货间将铅罐装入包装容器内，产品暂存于出货间。

磷-32 生产线建成后，具备单批次 15 Ci 处理能力，年操作 150 批次，年操作量 $8.325 \times 10^{13} \text{Bq}$ （2250 Ci）。

4) 镱-177 生产线

镱-177 生产线由 6 个屏蔽工作箱和 1 个热室组成，编号为 Lu-1、Lu-2、Lu-3、Lu-4、Lu-5、Lu-6、RS2。生产原料为堆内辐照生成的 Lu-177 固体粉末，在屏蔽工作箱内通过溶解、过滤等工序得到产品氯化镱（ $^{177}\text{LuCl}_2$ ）水溶液，产品活度浓度为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq/mL}$ 。该生产线对于 ^{177}Lu 核素的单批次最大操作量为 $7.4 \times 10^{12} \text{Bq}$ ，每批次处理时间 8h，每天处理 1 批次，日最大操作量为 $7.4 \times 10^{12} \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^{14} \text{Bq}$ ，每年最多操作 50 批，年最大操作量为 $3.7 \times 10^{14} \text{Bq}$ 。

生产原料通过厂内运输送到本项目工作场所中试楼（Lu-177 生产线），通过吊装平台进入切割热室（RS2），生产原料暂存于切割热室。在屏蔽工作箱，根据用户需求用分装装置对产品进行分装到产品玻璃瓶中。每批次生产 5 瓶，产品包装规格为 10ml/瓶，包装材料为西林瓶+铅罐，铅罐厚度为 20mm。用小車将产品瓶运送至发货箱，装入铅罐中，在发货间将铅罐装入包装容器内，产品暂存于出货间。

5) 镭-223 生产线

镭-223 生产线由 6 个屏蔽工作箱组成, 工作箱体编号为 Ra-1、Ra-2、Ra-3、Ra-4、Ra-5、Ra-6。生产原料为堆内辐照生成的 Ra-226 固体粉末, 在屏蔽工作箱内通过溶解、分离、淋洗等工序得到产品氯化镭 ($^{223}\text{RaCl}_2$) 水溶液, 产品活度浓度为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq/ml}$ 。操作过程涉及核素有 ^{226}Ra 、 ^{227}Ac 、 ^{223}Ra , 该生产线对于 ^{226}Ra 核素的单批次最大操作量为 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$, 每天处理 1 批, 每批次处理 4h, 每年处理 50 批, 日最大操作量为 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^{13} \text{Bq}$, 年最大操作量为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ (5Ci)。该生产线对于 ^{227}Ac 核素的单批次最大操作量为 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$, 每天处理 1 批, 每批次处理 4h, 每年处理 70 批, 日最大操作量为 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$, 年最大操作量为 $2.59 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。该生产线对于 ^{223}Ra 核素的单批次最大操作量为 $9.25 \times 10^{10} \text{Bq}$, 每次淋洗 100 条, 每年操作 20 次。日最大操作量为 $9.25 \times 10^{10} \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $9.25 \times 10^{10} \text{Bq}$, 年最大操作量为 $1.85 \times 10^{12} \text{Bq}$ (50Ci)。

生产原料通过厂内运输送到本项目工作场所中试楼 (镭-223 生产线), 通过吊装平台进入切割热室 (RS3), 生产原料暂存于切割热室。在屏蔽工作箱, 根据用户需求用分装装置对产品进行分装到产品玻璃瓶中。每批次生产 100 瓶, 产品包装规格为 10ml/瓶, 包装材料为西林瓶+铅罐, 铅罐厚度为 10mm。用小车将产品瓶运送至发货箱, 装入铅罐中, 在出货间将铅罐装入包装容器内, 产品暂存于出货间。

6) ^{90}Y 生产线

^{90}Y 生产线由 5 个屏蔽工作箱组成, 工作箱体编号为 Y-1、Y-2、Y-3、Y-4、Y-5。生产原料为锶 [^{90}Sr] 溶液, 在屏蔽工作箱内通过分离、淋洗等工序得到产品为 $^{90}\text{YCl}_3$ 溶液, 产品活度浓度为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq/ml}$ 。涉及核素有 ^{90}Y 、 ^{90}Sr , 该生产线对于 ^{90}Y 核素的单批次最大操作量为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$, 每批次淋洗 20 个发生器, 操作时间 8 h, 每天操作 1 批次, 每年操作 120 批次, 日最大操作量为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$, 年最大操作量为 $4.44 \times 10^{13} \text{Bq}$ (1200Ci)。该生产线对于 ^{90}Sr 核素的单批次最大操作量为 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$, 每批次操作时间 5h, 每天操作 1 批次, 每两个月操作 5 天, 每年操作 30 天, 日最大操作量为 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$, 年最大操作量为 $2.22 \times 10^{12} \text{Bq}$ (60Ci)。

生产原料 (锶 [^{90}Sr] 溶液) 铅罐通过厂内运输送到本项目工作场所中试楼 (Lu-1

77 生产线)，通过放射性原料间进入进料箱 Y-1，生产原料暂存于进料箱 Y-1。在屏蔽工作箱，根据用户需求用分装装置对产品进行分装到产品玻璃瓶中。每批次生产 10 瓶，产品包装规格为 10ml/瓶，包装材料为西林瓶+铅罐（带 5mm 聚四氟乙烯内衬），铅罐厚度为 20mm。用小车将产品瓶运送至发货箱，装入铅罐中，在出货间将铅罐装入包装容器内，产品暂存于出货间。

7) ^{188}W - ^{188}Re 发生器生产线

^{188}W - ^{188}Re 发生器生产线由 5 个屏蔽工作箱和 1 个热室组成，箱体编号为 Re-1、Re-2、Re-3、Re-4、Re-5、RS3。生产原料为堆内辐照生成的 ^{188}W - ^{188}Re 固体颗粒，在屏蔽工作箱内通过溶解、过滤等工序得到产品 ^{188}W - ^{188}Re 发生器，产品活度浓度为 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq/条}$ ，通过淋洗得到产品 $^{188}\text{ReCl}_2$ 溶液，产品活度浓度为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq/ml}$ 。涉及核素有 ^{188}Re 、 ^{188}W 。该生产线对于 ^{188}W 核素的单批次最大操作量为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，每批次操作时间 6h，每天操作 1 批次，每年操作 100 天，日最大操作量为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $3.7 \times 10^{12} \text{Bq}$ （100Ci）。该生产线对于 ^{188}Re 核素的单批次最大操作量为 $1.85 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，每批次淋洗 10 个发生器，每天操作一次，每年操作 100 天，每批次操作时间 5h，日最大操作量为 $1.85 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $1.85 \times 10^{13} \text{Bq}$ （500Ci）。

生产原料通过厂内运输送到项目工作场所中试楼（钨铼发生器生产线），通过吊装平台进入切割热室（RS3），生产原料暂存于切割热室。在屏蔽工作箱，根据用户需求用分装装置对产品进行分装到产品玻璃瓶中。产品 ^{188}W - ^{188}Re 发生器包装材料为铅罐，铅罐厚度为 30mm；产品 $^{188}\text{ReCl}_2$ 溶液，每批次生产 10 瓶，包装材料为西林瓶+铅罐，铅罐厚度为 20mm。将发生器屏蔽铅罐在发货间装入铁皮桶内，并用泡沫塑料衬固定，盖上泡沫塑料衬盖及铁皮桶盖，在出货间将包装好的发生器发货，产品暂存于出货间。

8) 钬-166 生产线

钬-166 生产线由 4 个屏蔽工作箱组成，工作箱体编号为 Ho-1、Ho-2、Ho-3、Ho-4。产品为钬 ^{166}Ho 聚乳酸微球，生产原料为堆内辐照生成的钬聚乳酸微球固体颗粒，在屏蔽工作箱内通过切割、清洗等工序得到产品钬 ^{166}Ho 微球，产品活度浓度为 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq/g}$ 。该生产线对于 ^{166}Ho 核素的单批次最大操作量为 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，每

批次生产时间 1h，每天操作 10 批次，每年操作 200 天，日最大操作量为 $7.4 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $1.48 \times 10^{14} \text{Bq}$ （4000Ci）。

生产原料（堆内辐照生成的钕聚乳酸微球）通过厂内运输送到项目工作场所中试楼（Ho-166 生产线），通过吊装平台进入切割热室（RS3），生产原料暂存于切割热室。在屏蔽工作箱，根据用户需求用分装装置对产品进行分装到产品玻璃瓶中。每批次生产 1 瓶，产品包装规格为 4g/瓶，包装材料为西林瓶+铅罐（带 15mm 聚四氟乙烯内衬），铅罐厚度为 40mm。用小车将产品瓶运送至发货箱，装入铅罐中，在出货间将铅罐装入包装容器内，产品暂存于出货间。

（2）放化分析实验室和制样间以及样品间

中试楼一层共有 2 间放化分析实验室和 1 间制样间以及样品间，放射化学实验室主要用于样品质检、处理等过程，配置化学实验台、双位通风柜等实验台面和酸度计、电子天平等设备，具备常规化学处理功能；制样间和样品间主要用于开展产品的放射性分析样品制备，拟操作核素有 I-125，日最大操作量 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $9.25 \times 10^7 \text{Bq}$ ，每年操作 40 次，每批次操作时间为 1h，年最大操作量为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；C-14，日最大操作量 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.85 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，每年操作 40 次，每批次操作时间为 1h，年最大操作量 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ ；P-32，包括有载体磷 ^{32}P 酸钠溶液、无载体磷 ^{32}P 酸钠溶液和磷 ^{32}P 玻璃微球，日最大操作量分别为 $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量分别为 $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ 、 $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ 、 $1.48 \times 10^7 \text{Bq}$ ，1 周 1 次，每年操作 40 次，每批次操作时间为 1 h，总年最大操作量 $1.78 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；Lu-177，日最大操作量 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $3.7 \times 10^7 \text{Bq}$ ，每年操作 40 次，每批次操作时间为 1h，年最大操作量为 $1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；Ra-223，日最大操作量 $9.25 \times 10^7 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ ，每年操作 40 次，每批次操作时间为 1h，年最大操作量 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ ；Y-90，日最大操作量 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ ，每年操作 40 次，每批次操作时间为 1h，年最大操作量 $2.96 \times 10^{12} \text{Bq}$ ；Re-188，日最大操作量 $1.85 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，每年操作 40 次，每批次操作时间为 1h，年最大操作量 $7.4 \times 10^{12} \text{Bq}$ ；Ho-166，日最大操作量 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$ ，1 周 1 次，每年操作 40 次，每批次操作时间为 1h，年最大操作量 $2.96 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。

（3）放射性阳性接种室和无菌室

中试楼一层布置 1 间放射性阳性接种室和 1 间无菌室，主要用于后端产品细菌毒素研究，阳性接种室拟操作核素 P-32，日最大操作量为 $4.44 \times 10^5 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $4.44 \times 10^4 \text{Bq}$ ，每周一次，每年 40 次，年最大操作量为 $1.776 \times 10^7 \text{Bq}$ ；Lu-177，日最大操作量为 $3.7 \times 10^4 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $3.7 \times 10^3 \text{Bq}$ ，每周一次，每年 40 次，年最大操作量为 $1.48 \times 10^6 \text{Bq}$ ；Ra-223，日最大操作量为 $9.25 \times 10^3 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $9.25 \times 10^4 \text{Bq}$ ，每周一次，每年 40 次，年最大操作量为 $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ ；Y-90，日最大操作量为 $7.4 \times 10^5 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^4 \text{Bq}$ ，每周一次，每年 40 次，年最大操作量为 $2.96 \times 10^7 \text{Bq}$ ；Re-188，日最大操作量为 $1.85 \times 10^6 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ ，每周一次，每年 40 次，年最大操作量为 $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$ ；Ho-166，日最大操作量为 $7.4 \times 10^5 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^3 \text{Bq}$ ，每周一次，每年 40 次，年最大操作量为 $2.96 \times 10^7 \text{Bq}$ 。放射性无菌室拟操作核素 P-32，日最大操作量为 $4.44 \times 10^6 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $4.44 \times 10^5 \text{Bq}$ ，每周一次，每年 40 次，年最大操作量为 $1.776 \times 10^8 \text{Bq}$ ；Lu-177，日最大操作量为 $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $3.7 \times 10^4 \text{Bq}$ ，每周一次，每年 40 次，年最大操作量为 $1.48 \times 10^7 \text{Bq}$ ；Ra-223，日最大操作量为 $9.25 \times 10^4 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $9.25 \times 10^5 \text{Bq}$ ，每周一次，每年 40 次，年最大操作量为 $3.7 \times 10^6 \text{Bq}$ ；Y-90，日最大操作量为 $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^6 \text{Bq}$ ，每周一次，每年 40 次，年最大操作量为 $2.96 \times 10^9 \text{Bq}$ ；Re-188，日最大操作量为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.85 \times 10^7 \text{Bq}$ ，每周一次，每年 40 次，年最大操作量为 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ ；Ho-166，日最大操作量为 $7.4 \times 10^6 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^4 \text{Bq}$ ，每周一次，每年 40 次，年最大操作量为 $2.96 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

(4) 放化实验室

二层布置 4 间放化实验室，其中放化实验室 1、2、3 拟操作核素 C-14，日最大操作量 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，每年操作 40 次，年最大操作量 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；核素 P-32，包括有载体磷 ^{32}P 酸钠溶液、无载体磷 ^{32}P 酸钠溶液和磷 ^{32}P 玻璃微球，日最大操作量分别为 $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量分别为 $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 $1.48 \times 10^7 \text{Bq}$ ，1 周 1 次，每批次操作时间为 1h，每年操作 40 次，总年最大操作量为 $1.78 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；Lu-177，日最大操作量 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ，1 周 1 次，每批次操作时间为 2h，每年操作 40 次，年最大操作量 $1.48 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；Sr-90，日最大操作量 1.8

$5 \times 10^{10} \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$, 1 周 1 次, 每批次操作时间为 1h, 每年操作 40 次, 年操作量为 $7.4 \times 10^{11} \text{Bq}$; Y-90, 日最大操作量 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$, 1 周 1 次, 每批次操作时间为 4h, 每年操作 40 次, 年最大操作量 $7.4 \times 10^{11} \text{Bq}$; Ra-223, 日最大操作量 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$; 日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$, 1 周 1 次, 每批次操作时间为 4h, 每年操作 40 次, 年最大操作量 $2.96 \times 10^{11} \text{Bq}$; Ac-227, 日最大操作量 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$, 1 周 1 次, 每批次操作时间为 1h, 每年操作 40 次, 年最大操作量为 $1.48 \times 10^{11} \text{Bq}$; Ra-226, 日最大操作量 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^{12} \text{Bq}$, 1 周 1 次, 每批次操作时间为 1h, 每年操作 40 次, 年最大操作量为 $2.96 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。

(5) 放射性原料间和靶件制备间

放射性原料间和靶件制备间主要用于原料的暂存和靶件的制备, 拟操作核素 Ra-226, 日最大操作量 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^{13} \text{Bq}$, 每年操作 50 次, 年最大操作量为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$; Sr-90, 日最大操作量 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$, 每年操作 30 次, 年最大操作量为 $2.22 \times 10^{12} \text{Bq}$; Y-90 日最大操作量 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$, 每年操作 30 次, 年最大操作量为 $1.11 \times 10^{13} \text{Bq}$ 。

(6) 标记实验室

中试楼二层布置 1 间标记实验室, 同位素标记研究实验室, 用于医用放射性同位素标记与应用研究, 配置化学实验台、双位通风柜、超洁净工作台和真空手套箱等实验台面和酸度计、电子天平等设备, 实验室具备洁净区功能。标记实验室拟操作核素 C-14, 日最大操作量 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $1.85 \times 10^{11} \text{Bq}$, 1 周 1 次, 每批次操作时间为 8h, 每年操作 40 次, 年最大操作量为 $7.4 \times 10^{11} \text{Bq}$; Lu-177, 日最大操作量 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$, 1 周 1 次, 每批次操作时间为 4h, 每年操作 40 次, 年最大操作量为 $7.4 \times 10^{11} \text{Bq}$; Ra-223, 日最大操作量 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$, 1 周 1 次, 每批次操作时间为 4h, 每年操作 40 批次, 年最大操作量为 $1.48 \times 10^{11} \text{Bq}$; Y-90, 日最大操作量 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$, 1 周 1 次, 每批次操作时间为 4h, 每年操作 40 次, 年最大操作量为 $7.4 \times 10^{11} \text{Bq}$; Re-188, 日最大操作量 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$, 1 周 1 次, 每批次操作时间为 4h, 每年操作 40

次，年最大操作量为 $7.4 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。

(7) 三废处理间

地下一层设置废液收集间，二层设置废物暂存间。

废液收集间分为放射性废液收集间和其他废液收集间，该房间面积 180m^2 ，楼墙体为不锈钢覆面。8条生产线放射性废液的年产生总量约为 8.12m^3 ，其中无载体 ^{177}Lu 生产线放射性废液年产生量约 5.56m^3 ，设置2个有效容积为 6m^3 的贮槽，1个用于待接收，另1个备用，每一年进行一次槽车转运，运输至新三废处理中心净化处理。其他7条生产线产生的放射性废液年产生量约 2.56m^3 ，拟进行集中收集，每一年进行一次槽车转运，运输至新三废处理中心净化处理，贮槽的材料为 $06\text{Cr}18\text{Ni}11\text{Ti}$ ，尺寸为 $\varnothing 2000 \times 4000 \text{mm}$ ，壁厚 8mm ，贮槽所在房间墙体进行屏蔽设计，屏蔽墙厚度约 600mm 普通混凝土。转运槽车采用铅屏蔽材料，屏蔽厚度约 30mm 。

设置2个有效容积为 15m^3 的方形水泥贮槽用于洗消废液和淋浴废液的处理，当废液活度浓度小于 10Bq/L ，达到排放标准时，排入厂房工业下水管道。经过检测未排放标准时，泵送至备用贮槽暂存，通过槽车运输至新三废处理中心净化处理，洗消废液贮槽的材料为 $06\text{Cr}19\text{Ni}10$ ，尺寸为 $\varnothing 3100 \times 4700 \text{mm}$ ，壁厚 8mm 。

废物暂存间位于2层，该房间面积 49.5m^2 ，放射性固体废物每年产量约 2.3 吨，放射性固体废物在临时收集点处理后，通过吊车运送至厂区内的固废暂存间，装入屏蔽箱中由专用运输车运送至一号点暂存库进行处理。屏蔽箱采用 $\text{EJ}1076\text{-VIII A}$ 型屏蔽废物包装箱，外形尺寸 $1573 \times 1565 \times 1331 \text{mm}$ ，壁厚 50mm ，外形体积为 3.28m^3 ，内部尺寸 $1350 \times 1357 \times 1045 \text{mm}$ ，容积为 1.91m^3 。

3.1.1.2 配套工程建设情况

同位素生产辅助设施配套工程主要是研发楼、包材试剂库房和门卫及大门。

(1) 研发楼

研发楼占地面积约为 1024m^2 ，建筑面积约为 2992m^2 ，与中试楼通过连廊通道连接，主要为同位素生产辅助设施区域，共三层，地上一层布置纯水制备间、男女更衣间、淋浴间、门厅、会议室等，二层主要为办公室、阅览室等房间；三层主要为化学试剂间、化学实验室以及化学检验间以及标准物质间等房间。

(2) 包材试剂库房

包材试剂库房为地上一层，占地面积约为 320m^2 ，建筑面积约为 320m^2 ，主要

用于试剂包装存放。

(3) 门卫及大门

门卫及大门占地面积约为 47.5 m²，建筑面积约为 47.5m²，供安保人员值班用。

(4) 消防水池及烟囱

消防水池为室外独立地下构筑物、烟囱为室外构筑物。

本项目各构筑物的综合技术经济指标见表 3.1-2。

表 3.1-2 本项目建构筑物一览表

类型	序号	建、构筑物名称	占地面积 (m ²)	建筑面积 (m ²)	层数	备注
生产	1	中试楼	4104	7141	3	局部地下 1 层，地上 2 层，局部 1 层
办公	2	研发楼	1023	2991	3	地上 3 层
其他	3	包材试剂库房	320	320	1	地上 1 层
	4	门卫及大门	47.5	47.5	1	地上 1 层
	5	消防水池及烟囱	/	/	/	独立建筑
合计			5496	10500		

3.1.1.3 项目操作核素的情况

本项目操作的核素包括 8 条生产线操作 ¹²⁵I、¹⁴C、¹⁷⁷Lu、²²³Ra、⁹⁰Sr、⁹⁰Y、³²P、¹⁶⁶Ho、¹⁸⁸Re、¹⁸⁸W、²²⁷Ac、²²⁶Ra 等 12 种核素；一层布置放化分析实验室和制样间、样品间，拟操作核素有 I-125、C-14、P-32、Lu-177、Ra-223、Y-90、Re-188、Ho-166。放射性阳性接种室和无菌室拟操作核素 P-32、Lu-177、Ra-223、Y-90、Re-188、Ho-166；二层布置 3 间放化实验室，放化实验室 1、2 拟操作核素 C-14、P-32、Lu-177、Sr-90、Y-90；放化实验室 3 拟操作核素 C-14、P-32、Lu-177、Sr-90、Y-90、Ra-226、Ac-227、Ra-223。放射性原料间和靶件制备间拟操作核素 Ra-226、Sr-90、Y-90；标记实验室操作核素 C-14、Lu-177、Ra-223、Y-90、Re-188。

本项目涉及的非密封放射性物质的规模及相关参数汇总列于表 3.1-3。

表 3.1-3 8 条生产线放射性同位素的操作情况

序号	核素名称	原料	产品	主要工艺	每批次操作量 (Bq)	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年操作量 (Bq)	产品活度	每天操作的批次	每年操作的批次	每批次操作时间 (h)
1	¹²⁵ I	固体颗粒	Na ¹²⁵ I 水溶液	吸附、淋洗脱附	1.85×10 ¹³	1.85×10 ¹³	3.7×10 ¹²	1.11×10 ¹⁵	3.7×10 ¹⁰ Bq/ml	1	60	5
2	¹⁴ C	固体粉末	Ba ¹⁴ CO ₃ 固体	靶管切割、吸收液吸收、沉淀、过滤干燥	7.4×10 ¹⁰	7.4×10 ¹⁰	7.4×10 ¹²	7.4×10 ¹²	9.25×10 ⁹ Bq/g	1	100	12
3	³² P	固体粉末	有载体磷 [³² P]酸钠溶液	靶管清洗、破碎、溶解、过滤蒸发	5.55×10 ¹¹	5.55×10 ¹¹	5.55×10 ¹³	2.775×10 ¹³	1.85×10 ⁹ Bq/ml	1	50	4
		固体粉末	无载体磷 [³² P]酸钠溶液	靶管清洗、破碎、溶解、萃取分离、氧化蒸馏	5.55×10 ¹¹	5.55×10 ¹¹	5.55×10 ¹³	2.775×10 ¹³	1.85×10 ⁹ Bq/ml	1	50	4
		固体颗粒	³² P 玻璃微球固体	靶管切割	5.55×10 ¹¹	5.55×10 ¹¹	5.55×10 ⁹	2.775×10 ¹³	7.4×10 ¹² Bq/kg	1	50	4
4	¹⁷⁷ Lu	固体粉末	¹⁷⁷ LuCl ₃ 溶液	靶管清洗、破碎、溶解、过滤、分离纯化	7.4×10 ¹²	7.4×10 ¹²	7.4×10 ¹⁴	3.7×10 ¹⁴	3.7×10 ¹⁰ Bq/mL	1	50	8
5	²²⁶ Ra	固体粉末	²²³ RaCl ₂	靶管切割、溶解、料液分离、淋洗	7.4×10 ⁹	7.4×10 ⁹	7.4×10 ¹³	3.7×10 ¹¹	1.85×10 ⁸ Bq/ml	1	50	4
6	²²⁷ Ac				3.7×10 ⁹	3.7×10 ⁹	3.7×10 ⁹	2.59×10 ¹¹		1	70	4
7	²²³ Ra				9.25×10 ¹⁰	9.25×10 ¹⁰	9.25×10 ¹⁰	1.85×10 ¹²		1	20	8
8	⁹⁰ Y	溶液	⁹⁰ YCl ₃ 溶液	溶液上柱、发生器组装、淋洗	3.7×10 ¹¹	3.7×10 ¹¹	3.7×10 ⁹	4.44×10 ¹³	1.85×10 ⁹ Bq/ml	1	120	8
9	⁹⁰ Sr				7.4×10 ¹⁰	7.4×10 ¹⁰	7.4×10 ¹⁰	2.22×10 ¹²		1	30	5
10	¹⁸⁸ Re	固体颗粒	¹⁸⁸ Re- ¹⁸⁸ W 发生器、 ¹⁸⁸ ReCl ₂ 溶液	靶件切割、清洗、破碎溶解、过滤、干燥、淋洗	1.85×10 ¹¹	1.85×10 ¹¹	1.85×10 ⁹	1.85×10 ¹³	1.85×10 ¹⁰ Bq/条	1	100	5
11	¹⁸⁸ W				3.7×10 ¹⁰	3.7×10 ¹⁰	3.7×10 ¹¹	3.7×10 ¹²		1.85×10 ⁹ Bq/ml	1	100
12	¹⁶⁶ Ho	固体颗粒	¹⁶⁶ Ho-微球悬浮液	靶管切割、清洗	7.4×10 ¹⁰	7.4×10 ¹¹	7.4×10 ⁹	1.48×10 ¹⁴	1.85×10 ¹⁰ Bq/g	10	2000	1

表 3.1-4 放射性同位素的操作情况

序号	核素名称	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年操作量 (Bq)	每周操作的批次	每年操作的批次	备注	
1	^{14}C	1.85×10^9	1.85×10^{10}	7.4×10^{10}	1	40	放化实验室 1-3	
2	^{32}P	1.48×10^9	1.48×10^9	5.92×10^{10}	1	40		
		1.48×10^9	1.48×10^9	5.92×10^{10}	1	40		
		1.48×10^9	1.48×10^7	5.92×10^{10}	1	40		
3	^{177}Lu	3.7×10^9	3.7×10^8	1.48×10^{11}	1	40		放化分析实验室和制样间
4	^{90}Y	1.85×10^{10}	1.85×10^9	7.4×10^{11}	1	40		
5	^{90}Sr	1.85×10^{10}	1.85×10^{10}	7.4×10^{11}	1	40		
6	^{226}Ra	1.85×10^9	1.85×10^{12}	7.4×10^{10}	1	40		
7	^{227}Ac	1.85×10^9	1.85×10^{10}	7.4×10^{10}	1	40		
8	^{223}Ra	7.4×10^9	7.4×10^{10}	2.96×10^{11}	1	40		
9	^{125}I	9.25×10^8	9.25×10^7	3.7×10^{10}	1	40		
10	^{32}P	1.48×10^9	1.48×10^8	5.92×10^{10}	1	40		
		1.48×10^9	1.48×10^8	5.92×10^{10}	1	40		
		1.48×10^9	1.48×10^7	5.92×10^{10}	1	40		
11	^{14}C	1.85×10^8	1.85×10^{11}	7.4×10^9	1	40	阳性接种室	
12	^{177}Lu	3.7×10^8	3.7×10^7	1.48×10^{10}	1	40		
13	^{223}Ra	9.25×10^7	9.25×10^8	3.7×10^9	1	40		
14	^{90}Y	7.4×10^{10}	7.4×10^9	2.96×10^{12}	1	40		
15	^{188}Re	1.85×10^{11}	1.85×10^{10}	7.4×10^{12}	1	40		
16	^{166}Ho	7.4×10^9	7.4×10^7	2.96×10^{11}	1	40		
17	^{32}P	4.44×10^5	4.44×10^4	1.776×10^7	1	40		
18	^{177}Lu	3.7×10^4	3.7×10^3	1.48×10^6	1	40		
19	^{223}Ra	9.25×10^3	9.25×10^4	3.7×10^5	1	40		
20	^{90}Y	7.4×10^5	7.4×10^4	2.96×10^7	1	40	放射性无菌室	
21	^{188}Re	1.85×10^6	1.85×10^5	7.4×10^7	1	40		
22	^{166}Ho	7.4×10^5	7.4×10^3	2.96×10^7	1	40		
23	^{32}P	4.44×10^6	4.44×10^5	1.776×10^8	1	40		
24	^{177}Lu	3.7×10^5	3.7×10^4	1.48×10^7	1	40		

序号	核素名称	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年操作量 (Bq)	每周操作的批次	每年操作的批次	备注
25	²²³ Ra	9.25×10 ⁴	9.25×10 ⁵	3.7×10 ⁶	1	40	
26	⁹⁰ Y	7.4×10 ⁷	7.4×10 ⁶	2.96×10 ⁹	1	40	
27	¹⁸⁸ Re	1.85×10 ⁸	1.85×10 ⁷	7.4×10 ⁹	1	40	
28	¹⁶⁶ Ho	7.4×10 ⁶	7.4×10 ⁴	2.96×10 ⁸	1	40	
29	²²⁶ Ra	7.4×10 ⁹	7.4×10 ¹³	3.7×10 ¹¹	1	50	
30	⁹⁰ Sr	7.4×10 ¹⁰	7.4×10 ¹⁰	2.22×10 ¹²	1	30	原料暂存间和靶件制备间
31	⁹⁰ Y	3.7×10 ¹¹	3.7×10 ⁹	1.11×10 ¹³	1	30	
32	¹⁴ C	1.85×10 ¹⁰	1.85×10 ¹¹	7.4×10 ¹¹	1	40	
33	¹⁷⁷ Lu	1.85×10 ¹⁰	1.85×10 ⁹	7.4×10 ¹¹	1	40	标记实验室
34	⁹⁰ Y	1.85×10 ¹⁰	1.85×10 ⁹	7.4×10 ¹¹	1	40	
35	²²³ Ra	3.7×10 ⁹	3.7×10 ¹⁰	1.48×10 ¹¹	1	40	
36	¹⁸⁸ Re	1.85×10 ¹⁰	1.85×10 ⁹	7.4×10 ¹¹	1	40	

3.1.2 项目组成及依托的公辅设施

3.1.2.1 项目组成及主要环境问题

项目的主要建设内容包括中试楼、研发楼以及包材试剂库房和门厅以及大门环保设施等，项目建设的规模及可能产生的环境问题详见表 3.1-4。

表 3.1-4 项目组成及主要环境问题

名称	建设内容及规模		可能产生的环境问题		
			施工期	运行期	
主体工程	中试楼	8条同位素生产线	<p>碘-125 生产线：产品为碘（I-125）化钠溶液，建造 5 个屏蔽工作箱，1-4#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢（7.8g/cm³），窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢；5#箱体前板为 75mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 50mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 75mm 的碳钢；每年生产 3000 瓶碘（I-125）化钠溶液。 备注：1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同</p>	施工噪声、扬尘、废水、建筑垃圾、生活污水	放射性废气、放射性废液、放射性固体废物；生活污水，固体废物和噪声
			<p>碳-14 生产线：产品为 Ba¹⁴CO₃ 固体，建造 2 个屏蔽工作箱和 1#热室，1#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 80mm 碳钢（7.8g/cm³），窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢；2#箱体前板为 30mm，碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 10mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 30mm 的碳钢；1#热室前板为 1000mm（普混），后板、顶板、底板、侧板为 600mm（普混），窥视窗屏蔽相当于 1000mm 的普混；每年生产 800g Ba¹⁴CO₃ 产品。</p>		
			<p>磷-32 生产线：产品为有载体磷[³²P]酸钠溶液、无载体磷[³²P]酸钠溶液、³²P 玻璃微球固体，建造 5 个屏蔽工作箱，1-4#箱体前板为 150mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 100mm 碳钢（7.8g/cm³），窥视窗屏蔽相当于 150mm 的碳钢；5#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢；各产品线每年生产 500-1500 瓶产品。 备注：1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同。</p>		
			<p>Lu-177 生产线：产品为 ¹⁷⁷LuCl₃ 溶液，建造 6 个屏蔽工作箱和 2#热室，1-5#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢（7.8g/cm³），窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢；6#箱体前板为 75mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 75mm 的碳钢；2#热室前板为 1000mm（普混），后板、顶板、底板、侧板为 600mm（普混），窥视窗屏蔽相当于 1000mm 的普混，每年生产 500 瓶产品。 备注：1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同。</p>		
			<p>镭-223 生产线：产品为 ²²³RaCl₂ 溶液，建造 6 个屏蔽工作箱，1-5#箱体前板为 150mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 100mm 碳钢（7.8g/cm³），窥视窗屏蔽相当于 150mm 的碳钢；6#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢；每年生产 2000 瓶产品。 备注：1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同。</p>		

		<p>Y-90 生产线：产品为 $^{90}\text{YCl}_3$ 溶液，建造 5 个屏蔽工作箱 1-4#箱体前板为 150mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 100mm 碳钢 ($7.8\text{g}/\text{cm}^3$)，窥视窗屏蔽相当于 150mm 的碳钢；5#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢；每年生产 1200 瓶产品。</p> <p>备注：1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同</p> <p>钨铼发生器生产线：产品为 $^{188}\text{ReCl}_2$ 溶液。建造 5 个屏蔽工作箱和 3#热室，1-4#箱体前板为 250mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 150mm 碳钢 ($7.8\text{g}/\text{cm}^3$)，窥视窗屏蔽相当于 250mm 的碳钢；5#箱体前板为 200mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 100mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 200mm 的碳钢；3#热室前板为 1000mm (普混)，后板、顶板、底板、侧板为 600mm (普混)，窥视窗屏蔽相当于 1000mm 的普混，每年生产 1000 瓶产品，生产 200 条发生器。</p> <p>备注：1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同</p> <p>Ho-166 生产线：产品为 ^{166}Ho-微球悬浮液。建造 4 个屏蔽工作箱，箱体前板为 250mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 150mm 碳钢 ($7.8\text{g}/\text{cm}^3$)，窥视窗屏蔽相当于 250mm 的碳钢；每年生产 2000 瓶产品。</p> <p>备注：1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同</p>		
	其他实验室	一层制样间、样品间；二层放化实验室 (1-3) 和标记实验室共设 6 套屏蔽通风柜，屏蔽材料为 20mm 碳钢 (或相同屏蔽能力铅玻璃)。		
	靶件制备间	靶件制备间操作核素，屏蔽材料为 40mm 铅玻璃。		
辅助工程	研发楼	研发楼占地面积约为 1001.5m^2 ，建筑面积约为 2991m^2 ，与中试楼通过连廊通道连接，主要为同位素生产辅助设施区域，共三层，地上一层布置纯水制备间、男女更衣间、淋浴间、门厅、会议室等，二层主要为办公室、阅览室等房间；三层主要为化学试剂间、化学实验室以及化学检验间以及标准物质间等房间。	施工噪声、施工扬尘、施工废水、建筑垃圾、施工人员生活污水	生活废水、生活垃圾
	包材试剂库房	包材试剂库房为地上一层，占地面积约为 320m^2 ，建筑面积约为 320m^2 ，主要用于试剂包装存放。		
	门厅和大门	门卫及大门占地面积约为 47.5m^2 ，建筑面积约为 47.5m^2 ，供安保人员值班用。		
公用工程	给水	厂区给水管网作为水源提供自来水。	/	/
	排水	新建排水管网接至厂区现有生产排水管网。		
	供配电	电源拟引自附近变电站。		
环保	非放射性废水处理	生产废水和生活污水经化粪池处理后排入市政污水管网。	/	非放射性废水

工程	非放射性气体处理	非放射性气体废物通过通风柜等排风装置经净化后出屋面排放。	/	非放射性气体
	非放射性废物处理	非放射性固体废物分类收集后，由专业收集公司送往指定场所进行处理。		非放射性固体废物
	放射性废气处理	保证气流方向从“净区”到“脏区”，各不同分区之间维持一定负压，放射性区域排风经过滤处理后经烟囱高空排放。本项目中试楼设有 24 套送排风系统。放射性废气处理装置包括管式排风净化装置，对废气的处理效率为 85%，高效粒子过滤器（含预过滤器、高效粒子过滤器两部分），对废气的过滤效率为 99%。中试楼放射性排风通过烟囱高空排放，排风塔高 60m。		放射性废气
	放射性废液处理	放射性废液主要为中低放废液，8 条生产线放射性废液的年产生总量约为 8.12 m ³ ，每一年进行一次槽车转运，转运时先将待转运废液泵送至中间罐中，再由中间罐泵送至槽车中，运输至新三废处理中心净化处理；设置 2 个 15m ³ 的洗消废液贮槽用于贮存洗消废液、疏排水、淋浴废水等。		放射性废液
	放射性废物暂存	放射性固体废物每年产量约 2.3 吨，放射性固体废物在临时收集点处理后，通过吊车运送至厂区内的固废暂存间，装入屏蔽箱中由专用运输车运送至一号点暂存库进行处理。		放射性固体废物

3.1.2.2 公用辅助工程

本项目公用辅助工程和环保工程大部分依托夹江核技术应用产业园配套设施，具体情况如下：

(1) 公用工程

① 给排水

给水：水源为青衣水厂供水。青衣水厂供水规模为 5 万 m³/d。

排水：项目生活污水排入园区污水管网，最后进入木城镇污水处理站。本项目排放的生活污水为 2.79m³/d，木城镇污水处理站已建成投运且具有处理本项目生活污水的能力，项目产生的污水排入木城镇污水处理站可行。

本项目实行雨污水分流，雨水通过雨水管网排放。

② 供配电

本项目由园区配套的母线引入电源供建筑内工艺设备、电梯及照明用电。项目配电电压为 220V/380V。

(2) 环保工程

① 放射性三废处理

a、放射性废气

本项目放射性区域内通风系统根据建筑物的辐射防护分区进行设计，合理组织气流，保证气流方向从“净区”到“脏区”、从低污染区流向高污染区，各不同分区之间维持一定负压，放射性区域排风经过滤处理后经排风塔高空排放。本项目共设置 29 套排风系统，其中放射性洁净区域设有 27 套排风系统，分别为 8 条生产线、放射性阳性接种室和无菌室、废液收集间、放化分析实验室以及二层放化实验室、标记实验室、放射性原料间和靶件制备间；中试楼非放射性排风区域设置 2 套排风系统，分别为非放射性质检区以及冷柱制备间和负压瓶及生理盐水制备间等。放射性废气经过滤处理后经烟囱高空排放，放射性废气处理装置包括管式排风净化装置，对废气的处理效率为 85%，高效粒子过滤器（含预过滤器、高效粒子过滤器两部分），对废气的过滤效率为 99%。中试楼放射性排风通过烟囱高空排放，烟囱高度 60m，直径 1.7m。详见 4.3 节三废的治理的介绍。

b、放射性废水

本项目的放射性废水主要来自各条同位素生产线、生产箱体去污、放化实验室、质检、留样观察及洗浴废水,依照四川省生态环境厅关于《夹江核技术产业园规划环境报告书》的审查意见（川环建函[2019]57 号）进行处理。为实现废水自流收集，需将废水收集贮存系统的废水槽与各产生放射性废水的系统设备错层布置，大批量产生的废液通过管道送至位于地下一层的放射性液体收集间，少量废液通过装入屏蔽容器人工转移的方式送入放射性废液收集间的贮罐内，暂存、衰变，定期取样分析。

8 条生产线放射性废液的年产生总量约为 8.12 m^3 ，每一年进行一次槽车转运，转运时先将待转运废液泵送至中间罐中，再由中间罐泵送至槽车中，运输至新三废处理中心净化处理。设置 2 个 15m^3 的洗消废液贮槽用于贮存洗消废液、疏排水、淋浴废水等，每一年进行一次槽车转运，运输至新三废处理中心净化处理。

c、放射性固体废物

放射性固体废物每年产量约 2.3 吨，放射性固体废物在临时收集点处理后，通过吊车运送至厂区内的固废暂存间，装入屏蔽箱中由专用运输车运送至一号点暂存库进行处理。屏蔽箱采用 EJ1076-VIII A 型屏蔽废物包装箱，外形尺寸 1573×1565

×1331mm，壁厚 50mm，外形体积为 3.28 m³，内部尺寸 1350×1357×1045mm，容积为 1.91 m³。

②非放射性三废处理

a、非放射性废气

非放射性气载废物通过通风柜等排风装置经净化后出屋面排放。依照四川省生态环境厅关于《夹江核技术产业园规划环境报告书》的审查意见（川环建函[2019]57号），区域大气环境容量为 SO₂ 1524.47t/a，NO₂ 656.86t/a；规划区大气污染物排放总量建议指标为 SO₂ 2.07t/a，NO_x 5.38t/a，VOCs 0.42t/a。

b、非放射性废水

本工程生活污水排水主要为职工生活排水、职工淋浴排水等，最高日生活污水排水量为 2.79m³/d，经厂区内污水管网收集后，排至化粪池，经化粪池处理后排至市政污水管网，生产废水排水主要为各实验室实验废水等，排水量为 27L/d，经厂区内废水管网收集后排至市政污水管网。依照四川省生态环境厅关于《夹江核技术产业园规划环境报告书》的审查意见（川环建函[2019]57号），青衣江评价河段实际剩余水环境容量为 COD 2770.48t/a，NH₃-N 326.55t/a；规划区水污染物排放总量建议指标为 COD 7.30t/a，NH₃-N 0.55t/a。

c、固体废物

非放射性固体废物分类收集后，由专业收集公司送往指定场所进行处理。

d、噪声

项目生产设施产生的噪声通过车间厂房隔声处理。

3.1.3 项目涉及核素的基本参数及理化性质

项目涉及的生产、使用、销售放射性核素包括：¹²⁵I、¹⁴C、¹⁷⁷Lu、²²⁶Ra、²²⁷Ac、²²³Ra、⁹⁰Sr、⁹⁰Y、³²P、¹⁶⁶Ho、¹⁸⁸Re、¹⁸⁸W等12种放射性核素，各核素核物理参数见表3.1-5。

表 3.1-5 本项目涉及的放射性原料核物理参数及理化性质一览表

序号	核素名称	毒性	形态	半衰期	衰变方式 (分支比, %)	最大粒子 能量 (MeV)	最大光子能 量 (MeV)	Γ 照射量率 常数(R·m ² / h·Ci)
1	¹²⁵ I	中毒	溶液	59.7d	EC (100)		0.03548	0.0043
2	¹⁴ C	中毒	粉末	5692a	β- (100)	0.155		
3	¹⁷⁷ Lu	中毒	粉末	6.71d	β- (100)	0.4968	0.20834	0.0084

4	³² P	中毒	粉末/ 固体	14.26d	β- (100)	1.711		
5	²²³ Ra	极毒	溶液	11.43d	α (100)	5.7478	0.2696	0.048
6	²²⁶ Ra	极毒	粉末	1602a	α (100)	4.7845	0.18618	0.0037
7	²²⁷ Ac	极毒	溶液	21.77a	α (1.4) +β- (~99)	4.9505	0.0995	
8	⁹⁰ Y	中毒	溶液	64.0h	β- (100)	2.288		
9	⁹⁰ Sr	高毒	溶液	28.1a	β- (100)	0.546		
10	¹⁸⁸ W	中毒	粉末	69.78d	β- (100)	0.09973	0.2906828	
11	¹⁸⁸ Re	中毒	溶液	16.98h	β- (100)	2.128	0.633	0.0188
12	¹⁶⁶ Ho	中毒	固体	26.8h	β- (100)	1.8547	1.37943	0.012
13	⁶⁰ Co	高毒	固体	5.26a	β- (100)	0.315	1.333	1.32
14	⁵⁴ Mn	中毒	固体	312.5d	EC (~100) + β+		0.835	0.47
15	²⁴ Na	中毒	固体	15.02h	β- (100)	1.3892	2.7541	1.87
16	⁵⁵ Fe	中毒	固体	2.6a	EC (100)			
17	⁵⁹ Fe	中毒	固体	45.1d	β- (100)	0.461	1.291564	0.63

注：表中数据引自《辐射防护手册》第一分册、IAEA Nuclear Data Section，毒性分组引自 GB18871-2002。

3.1.4 产品规模

本项目生产碘（I-125）化钠溶液、碳（C-14）酸钡、有载体磷[³²P]酸钠溶液、无载体磷[³²P]酸钠溶液、[³²P]玻璃微球固体、氯化镱（Lu-177）、氯化镱Ra-223、氯化钇Y-90、钨镱发生器、氯化镱Re-188、Ho-166微球等产品，本项目产品的销售情况见表3.1-6。

表3.1-6 项目产品的销售规模

序号	核素名称	产品活度范围	产品数量	规格	产品包装材料
1	碘-125	3.7×10 ¹⁰ Bq/ml	每批次生产 5 0 瓶	10mL/瓶	西林瓶+铅罐
2	碳-14	9.25×10 ⁹ Bq/g	每批次生产 8 g	根据需求进行分 装，不大于 8g/ 瓶（10mL 西林 瓶）	西林瓶+铅罐
3	有载体磷[³² P]酸钠溶液	1.85×10 ⁹ Bq/ml	每批次生产 1 0-30 瓶	10ml/瓶 30mL/瓶	西林瓶+铅罐 （带 5mm 聚四 氟乙烯内衬）
4	无载体磷[³² P]酸钠溶液	1.85×10 ⁹ Bq/ml	每批次生产 1 0-30 瓶	10ml/瓶 30mL/瓶	西林瓶+铅罐 （带 5mm 聚四 氟乙烯内衬）
5	³² P 玻璃微 球	7.4×10 ¹² Bq/kg	每批次生产 1 0-30 瓶	5g/瓶 15g/瓶	西林瓶+铅罐 （带 5mm 聚四 氟乙烯内衬）
6	镱-177	3.7×10 ¹⁰ q/mL	每批次生产 5 瓶	10ml/瓶	西林瓶+铅罐
7	镱-223	1.85×10 ⁸ Bq/ml	每批次生产 1 00 瓶	5ml/瓶	西林瓶+铅罐
8	⁹⁰ Y	1.85×10 ⁹ Bq/ml	每批次生产 1	10ml/瓶	西林瓶+铅罐

			0 瓶		(带 5mm 聚四氟乙烯内衬)
9	钨铼发生器	1.85×10^{10} Bq/条	每批次生产两条	/	铅
10	^{188}Re	1.85×10^9 Bq/ml	每批次生产 10 瓶	10ml/瓶	西林瓶+铅罐
11	^{166}Ho	1.85×10^{10} Bq/g	每批次生产 1 瓶	4g/瓶	西林瓶+铅罐 (带 15mm 聚四氟乙烯内衬)

3.1.5 工作场所分级

根据本项目平面布局以及项目基本情况，本项目的非密封放射性物质工作场所包括中试楼同位素生产设施8条生产线，涉及 ^{125}I 、 ^{14}C 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{226}Ra 、 ^{227}Ac 、 ^{90}Sr 、 ^{90}Y 、 ^{32}P 、 ^{166}Ho 、 ^{188}W 、 ^{188}Re 等12种放射性核素的储存和操作；中试楼一层放化分析实验室和制样间、样品间，涉及操作核素有I-125、C-14、P-32、Lu-177、Ra-223、Y-90、Re-188。中试楼二层布置4间放化分析实验室，其中放化实验室1、2、3涉及操作核素P-32、Lu-177、Sr-90、Y-90、W-188、Re-188、Ho-166。放化实验室4涉及操作核素I-125、Ra-223、Ac-227、Ra-226。标记实验室操作核素C-14、Lu-177、Ra-223、Y-90、Re-188。

根据环办辐射函[2016]430号文关于开放性物质操作场所的规定，满足以下特点的放射性药品生产、使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：①有相对独立、明确的监督区和控制区划分；②工艺流程连续完善；③有相对独立的辐射防护措施。

本项目参考以上原则，中试楼8条同位素生产线、放化实验室（一层和二层1-4）和制样间以及样品间、标记实验室涉及非密封放射性物质操作的工作场所均在同一栋建筑物内，物理空间相对连通，使用同一套放射性废气处理设施、共用一处放射性废液和固体废物收集暂存场所，具有共同的人流物流通道。因此，中试楼应该作为1个独立的非密封放射性物质工作场所来管理，场所的等级以在此场所操作的所有核素的日等效最大操作量叠加之和来确定。

在计算日等效最大操作量以确定场所等级时，中试楼8条同位素生产线应综合考虑 ^{125}I 、 ^{14}C 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{226}Ra 、 ^{227}Ac 、 ^{90}Sr 、 ^{90}Y 、 ^{32}P 、 ^{166}Ho 、 ^{188}W 、 ^{188}Re 等12种放射性核素的总储存和操作量；一层阳性接种室、放射性无菌室、放化分析实验室和制样间以及样品间、二层放化实验室、标记实验室、放射性原料间和靶件制备间应综合考虑多种放射性核素的总储存和操作量；使用各场所各核素的储

存和操作的日等效最大操作量之和作为场所分级的判据。按照GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》进行分级。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。

根据以上原则，本项目两个工作场所放射性核素日等效最大操作量的计算见表 3.1-7。

表 3.1-7 放射性核素日等效最大操作量

场所序号	核素名称	日最大操作量 (Bq)	核素毒性组别及修正因子	操作方式与源状态因子	日等效最大操作量 (Bq)	工作场所
1	^{125}I	1.85×10^{13}	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	1.85×10^{12}	8 条同位素生产线
2	^{14}C	7.4×10^{10}	中毒组-0.1	操作方式：特别危险的操作 源状态：粉末 修正因子：0.001	7.4×10^{12}	
3	^{32}P	5.55×10^{11}	中毒组-0.1	操作方式：特别危险的操作 源状态：粉末 修正因子：0.001	5.55×10^{13}	
		5.55×10^{11}		操作方式：特别危险的操作 源状态：粉末 修正因子：0.001	5.55×10^{13}	
		5.55×10^{11}		操作方式：简单操作 源状态：表面污染水平较低的固体 修正因子：10	5.55×10^9	
4	^{177}Lu	7.4×10^{12}	中毒组-0.1	操作方式：特别危险的操作 源状态：粉末 修正因子：0.001	7.4×10^{14}	
5	^{226}Ra	7.4×10^9	极毒-10	操作方式：特别危险的操作 源状态：粉末 修正因子：0.001	7.4×10^{13}	
6	^{227}Ac	3.7×10^9	极毒-10	操作方式：很简单的操作 源状态：溶液 修正因子：10	3.7×10^9	

7	^{223}Ra	9.25×10^{10}	极毒-10	操作方式：很简单的操作 源状态：溶液 修正因子：10	9.25×10^{10}	
8	^{90}Sr	7.4×10^{10}	高毒-1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	7.4×10^{10}	
9	^{90}Y	3.7×10^{11}	中毒组-0.1	操作方式：很简单的操作 源状态：溶液 修正因子：10	3.7×10^9	
10	^{188}W	3.7×10^{10}	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：粉末 修正因子：0.01	3.7×10^{11}	
11	^{188}Re	1.85×10^{11}	中毒组-0.1	操作方式：很简单的操作 源状态：溶液 修正因子：10	1.85×10^9	
12	^{166}Ho	7.4×10^{11}	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：固体 修正因子：10	7.4×10^9	

8条生产线总日等效最大操作量为 9.44E+14Bq

13	^{125}I	9.25×10^8	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	9.25×10^7	一层放 化分析 实验室 及制样 间
14	^{14}C	1.85×10^8	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：粉末 修正因子：0.01	1.85×10^9	
15	^{32}P	1.48×10^9	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	1.48×10^8	
		1.48×10^9	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	1.48×10^8	
		1.48×10^9	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：固体 修正因子：10	1.48×10^7	

16	^{177}Lu	3.7×10^8	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	3.7×10^7	
17	^{223}Ra	9.25×10^7	极毒-10	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	9.25×10^8	
18	^{90}Y	7.4×10^{10}	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	7.4×10^9	
19	^{188}Re	1.85×10^{11}	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	1.85×10^{10}	
20	^{166}Ho	7.4×10^9	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：固体 修正因子：10	7.4×10^7	

一层放化分析实验室及制样间总日等效最大操作量为 $2.92\text{E}+10\text{Bq}$

21	^{32}P	1.48×10^9	中毒组-0.1	操作方式：特别危险的操作 源状态：溶液 修正因子：0.1	1.48×10^9	放化实验室 (1、2、3)
		1.48×10^9		操作方式：特别危险的操作 源状态：溶液 修正因子：0.1	1.48×10^9	
		1.48×10^9 磷玻璃微球		操作方式：简单操作 源状态：固体 修正因子：10	1.48×10^7	
22	^{177}Lu	3.7×10^9	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	3.7×10^8	
23	^{90}Sr	1.85×10^{10}	高毒-1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	1.85×10^{10}	
24	^{90}Y	1.85×10^{10}	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	1.85×10^9	

25	^{14}C	1.85×10^9	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：粉末 修正因子：0.01	1.85×10^{10}	
26	^{226}Ra	7.4×10^9	极毒-10	操作方式：简单操作 源状态：粉末 修正因子：0.01	7.4×10^{12}	
27	^{227}Ac	3.7×10^9	极毒-10	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	3.7×10^{10}	
28	^{223}Ra	7.4×10^9	极毒-10	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	7.4×10^{10}	

放化实验室（1-3）总日等效最大操作量为 $7.55\text{E}+12\text{Bq}$

	^{32}P	4.44×10^5	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	4.44×10^4	阳性接 种室
	^{177}Lu	3.7×10^4	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	3.7×10^3	
	^{223}Ra	9.25×10^3	极毒-10	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	9.25×10^4	
	^{90}Y	7.4×10^5	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	7.4×10^4	
	^{188}Re	1.85×10^6	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	1.85×10^5	
	^{166}Ho	7.4×10^5	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：固体 修正因子：10	7.4×10^3	

阳性接种室日等效最大操作量为 $4.07\text{E}+5\text{Bq}$

	^{32}P	4.44×10^6	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	4.44×10^5	放射性 无菌室
--	-----------------	--------------------	---------	-------------------------------	--------------------	------------

	^{177}Lu	3.7×10^5	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	3.7×10^4	
	^{223}Ra	9.25×10^4	极毒-10	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	9.25×10^5	
	^{90}Y	7.4×10^7	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	7.4×10^6	
	^{188}Re	1.85×10^8	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	1.85×10^7	
	^{166}Ho	7.4×10^6	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：固体 修正因子：10	7.4×10^4	

放射性无菌室日等效最大操作量为 $2.74\text{E}+7\text{Bq}$

	^{226}Ra	7.4×10^9	极毒-10	操作方式：简单操作 源状态：粉末 修正因子：0.001	7.4×10^{13}	放射性原料间 和靶件制备间
	^{90}Sr	7.4×10^{10}	高毒-1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	7.4×10^{10}	
	^{90}Y	3.7×10^{11}	中毒组-0.1	操作方式：很简单的操作 源状态：溶液 修正因子：10	3.7×10^9	

放射性原料间和靶件制备间日等效最大操作量为 $7.41\text{E}+13\text{Bq}$

32	^{14}C	1.85×10^{10}	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：粉末 修正因子：0.01	1.85×10^{11}	标记实验室
33	^{177}Lu	1.85×10^{10}	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	1.85×10^9	
34	^{223}Ra	3.7×10^9	极毒-10	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	3.7×10^{10}	

35	⁹⁰ Y	1.85×10 ¹⁰	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	1.85×10 ⁹
36	¹⁸⁸ Re	1.85×10 ¹⁰	中毒组-0.1	操作方式：简单操作 源状态：溶液 修正因子：1	1.85×10 ⁹

标记实验室总日等效最大操作量为 2.28E+11Bq

工作场所总日等效最大操作量为 6.56E+14Bq

从表 3.1-7 可见，中试楼 8 条生产线日等效最大操作量为 9.44×10¹⁴Bq，一层放化实验室和制样间日等效最大操作量为 2.92×10¹⁰Bq，二层放化实验室（1-3）日等效最大操作量为 7.55×10¹²Bq，放射性原料间和靶件制备间日等效最大操作量为 7.41×10¹²Bq，阳性接种室日等效最大操作量为 4.07×10⁵Bq，放射性无菌室日等效最大操作量为 2.74×10⁷Bq，标记实验室日等效最大操作量为 2.28×10¹¹Bq，因此，工作场所总日等效最大操作量为 1.03×10¹⁵Bq。

按照 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定的分级判据（见表 3.1-8），工作场所总日等效最大操作量为 6.04×10¹⁴Bq，属于甲级非密封放射性物质工作场所。

表 3.1-8 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	>4×10 ⁹
乙	2×10 ⁷ ~4×10 ⁹
丙	豁免活度值以上~2×10 ⁷

3.2 工程设备与工艺分析

3.2.1 工程设备及主要原辅料消耗

3.2.1.1 主要设备

本项目主要的新增设备见表 3.2-1。

表 3.2-1 本项目新增设备情况

序号	生产区域	设备名称	数量	备注
一	I-125 生产线	屏蔽工作箱	6 套	新增
		液体定量分装装置	1 套	新增
		膜灭菌装置	1 套	新增
		蠕动泵	1 套	新增
二	C-14 生产线	屏蔽工作箱	2 套	新增
		热室	1 套	新增
		高温加热提取装置	1 套	新增
		真空干燥箱	1 套	新增
		吸收系统	1 套	新增
		定量分装装置	1 套	新增
		炉体屏蔽罩真空泵	1 套	新增
		蠕动泵	1 套	新增
三	P-32 生产线	屏蔽工作箱	5 套	新增
		有载体磷-32、无载体磷-32、磷-32 玻璃微球制备装置	3 套	新增
		定量分装装置	1 套	新增
		灭菌装置	1 套	新增
四	Lu-177 生产线	屏蔽工作箱	6 套	新增
		靶料处理装置	1 套	新增
		镱分离系统装置	1 套	新增
		纯化装置	1 套	新增
		镱回收装置	1 套	新增
		定量分装装置	1 套	新增
		滤膜灭菌装置	1 套	新增
五	Ra-223 生产线	屏蔽工作箱	6 套	新增
		定量分装装置	1 套	新增
		滤膜灭菌装置	1 套	新增
六	Y-90 生产线	屏蔽工作箱	5 套	新增
		吸附材料合成装置	1 套	新增
		定量分装装置	1 套	新增

	4		灭菌装置	1套	新增
七	1	188W-188Re 生产线	屏蔽工作箱	5套	新增
	2		热室	1套	新增
	3		烘干装置	1套	新增
	4		粉末定量分装机	1套	新增
	5		高温灭菌装置	1套	新增
八	1	Ho-166 生产线	屏蔽工作箱	4套	新增
	2		清洗装置	1套	新增
	3		定量分装装置	1套	新增
	4		灭菌装置	1套	新增
九	1	放化分析实验室、标记实验室等放射性实验室	薄手套箱	12套	新增
	2		屏蔽通风柜	6套	新增
	3		分析仪器	8套	新增
十	1	研发楼（非放化学实验室）	实验台	2台	新增
	2		烘箱	2套	新增
	3		滴定仪	1套	新增
	4		离心机	1套	新增
	5		超声清洗机	1套	新增
	6		通风柜	2台	新增

3.2.1.2 主要原辅材料消耗和能耗

本项目消耗的主要原辅材料除了放射性物质以外，还包括各生产线生产放射源产品所需的化学品，本项目涉及使用的原辅材料消耗及能耗见表 3.2-2。

表 3.2-2 项目消耗的原辅材料

类型	序号	名称	含量	形态	年用量
原 (辅 料	碘-125 生产线（碘化钠 ^[125I] 溶液）				
	1	Xe-124 气体	99.99%	气体	10 L
	2	碘吸附剂	自研	固体颗粒	2k g
	3	氢氧化钠	分析纯	固体粉末	1240 g
	4	去离子水	/	液体	130 L
	C-14 生产线（碳 ^[14C] 酸钡粉末）				
	1	氮化铝	98%	固体粉末	16Kg

2	氢氧化钠	优级纯	白色固体	1Kg
3	氧气	99.999%	气体	10 瓶
4	线状氧化铜	99%	线状固体	2Kg
5	去离子水	——	——	50L
6	氯化钡	99%	无色晶体	500g
7	内靶管	6061 铝	金属固体	10Kg
8	铝靶管	6061 铝	金属固体	23Kg
磷-32 生产线（有载体磷 ^[32P] 酸钠溶液）				
1	赤磷	纯度> 99.999%	固体粉末	100g
2	硝酸	分析纯	液体	1.5 L
3	无水碳酸钠	分析纯	固体粉末	2.5 kg
4	30%过氧化氢	分析纯	液体	2.5 L
5	去离子水	/	固体粉末	250 L
6	石英内靶管	99.9%	石英玻璃固体	100g
7	铝靶管	6061 铝	金属固体	11.5 kg
磷-32 生产线（无载体磷 ^[32P] 酸钠溶液）				
1	硫	纯度> 99.999%	固体粉末	160g
2	盐酸	分析纯	液体	0.5 L
3	三氯乙烯	分析纯	液体	10 L
4	阳离子交换树脂	/	/	10 kg
5	过氧化氢	分析纯	液体	2.5 L
6	无水碳酸钠	分析纯	固体粉末	2.5 kg
7	去离子水	/	液体	250 L
8	石英内靶管	99.9%	石英玻璃固体	160g
9	铝靶管	6061 铝	金属固体	11.5 kg
磷-32 生产线（磷 ^[32P] 玻璃微球）				
1	磷玻璃微球	磷含量 8%	白色粉末	2.5Kg
2	硝酸	分析纯	液体	5 L
3	盐酸	分析纯	液体	20 L
4	丙酮	分析纯	液体	5 L
5	去离子水	/	液体	250 L

6	注射用水	/	液体	250 L
7	铝靶管	6061 铝	金属固体	11.5 kg
8	生理盐水	/	液体	25 L
9	甘油	/	液体	1 L
镱-177 生产线				
1	氧化镱	$^{176}\text{Yb} > 99.2\%$	白色粉末	120 g
2	石英管	高纯石英	石英玻璃固体	360 g
3	铝靶管	6061 铝	金属固体	5500 g
4	萃淋树脂	/	白色粉末	10kg
5	浓硝酸	15 M	无色溶液	240 L
6	浓盐酸	12 M	无色溶液	1 L
7	去离子水	-	无色溶液	2500 L
钇-90 生产线 (氯化钇 ^{90}Y 溶液)				
1	硝酸锶 ^{90}Sr	$^{90}\text{Sr} > 99.90\%$	无色液体	60 Ci
2	氯化锶	99.99%	固体粉末	500 g
3	无机分离材料	自研	固体器件	30 kg
4	浓硝酸	67%	液体	5 L
5	医用盐酸	38%	液体	10 L
6	去离子水	/	液体	150 L
镭-223 生产线 (氯化镭 ^{223}Ra 溶液)				
1	镭-226	3.7E+10Bq/g	固体粉末	3.1481g
2	医用盐酸	36%-38%	无色液体	10L
3	浓硝酸	67%	液体	5L
4	注射水	/	无色液体	320L
5	石英管	高纯石英	规格 $\phi 7\text{mm} \times 60\text{mm}$	3kg
6	铝靶管	6061 铝	灰白固体	7.5kg
7	铝靶件	6061 铝	规格 $\phi 12\text{mm} \times 1206\text{mm}$	32 支 \times
8	分离材料	自研	固体颗粒	400g
钨-188 生产线				
1	三氧化钨	$^{186}\text{W} > 99.5\%$	黄色粉末	200 g
2	氧氯化锆	AR	白色晶体	330 g

3	浓硝酸	15 M	无色溶液	2.5 L
4	氢氧化钠	AR	无色透明晶体	1 kg
5	去离子水	/	无色液体	310 L
6	生理盐水	/	无色液体	200 L
7	双氧水	30%	无色液体	5 L
8	石英管	高纯石英	石英玻璃固体	1.5 kg
9	铝靶件	6061 铝	金属固体	14 支
Ho-166 生产线 (^{166}Ho -微球悬浮液)				
1	六水合氯化钬	$^{165}\text{Ho} > 99.90\%$	白色粉末	2000g
2	医用盐酸	36%-38%	无色液体	50 L
3	注射水	/	无色液体	800 L
4	注射缓冲液	/	无色液体	400 L
5	聚四氟管	聚四氟乙烯 100%	固体有机材料	20 kg
6	铝靶管	6061 铝	金属固体	652 kg

本项目能耗情况见表 3.2-3。

表 3.2-3 项目能耗

类型	名称	来源	年耗量
能源	电能	园区供电	85 万 kwh
水量	自来水	/	3000t

本项目化学原料的理化性质见表 3.2-4。

表 3.2-4 项目主要化学原料理化性质

类别 品名	性 状	危险特性	储 存
盐酸	无色，透明液体，有刺激性气味	与一些活性金属粉末发生反应，放出氢气。遇氰化物能产生剧毒的氰化氢气体。与碱发生中合反应，并放出大量的热。具有强腐蚀	密封于阴凉处保存
硝酸	无色透明发烟液体，有酸味	具有强氧化性。与易燃物(如苯)和有机物(如糖、纤维素等)接触会发生剧烈反应，甚至引起燃烧。与碱金属能发生剧烈反应。具有强腐蚀性	密封于阴凉处保存
乙醇	无色液体，有酒香	易燃，其蒸气与空气可形成爆炸性混合物。遇明火、高热能引起燃烧爆炸。与氧化剂接触发生化学反应或引起燃烧。	密封于阴凉处保存

丙酮	无色透明易流动液体，有芳香气味，极易挥发	其蒸气与空气可形成爆炸性混合物。遇明火、高热极易燃烧爆炸。与氧化剂能发生强烈反应	密封于阴凉处保存
----	----------------------	--	----------

3.2.1.3 放射性同位素来源及储存

(1) 碘-125 生产线

碘-125 生产线生产原料入堆辐照后生成的碘-125 固体颗粒，原料比活度为 20 Ci/g，原料罐为 50mm 铅罐，生产原料通过厂内运输送到本项目中试楼碘-125 生产线，通过吊装大厅进入进料箱（I-1），原料暂存于进料箱（I-1）。

(2) 碳-14 生产线

碳-14 生产线生产原料为入堆辐照后生成的碳-14 固体粉末，原料比活度为 10-15mCi/g，原料罐为 200mm 铅罐，生产原料通过厂内运输送到本项目中试楼碳-14 生产线，通过吊装大厅进入切割热室（RS1），原料暂存于切割热室 RS1。

(3) 磷-32 生产线

磷-32 生产线包括有载体磷（P-32）酸钠溶液、无载体磷（P-32）酸钠溶液和磷（P-32）玻璃微球三种情况，其中有载体磷酸钠溶液的主要原料为入堆辐照后生成的 P-32 固体粉末，原料比活度为 8-10Ci/g，原料罐为 200mm 铅罐，生产原料通过厂内运输送到本项目中试楼磷-32 生产线，通过吊装大厅进入切割热室（RS2），原料暂存于切割热室 RS2；无载体磷酸钠溶液的主要原料为入堆辐照后生成的 P-32 固体粉末，原料比活度为 4-5Ci/g，原料罐为 200mm 铅罐，生产原料通过厂内运输送到本项目中试楼磷-32 生产线，通过吊装大厅进入切割热室（RS2），原料暂存于切割热室 RS2；磷（P-32）玻璃微球的主要原料为入堆辐照后生成的磷玻璃微球固体颗粒，原料比活度为 0.5-1Ci/g，原料罐为 200mm 铅罐，生产原料通过厂内运输送到本项目中试楼磷-32 生产线，通过吊装大厅进入切割热室（RS2），原料暂存于切割热室 RS2。

(4) 镱-177 生产线

镱-177 生产线的生产原料为入堆辐照后生成的 Lu-177 固体粉末，原料比活度为 13-15Ci/g，原料罐为 200mm 铅罐，生产原料通过厂内运输送到本项目中试楼镱-177 生产线，通过吊装平台进入切割热室（RS2），原料暂存于切割热室 RS2。

(5) 镭-223 生产线

镭-223 生产线的生产原料为入堆辐照后生成的镭-226、Ac-227、Ra-223 固体

粉末，原料比活度分别为 1Ci/g 、 0.4Ci/g 、 0.35Ci/g ，原料罐为 200mm 铅罐，生产原料通过厂内运输送到本项目中试楼镭-223 生产线，通过吊装平台进入切割热室（RS3），原料暂存于切割热室 RS3。

(6) 钇-90 生产线

钇-90 生产线的主要原料为硝酸锶[^{90}Sr]溶液，存放在放射性原料间，原料比活度为 20mCi/ml ，原料罐为 50mm 铅罐，原料通过放射性原料间直接进入进料箱 Y-1，生产原料暂存于进料箱。

(7) 钨铼发生器生产线

钨铼发生器生产线的主要原料为入堆辐照后生成的钨铼固体颗粒，原料比活度为 $0.2\text{-}0.3\text{Ci/g}$ ，原料罐为 200mm 铅罐，生产原料通过厂内运输送到本项目中试楼钨铼发生器生产线，通过吊装平台进入切割热室（RS3），原料暂存于切割热室 RS3。

(8) 铥-166 生产线

铥-166 生产线的主要原料为入堆辐照后生成的 Ho-166 固体颗粒，原料比活度为 1Ci/g ，原料罐为 200mm 铅罐，生产原料通过厂内运输送到本项目中试楼铥-166 生产线，通过吊装平台进入切割热室（RS3），原料暂存于切割热室 RS3。

3.2.2 工艺分析

本项目建设内容主要碘-125 生产线、碳-14 生产线、镭-177 生产线、磷-32 生产线、 ^{227}Ac - ^{223}Ra 发生器生产线、 ^{188}W - ^{188}Re 发生器生产线、 ^{90}Y 生产线、铥-166 生产线共 8 条生产线，同时包括相应配套公辅设施的建设。下面按各个生产线描述各自的工艺环节：

3.2.2.1 碘-125 生产线

略

3.2.2.2 碳-14 生产线

略

3.2.2.3 磷-32 生产线

略

3.2.2.3.2 有载体磷[^{32}P]酸钠溶液

略

3.2.2.3.3 无载体磷^[32P]酸钠溶液

略

3.2.2.4 镭-177 生产线

略

3.2.2.5 镭-223 生产线

略

3.2.2.6 钷-90 生产线

略

3.2.2.7 ¹⁸⁸W-¹⁸⁸Re 发生器生产线

略

3.2.2.8 钷-166 生产线

略

3.2.2.9 其他放射性实验室

略

3.2.3 人流和物流路径规划

本项目所有工作场所分别设有相对独立的人员和物流通道。分别为：

(1) 人员通道

① 碘-125 生产线的人员进出通道：

碘-125 生产线人员进出生产场所路线：走廊→洗手间→穿净间，更换防护工作服→气锁间→进入生产线前区；完成工作后经生产线→通过走廊→气锁间→检测间，完成污染监测→淋浴间，完成淋浴→洗手间→走廊离开。

② 碳-14 生产线的人员进出通道：

碳-14 生产线人员进出生产场所路线：走廊→洗手间→穿净间，更换防护工作服→气锁间→进入生产线前区；完成工作后经生产线→气锁间→检测间，完成污染监测→淋浴间，完成淋浴→洗手间→走廊离开。

③钷-90生产线的人员进出通道：

钷-90生产线人员进出生产场所路线：走廊→洗手间→穿净间，更换防护工作服→气锁间→进入生产线前区；完成工作后经生产线→气锁间→检测间，完成污染监测→洗手间，完成更鞋脱衣→走廊离开。

④镭-223生产线的人员进出通道：

镭-223生产线人员进出生产场所路线：走廊→洗手间→穿净间，更换防护工作服→气锁间→进入生产线前区；完成工作后经生产线→气锁间→检测间，完成污染监测→淋浴间，完成淋浴→洗手间→走廊离开。

⑤¹⁸⁸W-¹⁸⁸Re生产线的人员进出通道：

¹⁸⁸W-¹⁸⁸Re生产线人员进出生产场所路线：走廊→洗手间→穿净间，更换防护工作服→气锁间→进入生产线前区；完成工作后经生产线→气锁间→检测间，完成污染监测→洗手间，完成更鞋脱衣→走廊离开。

⑥Ho-166生产线的人员进出通道：

Ho-166生产线人员进出生产场所路线：走廊→洗手间→穿净间，更换防护工作服→气锁间→进入生产线前区；完成工作后经生产线→气锁间→检测间，完成污染监测→淋浴间，完成淋浴→洗手间→走廊离开。

⑦磷-32生产线的人员进出通道：

磷-32生产线人员进出生产场所路线：走廊→洗手间→穿净间，更换防护工作服→气锁间→进入生产线前区；完成工作后经生产线→气锁间→检测间，完成污染监测→洗手间，完成更鞋脱衣→走廊离开。

⑧镭-177生产线的人员进出通道：

镭-177生产线人员进出生产场所路线：走廊→洗手间→穿净间，更换防护工作服→气锁间→进入生产线前区；完成工作后经生产线→通过走廊→气锁间→检测间，完成污染监测→淋浴间，完成淋浴→洗手间→走廊离开。

⑨放化分析实验室的人员进出通道：

一层放化分析实验室人员进出生产场所路线：男工作人员从走廊→男常服间→男工作服间，更换防护工作服→缓冲间→进入放化分析实验室；完成工作后通过走廊→缓冲间→淋浴间，完成淋浴→男常服间→更换衣服，从走廊离开；女工作人员从走廊→女常服间→女工作服间，更换防护工作服→缓冲间→进入放化分

析实验室；完成工作后通过走廊→缓冲间→淋浴间，完成淋浴→男常服间→更换衣服，从走廊离开。

⑩废液收集间的人员进出通道：

地下一层废液收集间人员进出生产场所路线：工作人员从楼梯间→废液走廊→楼梯间。

(1)放射性阳性接种室和无菌室

阳性接种室人员进出路线：走廊→洗手间→洁净服间（前），更换防护工作服→缓冲间→进入放射性阳性接种室；完成工作后经缓冲间→通过洁净服间（前）→更衣洗手更鞋间→走廊离开。

放射性无菌室：走廊→洗手间→洁净服间（左），更换防护工作服→缓冲间→进入放射性阳性接种室；完成工作后经缓冲间→通过洁净服间（左）→更衣洗手更鞋间→走廊离开。

(12)二层放射性场所人流进出通道

二层放化实验室、吊装平台、靶件制备间、放射性原料间和标记实验室的人员进出路线：工作人员从2#楼梯间→走廊→放化实验室；或2#楼梯间→走廊→靶件制备间、放射性原料间；或2#楼梯间→走廊→标记实验室；或2#楼梯间→走廊→排风机房；或2#楼梯间→走廊→吊装平台。

(2)物流通道

①8条生产线原辅料通道：原辅料进入物流转运间→吊装大厅→吊装点→各条生产线。

②产品通道：生产成品→出货间→发车通道（汽车间）→由产品出口大门离开。

③放射性废水通道：放射性废水→地坑→管道自流→负一层废液收集间→废液贮槽进行贮存。

④放射性固体废物通道：放射性固体废物→生产线专用收集钢箱→桁吊→中试楼二层的吊装口→二层的转运小车→固体废物暂存间。

3.3 污染源项

3.3.1 施工期污染源项

本项目为同位素生产厂房（中试楼）、办公用房（研发楼）及配套服务设施建设项，施工环节主要包括：基础工程、主体工程、装饰工程、设备安装及工程验收等，建设期主要产生噪声、废气、固体废弃物、废水等污染物，其排放量随工期和施工强度不同而有所变化。施工期工艺流程如图3.3-1所示。

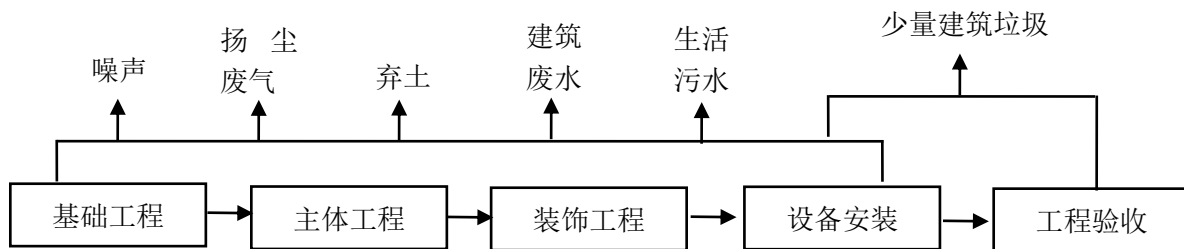


图 3.3-1 项目施工期工艺流程及产污位置图

(1) 废气

项目在施工期大气污染源主要来自于以下方面：

①土建混凝土浇铸及运输车辆装卸材料和行驶时产生的扬尘；建筑材料（商品混凝土、砖等）的现场搬运及堆放扬尘；施工垃圾的清理及堆放扬尘；人来车往造成的现场道路扬尘。

②装饰工程施工如漆、涂、磨、刨、钻、砂等装饰作业以及使用某些装饰材料如油漆、人造板、某些有害物质（如苯系物、甲醛、酚等污染物）的涂料等形成扬尘和有机废气污染物。

③施工机械设备排放的少量无组织废气等。

(2) 废水

①施工生产废水

主要来源于机械的冲刷、楼地及墙面的冲洗、构件与建筑材料的保潮、墙体的浸润、材料的洗刷以及桩基础施工中排出的泥浆等。该部分废水中的主要污染物为 SS、石油类，其中污水中 SS 浓度值最高约 1000mg/L。根据项目特点，经类比分析，预计施工废水产生量为 50m³/d。

②施工人员生活污水

施工人员以 60 人计，生活用水排放按 $0.05\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{d}$ 计算，日产生活污水约 $3\text{m}^3/\text{d}$ ，以排放系数 0.8 计，排放量约为 $2.4\text{m}^3/\text{d}$ 。施工人员生活污水中主要含 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、SS 等。

(3) 噪声

施工期主要分为机械噪声、施工作业噪声和施工车辆噪声。本项目机械噪声主要由施工机械所造成，如挖土机、打桩机等多为点声源；施工作业噪声主要是一些零星敲打声、装卸车辆的撞击声等；施工车辆噪声属于交通噪声。在上述施工噪声中，对环境影响最大的是施工机械噪声。施工噪声声源强度和交通噪声强度分别见表3.3-1和表3.3-2。

表 3.3-1 施工期主要噪声源及其声级值

施工阶段	声源	声源强度 (dB(A))
土石方	挖掘机	78~90
	装载机	85~90
	空压机	75~80
	推土机	75~80
打桩	挖掘机	78~90
结构	混凝土输送泵	75~85
	振捣器	75~85
	电锯	80~85
	搅拌机	80~85
装修	电钻、手工钻等	75~80
	电锤	80~85
	无齿锯	80

表 3.3-2 交通运输车辆噪声

施工阶段	运输内容	车辆类型	声源强度 (dB(A))
主体阶段	建筑弃渣等	大型载重车	84~89
底板与结构阶段	钢筋、混凝土等	混凝土罐车、载重车	80~85
装修安装阶段	各种装修材料及设备	轻型载重卡车	75~80

(4) 固体废物

施工期固体废物主要包括建筑垃圾、装修垃圾、弃土、施工人员生活垃圾。

项目施工过程中产生的建筑垃圾（如水泥袋、铁质弃料、木材弃料等）约为50kg/d；装修垃圾按总建筑面积10500m²、每1.3t/100m²计，则产生的装修垃圾共约136.5t；项目场平不产生弃土；施工期生活垃圾，施工人员约60人，生活垃圾按0.5kg/人日计，产生量约为30kg/d。

3.3.2 营运期污染源项

3.3.2.1 放射性污染源

3.3.2.1.1 碘-125 生产线

(1) 核素的辐射特性简介

¹²⁵I核素的半衰期为59.7d，最大光子能量为0.03548MeV，属中毒性核素。

(2) 辐射源项

碘-125的生产原料为入堆辐照后生成的¹²⁵I的吸附器，原料比活度为10-15mCi/g，通过厂内运输送到本项目同位素生产设施区域中试楼，本项目安排有相关资质的单位负责从辐照堆运输至同位素生产设施区域，采用专用的转运铅罐，设计屏蔽为50mm铅罐。

碘-125生产线共建造5个屏蔽工作箱，1-4#箱体前板为100mm碳钢，后板、顶板、底板、侧板为75mm碳钢（7.8g/cm³），窥视窗屏蔽相当于100mm的碳钢；1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同，为100mm碳钢；5#箱体前板为75mm碳钢，后板、顶板、底板、侧板为50mm碳钢，窥视窗屏蔽相当于75mm的碳钢。

本项目碘-125单批次最大操作量为 1.85×10^{13} Bq，每批次挥发到工作箱体内部的碘-125为 1.85×10^5 Bq，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为99%，每年操作60批次，则本项目操作核素碘-125过程中箱体内气体总活度为 1.11×10^7 Bq/a，通过气载途径排入环境的放射性活度为 1.11×10^5 Bq/a，考虑通风量（单批次操作时间5h，工作箱内通风量为589m³/h），可估算出工作箱内空气中气溶胶浓度为62.8Bq/m³。

操作人员所在的工作箱前区空气中放射性活度浓度保守取工作箱内的1‰，即 6.28×10^{-2} Bq/m³。

产品碘化钠溶液根据用户需求装入10mL的西林瓶中，压盖密封。

本项目放射性核素 ^{125}I 操作过程中产生放射性流出物及放射性固体废物的相关源项见本章 3.4 节。

(3) 放射性核素物料平衡

碘-125 生产线上, ^{125}I 的最大年操作量为 $1.11 \times 10^{15}\text{Bq}$, 全年进行 60 批次生产, 每批最大操作量为 $1.85 \times 10^{13}\text{Bq}$, 日最大操作量为 $1.85 \times 10^{13}\text{Bq}$, 每天操作 1 批。生产过程中, 核素 ^{125}I 的物料平衡见表 3.3-3:

表 3.3-3 生产过程中核素 ^{125}I 的物料平衡

主要核素	原料投入量	生产过程损失量		产品中含量
^{125}I	$1.11 \times 10^{15}\text{Bq}$	固废损失	$1.11 \times 10^{11}\text{Bq}$	^{125}I 生产线产品共含 ^{125}I : $1.11 \times 10^{15}\text{Bq}$ 。
		液废损失	$1.22 \times 10^{11}\text{Bq}$	
		气废损失	$1.11 \times 10^7\text{Bq}$	
		总计: $2.33 \times 10^{11}\text{Bq}$		

活度平衡: 原料投入量 $1.11 \times 10^{15}\text{Bq}$ = 生产过程损失量 $2.33 \times 10^{11}\text{Bq}$ + 产品中含量 $1.11 \times 10^{15}\text{Bq}$

3.3.2.1.2 碳-14 生产线

(1) 核素的辐射特性简介

^{14}C 核素的半衰期为 5692a, 主要是 β 衰变, 最大粒子能量为 0.155MeV, 属中毒性核素。

(2) 辐射源项

碳-14 的生产原料为经过堆内辐照后的 C-14 固体粉末, 通过厂内运输送到本项目同位素生产设施区域中试楼, 本项目安排有相关资质的单位负责从辐照堆运输至同位素生产设施区域, 采用专用的转运铅罐, 设计屏蔽为 200mm 铅罐。

碳-14 生产线由 2 个屏蔽工作箱和 1 个热室组成, 1#箱体前板为 100mm 碳钢, 后板、顶板、底板、侧板为 80mm 碳钢 ($7.8\text{g}/\text{cm}^3$), 窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢; 2#箱体前板为 30mm 碳钢, 后板、顶板、底板、侧板为 20mm 碳钢, 窥视窗屏蔽相当于 30mm 的碳钢; 1#热室前板为 1000mm (普混), 后板、顶板、底板、侧板为 600mm (普混), 窥视窗屏蔽相当于 1000mm 的普混。

本项目 C-14 单批次最大操作量为 $7.4 \times 10^{10}\text{Bq}$, 每批次进入到工作箱体内部的 C-14 为 $7.4 \times 10^6\text{Bq}$, 气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境, 保守不考虑过滤器的净化效果, 每年操作 100 批次, 则本项

目操作核素 C-14 过程中箱体内气体总活度为 $7.4 \times 10^8 \text{Bq/a}$ ，通过气载途径排入环境的放射性活度为 $7.4 \times 10^8 \text{Bq/a}$ ，考虑通风量（单批次操作时间 12h，工作箱内通风量为 $506.61 \text{m}^3/\text{h}$ ），可估算出工作箱内空气中气溶胶浓度为 $1.22 \times 10^3 \text{Bq/m}^3$ 。

操作人员所在的工作箱前区空气中放射性活度浓度保守取工作箱内的 1%，即 1.22Bq/m^3 。

产品碳酸钡沉淀根据用户需求装入 10mL 的西林瓶中，压盖密封。

本项目放射性核素 ^{14}C 操作过程中产生放射性流出物及放射性固体废物的相关源项见本章 3.4 节。

(3) 放射性核素物料平衡

碳-14 生产线上， ^{14}C 的最大年操作量为 $7.4 \times 10^{12} \text{Bq}$ ，全年进行 100 批次生产，每批最大操作量为 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，日最大操作量为 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，每天操作 1 批。生产过程中，核素 ^{14}C 的物料平衡见表 3.3-4：

表 3.3-4 生产过程中核素 ^{14}C 的物料平衡

主要核素	原料投入量	生产过程损失量		产品中含量
^{14}C	$7.4 \times 10^{12} \text{Bq}$	固废损失	$1.04 \times 10^{11} \text{Bq}$	^{14}C 生产线产品共含 ^{14}C : $7.3 \times 10^{12} \text{Bq}$ 。
		液废损失	$7.4 \times 10^7 \text{Bq}$	
		气废损失	$7.4 \times 10^8 \text{Bq}$	
		总计: $1.04 \times 10^{11} \text{Bq}$		

活度平衡：原料投入量 $7.4 \times 10^{12} \text{Bq}$ = 生产过程损失量 $1.04 \times 10^{11} \text{Bq}$ + 产品中含量 $7.3 \times 10^{12} \text{Bq}$

3.3.2.1.3 磷-32 生产线

(1) 核素的辐射特性简介

^{32}P 是核素的半衰期为 14.26d，主要是 β 衰变，最大粒子能量为 1.711MeV，属中毒性核素。

(2) 辐射源项

磷-32 的生产原料分别是入堆辐照后生成的磷 [^{32}P] 固体粉末和磷 [^{32}P] 玻璃微球固体颗粒，通过厂内运输送到本项目同位素生产设施区域中试楼，本项目安排有相关资质的单位负责从辐照堆运输至同位素生产设施区域，采用专用的转运铅罐，设计屏蔽为 200mm 铅罐。

磷-32 生产线建造 5 个屏蔽工作箱，1-4#箱体前板为 150mm 碳钢，后板、顶

板、底板、侧板为 100mm 碳钢 ($7.8\text{g}/\text{cm}^3$)，窥视窗屏蔽相当于 150mm 的碳钢；1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同，为 150mm 碳钢；5#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢；

产品为有载体磷 ^{32}P 酸钠溶液、无载体磷 ^{32}P 酸钠溶液、 ^{32}P 玻璃微球固体。

本项目有载体磷 ^{32}P 酸钠溶液单批次最大操作量为 $5.55\times 10^{11}\text{Bq}$ ，每批次挥发到工作箱体內的 P-32 为 $5.55\times 10^4\text{Bq}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为 99%，每年操作 50 批次，则本项目操作核素 P-32 过程中箱体內气体总活度为 $2.78\times 10^6\text{Bq}/\text{a}$ ，通过气载途径排入环境的放射性活度为 $2.78\times 10^4\text{Bq}/\text{a}$ ，考虑通风量（单批次操作时间 4h，工作箱內通风量为 $590\text{m}^3/\text{h}$ ），可估算出工作箱內空气中气溶胶浓度为 $23.6\text{Bq}/\text{m}^3$ 。

操作人员所在的工作箱前区空气中放射性活度浓度保守取工作箱內的 1%，即 $2.36\times 10^{-2}\text{Bq}/\text{m}^3$ 。

本项目无载体磷 ^{32}P 酸钠溶液单批次最大操作量为 $5.55\times 10^{11}\text{Bq}$ ，每批次挥发到工作箱体內的 P-32 为 $5.55\times 10^5\text{Bq}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为 99%，每年操作 50 批次，则本项目操作核素 P-32 过程中箱体內气体总活度为 $2.78\times 10^7\text{Bq}/\text{a}$ ，通过气载途径排入环境的放射性活度为 $2.78\times 10^5\text{Bq}/\text{a}$ ，考虑通风量（单批次操作时间 4h，工作箱內通风量为 $590\text{m}^3/\text{h}$ ），可估算出工作箱內空气中气溶胶浓度为 $2.36\times 10^2\text{Bq}/\text{m}^3$ 。

操作人员所在的工作箱前区空气中放射性活度浓度保守取工作箱內的 1%，即 $2.36\times 10^{-1}\text{Bq}/\text{m}^3$ 。

^{32}P 玻璃微球生产工艺无放射性气体产生，只有箱体换气产生的废气。

产品根据用户需求装入 10mL/30ml、5g/15g 的西林瓶中，压盖密封。

本项目放射性核素 ^{32}P 操作过程中产生放射性流出物及放射性固体废物的相关源项见本章 3.4 节。

(3) 放射性核素物料平衡

磷-32 生产线上， ^{32}P 的最大年操作量为 $8.325\times 10^{13}\text{Bq}$ ，全年进行 150 批次生产，每批最大操作量为 $5.55\times 10^{11}\text{Bq}$ ，日最大操作量为 $5.55\times 10^{11}\text{Bq}$ ，每天操作 1

批。生产过程中，核素 ^{32}P 的物料平衡见表 3.3-4、3.3-5、3.3-6：

表 3.3-4 生产过程中有载体磷 ^{32}P 酸钠溶液的物料平衡

主要核素	原料投入量	生产过程损失量		产品中含量
有载体磷 ^{32}P 酸钠溶液	2.775×10^{13} Bq	固废损失	2.78×10^{10} Bq	^{32}P 生产线产品共含 ^{32}P : 2.775×10^{13} Bq。
		液废损失	3.7×10^{10} Bq	
		气废损失	2.78×10^6 Bq	
		总计: 6.48×10^{10} Bq		

活度平衡: 原料投入量 2.775×10^{13} Bq = 生产损失量 6.48×10^{10} Bq + 产品中含量 2.775×10^{13} Bq

表 3.3-5 生产过程中无载体磷 ^{32}P 酸钠溶液的物料平衡

主要核素	原料投入量	生产过程损失量		产品中含量
无载体磷 ^{32}P 酸钠溶液	2.775×10^{13} Bq	固废损失	2.78×10^{10} Bq	^{32}P 生产线产品共含 ^{32}P : 2.775×10^{13} Bq。
		液废损失	3.7×10^{10} Bq	
		气废损失	2.78×10^7 Bq	
		总计: 1.04×10^{11} Bq		

活度平衡: 原料投入量 2.775×10^{13} Bq = 生产损失量 6.48×10^{10} Bq + 产品中含量 2.775×10^{13} Bq

表 3.3-6 生产过程中磷 ^{32}P 玻璃微球的物料平衡

主要核素	原料投入量	生产过程损失量		产品中含量
磷 ^{32}P 玻璃微球	2.775×10^{13} Bq	固废损失	3.24×10^{10} Bq	^{32}P 生产线产品共含 ^{32}P : 2.775×10^{13} Bq。
		液废损失	1.26×10^{10} Bq	
		气废损失	0	
		总计: 4.5×10^{10} Bq		

活度平衡: 原料投入量 2.775×10^{13} Bq = 生产损失量 4.5×10^{10} Bq + 产品中含量 2.775×10^{13} Bq

3.3.2.1.4 Lu-177 生产线

(1) 核素的辐射特性简介

^{177}Lu 核素的半衰期为 6.71d，主要是 β 衰变，最大粒子能量为 0.4968MeV，最大光子能量为 0.208MeV，属中毒性核素。

(2) 辐射源项

Lu-177 的生产原料为经过堆内辐照后的氧化镱粉末，通过厂内运输送到本项

目同位素生产设施区域中试楼，本项目安排有相关资质的单位负责从辐照堆运输至同位素生产设施区域，采用专用的转运铅罐，设计屏蔽为 200mm 铅罐。

Lu-177 生产线建造 6 个屏蔽工作箱和 2#热室，1-5#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢（ $7.8\text{g}/\text{cm}^3$ ），窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢；1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同，为 100mm 碳钢；6#箱体前板为 75 mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 50mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 75mm 的碳钢；2#热室前板为 1000mm（普混），后板、顶板、底板、侧板为 600mm（普混），窥视窗屏蔽相当于 1000mm 的普混。

本项目 Lu-177 单批次最大操作量为 $7.4 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，每批次进入到工作箱体內的 Lu-177 为 $7.4 \times 10^5\text{Bq}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为 99%，每年操作 50 批次，则本项目操作核素 Lu-177 过程中箱体内气体总活度为 $3.7 \times 10^7\text{Bq}/\text{a}$ ，通过气载途径排入环境的放射性活度为 $3.7 \times 10^5\text{Bq}/\text{a}$ ，考虑通风量（单批次操作时间 8h，工作箱内通风量为 $1184\text{m}^3/\text{h}$ ），可估算出工作箱内空气中气溶胶浓度为 $78.1\text{Bq}/\text{m}^3$ 。

操作人员所在的工作箱前区空气中放射性活度浓度保守取工作箱內的 1%，即 $7.81 \times 10^{-2}\text{Bq}/\text{m}^3$ 。

产品氯化镱水溶液根据用户需求装入 10mL 的西林瓶中，压盖密封。

本项目放射性核素 ^{177}Lu 操作过程中产生放射性流出物及放射性固体废物的相关源项见本章 3.4 节。

(3) 放射性核素物料平衡

Lu-177 生产线上， ^{177}Lu 的年最大操作量为 $3.7 \times 10^{14}\text{Bq}$ ，全年进行 50 批次生产，每批最大操作量为 $7.4 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，日最大操作量为 $7.4 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，每天操作 1 批。生产过程中，核素 ^{177}Lu 的物料平衡见表 3.3-7：

表 3.3-7 生产过程中核素 ^{177}Lu 的物料平衡

主要核素	原料投入量	生产过程损失量		产品中含量
^{177}Lu	$3.7 \times 10^{14}\text{Bq}$	固废损失	$3.8 \times 10^{10}\text{Bq}$	^{177}Lu 生产线生产产品 共含 ^{177}Lu : $3.7 \times 10^{14}\text{Bq}$
		液废损失	$4.8 \times 10^{11}\text{Bq}$	
		气废损失	$3.7 \times 10^7\text{Bq}$	
		总计:	$5.18 \times 10^{11}\text{Bq}$	

活度平衡：原料投入量 $3.7 \times 10^{14}\text{Bq}$ = 生产过程损失量 $5.18 \times 10^{11}\text{Bq}$ + 产品中含量 $3.7 \times 10^{14}\text{Bq}$

3.3.2.1.5 Y-90 生产线

(1) 核素的辐射特性简介

^{90}Y 核素的半衰期为 64h，主要是 β 衰变，最大粒子能量为 2.288MeV，属中毒性核素。

^{90}Sr 核素的半衰期为 28.1a，主要是 β 衰变，最大粒子能量为 0.546MeV，属高毒性核素。

(2) 辐射源项

^{90}Y 的生产原料为经过堆内辐照后的锶[^{90}Sr]溶液，通过厂内运输送到本项目同位素生产设施区域中试楼，本项目安排有相关资质的单位负责从辐照堆运输至同位素生产设施区域，采用专用的转运铅罐，设计屏蔽为 50mm 铅罐。

^{90}Y 生产线建造 5 个屏蔽工作箱，1-4#箱体前板为 150mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 100mm 碳钢（ $7.8\text{g}/\text{cm}^3$ ），窥视窗屏蔽相当于 150mm 的碳钢；1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同，为 150mm 碳钢；5#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢；

本项目 Sr-90 单批次最大操作量为 $7.4 \times 10^{10}\text{Bq}$ ， ^{90}Y 核素的单批次最大操作量为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，每批次进入到工作箱体内的 Sr-90 和 Y-90 分别为 $7.4 \times 10^4\text{Bq}$ 、 $1.85 \times 10^4\text{Bq}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为 99%，Sr-90 每年操作 30 批次，Y-90 每年操作 120 批次，则本项目操作核素 Sr-90 和 Y-90 过程中箱体内气体总活度均为 $2.22 \times 10^6\text{Bq/a}$ ，通过气载途径排入环境的放射性活度为 $2.22 \times 10^4\text{Bq/a}$ ，考虑通风量（单批次操作时间 4h，工作箱内通风量为 $589\text{m}^3/\text{h}$ ），可估算出工作箱内空气中总气溶胶浓度为 $62.8\text{Bq}/\text{m}^3$ 。

操作人员所在的工作箱前区空气中放射性活度浓度保守取工作箱内的 1%，即 $6.28 \times 10^{-2}\text{Bq}/\text{m}^3$ 。

产品 $^{90}\text{YCl}_3$ 溶液根据用户需求装入 10mL 的西林瓶中，压盖密封。

本项目放射性核素 ^{90}Y 操作过程中产生放射性流出物及放射性固体废物的相关源项见本章 3.4 节。

(3) 放射性核素物料平衡

Y-90 生产线上，涉及核素有 ^{90}Y 、 ^{90}Sr ，该生产线对于 ^{90}Y 核素的单批次最大

操作量为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，每批次淋洗 20 个发生器，操作时间 8h，每天操作 1 批次，每年操作 120 批次，日最大操作量为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $4.44 \times 10^{13} \text{Bq}$ （1200Ci）。该生产线对于 ^{90}Sr 核素的单批次最大操作量为 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，每批次操作时间 5h，每天操作 1 批次，每两个月操作 5 天，每年操作 30 天，日最大操作量为 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $2.22 \times 10^{12} \text{Bq}$ （60Ci）。

生产过程中，核素 ^{177}Lu 的物料平衡见表 3.3-8:

表 3.3-8 生产过程中核素 ^{90}Y 、 ^{90}Sr 的物料平衡

主要核素	原料投入量	生产过程损失量		产品中含量
^{90}Sr 、 ^{90}Y	$4.44 \times 10^{13} \text{Bq}$	固废损失	$4.46 \times 10^9 \text{Bq}$	^{90}Y 生产线产品共含 ^{90}Y : $4.44 \times 10^{13} \text{Bq}$ 。
		液废损失	$2.66 \times 10^9 \text{Bq}$	
		气废损失	$2.22 \times 10^6 \text{Bq}$	
		总计: $7.33 \times 10^{10} \text{Bq}$		
活度平衡: 原料投入量 $4.44 \times 10^{13} \text{Bq}$ = 生产过程损失量 $7.12 \times 10^9 \text{Bq}$ + 产品中含量 $4.44 \times 10^{13} \text{Bq}$				

3.3.2.1.6 Ra-223 生产线

(1) 核素的辐射特性简介

^{223}Ra 核素的半衰期为 11.43d，属于 α 衰变核素，最大粒子能量为 5.7478MeV，最大光子能量为 0.2696，属极毒性核素。

^{226}Ra 核素的半衰期为 1602a，属于 α 衰变核素，最大粒子能量为 4.7845MeV，最大光子能量为 0.1862，属极毒性核素。

^{227}Ac 核素的半衰期为 21.77a，主要是 β 衰变，最大粒子能量为 4.9505MeV，最大光子能量为 0.0995，属极毒性核素。

(2) 辐射源项

^{223}Ra 的生产原料为经过堆内辐照后的 Ra-226，通过厂内运输送到本项目同位素生产设施区域中试楼，本项目安排有相关资质的单位负责从辐照堆运输至同位素生产设施区域，采用专用的转运铅罐，设计屏蔽为 200mm 铅罐。

^{223}Ra 生产线建造 6 个屏蔽工作箱，11-5#箱体前板为 150mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 100mm 碳钢（ 7.8g/cm^3 ），窥视窗屏蔽相当于 150mm 的碳钢；1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同，为 150mm 碳钢；6#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢。

本项目废气主要涉及核素 Ra-223，单批次最大操作量为 $9.25 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，取操作量的 6×10^{-7} ，每批次进入到工作箱体內的 Ra-223 为 $5.55 \times 10^4 \text{Bq}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为 99%，每年操作 20 批次，则本项目操作核素 Ra-223 过程中箱体内气体总活度为 $1.11 \times 10^6 \text{Bq/a}$ ，通过气载途径排入环境的放射性活度为 $1.11 \times 10^4 \text{Bq/a}$ ，考虑通风量（单批次操作时间 8h，工作箱内通风量为 $716.58 \text{m}^3/\text{h}$ ），可估算出工作箱内空气中气溶胶浓度为 9.68Bq/m^3 。

操作人员所在的工作箱前区空气中放射性活度浓度保守取工作箱內的 1%，即 $9.68 \times 10^{-3} \text{Bq/m}^3$ 。

产品氯化镭溶液根据用户需求装入 10mL 的西林瓶中，压盖密封。

本项目放射性核素 ^{223}Ra 操作过程中产生放射性流出物及放射性固体废物的相关源项见本章 3.4 节。

(3) 放射性核素物料平衡

Ra-226 生产线上，操作过程涉及核素有 ^{226}Ra 、 ^{227}Ac 、 ^{223}Ra ，该生产线对于 ^{226}Ra 核素的单批次最大操作量为 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ ，每天处理 1 批，每批次处理 4h，每年处理 50 批，日最大操作量为 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^{13} \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。该生产线对于 ^{227}Ac 核素的单批次最大操作量为 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ ，每天处理 1 批，每批次处理 4h，每年处理 70 批，日最大操作量为 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $2.59 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。该生产线对于 ^{223}Ra 核素的单批次最大操作量为 $9.25 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，每次淋洗 100 条，每年操作 20 次。日最大操作量为 $9.25 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $9.25 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $1.85 \times 10^{12} \text{Bq}$ （50Ci）。

生产过程中，核素 ^{223}Ra 的物料平衡见表 3.3-9：

表 3.3-9 生产过程中核素 ^{223}Ra 的物料平衡

主要核素	原料投入量	生产过程损失量		产品中含量
^{223}Ra	$1.85 \times 10^{12} \text{Bq}$	固废损失	$6.43 \times 10^8 \text{Bq}$	^{223}Ra 生产线生产产品 共含 ^{223}Ra : $1.85 \times 10^{12} \text{Bq}$
		液废损失	$1.24 \times 10^7 \text{q}$	
		气废损失	$1.11 \times 10^6 \text{Bq}$	
		总计: $6.56 \times 10^8 \text{Bq}$		

活度平衡：原料投入量 $1.85 \times 10^{12} \text{Bq}$ = 生产过程损失量 $6.56 \times 10^8 \text{Bq}$ + 产品中含量 $1.85 \times 10^{12} \text{Bq}$

3.3.2.1.7 ^{188}W - ^{188}Re 发生器生产线

(1) 核素的辐射特性简介

^{188}W 核素的半衰期为 69.78d, 属于 β 衰变核素, 最大粒子能量为 0.09973MeV, 最大光子能量为 0.2907MeV, 属于中毒性核素。

^{188}Re 核素的半衰期为 16.98h, 属于 β 衰变核素, 最大粒子能量为 2.128MeV, 最大光子能量为 0.633MeV, 属于中毒性核素。

(2) 辐射源项

^{188}W - ^{188}Re 发生器的生产原料为经过堆内辐照后的富集氧化钨, 通过厂内运输送到本项目同位素生产设施区域中试楼, 本项目安排有相关资质的单位负责从辐照堆运输至同位素生产设施区域, 采用专用的转运铅罐, 设计屏蔽为 200mm 铅罐。

钨铼发生器生产线建造 5 个屏蔽工作箱和 3#热室, 1-4#箱体前板为 250mm 碳钢, 后板、顶板、底板、侧板为 150mm 碳钢 (7.8g/cm³), 窥视窗屏蔽相当于 250mm 的碳钢; 1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同, 为 250mm 碳钢; 5#箱体前板为 200mm 碳钢, 后板、顶板、底板、侧板为 100mm 碳钢, 窥视窗屏蔽相当于 200mm 的碳钢; 3#热室前板为 1000mm (普混), 后板、顶板、底板、侧板为 600mm (普混), 窥视窗屏蔽相当于 1000mm 的普混。

本项目 ^{188}Re 核素的单批次最大操作量为 $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$, 每批次进入到工作箱体内部的 ^{188}Re 为 $3.7\times 10^6\text{Bq}$, 气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境, 两级过滤器净化效率为 99%, 每年操作 100 批次, 则本项目操作核素 ^{188}W 过程中箱体内气体总活度为 $3.7\times 10^8\text{Bq/a}$, 通过气载途径排入环境的放射性活度为 $3.7\times 10^6\text{Bq/a}$, 考虑通风量 (单批次操作时间 5h, 工作箱内通风量为 1134m³/h), 可估算出工作箱内空气中气溶胶浓度为 652.56Bq/m³。

操作人员所在的工作箱前区空气中放射性活度浓度保守取工作箱内的 1%, 即 $6.53\times 10^{-1}\text{Bq/m}^3$ 。

产品 ^{188}W - ^{188}Re 发生器包装材料为铅罐, 铅罐厚度为 30mm; 产品 $^{188}\text{ReCl}_2$ 溶液, 每批次生产 10 瓶, 包装材料为西林瓶+铅罐, 铅罐厚度为 20mm。

本项目放射性核素 ^{188}W 、 ^{188}Re 操作过程中产生放射性流出物及放射性固体废物的相关源项见本章 3.4 节。

(3) 放射性核素物料平衡

^{188}W - ^{188}Re 发生器生产线上, 涉及核素有 ^{188}Re 、 ^{188}W 。该生产线对于 ^{188}W 核素的单批次最大操作量为 $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$, 每批次操作时间 6h, 每天操作 1 批次, 每年操作 100 天, 日最大操作量为 $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$, 年最大操作量为 $3.7\times 10^{12}\text{Bq}$ (100Ci)。该生产线对于 ^{188}Re 核素的单批次最大操作量为 $1.85\times 10^{11}\text{Bq}$, 每批次淋洗 10 个发生器, 每天操作一次, 每年操作 100 天, 每批次操作时间 5h, 日最大操作量为 $1.85\times 10^{11}\text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $1.85\times 10^9\text{Bq}$, 年最大操作量为 $1.85\times 10^{13}\text{Bq}$ (500Ci)。

生产过程中, 核素 ^{188}W 的物料平衡见表 3.3-10:

表 3.3-10 生产过程中核素 ^{188}Re 的物料平衡

主要核素	原料投入量	生产过程损失量		产品中含量
^{188}Re	$1.85\times 10^{13}\text{Bq}$	固废损失	0	^{188}W - ^{188}Re 生产线生产产品共含 ^{188}Re : $1.85\times 10^{13}\text{Bq}$ 。
		液废损失	$3.7\times 10^{10}\text{Bq}$	
		气废损失	$3.7\times 10^8\text{Bq}$	
		总计: $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$		

活度平衡: 原料投入量 $1.85\times 10^{13}\text{Bq}$ = 生产过程损失量 $3.7\times 10^{10}\text{Bq}$ + 产品中含量 $1.85\times 10^{13}\text{Bq}$

3.3.2.1.8 Ho-166 生产线

(1) 核素的辐射特性简介

^{166}Ho 核素半衰期为 26.8h, 属于 β 衰变核素, 最大粒子能量为 1.8547MeV, 最大光子能量为 1.3794MeV, 属中毒性核素。

(2) 辐射源项

Ho-166 发生器的生产原料为经过堆内辐照后的钬聚乳酸微球, 通过厂内运输送到本项目同位素生产设施区域中试楼, 本项目安排有相关资质的单位负责从辐照堆运输至同位素生产设施区域, 采用专用的转运铅罐, 设计屏蔽为 200mm 铅罐。

Ho-166 生产线建造 4 个屏蔽工作箱, 1-4#箱体前板为 250mm 碳钢, 后板、顶板、底板、侧板为 150mm 碳钢 ($7.8\text{g}/\text{cm}^3$), 窥视窗屏蔽相当于 250mm 的碳钢; 1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同, 为 250mm 碳钢。

本项目 Ho-166 核素的单批次最大操作量为 $7.4\times 10^{10}\text{Bq}$, 每批次进入到工作箱

体内的 Ho-166 为 $7.4 \times 10^4 \text{Bq}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为 99%，每年操作 2000 批次，则本项目操作核素 Ho-166 过程中箱体内气体总活度为 $1.48 \times 10^7 \text{Bq/a}$ ，通过气载途径排入环境的放射性活度为 $1.48 \times 10^5 \text{Bq/a}$ ，考虑通风量（单批次操作时间 1h，工作箱内通风量为 $462.24 \text{m}^3/\text{h}$ ），可估算出工作箱内空气中气溶胶浓度为 16.02Bq/m^3 。

操作人员所在的工作箱前区空气中放射性活度浓度保守取工作箱内的 1%，即 $1.60 \times 10^{-2} \text{Bq/m}^3$ 。

产品包装规格为 4g/瓶，包装材料为西林瓶+铅罐（带 15mm 聚四氟乙烯内衬），铅罐厚度为 45mm。

本项目放射性核素 ^{166}Ho 操作过程中产生放射性流出物及放射性固体废物的相关源项见本章 3.4 节。

(3) 放射性核素物料平衡

Ho-166 生产线，该生产线对于 ^{166}Ho 核素的单批次最大操作量为 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，每批次生产时间 1h，每天操作 10 批次，每年操作 200 天，日最大操作量为 $7.4 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $1.48 \times 10^{14} \text{Bq}$ （4000Ci）。

生产过程中，核素 ^{166}Ho 的物料平衡见表 3.3-11：

表 3.3-11 生产过程中核素 ^{166}Ho 的物料平衡

主要核素	原料投入量	生产过程损失量		产品中含量
^{166}Ho	$1.48 \times 10^{14} \text{Bq}$	固废损失	$1.48 \times 10^{11} \text{Bq}$	^{166}Ho 生产线生产产品 共含 ^{166}Ho : 1.46×10^{14} Bq。
		液废损失	$1.63 \times 10^{12} \text{Bq}$	
		气废损失	$1.48 \times 10^7 \text{Bq}$	
		总计: $1.778 \times 10^{12} \text{Bq}$		

活度平衡：原料投入量 $1.48 \times 10^{14} \text{Bq}$ = 生产过程损失量 $1.778 \times 10^{12} \text{Bq}$ + 产品中含量 $1.46 \times 10^{14} \text{Bq}$

3.3.2.1.9 其他放射性实验室

其他实验室包括一层放射性阳性接种室、放射性无菌室、放化分析实验室、制样间、样品间；二层放化实验室、标记实验室等场所。放化分析实验室和制样间、样品间，拟操作核素有 I-125、C-14、P-32、Lu-177、Ra-223、Y-90、Re-188、Ho-166。放射性阳性接种室和无菌室拟操作核素 P-32、Lu-177、Ra-223、Y-90。

0、Re-188、Ho-166；放化实验室 1、2 拟操作核素 C-14、P-32、Lu-177、Sr-90、Y-90；放化实验室 3 拟操作核素 C-14、P-32、Lu-177、Sr-90、Y-90、Ra-226、Ac-227、Ra-223，标记实验室操作核素 C-14、Lu-177、Ra-223、Y-90、Re-188。

(1) 核素的辐射特性简介

^{125}I 核素的半衰期为 59.7d，最大光子能量为 0.03548Mev，属中毒性核素。

^{14}C 核素的半衰期为 5692a，主要是 β 衰变，最大粒子能量为 0.155Mev，属中毒性核素。

^{32}P 是核素的半衰期为 14.26d，主要是 β 衰变，最大粒子能量为 1.711Mev，属中毒性核素。

^{177}Lu 核素的半衰期为 6.71d，主要是 β 衰变，最大粒子能量为 0.4968Mev，最大光子能量为 0.208Mev，属中毒性核素。

^{90}Y 核素的半衰期为 64h，主要是 β 衰变，最大粒子能量为 2.288Mev，属中毒性核素。

^{90}Sr 核素的半衰期为 28.1a，主要是 β 衰变，最大粒子能量为 0.546Mev，属高毒性核素。

^{223}Ra 核素的半衰期为 11.43d，属于 α 衰变核素，最大粒子能量为 5.7478Me v，最大光子能量为 0.2696，属极毒性核素。

^{226}Ra 核素的半衰期为 1602a，属于 α 衰变核素，最大粒子能量为 4.7845Mev，最大光子能量为 0.1862，属极毒性核素。

^{227}Ac 核素的半衰期为 21.77a，主要是 β 衰变，最大粒子能量为 4.9505Mev，最大光子能量为 0.0995，属极毒性核素。

^{188}Re 核素的半衰期为 16.98h，属于 β 衰变核素，最大粒子能量为 2.128Mev，最大光子能量为 0.633Mev，属于中毒性核素。

^{166}Ho 核素半衰期为 26.8h，属于 β 衰变核素，最大粒子能量为 1.8547Mev，最大光子能量为 1.3794Mev，属中毒性核素。

(2) 辐射源项

所有放射性实验室核素操作过程中产生放射性流出物及放射性固体废物的相关源项见本章 3.4 节。

3.3.2.1.10 放射性原料间和靶件制备间

(1) 核素的辐射特性简介

^{90}Y 核素的半衰期为 64h，主要是 β 衰变，最大粒子能量为 2.288MeV，属中毒性核素。

^{90}Sr 核素的半衰期为 28.1a，主要是 β 衰变，最大粒子能量为 0.546MeV，属高毒性核素。

^{226}Ra 核素的半衰期为 1602a，属于 α 衰变核素，最大粒子能量为 4.7845MeV，最大光子能量为 0.1862，属极毒性核素。

(2) 辐射源项

放射性原料间和靶件制备间主要用于原料的暂存和靶件的制备，放射性原料间和靶件制备间各设 1 个屏蔽通风柜，屏蔽材料为 20mm 碳钢，放射原料间涉及 Ra-226、Sr-90、Y-90 三种核素，分别按照单批次最大操作量 $7.4\times 10^9\text{Bq}$ 、 $7.4\times 10^{10}\text{Bq}$ 、 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ 进行计算，

靶件制备间涉及操作核素 Ra-226，按照单批次最大操作量 $7.4\times 10^9\text{Bq}$ 计算，

本项目放射性原料间和靶件制备间不考虑放射性废气的排放，核素 Sr-90、Y-90、Ra-226 操作过程中产生放射性流出物及放射性固体废物的相关源项见本章 3.4 节。

(3) 放射性核素物料平衡

放射性原料间涉及操作核素 Sr-90、Y-90、Ra-226；Sr-90，单批次最大操作量为 $7.4\times 10^{10}\text{Bq}$ ，每年操作 30 次，年最大操作量为 $2.22\times 10^{12}\text{Bq}$ ；Y-90，单批次最大操作量 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ，每年操作 30 次，年最大操作量为 $1.11\times 10^{13}\text{Bq}$ ；Ra-226，单批次最大操作量 $7.4\times 10^9\text{Bq}$ ，每年操作 50 次，年最大操作量为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ；靶件制备间涉及操作核素 Ra-226，单批次最大操作量 $7.4\times 10^9\text{Bq}$ ，每年操作 50 次，年最大操作量为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ 。

生产过程中，核素 ^{226}Ra 的物料平衡见表 3.3-13：

表 3.3-13 生产过程中核素 ^{226}Ra 的物料平衡

主要核素	原料投入量	生产过程损失量		产品中含量
^{226}Ra	$3.7\times 10^{11}\text{Bq}$	固废损失	$2\times 10^3\text{Bq}$	^{226}Ra : $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ 。
		液废损失	0	
		气废损失	0	
		总计: $2\times 10^3\text{Bq}$		

活度平衡：原料投入量 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ = 生产过程损失量 $2 \times 10^3 \text{Bq}$ + 产品中含量 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$

3.3.2.2 非放射性污染源

3.3.2.2.1 非放射废气

本项目研发楼会产生非放废气，主要包括溶液配制、样品制备及处理过程中产生的挥发性试剂、实验室废气等，主要为酸碱废气，年产生量为 $1.96 \times 10^5 \text{m}^3$ ，其中含盐酸废气 1/4，含硝酸废气 1/4，含量均较低，满足排放标准，经高架烟囱排放至大气环境中。

3.3.2.2.2 非放射废液

(1) 生活废水

生活废水主要为淋浴间和卫生间卫生器具排水，废水排放量约为 $2.79 \text{m}^3/\text{d}$ 。

(2) 生产废水

生产废水主要为研发楼非放射性实验生产废水，主要包括溶液配制、样品制备及处理过程中产生的硝酸、硫酸、盐酸、双氧水、缓冲液、医用盐酸、氢氧化钠、去离子水等溶液；清洗玻璃仪器产生的去离子水；清洗仪器设备、人员用水等；其中硝酸、硫酸等化学试剂废液通过中和处理后排放至园区工业废水处理中心，其他废液直接排放，废水排放总量约为 $27 \text{L}/\text{d}$ 。非放射性废水污染因子为SS、COD等。

3.3.2.2.3 非放射性固体废物

本项目营运期产生的固体废物主要为工作人员产生的生活垃圾和普通化学实验室产生的分离材料、玻璃器皿、聚四氟管、高效过滤器、劳保用品等。生活垃圾主要由工作人员产生，项目厂区人数约70人，生活垃圾产生量按 $0.5 \text{kg}/\text{人} \cdot \text{d}$ 计，则生活垃圾产生总量为 $35 \text{kg}/\text{d}$ ($8.75 \text{t}/\text{a}$)。普通化学实验室产生的分离材料、玻璃器皿、聚四氟管、高效过滤器、劳保用品等，产生量约为 $265 \text{kg}/\text{a}$ 。

3.3.2.2.4 噪声

本项目噪声源主要有轴流风机、离心风机、吸顶式排气扇、空气净化机组、组合式送风机组等，噪声源强 $\leq 75 \text{dB}(\text{A})$ 。噪声产生情况见表 3.3-12。

表 3.3-12 噪声一览表

设备来源	设备名称	噪声级 (dB (A))
中试楼	轴流风机	≤75
	离心风机	≤75
	吸顶式排气扇	≤75
	空气净化机组	≤75
	组合式送风机组	≤75

3.4 废弃物

本项目运行过程中的废弃物包括放射性废弃物和非放射性废弃物。放射性废弃物主要是含放射性的废气、废液和固体废物；非放射性废弃物包括废气、废水和固体废物。下面按类型分别描述放射性废弃物的来源、种类、活度等相关情况。

3.4.1 放射性废弃物

3.4.1.1 碘-125 生产线

(1) 废气

本项目碘-125 单批次最大操作量为 $1.85 \times 10^{13} \text{Bq}$ ，每批次挥发到工作箱体內的碘-125 为 $1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为 99%，每年操作 60 批次，则本项目操作核素碘-125 过程中箱体内气体总活度为 $1.11 \times 10^7 \text{Bq/a}$ ，通过气载途径排入环境的放射性活度为 $1.11 \times 10^5 \text{Bq/a}$ ，考虑通风量（单批次操作时间 5h，工作箱内通风量为 $589 \text{m}^3/\text{h}$ ），可估算出工作箱内空气中气溶胶浓度为 62.8Bq/m^3 。

(2) 废液

① 装置清洗废液（脱附工序）

本部分碘-125 生产线产生中放废液，年累计产生量约为 60L，比活度为 $5.2 \times 10^{-6} \text{Bq/L}$ ，总活度为 $1.11 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。

② 取样废液（质检工序）

本部分碘-125 产生中放废液，年累计产生量约为 32.4L，活度浓度 $3.33 \times 10^9 \text{Bq/L}$ ，总活度 $1.11 \times 10^{11} \text{Bq}$ （3 Ci）。

综上，含碘-125 废液总量为 92.4L/a，总活度为 $1.221 \times 10^{11} \text{Bq}$ (3.3Ci)，废液加适量氧化剂将碘转换成碘酸根离子，暂存后转移到三废处理设施进行处理。

(3) 固体废物

碘-125 生产线产生的固体废物主要是中放废物包括吸附剂、密封垫圈等配件、劳保用品和高效除碘过滤器等。

吸附剂残留：每年产生废吸附剂 1500g（脱附工序），残留的碘-125 比活度为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq/kg}$ ，总活度 $5.55 \times 10^{10} \text{Bq}$ (1.5Ci)；

密封垫圈等配件残留：每年产生废密封垫圈等配件 1500g，残留的碘-125 比活度为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq/kg}$ ，残留的碘-125 总活度 $5.55 \times 10^{10} \text{Bq}$ (1.5Ci)；

检修劳保废物：每年产生检修劳保用品 60kg，残留在检修劳保用品上的碘-125 比活度为 $1.85 \times 10^5 \text{Bq/kg}$ ，总活度为 $1.11 \times 10^7 \text{Bq/a}$ ；

高效除碘过滤器：每年产生废物 40kg，残留在高效除碘过滤器上的碘-125 比活度为 $2.775 \times 10^5 \text{Bq/kg}$ ，总活度 $1.11 \times 10^7 \text{Bq/a}$ 。

综上，含碘-125 固废总量为 103kg/a，总活度为 $1.11 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。

3.4.1.2 碳-14 生产线

(1) 废气

本项目 C-14 单批次最大操作量为 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，每批次进入到工作箱体内部的 C-14 为 $7.4 \times 10^6 \text{Bq}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，保守不考虑过滤器的净化效果，每年操作 100 批次，则本项目操作核素 C-14 过程中箱体内气体总活度为 $7.4 \times 10^8 \text{Bq/a}$ ，通过气载途径排入环境的放射性活度为 $7.4 \times 10^8 \text{Bq/a}$ ，考虑通风量（单批次操作时间 12h，工作箱内通风量为 $506.61 \text{m}^3/\text{h}$ ），可估算出工作箱内空气中气溶胶浓度为 $1.22 \times 10^3 \text{Bq/m}^3$ 。

(2) 废液

① 工艺过程废液

本部分碳-14 生产线年累计产生低放废液 30L，比活度为 27.1Bq/L ，总活度 $8.14 \times 10^2 \text{Bq}$ 。

② 生产装置清洗液(吸收、沉淀、过滤等工艺过程)

生产装置清洁清洗，每年共产生 300L 低放废液，比活度为 $2.47 \times 10^5 \text{Bq/L}$ ，活度损失为 $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$ 。

综上，碳-14 生产线废液年产生总量为 330L，总活度为 $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$ 。

(3) 固体废物

① 靶件切割工序：外靶管

本部分碳-14 生产线每年共产生中放废物 92kg，主要核素是 Co-60 和 Mn-54，比活度分别为 $3 \times 10^9 \text{Bq/kg}$ 、 $1.3 \times 10^8 \text{Bq/kg}$ ，总活度分别为 $2.26 \times 10^{11} \text{Bq}$ 和 $1.2 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；

② 内靶管(靶管切割工序)

本部分碳-14 生产线每年共产生中放废物 88kg，主要核素是 Co-60、Mn-54 和 C-14，比活度分别为 $1.6 \times 10^8 \text{Bq/kg}$ 、 $2.3 \times 10^6 \text{Bq/kg}$ ， $3.7 \times 10^8 \text{Bq/g}$ ，总活度分别为 $1.41 \times 10^{10} \text{Bq}$ 、 $2.02 \times 10^8 \text{Bq}$ 、 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ ；

③ 废靶料

本部分碳-14 生产线每年共产生中放废物 20g，主要核素为 C-14，比活度为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq/g}$ ，总活度为 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ ；

④ 硅胶管(提取工序)

本部分碳-14 生产线每年共产生低放废物 10kg，主要核素为 C-14，比活度为 $7.4 \times 10^8 \text{Bq/kg}$ ，总活度为 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ ；

⑤ 高效过滤器(全工艺过程)

本部分碳-14 生产线每年共产生中放废物 32kg，主要核素为 C-14，比活度为 $2.31 \times 10^7 \text{Bq/kg}$ ，总活度为 $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ ；

⑥ 劳保用品(全工艺过程)

本部分碳-14 生产线每年共产生低放废物 100kg，主要核素为 Co-60、Mn-54，比活度分别为 $3 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ 、 $1.3 \times 10^3 \text{Bq/kg}$ ，总活度分别为 $3 \times 10^6 \text{Bq}$ 、 $1.3 \times 10^5 \text{Bq}$ ；

⑦ 处理废液的沉淀

本部分碳-14 生产线每年共产生沉淀废物 1.773kg，主要核素为 C-14，比活度为 $4.59 \times 10^{10} \text{Bq/kg}$ ，总活度分别为 $8.14 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；

综上，碳-14 生产线固废总量为 324kg， ^{60}Co 总活度为 $2.4 \times 10^{11} \text{Bq}$ ， ^{54}Mn 总活度为 $1.22 \times 10^{10} \text{Bq}$ ， ^{14}C 总活度为 $1.04 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。

3.4.1.3 磷-32 生产线

3.4.1.3.1 有载体磷[³²P]酸钠溶液

(1) 废气

本项目有载体磷[³²P]酸钠溶液单批次最大操作量为 $5.55 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，每批次挥发到工作箱体內的 P-32 为 $5.55 \times 10^4 \text{Bq}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为 99%，每年操作 50 批次，则本项目操作核素 P-32 过程中箱体內气体总活度为 $2.78 \times 10^6 \text{Bq/a}$ ，通过气载途径排入环境的放射性活度为 $2.78 \times 10^4 \text{Bq/a}$ ，考虑通风量（单批次操作时间 4h，工作箱內通风量为 $590 \text{m}^3/\text{h}$ ），可估算出工作箱內空气中气溶胶浓度为 23.6Bq/m^3 。

(2) 废液

① 洗涤废液

石英管清洗废液：本部分低放废液年产生量为 50L，主要核素为 P-32，比活度为 $1 \times 10^5 \text{Bq/L}$ ，总活度为 $5 \times 10^6 \text{Bq/a}$ ；

装置洗涤废液：本部分低放废液年产生量为 50L，主要核素为 P-32，比活度为 $5.55 \times 10^8 \text{Bq/L}$ ，总活度为 $2.78 \times 10^{10} \text{Bq/a}$ ；

② 取样废液(质量检验工序)

本部分低放废液年产生量为 5L，主要核素为 P-32，比活度为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq/L}$ ，总活度为 $9.225 \times 10^9 \text{Bq/a}$ ；

综上，有载体磷[³²P]酸钠溶液废液总量为 105L，总活度为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。

(3) 固体废物

固废主要为铝制外靶管、石英內靶管和劳保用品等。

铝外靶管：本部分每年产生中放废物 11.5kg，主要核素为 Co-60、Mn-54，比活度分别为 $3 \times 10^{10} \text{Bq/kg}$ 、 $1.3 \times 10^9 \text{Bq/kg}$ ，总活度分别为 $3.45 \times 10^{11} \text{Bq}$ 、 $1.5 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；

石英內靶管：本部分每年产生低放废物 2.4kg，主要核素为 P-32，比活度为 $1.15 \times 10^{10} \text{Bq/kg}$ ，总活度为 $2.775 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；

劳保用品：本部分每年产生低放废物 50kg，主要核素为 P-32 比活度为 $5.55 \times 10^3 \text{Bq/kg}$ ，总活度为 $2.775 \times 10^5 \text{Bq}$ ；

硅胶管：本部分每年产生低放废物 4kg，主要核素为 P-32，比活度为 6.9×10^4 Bq/kg，总活度为 2.76×10^5 Bq；

高效过滤器：本部分每年产生低放废物 40kg，主要核素为 P-32，比活度为 6.9×10^4 Bq/kg，总活度为 2.76×10^6 Bq；

综上，有载体磷酸钠溶液的固废总量为 107.9kg， ^{60}Co 总活度为 3.45×10^{11} Bq， ^{54}Mn 总活度为 1.5×10^{10} Bq， ^{32}P 总活度为 2.775×10^{10} Bq。

3.4.1.3.2 无载体磷[^{32}P]酸钠溶液

(1) 废气

本项目无载体磷[^{32}P]酸钠溶液单批次最大操作量为 5.55×10^{11} Bq，每批次挥发到工作箱体內的 P-32 为 5.55×10^5 Bq，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为 99%，每年操作 50 批次，则本项目操作核素 P-32 过程中箱体内气体总活度为 2.78×10^7 Bq/a，通过气载途径排入环境的放射性活度为 2.78×10^5 Bq/a，考虑通风量（单批次操作时间 4h，工作箱内通风量为 $590 \text{m}^3/\text{h}$ ），可估算出工作箱内空气中气溶胶浓度为 2.36×10^2 Bq/ m^3 。

(2) 废液

① 洗涤废液

石英管清洗废液：本部分每年产生低放废液 25L，主要核素为 ^{32}P ，比活度为 1×10^5 Bq/L，总活度为 2.5×10^6 Bq；

装置洗涤废液：本部分每年产生中放废液 50L，主要核素为 ^{32}P ，比活度约 5.5×10^8 Bq/L，总活度为 2.78×10^{10} Bq；

② 取样废液（质量检验工序）

本部分每年产生低放废液 5L，主要核素为 ^{32}P ，比活度为 1.85×10^9 Bq/L，总活度为 9.225×10^9 Bq；

综上，无载体磷[^{32}P]酸钠溶液产生废液总量为 80L，总活度为 3.7×10^{10} Bq

(3) 固体废物

固废主要为铝制外靶管、石英内靶管和劳保用品等。

铝制外靶管：本部分每年产生中放废物 11.5kg，主要核素为 Co-60、Mn-54，比活度分别为 3×10^{10} Bq/kg、 1.3×10^9 Bq/kg，总活度分别为 3.45×10^{11} Bq、 1.5×10^{10} Bq

q;

石英靶管：本部分每年产生低放废物 2.4kg，主要核素为 P-32，比活度为 1.15×10^{10} Bq/kg，总活度分别为 2.775×10^{10} Bq；

劳保用品：本部分每年产生低放废物 50kg，主要核素为 P-32，比活度为 5.55×10^3 Bq/kg，总活度分别为 2.775×10^5 Bq；

硅胶管：本部分每年产生低放废物 4kg，主要核素为 P-32，比活度为 6.9×10^4 Bq/kg，总活度分别为 2.76×10^5 Bq；

综上，无载体磷^[32P]酸钠产生固废总量为 67.9kg，⁶⁰Co 总活度为 3.45×10^{11} Bq，⁵⁴Mn 总活度为 1.5×10^{10} Bq，³²P 总活度为 2.775×10^{10} Bq。

3.4.1.3.3 ³²P 玻璃微球

(1) 废气

本工艺无放射性气体产生，只有箱体换气产生的废气。

(2) 废液

① 靶料清洗废液（靶料清洗工序）

本部分每年产生中放废液 10L，主要核素为 P-32，比活度 2.775×10^8 Bq/L，总活度为 2.775×10^9 Bq；

② 质量检验工序

本部分每年产生中放废液 5L，主要核素为 P-32，比活度 1.4×10^9 Bq/L，总活度为 7×10^9 Bq；

③ 装置清洗废液(全工艺过程)

本部分每年产生中放废液 50L，主要核素为 P-32，比活度 5.55×10^7 Bq/L，总活度为 2.775×10^9 Bq；

综上，磷玻璃微球产生废液总量为 65L/a，³²P 总活度为 1.255×10^{10} Bq。

(3) 固体废物

① 铝制外靶管

本部分每年产生中放废物 11.5kg，主要核素为 Co-60、Mn-54，比活度分别为 3×10^{10} Bq/kg、 1.3×10^9 Bq/kg，总活度分别为 3.45×10^{11} Bq、 1.5×10^{10} Bq；

② 内靶管

本部分每年产生中放废物 3kg，其中靶管粘附 0.03kg，主要核素为 Co-60、M

n-54、P-32，比活度分别为 $1.6 \times 10^9 \text{Bq/kg}$ 、 $2.3 \times 10^7 \text{Bq/kg}$ 、 $6.45 \times 10^{10} \text{Bq/kg}$ ，总活度分别为 $4.8 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 $6.9 \times 10^7 \text{Bq}$ 、 $3.24 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；

③ 劳保用品（靶管切割工序）

本部分每年产生中放废物 25kg，主要核素为 P-32，比活度为 $6.43 \times 10^6 \text{Bq/kg}$ ，总活度为 $1.61 \times 10^8 \text{Bq}$ ；

综上，磷玻璃微球产生固废总量为 39.5kg/a， ^{60}Co 总活度为 $3.5 \times 10^{11} \text{Bq}$ ， ^{54}Mn 总活度为 $1.5 \times 10^{10} \text{Bq}$ ， ^{32}P 总活度为 $3.24 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。

3.4.1.4 镥-177 生产线

(1) 废气

本项目 Lu-177 单批次最大操作量为 $7.4 \times 10^{12} \text{Bq}$ ，每批次进入到工作箱体內的 Lu-177 为 $7.4 \times 10^5 \text{Bq}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为 99%，每年操作 50 批次，则本项目操作核素 Lu-177 过程中箱体内气体总活度为 $3.7 \times 10^7 \text{Bq/a}$ ，通过气载途径排入环境的放射性活度为 $3.7 \times 10^5 \text{Bq/a}$ ，考虑通风量（单批次操作时间 8h，工作箱内通风量为 $1184 \text{m}^3/\text{h}$ ），可估算出工作箱内空气中气溶胶浓度为 78.13Bq/m^3 。

(2) 废液

① 洗涤废液

石英管清洗废液：本部分每年产生低放废液 50L，主要核素为 Lu-177，比活度为 $1 \times 10^5 \text{Bq/L}$ ，总活度为 $5 \times 10^6 \text{Bq}$ ；

② 淋洗液废液（分离纯化工序）

柱色谱分离淋洗液：本部分每年产生低放废液 5000L，主要核素为 Lu-177，比活度为 $7.4 \times 10^7 \text{Bq/L}$ ，总活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；

装置洗涤废液：本部分每年产生低放废液 500L，主要核素为 Lu-177，比活度为 $1.85 \times 10^7 \text{Bq/L}$ ，总活度为 $9.25 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；

③ 取样废液（质量检验工序）

本部分每年产生低放废液 5L，主要核素为 Lu-177，比活度为 $3.7 \times 10^9 \text{Bq/L}$ ，总活度为 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；

综上，Lu-177 生产线产生废液总量为 5555L/a，Lu-177 总活度为 $4.81 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。

(3) 固体废物

固废主要为铝制外靶管和石英内靶管，劳保用品等。

① 铝外靶管

本部分每年产生中放废物 11.5kg，主要核素为 Co-60、Mn-54，比活度分别为 $1.8 \times 10^8 \text{Bq/kg}$ 、 $8.0 \times 10^6 \text{Bq/kg}$ ，总活度分别为 $2.1 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 $9.2 \times 10^7 \text{Bq}$ ；

② 石英内靶管

本部分每年产生中放废物 1.75kg，主要核素为 Lu-177，比活度为 $3.19 \times 10^9 \text{Bq/kg}$ ，总活度为 $5.6 \times 10^9 \text{Bq}$ ；

③ 分离纯化工序

废树脂：本部分每年产生中放废物 5kg，主要核素为 Lu-177，比活度为 $7.4 \times 10^9 \text{Bq/kg}$ ，总活度为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；

设备配件：本部分每年产生低放废物 10kg，主要核素为 Lu-177，比活度为 $1.85 \times 10^6 \text{Bq/kg}$ ，总活度为 $1.85 \times 10^7 \text{Bq}$ ；

检修劳保：本部分每年产生低放废物 250kg，主要核素为 Lu-177，比活度为 $1.85 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ ，总活度为 $4.6 \times 10^6 \text{Bq}$ ；

过滤器：本部分每年产生低放废物 56kg，主要核素为 Lu-177，比活度为 $6.6 \times 10^6 \text{Bq/kg}$ ，总活度为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ；

综上，Lu-177 生产线产生固废总量 334kg，Lu-177 总活度为 $3.8 \times 10^{10} \text{Bq}$ ， ^{60}Co 总活度为 $2.1 \times 10^9 \text{Bq}$ ， ^{54}Mn 总活度为 $9.2 \times 10^7 \text{Bq}$ 。

3.4.1.5 钇-90 生产线

(1) 废气

本项目 Sr-90 单批次最大操作量为 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$ ， ^{90}Y 核素的单批次最大操作量为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，每批次进入到工作箱体內的 Sr-90 和 Y-90 分别为 $7.4 \times 10^4 \text{Bq}$ 、 $1.85 \times 10^4 \text{Bq}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为 99%，Sr-90 每年操作 30 批次，Y-90 每年操作 120 批次，则本项目操作核素 Sr-90 和 Y-90 过程中箱体内气体总活度均为 $2.22 \times 10^6 \text{Bq/a}$ ，通过气载途径排入环境的放射性活度为 $2.22 \times 10^4 \text{Bq/a}$ ，考虑通风量（单批次操作时间 4h，工作箱内通风量为 $589 \text{m}^3/\text{h}$ ），可估算出工作箱内空气中总气溶胶浓度为 62.8Bq/m^3 。

(2) 废液

^{90}Y 生产线放射性废液主要包括洗涤废液、取样废液、生产线清洗液等。

① 洗涤废液（料液预处理工序）

本部分每年产生中放废液 120L，主要核素为 ^{90}Sr 、 ^{90}Y ，比活度分别为 $1.85 \times 10^7 \text{Bq/L}$ 、 $1.85 \times 10^7 \text{Bq/L}$ ，总活度分别为 $2.22 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 $2.22 \times 10^9 \text{Bq}$ ；

② 取样废液（质量检验工序）

本部分每年产生中放废液 12L，主要核素为 ^{90}Sr 、 ^{90}Y ，比活度分别为 $1.85 \times 10^7 \text{Bq/L}$ 、 $1.85 \times 10^7 \text{Bq/L}$ ，总活度分别为 $2.22 \times 10^8 \text{Bq}$ 、 $2.22 \times 10^8 \text{Bq}$ ；

③ 装置清洗废液

本部分每年产生低放废液 60L，主要核素为 ^{90}Sr 、 ^{90}Y ，比活度分别为 $3.7 \times 10^6 \text{Bq/L}$ 、 $3.7 \times 10^6 \text{Bq/L}$ ，总活度分别为 $2.22 \times 10^8 \text{Bq}$ 、 $2.22 \times 10^8 \text{Bq}$ ；

综上，Y-90 生产线产生的废液总量为 192L/a，Y-90 总活度为 $2.66 \times 10^9 \text{Bq}$ ，Sr-90 总活度为 $2.66 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

(3) 固体废物

^{90}Y 生产线固废包括分离材料与分离柱、玻璃器皿、高效过滤器、检修劳保用品等。

① 分离材料与分离柱（料液预处理工序）

本部分每年产生中放废物 60kg，主要核素为 ^{90}Sr 、 ^{90}Y ，比活度分别为 $3.7 \times 10^7 \text{Bq/kg}$ 、 $3.7 \times 10^7 \text{Bq/kg}$ ，总活度分别为 $2.22 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 $2.22 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

② 玻璃器皿（全工艺过程）

本部分每年产生中放废物 30kg，主要核素为 ^{90}Sr 、 ^{90}Y ，比活度分别为 $7.4 \times 10^7 \text{Bq/kg}$ 、 $7.4 \times 10^7 \text{Bq/kg}$ ，总活度分别为 $2.22 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 $2.22 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

③ 高效过滤器（全工艺过程）

本部分每年产生中放废物 40kg，主要核素为 ^{90}Sr 、 ^{90}Y ，比活度分别为 $5.55 \times 10^5 \text{Bq/kg}$ 、 $5.55 \times 10^5 \text{Bq/kg}$ ，总活度分别为 $2.22 \times 10^7 \text{Bq}$ 、 $2.22 \times 10^7 \text{Bq}$ 。

④ 检修劳保用品（全工艺过程）

本部分每年产生中放废物 90kg，主要核素为 ^{90}Sr 、 ^{90}Y ，比活度分别为 $2.5 \times 10^5 \text{Bq/kg}$ 、 $2.5 \times 10^5 \text{Bq/kg}$ ，总活度分别为 $2.22 \times 10^7 \text{Bq}$ 、 $2.22 \times 10^7 \text{Bq}$ 。

综上，Y-90 生产线产生固废总量为 220kg/a，Y-90 总活度为 $4.46 \times 10^9 \text{Bq}$ ，Sr-90

0 总活度为 $4.46 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

3.4.1.6 镭-223 生产线

(1) 废气

本项目废气主要涉及核素 Ra-223，单批次最大操作量为 $9.25 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，取操作量的 6×10^{-7} ，每批次进入到工作箱体內的 Ra-223 为 $5.55 \times 10^4 \text{Bq}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为 99%，每年操作 20 批次，则本项目操作核素 Ra-223 过程中箱体内气体总活度为 $1.11 \times 10^6 \text{Bq/a}$ ，通过气载途径排入环境的放射性活度为 $1.11 \times 10^4 \text{Bq/a}$ ，考虑通风量（单批次操作时间 8h，工作箱内通风量为 $716.58 \text{m}^3/\text{h}$ ），可估算出工作箱内空气中气溶胶浓度为 9.68Bq/m^3 。

(2) 废液

① 石英靶管清洗工序：清洗废液

本部分每年产生低放废液 0.5L，主要核素为 Ra-223，比活度为 $1.85 \times 10^7 \text{Bq/L}$ ，总活度为 $9.25 \times 10^6 \text{Bq}$ ；

② 质量检验工序：取样废液

本部分每年产生中放废液 5L，主要核素为 Ra-223，比活度为 $1.85 \times 10^7 \text{Bq/L}$ ，总活度为 $9.25 \times 10^7 \text{Bq}$ ；

③ 生产装置清洗液

本部分每年产生低放废液 100L，主要核素为 Ra-223，比活度为 $2.22 \times 10^5 \text{Bq/L}$ ，总活度为 $2.22 \times 10^7 \text{Bq}$ ；

综上，镭-223 生产线产生废液总量为 105.5L，总活度为 $1.24 \times 10^7 \text{Bq}$ 。

(3) 固体废物

① 靶件切割工序：外靶管

本部分每年产生中放废物 1.15kg，主要核素为 Co-60、Mn-54，比活度分别为 $9.38 \times 10^8 \text{Bq/kg}$ 、 $4.06 \times 10^7 \text{Bq/kg}$ ，总活度分别为 $1.08 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 $4.67 \times 10^7 \text{Bq}$ ；

② 内靶管（靶管切割工序）

本部分每年产生中放废物 1.25kg，主要核素为 Co-60、Mn-54，比活度分别为 $5 \times 10^7 \text{Bq/kg}$ 、 $7.2 \times 10^5 \text{Bq/kg}$ ，总活度分别为 $6.25 \times 10^7 \text{Bq}$ 、 $9 \times 10^5 \text{Bq}$ ；

③ 石英内靶管粘附（靶管切割工序）

本部分每年产生中放废物 0.5kg，主要核素为 Ra-226，比活度为 $2.31 \times 10^7 \text{Bq/kg}$ ，总活度为 $1.15 \times 10^7 \text{Bq}$ ；

④ 分离材料（料液分离工序）

本部分每年产生低放废物 0.8kg，主要核素为 Ra-226、Ac-227，比活度分别为 $1.16 \times 10^8 \text{Bq/kg}$ 、 $4.63 \times 10^7 \text{Bq/kg}$ ，总活度分别为 $9.25 \times 10^7 \text{Bq}$ 、 $3.7 \times 10^7 \text{Bq}$ ；

⑤ 高效过滤器（全工艺过程）

本部分每年产生低放废物 48kg，主要核素为 Ra-223，比活度为 $1.14 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ ，总活度为 $5.49 \times 10^8 \text{Bq}$ ；

⑥ 劳保用品（全工艺过程）

本部分每年产生低放废物 100kg，主要核素为 Ra-223，比活度为 $1.85 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ ，总活度为 $1.85 \times 10^6 \text{Bq}$ ；

⑦ 玻璃器皿（全工艺过程）

本部分每年产生低放废物 10kg，主要核素为 Ra-223，比活度为 $9.25 \times 10^6 \text{Bq/kg}$ ，总活度为 $9.25 \times 10^7 \text{Bq}$ ；

综上，镭-223 生产线产生的固废总量为 161.7kg， ^{60}Co 总活度为 $1.08 \times 10^9 \text{Bq}$ ， ^{54}Mn 总活度为 $4.67 \times 10^7 \text{Bq}$ ， ^{226}Ra 总活度为 $1.04 \times 10^8 \text{Bq}$ ， ^{227}Ac 总活度为 $3.7 \times 10^7 \text{Bq}$ ， ^{223}Ra 总活度为 $6.43 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

3.4.1.7 钨铼发生器生产线

(1) 废气

本项目 ^{188}Re 核素的单批次最大操作量为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，每批次进入到工作箱体內的 ^{188}Re 为 $3.7 \times 10^6 \text{Bq}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为 99%，每年操作 100 批次，则本项目操作核素 ^{188}Re 过程中箱体内气体总活度为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq/a}$ ，通过气载途径排入环境的放射性活度为 $3.7 \times 10^6 \text{Bq/a}$ ，考虑通风量（单批次操作时间 5h，工作箱内通风量为 $1134 \text{m}^3/\text{h}$ ），可估算出工作箱内空气中气溶胶浓度为 652.56Bq/m^3 。

(2) 废液

① 洗涤废液（靶管清洗工序）

石英管清洗废液：本部分每年产生低放废液 50L，主要核素为 ^{55}Fe 、 ^{59}Fe ，比活度为 $1 \times 10^5 \text{Bq/L}$ ，总活度为 $5 \times 10^6 \text{Bq}$ ；

② 凝胶漂洗废液（凝胶制备工序）

本部分每年产生中放废液 20L，主要核素为 ^{188}W 、 ^{185}W ，比活度为 $1.85 \times 10^7 \text{Bq/L}$ ，总活度为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ；

装置洗涤废液：本部分每年产生中放废液 100L，主要核素为 ^{188}W 、 ^{185}W ，比活度为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq/L}$ ，总活度为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；

③ 取样废液（质量检验工序）

质量检验取样：本部分每年产生中放废液 2L，主要核素为 Re-188，比活度为 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq/L}$ ，总活度为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；

综上，钨铼发生器生产线产生废液总量为 172L/a， ^{188}Re 总活度为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ ， ^{188}W 总活度为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ ， ^{55}Fe 、 ^{59}Fe 总活度为 $5 \times 10^6 \text{Bq}$ 。

(3) 固体废物

固废主要为铝制外靶管和石英内靶管，劳保等。

① 铝制外靶管

本部分每年产生中放废物 4.6kg，主要核素为 Co-60、Mn-54，比活度分别为 $5.4 \times 10^8 \text{Bq/kg}$ 、 $2.4 \times 10^7 \text{Bq/kg}$ ，总活度分别为 $2.48 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 $1.1 \times 10^8 \text{Bq}$ ；

② 石英内靶管

本部分每年产生低放废物 0.4kg，主要核素为 W-188、W-185，比活度为 $3.7 \times 10^7 \text{Bq/kg}$ ，总活度分别为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；

③ 凝胶制备工序

本部分每年产生中放废物 10g，主要核素为 W-188、W-185，比活度为 $3.7 \times 10^{13} \text{Bq/kg}$ ，总活度分别为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；

检修劳保：本部分每年产生中放废物 100kg，主要核素为 W-188、W-185，比活度为 $1 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ ，总活度分别为 $1 \times 10^6 \text{Bq}$ ；

综上，钨铼发生器生产线产生固废总量为 105kg/a， ^{188}W 、 ^{185}W 总活度为 $4.07 \times 10^{11} \text{Bq}$ ， ^{60}Co 、 ^{54}Mn 总活度分别为 $2.48 \times 10^9 \text{Bq}$ 、 $1.1 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

3.4.1.8 Ho-166 生产线

(1) 废气

本项目 Ho-166 核素的单批次最大操作量为 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，每批次进入到工作箱体内的 Ho-166 为 $7.4 \times 10^4 \text{Bq}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤

器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为 99%，每年操作 2000 批次，则本项目操作核素 Ho-166 过程中箱体内存总活度为 $1.48 \times 10^7 \text{Bq/a}$ ，通过气载途径排入环境的放射性活度为 $1.48 \times 10^5 \text{Bq/a}$ ，考虑通风量（单批次操作时间 1h，工作箱内通风量为 $462.24 \text{m}^3/\text{h}$ ），可估算出工作箱内空气中气溶胶浓度为 16.02Bq/m^3 。

(2) 废液

Ho-166 微球生产过程中废液的主要来源为清洗废液（靶管清洗、微球清洗、生产线清洗）。

清洗废液（微球清洗工序）：

靶管清洗废液：本部分每年产生低放废液 800L，主要核素为 Ho-166，比活度为 $1.0 \times 10^5 \text{Bq/L}$ ，总活度为 $8 \times 10^7 \text{Bq}$ ；

微球清洗废液：本部分每年产生中放废液 120L，主要核素为 Ho-166，比活度为 $1.23 \times 10^{10} \text{Bq/L}$ ，总活度为 $1.48 \times 10^{12} \text{Bq}$ ；

装置清洗废液：本部分每年产生中放废液 500L，主要核素为 Ho-166，比活度为 $2.96 \times 10^8 \text{Bq/L}$ ，总活度为 $1.48 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；

综上，Ho-166 生产线产生废液总量为 1420L/a，Ho-166 总活度为 $1.63 \times 10^{12} \text{Bq}$

(3) 固体废物

固废主要为铝制外靶管和聚四氟内靶管。

铝制外靶管：本部分每年产生低放废物 120kg，主要核素为 Na-24，比活度为 $2 \times 10^6 \text{Bq/kg}$ ，总活度为 $2.4 \times 10^8 \text{Bq}$ ；

聚四氟内靶管：本部分每年产生中放废物 12kg，主要核素为 Ho-166，比活度为 $1.23 \times 10^{12} \text{Bq/kg}$ ，总活度为 $1.48 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；

检修劳保用品：本部分每年产生低放废物 500kg，主要核素为 ^{55}Fe 、 ^{59}Fe ，比活度为 $1 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ ，总活度为 $5 \times 10^6 \text{Bq}$ ；

综上，Ho-166 生产线产生废液总量为 632kg/a，Ho-166 总活度为 $1.48 \times 10^{11} \text{Bq}$ ， ^{24}Na 总活度为 $2.4 \times 10^8 \text{Bq}$ ， ^{55}Fe 、 ^{59}Fe 总活度为 $5 \times 10^6 \text{Bq}$ 。

3.4.1.9 其他放射性实验室

放射性实验室包括一层放射性阳性接种室、放射性无菌室、放化分析实验

室、制样间、样品间；二层放化实验室、标记实验室等场所。

(1) 废气

① I-125

所有放射性实验室操作 I-125 核素的年最大操作量为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为 99%，通过气载途径排入环境的放射性活度为 $7.08 \times 10^1 \text{Bq/a}$ 。

② C-14

所有放射性实验室操作 C-14 核素的年最大操作量为 $8.21 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为 99%，通过气载途径排入环境的放射性活度为 $1.57 \times 10^3 \text{Bq/a}$ 。

③ P-32

所有放射性实验室操作 P-32 核素的年最大操作量为 $3.55 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为 99%，通过气载途径排入环境的放射性活度为 $6.08 \times 10^2 \text{Bq/a}$ 。

④ Lu-177

所有放射性实验室操作 Lu-177 核素的年最大操作量为 $9.03 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为 99%，通过气载途径排入环境的放射性活度为 $1.73 \times 10^3 \text{Bq/a}$ 。

⑤ Y-90、Sr-90

所有放射性实验室操作 Y-90、Sr-90 核素的年最大操作量均为 $4.44 \times 10^{12} \text{Bq}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为 99%，通过气载途径排入环境的放射性活度均为 $8.50 \times 10^3 \text{Bq/a}$ 。

⑥ Ra-223、Ra-226、Ac-227

所有放射性实验室操作 Ra-223 核素的年最大操作量为 $4.48 \times 10^{11} \text{Bq}$ 、操作 Ra-226、Ac-227 核素的年最大操作量均为 $7.4 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为 99%，通过气载途径排入环境的 Ra-223 放射性活度为 $8.56 \times 10^2 \text{Bq/a}$ 、排入环境的 Ra-226、Ac-227 放射性活度为 $1.42 \times 10^2 \text{Bq/a}$ 。

⑦ Re-188

所有放射性实验室操作 Re-188 核素的年最大操作量为 $2.23 \times 10^{12} \text{Bq}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为 99%，通过气载途径排入环境的放射性活度为 $4.26 \times 10^3 \text{Bq/a}$ 。

⑧ Ho-166

所有放射性实验室操作 Re-188 核素的年最大操作量为 $2.96 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，气体经过箱体的高效过滤器和排气系统的高效过滤器两级过滤处理后排向大气环境，两级过滤器净化效率为 99%，通过气载途径排入环境的放射性活度为 $5.67 \times 10^2 \text{Bq/a}$ 。

放射性实验室产生的放射性固废和废液已包含在 8 条生产线的放射性固废和废液中，详情见本章 3.4.1.1-3.4.1.8。

3.4.1.10 放射性原料间和靶件制备间

(1) 废气

放射性原料间和靶件制备间不产生工艺废气，只有箱体换气时产生的废气。

(2) 废液

放射性原料间和靶件制备间不产生工艺废液。

(3) 固体废物

靶件制备间产生固废主要为劳保用品。

劳保用品：本部分每年产生低放废物 20kg，主要核素为 ^{226}Ra ，比活度为 $< 10^0 \text{Bq/kg}$ ，总活度最大为 $2 \times 10^3 \text{Bq}$ 。

3.4.2 非放射性废弃物

3.4.2.1 废气

本项目研发楼会产生非放废气，主要包括溶液配制、样品制备及处理过程中产生的挥发性试剂、实验室废气等，主要为酸碱废气，年产生量为 $1.96 \times 10^5 \text{m}^3$ ，其中含盐酸废气 1/4，含硝酸废气 1/4，含量均较低，满足排放标准，经高架烟囱排放至大气环境中。

3.4.2.2 废水

(1) 生活废水

生活废水主要为淋浴间和卫生间卫生器具排水，废水排放量约为 $2.79 \text{m}^3/\text{d}$ 。

(2) 生产废水

生产废水主要为研发楼非放射性实验生产废水，主要包括溶液配制、样品制备及处理过程中产生的硝酸、硫酸、盐酸、双氧水、缓冲液、医用盐酸、氢氧化钠、去离子水等溶液；清洗玻璃仪器产生的去离子水；清洗仪器设备、人员用水等；其中硝酸、硫酸等化学试剂废液通过中和处理后排放至园区工业废水处理中心，其他废液直接排放，废水排放总量约为27L/d。非放射性废水污染因子为SS、COD等。

表3.4-1 项目职工生活废水产生情况

废水性质		废水量 m ³ /d	COD _{cr}	BOD ₅	SS	NH ₃ -N
处理前	浓度(mg/l)		600	300	200	40
	产生量(kg/d)	2.79	1.7	0.84	0.56	0.11
处理后	浓度(mg/l)		500	100	70	35
	排放量(kg/d)	2.79	1.4	0.28	0.20	0.098

3.4.2.3 噪声

本项目投入营运后主要的噪声为：项目生产设施产生的噪声和设备噪声（通排风系统等）。

本项目噪声源主要有轴流风机、离心风机、吸顶式排气扇、空气净化机组、组合式送风机组等，噪声源强≤75dB（A）。噪声产生情况见表3.4-2。

表 3.4-2 噪声一览表

设备来源	设备名称	噪声级（dB（A））
中试楼	轴流风机	≤75
	离心风机	≤75
	吸顶式排气扇	≤75
	空气净化机组	≤75
	组合式送风机组	≤75

3.4.2.4 固体废物

本工程运行产生的非放射性固体废物主要为普通化学实验室产生的分离材料、玻璃器皿、聚四氟管、高效过滤器、劳保用品等，产生量约为265kg/a。此外还有产生的生活垃圾约20kg/a。

表3.4-3 项目非放“三废”排放量统计表

废物类型	来源及成分	年产生量	处理措施	排放方式	年排入环境量
固废	分离材料、玻璃器皿、聚四氟管、高效过滤器、劳保用品等	265 kg	统一处理	不排放	/
	生活垃圾	20kg	统一处理	不排放	/
废液	溶液配制、样品制备及处理过程中产生的硝酸、硫酸、盐酸等溶液	290 L	统一处理	中和处理后排放至园区工业废水处理中心	290L
	溶液配制、样品制备及处理过程中产生的双氧水、缓冲液、医用盐酸、氢氧化钠、去离子水等溶液	1000 L	统一处理	中和处理后排放至园区工业废水处理中心	1000 L
	清洗玻璃仪器产生的去离子水	1500 L	直接排放	经废水口排放至下水道	1500 L
	清洗仪器设备、人员用水等	4000 L	直接排放	经废水口排放至下水道	4000 L
	生活废水	697.5 m ³	直接排放	排入园区污水处理管网	697.5 m ³
废气	溶液配制、样品制备及处理过程中产生的挥发性试剂、实验室废气等	1.96×10 ⁵ m ³	直接排放	经高架烟囱排放至大气中	1.96×10 ⁵ m ³

3.5 总量控制

本项目总量主要考虑生活污水的 COD、NH₃-N 和总磷。

3.5.1 总量计算

(1) 项目污水排入园区污水管网的总量控制指标为：

项目废水排放量为 2.79m³/d，项目排口废水化学需氧量浓度按 500mg/L 计算；氨氮按 35mg/L 计算，总磷按 0.3mg/L 计算，则：

化学需氧量（项目排口）=2.79m³/d×250d×500mg/L×10⁻⁶=0.35t/a

氨氮（项目排口）=2.79m³/d×250d×35mg/L×10⁻⁶=2.44×10⁻²t/a

总磷（项目排口）=2.79m³/d×250d×0.3mg/L×10⁻⁶=2.09×10⁻⁴t/a

(2) 本项目污水经污水处理厂处理达标后排放控制量：

项目废水排放量为 $2.79\text{m}^3/\text{d}$ ，园区污水处理厂排口浓度除总氮达《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》（DB51/2311-2016）标准外，其余指标执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中 III 类标准，化学需氧量浓度按 20mg/L 计算，氨氮按 1.0mg/L 计算，总磷按 0.2mg/L 计算，则：

$$\text{化学需氧量（污水处理厂排口）} = 2.79\text{m}^3/\text{d} \times 250\text{d} \times 20\text{mg/l} \times 10^{-6} = 1.3 \times 10^{-2} \text{t/a}$$

$$\text{氨氮（污水处理厂排口）} = 2.79\text{m}^3/\text{d} \times 250\text{d} \times 1.0\text{mg/l} \times 10^{-6} = 0.70 \times 10^{-3} \text{t/a}$$

$$\text{总磷（污水处理厂排口）} = 2.79\text{m}^3/\text{d} \times 250\text{d} \times 0.2\text{mg/l} \times 10^{-6} = 1.39 \times 10^{-4} \text{t/a}$$

3.5.2 总量控制指标

建议本项目污染物总量控制指标见表 3.5-1。

表 3.5-1 本项目建议总量控制指标

类别	总是控制污染物	建议控制指标 (t/a)
废水	COD	0.35 (1.3×10^{-2})
	NH ₃ -N	2.44×10^{-2} (0.7×10^{-3})
	总磷	2.09×10^{-4} (1.39×10^{-4})

注：“()”外为经厂区内预处理达标后入园区污水管网的排放量；“ () ”内为项目废水经园区污水处理厂处理总氮达《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》（DB51/2311-2016），COD达《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中III类标准的排放量。

第四章 辐射安全与防护

4.1 场所布局与屏蔽

4.1.1 场所布局

4.1.1.1 平面布局

4.1.1.1.1 厂区平面布局及合理性分析

整个厂区平面布置相对简单，主要建筑为中试楼和研发楼，研发楼与中试楼通过连廊通道连接。非密封放射性工作场所位于中试楼，其中 8 条生产线集中在中试楼一层，占据一层大部分面积，生产线北侧为放化分析实验室和制样间以及样品间，生产线左右两侧为配电室以及发货车间等辅助设施，中试楼二层西南侧集中布置放化实验室和标记实验室，地下一层布置废液收集间，二层南侧布置固废暂存间，整个场所有合适的物流通道，便于生产的衔接；办公区主要在研发楼二层，位于厂区西南面，整个厂区的上风向，受中试楼废气排放的影响相对较小，且与放射性工作场所之间留有一定的防护距离，电离辐射对该部分区域内工作人员影响也较小。从平面布置来看，整个厂区分区明晰，各区域之间互不干扰，放射性工作场所相对集中且与办公区之间留有一定的防护距离，从辐射防护的角度而言，该项目的平面布置是合理可行的。

4.1.1.1.2 各生产构筑物平面布局

(1) 中试楼

建设中试楼，主要为同位素生产设施区域，地下一层为废液收集间；地上一层布置 ^{125}I 、 ^{14}C 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{90}Y 、 ^{32}P 、 ^{166}Ho 、 ^{188}Re 等 8 种同位素生产线，设 2 个放化分析实验室以及制样间和样品间；设放射性阳性接种室和无菌室，二层布置 3 个放化实验室和 1 个标记实验室，以及放射性原料间、靶件制备间和废物暂存区。

(2) 研发楼

建设研发楼，主要为同位素生产辅助设施区域，与中试楼通过连廊通道连接，地上一层布置纯水制备间、男女更衣间、淋浴间、门厅、会议室等，二层主要为办公室、阅览室等房间；三层主要为化学试剂间、化学实验室以及化学检验

间以及标准物质间等房间。

本项目工作场所的平面布局既便于生产操作、满足安全生产的需要，又便于进行分区管理和辐射防护。因此，从安全生产、环境保护和辐射防护的角度来说，本项目辐射工作场所的平面布局是较为合理的。

4.1.1.2 辐射工作场所分区

根据 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定，以放射性辐射水平、空气中放射性浓度以及表面污染程度将工作场所划分为监督区和控制区，其中控制区又划分为控制一区、控制二区和控制三区。辐射防护分区参考水平见表 4.1-1。

(1) 监督区：该区不允许存在放射性污染和辐射，不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

(2) 控制 I 区：该区正常工况下没有放射性污染，但是存在少量的辐射，进出该区需要经过卫生通道，更换工作服，配戴个人剂量计，并累积记录个人受照剂量。

(3) 控制 II 区：该区存在一定放射性污染和辐射，进入该区的人员需经过过渡间，配备辐射防护仪表以及其它防护用品，并且严格限制在该区的停留时间。

(4) 控制 III 区：该区存在较大的放射性污染和辐射，一般情况下不允许人员进入。

表 4.1-1 本项目辐射工作场所分区标准

放射性分区名称	γ 辐射水平	导出空气浓度 (DAC)	人员停留特征
监督区	$\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$	可忽略	$\leq 2000\text{h/a}$
控制 I 区	$2.5\mu\text{Sv/h} \sim 7.5\mu\text{Sv/h}$	≤ 0.1	$\leq 2000\text{h/a}$
控制 II 区	$7.5\mu\text{Sv/h} \sim 75\mu\text{Sv/h}$	0.1~1.0	$\leq 200\text{h/a}$
控制 III 区	$> 75\mu\text{Sv/h}$	1.0~10	限制进入

根据上述分区原则和本项目辐射工作场所布局情况，本项目工作场所分区如下：

控制区：将工作箱及其操作前区、物流通道设为控制区。同时根据控制区内的不同情况，将控制区进一步细分：将工作箱（污染水平高，去污和设备检修时人员可能进入）划为控制 III 区；物流通道（兼作应急检修通道）划为控制 II 区；

工作箱的操作前区划分为控制 I 区。

监督区：连接各工作箱操作前区的走廊划为监督区。

项目辐射工作场所控制区和监督区具体划分见下表 4.1-2。

表 4.1-2 辐射工作场所控制区和监督区划分一览表

辐射工作场所	控制区	监督区
中试楼一层 8 条生产线	控制 1 区：生产线操作前区 控制 2 区：生产线操作后区 控制 3 区：工作箱内部	其他房间
地下一层废液收集间	控制 1 区：其他房间 控制 3 区：放射性废液收集间	
中试楼二层	控制 1 区：放化实验室、标记实验室、放射性原料间、靶件制备间、吊装平台等 控制 2 区：废物暂存区、排风机房	

4.1.2 屏蔽设计

4.1.2.1 构筑物屏蔽

本项目构筑物的屏蔽主要考虑同位素生产场所即中试楼的屏蔽。

(1) 中试楼

建筑物平面布置呈矩形，长×宽为 93.5m×43.9m（轴线尺寸），地上二层，局部地下一层，地下一层层高 5.0m，地上一层层高 7.0m，地上二层层高 6.0m。室内外高差 0.3m，建筑物高度为 13.3m（室外地坪至结构屋面）。隔墙采用非烧结实心砖墙厚度为 240mm，楼板采用现浇钢筋混凝土，厚度为 120mm，吊装平台区域设置防震缝与周围结构隔开，采用钢筋混凝土框排架结构。地下一层外墙选用钢筋混凝土墙，围护墙及隔墙选用砌体填充墙，其他楼面及屋面板均采用现浇钢筋混凝土构件。拟采用天然地基，柱下独立基础，填充墙采用墙下条形基础，局部地下室选用筏板基础。

4.1.2.2 生产装置屏蔽

(1) 碘-125 生产线

碘-125 生产线在屏蔽工作箱内通过淋洗工艺得到产品 Na^{125}I 水溶液，共建造 5 个屏蔽工作箱，1-4#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢（7.8g/cm³），窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢；1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同，为 100mm 碳钢；5#箱体前板为 75mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 50mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 75mm 的碳钢。场所辐照水平满足要求。

(2) 碳-14 生产线

碳-14 生产线在吸收箱中将 NaOH 吸收液用 BaCl₂ 溶液沉淀，得到产品碳^[14C]酸钡沉淀，由 2 个屏蔽工作箱和 1 个热室组成，1#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 80mm 碳钢（7.8g/cm³），窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢；2#箱体前板为 30mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 20mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 30mm 的碳钢；1#热室前板为 1000mm（普混），后板、顶板、底板、侧板为 600mm（普混），窥视窗屏蔽相当于 1000mm 的普混。场所辐照水平满足要求。

(3) 磷-32 生产线

磷-32 生产线建造 5 个屏蔽工作箱，1-4#箱体前板为 150mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 100mm 碳钢（7.8g/cm³），窥视窗屏蔽相当于 150mm 的碳钢；1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同，为 150mm 碳钢；5#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢；场所辐照水平满足要求。

(4) Lu-177 生产线

Lu-177 生产线建造 6 个屏蔽工作箱和 2#热室，1-5#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢（7.8g/cm³），窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢；1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同，为 100mm 碳钢；6#箱体前板为 75mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 50mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 75mm 的碳钢；2#热室前板为 1000mm（普混），后板、顶板、底板、侧板为 600mm（普混），窥视窗屏蔽相当于 1000mm 的普混，场所辐照水平满足要求。

(5) Ra-223 生产线

²²³Ra 生产线建造 6 个屏蔽工作箱，1-5#箱体前板为 150mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 100mm 碳钢（7.8g/cm³），窥视窗屏蔽相当于 150mm 的碳钢；1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同，为 150mm 碳钢；6#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢；场所辐照水平满足要求。

(6) 钇-90 生产线

⁹⁰Y 生产线建造 5 个屏蔽工作箱，1-4#箱体前板为 150mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 100mm 碳钢（7.8g/cm³），窥视窗屏蔽相当于 150mm 的碳钢；1#箱

体靠前区的侧板与前板厚度相同，为 150mm 碳钢；5#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢。场所辐照水平满足要求。

(7) 钨铼发生器生产线

钨铼发生器生产线建造 5 个屏蔽工作箱和 3#热室，1-4#箱体前板为 250mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 150mm 碳钢（7.8g/cm³），窥视窗屏蔽相当于 250mm 的碳钢；1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同，为 250mm 碳钢；5#箱体前板为 200mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 100mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 200mm 的碳钢；3#热室前板为 1000mm（普混），后板、顶板、底板、侧板为 600mm（普混），窥视窗屏蔽相当于 1000mm 的普混。场所辐照水平满足要求。

(8)Ho-166 生产线

Ho-166 生产线建造 4 个屏蔽工作箱，1-4#箱体前板为 250mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 150mm 碳钢（7.8g/cm³），窥视窗屏蔽相当于 250mm 的碳钢；1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同，为 250mm 碳钢。场所辐照水平满足要求。

4.1.2.3 生产原料屏蔽

(1) 碘-125 生产线

碘-125 生产线生产原料入堆辐照后生成的碘-125 固体颗粒，原料比活度为 20 Ci/g，原料罐为 50mm 铅罐，生产原料通过厂内运输送到本项目中试楼碘-125 生产线，通过吊装大厅进入进料箱（I-1），原料暂存于进料箱（I-1）。参考 GBZ114-2006《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》的相关要求（距离容器外表面 1m 处的辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy/h）和 GB11806-2019《放射性物质安全运输规程》的相关要求（货包外表面上任一点的最高辐射水平不超过 2mSv/h），原料罐均满足标准要求。

(2) 碳-14 生产线

碳-14 生产线生产原料为入堆辐照后生成的碳-14 固体粉末，原料比活度为 10-15mCi/g，原料罐为 200mm 铅罐，生产原料通过厂内运输送到本项目中试楼碳-14 生产线，通过吊装大厅进入切割热室（RS1），原料暂存于切割热室 RS1。参考 GBZ114-2006《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》的相关要求（距离容器外表面 1m 处的辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy/h）和 GB1180

6-2019《放射性物质安全运输规程》的相关要求（货包外表面上任一点的最高辐射水平不超过 2mSv/h），原料罐均满足标准要求。

(3) 磷-32 生产线

磷-32 生产线包括有载体磷（P-32）酸钠溶液、无载体磷（P-32）酸钠溶液和磷（P-32）玻璃微球三种情况，其中有载体磷酸钠溶液的主要原料为入堆辐照后生成的 P-32 固体粉末，原料比活度为 8-10Ci/g，原料罐为 200mm 铅罐，生产原料通过厂内运输送到本项目中试楼磷-32 生产线，通过吊装大厅进入切割热室（RS 2），原料暂存于切割热室 RS2；无载体磷酸钠溶液的主要原料为入堆辐照后生成的 P-32 固体粉末，原料比活度为 4-5Ci/g，原料罐为 200mm 铅罐，生产原料通过厂内运输送到本项目中试楼磷-32 生产线，通过吊装大厅进入切割热室（RS2），原料暂存于切割热室 RS2；磷（P-32）玻璃微球的主要原料为入堆辐照后生成的磷玻璃微球固体颗粒，原料比活度为 0.5-1Ci/g，原料罐为 200mm 铅罐，生产原料通过厂内运输送到本项目中试楼磷-32 生产线，通过吊装大厅进入切割热室（RS 2），原料暂存于切割热室 RS2。参考 GBZ114-2006《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》的相关要求（距离容器外表面 1m 处的辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy/h）和 GB11806-2019《放射性物质安全运输规程》的相关要求（货包外表面上任一点的最高辐射水平不超过 2mSv/h），原料罐均满足标准要求。

(4) 镱-177 生产线

镱-177 生产线的生产原料为入堆辐照后生成的 Lu-177 固体粉末，原料比活度为 13-15Ci/g，原料罐为 200mm 铅罐，生产原料通过厂内运输送到本项目中试楼镱-177 生产线，通过吊装平台进入切割热室（RS2），原料暂存于切割热室 RS2。参考 GBZ114-2006《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》的相关要求（距离容器外表面 1m 处的辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy/h）和 GB 11806-2019《放射性物质安全运输规程》的相关要求（货包外表面上任一点的最高辐射水平不超过 2mSv/h），原料罐均满足标准要求。

(5) 镭-223 生产线

镭-223 生产线的生产原料为入堆辐照后生成的镭-226、Ac-227、Ra-223 固体粉末，原料比活度分别为 1Ci/g、0.4Ci/g、0.35Ci/g，原料罐为 200mm 铅罐，生产原料通过厂内运输送到本项目中试楼镭-223 生产线，通过吊装平台进入切割热室

(RS3)，原料暂存于切割热室 RS3。参考 GBZ114-2006《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》的相关要求（距离容器外表面 1m 处的辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy/h）和 GB11806-2019《放射性物质安全运输规程》的相关要求（货包外表面上任一点的最高辐射水平不超过 2mSv/h），原料罐均满足标准要求。

(6) 钇-90 生产线

钇-90 生产线的主要原料为硝酸锶[^{90}Sr]溶液，存放在放射性原料间，原料比活度为 20mCi/ml，原料罐为 50mm 铅罐，原料通过放射性原料间直接进入进料箱 Y-1，生产原料暂存于进料箱。参考 GBZ114-2006《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》的相关要求（距离容器外表面 1m 处的辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy/h）和 GB11806-2019《放射性物质安全运输规程》的相关要求（货包外表面上任一点的最高辐射水平不超过 2mSv/h），原料罐均满足标准要求。

(7) 钨铼发生器生产线

钨铼发生器生产线的主要原料为入堆辐照后生成的钨铼固体颗粒，原料比活度为 0.2-0.3Ci/g，原料罐为 200mm 铅罐，生产原料通过厂内运输送到本项目中试楼钨铼发生器生产线，通过吊装平台进入切割热室（RS3），原料暂存于切割热室 RS3。参考 GBZ114-2006《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》的相关要求（距离容器外表面 1m 处的辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy/h）和 GB11806-2019《放射性物质安全运输规程》的相关要求（货包外表面上任一点的最高辐射水平不超过 2mSv/h），原料罐均满足标准要求。

(8) 钷-166 生产线

钷-166 生产线的主要原料为入堆辐照后生成的 Ho-166 固体颗粒，原料比活度为 1Ci/g，原料罐为 200mm 铅罐，生产原料通过厂内运输送到本项目中试楼钷-166 生产线，通过吊装平台进入切割热室（RS3），原料暂存于切割热室 RS3。参考 GBZ114-2006《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》的相关要求（距离容器外表面 1m 处的辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy/h）和 GB11806-2019《放射性物质安全运输规程》的相关要求（货包外表面上任一点的最高辐射水平不超过 2mSv/h），原料罐均满足标准要求。

4.1.2.4 产品包装屏蔽设计

(1) 碘-125 生产线

碘-125 生产线生产 Na^{125}I 水溶液，产品活度浓度为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq/ml}$ ，每批次生产 50 瓶，每瓶 10ml，得到产品 Na^{125}I 水溶液约 500mL。产品用西林瓶（10mL/瓶）分装，再装入铅罐，铅罐厚度为 10mm。参考 GBZ114-2006《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》的相关要求（距离容器外表面 1m 处的辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy/h ）和 GB11806-2019《放射性物质安全运输规程》的相关要求（货包外表面上任一点的最高辐射水平不超过 2mSv/h ），产品罐均满足标准要求。

(2) 碳-14 生产线

碳-14 生产线的产品碳 ^{14}C 酸钡沉淀，产品活度浓度为 $9.25 \times 10^9 \text{Bq/g}$ 。每批次生产 8g，根据需求进行分装，不大于 8g/瓶（10mL 西林瓶）。产品用西林瓶（10 mL/瓶）分装，再装入铅罐，铅罐厚度为 2mm。参考 GBZ114-2006《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》的相关要求（距离容器外表面 1m 处的辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy/h ）和 GB11806-2019《放射性物质安全运输规程》的相关要求（货包外表面上任一点的最高辐射水平不超过 2mSv/h ），产品罐均满足标准要求。

(3) 磷-32 生产线

磷-32 生产线包括有载体磷（P-32）酸钠溶液、无载体磷（P-32）酸钠溶液和磷（P-32）玻璃微球三种情况。参考 GBZ114-2006《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》的相关要求（距离容器外表面 1m 处的辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy/h ）和 GB11806-2019《放射性物质安全运输规程》的相关要求（货包外表面上任一点的最高辐射水平不超过 2mSv/h ），产品罐均满足标准要求。

① 有载体磷 ^{32}P 酸钠溶液

产品有载体磷 ^{32}P 酸钠水溶液，产品活度浓度为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq/ml}$ 。产品每批次生产 10-30 瓶，共有两种包装规格 10ml/瓶和 30mL/瓶，包装材料为西林瓶+铅罐（带 5mm 聚四氟乙烯内衬），铅罐厚度为 20mm。

② 无载体磷 ^{32}P 酸钠溶液

产品无载体磷 ^{32}P 酸钠水溶液，产品活度浓度为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq/ml}$ 。每批次生产

10-30 瓶，共有两种包装规格 10ml/瓶和 30mL/瓶，包装材料为西林瓶+铅罐（带 5mm 聚四氟乙烯内衬），铅罐厚度为 20mm。

③ 磷^[32P]玻璃微球

产品活度为 $7.4 \times 10^{12} \text{Bq/kg}$ ，每批次生产 10-30 瓶，共有两种包装规格 5g/瓶和 15g/瓶，包装材料为西林瓶+铅罐（带 5mm 聚四氟乙烯内衬），铅罐厚度为 20mm。

(4) 镱-177 生产线

产品氯化镱 ($^{177}\text{LuCl}_2$) 水溶液，产品活度浓度为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq/mL}$ 。在屏蔽工作箱，根据用户需求用分装装置对产品进行分装到产品玻璃瓶中。每批次生产 5 瓶，产品包装规格为 10ml/瓶，包装材料为西林瓶+铅罐，铅罐厚度为 20mm。参考 GBZ114-2006《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》的相关要求（距离容器外表面 1m 处的辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy/h ）和 GB 11806-2019《放射性物质安全运输规程》的相关要求（货包外表面上任一点的最高辐射水平不超过 2mSv/h ），产品罐均满足标准要求。

(5) 镭-223 生产线

镭-223 生产线的产品氯化镭 ($^{223}\text{RaCl}_2$) 水溶液，产品活度浓度为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq/ml}$ 。在屏蔽工作箱，根据用户需求用分装装置对产品进行分装到产品玻璃瓶中。每批次生产 100 瓶，产品包装规格为 5ml/瓶，包装材料为西林瓶+铅罐，铅罐厚度为 10mm。参考 GBZ114-2006《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》的相关要求（距离容器外表面 1m 处的辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy/h ）和 GB11806-2019《放射性物质安全运输规程》的相关要求（货包外表面上任一点的最高辐射水平不超过 2mSv/h ），产品罐均满足标准要求。

(6) 钇-90 生产线

产品为 $^{90}\text{YCl}_3$ 溶液，产品活度浓度为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq/ml}$ 。在屏蔽工作箱，根据用户需求用分装装置对产品进行分装到产品玻璃瓶中。每批次生产 10 瓶，产品包装规格为 10ml/瓶，包装材料为西林瓶+铅罐（带 5mm 聚四氟乙烯内衬），铅罐厚度为 20mm。参考 GBZ114-2006《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》的相关要求（距离容器外表面 1m 处的辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy/h ）和 GB11806-2019《放射性物质安全运输规程》的相关要求（货包外表面上任一点的最高辐射水平不超过 2mSv/h ），产品罐均满足标准要求。

(7) 钨铼发生器生产线

产品 ^{188}W - ^{188}Re 发生器，产品活度浓度为 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq/条}$ ，通过淋洗得到产品 $^{188}\text{ReCl}_2$ 溶液，产品活度浓度为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq/ml}$ 。在屏蔽工作箱，根据用户需求用分装装置对产品进行分装到产品玻璃瓶中。产品 ^{188}W - ^{188}Re 发生器包装材料为铅罐，铅罐厚度为 30mm；产品 $^{188}\text{ReCl}_2$ 溶液，每批次生产 10 瓶，包装材料为西林瓶+铅罐，铅罐厚度为 20mm。参考 GBZ114-2006《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》的相关要求（距离容器外表面 1m 处的辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy/h ）和 GB11806-2019《放射性物质安全运输规程》的相关要求（货包外表面上任一点的最高辐射水平不超过 2mSv/h ），产品罐均满足标准要求。

(8) 钷-166 生产线

产品钷 [^{166}Ho] 微球，产品活度浓度为 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq/g}$ 。在屏蔽工作箱，根据用户需求用分装装置对产品进行分装到产品玻璃瓶中。每批次生产 1 瓶，产品包装规格为 4g/瓶，包装材料为西林瓶+铅罐（带 15mm 聚四氟乙烯内衬），铅罐厚度为 45mm。参考 GBZ114-2006《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》的相关要求（距离容器外表面 1m 处的辐射的空气比释动能率不得超过 0.2mGy/h ）和 GB11806-2019《放射性物质安全运输规程》的相关要求（货包外表面上任一点的最高辐射水平不超过 2mSv/h ），产品罐均满足标准要求。

4.2 辐射安全与防护措施

4.2.1 建筑物屏蔽

表 4.2-1 场所辐射防护设计情况

序号	名称	墙体、屋顶材料/厚度
1	中试楼	240 厚非烧结实心砖墙 120/150 厚现浇钢筋混凝土楼板
2	研发楼	外墙 250 厚加气混凝土砌块，内墙 200 厚加气混凝土砌块 120 厚现浇钢筋混凝土楼板
3	包材试剂库房	外墙 250 厚加气混凝土砌块，内墙 200 厚加气混凝土砌块 120 厚现浇钢筋混凝土楼板
4	门卫以及大门	外墙 250 厚加气混凝土砌块，内墙 200 厚加气混凝土砌块 120 厚现浇钢筋混凝土楼板

4.2.2 生产装置屏蔽

本项目的热室和屏蔽生产箱为放射性核素提供了屏蔽防护和包容保护。中试楼碘-125 生产线有 5 个屏蔽工作箱，碳-14 生产线有 2 个屏蔽工作箱和 1 个热室，磷-32 生产线有 5 个屏蔽工作箱，镭-177 生产线有 6 个屏蔽工作箱和 1 个热室，镭-223 生产线有 6 个屏蔽工作箱， ^{90}Y 生产线有 5 个屏蔽工作箱， ^{188}W - ^{188}Re 发生器生产线有 5 个屏蔽工作箱和 1 个热室，钷-166 生产线有 4 个屏蔽工作箱，其他放射性实验室共有 6 套通风柜，靶件制备间设置 40mm 的铅玻璃屏蔽。其具体的功能、参数及设计能力见表 4.2-2。

表 4.2-2 各生产场所屏蔽工作箱/热室详情

生产场所	数量	编号	功能	屏蔽材料及厚度	密封性 (小时泄漏率) /h	备注(箱体尺寸 mm)
中试楼						
碘-125 生产线	6 套	I-1	吸附器转运	1-4#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢 (7.8g/cm ³)，窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢；1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同，为 100mm 碳钢；5#箱体前板为 75mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 50mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 75mm 的碳钢。	2 级 ≤ 2.5×10 ⁻³ 1 级 ≤ 5×10 ⁻⁴	1600*1000*1800
		I-2	淋洗、脱附			2200*1200*1600
		I-3	纯化			2200*1200*1600
		I-4	产品分装			2200*1200*1600
		I-5	装入铅罐			1500*1700*1600
碳-14 生产线	3 套	C-1	内靶管切割	1#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 80mm 碳钢 (7.8g/cm ³)，窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢；2#箱体前板为 30mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 20mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 30mm 的碳钢；1#热室前板为 1000mm (普混)，后板、顶板、底板、侧板为 600mm (普混)，窥视窗屏蔽相当于 1000mm 的普混；	2 级 ≤ 2.5×10 ⁻³ 3 级 ≤ 10 ⁻²	2200*1200*1600
		C-2	碳-14 提取和吸收			3000*1600*2000
		RS 1	靶件切割			3000*2500*2500
磷-32 生产线	5 套	P-1	靶管转运	1-4#箱体前板为 150mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 100mm 碳钢 (7.8g/cm ³)，窥视窗屏蔽相当于 150mm 的碳钢；1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同，为 150mm 碳钢；5#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳	2 级 ≤ 2.5×10 ⁻³	1600*1000*1800
		P-2	靶管清洗、破碎			2200*1200*1600
		P-3	靶料清洗			2200*1200*1600
		P-4	产品分装			2200*1200*1600

		P-5	装入铅罐	钢。		1500*1700*1600
镭-177 7 生产线	7 套	Lu-1	靶件转运	1-5#箱体前板为 100mm 碳钢, 后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢 (7.8g/cm ³), 窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢; 1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同, 为 100mm 碳钢; 6#箱体前板为 75mm 碳钢, 后板、顶板、底板、侧板为 50mm 碳钢, 窥视窗屏蔽相当于 75mm 的碳钢; 2#热室前板为 1000mm (普混), 后板、顶板、底板、侧板为 600mm (普混), 窥视窗屏蔽相当于 1000mm 的普混。	2 级 ≤ 2.5×10 ⁻³	1200*1200*1600
		Lu-2	靶件清洗、破碎、溶解			2200*1200*1600
		Lu-3	分离			2200*1200*1600
		Lu-4	纯化、回收			2200*1200*1600
		Lu-5	产品分装			2200*1200*1600
		Lu-6	装入铅罐			1500*1700*1600
		RS-2	靶件切割			2500*2500*2500
镭-223 3 生产线	6 套	Ra-1	靶管转运	1-5#箱体前板为 150mm 碳钢, 后板、顶板、底板、侧板为 100mm 碳钢 (7.8g/cm ³), 窥视窗屏蔽相当于 150mm 的碳钢; 1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同, 为 150mm 碳钢; 6#箱体前板为 100mm 碳钢, 后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢, 窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢;	1 级 ≤ 5×10 ⁻⁴ 2 级 ≤ 2.5×10 ⁻³	1600*1000*1800
		Ra-2	内靶管切割			2200*1200*1600
		Ra-3	/			2200*1200*1600
		Ra-4	靶料溶解、料液分离			2200*1200*1600
		Ra-5	发生器组装、淋洗			2200*1200*1600
		Ra-6	装入铅罐			1500*1700*1600
90Y 生产线	5 套	Y-1	原料转运、取出	1-4#箱体前板为 150mm 碳钢, 后板、顶板、底板、侧板为 100mm 碳钢 (7.8g/cm ³), 窥视窗屏蔽相当于 150mm 的碳钢; 1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同, 为 150mm 碳钢; 5#箱体前板为 100mm 碳钢, 后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢, 窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢。	2 级 ≤ 2.5×10 ⁻³	1600*1000*1800
		Y-2	预处理			2200*1200*1600
		Y-3	发生器组装、淋洗			2200*1200*1600
		Y-4	分装			2200*1200*1600
		Y-5	装入铅罐			1500*1700*1600
188W- 188Re 发生器 生产线	6 套	Re-1	靶管转运	1-4#箱体前板为 250mm 碳钢, 后板、顶板、底板、侧板为 150mm 碳钢 (7.8g/cm ³), 窥视窗屏蔽相当于 250mm 的碳钢; 1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同, 为 250mm 碳钢; 5#箱体前板为 200mm 碳钢, 后板、顶	2 级 ≤ 2.5×10 ⁻³	1200*1200*1600
		Re-2	靶管清洗、破碎、溶解			2200*1200*1600
		Re-3	凝胶制备、干			2200*1200*1600

			燥、筛分	板、底板、侧板为 100mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 200mm 的碳钢；3#热室前板为 1000mm（普混），后板、顶板、底板、侧板为 600mm（普混），窥视窗屏蔽相当于 1000mm 的普混。		
		Re-4	分装、预处理			2200*1200*1600
		Re-5	装入铅罐			1500*1700*1600
		RS3	靶件切割			3000*2500*2500
软-166 生产线	4 套	Ho-1	内靶管转运	1-4#箱体前板为 250mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 150mm 碳钢（7.8g/cm ³ ），窥视窗屏蔽相当于 250mm 的碳钢；1#箱体靠前区的侧板与前板厚度相同，为 250mm 碳钢。	2 级 ≤ 2.5×10 ⁻³	1600*1000*1800
		Ho-2	开靶、微球清洗			2200*1200*1600
		Ho-3	产品分装			2200*1200*1600
		Ho-4	装入铅罐			1500*1700*1600
其他放射性实验室	6 套	/	产品质检分析	一层制样间、样品间；二层放化实验室（1-3）和标记实验室共设 6 套屏蔽通风柜，屏蔽材料为 20mm 碳钢（或相同屏蔽能力铅玻璃）。	/	2200*900*1500 1500*900*1500
靶件制备间	1 套	/	靶件制备	屏蔽材料为 40mm 铅玻璃。	/	宽 400*高 1000-1600

4.2.3 工作场所与放射性物质的实体保卫

为满足生产需要并加强安全生产措施，本项目厂区的实体保卫按照《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA1002-2012）的规定进行设计。本项目采取以下安全保卫措施：

(1) 人力防范

① 值守人员认真履行岗位职责，对进出存放场所人员进行检查、制止非法侵入，严格执行交接班制度，并有记录。

② 保卫值班室 24h 有专人值守，值守人员每两小时对生产场所周围进行一次巡查，巡查时携带自卫器具。

③ 设置治安保卫机构或者配备专人，对治安防范措施开展日常检查，及时发现、整治治安隐患，并保存检查、整改记录。

(2) 实体防范

① 中试楼和研发楼大门使用防盗安全门。

② 生产场所设置明显的电离辐射警告标志。

③保卫值班室、监控中心也设置防盗安全门，上述场所的窗口设置防盗栅。

(3)技术防范

①厂区周界及中试楼出入口设置入侵报警装置和视频监控装置，监视及回放图像能清晰显示人员的体貌特征及活动状况，上述厂房出入口设置出入口控制装置；

②厂区出入口设置视频监控装置，监视及回放图像能清楚辨别进出人员的体貌特征和进出车辆的车型及车牌号；

③厂区内主要通道设置视频监控装置，监视及回放图像能清晰显示人员的活动状况；

④装卸区域设置视频监控装置，监视及回放图像应能清晰显示人员及车辆的状况；

⑤巡查部位和区域设置电子巡查装置；

⑥监控中心独立设置，面积不小于 20m²。

4.2.4 操作过程中的辐射安全与防护措施

4.2.4.1 非密封放射性物质场所采取的措施

本项目在操作放射性物质过程中，主要采取隔离、屏蔽以及合理的工作场所气流组织等辐射安全与防护措施。

4.2.4.1.1 隔离与屏蔽措施

①生产原料采用专用铅罐转运，铅罐的屏蔽设计可使在额定装载量情况下，铅罐外面的辐射水平满足 GBZ114-2006《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》的相关要求。

②非密封放射性物质的操作均在密闭的屏蔽工作箱内进行。屏蔽工作箱均设计有机械手和（或）手套操作孔，通过窥视窗用机械手或铅手套操作放射性物质。屏蔽工作箱的屏蔽设计（包括窥视窗）可使操作人员所在的操作前区的辐射水平满足辐射防护设计要求。

③生产的产品采用专用铅罐包装，产品铅罐的屏蔽设计在额定装载量情况下，铅罐外面的辐射水平满足 GB11806-2019《放射性物质安全运输规程》的相关要求。

4.2.4.1.2 气流组织

项目放射性区域内通风系统根据建筑物的辐射防护分区进行设计，合理组织气流，保证气流方向从“净区”到“脏区”、从低污染区流向高污染区，各不同分区之间维持一定负压，保持监督区相对负压不小于 10~20Pa，控制区相对负压不小于 30~50Pa，控制III区屏蔽工作箱负压 100~150 Pa，热室负压 200~300 Pa，放射性区域排风经过滤处理后经排风塔高空排放。

放射性洁净区总的排风量为 74380m³/h，其他放射性区域排风量为 54140 m³/h，放射性区域总的排风量为 128520m³/h。根据相关规范要求，排风塔出口风速控制在 8~16m/s，考虑生产线的使用是逐渐投入的情况和为后期该区域新建设施留有余量，为保证排风的扩散，取出口风速 13 m/s，计算排风塔出口直径为 1.87m，考虑到该工程排风系统同时运行因素，取排风塔出口直径为 1.7 m 设计，计算出口风速为 15.7m/s。在排风系统 60%运行时，风速为 9.4 m/s，满足要求。

4.2.5 其他辐射安全与防护措施

(1) 非密封放射性物质工作场所的出入控制措施

本项目非密封放射性物质生产线均设置有专门的卫生通过间，其中包括更衣间和淋浴室并配置有表面剂量检测系统。工作人员退出的过程中，需要使用表面沾污检测系统对全身的辐射剂量水平进行检测，无超标的情况直接退出卫生通过间；若有超标的情况，确定超标的部位、辐射水平，及时在淋浴间进行淋浴、清洗、去污，至辐射剂量水平达标，衣物作为放射性固体废物进行收集与处置。

同时，为限制无关人员进入辐射工作场所，在人流出入口设置磁卡门禁系统，防止非授权人员进入，并对进入厂区的授权人员进行统计和管理。

(2) 台账管理

放射性产品原料及放射性物质产品的使用、销售和去向都必须有完整记录并长期保存，并由专人进行管理，并定期对单位内部所有的放射性物质进行核查，确保“物-账”统一。

(3)“六防”措施

a、防火：在生产场所适当位置设置灭火器，灭火器采用特种灭火器，不使用带有腐蚀性的灭火器；保持消防通道的畅通。

b、防盗：本项目放射源物质安全由整个厂区实物保护系统负责，可有效防止放射性物质被盗。

c、防抢：由上述措施可见，项目采取的各项安全措施可有效的防止放射性物质被抢。

d、防破坏：厂区安排有专职保安，昼夜值班，可防止放射性物质被破坏。

e、防水：项目旁边的跃进渠历史最高水位为 428.2m，项目厂区修建的基准高度为 431.8m，能保证所使用的放射性物质安全，不被洪水淹没。

f、防射线泄漏：项目采取了安全可靠的辐射屏蔽措施，可有效防止项目放射性物质产生射线的泄漏。

(4) 现场监测

本项目工作场所设计了各项屏蔽设施，同时建设单位还制定了严密的监测计划，定期或不定期对整个工作场所进行辐射环境监测。

4.2.6 辐射安全与防护措施要求对照分析

本项目放射性工作场所属于甲级非密封放射性物质操作场所，根据《环保部辐射安全与防护监督检查技术程序的相关要求》和《关于印发〈四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）〉的通知》（川环办发[2016]1400 号）对场所的相关规定，并参考《 γ 辐照装置设计建造和使用规范》（GB17568-2019）和《 γ 辐照装置的辐射防与安全规范》（GB10252-2009）以及《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA1002-2012）相关规定，建设单位需具备的辐射防护设施、设备及措施情况见表 4.2-4。

表 4.2-4 辐射安全防护设施汇总对照分析表

序号	规定的防护措施	情况	备注
甲级非密封放射性物质操作场所			
1	场所分区布局具有相应措施/标识	设计中已具备	/
2	入口处电离辐射警示标识	设计中已具备	/
3	卫生通过间	设计中已具备	/
4	卫生通过间出口配备污染监测仪	设计中已具备	/
5	单独的放射性通风设施（流向、过滤）	设计中已具备	/
6	工作箱（箱内保持合适负压）	设计中已具备	/

7		屏蔽防护设施	拟落实	/
8		易去污的工作台面和防污染覆盖材料	拟落实	/
9		移动放射性液体时容器不易破损或有不易破裂的套	拟落实	/
10		放射性废水暂存设施	设计中已具备	/
11		放射性固废暂存设施（废物在专用贮存容器内分类贮存,容器必须标有核素名称、物理形态及存放日期等）	设计中已具备	/
12		放射性同位素暂存库	设计中已具备	/

整个厂区具备

1	安保措施	防盗门、防盗栅	设计中已具备	/
2		入侵报警装置和视频监控装置	设计中已具备	/
3		电子巡查装置	设计中已具备	
4		监控中心	设计中已具备	
5		安保设施（防火、防盗、防抢、防水、防破坏、防泄漏）	设计中已具备	/
6	监测设备	固定式剂量报警仪	拟落实	
7		便携式 γ 辐射监测仪	拟落实	/
8		便携式表面沾污仪	拟落实	/
9		个人剂量计	拟落实	/
10		个人剂量报警仪	拟落实	/
11		移动式气溶胶取样监测设备	拟落实	/
12		移动式气态流出物取样监测设备	拟落实	/
13	移动式液态流出物取样监测设备	拟落实	/	
14	防护器材	联合工作服	拟落实	/
15		个人防护用品（防护铅服、铅眼镜、铅手套、铅围脖等）	拟落实	铅服5套、铅眼镜5-6个
16		去污用品和试剂	拟落实	
17		必备的警示标志和标识线	拟落实	/
18	应急物资	灭火器材	拟落实	/
19		应急处理工具（长杆夹具）（放射性同位素应急包装容器、长柄夹具等）	落实	

4.2.7 生产场所的防渗处理措施

生产场所的防渗措施包括生产设备的防渗措施和工作场所地面墙面的防渗措施。

(1) 生产设备防渗措施

项目操作放射性核素的屏蔽工作箱内为不锈钢板，与四壁夹角之间采用无缝

焊接，确保含放射性核素的废液不会泄漏；盛装项目产生的放射性废液采用专用的废液罐，废液罐为不锈钢或钛等材质，能确保做到辐射防护的同时，又防止废液对罐体的腐蚀，最大程度的预防放射性废液的泄漏。

(2) 场所分区防渗措施

将新建建筑及设施按单元所处的位置划分为三类地下水污染防治区域：

重点防渗区：主要是地下一层放射性废液收集间和其他废液收集间，采用等效黏土防渗层 $M_b \geq 6.0\text{m}$ ， $K \leq 1 \times 10^{-7}\text{cm/s}$ 的措施；

一般防渗区：包括所有生产线、放射性实验室、各个放射性核素操作场所，采用等效黏土防渗层 $M_b \geq 1.5\text{m}$ ， $K \leq 1 \times 10^{-7}\text{cm/s}$ 的措施；

简单防渗区：包括除上述防渗区外的项目范围，采用一般地面硬化。项目生产线所在的房间墙面为彩钢板装饰，接缝用玻璃胶密封，地面铺设 2.5mm 厚度的塑胶地板，地板踢脚线不低于 15cm。

4.3 三废的治理

4.3.1 放射性污染物治理措施

4.3.1.1 放射性废气处理措施

本项目放射性区域内通风系统根据建筑物的辐射防护分区进行设计，合理组织气流，保证气流方向从“净区”到“脏区”、从低污染区流向高污染区，各不同分区之间维持一定负压，放射性区域排风经过滤处理后经排风塔高空排放。本项目共设置 29 套排风系统，其中放射性洁净区域设有 27 套排风系统，分别为 8 条生产线、放射性阳性接种室和无菌室、废液收集间、放化分析实验室以及二层放化实验室、标记实验室、放射性原料间和靶件制备间；中试楼非放射性排风区域设置 2 套排风系统，分别为非放射性质检区以及冷柱制备间和负压瓶及生理盐水制备间等。其中放射性洁净区总的排风量为 $74380\text{m}^3/\text{h}$ ，其他放射性区域排风量为 $54140\text{m}^3/\text{h}$ ，放射性区域总的排风量为 $128520\text{m}^3/\text{h}$ ，非放射性区域总排风量为 $7860\text{m}^3/\text{h}$ 。

(1) 中试楼废气处理措施

①各生产线的屏蔽工作箱通排风

A.I-125 生产线

本项目 I-125 生产线设有 2 套送排风系统（P-18、P-19）。根据辐射防护分

区，屏蔽工作箱为控制III区，设一个排风系统 P-18，换气次数为 25 次/h，总风量 535m³/h，排风经就地一级高效及机房的预过滤、前置高效粒子过滤器、碘吸附器和后置高效粒子过滤器过滤后排入排风塔高空排放。

I-125 生产线操作前区、进出口气闸、试剂间、洁具间为控制 I 区，操作后区为控制 II 区，淋浴为监督区设排风系统 P-19，前区换气次数为 15 次/h，后区换气次数为 5 次/h，总风量 5790m³/h。排风经设在机房的预过滤和高效粒子过滤器过滤后排入排风塔高空排放。进口气闸相对操作间和穿洁净衣均为正压差，穿洁净衣相对更鞋更衣洗手为正压差，更鞋更衣洗手相对于室外为正压差。

B. C-14 生产线

本项目 C-14 生产线设有 3 套送排风系统（P-15、P-16、P-17）。根据辐射防护分区，热室辐射防护分区为控制III区，设一个排风系统 P-15，排风换气次数取 30 次/h，总风量 470m³/h，进风由后区经管式高效过滤净化进入，排风经就地一级高效粒子过滤及机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放。

屏蔽工作箱为控制III区，设一个排风系统 P-16，换气次数为 25 次/h，总风量 470m³/h，排风经就地一级高效及机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放。

C-14 生产线后区为控制 II 区，操作区、进出口气闸、试剂间、洁具间、检测和后区缓冲间辐射防护分区为控制 I 区，穿洁净衣和淋浴为监督区，设排风系统 P-17，除淋浴外，换气次数为 15 次/h，总风量 7010m³/h，排风经设在机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放。

C. P-32 生产线

本项目 P-32 生产线设有 2 套送排风系统（P-4、P-5）。根据辐射防护分区，屏蔽工作箱辐射防护分区为控制 II 区，设一个排风系统 P-4，换气次数取 25 次/h。总风量为 520m³/h，排风经就地一级高效及机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放。

磷^[32P]生产线玻璃球操作区、后区、出口气闸、洁具间、试剂间、检测辐射防护分区为控制 I 区，更鞋更衣洗和淋浴为监督区，设排风系统 P-5，操作前区换气次数为 25 次/h，操作后区换气次数为 5 次/h，排风经设在机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放。

进口气闸相对操作间和穿洁净衣均为正压差，穿洁净衣相对更鞋更衣洗手为

正压差，更鞋脱衣洗手相对于室外为正压差；出口气闸相对操作区和检测保持正压差。

D.Lu-177 生产线

本项目 Lu-177 生产线设有 3 套送排风系统（P-1、P-2、P-3）。根据辐射防护分区，热室辐射防护分区为控制 III 区，设一个排风系统 P-1，换气次数取 30 次/h，总风量为 470m³/h，进风由后区经管式高效过滤净化进入，排风经就地一级高效粒子过滤及机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放。

屏蔽工作箱辐射防护分区为控制 III 区，设一个排风系统 P-2，换气次数取 20 次/h，总风量为 610m³/h，排风经就地一级高效及机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放。

氯化镭 [¹⁷⁷Lu] 溶液生产线操作区、后区、出口气闸、检测辐射防护分区为控制 I 区，设排风系统 P-3，操作前区换气次数取 25 次/h，操作后区换气次数为 5 次/h，总风量为 10620m³/h，排风经设在排风机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放。

试剂间、洁具间和淋浴为监督区，因风量较小，排风排入 P-3 排风系统。

进口气闸相对操作间和穿洁净衣均为正压差，穿洁净衣相对更鞋脱衣洗手为正压差，更鞋脱衣洗手相对于室外为正压差；出口气闸相对操作区和检测保持正压差。

E.Ra-223 生产线

本项目 Ra-223 生产线设有 2 套送排风系统（P-11、P-12）。根据辐射防护分区，屏蔽工作箱辐射防护分区为控制 III 区，设一个排风系统 P-11，换气次数为 25 次/h，总风量为 650m³/h，排风经就地一级高效及机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放。

[²²³Ra] 生产线后区为控制 II 区，操作区、进出口气闸、试剂间、洁具间检测辐射防护分区为控制 I 区，穿洁净衣、更鞋脱衣洗手和淋浴为监督区，设排风系统 P-12，操作前区换气次数取 25 次/h，操作后区换气次数为 5 次/h，总风量为 7630m³/h，排风经设在机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放。

进口气闸相对操作间和穿洁净衣均为正压差，穿洁净衣相对更鞋脱衣洗手为正压差，更鞋脱衣洗手相对于室外为正压差。

F. Y-90 生产线

本项目 Y-90 生产线设有 2 套送排风系统 (P-13、P-14)。根据辐射防护分区,屏蔽工作箱辐射防护分区为控制 III 区,设一个排风系统 P-13,换气次数为 25 次/h,总风量为 $515\text{m}^3/\text{h}$,排风经就地一级高效及机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放。

[^{90}Y] 生产线后区控制 II 区,操作区、进出口气闸、试剂间、洁具间、检测辐射防护分区为控制 I 区,更衣、淋浴等为监督区,设排风系统 P-14,操作前区换气次数取 25 次/h,操作后区换气次数为 5 次/h,总风量为 $8620\text{m}^3/\text{h}$,排风经设在机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放。

进口气闸相对操作间和穿洁净衣均为正压差,穿洁净衣相对更鞋脱衣洗手为正压差,更鞋脱衣洗手相对于室外为正压差。

G. ^{188}W - ^{188}Re 发生器生产线

本项目 ^{188}W - ^{188}Re 生产线设有 3 套送排风系统 (P-8、P-9、P-10)。根据辐射防护分区,热室辐射防护分区为控制 III 区,设一个排风系统 P-8,换气次数取 30 次/h,总风量为 $560\text{m}^3/\text{h}$,进风由后区经管式高效过滤净化进入,排风经就地一级高效粒子过滤及机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放。

屏蔽工作箱辐射防护分区为控制 III 区,设一个排风系统 P-9,换气次数取 25 次/h,换气次数为 25 次/h,总风量为 $500\text{m}^3/\text{h}$,排风经就地一级高效及机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放。

^{188}W - ^{188}Re 发生器生产线后区为控制 II 区,操作区、出口气闸、试剂间、洁具间辐射防护分区为控制 I 区,设排风系统 P-10,操作前区换气次数取 25 次/h,操作后区换气次数为 5 次/h,总风量为 $10130\text{m}^3/\text{h}$,排风经设在排风机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放。

检测和淋浴为监督区,因风量较小,排风排入 P-10 排风系统。

进口气闸相对操作间和穿洁净衣均为正压差,穿洁净衣相对更鞋脱衣洗手为正压差,更鞋脱衣洗手相对于室外为正压差。

H. Ho-166 生产线

本项目 ^{188}W - ^{188}Re 生产线设有 2 套送排风系统 (P-6、P-7)。根据辐射防护分区,屏蔽工作箱辐射防护分区为控制 III 区,设一个排风系统 P-6,排风换气次数取 25 次/h,总风量为 $390\text{m}^3/\text{h}$,排风经就地一级高效及机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放。

钷^[166Ho]微球生产线操作区、后区、出口气闸、检测辐射防护分区为控制 I 区，检测和淋浴为监督区，设排风系统 P-7，操作前区换气次数取 25 次/h，操作后区换气次数为 5 次/h，总风量为 8180m³/h，排风经设在机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放。

进口气闸相对操作间和穿洁净衣均为正压差，穿洁净衣相对更鞋更衣洗手为正压差，更鞋更衣洗手相对于室外为正压差。

③放射性药品质检区

放射性无菌室、阳性接种室、缓冲间辐射防护分区为控制 I 区，设排风系统 P-20，排风换气次数取 25 次/h，总风量为 4140m³/h，排风经设在机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放。

④非放射性质检区

阳性接种室设排风系统 P-21，排风换气次数取 25 次/h，总风量为 1450m³/h，排风经中效过滤后排出室外。

⑤无菌服洗衣、冷柱制备、负压瓶及生理盐水制备区

洗衣间、负压瓶及生理盐水制备间、冷柱制备间生产和使用过程中产生余热、余湿，因此设排风系统 P-22，排风换气次数取 25 次/h，总风量为 6410m³/h，排风经中效过滤后排出室外。

⑥其他放射性场所

地下一层为废液收集间，废液收集间为控制 III 区，设一个排风系统 P₁-1，排风经就地一级高效及机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放，总风量为 1890m³/h，负压 100~150 Pa。

其他废液收集间风量为 2330m³/h，放射性原料间风量为 320 m³/h，这两个房间和气溶胶监测间等房间设排风系统 P₁-2，标记实验室、靶件制备间和放化实验室(1-3)设两套排风系统，其中标记实验室和靶件制备间以及放化实验室 1，设 P₁-2 和 P₁-3 两套排放系统，放化实验室 2、3 设 P₁-2 和 P₁-4 两套排风系统，排风系统 P₁-2，排风经设在机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放，总风量为 10760m³/h（包括部分放化实验室和标记实验室以及靶件制备间等场所的排气），负压 30~50Pa。排风系统 P₁-3，排风经设在机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放，总风量为 7200m³/h，负压 30~50Pa。排风系统 P₁-4，排风经设在机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放，总风量为 5400m³/h，负压 30~50

Pa。

一层放化分析实验室和样品间、制样间设三套排风系统 P₁₋₅、P₁₋₆、P₁₋₇，排风系统 P₁₋₅，排风经设在机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放，总风量为 90m³/h，负压 30~50Pa；排风系统 P₁₋₆，排风经设在机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放，总风量为 5400m³/h，负压 30~50Pa；排风系统 P₁₋₇，排风经设在机房的预过滤和高效粒子过滤后排入排风塔高空排放，总风量为 5500m³/h，负压 30~50Pa。

4.3.1.2 放射性废液处理措施

本项目的放射性废水主要来自各条同位素生产线、生产箱体去污、放化实验室、质检、留样观察及洗浴废水,依照四川省生态环境厅关于《夹江核技术产业园规划环境报告书》的审查意见（川环建函[2019]57号）进行处理。为实现废水自流收集，需将废水收集贮存系统的废水槽与各产生放射性废水的系统设备错层布置，大批量产生的废液通过管道送至位于地下一层的放射性液体收集间，少量废液通过装入屏蔽容器人工转移的方式送入放射性废液收集间的贮罐内，暂存、衰变，定期取样分析。

8条生产线放射性废液的年产生总量约为 8.12 m³，其中无载体 ¹⁷⁷Lu 生产线放射性废液年产生量约 5.56m³，平均活度约 8.66×10⁷Bq/L，设置 2 个有效容积为 6m³的贮槽，1 个用于待接收，另 1 个备用，每一年进行一次槽车转运，设置一个有效容积为 2m³的中间罐，转运时先将待转运废液泵送至中间罐中，再由中间罐泵送至槽车中，运输至新三废处理中心净化处理。其他 7 条生产线产生的放射性废液年产生量约 2.56m³，拟进行集中收集，平均活度约 7.5×10⁸Bq/L，设置 2 个有效容积为 5m³的贮槽，1 个用于待接收，另 1 个备用，每一年进行一次槽车转运，转运时先将待转运废液泵送至中间罐中，再由中间罐泵送至槽车中，运输至新三废处理中心净化处理，贮槽的材料为 06Cr18Ni11Ti，尺寸为∅2000×4000mm，壁厚 8mm，贮槽所在房间墙体进行屏蔽设计，屏蔽墙厚度约 600mm 普通混凝土。转运槽车采用铅屏蔽材料，屏蔽厚度约 30mm。

设置 2 个有效容积为 15m³的方形水泥贮槽用于洗消废液和淋浴废液的处理，1 个用于待接收，1 个用于待排放。设置 1 个有效容积为 10m³的备用贮槽，用于接收未达到排放标准的洗消废液。用于待排放的贮槽接收到一定量的废液后，停止

进料并充分搅拌，进行就地取样检测，当活度浓度小于 10Bq/L，达到排放标准时，排入厂房工业下水管道。经过检测未排放标准时，泵送至备用贮槽暂存，通过槽车运输至新三废处理中心净化处理，洗消废液贮槽的材料为 06Cr19Ni10，尺寸为 $\phi 3100 \times 4700$ mm，壁厚 8mm。

4.3.1.3 放射性固体废物处理措施

依据《放射性废物分类公告》，放射性废物按极短寿命放射性废物、极低水平放射性废物和低水平放射性废物对项目产生的放射性废物进行分类。

本项目不产生极短寿命放射性废物，产生的放射性废物分类收集后定期送往中国核动力研究设计院放射性废物库暂存。

放射性固体废物每年产量约 2.3 吨，放射性固体废物在临时收集点处理后，通过吊车运送至厂区内的固废暂存间，装入屏蔽箱中由专用运输车运送至一号点暂存库进行处理。屏蔽箱采用 EJ1076-VIII A 型屏蔽废物包装箱，外形尺寸 1573×1565×1331mm，壁厚 50mm，外形体积为 3.28 m³，内部尺寸 1350×1357×1045mm，容积为 1.91 m³。项目对产生的放射性废物实施全过程管理，设置专门的放固废间，对放射性废物的产生、暂存情况做好记录，建立台账，转移放射性固体废物时按照管理规定执行移交手续。

上述固体废物定期送中国核动力研究设计院放射性废物库暂存；处理放射性废气产生的废过滤器由厂家人员更换，直接送中国核动力研究设计院放射性废物库。通过以上分析，本项目放射性固体废物处理方式可行。

4.3.2 非放射性污染物治理措施

4.3.2.1 非放射性废气处理措施

本项目研发楼会产生非放废气，主要包括溶液配制、样品制备及处理过程中产生的挥发性试剂、实验室废气等，主要为酸碱废气，年产生量为 1.96×10^5 m³，其中含盐酸废气 1/4，含硝酸废气 1/4，含量均较低，满足排放标准，经高架烟囱排放至大气环境中。

4.3.2.2 非放射性废水处理措施

本工程生产及研发所产生的非放射性废水主要分为生活废水和生产废水。

(1) 生产废水

生产废水主要为研发楼非放射性实验生产废水，主要包括溶液配制、样品制

备及处理过程中产生的硝酸、硫酸、盐酸、双氧水、缓冲液、医用盐酸、氢氧化钠、去离子水等溶液；清洗玻璃仪器产生的去离子水；清洗仪器设备、人员用水等；其中硝酸、硫酸等化学试剂废液通过中和处理后排放至园区工业废水处理中心，其他废液直接排放，废水排放总量约为27L/d。非放射性废水污染因子为SS、COD等。

(2) 办公废水

生活废水主要为淋浴间和卫生间卫生器具排水，废水排放量约为 2.79m³/d，排入园区污水处理管网。

4.3.2.3 噪声治理措施

项目产生的噪声主要为通排风系统噪声，项目拟采用距离衰减和建筑物隔声的方式减弱通排风系统产生的噪声。

4.3.2.4 非放射性固体废物处理措施

本工程运行产生的非放射性固体废物主要为普通化学实验室产生的分离材料、玻璃器皿、聚四氟管、高效过滤器、劳保用品等，产生量约为265kg/a。此外还有产生的生活垃圾约20kg/a。

生活垃圾：生活垃圾集中收集至垃圾暂存设施后，由环卫部门统一收运处置。

试剂瓶、劳保用品：试剂瓶作为一般工业废物回收处理。

4.4 服务期满后的环境保护措施

本项目非密封放射性物质工作场所服务期满后，建设单位需根据相关要求实施场所退役。

4.4.1 设计阶段对退役实施的考虑

(1) 本项目中试楼为非密封放射性物质操作场所，对于易挥发和易撒漏的放射性物质应局限在较小的操作台或手套箱内操作，尽可能减少非密封放射性物质的扩散，并减小污染区域的面积；

(2) 非密封放射性物质工作场所地面铺设采用易拆性、易去污的材质，且墙角作圆角处理，防止撒漏放射性物质扩散到土壤中；

(3) 项目设置专用放射性固废暂存间和放射性废液罐，对放射性废物进行集中

暂存，处理，尽可能减少“三废”的产生量、处理量、排放量和存留量。

4.4.2 退役环保措施

(1) 建设单位需根据要求编制退役方案，并在正式开展前退役活动前编制退役环境影响评价，并取得环保主管部门许可后才能正式按照方案实施退役活动。

(2) 在退役过程中需先进行源项调查，对无法达到解控水平的设施、设备需先进行去污工作，对无法去污的需进行集中暂存收集衰变或交由资质单位进行回收处理。

(3) 实施退役工作人员应作为辐射工作人员进行管理，并做好个人防护。

(4) 去污完成后，对建筑物进行拆除。

(5) 退役工作完成后，退役单位应按照国家相关规定，委托有资质的监测单位，对去污后的场所进行终态验收监测。

第五章 环境影响分析

5.1 建设阶段对环境的影响

施工期排放的污染物主要包括大气污染物、水污染物、噪声及固体废物，这些污染物的排放只存在于建设施工阶段，因此其对环境的影响也仅限于建设施工阶段。

5.1.1 施工期废气及其环境影响

5.1.1.1 施工期废气来源

施工期产生的最主要的大气污染物是扬尘，此外还有少量的其它废气污染源，如施工机械设备燃料燃烧排放的废气、装饰装修使用的油漆、人造板、含某些有害物质（如苯系物、甲醛、酚等）的涂料等产生的有机废气。

(1) 扬尘

施工期扬尘来源主要包括：

- ①土石方开挖和回填过程产生的扬尘；
- ②各种建筑材料（如白灰、水泥、沙、石子、砖等）、建筑垃圾、挖填土方临时堆放过程中产生的扬尘；
- ③各种建筑物料、建筑垃圾、挖填土方运输和装卸过程中产生的扬尘。

(2) 施工机械设备燃料燃烧排放的废气

施工期间，使用机动车运输原材料、设备和建筑机械设备的运转，均会排放一定量的 CO、NO_x 以及未完全燃烧的碳氢化合物等，其特点是排放量小，属间断性排放。

(3) 装饰装修阶段排放的废气

装饰工程施工如漆、涂、磨、刨、钻、砂等装饰作业以及使用某些装饰材料如油漆、人造板、含某些有害物质（如苯系物、甲醛、酚等）的涂料等将释放少量有机废气。

5.1.1.2 施工期大气环境影响

项目施工期废气主要来源为施工扬尘、施工机械运行产生的废气以及装修

阶段的油漆废气，其中以施工扬尘对空气环境质量的影响最大。

工程施工时，运输车辆行驶、施工垃圾的清理及堆放、人来车往、堆料场装卸材料等均可能产生扬尘。一般情况下，其产生量在有风旱季晴天多于无风和雨季，动态施工多于静态作业。

经综合对比分析，认为项目施工过程中的施工扬尘是大气污染因子中对区域大气环境影响最大的一项。因此，在本项目施工期大气环境影响方面，重点分析施工扬尘对项目周围环境的影响。

(1) 施工期扬尘的环境影响

据调查，施工工地的诸多扬尘来源中，主要的是由运输车辆行驶产生的扬尘，约占扬尘总量的 60%。其产生量与道路路面及车辆行驶速度有关。在完全干燥情况下，可按经验公式计算：

$$Q = 0.123 \times \left(\frac{v}{5}\right) \left(\frac{W}{6.8}\right)^{0.85} \left(\frac{P}{0.5}\right)^{0.75} \quad \text{式 5.1-1}$$

式中：Q---汽车行驶的扬尘，kg/km·辆；

v---汽车速度，km/h；

W---汽车载重量，t；

P---道路表面粉尘量，kg/m²。

根据公式 5.1-1，一辆载重 5t 的卡车，通过一段长度为 500m 的路面时，不同表面清洁程度，不同行驶速度情况下产生的扬尘量如表 5.1-1 所示。

表 5.1-1 不同车速和地面清洁程度时的汽车扬尘 (kg/km·辆)

P (kg/m ²) \ 车速(km/h)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1.0
5	0.0283	0.0476	0.0646	0.0801	0.0947	0.1593
10	0.0566	0.0953	0.1291	0.1602	0.1894	0.3186
15	0.0850	0.1429	0.1937	0.2403	0.2841	0.4778
20	0.1133	0.1905	0.2583	0.3204	0.3788	0.6371

由表 5.1-1 可见，在同样路面清洁情况下，车速越快，扬尘量越大；而在同样车速情况下，路面清洁度越差，则扬尘量越大。根据类比调查，一般情况下，施工场地、施工道路在自然风作用下产生的扬尘所影响的范围在 100m 以内。

抑制扬尘的一个简洁有效的措施是洒水。如果在施工期内对车辆行驶的路面实施洒水抑尘，每天洒水 4~5 次，可使扬尘减少 70% 左右。表 5.1-2 为施工场地洒水抑尘的试验结果。由该表数据可看出对施工场地实施每天洒水 4~5 次进行抑尘，可有效地控制施工扬尘，并可将其 TSP 污染距离缩小到 20~50m 范围。

表 5.1-2 施工现场洒水抑尘试验结果

距离(m)		5	20	50	100
TSP 小时平均浓度(mg/m ³)	不洒水	10.14	2.89	1.15	0.86
	洒水	2.01	1.40	0.67	0.60

施工扬尘的另一种重要产生方式是建筑材料的露天堆放和搅拌作业，这类扬尘的主要特点是受作业时风速大小的影响显著。因此，禁止在大风天气时进行此类作业；同时，减少建筑材料的露天堆放是抑制这类扬尘的一种有效手段。

建设施工期产生扬尘是无法避免的，但其产生量和影响范围是可以控制的，因此本环评提出相应的扬尘控制措施。只要项目施工期做到文明施工，严格落实各项扬尘控制措施，则可有效控制施工期扬尘对环境空气质量影响，使其对环境空气的影响达到可接受的水平。

(2) 施工期其它废气的环境影响

本项目施工期废气的另一来源是施工机械排放的燃油废气和装修阶段的油漆废气。

施工期间，使用机动车运送原材料、设备和建筑机械等设备的运转，均会排放一定量的 CO、NO_x 以及未完全燃烧的碳氢化合物等，其特点是排放量小，属间断性排放，这些废气排入大气后可得到有效的稀释扩散，对环境的影响甚微。

油漆废气主要产生于室内室外装修阶段，由有机溶剂挥发产生。油漆废气排放属间断性排放，排放源分散，其产生、排放量很小，且该类废气的挥发释出是一个较为缓慢的过程，因此对项目所在区域的环境空气质量影响不大。

(3) 施工期大气环境影响的总体评述

综上所述，项目的施工将会对项目所在地环境空气质量造成一定的影响，主要影响因子是施工扬尘。这些影响是短期的，随着施工期的结束也会结束。

在项目施工阶段将采取有针对性的大气污染控制措施，因此，对项目所在地环境空气质量的影响较小。

5.1.1.3 施工期扬尘控制措施

根据《四川省建筑工程扬尘污染防治技术导则（试行）》，施工单位需做到：

①“六必须”：必须湿法作业；必须打围作业；必须硬化道路；必须设置冲洗设施、设备；必须配齐保洁人员；必须定时清扫施工现场。

②“六不准”：不准车辆带泥出门；不准运渣车辆超载；不准高空抛洒建渣；不准现场搅拌混凝土；不准场地积水；不准现场焚烧废弃物。

③施工现场设置施工围墙，封闭施工现场，采用密目安全网，以减少结构和装修过程中的粉尘飞扬现象，减少粉尘向大气的排放；拆除脚手架前，先将脚手板上的垃圾清理干净，清理时应避免扬尘。

④施工单位文明施工，定期对地面洒水，并对撒落在路面的渣土及时清除，清理阶段做到先洒水后清扫，避免产生扬尘对周边住户正常生活造成影响。

⑤由于道路和扬尘量与车辆的行驶速度有关，速度越快，扬尘量越大，因此，在施工场地对施工车辆必须实施限速行驶，同时施工现场主要运输道路尽量采用硬化路面并进行洒水抑尘；在施工场地出口放置防尘垫，对运输车辆现场设置洗车场，用水清洗车体和轮胎；自卸车、垃圾运输车等运输车辆不允许超载，选择对周围环境影响较小的运输路线，定时对运输路线进行清扫，运输车辆出场时必须封闭，避免在运输过程中的抛洒现象。

⑥禁止在有风天气进行渣土堆放作业，建材堆放地点要相对集中，临时废弃土石堆场及时清运，并对堆场以毡布覆盖，裸露地面进行硬化和绿化，减少建材的露天堆放时间；开挖出的土石方应加强围栏，表面用毡布覆盖，并及时将多余弃土外运。

5.1.2 施工期废水及其环境影响

5.1.2.1 施工期废水来源及产生量

施工期产生的废水主要包括施工生产废水和施工人员生活污水。

(1) 施工生产废水

施工期的生产废水主要来源于机械的冲刷、楼地及墙面的冲洗、构件与建筑材料的保潮、墙体的浸润、材料的洗刷以及桩基础施工中排出的泥浆等。该部分废水中的主要污染因子为 SS、COD、石油类，污水中 COD 浓度值最高约 600mg/L、SS 约 1000mg/L。根据项目建设工程量，经类比分析，预计本项目施工废水的最大产生量约为 50m³/d。

(2) 施工人员生活污水

本项目建设施工高峰期施工人员预计可达 60 人，生活用水按 0.05m³/人·d 计算，日用水量约 3m³/d，以产生系数 0.8 计，生活污水产生量为 2.4m³/d。

根据有关资料中的监测统计平均值，生活污水中 COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N 和 SS 的浓度依次约为 400mg/L、200mg/L、30mg/L 和 400mg/L。

5.1.2.2 施工期废水对地表水环境的影响

施工过程中上述各类废水若不经处理或处理不当，将影响地表水水质，短期内使地表水水质超标，危害环境。因此，施工期废水不应任意排放。分别针对施工废水和施工生活污水采取有针对性的控制措施后，项目施工期废水对周围地表水环境影响甚微。

5.1.2.3 施工期水污染物控制措施

施工时严禁将施工废水及施工生活污水直接排入地表水。设置沉淀池对施工废水简易沉淀后重复利用，不外排；本项目生活污水依托周围居民住房解决。

5.1.3 施工期噪声及其环境影响

5.1.3.1 施工期主要噪声源及源强

建设施工期主要噪声源为各种施工机械及运输车辆。各施工阶段典型施工机械及运输车辆作业时的噪声源强经验值分别见表 5.1-3、表 5.1-4。

表 5.1-3 典型建筑施工机械噪声源强（单位：dB(A)）

施工阶段	声源	声源强度*
土石方	挖掘机	78~96
	装载机	85~90

	空压机	75~85
	推土机	80~85
打桩	挖掘机	78~96
结构	混凝土输送泵	80~90
	振捣器	90~95
	电锯	90~95
	搅拌机	90~95
装修	电钻、手工钻等	90~95
	电锤	90~95
	无齿锯	95

表 5.1-4 交通运输车辆噪声（单位：dB(A)）

施工阶段	运输内容	车辆类型	声源强度
主体阶段	建筑弃渣等	大型载重车	84~89
底板与结构阶段	钢筋、混凝土等	混凝土罐车、载重车	80~85
装修安装阶段	各种装修材料及设备	轻型载重卡车	75~80

5.1.3.2 施工期噪声影响预测与评价

(1) 预测模式

引起声波衰减的因素有距离、空气吸收、围墙阻隔等。保守估算，预测只考虑距离衰减。施工场地的施工机械可近似视为点声源处理，预测模式采用《环境影响评价技术导则—声环境》（HJ 2.4-2009）无指向性点声源几何发散衰减公式。

$$L_A(r) = L_{Aref}(r_0) - 20 \lg(r/r_0) \quad \text{式 5.1-2}$$

式中： $L_A(r)$ ---距声源 r 处的 A 声级，dB(A)；

$L_{Aref}(r_0)$ ---距声源 r_0 处的 A 声级，dB(A)；

r 、 r_0 ---距声源的距离，m。

(2) 预测结果

在不考虑施工围墙对噪声的隔声作用的情况下，预测施工各阶段最强噪声源在不同距离处的噪声贡献值，结果列于表 5.1-5 中。

表 5.1-5 土建施工噪声预测结果 (dB(A))

噪声源强值		预测距离(m)							建筑施工场界噪声 排放标准 (GB12523-2011)	
		10	20	25	50	100	150	200	昼间	夜间
土石方	96	76.0	70.0	68.0	62.0	56.0	52.5	50.0	70	55
打桩	96	76.0	70.0	68.0	62.0	56.0	52.5	50.0	70	55
结构	95	75.0	69.0	67.0	61.0	55.0	51.5	49.0	70	55
装修	95	75.0	69.0	67.0	61.0	55.0	51.5	49.0	70	55

(3) 施工期噪声影响评价

① 施工噪声对厂界的影响

由表 5.1-5 可以看出, 施工期间产生的噪声昼间在大于 20m 处可以达到《建筑施工场界噪声限值》(GB12523-90) 要求, 夜间在大于 150m 处能够达标。

② 施工噪声对环境的影响

本项目施工地点距最近的敏感目标的最近距离大于 60m, 因此项目施工噪声对外环境影响甚微。

5.1.3.3 施工期噪声的控制措施

对于噪声的控制, 通常可通过对噪声源、噪声传播路线和噪声受体三个方面采取措施。首先考虑对噪声源和传播路线的控制, 其次, 如有必要才采取对噪声受体的控制措施。

为降低施工噪声对声环境的影响, 应采取如下噪声控制措施:

- ① 选用低噪设备, 并采取有效的隔声减振措施。
- ② 合理设计施工总平面图, 将主要高噪声的作业点置于施工场地中部区域, 尽量远离厂界。
- ③ 合理安排施工工序, 尽量缩短施工周期。
- ④ 合理安排施工时间, 将强噪声作业尽量安排在白天进行, 尽量避免夜间施工。
- ⑤ 文明施工, 装卸、搬运钢管、模板等严禁抛掷。
- ⑥ 施工前必须先修围墙。

总体而言, 施工期噪声影响是暂时的, 并随着施工期的结束而消失, 由于

施工期多数区域人口密度小，在采取相应的防护措施后，施工期不会对评价范围内声学环境和敏感点产生明显的不利影响。

5.1.4 施工期固体废物及其环境影响

5.1.4.1 施工期固体废物的来源

(1) 建筑垃圾

项目建设施工过程中产生的建筑垃圾主要包括混凝土废料、含砖、石、砂的杂土、铁质弃料、木材弃料等。

(2) 施工人员生活垃圾

施工人员生活垃圾包括就餐垃圾、塑料餐具、杯、袋及其它生活日用品废弃物。

5.1.4.2 施工期固体废物的环境影响

施工过程中产生的建筑垃圾要及时清运、加以利用；生活垃圾如不及时清运处理，则会腐烂变质，滋生蚊虫苍蝇，产生恶臭，传染疾病，从而对周围环境和作业人员的健康带来不利影响，因此应及时清运并进行处置。

针对项目施工期产生的固体废物采取处理处置措施，使建筑垃圾和生活垃圾得到清洁处理和处置，减小施工期产生的固体废物对周围环境的影响。

5.1.4.3 施工期固体废物的控制措施

(1) 建筑垃圾处理

在施工现场设置建筑废弃物临时堆场（树立标示牌）并进行防雨、防泄漏处理。施工生产废料应首先考虑回收利用，对钢筋、钢板、木材等下角料分类回收，交废物收购站处理；对不能回收的建筑垃圾，如混凝土废料、含砖、石、砂的杂土等应集中堆放，定时清运到指定的建筑垃圾场，以免影响环境质量。

(2) 生活垃圾处理

施工人员生活垃圾将依托现有垃圾暂存点统一收集，由环卫部门清运至垃圾处理场集中处理。

5.1.5 施工期水土流失的影响分析

本项目在建设过程中可能会发生水土流失。水土流失主要发生在以下情形：一是基础开挖、土石方填埋和平整等工序形成土表层土石填料裸露、边坡裸露；二是取土场土壤的裸露。当雨天特别是雨季来临时，如果不采取有效措施，将导致水土流失。因此，项目水土保持工作应予高度重视。

(1) 水土流失的危害

水土流失的危害性表现在：

- ①降低土壤肥力，水土流失一般冲走富含有机质的表层细土粒；
- ②水土流失造成河流水质混浊，影响了水体的使用功能；
- ③造成泥沙淤积，抬高河床，降低河道的泄洪能力。

(2) 水土流失评价标准

水土流失的评价标准采用中华人民共和国水电部 1986 年颁布的全国统一水力侵蚀强度分级指标标准。该标准以规划所在区域多年平均水土流失量为参照量进行分级。

表 5.1-6 水力侵蚀强度分级指标

级 别	侵蚀模数 (t/km ² ·a)
I 微度侵蚀 (无明显侵蚀)	<200
II 轻度侵蚀	200-2500
III 中度侵蚀	2500-5000
IV 强度侵蚀	5000-8000
V 极强度侵蚀	8000-15000
VI 剧烈侵蚀	>15000

(3) 影响范围

项目建设过程中，由于工程开挖、占压造成的原地貌水土保持功能降低甚至丧失，导致土壤侵蚀加剧而增加水土流失量，项目区域的征占地可能造成水土流失扰动。由于项目土建施工中将会破坏地表覆盖因子，造成局部区域水土流失的加剧，项目整个施工过程长达 1.5 年，施工活动临时施工场地等基本都在区域范围内进行。因此，在项目建设施工中应高度重视水土保持，严格按照水土保持有关法规的要求进行设计施工，选择好临时施工用地，作好临时用地的水土保持防护措施，在破土开挖段采用水土流失防护栏（网），以防止水土流入河道和随机器设备带入道路及城区，进而污染周边大气环境。建设中按规

范要求进行水土保持工程措施和绿化措施的建设，水土保持措施应和主体工程共同竣工验收，最大限度地减少水土流失量。

本项目建成运营后，不会增强原来的土壤侵蚀强度，大部分地点因地表覆盖物变为建筑物或水泥地面后，还可避免土壤侵蚀。从长远看，本规划的实施在一定程度上减轻了当地水土流失。

5.2 运行阶段对环境的影响

5.2.1 项目运行期放射性环境影响

略

5.2.2 项目运行期非放射性环境影响

5.2.2.1 废气环境影响

项目的非放废气主要是生产过程中会用到酸碱试剂，有酸碱废气产生。

5.2.2.2 废水环境影响

本工程生产及研发所产生的非放射性废水主要分为生活废水和生产废水。

(1) 生产废水

生产废水主要为非放射性实验生产排水经室内生产废水管道收集后重力流排入生产废水系统管道，废水排水量约为 27L/d。非放射性废水污染因子为 S S、COD 等。

(2) 办公废水

生活废水主要为淋浴间和卫生间卫生器具排水，废水排放量约为 2.79m³/d。

5.2.2.3 地下水环境影响

本项目地下水污染防治措施和对策，坚持“源头控制、分区防治、污染监控、应急响应”的原则。本项目拟采取的地下水的防治措施如下所述。

(1) 源头控制措施

① 积极推行实施清洁生产，实现各类废物循环利用，减少污染物的排放量；

②根据国家现行相关规范加强环境管理，采取防止和降低污染物跑、冒、滴、漏的措施。正常运营过程中应加强巡检及时处理污染物跑、冒、滴、漏，同时应加强对防渗工程的检查，若发现防渗密封材料老化或损坏，应及时维修更换；

③对管道、设备及处理构筑物采取控制措施，放射性废水收集箱材质能防腐蚀，不易破裂，能有效防止污染物的跑、冒、滴、漏，将污染物泄漏的事故降到最低限度；

④坚持“可视化”原则，在满足工程和防渗层结构标准要求的前提下，尽量在地表面实施防渗措施，便于泄漏物质的收集和及时发现破损的防渗层。

(2)分区防治措施

将新建建筑及设施按单元所处的位置划分为三类地下水污染防治区域：

重点防渗区：主要是地下一层放射性废液收集间和其他废液收集间，采用等效黏土防渗层 $M_b \geq 6.0\text{m}$ ， $K \leq 1 \times 10^{-7}\text{cm/s}$ 的措施；

一般防渗区：包括所有生产线、放射性实验室、各个放射性核素操作场所，采用等效黏土防渗层 $M_b \geq 1.5\text{m}$ ， $K \leq 1 \times 10^{-7}\text{cm/s}$ 的措施；

简单防渗区：包括除上述防渗区外的项目范围，采用一般地面硬化。项目生产线所在的房间墙面为彩钢板装饰，接缝用玻璃胶密封，地面铺设 2.5mm 厚度的塑胶地板，地板踢脚线不低于 15cm。

在采取上述地下水防治措施的前提下，本项目营运期不会对地下水水质及水位造成影响。

5.2.2.4 固体废物环境影响

本工程运行产生的非放射性固体废物主要为普通化学实验室产生的分离材料、玻璃器皿、聚四氟管、高效过滤器、劳保用品等，产生量约为265kg/a。此外还有产生的生活垃圾约20kg/a。生活垃圾属一般固废，经袋装收集后置于生活垃圾收集点，再由夹江县木城镇市政环卫部门定时清运。

5.2.2.5 噪声环境影响

略

5.3 事故影响分析

5.3.1 事故分级

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第 449 号）第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，详见表 5.3-1。

表 5.3-1 辐射事故等级划分表

事故等级	事故情形
特别重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素失控导致3人以上（含3人）急性死亡。
重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素失控导致2人以下（含2人）急性死亡或者10人以上（含10人）急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素失控导致9人以下（9人）急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或放射性同位素失控导致人员受到超过年剂量限值的照射

根据《实用辐射安全手册》（从慧玲，北京：原子能出版社）急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系，见表 5.3-2。

表 5.3-2 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

辐射剂量 (Gy)	发生率 (%)	辐射剂量 (Gy)	死亡率 (%)
0.70	1	2.00	1
0.90	10	2.50	10
1.00	20	2.80	20
1.05	30	3.00	30
1.10	40	3.20	40
1.20	50	3.50	50
1.25	60	3.60	60
1.35	70	3.75	70
1.40	80	4.00	80
1.60	90	4.50	90
2.00	99	5.50	99

5.3.2 辐射事故识别

本项目涉及使用和销售的非密封放射性物质包括： ^{125}I 、 ^{14}C 、 ^{177}Lu 、 ^{223}Ra 、 ^{90}Sr 、 ^{90}Y 、 ^{32}P 、 ^{166}Ho 、 ^{188}Re 、 ^{188}W 、 ^{227}Ac 、 ^{226}Ra 等 12 种核素。根据分

析，本项目可能发生的辐射事故如下：

表 5.3-3 项目可能发生的辐射事故一览表

活动	涉及核素	可能发生的事故	可能事故后果
放射性同位素生产	^{125}I 、 ^{14}C 、 ^{177}Lu 、 2 ^{23}Ra 、 ^{90}Sr 、 ^{90}Y 、 3 ^{32}P 、 ^{166}Ho 、 ^{188}Re 、 ^{188}W 、 ^{227}Ac 、 ^{226}Ra	原料罐丢失、被盗、失控	导致公众误照射
		热室/屏蔽箱泄漏或负压不足，导致含放射性气溶胶/气体逸散到操作前区	导致职业人员误照射
		过滤装置吸附达到饱和或受潮等使过滤系统失效	导致公众误照射
放射性同位素销售	^{125}I 、 ^{14}C 、 ^{177}Lu 、 2 ^{23}Ra 、 ^{90}Y 、 ^{32}P 、 16 ^6Ho 、 ^{188}Re 、 ^{188}W	放射性同位素货包丢失、被盗、失控	导致公众误照射

根据各生产和销售环节放射性物质用量及核素组成情况，并根据表 5.3-3 综合分析，本项目可能发生的最大潜在事故有 3 种情况：

- (1) 负压热室/屏蔽箱发生泄漏或箱内负压不足；
- (2) 过滤装置吸附达到饱和或受潮等使过滤系统失效；
- (3) 放射源丢失、被盗、失控。

5.3.3 最大潜在事故影响分析

略

5.3.4 事故预防措施

针对上述本项目可能发生的 3 种最大潜在事故，拟分别采取以下的事故预防措施。

(1) 热室/屏蔽箱泄漏事故防范措施

制定辐射防护设施的维护保养制度，并定期对热室/屏蔽箱进行维护和检修，同时为及时发现热室/屏蔽箱泄漏，避免放射性气体逸散到操作间对人员造成误照射，环评建议建设单位配备含移动式气溶胶监测设备或定期委托监测单位对辐射工作场所的放射性气溶胶进行监测。

(2) 过滤系统失效事故

制定辐射防护设施的维护保养制度，定期对过滤装置的过滤效率进行检查，并在废气排放烟囱设置自动检测设备，当效率达不到使用要求时，即时对

过滤器滤芯进行更换。

(3)放射源丢失、被盗、失控事故

海同公司对放射源实施了严密的保卫措施和制度，确保放射源处于受控状态。特别是高活度放射源，存放在有足够屏蔽能力的铅罐内，并有专门的贮存设施，专人负责管理。中试楼拟安装报警装置，实行 24 小时全天候保卫制度，并实行严格的登记、领（借）用、归还注销、保管和定期校核与检查等管理制度。因此，在实际情况中，这种放射源丢失、被盗、失控事故几乎不可能发生。同时，项目单位制定了完善的事故应急预案，以将事故不良后果降至最低。

第六章 辐射安全管理

6.1 机构与人员

6.1.1 辐射安全与环境保护机构

海同公司拟建立健全的辐射安全与环境保护管理机构。

海同公司安防环保部专职负责全公司包括核技术应用在内的所有辐射实践活动的辐射安全与环境保护。

海同公司的职责如下：

(1) 贯彻执行国家和上级主管部门有关放射性同位素管理的法规和规定，结合项目实际制定相应的管理规程；

(2) 负责放射性同位素在生产、使用、贮存过程中的安全监督和管理；

(3) 负责建立放射性同位素的台账，并实行动态管理；

(4) 负责放射性同位素生产、贮存等操作人员的辐射安全资格管理，监督培训计划落实；

(5) 负责放射性同位素在生产、使用、贮存过程中的辐射安全、环境保护、职业安全与卫生及安全生产标准化监督管理；

(6) 参与放射性同位素事故的调查处理；

(7) 接受上级主管部门的监督检查。

本项目的辐射防护负责人由海同公司主管领导兼任，其职责如下：

(1) 贯彻执行国家和上级主管部门有关放射性同位素管理的法规和规定；

(2) 负责放射性同位素在生产、使用、贮存过程中的安全管理；

(3) 负责建立室级放射性同位素的台账，并实行动态管理；

(4) 负责制定各岗位、工序操作规程，并监督落实；

(5) 参与、配合放射性同位素事故的调查处理；

(6) 接受上级主管部门的监督检查。

6.1.2 辐射工作人员配备计划

本项目拟配置辐射工作人员 70 名，主要由海同公司的工作人员组成，均专职

从事本项目放射性工作。环评要求项目运行前所有辐射工作人员均经过培训并取得相应证书。

人员结构，岗位职责具体如下：

(1)生产 1 部

生产 1 部负责 ^{177}Lu 、 ^{32}P 、 ^{166}Ho 生产，拟配置 15 名工作人员，其中组长 1 人， ^{177}Lu 生产人员 5 人， ^{32}P 生产人员 4 人， ^{166}Ho 生产人员 5 人。

(2)生产 2 部

生产 2 部负责 ^{14}C 、 ^{125}I 生产，拟配置 13 名工作人员，其中组长 1 人， ^{14}C 生产人员 6 人， ^{125}I 生产人员 6 人。

(3)生产 3 部

生产 3 部负责 ^{223}Ra 、 ^{90}Y 、 ^{188}W - ^{188}Re 发生器生产，拟配置 15 名工作人员，其中组长 1 人， ^{223}Ra 生产人员 5 人， ^{90}Y 生产人员 4 人， ^{188}W - ^{188}Re 发生器生产人员 5 人。

(4)技术部

技术部拟配置 10 名工作人员，其中组长 1 人，研发人员 9 人。

(5)质检部

质检部拟配置 6 名工作人员，其中组长 1 人，质量检验人员 5 人。

(6)质安部

质安部拟配置 3 名工作人员，其中组长 1 人，安全管理人员 2 人。

(7)后勤保障部

后勤保障部拟配置 5 名工作人员，其中组长 1 人，工作人员 4 人，负责实验器材、辅助设备、记录等管理，以及制水、通风保障、水电保障、产品包装等工作。

再加上主任 1 人、副主任 2 人，以上编制总共 70 人。

根据环境保护部令第 18 号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关要求，本项目辐射工作人员应当接受中级或高级辐射安全培训。环评要求项目单位应及早制定工作人员辐射安全培训计划，确保本项目辐射工作人员在项目投运前完成中级或高级辐射安全培训，考核合格后持证上岗。

6.2 辐射安全管理规章制度

6.2.1 辐射安全与防护管理制度

本项目的辐射安全管理纳入海同公司的管理体系统一管理。

本项目的辐射防护制度、安全保卫制度、设备检修维护和人员培训制度等执行院所现有的相关管理制度，院所现有如下的相关管理制度：

《辐射工作场所辐射安全和防护管理制度》；

《安全生产责任制》；

《安全、环保与职业健康目标管理规定》；

《安全环保事件/事故应急管理的规定》；

《放射性废物管理规定》；

《辐射防护管理规定》；

《放射性流出物检测与排放管理规定》；

《个人剂量监测与数据管理规定》；

《辐射工作场所分区管理规定》等。

海同公司以文件《辐射工作场所辐射安全和防护管理制度》规定了单位辐射工作场所的辐射工作岗位职责、辐射防护和安全保卫、辐射工作人员辐射安全和防护、放射性物品管理、辐射水平监测、操作规程及工作制度、设备检查维护维修、个人剂量管理和台账、档案管理等。

项目单位准备新制订同位素台账管理制度。

项目单位一直在从事核技术利用项目的相关实践活动，已建立的一些辐射安全管理制度体现了核技术利用项目辐射安全管理的共同点，对本项目也是适用的。环评认为本项目的辐射防护、安全保卫、设备检修维护、个人剂量管理和人员培训等执行院所现有的相关管理制度是可行的。

环评要求应在项目投运前编制完成本项目的同位素台账管理制度，并通过相关的质量保证审查程序，确保制度的适用和有效。

6.2.2 生产操作规程及岗位职责

项目单位已制定了本项目的核素生产工艺规程，包括：

《碘-125 生产线生产工艺规程》；

《碳-14 生产线生产工艺规程》；
 《磷-32 生产线生产工艺规程》；
 《镭-177 生产线生产工艺规程》；
 《镭-223 生产线生产工艺规程》；
 《钇-90 生产线生产工艺规程》；
 《钨铼发生器生产线生产工艺规程》；
 《钷-166 生产线生产工艺规程》。

项目单位准备新制订相应的生产岗位职责。

环评要求本项目的工作人员在正式上岗前应熟悉各自岗位的操作工艺，熟练掌握操作技艺，明确各自岗位职责，尽量避免因操作不熟练、职责不清而导致辐射安全事故。

6.3 辐射监测

6.3.1 个人剂量监测

本项目建成运行后，辐射工作人员均进行个人剂量监测。辐射工作人员个人剂量监测内容为外照射监测和内照射（含甲状腺）监测，监测频度为 1~3 月/次，监测单位为中国核动力研究设计院检测校准实验室（中核西南检测中心）。

6.3.2 工作场所监测

海同公司拟制定《工作场所辐射监测计划》，涵盖本项目核技术利用场所，监测项目为相关场所的空气吸收剂量率、空气中放射性核素浓度、场所表面污染水平等。

本项目建成运行后，拟定的工作场所辐射监测方案见表 6.3-2。

表 6.3-2 工作场所辐射监测方案

监测指标	监测布点	监测频次
γ 辐射水平	区域 γ 监测仪设置点： (1)负一层： ①走廊； ②接收分拣区； (2)一层： ①放化分析实验室走廊； ②碘-125 生产线的前区（2 个点位）、后区、出货间；	在同位素生产运行、新设备安装、设备检修检定维护工况下，启动固定监测仪器。 采用便携式 γ 剂量率仪监测的区域每周一次。

	③碳-14 生产线的前区（2 个点 位）、后区、出货间； ④钷-90 生产线前区（2 个点 位）、后区、组装线、出货间； ⑤镭-223 生产线前区（2 个点 位）、后区、超洁净工作台、出 货间； ⑥钨铼发生器生产线前区（2 个 点位）、后区、超洁净工作台、 出货间； ⑦钷-166 生产线前区（2 个点 位）、后区、出货间； ⑧磷-32 生产线前区（2 个点 位）、后区、出货间； ⑨镭-177 生产线前区（2 个点 位）、后区、出货间； ⑩发货通道（汽车间）（3 个点 位）； □物流转运间； (3)二层： ①走廊； ②靶件制备间； ③排风机房； ④吊装平台（5 个点位）； 其他关注区域采用便携式 γ 剂量 率仪监测。	
空气中碘活度浓度	屏蔽工作箱前区；物流通道。	在生产周期每周一次
空气中气溶胶活度浓度	屏蔽工作箱前区；物流通道。	在生产周期每周一次
表面污染水平	屏蔽工作箱前区及走廊；物流通 道；卫生通道。上述区域的墙 面、地面的代表性位置。	在生产周期每周一次

本项目拟定的工作场所辐射监测计划，其规定的监测内容和监测频次满足 GB 11930-2010《操作非密封源的辐射防护规定》的相关要求，评价认为是可行的。

对于相关场所的辐射水平监测，本项目新增区域 γ 辐射监测仪 50 套，在负一层的走廊、接收分拣区，一层的放化分析实验室走廊、各生产线的前区、后区、出货间、组装线、超洁净工作台、发货通道（汽车间）、物流转运间，二层的走廊、靶件制备间、排风机房、吊装平台等区域设置监测点，测点覆盖本项目主要放射性工作场所。每个测点由 1 个区域 γ 探测器、1 台单通道就地处理单元、通讯设备等组成， γ 探测器将探测到的空间 γ 辐射转换为数字信息传输给就地处理单元进行处理实现数据就地显示以及就地报警灯铃驱动。同时，就地处理单元通过数据总线将监测数据传输给监测计算机，实现监测数据同步显示、集中管理。对于固定式测点无法覆盖的区域，采用便携式 γ 剂量率仪进行监测。

对于空气中放射性核素活度浓度的监测，本项目新增了 2 套分布式空气取样仪、2 台便携式空气取样仪，实现工作场所空气中放射性核素浓度的取样监测。取样仪内置真空泵、流量计、取样头等部件，可进行定时、定流量取样，取样时将仪器放置在取样点，安装滤纸，打开取样仪即可，取样完成后将滤纸、碘盒送实验室进行测量分析。取样后的样品可利用现有设备（低本底 α/β 测量仪、高纯锗 γ 谱仪等）进行测量。另外，也可利用现有移动式气溶胶连续监测仪，必要时对相关工作场所气溶胶活度浓度进行连续监测。对于碳-14，计划利用 1 台碳-14 取样器进行取样，将样品送实验室由低本底液闪测量仪进行测量。

对于场所表面污染水平监测，本项目新增 1 套全身表面污染监测仪、2 套手脚沾污仪，用于出入控制区工作人员污染监测。

6.3.3 流出物监测

本项目产生的放射性废气经两级通风过滤器过滤后，最终由中试楼南侧 60m 高的烟囱排放。

本项目产生的废液采用 3 个 10m^3 的废液贮槽进行贮存，每年用槽车将废液运输至核动力院现有设施处理和排放，不设单独的液态流出物排放设施，因此本项目不单独实施液态流出物监测。本项目液态流出物的监测拟纳入中国核动力研究院总的《流出物及环境监测计划》中实施。

6.3.3.1 气载流出物监测

参考 HJ61-2021 对气载流出物放射性物质排放的管控要求，结合本项目产生核素及存在形式的特征特点，进行气载流出物监测。

6.3.3.2 液态流出物监测

本项目不独立设置放射性废液处理系统，产生的废液暂存后每年由槽车转运至核动力院的新三废处理中心，经蒸发、过滤等处理后槽式排放。参考 HJ61-2021 对液态流出物放射性物质排放的管控要求，结合该项目工艺特点，进行液态流出物监测。

6.3.4 环境监测

本项目选址在夹江核技术产业园内，环境监测计划严格按照《辐射环境监测

技术规范》（HJ61-2021）标准要求制定。根据本项目气载流出物中核素种类、性质和数量确定 ^{14}C 、 ^{223}Ra 、 ^{90}Sr 为关键核素，本项目的环境监测计划列于表 6.3-3。

表 6.3-3 环境监测计划

监测项目	监测点	监测频率（次/年）	执行标准
γ 辐射空气吸收剂量率	中试楼、研发楼为中心，半径 50~300m 以内	4	《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）“应用非密封放射性物质环境监测方案”
土壤（ ^{14}C 、 ^{223}Ra 、 ^{90}Sr ）	中试楼、研发楼为中心，半径 50~300m 以内	1	
地表水（ ^{14}C 、 ^{223}Ra 、 ^{90}Sr ）	核动力院废水排放口上、下游 500m 处	1~2	
底泥（ ^{14}C 、 ^{223}Ra 、 ^{90}Sr ）	核动力院废水排放口上、下游 500m 处	1	
废水（总 α 、总 β 、 ^{14}C 、 ^{223}Ra 、 ^{90}Sr ）	核动力院废水贮存槽或核动力院排放口	1~2	
废气（ ^{14}C 、 ^{223}Ra 、 ^{90}Sr ）	排放口	1	
放射性固体废物（ γ 辐射空气吸收剂量率、 α 、 β 表面污染）	贮存室或贮存容器外表面	1~2	

从以上分析看出，本项目制定的环境监测方案可满足本次核技术应用的要求。

6.4 辐射事故应急

本项目的辐射事故应急纳入核动力院一号点地区现有应急体系进行管理，拟制定海同公司《辐射事故应急预案》，将本项目的辐射事故应急纳入核动力院应急体系中的医用同位素生产辐射事故应急处理小组，由应急办公室协调、联络，成员包含：技术支持、安全保卫、监测评价与医疗救助助理等。

6.4.1 应急响应机构

6.4.1.1 应急组织机构

本项目辐射事故应急处理组织机构图见图 6.4-1。

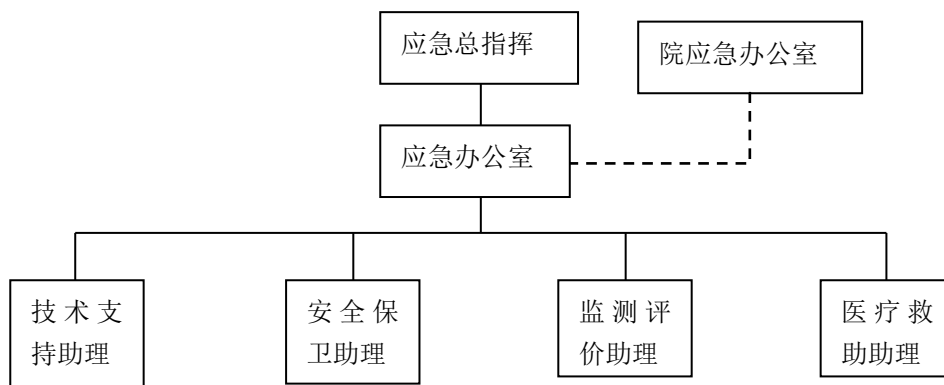


图 6.4-1 辐射事故处理组织机构图

6.4.1.2 应急组织机构职责

(1)应急总指挥：由公司主管医用同位素的领导或安全主管的领导担任，统一指挥应急响应行动，宣布应急状态，启动应急组织，决策应急中止，为应急能力保持提供必要条件。

(2)应急办公室：由公司应急办公室担任，协调各级、各专业力量实施应急支援行动，向上级主管部门通报事故，组织事故原因调查和经验反馈。

(3)技术支持助理：由海同公司技术专家担任，提供事故处理措施技术支持。

(4)安全保卫助理：由公司保卫科人员担任，负责污染区域警戒、控制和交通管制。

(5)监测评价助理：由辐射防护监测评价人员担任，提供现场辐射监测和环境监测，人员体表污染监测，提供辐射防护建议。

(6)医疗救助助理：由一号点职工医院医师担任，负责场内紧急救治，提供应急处置人员医疗防护建议。

6.4.2 应急响应

(1) 应急启动

发生医用同位素辐射事故时，应立即报告应急办公室，并开展现场警戒和处理措施。

在接到报告后由应急办公室通知应急总指挥、各相关专业人员，根据应急总指挥指示启动应急组织。

(2) 应急响应行动

技术支持助理根据放射性核素理化性质和放射性危害，提供专业技术支持，

以便更好地收集、处理放射性物质与恢复环境。发生碘-125 泄漏时，应由医疗救助助理给现场处理人员和邻近设施人员分发碘片以做好碘防护。

安全保卫助理建立事故警戒、控制区，人员进入现场须经批准，离开现场须经辐射监测和去污。必要时，建立交通控制通道，保障事故处理人员、设备或物资通畅。

辐射防护人员立即对现场的辐射水平进行监测，检查应急处置人员防护设备，设置环境监测点，开展人员剂量监测和污染监测，根据事故处理进展提供防护建议。

医疗救助人员对有急性照射或摄入核素的人员进行医疗救治或建议送厂外专业医院治疗，为现场处理人员提供医疗防护。医疗救助人员协助事故处理人员体表污染（头发、鼻、耳、咽等部位）的去污。

(3) 应急终止

应急终止需满足以下条件：

- ①事故得到控制，事故影响已经消除；
- ②放射性物质的泄露或释放已降到规定限值以下；
- ③事故现场的各种专业应急处置行动已无继续的必要。

应急总指挥确认终止条件和时机，发布应急终止命令。

应急办公室向院应急办公室提交辐射事故初始报告表和后续报告表。组织事故原因调查和经验反馈，改进安全措施。

6.4.3 应急物资与保障

根据应急预案的职责分工，准备好应对辐射事故的人力、物力、车辆、通讯和资金保障工作，主要有：

- (1)便携式 γ 剂量率仪、便携式 α/β 表面污染仪、应急 TLD 等物项；
- (2)人员急救医疗设施、碘片等；
- (3)对讲机、专用操作工具、防护用品、隔离带、去污用品等；
- (4)应急救援车辆。

6.4.4 应急培训与演练

6.4.4.1 培训

承担应急任务的人员每年不低于一次培训本项目辐射事故专项应急预案，熟悉事故类型、危害与处置程序，使之正确理解应急响应要求，有效执行应急响应。应急培训应形成记录并保存。

6.4.4.2 演练

(1)每年开展不低于一次的针对医用同位素辐射事故专项应急预案的应急演练，使相关人员熟悉应急预案、应急处置方案，并能有序、协调配合；

(2)每次演练后，针对演练中发现的问题，及时对应急预案加以必要修改和完善，以提高应对突发辐射异常事故的应急处置能力。

第七章 利益-代价简要分析

7.1 利益分析

7.1.1 产品用途

本项目生产的产品主要有 Na^{125}I 溶液、 $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$ 固体、有载体、无载体磷 ^{32}P 酸钠溶液、 ^{32}P 玻璃微球/固体、 $^{177}\text{LuCl}_3$ 溶液、 ^{227}Ac - ^{223}Ra 发生器、 ^{90}Y 溶液、 ^{188}W - ^{188}Re 发生器、钬 ^{166}Ho 聚乳酸微球等。这些初级核素产品主要供应给放射性医药公司作为放射性药物的原料，如 Na^{125}I 溶液可制成药盒用于放射免疫测定， $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$ 固体可制成呼吸检验药盒，磷 ^{32}P 酸钠溶液可制成敷贴剂用于骨转移癌治疗，磷 ^{32}P 玻璃微球可作为肝癌治疗试剂， $^{177}\text{LuCl}_3$ 溶液可作为胃肠胰神经内分泌肿瘤治疗试剂， ^{227}Ac - ^{223}Ra 发生器可制成 $^{223}\text{RaCl}_2$ 注射液用于前列腺癌治疗， ^{90}Y 溶液可制成微球用于肝癌治疗， ^{188}W - ^{188}Re 发生器可制成铈 ^{188}Re 依替膦酸盐注射液用于前列腺癌骨转移治疗，钬 ^{166}Ho 聚乳酸微球可作为肝癌治疗试剂等。

7.1.2 社会效益

海同公司生产的产品的社会效益主要体现在以下几方面：

(1) 做大做强国内核技术应用产业

目前世界上有 150 多个国家开展了核技术应用的研究，核技术应用在发达国家已形成庞大的产业链。美国核技术应用产业的年产值占国民经济总产值的比例约为 4%~5%，日本和欧洲相应所占比例为 2%~3%，全世界核技术产业规模超过 1 万亿美元。

中国民用核技术起步于上世纪 50 年代，历经了科研开发的起步阶段、应用开发的产业化阶段以及快速发展三个阶段，现在已经形成了具有一定规模和水平、较为完整的体系。国内核技术应用产业的年产值在 2010 年已达 1000 亿元，占当年 GDP 的 0.3%，到 2015 年相关产值已达 3000 亿元，占当年 GDP 的 0.4%，年增长率保持在 20%左右。截至 2018 年底，我国至少有 400 家单位直接从事核技术应用研发与生产，应用单位数至少上千家，为全社会提供近 10 万个就业岗位，在提高人民生活水平、促进社会经济发展中发挥了不可替代的作用。

核技术应用的发展深刻影响着世界各国的科技进步、经济发展和人民健康，成为世界大国必争的战略制高点和优先发展的重要方向，西方发达国家核技术的产值甚至远超核电。与美国、欧洲、日本等发达国家和地区相比，我国核技术应用产业的产值在国民经济中占比较低，核技术应用的市场拓展还处于初级阶段。2018年10月发布的《中国民用核技术产业发展主旨报告》显示，我国民用核技术发展迅速，未来十年的增长速度有望继续保持在20%左右，到2030年有望突破万亿。本项目的建设有利于做大做强国内核技术应用产业，提升我国在该领域国际上的竞争力。

(2)实现产业健康发展

本项目提供的放射性核素不但可以替代进口，满足国内市场需求，保证国家放射性核素安全，还可出口，造福世界人民。另一方面，由于规模化稳定生产成本比现有技术低，并且无论国内使用还是出口亚洲国家，产品运输成本都比目前从欧洲和南美洲进口的低得多，具有显著的成本优势和地域优势，可以显著低于进口产品的价格供给市场，在保证医院等经营者利益的同时显著降低患者诊疗费用。

因此，本项目是利国利民的好项目。本项目的投运将加速建成我国医用同位素自主保障体系，破解放射性药物产业发展面临的“卡脖子”问题，满足国内外数千万人次的核医学诊断与治疗需求，减少疾患痛苦，造福人民群众；促进解决医用同位素及药物制备领域关键共性问题，推动技术转移和扩散，持续不断地为规模化生产提供成熟的先进技术、工艺及其技术产品和装备；促进国际交流和人才培养，培养并保持一支技术水平高、创新能力强的科技创新团队，保障本领域的持续健康发展。

(3)符合地方政府对于产业发展的需要

四川省作为全国8个全面改革创新试验区之一，把军民融合发展放在了全省发展布局更加突出的位置。2017年，乐山市人民政府制定了《乐山市军民融合产业发展规划》，明确了将乐山打造为中国核技术应用引领区的战略目标，拟面向国内国外，推进民用核燃料、核技术应用和核电装备等方面的研发、生产、技术服务，把乐山打造成为国内一流、国际具有重要影响力的核科技应用基地。根据《乐山市城市总体规划》和《乐山市工业经济发展规划》，乐山市拟在夹江县北

部，以木城镇为主，规划 1.5 平方公里，以中国核动力研究设计院、中核高通等为龙头单位，发挥在核技术应用方面的优势，推进实施同位素研发、同位素生产、同位素制品等核技术利用项目的开展。2018 年，乐山市制定了《乐山市关于加快推进夹江基地军民融合产业发展十条扶持政策(试行)》，明确通过市、县财政共同出资扶持军民融合产业的发展，将夹江基地建成全省军民融合产业示范区，对于工商注册、税收解缴关系在夹江县的军民融合企业及相关杰出人才可享受落户、重大项目建设、做大做强、科技创新、科技成果转化等方面的奖励政策。本项目的建设符合地方政府对于产业发展的需要。

综上所述，海同公司在本项目完成后，可乘核技术大发展的风口，做大做强我国核技术应用产业，同时实现我国核技术应用产业的合理布局与整合优化，同时带动地方产业与经济的发展，社会效益显著。

7.1.3 直接效益

项目建成后，各产品可预见的经济指标如表 7.1-1 所示。

表 7.1-1 经济指标预测表

年份	产品	产量 (Ci)	销售单价 (万元)	销售收入 (万元)	合计 (万元)
生产第 1 年	^{125}I	2000	1	2000	5805
	^{14}C	5	25	125	
	^{177}Lu	900	3	2700	
	^{32}P	150	1.2	180	
	^{223}Ra	0	800	0	
	^{188}W - ^{188}Re 发生器	0	20	0	
	^{166}Ho	150	2	300	
	^{90}Y	50	10	500	
生产第 2 年	^{125}I	3000	1	3000	10465
	^{14}C	5	25	125	
	^{177}Lu	1500	3	4500	
	^{32}P	200	1.2	240	
	^{223}Ra	1	800	800	
	^{188}W - ^{188}Re 发生器	20	20	400	
	^{166}Ho	200	2	400	
	^{90}Y	100	10	1000	
生产第 3 年	^{125}I	4000	1	4000	23985

年	^{14}C	5	25	125	
	^{177}Lu	3600	3	10800	
	^{32}P	300	1.2	360	
	^{223}Ra	3	800	2400	
	^{188}W - ^{188}Re 发生器	40	20	800	
	^{166}Ho	500	2	1000	
	^{90}Y	450	10	4500	
生产第4年	^{125}I	6000	1	6000	30416
	^{14}C	8	25	200	
	^{177}Lu	4680	3	14040	
	^{32}P	330	1.2	396	
	^{223}Ra	3	800	2400	
	^{188}W - ^{188}Re 发生器	44	20	880	
	^{166}Ho	550	2	1100	
生产第5年	^{125}I	9000	1	9000	35854.6
	^{14}C	9	25	225	
	^{177}Lu	5148	3	15444	
	^{32}P	363	1.2	435.6	
	^{223}Ra	3.3	800	2640	
	^{188}W - ^{188}Re 发生器	48	20	960	
	^{166}Ho	605	2	1210	
生产第6年	^{125}I	12000	1	12000	41546.8
	^{14}C	10	25	250	
	^{177}Lu	5664	3	16992	
	^{32}P	399	1.2	478.8	
	^{223}Ra	3.63	800	2904	
	^{188}W - ^{188}Re 发生器	53	20	1060	
	^{166}Ho	666	2	1332	
生产第7年	^{125}I	15000	1	15000	47511.8
	^{14}C	11	25	275	
	^{177}Lu	6228	3	18684	
	^{32}P	439	1.2	526.8	
	^{223}Ra	3.99	800	3192	
	^{188}W - ^{188}Re 发生器	59	20	1180	
	^{166}Ho	732	2	1464	

	⁹⁰ Y	719	10	7190	
生产第8年	¹²⁵ I	18000	1	18000	53747.6
	¹⁴ C	12	25	300	
	¹⁷⁷ Lu	6852	3	20556	
	³² P	483	1.2	579.6	
	²²³ Ra	4.39	800	3512	
	¹⁸⁸ W- ¹⁸⁸ Re发生器	64	20	1280	
	¹⁶⁶ Ho	805	2	1610	
	⁹⁰ Y	791	10	7910	

注：¹⁴C和³²P销售单价按原料价格进行计算，¹⁴C如果制成标记尿素或其它标记物，³²P如果做成制品，其价格将大幅提升。

由以上分析可以看出，本项目产生的经济效益是非常可观的。

7.2 代价分析

7.2.1 社会代价

社会代价主要考虑两个方面，一是资源，二是能源。

资源方面，项目在夹江核技术应用产业园内进行，占地面积共 50 亩。本项目采用雨污分离，屋面雨水汇合后排入雨水池，道路设若干雨水口，汇集地表水后接入雨水管道，排入夹江核技术应用产业园雨水管道。生活污水最高日污水量 2.79m³/d，经园区污水管网收集后排入园区工业污水处理厂，处理合格后排入青衣江。8 条生产线放射性废液的年产生总量约为 8.12 m³，每一年进行一次槽车转运，转运时先将待转运废液泵送至中间罐中，再由中间罐泵送至槽车中，运输至新三废处理中心净化处理。设置 2 个有效容积为 15m³的方形水泥贮槽用于洗消废液和淋浴废液的处理，当活度浓度小于 10Bq/L，达到排放标准时，排入厂房工业下水管道。经过检测未排放标准时，泵送至备用贮槽暂存，通过槽车运输至新三废处理中心净化处理。

能源方面，项目单位运行期间需用水、电等能源，年耗量见表 7.2-1。

表 7.2-1 项目运行期间能源消耗情况一览表

名称	总用量	来源	主要化学成分
电能	电气设备总安装功率为 2360kW	园区供电系统	/
水	11.87m ³ /d	园区给水管网	H ₂ O

7.2.2 经济代价

经济代价主要包括以下三个方面的成本：

(1)建筑场地成本；

(2)设备投资成本；

(3)环保投资：包含环保设施、环境管理、环境监测及事故防范措施等费用。

本项目总投资 9691 万元，合计投入约 808 万元，环保投资占总投资的 8.3%。本项目拟采取的污染防治（辐射防护）措施及环保投资估算见表 7.2-2。

表 7.2-2 项目拟采取的污染防治（辐射防护）措施及环保投资一览表

项目	污染物及其防治（辐射防护）措施	投资 (万元)	备注
辐射安全防护措施	辐射工作场所辐射防护分区	50	所有辐射 工作场所
	放射性标志	1	
	通风系统	120	
辐射安全 防护设备	碘-125 生 产线	屏蔽工作箱（5 个）	60
	碳-14 生 产线	屏蔽工作箱（2 个）	30
		热室（1 个）	/
	磷-32 生 产线	屏蔽工作箱（5 个）	50
	镅-177 生 产线	屏蔽工作箱（6 个）	60
		热室（1 个）	/
	镅-223 生 产线	屏蔽工作箱（6 个）	60
	钷-90 生 产线	屏蔽工作箱（5 个）	50
¹⁸⁸ W- ¹⁸⁸ Re 发生器生 产线	屏蔽工作箱（5 个）	50	
	热室（1 个）	/	纳入主体 工程建设
钷-166 生 产线	屏蔽工作箱（4 个）	40	
辐射防护设备	西林瓶与配套铅罐若干个	10	
	靶件转运屏蔽铅罐 3 个	10	
	10m ³ 放射性废液贮槽 3 个	30	
	30m ³ 洗消废液贮槽 2 个	40	

	EJ1076-VIII A 型屏蔽废物包装箱 1 个	6	
辐射安全管理	辐射工作人员培训、辐射工作场所管理及单位辐射安全与管理制度的修订完善等管理措施	5	
	工作人员辐射防护用品（个人剂量计、个人剂量报警器、铅围裙、铅手套、铅眼镜、工作服装、工作帽、工作鞋、工作袜、特殊口罩等）	20	
辐射监测	辐射监测仪器：便携式 γ 测量仪、 α 、 β 表面沾污仪、个人剂量报警器、沾污仪、活度计、X、 γ 通用计量仪	50	
	区域 γ 辐射监测系统、空气取样系统、手脚污染监测仪	50	
风险防范措施	辐射工作场所应急物品：包括应急监测仪器，应急器材，应急警戒、公告用品，应急救护用品和应急通讯工具等	5	
非放射性废水治理	工作人员生活污水经污水管网排入园区污水处理站进行处理	8	
非放射性固体废物处置	工作人员生活垃圾由环卫部门统一集中收集后处理	3	
合计	/	808	

7.2.3 环境代价

海同公司的同位素及药物研制大楼建设项目的环境代价主要为项目运行期间向环境排放的放射性气载流出物和放射性液态流出物，项目运行期间产生和向环境排放的放射性气载流出物、放射性液态流出物及放射性固体废物量见表 7.2-3。

表 7.2-3 项目运行期各类放射性废物年产生量和向环境排放量一览表

废物种类		年产生量	年排入环境量
放射性废物	放射性气载流出物	$7.45 \times 10^8 \text{Bq/a}$	$7.45 \times 10^8 \text{Bq/a}$
	放射性液态流出物	$2.4 \times 10^{12} \text{Bq/a}$	$2.4 \times 10^{12} \text{Bq/a}$
	放射性固体废物	$2.24 \times 10^{12} \text{Bq/a}$	0
非放射性废物	废水	生活污水	$698 \text{m}^3/\text{a}$
	固体废物	废试剂瓶、废劳保用品、生活垃圾	0

通过理论估算，项目运行期间的排风通过预过滤器和高效空气粒子过滤器后，经中试楼南侧 60m 高的烟囱排入环境的放射性气载流出物所致 3km 评价范围内公众剂量为：评价范围内公众最大个人年有效剂量为 $1.0 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ 。

8 条生产线放射性废液的年产生总量约为 8.12 m^3 ，每一年进行一次槽车转

运，转运时先将待转运废液泵送至中间罐中，再由中间罐泵送至槽车中，运输至新三废处理中心净化处理。设置 2 个有效容积为 15m^3 的方形水泥贮槽用于洗消废液和淋浴废液的处理，当活度浓度小于 10Bq/L ，达到排放标准时，排入厂房工业下水管道。经过检测未排放标准时，泵送至备用贮槽暂存，通过槽车运输至新三废处理中心净化处理。项目运行期间排入环境的放射性液态流出物所致评价范围内公众剂量为：评价范围内公众最大个人年有效剂量为 $9.15 \times 10^{-11}\text{mSv/a}$ 。

项目运营期间产生的放射性固体废物在临时收集点处理后，通过吊车运送至厂区内的固废暂存间，装入屏蔽箱中由专用运输车运送至核动力院一号点暂存库，不外排进入环境，不对项目所在区域环境造成影响。

此外，项目产生的生活垃圾定期送往环卫部门指定地点，由环卫部门定期清运；项目产生的生活污水经园区污水管网，排入园区工业污水处理厂，对水环境的影响较小。

综上所述，通过对同位素及药物研制大楼建设项目的利益和代价的简要分析，考虑经济、社会、环境各方面的因素，利益大于代价，符合 GB18871-2002 规定的“实践的正当性”，说明本项目满足正当性要求。

第八章 结论与建议

8.1 项目工程概况

项目建设地点位于规划的夹江核技术应用产业园内，项目占地面积约 5496m²，建筑面积约 10500m²。本项目同位素及药物研制大楼建设项目包括中试楼（生产 11 类医用放射性同位素和放化实验室）；研发楼（设非放实验室），配套建设包材试剂库房、大门及值班室等辅助设施。项目生产并销售碘^[125I]化钠溶液、碳^[14C]酸钡固体、氯化镱^[177Lu]溶液、有载体磷^[32P]酸钠溶液、无载体磷^[32P]酸钠溶液、磷^[32P]玻璃微球固体、^{223RaCl₂} 溶液、^{188W-188Re} 发生器、^{188ReCl₃} 溶液、^{90Y} 溶液、铥^[166Ho]聚乳酸微球等 11 类医用放射性同位素。其中 I-125 年最大操作量 1.11×10¹⁵Bq（30000Ci），C-14 年最大操作量 7.4×10¹²Bq（200Ci），P-32 年最大操作量 8.325×10¹³Bq（2250Ci），Lu-177 年最大操作量 3.7×10¹⁴Bq（10000Ci），Ra-223 年最大操作量 1.85×10¹²Bq（50Ci），Y-90 年最大操作量 2.22×10¹²Bq（60Ci），^{188W-188Re} 年最大操作量 1.85×10¹³Bq（500Ci），Ho-166 年最大操作量 1.48×10¹⁴Bq（4000Ci）。中试楼属于甲级非密封放射性物质工作场所。项目总投资 9691 万元，环保投资 808 万元。

该项目符合国家现行产业政策和当地规划，项目能够带来良好的社会效益和产生较好的经济效益；在采取了设计的辐射安全防护措施以及三废治理措施后，项目运行所产生的辐射危害是很小的，完全满足国家标准要求。该项目具有实践的正当性。

8.2 辐射安全与防护

项目中试楼生产线及放化实验室设计使用热室、屏蔽工作箱来操作放射性核素，工作箱的屏蔽设计和密闭设计满足相关标准要求，可使对操作人员的辐射影响满足国家标准要求并达较低水平；工作场所合理划定控制区与监督区进行管理，人流与物流路径分离，可尽量限制放射性污染范围。针对运行产生的放射性废气、废水和固体废物，项目设计或依托有完善的收集、处理、排放（或暂存）设施，可使放射性废气和废液能得到较好的净化处理，确保通过流出物途径进入环境的放射性物质尽可能少，对公众的辐射影响满足国家标准要求并达相当低的

水平；可使放射性固体废物能得到妥善的整备包装，并安全暂存于放射性废物暂存库中直至最终的安全处置，确保不释入环境产生辐射危害。本项目拟采取的辐射安全与防护措施是可行的。

8.3 环境影响分析

(1) 辐射环境影响分析结论

本项目操作非密封放射性物质，主要是通过放射性流出物途径对公众产生辐射影响。剂量估算结果表明，放射性流出物所致 500m 范围内公众个人有效剂量最大值为 $1.0 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ ，远低于 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定的 1mSv/a 公众照射剂量限值，也低于本次评价确定的 0.1mSv/a 的公众剂量约束值。项目运行对公众的辐射影响很小，是可以接受的。

本项目对工作人员的照射剂量最大值为 4.97mSv/a ，远低于 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定的 20mSv/a 的职业照射剂量限值，也低于本次评价确定的 10mSv/a 职业照射剂量控制值，项目运行对工作人员的照射剂量满足国家标准要求。

(2) 非放环境影响分析结论

项目运行产生生活污水经园区污水管网进入园区工业污水处理厂，普通生产废水通过沉淀后重复使用。项目运营期的固体废物主要包括生活垃圾、金属切屑、废酸性溶液，生活垃圾由夹江县市政环卫部门定时清运；金属切屑作为一般工业废物外售回收处理；废酸性溶液属于危险废物，交由资质的单位进行处理。本项目没有高噪声设备。综上，项目对非放射性环境影响甚微。

8.4 辐射安全管理

项目单位海同公司设有健全的辐射安全与环境保护管理机构。海同公司安防环保部负责全院所有辐射实践活动的辐射安全与环境保护工作。辐射安全与环境保护管理机构的设置满足要求。

本项目拟配置辐射工作人员 70 名，项目单位承诺辐射工作人员将组织安排培训，人员持证上岗。在此基础上本项目辐射工作人员的配置满足要求。

本项目拟制定《辐射事故应急预案》，预案内容包括：相关机构及其职责、应急响应措施等，本项目辐射事故应急预案是可行的。

本项目设置相应的辐射剂量监测手段并拟制定相应的监测制度。工作人员个人剂量监测执行《个人剂量监测与数据管理规定》，该计划规定的监测内容和频次符合相关标准要求，可满足本项目需求；工作场所的监测执行《工作场所辐射监测计划》，工作场所监测可满足要求；流出物监测和环境监测执行现行的《放射性流出物检测与排放管理规定》，可满足本项目要求。

8.5 建议和承诺

(1)在项目投运前完成对辐射工作人员的辐射安全培训，并保持对工作人员进行安全生产和环境保护（包括辐射防护）方面的持续教育。

(2)在项目投运前完成辐射安全管理规章制度的新增及完善工作，并随国家辐射安全与环境保护方面法律法规的更新，及时组织修订各项辐射安全与防护管理制度。

(3)医用放射性同位素只能销售给持有辐射安全许可证的单位，并在转入单位的辐射安全许可证规定的种类和范围内。

(4)项目单位应按照环境保护部令第 3 号《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第四十二条之规定编写辐射防护安全与防护状况年度评估报告，于每年 1 月 31 日前报送辐射安全许可证发证机关。

8.6 项目竣工验收检查内容及要求

8.6.1 项目竣工验收检查内容

表 8.7-1 项目竣工验收检查对照表

类别	名称	内容
辐射防护设施	中试楼	建筑物： 为现浇钢筋混凝土结构，隔墙为 240mm 实心砖，屋顶及地面为 120/150mm 现浇钢筋混凝土。
		热室/屏蔽工作箱/手套箱： (1)I-125 生产线：5 套，1~4#前板碳钢厚 100mm，后板、顶板、底板、侧板厚 75mm；5#前板碳钢厚 75mm，后板、顶板、底板、侧板厚 50mm；窥视窗屏蔽相当于 75mm 的碳钢； (2)C-14 生产线：4 套，RS1 热室前板为 1000mm 重混，后板、顶板、底板、侧板为 600mm 重混，窥视窗屏蔽相当于 1000mm 的重混；1#箱体前板为 150mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 100mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 150mm 的碳钢；2#箱体前板为 150mm，碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 50mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 150mm 的碳钢； (3)P-32 生产线：5 套，1-4#箱体前板为 150mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 100mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 150mm 的碳钢；5#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢； (4)Lu-177 生产线：7 套，RS2 热室前板为 1000mm 重混，后板、顶板、底板、侧板为 600mm 重混，窥视窗屏蔽相当于 1000mm 的重混；1-5#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢；6#箱体前板为 75mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 50mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 75mm 的碳钢； (5)Ra-223 生产线：6 套，1-5#箱体前板为 150mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 100mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 150mm 的碳钢；6#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢； (6)Y-90 生产线：5 套，1-4#箱体前板为 150mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 100mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 150mm 的碳钢；5#箱体前板为 100mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 75mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 100mm 的碳钢； (7)钨铍发生器生产线：6 套，RS3 热室前板为 1000mm 重混，后板、顶板、底板、侧板为 600mm 重混，窥视窗屏蔽相当于 1000mm 的重混；1-4#箱体前板为 250mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 150mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 250mm 的碳钢；5#箱体前板为 150mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 100mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 150mm 的碳钢； (8)Ho-166 生产线：4 套，箱体前板为 250mm 碳钢，后板、顶板、底板、侧板为 150mm 碳钢，窥视窗屏蔽相当于 250mm 的碳钢；
辐射安全设施及其他	中试楼	场所分区布局具有相应措施/标识；入口处电离辐射警示标识；配备卫生通过间；易去污的工作台面和防污染覆盖材料。
	其他	联合工作服 70 套；个人防护用品 70 套；去污用品和试剂；必备的警示标志和标识线；应急处理工具（放射性同位素应急包装容器、长柄夹具等）。
监测设备	中试楼	固定式 γ 监测仪 50 套；便携式 γ 监测仪 1 套。
		全身表面污染监测仪 1 套；手脚沾污仪 2 套。 分布式气溶胶取样仪 2 套；便携式气溶胶取样仪 2 台；移动式 α 、 β 气溶胶连续测量仪 1 套。
	其他	热释光剂量计 140 个；指环热释光剂量计 24 个；个人剂量报警仪 70 个。
三废处置	放射性废气	通风设施： 保证气流方向从“净区”到“脏区”，各不同分区之间维持一定负压，放射性区域排风经过滤处理后经烟囱高空排放。本项目中试楼设有 x 套送排风系统。放射性废气处理装置包括管式排风净化装置，对废气的处理效

		率为 85%，高效粒子过滤器（含预过滤器、高效粒子过滤器两部分），对废气的过滤效率为 99%。中试楼放射性排风通过烟囱高空排放，排风塔高 60 m。
	放射性废液	中试楼负一层设有放射性废液收集间一间，面积为 61.2m ² 。 放射性废液收集和暂存容器： 8 条生产线放射性废液的年产生总量约为 8.12 m ³ ，每一年进行一次槽车转运，转运时先将待转运废液泵送至中间罐中，再由中间罐泵送至槽车中，运输至新三废处理中心净化处理。设置 2 个有效容积为 15m ³ 的方形水泥贮槽用于洗消废液和淋浴废液的处理，当活度浓度小于 10Bq/L，达到排放标准时，排入厂房工业下水管道。经过检测未排放标准时，泵送至备用贮槽暂存，通过槽车运输至新三废处理中心净化处理。
	放射性固体废物	中试楼二层设有固体废物暂存间一间，面积为48.5m ² 。 放射性固废收集和暂存容器： 放射性固体废物在专用贮存容器内分类贮存，配备足够数量的EJ1076-VIII A型屏蔽废物包装箱，为碳钢50mm；
	非放射性废水	生活污水 排入园区污水管网。
	非放射性固体废物	研发楼研发试验中产生酸性废液等 危险废物 暂存于包材试剂库房的危险品库房，危险品库房为重点防渗区。
规章制度	综合	《辐射安全管理规定》。
	放射性物质	《物料平衡管理规定》；《放射性物质管理规定》（购买、领用、保管、盘存）；《非密封放射性物质管理规定》（购买、领用、保管、盘存）；《放射性废物收贮管理规定》。
	销售	《放射性同位素销售及进出口管理制度》；《放射性同位素台帐管理制度》。
	工作场所	《场所分区管理规定》（含人流、物流路线图）；《操作规程》（操作、贮存及包装等）；《去污操作规程》；《保安管理规定》；《安全防护设施的维护与维修制度》（包括机构人员、维护维修内容与频度、重大问题管理措施、重新运行审批级别等）。
	监测	《监测方案》；《监测仪表使用与检验管理制度》；《放射性货包监测制度》。
	人员	《辐射工作人员培训/再培训管理制度》；《辐射工作人员个人剂量管理制度》。
规章制度	应急	《辐射事故/事件应急预案》。
	三废	《放射性“三废”管理规定》。
	包装运输	《包装整备管理规定》；《运输管理规定》。

8.6.2 项目竣工验收检查要求

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）规定，建设单位是建设项目竣工环境保护验收的责任主体，应当按照规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用，并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

验收报告分为验收监测报告、验收意见和其他需要说明的事项等三项内容。

验收的程序和内容：建设项目竣工后，建设单位应当如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收监测报告。

公示：除按照国家需要保密的情形外，建设单位应当通过其网站或其他便于公众知晓的方式，向社会公开下列信息：

（一）建设项目配套建设的环境保护设施竣工后，公开竣工日期；

（二）对建设项目配套建设的环境保护设施进行调试前，公开调试的起止日期；

（三）验收报告编制完成后 5 个工作日内，公开验收报告，公示的期限不得少于 20 个工作日。

建设单位公开上述信息的同时，应当向所在地县级以上环境保护主管部门报送相关信息，并接受监督检查。

验收期限：本项目环境保护设施的验收期限不超过 6 个月。验收期限是指自建设项目环境保护设施竣工之日起至建设单位向社会公开验收报告之日止的时间。

验收报告公示期满后 5 个工作日内，建设单位应当登录全国建设项目竣工环境保护验收信息平台（网址为 <http://47.94.79.251>），填报建设项目基本信息、环境保护设施验收情况等相关信息，环境保护主管部门对上述信息予以公开。

建设单位应当将验收报告以及其他档案资料存档备查。