

核技术利用建设项目

**放射性药物创新平台与产业化
技改项目（三期）
环境影响报告书**

（公示本）

成都纽瑞特医疗科技股份有限公司

2022年9月

生态环境部监制

目 录

第一章 概述	1
1.1 项目名称、地点.....	1
1.2 项目概况.....	1
1.3 编制依据.....	21
1.4 评价标准.....	25
1.5 评价范围和保护目标.....	29
1.6 评价工作程序.....	36
第二章 自然环境与社会环境状况	37
2.1 自然环境状况.....	37
2.2 社会经济状况.....	39
2.3 环境质量和辐射现状.....	40
2.4 场址适宜性评价.....	50
第三章 工程分析与源项	54
3.1 项目规模与基本参数.....	54
3.2 工程设备与工艺分析.....	63
3.3 污染源项.....	68
3.4 废弃物.....	86
第四章 辐射防护与安全措施	103
4.1 场所布局与屏蔽.....	103
4.2 辐射安全与防护措施.....	109
4.3 三废治理.....	119
4.4 服务期满后的环境保护措施.....	132
第五章 环境影响分析	134
5.1 建设阶段对环境的影响.....	134
5.2 运行阶段对环境的影响.....	139
5.3 事故影响分析.....	181
第六章 辐射安全管理	187
6.1 机构与人员.....	187

6.2 辐射安全管理规章制度	188
6.3 辐射监测	191
6.4 辐射事故应急	199
6.5 从事辐射活动能力综合分析	203
第七章 利益-代价简要分析	208
7.1 利益分析	208
7.2 代价分析	209
7.3 正当性分析	213
第八章 结论与建议	215
8.1 项目工程概况	215
8.2 辐射安全与防护	216
8.3 环境影响分析	217
8.4 辐射安全管理	219
8.5 公众参与	219
8.6 建议和承诺	219
8.7 竣工验收要求	220

第一章 概述

1.1 项目名称、地点

1.1.1 项目名称

放射性药物创新平台与产业化技改项目（三期）

1.1.2 建设地点

本项目位于四川省成都市双流区西航港经济开发区空港三路 999 号（坐标：东经 103°58'28.27"，北纬 30°29'55.27"）。

1.2 项目概况

1.2.1 建设单位概况

成都纽瑞特医疗科技股份有限公司（以下简称“成都纽瑞特”，统一社会信用代码：91510122MA61U3Q22C）成立于 2016 年 4 月，原为成都纽瑞特医疗科技有限公司（2018 年 2 月更名为：成都纽瑞特医疗科技股份有限公司）成都纽瑞特拥有一批具有放射化学、核医学、核技术应用专业学术背景和丰富管理经验的核心团队（现有员工 120 余人，其中研发人员 70 余人，其中：中国工程院院士 1 人、省级学术和技术带头人 2 人，研究员（教授）10 余人，博士 10 余人，硕士 40 余人），是目前国内放射性药物研发行业具有创新力的科技型企业之一。成都纽瑞特着力构建国际一流的放射性药物创新研究与开发平台，打造核医药产业链，通过科技创新驱动产业快速发展，开发临床急需的一类新药，同时开展仿制药的开发工作。建设目标为：建设放射性药物生产线；构建国内一流的放射性药物检验研究中心、放射性药物药理毒理研究及同位素标记药物研究平台。已建成有先进的放射性药物研发实验室、检验中心、中试车间、生产线和动物实验室；拥有多个生态环境部批准的甲级、乙级、丙级非密封放射性物质工作场所；拥有四川省实验动物管理委员会颁发的“实验动物使用许可证”，2020 年认定为“准独角兽企业”，2021 年认定为“总部企业”、“高新技术企业”，并荣获“第六届中国创新创业大赛生物医药行业十二强”、“四川省创新创业大赛特等奖”等荣誉。

1.2.2 项目由来

2016 年 2 月成都纽瑞特与成都华高瑞甜生物技术有限公司签订了项目及资产转让协议书，购入原成都华高瑞甜生物技术有限公司的“年产 500 吨高纯 RA 项目”闲置

同位素与射线装置防护条例》等相关法律法规要求，建设单位须对该项目进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理目录》（2021版），本属于“甲级非密封放射性物质工作场所”的核技术利用项目，应编制环境影响报告书。为此，建设单位委托四川省核工业辐射测试防护院（四川省核应急技术支持中心）（以下简称“评价单位”）对该项目进行环境影响评价工作。评价单位接受成都纽瑞特委托后，通过现场勘察、现场监测和资料收集等工作，结合本项目的特点，按照国家有关标准、技术规范要求，编制完成《放射性药物创新平台与产业化技改项目（三期）项目环境影响报告书》。

1.2.3 建设内容概况

1.2.3.1 建设性质：改扩建

1.2.3.2 项目总投资：4600 万元

1.2.3.3 工程占地情况

本项目是在已有占地范围内进行改扩建，不涉及新增占地，厂区总占地面积 20285.14m²，目前项目已取得成都市双流区规划和自然资源局颁发的《不动产权证书》（川（2021）双流区不动产权第 0019885 号），项目用地属于工业用地。

1.2.3.4 建设内容

本项目涉及改造和设计变更的场所包括：生产大楼（2 号楼）2 车间 2-1、2-6、2-7 生产线，质检大楼（1 号楼）放射性药物检验研究中心、放射性药物研发实验室三；新建场所包括：生产大楼（2 号楼）4 车间 4-1、4-2、4-3 生产线，具体建设内容如下：

（1）放射性药物生产 2 车间

①2-1 生产线

对生产大楼（2 号楼）一层已建设投运的 2-1 生产线进行改造，将原碘-131 胶囊生产线改造为碘-131 胶囊、碘-123 胶囊、碘-131 标记、碘-123 标记药物生产线，改造后碘-131 日最大操作量为 $6.882 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $3.33 \times 10^{13} \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $5.217 \times 10^{13} \text{Bq}$ ；碘-123 日最大操作量为 $1.5503 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.48 \times 10^{12} \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $3.071 \times 10^{13} \text{Bq}$ 。

②2-6 生产线

对生产大楼（2 号楼）一层批复未建设的 2-6 生产线进行设计变更，将原

$\text{Na}_2^{99\text{m}}\text{TcO}_4$ 生产线变更为镱-177 标记药物生产线，变更后日最大操作量为 $4.44 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $4.44 \times 10^{13}\text{Bq}$ ，年最大操作量为 $8.88 \times 10^{13}\text{Bq}$ 。

③2-7 生产线

对生产大楼（2 号楼）一层批复未建设的 2-7 生产线进行设计变更，将原 $\text{Na}_2^{99}\text{MoO}_4$ 生产线变更为钷-90 标记药物生产线，变更后日最大操作量为 $1.295 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.295 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，年最大操作量为 $1.85 \times 10^{14}\text{Bq}$ 。

生产大楼(2 号楼)2 车间通过改造、变更后总的日等效最大操作量为 $4.52 \times 10^{15}\text{Bq}$ ，属于甲级非密封放射性物质工作场所。

(2) 放射性药物生产 4 车间

①4-1 生产线

生产大楼（2 号楼）一层新建 4-1 生产线，生产钼钨发生器和锆镓发生器，钼-99 日最大操作量为 $7.4 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，日等效操作量为 $7.4 \times 10^{14}\text{Bq}$ ，年最大操作量 $7.4 \times 10^{13}\text{Bq}$ ；钨-99m 日最大操作量为 $7.4 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，日等效操作量为 $7.4 \times 10^{13}\text{Bq}$ ，年最大操作量 $7.4 \times 10^{13}\text{Bq}$ ；锆-68 日最大操作量为 $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，日等效操作量为 $3.7 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，年最大操作量 $1.85 \times 10^{12}\text{Bq}$ ；镓-68 日最大操作量为 $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，日等效操作量为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，年最大操作量 $1.85 \times 10^{12}\text{Bq}$ 。

②4-2 生产线

生产大楼（2 号楼）一层新建 4-2 生产线，生产镱-177、钨-99m 标记药物和镱-177 原料，其中镱-177 日最大操作量为 $2.00 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $2.00 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，年最大操作量为 1.18×10^{14} ；钼-99 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 $3.72 \times 10^{13}\text{Bq}$ ；钨-99m 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 $7.44 \times 10^{13}\text{Bq}$ 。

③4-3 生产线

生产大楼（2 号楼）一层新建 4-3 生产线，生产锶-225 和碲-211 标记药物，其中锶-225 日最大操作量为 $1.04 \times 10^9\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.04 \times 10^{13}\text{Bq}$ ，年最大操作量为 $2.07 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，碲-211 日最大操作量为 $1.04 \times 10^9\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.04 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，年最大操作量为 $5.18 \times 10^{10}\text{Bq}$ 。

生产大楼（2 号楼）4 车间新建后总的日等效最大操作量为 $8.30 \times 10^{14}\text{Bq}$ ，属于甲级非密封放射性物质工作场所。

（3）放射性药物检验研究中心

由于涉及对本次新增放射性药物的检验，需对质检大楼（1号楼）一层原已许可内容进行增项和增量，最终场所涉及使用的非密封放射性物质包括：钬-89、钷-90、氙-133、铊-201、钷-277、钨-99m、钨-99、铈-90、铈-89、钷-153、铈-186、镭-224、镭-223、磷-32、钼-99、钨-177、铟-111、碘-131、碘-125、氙-3、锆-68、镓-68、氟-18、铜-64、铬-51、碳-14、碘-123、铟-225、碲-211、铯-161，总的日等效最大操作量为 $3.94 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

（4）放射性药物研发实验室三

对质检大楼（1号楼）二层已建设投运的放射性药物研发实验室三进行改造，并对原许可内容进行增项和增量，涉及使用的非密封放射性物质包括：钷-90、镓-68、钬-89、碘-131、钨-177、铟-225、铯-161，总的日等效最大操作量为 $1.67 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于丙级非密封放射性物质工作场所。

1.2.4 产业政策符合性

本项目系核技术用于放射性药物领域，根据《产业结构调整指导目录（2019年本）》，本项目属于该指导目录中鼓励类第六项“核能”中第6条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”。

本项目不属于国家发展改革委、商务部印发的《市场准入负面清单（2020年版）》（发改体改规[2020]1880号）中规定的禁止准入类与许可准入类事项，为准入行业。

本项目已取得成都市双流区新经济和科技局《四川省技术改造投资项目备案表》（备案号：川投资备【2205-510122-07-02-797042】JXQB-0352号），项目建设符合现行国家产业政策。

1.2.5 规划符合性分析

（1）与《医用同位素中长期发展规划（2021-2035）》符合性分析

2021年5月，国家原子能机构、科技部、公安部、生态环境部、交通运输部、国家卫生健康委、国家医疗保障局、国家药品监督管理局等8部委联合发布了《关于印发〈医用同位素中长期发展规划（2021-2035）〉的通知》（国原发[2021]2号），将放射性药物研发作为重点任务，指出“针对国外已应用于临床的放射性诊疗药物，加强技术研发力度，获得一批具备自主知识产权的放射性新药。针对严重威胁人类健康的恶性肿瘤，开展具有精准靶向性、生物活性的多肽、抗体类放射性新药研发。”

加快新型介入给药技术和剂量控制技术研究，提升放射性药物效能。”本项目涉及新型放射性药物碘^[123I]-多肽、碘^[123I]胶囊、碘^[131I]胶囊、碘^[131I]标记小分子、镱^[177Lu]-多肽、钇^[90Y]-单抗、钇^[90Y]-微球、钼铱发生器、锗镓发生器、镱^[177Lu]-单抗、锕^[225Ac]-单抗/多肽、砒^[211At]-单抗/多肽的研发和生产，符合《医用同位素中长期发展规划（2021-2035）》。

（2）与四川双流经济开发区扩展区（工业集中发展区 B 区）规划符合性分析

本项目位于四川双流经济开发区扩展区（工业集中发展区 B 区）内，四川双流经济开发区扩展区地处成都市南部、双流区城市规划区中部，属于双流城市有机组成部分。规划区位于航空港片区和华阳片区之间，处于黄甲大道与双黄路之间，西临黄甲大道，南至正公路，东至双黄路，北到规划 20 米道路，距成都市区 5 千米，规划区面积 19 平方千米。

四川省国环环境工程咨询有限公司于 2011 年 10 月编制完成了《四川双流经济开发区扩展区规划环境影响报告书》，四川省环境保护厅于 2011 年 8 月 17 日对该报告书下达了审查意见，审批文号为“川环建函[2011]303 号”。

此外，根据成都市及双流区规划（2020 年），对于四川双流经济开发区扩展区（工业集中发展区 B 区）的发展定位为“以新能源、电子信息为主。另外，考虑双流区经济发展和规划区产业链延伸，规划区同时发展机械制造业、新材料、建筑材料（不含水泥制品）等产业。”禁止发展产业为：①制浆造纸等废水排放量大的企业；②金属冶炼等大气污染物排放量大的企业；③皮革、印染等企业；④不符合国家产业政策的企业。

本项目属于医用同位素的生产及应用，属于民用非动力核技术应用项目，在运营期严格执行相应的环境保护措施，对周围环境影响较小，不属于四川双流经济开发区扩展区禁止和限制类项目。本项目在成都纽瑞特医疗科技股份有限公司现有厂区内建设，不新增占地，同时成都市双流区西南航空港经济开发区管理委员会出具了建设单位入园证明，同意入园，本项目与四川双流经济开发区扩展区（工业集中发展区 B 区）规划相符。

1.2.6 与“三线一单”符合性分析

根据生态环境部《关于以改善环境质量为核心加强环境影响评价管理的通知》（环环评[2016]150 号）的要求，建设项目选址选线、规模、性质和工艺路线等应与

“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”（以下简称“三线一单”）进行对照。《成都市人民政府关于落实生态保护红线、环境质量底线资源利用上线制定生态环境准入清单实施生态环境分区管控的通知》（成府发[2021]8号）对落实生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线，制定生态环境准入清单（简称“三线一单”），建立生态环境分区管控体系并监督实施提出了要求。

1.2.6.1 生态保护红线



图 1.2-1 本工程与成都市生态红线位置关系图

根据《成都市人民政府关于落实生态保护红线、环境质量底线资源利用上线制定生态环境准入清单实施生态环境分区管控的通知》（成府发[2021]8号）及《长江经济带战略环境评价 四川省成都市“三线一单”生态环境分区管控优化完善研究报告》，本工程评价范围内均不涉及重点生态功能区、生态敏感脆弱区、自然保护区、饮用水水源保护区及其他应划入生态保护红线范围内的区域，本工程与生态红线保护区相对位置关系见图 1.2-1。同时本项目不涉及成都市一般生态空间。

1.2.6.2 环境质量底线

环境质量底线是国家和地方设置的大气、水和土壤环境质量目标，也是改善环

境质量的基准线。本项目所在区域属于大气环境高排放重点管控区、水环境工业污染重点管控区、水环境工业污染重点管控区、建设用地污染风险重点管控区。

本项目位于四川双流经济开发区，项目所在片区废水经华阳污水处理厂处理后排入锦江，地表水环境执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中Ⅲ类水域标准，大气执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准，声环境执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）3类标准，项目运营期产生的大气污染物为放射性气态流出物，通过采取高效过滤装置过滤后排入大气环境，对大气环境影响较小，目前项目所在区域环境空气质量能满足二级标准要求；项目运营期产生的废水为含放射性核素的废水，其中短半衰期废水经贮存衰变，经监测达标后依托工业园区已有污水管网，接入华阳污水处理厂，处理达标后最终排入锦江，长半衰期废水单独收集暂存不外排，达到一定量后交由有资质单位收集处置，对地表水环境影响较小，目前锦江地表水水质满足Ⅲ类水域标准；项目运营期产生的短半衰期放射性固体废物通过暂存衰变后作为一般固体废物处置，长半衰期放射性固体废物单独收集不外排，对环境的影响较小。同时根据现状监测及环境影响预测结果，项目所在区域的辐射环境现状及运营期的辐射环境影响均满足标准要求。因此，本项目的建设未突破区域的环境质量底线。

1.2.6.3 资源利用上限

资源利用上限是各地区能源、水、土地等资源消耗不得突破的“天花板”。本项目所在区域属于水资源一般管控区、不涉及高污染燃料禁燃区和土地资源重点管控区。

本项目消耗的能源以电能为主，属于清洁能源，运行期新增用水量仅 7.93t/d；同时本项目均在已有厂区内进行建设，不新增占地，符合资源利用上限要求。

1.2.6.4 环境准入

根据《成都市人民政府关于落实生态保护红线、环境质量底线资源利用上线制定生态环境准入清单实施生态环境分区管控的通知》（成府发[2021]8号）及《长江经济带战略环境评价 四川省成都市“三线一单”生态环境分区管控优化完善研究报告》，本工程所在区域不涉及优先保护管控单元和一般管控单元，但涉及四川双流经济开发区工业重点管控单元（管控单元编码：ZH51011620004），该区域空间布局约束、污染物排放管控、环境风险管控、资源开发效率符合性分析对照情况见表 1.2-1，

本项目与成都市重点管控单元位置关系见图 1.2-2。

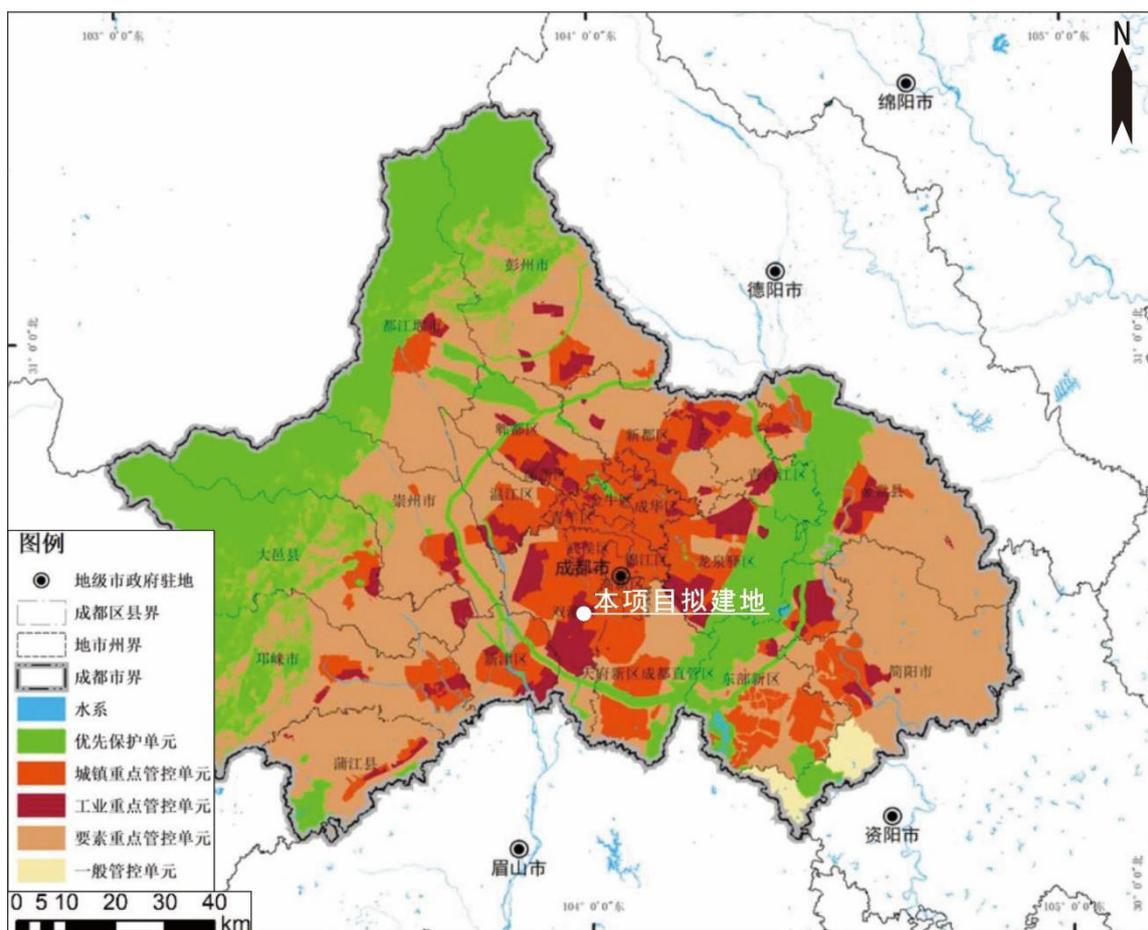


图 1.2-2 本工程与重点管控单元位置关系图

表 1.2-1 本项目生态环境准入符合性对照分析清单

“三线一单”的具体要求				项目对应情况介绍	符合性分析
类别		对应管控要求			
四川双流 经济开发 区 (ZH5101 1620004)	普适 性清 单管 控要 求	空间 布局 约束	禁止开发建设活动要求	根据《产业结构调整指导目录（2019年本）》，本项目属于该指导目录中鼓励类第六项“核能”中第6条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”。不涉及新建燃煤设施，且项目所在位置不在本市规划已确定的通风廊道区域内。	符合
			限值开发建设活动要求		

“三线一单”的具体要求				项目对应情况介绍	符合性分析
类别		对应管控要求			
			<p>行业产能。</p> <p>(3) 严控列入国家产能过剩的项目，继续化解过剩产能，严禁钢铁、水泥、电解铝、平板玻璃等行业新增产能，对确有必要新建的必须实施等量或减量置换。</p>	不涉及	符合
		不符合空间布局要求活动的退出要求	<p>(1) 现有属于禁止引入产业门类的企业，原则上限制发展，污染物排放只降不增，允许以提升安全、生态环境保护水平为目的的改建，引导企业结合产业升级等适时搬迁。</p> <p>(2) 加快布局分散的企业向园区集中，鼓励现有工业项目、化工项目分别搬入工业集聚区、化工产业集聚区。</p> <p>(3) 工业生产中可能产生恶臭气体但未按要求设置合理防护距离的排污单位，引导企业适时搬迁。</p> <p>(4) 建立发现一起，整治一起长效机制，实现“散乱污”经营主体动态清零。</p>		
		污染物排放管控	<p>现有源提标升级改造</p> <p>(1) 污水收集处理率达 100%；排放标准根据流域及其水质现状等提出相应标准。岷江、沱江流域现有及扩建工业园区污水处理厂执行《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》（DB51/2311-2016）。</p> <p>(2) 加快推进钢铁、平板玻璃、水泥等重点行业超低排放改造；加快推进涉挥发性有机物重点行业深度治理。</p> <p>(3) 推广低（无）VOCs 含量原辅材料。进一步提高木质家具制造、包装印刷、医药化工等行业低 VOCs 原辅材料替代率。</p> <p>(4) 全面推进在用锅炉提标改造，按期执行《成都市锅炉大</p>	<p>本项目所在工业园区已建有污水管网，本项目产生的废水由地理式一体化污水处理设施处理后排入园区污水管网，最终排入华阳污水处理厂，处理达《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》（DB51/2311-2016）中工</p>	符合

“三线一单”的具体要求				项目对应情况介绍	符合性分析
类别		对应管控要求			
			气污染物排放标准》(DB51/2672-2020)要求。	业园区集中式污水处理厂标准后,最终排入锦江。	
		新增源等量或倍量替代	参照《关于加强重点行业建设项目区域削减措施监督管理的通知》(环办环评〔2020〕36号)执行。	本项目不涉及	符合
		新增源排放标准限值	严格执行废气、废水、噪声、固体废物等国家、行业和地方污染物排放标准。	本项目运行期主要新增污染源为放射性废水、放射性废气和放射性固体废物,最终新增污染源排放满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《核技术利用放射性废物最小化》(HAD401/11-2020),同时满足本项目提出的各项评价标准。	符合
		污染物排放绩效水平准入要求	(1)电子信息行业、汽车制造行业应分别参考执行成都市电子信息行业资源环境绩效指标、汽车制造行业资源环境绩效指标。 (2)工业固体废弃物利用处置率达100%,危险废物处置率达100%。 (3)推进老旧燃气锅炉和成型生物质锅炉低氮燃烧改造或改电工作。	不涉及	符合

“三线一单”的具体要求				项目对应情况介绍	符合性分析
类别		对应管控要求			
			（4）推进低（无）VOCs 含量源头替代。聚焦工业和服务业、溶剂使用源等 VOCs 重点来源，出台源头替代实施方案，重点推广水性、高固含量、无溶剂、低 VOCs 含量型的涂料、胶粘剂和油墨产品的生产。推进低 VOCs 含量、低反应活性等环境友好型原辅材料和产品的替代。		
	环境 风险 防控	企业环境 风险防控要求	（1）涉及有毒有害、易燃易爆物质新建、改、扩建项目，严控准入要求。 （2）严格涉重金属（铅、汞、镉、铬、砷）企业和园区环境准入管理，新（改、扩）建重点行业建设项目应遵循重金属污染物“减量置换”或“等量替代”的原则。	不涉及	符合
		园区环境 风险防控要求	（1）园区风险防控体系要求：构建三级环境风险防控体系，强化危化品泄漏应急处置措施，确保风险可控。 （2）针对化工园区建立有毒有害气体环境风险预警体系，建立区域、流域联动应急响应体系，实行联防联控。	不涉及	符合
		用地环境 风险防控要求	（1）化工、电镀等行业企业拆除生产设施设备、构筑物 and 污染治理设施，要事先制定残留污染物清理和安全处置方案，要严格按照有关规定实施安全处理处置，防范拆除活动污染土壤。 （2）已污染地块，应当依法开展土壤污染状况调查、治理与修复，符合相关土壤环境质量要求后，方可进入用地程序。 （3）重有色金属冶炼行业、金属表面处理及热处理加工行业、皮革及其制品制造业、化学原料及化学制品制造业、铅酸蓄电	不涉及	符合

“三线一单”的具体要求				项目对应情况介绍	符合性分析
类别		对应管控要求			
	资源 开发 利用 效率		池制造行业等应满足重点重金属排放行业污染治理相关要求，重金属重点行业清洁生产总体上达到国内先进水平，重金属重点排污企业达标排放率达 100%。	不涉及	符合
		水资源利用效率要求	<p>(1) 到 2022 年，万元国内生产总值用水量、万元工业增加值用水量较 2015 年分别降低 30%和 28%。</p> <p>(2) 鼓励引导新建、改建、扩建工业园区按照有关要求统筹建设工业废水集中处理和回用设施，适时推进企业间串联用水、分质用水、一水多用，实现水循环梯级优化利用和废水集中处理回用，创建节水型工业园区。</p> <p>(3) 鼓励火力发电、纺织、造纸、化工、食品和发酵等高耗水企业对废水进行深度处理回用，降低单位产品耗水量。火电、有色、造纸、印染等高耗水行业项目具备使用再生水条件但未有效利用的，要严格控制新增取水许可。</p>		
		能源利用效率要求	<p>(1) 除威立雅三瓦窑热电（成都）有限公司外，禁止贮存、使用燃煤等高污染燃料。</p> <p>(2) 在禁燃区内，禁止销售、燃用高污染燃料，禁止新建、改建、扩建任何燃用高污染燃料的项目和设备，已建成使用高污染燃料的各类设备应当拆除或者改用管道天然气、页岩气、液化石油气、电或者其他清洁能源。</p> <p>(3) 禁止新建、改建（已有锅炉配套治理设施升级改造除外）、扩建燃煤、生物质锅炉（含成型生物质锅炉）。</p> <p>(4) 工业企业单位工业增加值能耗对标国内先进水平及以上；</p>		

“三线一单”的具体要求				项目对应情况介绍	符合性分析
类别		对应管控要求			
单元级清单管控要求			工业园区污染能耗物耗水耗指标满足省级生态工业园区或更高要求等。 (5) 电力、钢铁、纺织、造纸、石油石化、化工、食品发酵等高耗水行业达到先进定额标准。		
	空间布局约束	禁止开发建设活动要求	(1) 禁止引入多晶硅制造（采用多晶硅材料生产下游产品除外）项目； (2) 其余执行工业重点管控单元普适性管控要求。	不涉及	符合
		限值开发建设活动要求	执行工业重点管控单元普适性管控要求。	/	符合
		不符合空间布局要求活动的退出要求	执行工业重点管控单元普适性管控要求。	/	符合
	污染物排放管控	现有源提标省级改造	执行工业重点管控单元普适性管控要求。	/	符合
		新增源等量或倍量替代	执行工业重点管控单元普适性管控要求。	/	符合
		新增源排放标准限值	执行工业重点管控单元普适性管控要求。	/	符合
		污染物排放绩效水平准入要求	执行工业重点管控单元普适性管控要求。	/	符合

“三线一单”的具体要求				项目对应情况介绍	符合性分析
类别		对应管控要求			
	环境 风险 防控	企业环境 风险防控 要求	执行工业重点管控单元普适性管控要求。	/	符合
		用地环境 风险防控 要求	执行工业重点管控单元普适性管控要求。	/	符合
		园区环境 风险防控 要求	执行工业重点管控单元普适性管控要求。	/	符合
	资源 开发 利用 效率	水资源利用 效率要求	执行工业重点管控单元普适性管控要求。	/	符合
		地下水开采 要求	执行工业重点管控单元普适性管控要求。	/	符合
		能源利用效 率要求	执行工业重点管控单元普适性管控要求。	/	符合

综上所述，本项目不涉及成都市生态保护红线，能源消耗、用水和用地较小符合资源利用上限要求，根据预测分析，项目建设运行满足环境质量底线要求，同时符合该区域重点管控单元准入清单要求。因此，本项目的建设符合成都市“三线一单”管控要求。

1.2.7 项目外环境关系

本项目位于四川双流经济开发区扩展区（工业集中发展区 B 区），四川省成都市双流区西航港开发区空港三路 999 号。项目所在厂区南侧紧邻牧华路，北侧 6m 为成都紫光电气设备有限公司、北侧 110m 为四川农大正红生物技术有限责任公司，北侧 160m 为四川环太生物科技股份有限公司，厂区东侧紧邻中加美电子科技产业园空地，东侧约 240m 处为成都铨珏科技有限公司、兴发铝业（成都）有限公司，厂区南侧 300m 为四川汉能光伏有限公司，西侧 25m 为仁宝供水加压站，本项目距离最近集中居民区为西南侧的黄甲镇，直线距离约 1500m，另一处集中居民区为公兴镇，位于项目东南侧 1700m。

1.2.8 原有项目环保手续履行情况

（1）环保手续履行情况

2017 年 12 月建设单位完成“成都纽瑞特医疗科技有限公司放射性药物创新平台与产业化（一期）项目”的环评工作并取得四川省生态环境厅批复（川环审批[2017]325 号），2018 年 10 月首次取得生态环境部核发的《辐射安全许可证》（国环辐证[00480]），2020 年 1 月完成“放射性药物创新平台与产业化（二期）项目”环评并取得环评批复（川环审批[2020]10 号），2020 年 6 月完成“成都纽瑞特医疗科技有限公司放射性药物创新平台与产业化（一期）项目”自主竣工环境保护验收工作，2019 年 4 月~2022 年 12 月建设单位多次对已许可的非密封放射性物质工作场所进行放射性核素增项和增量，并编制了《辐射安全分析评估报告》报生态环境部，《辐射安全许可证》有效期至 2023 年 12 月 31 日，目前建设单位已许可种类和范围：使用 V 类放射源；使用 II 类射线装置；生产、销售、使用非密封放射性物质，甲级、乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。

根据现场调查，建设单位目前仅 2-3 生产线生产放射性药物（锝-99m 标记药物）并对外销售，其余生产线均仅进行放射性药物中试试验，建设单位前期建设内容环保手续履行情况详见表 1.2-2~表 1.2-4。

表 1.2-2 本项目非密封放射性物质工作场所前期环保手续履行情况表

(略)

(2) 现有工程污染物产生及处理情况调查

目前建设单位实际运行的辐射工作场所为2-1生产线、2-2生产线、2-3生产线、动物实验室、放射性药物检验研究中心和放射性药物研发实验室，已运行辐射工作场所其污染物产生及处理情况见表1.2-5。

表 1.2-5 现有工程污染物产生及处置情况表

废物种类	产生场所	核素种类	产生量	处置措施及去向
放射性废水	2-1 生产线	^{131}I	/	/
	2-2 生产线	^{90}Y 、 ^{32}P	$0.14\text{m}^3/\text{a}$	排入 2 号楼放射性废液暂存间工艺废液贮液罐暂存衰变，目前暂未对外排放。
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{99}Mo	$0.14\text{m}^3/\text{a}$	
	2-3 生产线	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	
	动物实验室	长半衰期核素	$0.10\text{m}^3/\text{a}$	单独收集贮存，不外排。
		短半衰期核素	$0.70\text{m}^3/\text{a}$	排入衰变池暂存衰变，经监测达标后排入一体化污水处理设施。
	放射性药物检验研究中心	长半衰期核素	$0.12\text{m}^3/\text{a}$	单独收集贮存，不外排。
短半衰期核素		$0.50\text{m}^3/\text{a}$	排入 1 号楼放射性废液暂存间贮液罐暂存衰变，目前暂未对外排放。	
放射性药物研发实验室	短半衰期核素	$0.1\text{m}^3/\text{a}$		
放射性废气	2-1 生产线	^{131}I	$2.22\text{E}+08\text{Bq/a}$	经管道过滤器+除碘过滤器过滤后引至屋顶 1#排气筒排放，排放高度 30m。
	2-2 生产线	^{90}Y	$3.55\text{E}+05\text{Bq/a}$	经高效过滤器过滤后引至引至屋顶 4#排气筒排放，排放高度 30m。
		^{32}P	$8.88\text{E}+04\text{Bq/a}$	
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$6.66\text{E}+04\text{Bq/a}$	
		^{99}Mo	$6.66\text{E}+04\text{Bq/a}$	
	2-3 生产线	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$2.93\text{E}-05\text{Bq/a}$	
	动物实验室	/	微量	经除碘过滤器/高效过滤器过滤后引至屋顶 4#排气筒排放，排放高度 23m。
	放射性药物检验研究中心	/	微量	经除碘过滤器/高效过滤器过滤后引至屋顶 3#排气筒排放，排放高度 21m。
放射性药物研发实验室	/	微量		
放射性固	2-1 生产线	^{131}I	20kg/a	转入 2 号楼短半衰期放射性固废间暂存衰变，经监测达标后作为一

废物种类	产生场所	核素种类	产生量	处置措施及去向
体废物				般固体废物处置
	2-2 生产线	^{90}Y 、 ^{32}P	200 kg/a	转入 2 号楼短半衰期放射性固废间暂存衰变, 经监测达标后作为一般固体废物处置
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{99}Mo	10kg/a	转入 2 号楼短半衰期放射性固废间暂存衰变, 经监测达标后作为一般固体废物处置
	2-3 生产线	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{99}Mo	100kg/a	转入 2 号楼短半衰期放射性固废间暂存衰变, 经监测达标后作为一般固体废物处置
	动物实验室	短半衰期核素	250kg/a	转入 2 号楼短半衰期放射性固废间暂存衰变, 经监测达标后作为一般固体废物处置, 对于动物尸体转入短半衰期放射性固废暂存间冰柜进行暂存衰变, 经监测达标后最终交由成都市科农动物无害化处理有限公司进行处置。
		长半衰期核素	1kg/a	转入 2 号楼长半衰期放射性固废间暂存衰变, 经监测达标后作为一般固体废物处置
	放射性药物检验研究中心	短半衰期核素	182.5kg/a	转入 1 号楼放射性固废间暂存衰变, 经监测达标后作为一般固体废物处置
		长半衰期核素	16kg/a	转入 1 号楼放射性固废间暂存, 不外排
	放射性药物研发实验室	短半衰期核素	10kg/a	转入 1 号楼放射性固废间暂存衰变, 经监测达标后作为一般固体废物处置
	非放射性废水	生活废水		6.75E+03m ³ /a
洁衣清洗废水		75m ³ /a	经一体化污水处理设施处理后排放	
洗手用水		2m ³ /a	交有资质单位处理	
生产工艺清洗非放废水		40m ³ /a	经一体化污水处理设施处理后排放	

废物种类	产生场所	核素种类	产生量	处置措施及去向
	实验工艺清洗非放废水		125m ³ /a	经一体化污水处理设施处理后排放
非放射性固体废物	生活垃圾		22.5 t/a	由四川省顺美环境卫生管理有限责任公司清运
	餐厨垃圾		4.5t/a	由四川省顺美环境卫生管理有限责任公司清运
	一体化污水处理设施污泥		1t/a	交有资质单位处理
	生产线原料包装废材、产品包装废材、非放射性污染的一次性口罩、手套、擦拭物等		600kg/a	由四川省顺美环境卫生管理有限责任公司清运
	实验室空化学试剂瓶及废弃化学试剂等		125kg/a	成都兴蓉环保科技有限公司
	实验室非放射性污染的一次性口罩、手套、擦拭物、灭活培养基等		250kg/a	由四川省顺美环境卫生管理有限责任公司清运
非放射性废气	动物实验室废气（H ₂ S、N ₃ H）		/	吸收塔吸收处理
	实验非放废气（酸雾、TVOC等）		/	水喷淋吸收塔处理

（3）原有辐射安全管理情况

建设单位原有辐射安全管理详细情况见“第六章 辐射安全管理”，2021年辐射安全管理结论情况如下：

2021年建设单位已按国家及地方辐射安全管理要求成立辐射防护与安全管理小组，所有辐射工作人员均已参加辐射安全和防护学习、考核并在考核合格后上岗，同时关键岗位已设立2名注册核安全工程师。2021年建设单位现有5个非密封放射性物质工作场所的辐射安全防护设施、设备、监测仪器和防护用品均已到位，并运行正常；建设单位已按要求制定操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并根据要求张贴上墙；建设单位已设立“安全环保部”建设辐射防护档案，并多次自行组织辐射防护知识的培训，培植公司核安全文化；所有辐射工作人员均已配备个人剂量计，并按要求每季度送有资质单位进行个人剂量检测，未出现个人剂量超标情况；2021年建设单位已按监测方案开展了自行监测，并已委托我院开展了年度监测，根据监测结果，未发现辐射

环境异常情况，同时并编制《成都纽瑞特医疗科技股份有限公司2021年年度安全和防护状况评估报告》上报生态环境部。2021年建设单位已开展一次辐射事故应急演练，建设单位从运营至今未发生辐射安全事故。

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日修订实施；
- (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日修订实施；
- (5)《中华人民共和国水污染防治法》，2018年1月1日实施；
- (6)《中华人民共和国噪声污染防治法》，2022年6月5日修订实施；
- (7)《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2016年11月7日修订实施。

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 449 号）（2019年3月2日修改并实施《国务院关于修改部分行政法规的决定》，中华人民共和国国务院令 第 709 号）；

(2)《国务院关于修改<建设项目环境保护管理条例>的决定》（国务院第 682 号令，2017年10月1日起施行）；

(3)《放射性废物安全管理条例》（国务院令 第 612 号）；

(4)《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令 第 562 号）；

(5)《危险化学品安全管理条例》（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》（环境保护部第 18 号令）；

(2)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006年，国家环境保护总局令 第 31 号，2008年12月6日经环境保护部令 第 3 号修改，2017年12月20日经环境保护部令 第 47 号修改，2019年8月22日经生态环境部令 第 7 号修改，2021年1月4日经生态环境部令 第 20 号修改）；

(3)《建设项目环境影响评价分类管理目录(2021版)》（生态环境部令 第 16 号）；

- (4)《产业结构调整指导目录(2019年修订本)》(发展和改革委员会令第29号);
- (5)《关于发布<放射性废物分类>的公告》(环公告2017年第65号);
- (6)《环境保护部办公厅关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐射函(2016)430号);
- (7)《放射性物品运输安全许可管理办法(2019年修正本)》(生态环境部令第7号);
- (8)《放射性物品运输安全监督管理办法》(环保部令第38号);
- (9)《放射性物品道路运输管理规定(2016年修正版)》(交通运输部令2016年第71号);
- (10)《环境影响评价公众参与办法》(生态环境部令第4号);
- (11)《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部公告2019年第57号,2020年1月1日施行);
- (12)《生态环境部(国家核安全局)核素利用项目监督检查技术程序》(2020年版)

1.3.4 地方环境法规和政府规章文件

- (1)《四川省环境保护条例》(四川省第十二届人民代表大会常务委员会第三十六次会议通过);
- (2)《四川省辐射污染防治条例》(四川省第十二届人民代表大会常务委员会第二十四次会议通过);
- (3)《四川省环境保护厅关于进一步加强辐射工作人员个人剂量管理的通知》(川环办(2010)49号),2010年3月29日实施;
- (4)《四川省生态环境厅关于印发<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);
- (5)《四川省人民政府关于落实生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线制定生态环境准入清单实施生态环境分区管控的通知》(川府发[2020]9号);
- (6)《成都市人民政府关于落实生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线制定生态环境准入清单实施生态环境分区管控的通知》(成府发[2021]8号)。

1.3.5 技术规范和标准

- (1)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);

- (2) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；
- (3) 《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）；
- (4) 《放射性物质运输包装质量保证》（GB/T15219-2009）；
- (5) 《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB27742-2011）；
- (6) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；
- (7) 《低、中水平放射性固体废物包装安全标准》（GB12711-91）；
- (8) 《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》（GB11928-1989）；
- (9) 《裂变钼 99-锝 99m 色层发生器》（GB13172-2009）；
- (10) 《开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范》（EJ380-1989）；
- (11) 《放射性药物生产场所辐射安全设计要求》（T/CIRA5-2019）；
- (12) 《核技术利用放射性废物最小化》（HAD401/11-2020）；
- (13) 《核技术利用设施退役》（HAD401/14-2021）；
- (14) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；
- (15) 《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WST613-2018）；
- (16) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；
- (17) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；
- (18) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；
- (19) 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；
- (20) 《声环境质量标准》（GB3096-2008）；
- (21) 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）；
- (22) 《污水综合排放标准》（GB8978-1996）；
- (23) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）；
- (24) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）；
- (23) 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）（2013 年修订）；
- (25) 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599-2020）；
- (26) 《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）；
- (27) 《环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；
- (28) 《环境影响评价技术导则 地面水环境》（HJ/T 2.3-2018）；

- (29) 《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ 2.2-2018)；
- (30) 《环境影响评价技术导则 声环境》(HJ2.4-2021)；
- (21) 《环境影响评价技术导则 地下水环境》(HJ610-2016)；
- (32) 《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169-2018)；
- (33) 《环境影响评价技术导则 土壤环境（试行）》(HJ964-2018)；
- (34) 《四川省施工场地扬尘排放标准》(DB51/2682-2020)。

1.4 评价标准

1.4.1 环境质量标准

(1) 环境空气

项目所在区域大气环境功能分区为二级区，空气执行《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 及及修改单二级标准；TVOC、HCl、H₂SO₄ 参照执行《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ2.2-2018) 附录 D 要求。详见表 1.4-1。

表 1.4-1 大气环境质量标准

污染物	各项污染物的浓度 (μg/m ³)			依据
	1 小时平均	日平均	年平均	
SO ₂	500	150	60	《环境空气质量标准》 (GB3095-2012) 及修改单二 级标准
NO ₂	200	80	40	
PM ₁₀	/	150	70	
PM _{2.5}	/	75	35	
H ₂ SO ₄	300	/	100	《环境影响评价技术导则 大 气环境》(HJ2.2-2018) 表 D.1
TVOC	/	600 (8 小时平均)	/	
HCl	50	15	/	

(2) 地表水

本项目废水最终排入锦江，根据《四川省地表水功能区划》锦江属于Ⅲ类水体，地表水环境执行《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) Ⅲ类水体标准，主要指标限值见表 1.4-2。

表 1.4-2 地表水环境质量评价标准

指标	标准值	依据
pH (无量纲)	6~9	《地表水环境质量标准》 (GB3838-2002) Ⅲ类标准
高锰酸盐指数	≤6mg/L	

指标	标准值	依据
BOD ₅	≤4mg/L	
DO	≥5mg/L	
COD	≤20mg/L	
NH ₃ -N	≤1.0mg/L	
总α放射性	≤0.5Bq/L	
总β放射性	≤1.0Bq/L	

(3) 地下水质量标准

根据《地下水质量标准》(GB/T14848-9)，地下水总 α≤0.1Bq/L，总 β≤1Bq/L。

(4) 声环境质量标准

根据《成都市双流区人民政府关于印发<成都市双流区声环境功能区划分方案>的通知》(双府函〔2020〕153号)，本项目建设地声功能区为3类声功能区(见图1.4-1)，执行《声环境质量标准》(GB3096-2008)中3类标准，详见表1.4-3。



图 1.4-1 双流区声功能区划图

表 1.4-3 环境噪声限值

适用区域	标准值 (Leq: dB (A))		依据
	昼间	夜间	
3类	65	55	《声环境质量标准》 (GB3096-2008)中的3类标准

1.4.2 污染物排放标准

（1）大气污染物

施工期扬尘排放执行《四川省施工场地扬尘排放标准》（DB51/2682-2020）相关要求；运营期TVOC、HCl排放执行《制药工业大气污染物排放标准》（GB37823-2019）中表2大气污染物特别排放限值。详见表1.4-4。

表 1.4-4 大气污染物排放标准限值

污染物		排放浓度	执行标准
施工期	TSP	600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	《四川省施工场地扬尘排放标准》（DB51/2682-2020）
运营期	TVOC	100 mg/m^3	《制药工业大气污染物排放标准》（GB37823-2019）
	HCl	30 mg/m^3	

（2）水污染物

本项目所在地污水管网已铺设完成，园区污水处理厂（华阳污水处理厂）已经投入运营，项目施工期和运营期废水可直接排入园区污水管网，废水排放执行《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中三级标准。详见表1.4-5。

表 1.4-5 废水排放标准限值

类别	污染物	最高允许排放浓度	依据
第一类污染物	总 α 放射性	1Bq/L	《污水综合排放标准》（GB8978-1996）表1
	总 β 放射性	10Bq/L	
第二类污染物	pH	6~9（无量纲）	《污水综合排放标准》（GB8978-1996）表4中第二类污染物最高允许排放浓度中三级标准
	COD	500 mg/L	
	BOD ₅	300 mg/L	
	悬浮物	400 mg/L	
	氨氮	45	
	总磷	8.0	

（3）噪声

项目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），运营期执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的3类标准，具体指标详见表1.4-6。

表 1.4-6 噪声排放标准

阶段	噪声限值（Leq: dB (A)）		依据
施工期	昼间	夜间	《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）
	70	55	
运营期	65	55	《工业企业厂界环境噪声排放标

			准》(GB12348-2008)3类标准
--	--	--	----------------------

(4) 固体废物

一般工业固体废物执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB18599-2020)；危险废物执行《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2001/XG1-2013)。

1.4.3 电离辐射相关标准

1.4.3.1 个人剂量控制

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中的相关标准：

(1) **职业照射**：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)附录 B 剂量限值：应对任何工作人员的职业水平进行控制，使之不超过下述限值：由审管部门决定的连续 5 年的平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv。

根据辐射防护最优化的原则，结合本项目实际情况，本环评确定项目职业照射年有效剂量约束值按《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)职业照射剂量限值 20mSv 的四分之一执行，即 5mSv/a。

(2) **公众照射**：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)附录 B 剂量限值：实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：年有效剂量，1mSv。

根据辐射防护最优化的原则，结合本项目实际情况，本环评确定项目公众照射年有效剂量约束值按《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)公众照射剂量限值的十分之一执行，即 0.1mSv/a。

1.4.3.2 剂量率水平控制限值

参照《核医学科辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)、《核医学科放射防护要求》(GBZ120-2020)和《放射性药物生产场所辐射安全设计要求》(T/CIRA-2019)中关于工作场所屏蔽要求，本次评价以从严为原则，确定辐射剂量率控制目标值如下：

(1) 放射性药物生产工作箱、手套箱正对人员操作位表面 30cm 处辐射剂量率应小于 2.5 μ Sv/h，非正对人员操作位表面 30cm 处的辐射剂量率应小于 25 μ Sv/h。

(2) 放射性药物质检、研发实验室控制区内房间墙体外表面 30cm 处的辐射剂量率应小于应小于 2.5 μ Sv/h。

1.4.3.3 放射性表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定，工作人员的衣服、体表及工作场所的设备、工具、地面等放射性表面污染控制水平见表 1.4-8。

表 1.4-8 工作场所的放射性表面污染控制水平

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

1.4.3.4 放射性废水

根据《污水综合排放标准》(GB8978-1996)规定，本项目放射性废水排入普通下水道，排放限值执行：总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ 。

1.4.3.5 放射性固体废物清洁解控水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)，工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 1.4-8 所列设备类的控制水平的五十分之一以下时，经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用。同时参考《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)，对于含短半衰期放射性核素固体废物暂存衰变后，辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 ， β 表面沾污小于 0.8Bq/cm^2 ，可对废物进行清洁解控。

1.5 评价范围和保护目标

1.5.1 评价等级

1.5.1.1 大气环境评价等级

(1) 评价等级确定依据

依据《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ2.2-2018)中 5.3 节工作等级的确定方法，结合项目源项分析结果，选择正常排放的主要污染物及排放参数，采用附录 A 推荐模型中的 AERSCREEN 模式计算项目污染源的最大环境影响，然后按评价

工作分级判据进行分级。

①最大浓度占标率的确定

$$P_i = C_i / C_{oi} \times 100\% \dots \dots \dots \text{式 1.5-1}$$

式中：

P_i —第*i*个污染物的最大地面浓度占标率，%；

C_i —采用估算模式计算出的第*i*个污染物的污染物最大地面浓度， mg/m^3 ；

C_{oi} —第*i*个污染物的环境空气质量标准， mg/m^3 。一般选用《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中1小时平均取样时间的二级标准的浓度限值；对仅有8h平均质量浓度限值、日平均质量浓度限值或年平均质量浓度限值的，可分别按2倍、3倍、6倍折算为1h平均质量浓度限值。

②评价等级判别表

评价等级按表 1.5-1 的分级判据进行划分。

表 1.5-1 评价等级判别表

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

污染物评价标准见表 1.5-2。

表 1.5-2 评价因子和评价标准表

评价因子	平均时段	标准值(mg/m^3)
TVOC（乙醇）	8 小时平均	0.6

(2) 污染源参数

主要废气污染源排放参数见表 1.5-3。

表 1.5-3 主要废气污染源参数一览表

排气筒	排气筒底部中心坐标/m		排气筒底部海拔高度 (m)	排气筒高度 (m)	排气筒出口内径 (m)	烟气流量 (m/s)	烟气温度 (°C)	年排放小时数 (h)	排放工况	污染物排放速率 (kg/h)
	X	Y								
3#	30°29'52.50"	103°58'26.81"	537	21	1.0	6.4	环境气温	250	正常	0.24
5#	30°29'54.06"	103°58'26.82"	537	25	1.0	6.2	环境气温	200	正常	1.18

(3) 项目参数

估算模式所用参数见表 1.5-4。

表 1.5-4 估算模型参数表

参数		取值
城市农村/选项	城市/农村	城市
	人口数(城市人口数)	/
最高环境温度		37.3°C
最低环境温度		-4°C
土地利用类型		建设用地
区域湿度条件		湿润
是否考虑地形	考虑地形	是
	地形数据分辨率(m)	90
是否考虑海岸线熏烟	考虑海岸线熏烟	否

参数		取值
	海岸线距离/km	/
	海岸线方向/o	/

表 1.5-5 有组织废气估算结果表

DA003（3#排气筒）TVOC			DA005（5#排气筒）TVOC		
下风向距离/m	占标率/%	预测质量浓度/mg/m ³	下风向距离/m	占标率/%	预测质量浓度/mg/m ³
10	0.01	0.00007	10	0.17	0.002075
25	0.41	0.004926	24	4.13	0.049578
30	0.44	0.005328	25	4.11	0.049289
50	0.29	0.00345	50	2.03	0.024369
75	0.18	0.002119	75	1.27	0.01529
100	0.26	0.0031	100	1.27	0.015256
125	0.25	0.002967	125	1.38	0.016551
150	0.22	0.002589	150	1.51	0.018097
175	0.19	0.002238	175	1.51	0.018098
200	0.16	0.001937	200	1.43	0.017143
250	0.18	0.002102	250	1.19	0.014339
300	0.18	0.002166	300	0.98	0.01173
350	0.18	0.002169	350	0.89	0.010664
400	0.18	0.002105	400	0.86	0.010351
450	0.17	0.002007	450	0.82	0.009869
500	0.16	0.001928	500	0.79	0.009482

600	0.14	0.001651	600	0.68	0.00812
700	0.11	0.00137	700	0.56	0.006738
800	0.11	0.001277	800	0.52	0.006279
900	0.09	0.001105	900	0.45	0.005435
1000	0.08	0.000976	1000	0.4	0.004797
1200	0.07	0.000783	1200	0.32	0.003848
1400	0.06	0.000702	1400	0.29	0.003453
1600	0.05	0.000569	1600	0.23	0.002799
1800	0.05	0.000545	1800	0.22	0.002679
2000	0.04	0.000446	2000	0.18	0.002191
2200	0.04	0.000431	2200	0.18	0.002118
2400	0.03	0.000406	2400	0.17	0.001997
2500	0.03	0.000393	2500	0.16	0.001934

表 1.5-6 主要污染源 AERSCREEN 模型计算结果表

污染源	污染因子	最大落地浓度 (mg/m ³)	最大浓度落距离 (m)	D10%距离 (m)	评价标准 (mg/m ³)	最大占标率 (%)	推荐评价等级
DA003 (3#排气筒)	TVOC	0.005328	30	/		0.44	三级
DA005 (5#排气筒)	TVOC	0.049578	24	/		4.13	二级

根据《环境影响评价技术导则大气环境》(HJ2.2-2018)规定,确定大气评价等级为三级,可不进行进一步预测与评价,仅对环境质量现状进行调查和评价。

1.5.1.2 地表水环境评价等级

本项目产生的废水主要为工作人员产生的生活污水和少量的工艺废水（包括放射性废水和非放射性废水），水质复杂程度为简单。生活污水进入一体化污水处理设施处理达标后，排入园区污水管网进入华阳污水处理厂进行处理，处理达标后排入锦江；放射性废水经衰变，检测达解控水平后，作为一般废水排入一体化污水处理设施处理达标后，排入园区污水管网进入华阳污水处理厂进行处理，处理达标后排入锦江，本项目排放的废水对地表水环境影响较小，且为间接排放。根据《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018）评价工作等级划分原则与方法，本项目的地表水环境影响评价工作等级定为三级 B。

1.5.1.3 声环境评价等级

本项目位于工业区域内，属于 3 类声环境功能区，运营期主要噪声源为空压机、净化空调和排风机等，项目建设前后评价范围内敏感目标噪声及增高量在 3dB 以下，且受影响的人口数量变化不大，根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021），评级等级确定为三级。

1.5.1.4 地下水环境评价等级

根据《建设项目环境影响评价分类管理目录（2021 版）》（生态环境部令第 16 号），本项目属于“171 核技术利用建设项目”，对照《环境影响评价技术导则 地下水环境》（HJ610-2016）附录 A，未提及本项目所属行业，评价参考附录 A 中“M 医药”中“单纯药品分装、复配”行业分类，属于 IV 类建设项目，本项目位于工业园区内，项目用水来源于市政管网，项目所在区域无集中式饮用水源地、特殊地下水资源保护区以及分散式居民饮用水水源等环境敏感区，地下水敏感程度为不敏感，本项目不需要开展地下水环境影响评价。

1.5.1.5 土壤环境评价等级

本项目属于核与辐射类建设项目，不适用于《环境影响评价技术导则 土壤环境》（HJ964-2018）。由于本项目产生的各类污染物排放量很小，并且采用了严格的分区防渗措施，所以本项目对土壤环境的影响很小，本项目所处区域土壤环境不敏感，参考《环境影响评价技术导则 土壤环境》（HJ964-2018）评价等级的判定，本项目可不开展土壤环境影响评价工作。

1.5.2 评价范围

1.5.2.1 大气环境评价范围

根据《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ2.2-2018）相关规定，本次大气环境影响评价工作等级为三级，可不设置评价范围。

1.5.2.2 辐射环境评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术应用项目环境影响报告书（表）的内容和格式》（HJ10.1-2016），本项目属于甲级非密封放射性物质工作场所（放射性药物生产），电离辐射评价范围确定为：以项目实体边界为中心，取半径 500m 的范围。

1.5.3 环境保护目标

本项目选址在成都市双流区西航港经济开发区内，厂址 500m 范围内主要是开发区内的其他工业企业，辐射环境评价范围内无医院、学校、集中居民小区等敏感目标。

1.6 评价工作程序

本项目评价工作程序见图 1.6-1。

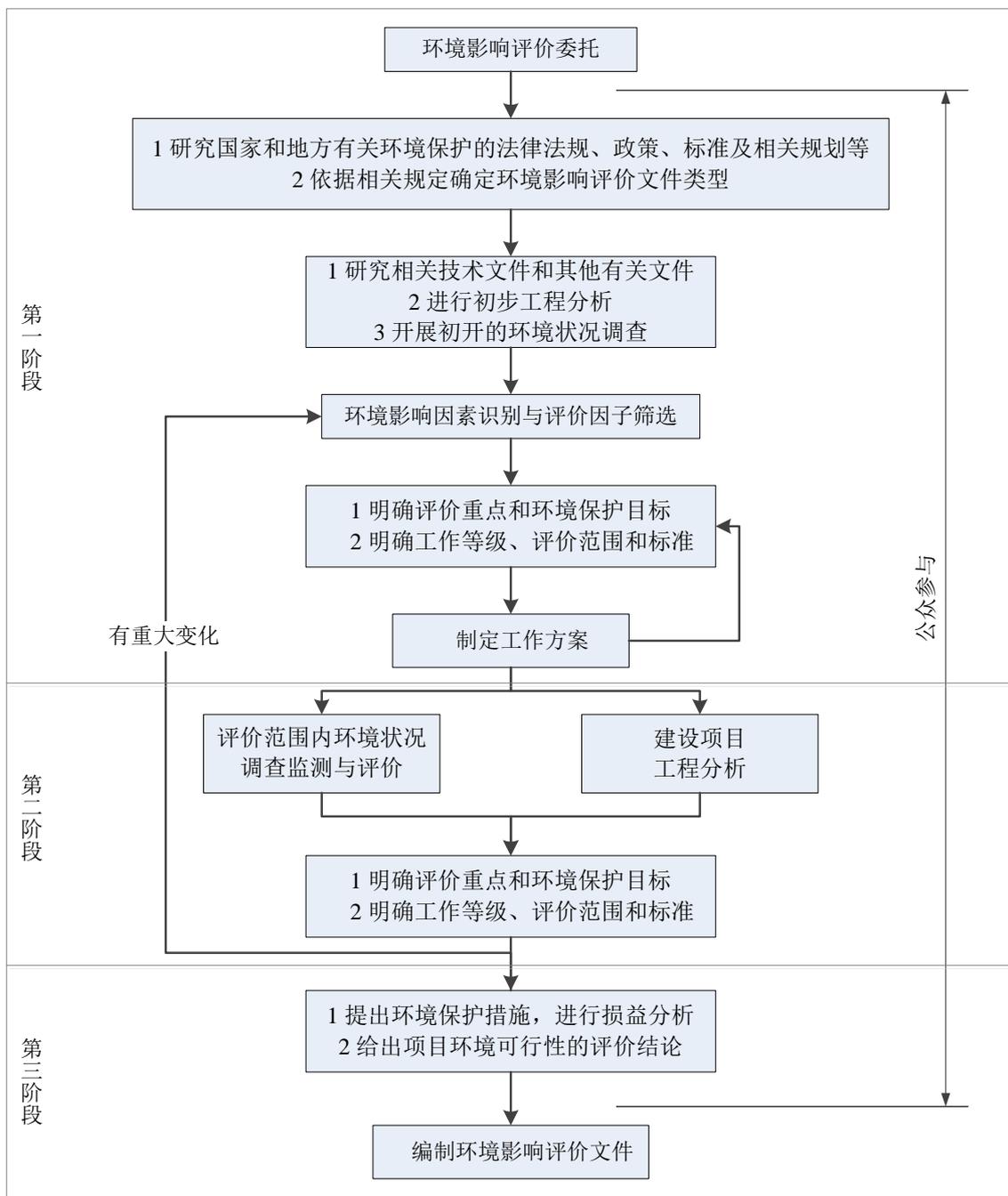


图 1.6-1 环境影响评价工作程序流程图

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

成都市双流区位于四川省中西部，成都平原东南缘，成都市西南近郊。地跨东经 103°47'51"~104°15'33"，北纬 30°13'32"~30°40'12"。境域东连龙泉驿区和简阳市，南接仁寿县、彭山区，西邻新津县、崇州市，北靠温江区、青羊区、武侯区和高新区。

双流地处成都市腹地，呈扇形环绕中心城区西——西南——南面分布，为成都西南的门户区。县城东升镇，距成都市中心仅 17km。县域东西宽 46 km，南北最长 49 km，幅员面积 1072km²，辖 26 个建制镇。优越的区位条件，强劲推动双流尤其是县域北部片区经济快速发展。本项目位于成都市双流区西航港开发区。

2.1.2 地形、地貌

项目所在地地处川西盆地的成都平原腹心地带。双流区所处大地构造为新华夏系四川沉降带成都断陷的东南边缘，地层由第四系、白垩系、侏罗系组成。尤以第四系较为发育，主要分布于广大平原地区、牧马山台地及东山丘包。地层厚度变化大，从西北到东南厚度变薄，由 40 多米变为几米，为河相冲——洪积、冰水堆积成因；白垩系主要分布于龙泉山背斜及苏码头背斜两翼，上部多遭剥蚀而被第四系地层覆盖，出露较为零星，总厚度大于 319m；侏罗系分布于龙泉山背斜及苏码头背斜地区，厚度大于 1428m。

双流区境内地质构造主要表现为褶皱与断裂。老第三纪末期的喜山运动在双流区形成了龙泉山背斜、正兴（苏码头）背斜以及后期被第四系覆盖的牧马山向斜与刘公——合江向斜等褶皱构造形态。断裂构造也主要形成于喜马拉雅运动，其走向与背斜、向斜轴向及区域新华夏构造体系基本一致，一般呈北北东走向。

双流区低山、丘陵、平原、台地等多种地貌兼备，西高东低，地势由东北向西南倾斜。低山丘陵分布锦江以东，面积 629.6km²，占全县总面积的 57.03%，地势较为陡峻，地形切割剧烈；台地分布于黄甲、胜利、公兴、永安、黄龙溪等地区，面积 198.83km²，占总面积的 18.03%，缓丘起伏、微地貌富于变化；平原面积 318.26km²，

占 28.86%，分布于县境西部、西北部及江安河、锦江河谷两侧，地势平坦、人口密集、河渠纵横、良田广布。

2.1.3 地震

项目所在地地势平坦属于平原地区，地质条件稳定，未发现不良地质现象。根据《GB18306-2001 第 1 号修改单》及成都市防震减灾局的《汶川 8.0 级地震成都市灾后重建地震评价规划用图》，项目所在区域的地震动峰值加速度为 0.1g，地震动反应谱特征周期为 0.45 秒(地震基本烈度VII度)。各项建设活动必须满足《城市抗震防灾规划标准》(GB50413-2007)的相关要求，所有建设项目应根据《建筑工程抗震设防分类标准》(GB50223-2004)确定抗震设防要求。建筑物的设计要按照新颁布的《建筑抗震设计规范》(GB5011-2001)执行。项目抗震设防标准参照以上标准执行。

2.1.4 水文概况

2.1.4.1 地表水

双流区境自然河流属岷江水系，为都江堰灌区，多为西北——东南或东北——西南走向。自西向东依次有金马河、杨柳河、江安河、锦江、鹿溪河等河流。河流总长 186.35km，多年平均深度约为 393.8mm，多年平均径流量约为 4.4 亿 m^3 ，多年平均外来水为 108 亿 m^3 。

本项目厂区产生的废水排入园区污水管网，进入华阳污水处理厂处理达到一级 A 标准后排入锦江。锦江双流区段流长 49km，集雨面积 969 km^2 ，河床宽 99m~265m，集雨面积 969 km^2 ，多年平均流量 82 m^3/s ，最大流量 1200 m^3/s ，最小流量 15 m^3/s 。本项目所在地高于锦江 50 年一遇洪水位，项目建设不受锦江洪水位变化影响。



图 2.1-1 双流区水系图

2.1.4.2 地下水

双流地下水资源丰富，地下水资源主要集中于广大平原区；而丘陵、山区地下水资源缺乏。根据有关但时空分布极不均衡资料计算，县域地下水年开采资源总量约为 3.7 亿 m^3 ，其中平原地区约为 3.4 亿 m^3 ，占 90.85%，牧马山台地与丘陵低山区地下水年开采量约为 0.16 亿 m^3 和 0.18 亿 m^3 ，分别占全县地下水年开采总量的 4.4% 和 4.75%。

2.1.5 气候、气象

项目所在片区域属四川盆地亚热带湿润季风气候区，气候温和，雨水充沛，四季分明，无霜期长，春早秋凉，夏无酷暑，冬无严寒。但夏季降雨集中，易洪涝；秋温速降，多绵雨；冬无严寒，云雾多。双流区气象站 1959~2010 年五十二年平均气温为 17.2℃，极端最高气温为 37.3℃，极端最低气温-4℃，最热月平均温度 26.7℃，最冷月平均温度为 6.1℃，年平均相对湿度 84%。云雾多，日照少，年平均日照 1155 小时，年平均太阳辐射总量为 90.95 千卡/平方厘米，年平均无霜期 293 天。根据双流区气象站资料，年平均降雨量为 892.4mm，冬春 11 月至次年 4 月降雨量 115.8 毫米，占全年平均降雨量的 13%，夏秋 5~10 月为 779.2mm，占年平均降雨量的 87%。主导风向为北北东；年平均风速为 1.3m/s，最大风速为 12m/s。

2.1.6 土壤、植被

双流区主要土壤类型有水稻土、冲积土、黄壤土、紫色土，共 4 种，冲积性水稻土、紫色性水稻土、黄壤性水稻土、潮土、紫色土、黄壤土 6 个亚类，21 个土属，44 个土种。其中以水稻土为主，占总耕地面积的 78.62%，分布于全县各乡镇，pH 值在 5.5~8.5 的变幅内，大于 8.5 的微咸性土壤仅占 1.89%，基本适宜水稻、小麦、油菜等作物的生长要求。

由于地形、地貌、土壤等差异，境内平原、台地与丘陵山区分布有不同的森林植被和植物群落，植被具有多样性特点。

平原区以农业植被为主，主要是油菜和水稻；村落周围、河渠道路两旁，以慈竹群落为主的川西平原林盘星罗棋布；龙泉山低山区主要分布以柏树、青冈等为主的针阔混交林和成片种植的经济林木；浅丘、台地以人工次生林为主，多为纯林，主要类型为马尾松、湿地松等松林。

2.2 社会经济状况

2020年双流区户籍人口65.21万人，其中城镇人口41.65万人，乡村人口23.56万人；全区常住人口81.46万人，城镇化率83.17%；全年出生人口10918人，死亡人口4668人，人口自然增长率为13.15‰，全区符合政策生育率为99.88%。根据第七次人口普查数据，截至2020年11月1日零时，双流区常住人口为1465785人。

双流区辖5个街道、4个镇，105个社区。本项目位于黄甲街道，该街道辖：双华社区、王家场社区、长埂社区、文庙社区、一里坡社区、八角社区、青云寺社区。黄甲街道辖区总人口20583人，城镇化率100%。另有流动人口5548人。总人口中，男性10066人，占48.9%；女性10517人，占51.1%。总人口中，以汉族为主，达20576人，黄甲街道人口出生率10.8‰，人口死亡率5.7‰，人口自然增长率5.1‰。人口密度为每平方千米641人。

2.3 环境质量和辐射现状

2.3.1 非放环境质量现状

2.3.1.1 基本污染物环境质量现状

本项目位于成都市双流区西航港经济开发区，所在地行政区划属于成都市双流区，项目所在区域达标判定，优先采用国家或地方生态环境主管部门公开发布的评价基准年环境质量公告或环境质量报告中的数据或结论。因此，本项目选取成都市生态环境局发布的《2021年成都市生态环境质量公报》（<http://sthj.chengdu.gov.cn/cdhbj/c110801/2022-07/21/0a604c1e39b1496f90a35c3a6c34466d/files/847f0806d7e24d6a914049f1dd611238.pdf>）中大气环境质量监测数据和结论进行区域达标判断。

根据《2021年成都市生态环境质量公报》，2021年成都市空气质量优良天数299天，同比增加13天；优良天数比例81.9%，同比上升3.8个百分点。其中全年空气质量优102天，良197天，轻度污染50天，中度污染15天，重度污染1天。2021年，成都市主要污染物PM₁₀年均浓度为61μg/m³，同比下降1.6%；PM_{2.5}年均浓度为40μg/m³，同比上升2.6%；O₃日最大8小时平均第90百分位浓度值为151μg/m³，同比下降10.7%；SO₂年均浓度6μg/m³，同比持平；NO₂均浓度为35μg/m³，同比持平；CO日均值第95百分位浓度值为1.0mg/m³，同比持平；2021年，成都市SO₂、NO₂、CO、PM₁₀、O₃浓度达到《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准。

表 2.3-1 2021 年城市环境空气质量主要污染物浓度

污染物	年评价指标	现状浓度	标准值	占标率 (%)	超标倍数	达标情况
SO ₂	年平均浓度	6μg/m ³	60μg/m ³	10.0	/	达标
NO ₂	年平均浓度	35μg/m ³	40μg/m ³	87.5	/	达标
PM ₁₀	年平均浓度	61μg/m ³	70μg/m ³	87.1	/	达标
PM _{2.5}	年平均浓度	40μg/m ³	35μg/m ³	117.1	0.171	超标
CO	日平均第95百分位数浓度	1.0mg/m ³	4.0 mg/m ³	25.0	/	达标
O ₃	日最大 8h 平均第 90 百分位数浓度	151μg/m ³	160μg/m ³	94.4	/	达标

22 个区（市）县污染物 SO₂、CO、PM₁₀ 浓度均达标，NO₂、O₃、PM_{2.5} 浓度部分达标。龙泉驿区、金堂县、蒲江县、大邑县、邛崃市、简阳市、都江堰市和彭州市 8 个（市）县实现六项污染物浓度全面达标。2021 年双流区为不达标区。

2.3.1.2 空气质量达标规划

根据 2018 年 9 月成都市人民政府发布的《成都市空气质量达标规划（2018-2027 年）》（成府函〔2018〕120 号），主要内容如下：

规划范围：成都市行政区域，辖区总面积 14334km²，含成都市传统五城区、六郊区、成都高新区和天府新区成都直管区和五个县级市及四个县。

规划年限：2018~2020 年、2021~2027 年两个阶段。

总体战略：以未达标、健康危害大的 PM_{2.5} 为重点控制因子，协同控制臭氧污染，实施空气质量全面达标战略。一是通过升级产业结构、优化空间布局、调整能源结构、推行清洁生产、引导绿色生活，加强大气污染源头控制；二是以工业源、移动源、扬尘源等为重点控制对象，推进多污染源综合防治；三是针对 SO₂、NO_x、PM₁₀、PM_{2.5}、VOCs 等大气污染物，开展多污染物协同控制，推进大气氨的排放控制。

主要措施：①优化城市空间布局与产业结构；②提高清洁能源利用比重；③深化工业源大气污染防治；④推进重点行业 VOCs 污染防治；⑤强化移动源污染治理；⑥加强扬尘污染整治；⑦全面推进其他面源污染治理；⑧加强重污染天气应对；⑨强化区域大气污染联防联控机制；⑩加强环保能力建设等措施。

达标期限与分阶段目标：到 2020 年，环境空气质量明显改善，PM_{2.5} 年均浓度下降到 49μg/m³，O₃ 浓度升高趋势基本得到遏制。到 2027 年，全市环境空气质量全面改善，主要大气污染物浓度稳定达到国家环境空气质量二级标准，全面消除重污

染天气。

表 2.3-2 成都市空气质量改善指标表

年份	PM _{2.5} 年均浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀ 年均浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ 年均浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	优良天数比例 (%)
2017	56	88	53	64.4
2020	49	80	49	70
2022	44	75	47	74
2027	35	6	40	85

2.3.1.3 其他污染物的环境质量现状评价

本次评价 HCl、TVOC、硫酸雾现状监测数据引用《四川双流经济开发区规划环境影响跟踪评价》监测数据，监测时间为 2019 年 12 月 10 日至 12 月 16 日，监测点位于龙湖家园（西航港九龙湖社区）、黄甲镇，监测点分别位于本项目东北侧 2.7km，西南侧 2.3km，监测至今区域污染源未发生较大变化，上述监测数据可以反映项目区域的环境空气质量现状，引用数据具有一定的代表性和时效性。

(1) 环境空气质量现状监测

① 监测因子

监测因子为 HCl、TVOC、硫酸雾。

② 监测点位

监测点位布设见表 2.3-3 和图 1.5-1。

表 2.3-3 其他污染物补充监测点位基本信息

监测点位	监测因子	相对厂址方位	相对项目距离/m	备注
龙湖家园（西航港九龙湖社区）	HCl、TVOC、硫酸雾	东北侧	2700	环境本底值
黄甲镇	HCl、TVOC、硫酸雾	西南侧	2500	环境本底值

③ 监测时间及频次

龙湖家园（西航港九龙湖社区）监测时间为 2019 年 12 月 10 日至 16 日，连续监测 7 天。黄甲镇监测时间为 2019 年 12 月 18 日至 24 日，连续监测 7 天

④ 监测方法和方法来源

严格按照国家《环境空气质量标准》（GB3095-2012）、《环境监测技术规范》（大气部分）、《环境空气质量手工监测技术规范》（HJ194-2017）中规定的原则和方法执

行。

⑤监测结果统计

项目所在区域空气环境质量现状监测结果详见下表：

表 2.3-4 环境空气质量监测结果

监测点位	监测日期	监测结果（单位：mg/m ³ ）		
		HCl（日均值）	TVOC(8小时均值)	硫酸雾（日均值）
龙湖家园（西 航港九龙湖社 区）	2019.12.10	0.004	0.0381	0.0005
	2019.12.11	0.002	0.105	未检出
	2019.12.12	0.002	0.0322	0.0005
	2019.12.13	0.003	0.131	未检出
	2019.12.14	0.001	0.0381	0.0001
	2019.12.15	0.003	0.0936	未检出
	2019.12.16	0.003	0.0530	0.0003
黄甲镇	2019.12.18	0.003	0.0097	未检出
	2019.12.19	0.003	0.0099	未检出
	2019.12.20	0.002	0.0026	未检出
	2019.12.21	0.002	0.0096	未检出
	2019.12.22	0.002	0.0045	未检出
	2019.12.23	0.004	0.0012	未检出
	2019.12.24	0.003	0.0008	未检出

（2）环境空气质量现状与评价

①评价标准

HCl、TVOC 和硫酸雾参照《环境影响评价技术导则 大气环境》附录 D 中相关标准执行，具体标准值详见下表：

表 2.3-5 环境空气质量现状评价标准

评价因子	浓度限值（ug/m ³ ）			标准来源
	1小时平均	日平均	年平均	
HCl	50	15	/	《环境影响评价技术导则 大气环境》附录 D
TVOC	/	600	/	
硫酸雾	300	/	100	

②评价因子

HCl、TVOC

（3）评价方法

评价区域内环境空气采用单项因子质量指数法进行评价，其数学模式为：

$$P_i = C_i / S_i \dots \dots \dots \text{式 2.3-1}$$

式中：

P_i —— i 种污染物单项指数；

C_i —— i 种污染物的实测浓度， mg/Nm^3 ；

S_i —— i 种污染物的评价浓度， mg/Nm^3 。

根据污染物单因子指数计算结果，分析环境空气质量现状，论证其是否满足项目所在区域功能规划的要求，为项目实施对环境空气的影响分析提供依据。

（4）空气环境质量现状评价结果

根据监测结果，项目所在区域环境空气现状监测统计及评价结果见下表：

表 2.3-6 其他污染物环境质量现状表

污染物	平均时间	评价标准 (mg/m^3)	监测浓度范围 (mg/m^3)	最大浓度占 标率 ($P_{i\max}$)	超标率 (%)	达标 情况
HCl	日均值	0.015	0.001~0.004	0.267	0	达标
TVOC	8小时均值	0.6	0.0008~0.131	0.218	0	达标
硫酸雾	小时均值	0.3	0.0001~0.0005	0.0017	0	达标

从上表可以看出，监测期间，评价区域 HCl、TVOC、硫酸雾浓度值未出现超标情况，符合《环境影响评价技术导则 大气环境》附录 D 中相关标准。

2.3.2 地表水环境质量现状评价

本项目位于成都市双流区西航港经济开发区空港三路 999 号，项目废水经依托厂区已建污水处理设施处理后进入市政污水管网，通过市政污水管网排入华阳污水处理厂处理达标排入锦江。

本次评价选用成都市生态环境局《2021 年成都市地表水环境质量状况》（<http://sthj.chengdu.gov.cn/cdhbj/c110801/2022-07/21/0a604c1e39b1496f90a35c3a6c34466d/files/847f0806d7e24d6a914049f1dd611238.pdf>）中地表水调查数据：岷江水系成都段水质总体呈优，2021 年成都市地表水水质总体呈优，主要污染指标为化学需氧量、总磷和氨氮。114 个地表水断面中，I~III 类水质断面 111 个，占 97.4%；IV 类水质断面 3 个，占 2.6%；无 V 类和劣 V 类水质断面。2021 年成都市地表水水质沿程变化图见图 2.3-1，本项目所在排污河段水质达到 III 类水体，属达标区域。

2.3.3 声环境质量现状评价

为了解项目所在区域声环境质量现状，我院于 2022 年 4 月 28 日对厂界四周噪声进行了现状监测，监测内容如下：

（1）监测因子

等效连续 A 声级

（2）监测布点

在已建厂区四周各布设 1 个监测点位，共计 4 个点位。

（3）监测时段

监测两天，昼夜各监测一次。

（4）监测仪器及方法

本项目使用的监测仪器及方法见表 2.3-8。

表 2.3-8 厂界噪声监测仪器及方法一览表

项目	分析方法及依据	监测仪器及编号	仪器技术指标	校准/检定情况
厂界等效连续 A 声级	《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）	AWA6288+型多功能声级计 00304014	声压级测量范围： 23~135dB(A)	检定单位：成都市计量 检定测试员： 证书编号：强第 22007611703；有效期： 2022.01.18~202.01.17

（5）监测结果与评价

本项目厂界噪声监测结果见表 2.3-9。

表 2.3-9 厂界噪声监测结果表

点位编号	点位名称	监测时段	监测结果（dB（A））
1#	厂界东侧外 1m 处	夜间	48
		昼间	49
2#	厂界南侧外 1m 处	夜间	51
		昼间	53
3#	厂界西侧外 1m 处	夜间	50
		昼间	53
4#	厂界北侧外 1m 处	夜间	54
		昼间	48

由上表结果可知，项目厂界四周昼夜噪声监测值满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中 3 类区标准（昼间≤65 dB(A)、夜间≤55 dB(A)）要求。

2.3.4 辐射环境现状

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）对应用非密封放射性物质项目在申请前的辐射环境监测要求，本次监测包含厂区内及厂区周围环境的 γ 辐射、和大气、土壤、底泥、地表水和地下水等环境介质中的放射性核素含量现状水平。

本项目涉及使用的核素种类较多，基于受监测技术条件限值和放射性核素特性等因素影响，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）本次选择可能对环境有影响的应用核素（涉及对外排放的核素）作为代表核素，同时用总 α 、总 β 来替代未监测的放射性核素，最终本次选择的特征核素为碘-131 和铯-225。

2.3.4.1 环境 γ 空气吸收剂量率

（1）监测项目

环境 γ 空气吸收剂量率

（2）监测点位

根据项目平面布置及外环境情况，本次对拟改造及扩建辐射工作场所布设监测点位，同时对评价范围 500m 范围敏感目标布设监测点位，本次评价共布设 20 个监测点位。

（3）监测仪器及方法

本项目使用的监测仪器及方法见表 2.3-10。

表 2.3-10 监测使用设备一览表

项目	监测方法	监测仪器及编号	仪器技术指标	校准/检定情况
γ 辐射剂量率	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）	BH3103B 型便携式 X- γ 剂量率仪 018	能量相应： 25keV~3MeV；测量范围 1~10000 $\times 10^{-8}$ Gy/h	检定单位：中国测试技术研究院；检定证书号：校准字第 20220300067 号；有效期： 2022.03.03~2023.03.02

（4）监测结果与评价

本项目 γ 辐射剂量率监测结果见表 2.3-11。

表 2.3-11 项目区域 γ 辐射剂量率监测结果表

点位编号	点位描述	监测结果（ $\times 10^{-8}$ Gy/h）	
		测量值	标准差
1	放射性药品生产车间内	9.7	0.16
2	放射性药品生产车间东北侧	9.3	0.16
3	放射性药品生产车间东南侧	8.1	0.11
4	放射性药品生产中试车间内	9.6	0.15
5	放射性药品中试车间西北侧	8.5	0.16
6	动物实验室东侧预留车间内	8.7	0.13
7	动物实验室东南侧	9.2	0.24
8	动物实验室西南侧	8.3	0.22
9	厂区内综合楼	10.4	0.25
10	厂区内办公区	8.2	0.27
11	厂区内预留空地	7.6	0.27
12	成都紫光电气设备有限公司	6.4	0.29
13	四川环太生物科技有限责任公司	6.7	0.13
14	顺丰集散中心	5.6	0.25
15	泓奇实业股份有限公司	7.0	0.27
16	兴发铝业（成都）有限公司	5.7	0.20
17	成都铨钰科技有限公司	5.5	0.25
18	成雅高速黄甲收费站	6.3	0.15
19	四川汉能光伏有限公司	5.8	0.23
20	仁宝供水加压站	7.9	0.23

注：以上监测数据已扣除宇宙射线响应值。

根据表 2.3-11，项目厂区内及厂区外环境 γ 辐射剂量率监测值为 5.5×10^{-8} Gy/h~ 10.4×10^{-8} Gy/h（55.0nGy/h~104nGy/h），对比《2020 年全国辐射环境质量报告》中四川省 γ 空气吸收剂量率自动监测结果 67.5nGy/h~121.3nGy/h，属于当地正常天然本底辐射水平。

2.3.4.2 气溶胶

（1）监测项目

本次选择特征核素碘-131、钷-225 及总 α 、总 β 活度浓度。

（2）监测点位

本次选择在厂区内及厂区外下方向（500m）各布设 1 个监测点位。

（3）监测仪器及方法

本项目使用的监测仪器及方法见表 2.3-12。

表 2.3-12 气溶胶监测仪器及方法一览表

分析项目	分析及依据	使用仪器及编号	校准/检定情况
总 α	《水中总 α 放射性浓度的测定 厚源法》(EJ/T1075-1998)	BH1227 型四路低本底 α 、 β 测量仪 2014-010	检定单位：中国测试技术研究院；检定证书号：校准字第 202112010326；检定日期：2021.12.28
总 β	《水中总 β 放射性的测定方法 蒸发法》(EJ/T900-1994)		
^{131}I 、 ^{225}Ac	《空气中放射性核素的 γ 能谱分析方法》(WS/T184-2017)	GEM-C70P4 型高纯锗 γ 能谱仪 59-TP51891A	检定单位：中国测试技术研究院；检定证书号：校准字第 202112007519； 检定日期：2021.12.28

(4) 监测结果与评价

环境空气气溶胶放射性监测结果见表 2.3-13。

表 2.3-13 环境空气气溶胶中放射性活度浓度监测结果

监测点位	采样时间	^{131}I (Bq/m ³)	^{225}Ac (Bq/m ³)	总 α (Bq/m ³)	总 β (Bq/m ³)
项目厂区内	2022.5.5	$<6.26 \times 10^{-6}$	$<3.64 \times 10^{-5}$	2.29×10^{-3}	1.65×10^{-4}
厂区外下风向 500m	2022.5.5	$<7.45 \times 10^{-6}$	$<7.57 \times 10^{-6}$	1.14×10^{-4}	6.83×10^{-5}
项目建设前	2017.6.22	/	/	$<1.00 \times 10^{-4}$ $\sim 4.00 \times 10^{-4}$	1.11×10^{-4} $\sim 3.30 \times 10^{-4}$

*注：表格中“<”表示监测结果小于探测下限。

由上表可知，项目所在区域监测点气溶胶总 α 监测值范围为 $1.14 \times 10^{-4} \text{Bq/m}^3 \sim 2.29 \times 10^{-3} \text{Bq/m}^3$ 、总 β 监测值范围为 $6.83 \times 10^{-5} \text{Bq/m}^3 \sim 1.65 \times 10^{-4} \text{Bq/m}^3$ ，本次监测结果与项目建设前的监测结果进行比对，基本属于正常辐射水平。

2.3.4.3 地表水

(1) 监测项目

本次选择特征核素碘-131、镭-225 及总 α 、总 β 活度浓度。

(2) 监测点位

本项目废水经园区污水管网排入华阳污水处理厂，最终处理后排入锦江，本次分别选择在华阳污水处理厂排放口上游 500m 和下游 500m 布设地表水监测点位。

(3) 监测使用仪器

项目监测使用仪器及方法见表 2.3-12。

（4）监测结果与评价

本项目地表水体放射性监测结果见表 2.3-14。

表 2.3-14 地表水体中放射性活度浓度监测结果

监测点位	采样时间	^{131}I (Bq/L)	^{225}Ac (Bq/L)	总 α (Bq/L)	总 β (Bq/L)
华阳污水处理厂在锦江的排口上游 500m	2022.4.28	$<5.60 \times 10^{-2}$	$<4.29 \times 10^{-2}$	3.74×10^{-2}	0.166
华阳污水处理厂在锦江的排口下游 500m	2022.4.28	$<5.28 \times 10^{-2}$	$<3.05 \times 10^{-2}$	4.33×10^{-2}	0.343

*注：表格中“<”表示监测结果小于探测下限。

根据表 2.3-14，锦江河段总 α 水平在 $3.74 \times 10^{-2} \text{Bq/L} \sim 4.33 \times 10^{-2} \text{Bq/L}$ 之间，总 α 水平在 $0.166 \text{Bq/L} \sim 0.343 \text{Bq/L}$ 之间，满足《生活饮用水卫生标准》（GB5749-2006）中总 α 小于 0.5Bq/L ，总 β 小于 1Bq/L 限值要求。

2.3.4.5 土壤

（1）监测项目

本次选择特征核素碘-131、钷-225 及总 α 、总 β 活度浓度。

（2）监测点位

本次选择在厂区四周距离最近的敏感目标处及厂区中部布设监测点位。

（3）监测仪器及方法

本项目使用的监测仪器及方法见表 2.3-15。

（4）监测结果及结果评价

本项目土壤放射性监测结果见表 2.3-18。

表 2.3-18 土壤中放射性活度浓度监测结果

监测点位	采样时间	^{131}I (Bq/kg)	^{225}Ac (Bq/kg)	总 α (Bq/kg)	总 β (Bq/kg)
厂区东北侧	2022.4.28	<0.494	<0.749	4.87×10^2	5.96×10^2
厂区东南侧	2022.4.28	<0.752	<0.702	8.28×10^2	7.15×10^2
厂区西南侧	2022.4.28	<0.721	<0.589	6.76×10^2	1.02×10^3
厂区西北侧	2022.4.28	<0.767	<0.463	5.74×10^2	6.65×10^2
厂区中部	2022.4.28	<0.592	<0.438	7.24×10^2	1.00×10^3
项目建设前	2017.6.22	/	/	8.91×10^2 $\sim 1.94 \times 10^3$	7.63×10^2 $\sim 1.22 \times 10^3$

*注：表格中“<”表示监测结果小于探测下限。

根据表 2.3-18, 项目所在区域土壤中总 α 监测值为 $4.87 \times 10^2 \text{Bq/kg} \sim 8.28 \times 10^2 \text{Bq/kg}$ 、总 β 监测值为 $5.96 \times 10^2 \text{Bq/kg} \sim 1.02 \times 10^3 \text{Bq/kg}$, 本次监测结果与项目建设前的监测结果进行对比, 基本属于正常辐射水平。

2.3.4.4 底泥

(1) 监测项目

本次选择特征核素碘-131、钷-225 及总 α 、总 β 活度浓度。

(2) 监测仪器及方法

本项目使用的监测仪器及方法见表 2.3-15。

(3) 监测结果及结果评价

本项目底泥放射性监测结果见表 2.3-19。

表 2.3-19 底泥体中放射性活度浓度监测结果

监测点位	采样时间	^{131}I (Bq/kg)	^{225}Ac (Bq/kg)	总 α (Bq/kg)	总 β (Bq/kg)
华阳污水处理厂在锦江的排口下游 500m	2022.6.7	<0.733	<0.661	5.31×10^2	7.08×10^2

*注: 表格中“<”表示监测结果小于探测下限。

根据表 2.3-19, 锦江河段底泥总 α 为 $5.31 \times 10^2 \text{Bq/kg}$, 总 β 为 $7.08 \times 10^2 \text{Bq/kg}$, 属于正常辐射水平。

2.4 场址适宜性评价

2.4.1 本项目对外环境影响关系分析

本项目位于四川省成都市双流区西航港开发区空港三路 999 号, 项目所在地距双流区中心 1km, 距离东北侧四川现代职业学院直线距离约 2.7km, 距离成都市中区直线距离约 20km, 项目所在地南侧紧邻牧华路, 同时项目西侧是成雅高速, 并可直达乐山、雅安、四川等地; 项目所在地距离双流机场约 4km, 距离成都市火车南站约 15km, 项目周边交通极为便利。

根据现场踏勘, 项目所在地北侧 6m 为成都紫光生态设备有限公司、北侧 110m 为四川农大正红生物技术有限责任公司, 北侧 160m 为四川环太生物科技有限责任公司, 厂区东侧紧邻中加美电子科技产业园空地, 东侧约 240m 处为成都铖珏科技有限公司、兴发铝业(成都)有限公司, 厂区南侧 300m 为四川汉能光伏有限公司, 西侧 25m 为仁宝供水加压站, 本项目距离最近集中居民区为西南侧的黄甲镇, 直线距离

约 1500m，另一处集中居民区为公兴镇，位于项目东南侧 1700m。

根据外环境关系分析，本项目场址具有以下特点：

(1) 项目拟建地周围主要以工业企业为主，评价范围内没有医院、学校、集中居民区、饮用水源保护区等环境敏感区，同时也无自然保护区、风景名胜区等生态敏感区。

(2) 项目拟建地周围无铁路、码头、机场、交通要道以及散发大量粉尘和有害气体的工厂、仓储、堆场。项目周围以中小企业为主，产污量较小。

(3) 场址周围交通便利，可以减小因交通不便增加运输时间而带来的放射性药品的衰变损失。

(4) 根据四川双流经济开发区扩展区规划，本项目所在地属于工业用地，项目建设符合园区用地性质，项目所在四川双流经济开发区扩展区位置关系如图 2.4-1 所示。

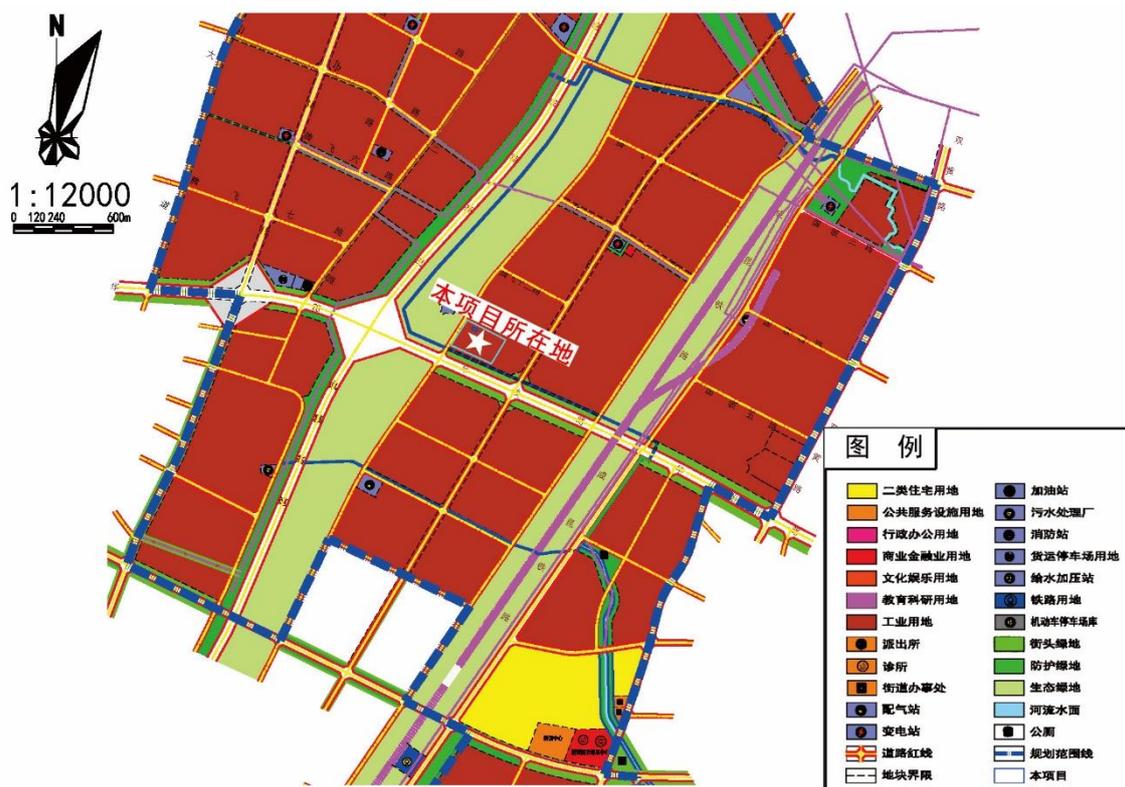


图 2.4-1 项目所在四川双流经济开发区扩展区位置关系图

2.4.2 外环境对本项目环境影响关系分析

(1) 企业外环境方面

根据对本项目周边企业的排污情况调查可知，周围没有与本项目性质不相容的

生产企业和建筑物存在，周围生产企业和建筑物也不会对本项目产生制约因素。

（2）总平面布置方面

根据项目总平面布置图可知，本项目在进行厂区整体规划时，将生产区域与办公生活区域分开，人流与物流实现最大限度分离，满足 GMP（药品生产质量管理规范）中“企业应当有整洁的生产环境；厂区的地面、路面及运输等不应当对药品的生产造成污染；生产、行政、生活和辅助区的总体布局应当合理，不得互相妨碍；厂区和厂房内的人、物流走向应当合理”的相关要求。

（3）药品生产厂房及工艺平面布局方面

厂房内各生产线之间相互独立，不会有造成交叉污染的风险，生产区域按照 GMP 要求设置洁净区域。洁净区内表面平整光滑、无裂缝、接口严密、无颗粒物脱落。进入洁净区的人流和物流相对分开，针对生产和清洁人员设置有专门的更衣间、换洁净服间、淋浴间及气锁等功能间，针对物料设置有传递窗和气闸等通道。

送入洁净区的空气，都经过空调净化系统的净化，气流控制总原则为使气流从非放区流向放射性区，由低污染区流向高污染物区。

由此可见，周边企业排污对本项目建成后药品生产过程中的影响较小，满足 GMP 中对药品生产企业“厂房所处的环境应当能够最大限度地降低物料或产品遭受污染的风险”的相关要求。厂区外环境满足 GMP 中对药品生产企业“厂房所处的环境应当能够最大限度地降低物料或产品遭受污染的风险”。

2.4.3 场址环境相容性分析

四川双流经济开发区扩展区污水管网已铺设完成，华阳污水处理厂已经运行多年，项目产生的非放射性废水可直接依托华阳污水处理厂进行处理，产生的放射性废水通过专用下水道进入衰变池衰变，经监测达解控水平后排入园区污水管网，进入华阳污水处理厂处理达标后排入锦江；项目产生的非放射性固废也可直接依托园区已有垃圾回收处理系统进行统一回收处理，放射性固废分类收集后暂存于放射性废物库待其衰变，经监测达解控水平后作为一般废物进行处理；本项目整个厂房设有高效过滤装置对放射性废气进行吸附处理，产生的电离辐射经有效防护设施屏蔽后对周围辐射环境影响较小；同时根据项目事故状态环境影响分析，在最大潜在事故状态下，项目的环境影响范围也是很小的，不会对周围环境造成不可控的影响。

综上所述，本项目所选场址周围没有环境制约因素，运营期通过采取有效治

理和防护措施后对周围环境影响较小，且与周围环境相容，本项目选址合理。

第三章 工程分析与源项

3.1 项目规模与基本参数

3.1.1 项目建设内容

3.1.1.1 放射性药物生产2车间

放射性药物生产2车间属于已有车间，位于生产大楼（2号楼）一楼，总建筑面积约2442m²，主要包括：2-1、2-2、2-3、2-4、2-5、2-6、2-7和2-8生产线，本次仅涉及2-1生产线改造和2-6、2-7生产线设计变更，其余生产线均不发生变化。

(1) 2-1 生产线

2-1生产线建筑面积约307m²，本次对已建设的2-1生产线进行改造，将原许可的碘-131胶囊生产线改造为碘-131胶囊、碘-123胶囊、碘-131标记、碘-123标记药物生产线。原有碘-131胶囊生产屏蔽工作箱因不满足GMP要求，同时其原有屏蔽材质（铁）和屏蔽厚度不满足辐射防护要求，将对该工作箱进行拆除，并更换为胶囊、标记药物生产屏蔽工作箱，同时为适应药物生产，将原检修设备间、缓冲间、气锁间、互锁间、微球包装间、拆外包间、准备间分别变更为碘-123溶靶间、产品接受暂存间、包材间、包装间、拆外包间、气锁间、预填充间（改造前后场所布局变化见图3.1.1和图3.1.2），新增暂存间和缓冲间。改造后碘-131日最大操作量为6.882×10¹¹Bq，日等效最大操作量为3.33×10¹³Bq，年最大操作量为5.217×10¹³Bq；碘-123日最大操作量为1.5503×10¹¹Bq，日等效最大操作量为1.48×10¹²Bq，年最大操作量为3.071×10¹³Bq。

(2) 2-6 生产线

2-6生产线建筑面积约74m²，本次将原已批复未建设的Na₂^{99m}TcO₄溶液生产线变更为镱-177标记药物生产线，变更前后场所布局不发生变化，变更后日最大操作量为4.44×10¹¹Bq，日等效最大操作量为4.44×10¹³Bq，年最大操作量为8.88×10¹³Bq。

(3) 2-7 生产线

2-7生产线建筑面积约77m²，本次将原已批复未建设的Na₂⁹⁹MoO₄溶液生产线变更为钷-90标记药物生产线，变更前后布局不发生变化，日最大操作量为1.295×10¹²Bq，日等效最大操作量为1.295×10¹¹Bq，年最大操作量为1.85×10¹⁴Bq。

放射性药物生产 2 车间通过改造、设计变更后总的日等效最大操作量为4.52×10¹⁵Bq，属于甲级非密封放射性物质工作场所。

3.1.1.2 放射性药物生产4车间

放射性药物4车间属于新建车间，位于生产大楼（2号楼）一楼，总建筑面积约816m²，主要包括：4-1生产线、4-2生产线、4-3生产线。

(1) 4-1 生产线

新建4车间4-1生产线建筑面积约120m²，本次将新建生产钼-99发生器和锆-68发生器，钼-99日最大操作量为 7.4×10^{12} Bq，日等效操作量为 7.4×10^{14} Bq，年最大操作量 7.4×10^{13} Bq；锆-68日最大操作量为 3.7×10^{10} Bq，日等效操作量为 3.7×10^{12} Bq，年最大操作量 1.85×10^{12} Bq；镓-68日最大操作量为 3.7×10^{10} Bq，日等效操作量为 3.7×10^{11} Bq，年最大操作量 1.85×10^{12} Bq。

(2) 4-2 生产线

新建4车间4-2生产线建筑面积约78m²，本次将新建生产镱-177、镱-99m标记药物和镱-177原料，其中镱-177日最大操作量为 2.00×10^{12} Bq，日等效最大操作量为 2.00×10^{11} Bq，年最大操作量为 1.18×10^{14} ；钼-99日最大操作量为 5.55×10^{11} Bq，日等效最大操作量为 5.55×10^9 Bq，年最大操作量为 3.72×10^{13} Bq；镱-99m日最大操作量为 5.55×10^{11} Bq，日等效最大操作量为 5.55×10^9 Bq，年最大操作量为 7.44×10^{13} Bq。

(3) 4-3 生产线

新建4车间4-3生产线建筑面积约127m²，本次将新建生产锝-225和碲-211标记药物，其中锝-225日最大操作量为 1.04×10^9 Bq，日等效最大操作量为 1.04×10^{13} Bq，年最大操作量为 2.07×10^{11} Bq，碲-211日最大操作量为 1.04×10^9 Bq，日等效最大操作量为 1.04×10^{12} Bq，年最大操作量为 5.18×10^{10} Bq。

放射性药物生产4车间新建后总的日等效最大操作量为 8.30×10^{14} Bq，属于甲级非密封放射性物质工作场所。

3.1.1.3 放射性药物检验研究中心

放射性药物检验研究中心位于质检大楼（1号楼）一层，建筑面积为2233.87m²，由于本项目涉及新的放射性药物生产和研发，因此需新增非密封放射性物质并对原已许可的非密封放射性物质用量进行调整，本次不涉及场所布局变化，变更后涉及使用、销售的非密封放射性物质包括：锆-89、钇-90、氙-133、铊-201、钷-277、钨-99m、钨-99、铟-90、铟-89、钷-153、铈-186、镭-224、镭-223、磷-32、钼-99、镱

-177、铟-111、碘-131、碘-125、氡-3、锗-68、镓-68、氟-18、铜-64、铬51、碳-14、碘-123、铟-225、碲-211、铯-161，变更后放射性药物检验研究中心总的日等效最大操作量为 $3.94 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

3.1.1.3 放射性药物研发实验室三

放射性药物研发实验室三位于质检大楼（1号楼）二层，本对已建设和许可的放射性药物研发实验室三进行改造，将原有建筑面积 56.3m^2 扩建至 84.2m^2 ，并对场所重新布局，布置放射性实验室、细胞间一（放射）、细胞间二（非放）、设备间、缓冲间、换鞋更衣间等（改造前后场所布局变化见图3.1.3和图3.1.4）。改造后涉及使用钷-90、镓-68、锗-89、碘-131、镱-177、铟-225、铯-161非密封放射性物质，其中钷-90日最大操作量为 $5.18 \times 10^7 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $5.18 \times 10^7 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $4.66 \times 10^9 \text{Bq}$ ；镓-68日最大操作量为 $1.85 \times 10^7 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ ；锗-89日最大操作量为 $1.85 \times 10^7 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.85 \times 10^6 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ ；碘-131日最大操作量为 $1.85 \times 10^7 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.85 \times 10^6 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ ；镱-177日最大操作量为 $5.18 \times 10^7 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $5.18 \times 10^6 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $3.11 \times 10^9 \text{Bq}$ ；铟-225日最大操作量为 $1.00 \times 10^5 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.00 \times 10^6 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $3.00 \times 10^6 \text{Bq}$ ；铯-161日最大操作量为 $1.50 \times 10^7 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.50 \times 10^6 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $4.50 \times 10^8 \text{Bq}$ 。改造后放射性药物研发实验室总的日等效最大操作量为 $1.67 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于丙级非密封放射性物质工作场所。放射性药物研发实验室三改造前后变化情况见表3.1-5。

3.1.1.3 配套及辅助工程

（1）动力站

本项目依托现有动力站，为一栋独立的二层建筑，位于生产车间与危险品库之间，建筑面积 875.16m^2 ，一层布设配电室、发电机房、油箱间、锅炉间（2台4t/h蒸汽锅炉），负一层布设地下水泵房。

（2）危险品库

本项目依托现有危险品库。危险品库为一栋独立的一层建筑，位于厂区东北角，建筑面积 175.75m^2 ，危险品库用于贮存酸、碱等腐蚀、易燃、有毒有害化学品原料及危险废物。

（3）办公楼

本项目办公场所依托现有场所，位于质检大楼（1号楼）的西端部分，共四层，建筑面积 2674.4m²。

（4）综合楼

本项目依托现有综合楼，位于厂区西北部，为一栋独立三层建筑，一层为餐厅，二层为男职工宿舍，三层为女职工宿舍，建筑面积 1574.92m²。

（5）配套环保工程

本项目依托已有配套环保工程，主要包括：放射性固废暂存间、放射性废液暂存间和一体化污水处理设施，目前均已建成投运。

①放射性固废暂存间

生产大楼（2号楼）放射性固废暂存间位于西北侧一层，建筑面积约 210m²，主要包括：2间短半衰期固废暂存间、1间长半衰期固废暂存间和卫生通过间等，由于分类收集暂存 2-1、2-6、2-7、4-1、4-2、4-3 生产线产生的放射性固体废物。

质检大楼（1号楼）放射性固废暂存间位于南侧负一层，建筑面积约 72m²，用于分类收集暂存放射性药物研发实验室、放射性药物检验研究中心产生的放射性固体废物。

②放射性废液暂存间

生产大楼（2号楼）放射性废液暂存间位于西北侧负一层，建筑面积 32m²，主要包括：1间放射性废液暂存间、设备间、泵房等，内设 6 个工艺废物废液储液罐和 4 个洗涤废液贮液罐，单个贮液罐容积为 1.13m³，用于收集 2-1、2-6、2-7、4-1、4-2、4-3 生产线产生的工艺废液和淋浴废水。

质检大楼（1号楼）放射性废液暂存间位于南侧负一层，建筑面积约 36m²，内设 3 个废液储液罐，单个贮液罐容积为 1.13m³，用于收集放射性药物研发实验室和放射性药物检验研究中心产生的放射性废液。

③一体化污水处理设施：

位于厂区北侧，采用 A/O 处理工艺，现有处理规模为 30m³/d，主要用于收集动物饲养废水职工食堂及其他非放工艺废水、生活废水、洗衣废水和洗手废水等。为保障本项目新增废水量并预留后期发展新增废水量处理能力，将现有一体化污水处理设施处理规模将扩建至 60m³/d，处理工艺仍为 A/O 处理工艺，收集后的废水处理

达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准后，排入园区污水管网，接入华阳污水处理厂，处理达到《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》（DB51/2311-2016）后排入锦江。

3.1.2 产品方案及生产规模

本项目涉及生产的放射性药物及原料包括：碘-123、碘-131胶囊药物，碘-123、碘-131、钷-90、钨-99m、铜-225、碲-211、镱-177标记药物和钨钨、锆镓发生器。

3.1.3 非密封放射性物质工作场所分级

根据中华人民共和国环境保护部办公厅文件《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号），满足以下3个特点的放射性药物生产、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工艺流程连续完整；③有相对独立的辐射防护措施。

放射性药物生产2车间除了本次涉及改造、变更的2-1、2-6、2-7生产线外，还包含2-2、2-3、2-4、2-5、2-8生产线，根据其平面布置情况及两区划分情况，由于人流、物流通道存在共用场所，且监督区不相对独立，本次将整个2车间整体划分为一个独立的非密封放射性物质工作场所进行管理。

放射性药物生产4车间（包含：4-1、4-2、4-3生产线）、放射性药物检验研究中心、放射性药物研发实验室，由于其平面布置相对独立（两区划分相对独立、明确）、工艺流程连续完整，且辐射防护措施相对独立，本次分别将放射性药物生产4车间、放射性药物检验研究中心和放射性药物研发实验室分别整体划分为一个独立的非密封放射性物质工作场所进行管理。

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录C提供的放射性同位素工作场所放射性核素日等效最大操作计算方法（见式3.1-1）和建设单位提供的放射性同位素最大日操作量，可以计算出核素的日等效最大操作量。非密封放射性物质工作场所的分级判据如表3.1-7。

表 3.1-6 非密封放射性物质工作场所的分级

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

放射性同位素的日等效最大操作量根据其毒性组别、操作方式、放射源状态和实际日最大操作量确定，见式 3.1-1。具体修正因子见表 3.1-8~表 3.1-11。

$$\text{日等效用量} = \frac{\text{日操作量} \times \text{毒性修正因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \dots\dots\dots \text{式 3.1-1}$$

3.1.4 项目组成及主要环境问题

本项目主要组成内容及可能产生的环境问题见表 3.1-12。

表 3.1-12 项目组成内容及主要环境问题

名称	建设内容及规模		可能产生的环境问题	
			施工期	运营期
主体工程	放射性药物生产 2 车间	2-1 生产线：建筑面积约 307m ² ，本次对已建设的 2-1 生产线进行改造，将原许可的碘-131 胶囊生产线改造为碘-131 胶囊、碘-123 胶囊、碘-131 标记、碘-123 标记药物生产线，同时对原有场所布局进行调整，将原碘-131 胶囊生产屏蔽工作箱拆除后更换为胶囊、标记药物生产屏蔽工作箱，同时为适应药物生产，将原检修设备间、缓冲间、气锁间、互锁间、微球包装间、拆外包间、准备间分别变更为碘-123 溶靶间、产品接受暂存间、包材间、包装间、拆外包间、气锁间、预填充间，新增暂存间和缓冲间。	扬尘、噪声、废水、建筑垃圾、生活污水、生活垃圾	α 射线、β 射线、γ 射线、韧致辐射、表面沾污、放射性废气、放射性废水、放射性固废
		2-6 生产线：建筑面积约 74m ² ，本次将原已批复未建设的 Na ₂ ^{99m} TcO ₄ 溶液生产线变更为镓-177 标记药物生产线，变更前后场所布局不发生变化。		
		2-7 生产线：建筑面积约 77m ² ，本次将原已批复未建设的 Na ₂ ⁹⁹ MoO ₄ 溶液生产线变更为钷-90 标记药物生产线，变更前后布局不发生变化。		
		放射性药物生产 2 车间通过改造、变更后总的日等效最大操作量为 4.52×10 ¹⁵ Bq，属于甲级非密封放射性物质工作场所。		
	放射性药物生产 4 车间	4-1 生产线：建筑面积约 120m ² ，本次将新建生产钼铈发生器和锆镓发生器。		
		4-2 生产线：建筑面积约 78m ² ，次将新建生产镓-177、钨-99m 标记药物和镓-177 原料。		
		4-3 生产线：建筑面积约 127m ² ，本次将新建生产钷-225 和碲-211 标记药物。		

名称	建设内容及规模		可能产生的环境问题	
			施工期	运营期
放射性药物检验研究中心		放射性药物生产 4 车间新建后总的日等效最大操作量为 $7.55 \times 10^{14} \text{Bq}$ ，属于甲级非密封放射性物质工作场所。		
	放射性药物检验研究中心	由于本项目涉及新的放射性药物生产和研发，因此需新增非密封放射性物质并对原已许可的非密封放射性物质用量进行调整，本次不涉及场所布局变化，变更后放射性药物检验研究中心总的日等效最大操作量为 $3.94 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。		
	放射性药物研发实验室三	对已建设的放射性药物研发实验室三进行改造，该场所位于 1 号楼二层，本次拟占用部分原有化学实验室（非辐射工作场所），将原有建筑面积 56.3m^2 扩建至 84.2m^2 ，并对场所重新布局，布置放射性实验室、细胞间一（放射）、细胞间二（非放）、设备间、缓冲间、换鞋更衣间等。改造后放射性药物研发实验室总的日等效最大操作量为 $1.67 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于丙级非密封放射性物质工作场所。		
辅助工程	动力站	本项目依托现有动力站，为一栋独立的二层建筑，位于生产车间与危险品库之间，建筑面积 875.16m^2 ，一层布设配电室、发电机房、油箱间、锅炉间（2 台 4t/h 蒸汽锅炉），负一层布设地下水泵房。		噪声、废气、固体废物、危险废物
	危险品库	本项目依托现有危险品库。危险品库为一栋独立的一层建筑，位于厂区东北角，建筑面积 175.75m^2 ，危险品库用于贮存酸、碱等腐蚀、易燃、有毒有害化学品原料及危险废物。		
配套环保工程	2 号楼	放射性固废暂存间：位于西北侧一层，建筑面积约 210m^2 ，主要包括：2 间短半衰期固废暂存间、1 间长半衰期固废暂存间和卫生通过间等，由于分类收集暂存 2-1、2-6、2-7、4-1、4-2、4-3 生产线产生的放射性固体废物。 放射性废液暂存间：位于西北侧负一层，建筑面积 32m^2 ，主要包括：1 间放射性废液暂存间、设备间、泵房等，内设 6 个工艺废物废液储液罐和 4 个洗涤废液贮液罐，单个贮液罐容积为 1.13m^3 ，用于收集 2-1、2-6、2-7、4-1、4-2、4-3 生产线产生的工艺废液和淋浴废水。		放射性废水、放射性固体废物
	1 号楼	放射性固废暂存间：南侧负一层，建筑面积约 72m^2 ，用于分类收集暂存放射性药物研发实验室、放射性药物		

名称	建设内容及规模		可能产生的环境问题	
			施工期	运营期
	检验研究中心产生的放射性固体废物。 放射性废液暂存间：位于南侧负一层，建筑面积约36m ² ，内设3个废液储液罐，单个贮液罐容积为1.13m ³ ，用于收集放射性药物研发实验室和放射性药物检验研究中心产生的放射性废液。			
	依托已有一体化污水处理设施现有处理规模为30m ³ /d，为保障本项目新增废水量并预留后期发展新增废水量处理能力，将该一体化污水处理设施处理规模将扩建至60m ³ /d，处理工艺仍为A/O处理工艺。			废水、底泥
公用工程	项目供水、供电及排水均依托已有设施。			/
办公、生活设施	依托已有办公场所设置在1大楼的西端部分，共四层，建筑面积2674.4m ² 。			生活污水、生活垃圾、废油脂、餐厨垃圾
	依托已有综合楼位于厂区西北部，为一栋独立三层建筑，一层为餐厅，二层为男职工宿舍，三层为女职工宿舍，建筑面积1574.92m ² 。			

3.1.5 原辅材料及理化性质

3.1.5.1 主要原辅材料消耗

根据建设单位提供资料，本项目各生产线所使用的放射性物料和非放射性物料情况见表3.1-13。

3.1.5.2 放射性物料特性

本项目涉及使用的放射性核素包括：钷-90、钨-99m、碘-131、镧-177、碘-123、钼-99、锆-68、镓-68、铟-225、碲-211、铯-161、钪-89、氙-133、铊-201、钍-227、钨-99、铟-90、钷-153、铈-186、镭-224、镭-223、磷-32、碘-125、氙-3、氟-18、铜-64、铬-51、碳-14。

3.1.5.3 主要非放射性物料特性

本项目放射性药品生产车间涉及使用的非放射性物料主要包括：二氧化碲、氢氧化钠、氮气、磷酸二氢钠、氯化钠、硫酸、氢氧化钠、苯甲醇、磷酸氢二钠、五水硫代硫酸钠、磷酸氢二钠、焦亚硫酸钠、磷酸、醋酸、过氧化氢、氧化铝、浓硝酸、浓盐酸、无水乙醇、柠檬酸等。

3.1.6 劳动定员

本项目建成后拟定辐射工作人员32人，其中20名辐射工作人员属于已有人员，12名辐射工作人员属于新增人员，具体人员配置情况见表3.1-16。

表 3.1-16 项目劳动人员配置一览表

工作场所		工艺环节	人数(人)	备注
2 车间	2-1 生产线	碘-123、碘-131 标记生产	2	从目前已有辐射工作人员进行调配，不与其他辐射工作交叉。
		碘-123、碘-131 胶囊生产	2	
	2-6 生产线	镱-177 标记药物生产	2	
	2-7 生产线	钷-90 标记药物生产	2	
	转运、拆包、打包		4	从目前已有辐射工作人员进行调配，还将参与 2 车间其他放射性原料/产品的转运、拆包、打包工作。
4 车间	4-1 生产线	锆镓/钨钨发生器生产	2	新增辐射工作人员，不与其他辐射工作交叉。
	4-2 生产线	镱-177 原料生产、镱-177 标记药物生产	2	
		钨-99m 标记药物生产	2	
	4-3 生产线	钷-225/砷-211 标记药物生产	4	
	转运、拆包、打包		2	
放射性药物检验研究中心			4	已有辐射工作人员，不与其他辐射工作交叉。
放射性药物研发实验室三			2	已有辐射工作人员，不与其他辐射工作交叉。
放射性药物销售、运输			2	从目前已有辐射工作人员进行调配，还将参与其他放射性药物的销售、运输工作。
合计			32	/

建设单位承诺，将依据生态环境部《关于做好2020年核技术利用辐射安全与防护培训和考核工作有关事项的通知》（环办辐射函〔2019〕853号）要求，积极组织项目新增辐射工作人员上岗前参加辐射安全和防护学习、考核，并在考核合格后上岗。

3.2 工程设备与工艺分析

3.2.1 主要工艺设备配置

根据建设单位提供资料，本项目各生产线涉及的主要工艺设备配置情况，见表 3.2-1。

表 3.2-1 本项目主要工艺设备表

(略)

3.2.2 工艺流程分析

3.2.2.1 碘-123多肽标记药物生产（2-1生产线）

(略)

3.2.2.2 碘-131标记小分子药物生产（2-1生产线）

(略)

3.2.2.3 碘-123、碘-131胶囊药物生产（2-1生产线）

(略)

3.2.2.4 镱-177多肽生产（2-6生产线）

(略)

3.2.2.5 钇-90单抗/微球药物生产（2-7生产线）

(略)

3.2.2.6 钼-99/锝发生器球生产（4-1生产线）

(略)

3.2.2.7 镱-177原料生产及镱-177单抗标记药物生产（4-2生产线）

(略)

3.2.3.3.1 镱-177 原料生产

(略)

3.2.2.8 ^{99m}Tc-MDP造影剂生产（4-2生产线）

(略)

3.2.2.10 锇[²²⁵Ac]-单抗/多肽、砷[²¹¹At]-单抗/多肽药物生产（4-3生产线）

(略)

3.2.2.11 放射性药物检验（放射性药物检验研究中心）

（略）

3.2.2.12 药物研发（放射性药物研发实验室）

（略）

3.2.2.13 产品销售及运输**（1）销售**

本项目销售模式为自产自销，主要销售流程如下：

（1）成都纽瑞特销售部收到购买方放射性药物购买申请，并与购方进行接洽工作，协商相关事宜；

（2）购买方向成都纽瑞特提供《辐射安全许可证》及其它相关资料，销售部对其相关资质进行认定合格后与购买方签订销售协议和分责协议；

（3）销售服务部门根据医院提供的购买需求情况进行放射性药物生产。

（4）生产完成并检验合格后的放射性药物经包装检查和表面污染监测后，由成都纽瑞特直接运输至最终客户，并进行放射性药品的出库台账记录；

（5）成都纽瑞特销售部安排专人和专车进行放射性药物的运输和放射性药品的移交。

在销售过程，相关单位的职责各不相同，需在合同签订中各自明确。具体职责如下：

表 3.2-13 销售过程相关单位责任划分表

相关单位	职责
成都纽瑞特	①负责放射性物质销售的商务谈判，与购买方签订放射性物质销售合同； ②负责审查购买方是否具有相应的使用资质，确保非密封放射性物质销售到具有相应使用资质的单位； ③负责将产品运输至购买方（或使用方）指定的地点，并办理放射性物质运输的相关审批手续，承担放射性物质运输过程中的安全责任； ④负责运至购买方（或使用方）指定地点后的现场交付协调工作。
购买方	①负责向成都纽瑞特提供真实的非密封放射性物质许可使用资质； ②负责非密封放射性物质到场后的安全使用和储存工作； ③未使用完的放射性药品，由医院负责安全处理。

（2）产品运输方案

项目销售的放射性核素产品均由本单位自行负责运输，采用专用容器包装。根

据放射性药物半衰期特性，其中短距离运输由建设单位自行配备运输车辆进行运输，长距离运输采用公共交通（火车、飞机）进行运输，每次运输均安排专人进行押运。本项目销售的放射性产品货包均按《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）规定的II级 A 型货包（外表面上任一点的最高辐射水平 $\leq 0.5\text{mSv/h}$ ）进行包装。项目放射性产品货包在出厂运输前须进行表面剂量率及表面污水平监测，确保满足货包标准要求，并按照《放射性物品安运输安全监督管理办法》等相关法律法规要求，执行运输管理。

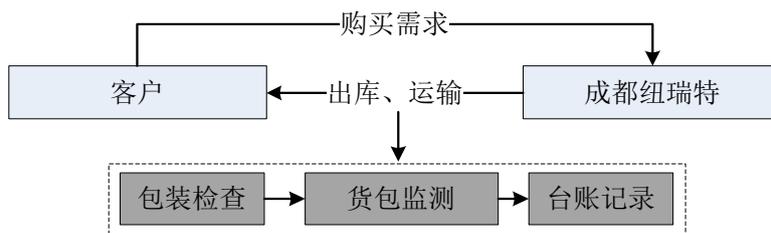


图 3.2-12 放射性药物销售工艺图

3.2.3 辐射工作场所流通过程规划

3.2.3.1 厂区内人流、物流规划

整个厂区内为尽量缩短放射性物料和放射性废物的流通过程，各个功能布局较为紧凑，同时各个场所根据不同的生产要求和用途可以划分为独立的功能单元，减小了厂内人员的交叉流通。同时为减少物料、废物与工作人员的交叉污染，整个厂区内围绕各个功能区分设1个物流通道和1个人流通道（见图3.2-11），其中物流通道布设于厂区西北侧，人流通道布设于厂区南侧。

（略）

图 3.2-12 厂区内平面布局及人流、物流布置图

3.2.3.2 场所内人流、物流规划

（1）2车间人流、物流路径规划

①人员路径

2-1生产线人员在生产前通过东侧门厅→更衣间（换常服、穿鞋套）→工作人员走廊→换鞋间→更衣间（穿洁衣、消毒）→缓冲间→2-1生产线工作箱前区；生产结束后通过工作箱前区→缓冲间→更衣间（脱洁衣）→换鞋间→工作人员走廊→更衣间（穿常服、脱鞋套，经表面沾污监测，若经监测合格可直接离开，若监测出现超

标则将进行更衣淋浴，并经再次监测合格后离开）→门厅离开。

2-6、2-7生产线人员在生产前通过东侧门厅→更衣间（换常服、穿鞋套）→工作人员走廊→换鞋间→更衣间（穿洁衣）→2-6、2-7生产线工作箱前区；生产结束后通过工作箱前区→更衣间→换鞋间→工作人员走廊→更衣间（穿常服、脱鞋套，经表面沾污监测，若经监测合格可直接离开，若监测出现超标则将进行更衣淋浴，并经再次监测合格后离开）→门厅离开。

②放射性原料路径

2-1生产线生产碘-123标记药物和碘-123胶囊时，放射性原料由北侧货厅进入→放射性原料暂存间→缓冲间→碘-123溶靶间→传递窗→工作箱前区；2-1生产碘-131标记药物和碘-131胶囊时，放射性原料有北侧货厅进入→放射性原料暂存间→包装间→产品接收暂存间→传递窗→工作箱。

2-6、2-7生产线放射性原料由北侧货厅进入→放射性原料暂存间→气锁间→拆外包间→传递窗→工作箱后区。

③非放射性原料路径

2-1生产线非放射性原料由非放射性料库房→拆外包间→传递窗→灭菌间→预填充间/准备间→传递窗→工作箱前区。

2-6、2-7生产线非放射性原料由常温暂存间→拆外包间→清洗灭菌间→准备间→工作箱前区。

④产品路径

2-1生产线产品由工作箱后区→传递窗→产品接受暂存间→外包间→产品暂存间；2-6、2-7生产线由工作箱后区→传递窗→包装间→产品暂存间。

⑤放射性废物路径

2-1生产线放射性废物由工作箱后区→传递窗→通道→放射性固废暂存间；2-6、2-7生产线放射性废物由工作箱后区→传递窗→通道→放射性固废暂存间。

（2）4车间人流、物流路径规划

①人员路径

4-1、4-2和4-3生产线人员在生产前通过西侧门厅→更衣间（换常服、穿鞋套）→洗手室→换鞋间→更衣间（穿洁衣）→缓冲间→更衣室→更衣室→缓冲室→工作箱；生产结束后通过工作箱→缓冲间→更衣间（脱洁衣）→换鞋间→工作人员走廊

→缓冲间→更衣室（穿常服、脱鞋套，经表面沾污监测，若经监测合格可直接离开，若监测出现超标则将进行更衣淋浴，并经再次监测合格后离开）→更鞋室→工作人员走廊→洗手室→更衣室→门厅。

②放射性原料路径

4-1、4-2和4-3生产线放射性原料由货厅→传递窗→工作箱。

③非放射性原料路径

4-1、4-2和4-3生产线非放射性原料由货厅→传递窗→非放射性物料暂存间→灭菌室→准备间/物料清洗填柱室→传递窗→工作箱。

④产品路径

4-1、4-2和4-3生产线产品由工作箱→传递窗→包装室→放射性货厅→放射性产品暂存库。

⑤放射性废物路径

4-1、4-2和4-3生产线放射性废物由工作箱→传递窗→放射性货厅→放射性固废间。

（3）放射性药物检验研究中心人流、物流路径规划

①人员路径

放射性药物检验研究中心位于质检大楼（1号楼）一层，工作人员由西侧办公室→换鞋间→更衣间→放射性药物检验研究中心，若需开展微生物或无菌相关检验实验则再次经卫生通过间换洁衣后进入。实验结束后由放射性药物检验研究中心→更衣间（表面沾污监测，若经监测合格可直接离开，若监测出现超标则将进行更衣淋浴，并经再次监测合格后离开）→换鞋间→办公室。

②原料及废物路径

本项目涉及使用的放射性物料由北侧样品接收间→暂存间→放射性实验室，实验结束后产生的放射性废物经放射性实验室→留样间→1号楼负一层放射性固废暂存间。

（4）放射性药物研发实验室三人流、物流路径规划

①人员路径

放射性药物研发实验室三位于质检大楼二层，工作人员由西侧办公室→换鞋间→更衣间→放射性实验室，若需开展细胞实验则再次经换鞋更衣间→缓冲间→细胞

间。实验结束后由放射性药物研发实验室三→更衣间（表面沾污监测，若经监测合格可直接离开，若监测出现超标则将进行更衣淋浴，并经再次监测合格后离开）→换鞋间→办公室。

②原料及废物路径

本项目涉及使用的放射性物料由西侧楼梯从一楼转移至二楼，然后直接转入放射性药物研发实验室三，实验结束后产生的放射性废物经西侧楼梯从二楼转至负一楼，然后直接转入放射性固废暂存间。

3.3 污染源项

3.3.1 施工期污染源

本项目是依托已有生产大楼（2号楼）和质检大楼（1号楼）进行场所改造，并进行相应的场所装修和设备安装等，由于本项目辐射工作场所各功能区布局主要采用彩钢板进行隔离，结构施工量较小，施工期主要污染源为噪声、扬尘、机械废气、建筑垃圾、施工废水、生活废水和生活垃圾等。本项目2-1生产线涉及原有工作箱拆除，因此施工期还可能产生一定量含放射性的固体废物。本项目施工期工艺流程及产物环节见图4.1-1。

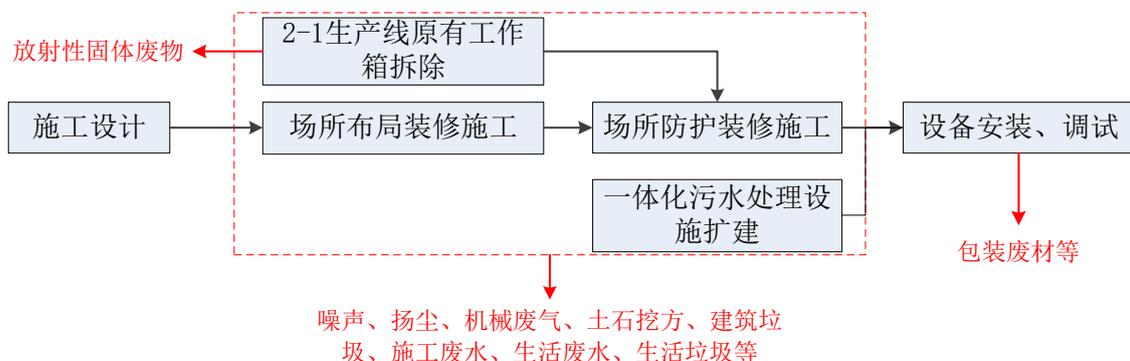


图 3.3-1 本项目施工期工艺流程及产污环节图

3.3.1.1 噪声

施工期的噪声主要来源于施工现场的各类机械设备噪声，主要有载重车、吊车、电焊机、电锯、空压机、电钻、电锤、角磨机等，施工期噪声源强见表 3.3-1。

表3.3-1 施工期机械噪声源值

声源	距离源强 1m 处噪声 dB (A)
载重车、吊车	80-85

声源	距离源强 1m 处噪声 dB (A)
电焊机	100-105
电锯	90-95
空压机	80-85
电钻	100-105
电锤	100-105
角磨机	100-105

3.3.1.2 施工废气

项目施工期废气主要来源于于漆、涂、磨、切、钻、砂等装修作业过程中装修材料（如：油漆、涂料等）产生的有机废气、扬尘及机械废气等。

3.3.1.3 施工废水

施工期废水为施工人员的生活废水和施工废水。本项目施工期预计施工人员约 50 人，工期约 3 个月；根据《四川省用水定额》（川府函[2021]8 号），施工人员生活用水按 240L/（人 d）计，则用水量为 12.5m³/d，废水排放量按用水量的 0.8 计，则废水产生量为 10m³/d，整个施工期施工人员废水产生量为 900m³。

施工废水主要污染物为悬浮物，采用简易沉淀池沉淀后循环使用，不外排。

3.3.1.4 固体废物

本项目固体废物主要来源：2-1 生产线原有工作箱的拆除固废，一体化污水处理设施扩建产生的土石挖方及建筑垃圾，装修施工过程中产生的建筑垃圾，设备安装过程产生的包装废材和施工人员的生活垃圾。

（1）拆除固废

2-1 生产线拆除固废主要是场所原有防护工作箱及部分彩钢隔离板等。其中生产工作箱重量约 10t，可能含有的放射性核素为：碘-131。

（2）土石挖方及建筑垃圾

一体化污水处理设施扩建时将对原有部分设施进行拆除，经进行处理池扩建，施工过程中会产生一定量的土石挖方约 60m³，建筑垃圾约 1t，包括废弃混凝土结构块、废弃处理设备组件和污泥等。同时在装修过程及设备安装过程会产生装修废材和包装废材等（如：包装材料、废木材和废金具等），产生量约 1t。

（3）生活垃圾

项目施工期预计施工人员约 50 人，工期约 3 个月，根据《第一次全国污染源普

查城镇生活源产排污系数手册（2008年）》和《生活源产排污系数及使用说明（2010年修订）》，施工人员生活垃圾产生量按 $0.6\text{kg/d}\cdot\text{人}$ 计，则施工期生活垃圾产生量为 30kg/d ，整个施工期施工人员生活垃圾产生量为 2.7t 。

3.3.2 运营期放射性污染源

3.3.2.1 2-1生产线放射性污染源项

（1）贯穿辐射

2-1 生产线涉及使用的放射性核素包括：碘-123 和碘-131，其中碘-123 半衰期为 13.2h ，衰变方式为 EC ($\approx 100\%$)，衰变时仅产生最大能量 0.539MeV 的 γ 射线；碘-131 半衰期为 8.04d ，衰变方式为 β^- (100%)，衰变时产生 γ 射线最大能量为 0.723MeV ，产生 β 粒子最大能量为 0.806MeV ，当 β 粒子遇到重质材料还会产生韧致辐射（X射线），能量为 0.269MeV 。

（2）放射性废气

由于碘-123 和碘-131 属于易挥发性核素，在溶液分离纯化、灌注、标记、稀释、分装、过滤、灭菌等环节会产生一定量的含碘-123 和碘-131 的气溶胶，其中部分工艺涉及高温加热过程，但其加热过程均在密闭容器中进行，因此加热挥发量较小其根据行业生产经验，碘-123 和碘-131 气溶胶释放量保守按操作量的 1% 考虑，碘-123 标记药物生产日最大操作量为 $1.48\times 10^{11}\text{Bq}$ ，则含碘-123 废气产生量为 $1.48\times 10^8\text{Bq/d}$ ，碘-131 标记药物生产日最大操作量为 $3.33\times 10^{11}\text{Bq}$ ，则含碘-131 废气产生量为 $3.33\times 10^8\text{Bq/d}$ 。碘-123 胶囊生产日最大操作量为 $7.40\times 10^9\text{Bq}$ ，则含碘-123 废气产生量为 $7.40\times 10^6\text{Bq/d}$ ，碘-131 胶囊生产日最大操作量为 $3.552\times 10^{11}\text{Bq}$ ，则含碘-131 废气产生量为 $3.552\times 10^8\text{Bq/d}$ 。

2-1 生产线设计有除碘过滤系统，根据《成都纽瑞特医疗科技股份有限公司碘吸附器效率试验总结报告》（中辐院报告编号：CIRP-NRT-DXFQ-202101）碘-123 和碘-131 气溶胶过滤效率为 99.8% ，则含碘-123（标记）、碘-123（胶囊）、碘-131（标记）、碘-131（胶囊）的废气排放量分别为： $2.96\times 10^5\text{Bq/d}$ 、 $1.48\times 10^4\text{Bq/d}$ 、 $6.66\times 10^5\text{Bq/d}$ 、 $7.10\times 10^5\text{Bq/d}$ 。

（3）放射性废水

碘-123 标记药物原料处理因硅胶柱清洗产生含碘-123 清洗废液，其产生为

100mL/批次，活度为 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ /批次。

碘-123 标记药物生产环节因纯化柱清洗产生含碘-123 清洗废液，产生量为 100mL/批次，活度为 $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ /批次。

碘-131 标记药物生产环节因纯化柱清洗产生含碘-131 清洗废液，产生量为 100mL/批次，活度为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ /批次。

（4）放射性固体废物

碘-123 标记药物分离纯化环节将产生含碘-123 的过滤器、活性炭、硅胶等，产生量为 200g/批次，活度为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ /批次；标记、纯化、过滤、分装、灭菌、活度测量环节产生含碘-123 的注射器、针头、转移管路、纯化柱、滤膜、空溶液瓶等，产生量约 180g/批次，活度为 $1.7 \times 10^9 \text{Bq}$ /批次。

碘-131 标记药物生产标记、纯化、过滤、分装、灭菌、活度测量环节产生含碘-131 的注射器、针头、转移管路、纯化柱、滤膜、空溶液瓶等，产生量约 180g/批次，活度为 $1.7 \times 10^9 \text{Bq}$ /批次。

碘-123 胶囊生产稀释、灌注、分装、活度测量环节产生含碘-123 的枪头、空溶液瓶等，产生量为 100g/批次，活度为 $5.5 \times 10^8 \text{Bq}$ /批次。

碘-131 胶囊生产稀释、灌注、分装、活度测量环节产生含碘-131 的枪头、空溶液瓶等，产生量为 100g/批次，活度为 $5.5 \times 10^8 \text{Bq}$ /批次。

3.3.2.2 2-6生产线放射性污染源项

（1）贯穿辐射

2-6 生产线涉及使用的放射性核素为：镭-177 半衰期为 6.71d，衰变方式为 β^- （100%），衰变时产生 γ 射线最大能量为 0.497MeV，产生 β 粒子最大能量为 0.321MeV 的 β 射线，当 β 粒子遇到重质材料还会产生轭致辐射（X 射线），能量为 0.161MeV。

（2）放射性废气

镭-177 在标记反应过程会进行高温预热，部分镭-177 会形成气溶胶流出，根据行业生产经验，镭-177 气溶胶释放量保守按操作量的 0.1%考虑，镭-177 日最大操作量为 $2.22 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，则含镭-177 废气产生量为 $2.22 \times 10^7 \text{Bq/d}$ 。

2-6 生产线设计有袋进袋出高效过滤风机组，含镭-177 气溶胶过滤效率为 99.99%，则含镭-177 废气排放量为 $2.22 \times 10^3 \text{Bq/d}$ 。

（3）放射性固体废物

镱-177 标记药物生产标记、稀释、过滤、活度测量环节产生含镱-177 的注射器、针头、滤膜、空溶液瓶等，产生量约 120g/批次，活度为 $5.26 \times 10^8 \text{Bq/批次}$ 。

3.3.2.3 2-7生产线放射性污染源项

(1) 贯穿辐射

2-7 生产线涉及使用的放射性核素为：钷-90，半衰期为 64.1h，衰变方式为 β^- （100%），衰变时仅产生 2.28MeV 的 β^- 射线，当 β^- 粒子遇到重质材料还会产生韧致辐射（X 射线），能量为 0.76MeV。

(2) 放射性废气

钷-90 属于非挥发性金属核素，生产过程均为常温反应，在生产过程挥发量较小，根据行业生产经验，钷-90 气溶胶释放量保守按操作量的 0.01‰考虑，钷-90 日最大操作量为 $1.295 \times 10^{12} \text{Bq}$ ，则含钷-90 废气产生量为 $1.295 \times 10^7 \text{Bq/d}$ 。

2-7 生产线设计有袋进袋出高效过滤风机组，含钷-90 气溶胶过滤效率为 99.99%，则含钷-90 废气排放量为 $1.295 \times 10^3 \text{Bq/d}$ 。

(3) 放射性废水

钷-90 单抗标记药物标记过程产生含钷-90 标记残留液，其产生量为 100mL/批次，活度为活度为 $3.7 \times 10^9 \text{Bq/批次}$ 。

钷-90 微球标记药物标记过程产生含钷-90 标记残留液，其产生量为 300mL/批次，活度为活度为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq/批次}$ 。

(4) 放射性固体废物

钷-90 单抗标记药物生产标记、稀释、过滤、灭菌、活度测量环节产生含钷-90 的注射器、转移管路、针头、滤膜、空溶液瓶等，产生量约 150g/批次，活度为 $3.7 \times 10^9 \text{Bq/批次}$ 。

钷-90 单抗标记药物生产标记、过滤、灭菌、活度测量环节产生含钷-90 的过滤装置、空溶液瓶等，产生量约 100g/批次，活度为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq/批次}$ 。

3.3.2.4 4-1生产线放射性污染源项

(1) 贯穿辐射

4-1 生产线涉及使用的放射性核素包括：钷-99 和钷-68，其中钷-99 半衰期为 2.75d，衰变方式为 β^- （100%），衰变时产生 γ 射线最大能量为 0.950MeV，产生 β^- 粒子能量最大为 1.215MeV，当 β^- 粒子遇到重质材料还会产生韧致辐射（X 射线），能量为

0.405MeV，同时钼-99 衰变会产生子体核素锝-99m，半衰期为 6.02h，衰变方式为 TI（ $\approx 100\%$ ），衰变时产生 γ 射线最大能量为 0.141MeV。锆-68 半衰期为 288d，衰变方式为 EC（100%），衰变时产生最大 γ 射线能量为 0.0092MeV，同时锆-68 衰变会产生子体核素镓-68，半衰期为 68.3min，衰变方式为 β^+ （88%）、EC（12%），衰变时产生 β^+ 粒子最大能量为 1.90MeV，应湮灭反应产生 γ 射线最大能量为 0.511MeV，同时当 β 粒子遇到重质材料还会产生韧致辐射（X 射线），产生最大 X 射线能量为 0.63MeV。

（2）放射性废气

钼锝发生器生产原料准备过程会进行高温蒸煮，部分钼-99/锝-99m 会形成气溶胶流出，根据行业生产经验，钼-99/锝-99m 气溶胶释放量保守按操作量的 0.1‰考虑，钼-99 日最大操作量为 7.4×10^{12} Bq，则含钼-99/锝-99m 废气产生量为 7.4×10^8 Bq/d。

锆镓发生器生产原料准备过程会进行高温蒸煮，部分锆-68/镓-68 会形成气溶胶流出，根据行业生产经验，锆-68/镓-68 气溶胶释放量保守按操作量的 0.1‰考虑，锆-68 日最大操作量为 3.7×10^{10} Bq，则含锆-68/镓-68 废气产生量为 3.7×10^6 Bq/d。

4-1 生产线设计有袋进袋出高效过滤风机组，对含钼-99/锝-99m、锆-68/镓-68 气溶胶过滤效率为 99.99%，则含钼-99/锝-99m、锆-68/镓-68 的废气排放量分别为： 7.4×10^4 Bq/d、 3.7×10^2 Bq/d。

（3）放射性废水

钼锝发生器生产灌注、冲洗、渗透性环节会产生含钼-99/锝-99m 的母液、冲洗废液、渗透检测废液和淋洗液等，产生量分别为 20mL/批次、20mL/批次、5mL/批次、5mL/批次，活度分别为 3.7×10^9 Bq/批次、 3.7×10^9 Bq/批次、 3.7×10^8 Bq/批次、 3.7×10^8 Bq/批次。

锆镓发生器生产灌注、冲洗、渗透性测试、漏穿环节会产生含锆-68/镓-68 的母液、冲洗废液、渗透检测废液和淋洗液等，产生量分别为 20mL/批次、20mL/批次、5mL/批次、5mL/批次，活度分别为 3.7×10^8 Bq/批次、 3.7×10^8 Bq/批次、 3.7×10^7 Bq/批次、 3.7×10^7 Bq/批次。

（4）放射性固体废物

钼锝发生器生产原料准备环节会产生含钼-99/锝-99m 的无菌过滤器、滴管等，产生量为 200g/批次，活度为 3.7×10^9 Bq/批次。

锗镓发生器生产原料准备环节会产生含锗-68/镓-68 的无菌过滤器、滴管等，产生量为 200g/批次，活度为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq/批次}$ 。

3.3.2.5 4-2生产线放射性污染源项

(1) 贯穿辐射

4-2 生产线涉及使用的放射性核素为：镭-177、镓-99m，其中镭-177 半衰期为 6.71h，衰变方式为 β （100%），衰变时产生 γ 射线最大能量为 0.497MeV，产生 β 粒子最大能量为 0.321MeV 的 β 射线，当 β 粒子遇到重质材料还会产生韧致辐射（X 射线），能量为 0.161MeV；镓-99m 半衰期为 6.02h，衰变方式为 TI（ $\approx 100\%$ ），衰变时产生 γ 射线最大能量为 0.141MeV。

(2) 放射性废气

镭-177、镓-99m 均属于非挥发性金属核素，生产过程均为常温反应，在生产过程挥发量较小，根据行业生产经验，镭-177、镓-99m 气溶胶释放量保守按操作量的 0.01‰考虑，镭-177 日最大操作量为 $2.0 \times 10^{12} \text{Bq}$ ，则含镭-177 废气产生量为 $2.0 \times 10^7 \text{Bq/d}$ ，镓-99m 日最大操作量为 $5.55 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，则含镓-99m 废气产生量为 $5.55 \times 10^6 \text{Bq/d}$ ，

4-2 生产线设计有袋进袋出高效过滤风机组，含镭-177、镓-99m 气溶胶过滤效率为 99.99%，则含镭-177、镓-99m 废气排放量分别为 $2.0 \times 10^3 \text{Bq/d}$ 、 $5.55 \times 10^2 \text{Bq/d}$ 。

(3) 放射性废液

镭-177 原料生产因纯化柱清洗产生含镭-177 清洗废液，产生量为 5L/批次，活度为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq/批次}$ 。

(4) 放射性固体废物

镭-177 原料生产纯化、分装、灭菌、活度测量环节产生含镭-177 的交换柱、滤膜和空溶液瓶等，产生量为 200g/批次，活度为 $2.9 \times 10^{10} \text{Bq/批次}$ 。

镭-177 单抗药物生产标记、稀释、过滤、灭菌、活度测量产生含镭-177 的注射器、针头、滤膜、空溶液瓶等，产生量为 160g/批次，活度为 $1.3 \times 10^9 \text{Bq/批次}$ 。

镓-99m 标记药物生产标记、稀释、过滤、灭菌、活度测量产生含镓-99m 的注射器、针头、空溶液瓶等，产生量为 400g/批次，活度为 $3.32 \times 10^9 \text{Bq/批次}$ 。

3.3.2.6 4-3生产线放射性污染源项

(1) 贯穿辐射

4-3 生产线涉及使用的放射性核素为：锝-225、碲-211，其中锝-225 半衰期为 10.0d，衰变方式为 α （100%），衰变时产生 γ 射线最大能量为 0.09MeV，产生 α 粒子最大能量为 5.83MeV；碲-211 半衰期为 7.2h，衰变方式为 α （51.8%）、EC（58.2%），衰变时产生 α 射线最大能量为 5.982MeV。同时锝-225 和碲-211 在衰变过程中还会产生具有放射性核素的衰变链，如图 3.2-2 和图 3.2-3 所示，衰变过程各核素特性见表 3.3-14 和表 3.3-15。

（2）放射性废气

锝-225、碲-211 均属于非挥发性核素，生产过程均为常温反应，在生产过程挥发量较小，根据行业生产经验，锝-225、碲-211 气溶胶释放量保守按操作量的 0.01% 考虑，锝-225 日最大操作量为 $5.18 \times 10^8 \text{Bq}$ ，则含锝-225 废气产生量为 $5.18 \times 10^3 \text{Bq/d}$ ，碲-211 日最大操作量为 $5.18 \times 10^8 \text{Bq}$ ，则含碲-211 废气产生量为 $5.18 \times 10^3 \text{Bq/d}$ 。

4-3 生产线设计有袋进袋出高效过滤风机组，含锝-225、碲-211 气溶胶过滤效率为 99.99%，则含锝-225、碲-211 废气排放量分别为 0.518Bq/d、0.518Bq/d。

（3）放射性废液

锝-225 标记药物生产因纯化柱清洗产生含锝-225 的清洗废液，产生量为 100mL/批次，活度为 $7.4 \times 10^6 \text{Bq/批次}$ 。

碲-211 标记药物生产因纯化柱清洗产生含碲-211 的清洗废液，产生量为 100mL/批次，活度为 $7.4 \times 10^6 \text{Bq/批次}$ 。

（4）放射性固体废物

锝-225 标记药物生产纯化、分装、灭菌、活度测量环节产生含锝-225 的注射器、针头、交换柱、空溶液瓶等，产生量为 300g/批次，活度为 $9.18 \times 10^7 \text{Bq/批次}$ 。

碲-211 标记药物生产纯化、分装、灭菌、活度测量环节产生含碲-211 的注射器、针头、交换柱、空溶液瓶等，产生量为 300g/批次，活度为 $9.18 \times 10^7 \text{Bq/批次}$ 。

3.3.2.7 放射性药物检验研究中心和放射性药物研发实验室三污染源项

（1）贯穿辐射

本项目放射性药物检验研究中心和放射性药物研发实验室三涉及使用的放射性核素包括：钋-89、钷-90、氡-133、铊-201、钷-277、钷-99m、钷-99、铯-90、铯-89、钷-153、镱-186、镭-224、镭-223、磷-32、钼-99、镭-177、钷-111、碘-131、碘-125、氡-3、锶-68、镓-68、氟-18、铜-64、铬-51、碳-14、碘-123、锝-225、碲-211、铊-161，

各核素的特性见表 3.1-14，其中镭-224、镭-223、钷-227、铀-225、砷-211 属于 α 核素，各核素衰变链分别见图 3.2-2、图 3.2-3、图 3.3-4 和图 3.3-5，衰变过程各核素特性见表 3.3-14、表 3.3-15、表 3.3-18 和表 3.3-19。

（2）放射性废气

由于放射性药物质检实验和研发实验过程不涉及放射性核素高温加热环节，且放射性核素操作量相对较少，因此放射性气溶胶产生量较少，其中碘-131 挥发量保守按 1‰计，非碘-131 核素挥发量保守按 0.1‰计，质检大楼（1 号楼）设计有集成高效过滤除碘过滤风机组，根据《成都纽瑞特医疗科技股份有限公司碘吸附器效率试验总结报告》（中辐院报告编号：CIRP-NRT-DXFQ-202101）对碘核素的去除效率为 99.96%，对非碘核素去除率为 99.97%。

表3.3-20 放射性药物检验中心废气排放量核算表

核素	日最大操作量 (Bq)	挥发率	废气产生量 (Bq/d)	过滤器去除率	排放量 (Bq/d)
^{89}Zr	7.40E+08	0.1‰	7.40E+04	99.97%	22.2
^{90}Y	7.40E+09	0.1‰	7.40E+05	99.97%	222
^{133}Xe	7.40E+08	0.1‰	7.40E+04	99.97%	22.2
^{201}Tl	7.40E+08	0.1‰	7.40E+04	99.97%	22.2
^{227}Th	7.40E+06	0.1‰	7.40E+02	99.97%	0.222
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	7.40E+09	0.1‰	7.40E+05	99.97%	222
^{99}Tc	7.40E+09	0.1‰	7.40E+05	99.97%	222
^{90}Sr	3.70E+07	0.1‰	3.70E+03	99.97%	1.11
^{89}Sr	7.40E+08	0.1‰	7.40E+04	99.97%	22.2
^{153}Sm	7.40E+07	0.1‰	7.40E+03	99.97%	2.22
^{186}Re	3.70E+07	0.1‰	3.70E+03	99.97%	1.11
^{223}Ra	7.40E+06	0.1‰	7.40E+02	99.97%	0.222
^{32}P	7.40E+08	0.1‰	7.40E+04	99.97%	22.2
^{99}Mo	1.85E+09	0.1‰	1.85E+05	99.97%	55.5
^{177}Lu	9.25E+09	0.1‰	9.25E+05	99.97%	277.5
^{111}In	7.40E+08	0.1‰	7.40E+04	99.97%	22.2
^{131}I	7.40E+09	1‰	7.40E+06	99.96%	2960
^{125}I	7.40E+08	1‰	7.40E+05	99.96%	296
^3H	7.40E+08	1‰	7.40E+05	99.97%	222
^{68}Ge	7.40E+08	0.1‰	7.40E+04	99.97%	22.2

核素	日最大操作量 (Bq)	挥发率	废气产生量 (Bq/d)	过滤器去除率	排放量 (Bq/d)
⁶⁸ Ga	3.70E+09	0.1‰	3.70E+05	99.97%	111
¹⁸ F	7.40E+08	0.1‰	7.40E+04	99.97%	22.2
⁶⁴ Cu	7.40E+07	0.1‰	7.40E+03	99.97%	2.22
⁵¹ Cr	7.40E+07	0.1‰	7.40E+03	99.97%	2.22
¹⁴ C	7.40E+09	0.1‰	7.40E+05	99.97%	222
¹²³ I	7.40E+08	1‰	7.40E+05	99.96%	296
²²⁵ Ac	7.40E+07	0.1‰	7.40E+03	99.97%	2.22
²²⁵ Ac	7.40E+06	0.1‰	7.40E+02	99.97%	0.222
²¹¹ At	7.40E+07	0.1‰	7.40E+03	99.97%	2.22
¹⁶¹ Tb	7.40E+07	0.1‰	7.40E+03	99.97%	2.22

表3.3-21 放射性药物研发实验室三废气排放量核算表

核素	日最大操作量 (Bq)	挥发率	废气产生量 (Bq/d)	过滤器去除率	排放量 (Bq/d)
⁹⁰ Y	5.18E+07	0.1‰	5.18E+03	99.97%	1.55
¹³¹ I	1.85E+07	1‰	1.85E+04	99.96%	0.74
⁶⁸ Ga	1.85E+07	0.1‰	1.85E+03	99.97%	0.555
⁸⁹ Zr	1.85E+07	0.1‰	1.85E+03	99.97%	0.555
¹⁷⁷ Lu	5.18E+07	0.1‰	5.18E+03	99.97%	1.55
²²⁵ Ac	1.00E+05	0.1‰	10	99.97%	3.00E-03
¹⁶¹ Tb	1.50E+07	0.1‰	1.50E+03	99.97%	0.45

(3) 放射性废水

放射性药物检验研究中心产生的放射性废液主要包括：剩余受检药品、稀释原液、实验器具清洗废液和检验混合分析液体等。放射性药物研发实验室主要放射性废液主要为实验混合分析液和实验器具清洗废液等。本项目放射性药物检验研究中心和放射性药物研发实验室三放射性废液产生情况见表 3.3-22。

表3.3-22 放射性药物检验研究中心和放射性药物研发实验室三放射性废水量核算表

场所	放射性废液名称	单次实验产生量
放射性实验室一	受检药物原液	20mL/次
放射性实验室二	受检药物稀释原液	20mL/次
	实验器材清洗液	150mL/次
γ 谱仪室、粒径分析室	受检药物稀释原液	1mL/次
放射性稳定实验室	受检药物稀释原液	10mL/次

场所	放射性废液名称	单次实验产生量
气相/液相色谱实验室、原子吸收实验室、薄层扫描室	受检药物稀释原液	1mL/次
清洗（灭菌）准备间	实验器材清洗消液	150mL/次
阳性对照实验室	混合实验分析液	1mL/次
放射性药物研发实验室三	实验分析混合分析液和实验器具清洗液	300mL/次

本项目放射性药物检验研究中心，平均每天最多进行 5 次实验，每日最大放射性废液产生量为 1.77L，放射性药物研发实验室每天最多进行 3 次实验，每日最大放射性废液产生量为 0.9L。实验过程放射性核素主要残留于放射性固体废物中，放射性废液中核素残留比按 1% 估算，实验过程放射性核素产生量见表 3.3-23。

表3.3-23 放射性药物检验研究中心和放射性药物研发实验室三放射性废液核素含量表

场所	核素	日最大操作量 (Bq)	放射性废液产生量 (mL/d)	放射性废液核素最大产生量 (Bq/d)
放射性药物检验研究中心	⁸⁹ Zr	7.40E+08	1770	7.40E+06
	⁹⁰ Y	7.40E+09		7.40E+07
	¹³³ Xe	7.40E+08		7.40E+06
	²⁰¹ Tl	7.40E+08		7.40E+06
	²²⁷ Th	7.40E+06		7.40E+04
	^{99m} Tc	7.40E+09		7.40E+07
	⁹⁹ Tc	7.40E+09		7.40E+07
	⁹⁰ Sr	3.70E+07		3.70E+05
	⁸⁹ Sr	7.40E+08		7.40E+06
	¹⁵³ Sm	7.40E+07		7.40E+05
	¹⁸⁶ Re	3.70E+07		3.70E+05
	²²⁴ Ra	1.85E+05		1.85E+03
	²²³ Ra	7.40E+06		7.40E+04
	³² P	7.40E+08		7.40E+06
	⁹⁹ Mo	1.85E+09		1.85E+07
	¹⁷⁷ Lu	9.25E+09		9.25E+07
	¹¹¹ In	7.40E+08		7.40E+06
	¹³¹ I	7.40E+09		7.40E+07
	¹²⁵ I	7.40E+08		7.40E+06
³ H	7.40E+08	7.40E+06		
⁶⁸ Ge	7.40E+08	7.40E+06		

场所	核素	日最大操作量 (Bq)	放射性废液产生量 (mL/d)	放射性废液核素最大产生量 (Bq/d)
	⁶⁸ Ga	3.70E+09		3.70E+07
	¹⁸ F	7.40E+08		7.40E+06
	⁶⁴ Cu	7.40E+07		7.40E+05
	⁵¹ Cr	7.40E+07		7.40E+05
	¹⁴ C	7.40E+09		7.40E+07
	¹²³ I	7.40E+08		7.40E+06
	²²⁵ Ac	7.40E+07		7.40E+05
	²²⁵ Ac	7.40E+06		7.40E+04
	²¹¹ At	7.40E+07		7.40E+05
	¹⁶¹ Tb	7.40E+07		7.40E+05
放射性药物研发实验室三	⁹⁰ Y	5.18E+07	900	5.18E+05
	¹³¹ I	1.85E+07		1.85E+05
	⁶⁸ Ga	1.85E+07		1.85E+05
	⁸⁹ Zr	1.85E+07		1.85E+05
	¹⁷⁷ Lu	5.18E+07		5.18E+05
	²²⁵ Ac	1.00E+05		1.00E+03
	¹⁶¹ Tb	1.50E+07		1.50E+05

*注：放射性药物检验研究中心每天平均进行 5 种放射性核素操作，放射性药物研发实验室三每天平均进行 3 种放射性核素操作。

(4) 放射性固废

实验过程产生的放射性固体废物主要包括：受检剩余固态药物、生物实验灭活固态培养基、实验一次性耗材等。本项目放射性药物检验研究中心和放射性药物研发实验室三放射性固体废物产生情况见表 3.3-24。

表3.3-24 放射性药物检验研究中心和放射性药物研发实验室三放射性固废量核算表

场所	放射性固废名称	单次实验产生量
放射性实验室一	原液玻璃瓶	50g/次
放射性实验室二	试验台垫层吸水纸、pH 试纸、纯化测定层析纸、移液器枪头、毛细管、放射性药品空溶液瓶	50g/次
γ 谱仪室、粒径分析室	稀释液玻璃瓶	50g/次
放射性稳定实验室	稀释液玻璃瓶	50g/次
气相/液相色谱实验室、原子吸收实验室、薄层扫描室	稀释液玻璃瓶	100g/次

场所	放射性固废名称	单次实验产生量
培养室	固态培养基	50g/次
阳性对照实验室	试验台垫层吸水纸、擦拭纸、移液器枪头等	100g/次
放射性化学实验室	试验台垫层吸水纸、pH 试纸、纯化测定层析纸、移液器枪头、毛细管、空溶液瓶、受检剩余固态药物	500g/次
微生物限度实验室	固态培养基	50g/次
无菌检测室	固态培养基	50g/次
放射性药物研发实验室三	灭活培养基和一次性实验耗材（注射器、枪头、空药瓶、擦拭纸、毛细管、手套）等	500g/次
其他	一次性手套、口罩、洁衣等	200g/次

本项目放射性药物检验研究中心，每天最多进行 20 次实验，每日最大放射性废液产生量为 6.25kg，放射性药物研发实验室每天最多进行 3 次实验，每日最大放射性废液产生量为 2.1kg。不考虑放射性核素衰变的情况下，残留比按 99% 估算，实验过程放射性核素产生量见表 3.3-25。

表3.3-25 放射性药物检验研究中心和放射性药物研发实验室三放射性固废核素含量表

场所	核素	日最大操作量 (Bq)	放射性废液产生量 (kg/d)	放射性固废核素最大产生量 (Bq/d)
放射性药物检验研究中心	⁸⁹ Zr	7.40E+08	6.25	7.33E+08
	⁹⁰ Y	7.40E+09		7.33E+09
	¹³³ Xe	7.40E+08		7.33E+08
	²⁰¹ Tl	7.40E+08		7.33E+08
	²²⁷ Th	7.40E+06		7.33E+06
	^{99m} Tc	7.40E+09		7.33E+09
	⁹⁹ Tc	7.40E+09		7.33E+09
	⁹⁰ Sr	3.70E+07		3.66E+07
	⁸⁹ Sr	7.40E+08		7.33E+08
	¹⁵³ Sm	7.40E+07		7.33E+07
	¹⁸⁶ Re	3.70E+07		3.66E+07
	²²⁴ Ra	1.85E+05		1.83E+05
	²²³ Ra	7.40E+06		7.33E+06
	³² P	7.40E+08		7.33E+08
	⁹⁹ Mo	1.85E+09		1.83E+09
¹⁷⁷ Lu	9.25E+09	9.16E+09		
¹¹¹ In	7.40E+08	7.33E+08		

场所	核素	日最大操作量 (Bq)	放射性废液产生量 (kg/d)	放射性固废核素最大产生量 (Bq/d)
	¹³¹ I	7.40E+09	2.1	7.33E+09
	¹²⁵ I	7.40E+08		7.33E+08
	³ H	7.40E+08		7.33E+08
	⁶⁸ Ge	7.40E+08		7.33E+08
	⁶⁸ Ga	3.70E+09		3.66E+09
	¹⁸ F	7.40E+08		7.33E+08
	⁶⁴ Cu	7.40E+07		7.33E+07
	⁵¹ Cr	7.40E+07		7.33E+07
	¹⁴ C	7.40E+09		7.33E+09
	¹²³ I	7.40E+08		7.33E+08
	²²⁵ Ac	7.40E+07		7.33E+07
	²²⁵ Ac	7.40E+06		7.33E+06
	²¹¹ At	7.40E+07		7.33E+07
	¹⁶¹ Tb	7.40E+07		7.33E+07
放射性药物研发实验室三	⁹⁰ Y	5.18E+07	2.1	5.13E+07
	¹³¹ I	1.85E+07		1.83E+07
	⁶⁸ Ga	1.85E+07		1.83E+07
	⁸⁹ Zr	1.85E+07		1.83E+07
	¹⁷⁷ Lu	5.18E+07		5.13E+07
	²²⁵ Ac	1.00E+05		9.90E+04
	¹⁶¹ Tb	1.50E+07		1.49E+07

3.3.2.8 其他放射性污染源项

(1) 过滤器

各生产线设置的排风过滤系统将定期（1年/次）进行过滤器滤芯更换，跟换下的滤芯将作为放射性固体废物进行收集处理，含有放射性核素主要包括：碘-123、碘-131、锗-68、镓-68、钼-99、钨-99m、钇-90、镱-177、铟-225、碲-211等，其中管道过滤器单次更换产生滤芯约5kg，高效过滤机组单次更换产生滤芯（包含前置粗过滤芯、前置高效滤芯、后置初过滤芯）约10kg，高效除碘过滤风机组单次跟换产生滤芯（包含前置粗过滤芯、前置高效滤芯、除碘滤芯和后置高效滤芯）约15kg，袋进袋出过滤机组单次更换产生滤芯（包含前置粗过滤芯、前置高效滤芯、后置初过滤芯）约10kg，经核算，各过滤器产生量及活度见表3.3-26。

表3.3-26 过滤器核素组成及活度表

生产线	核素组成	过滤器	日废气产生量 (Bq/d)	工作天数 (d)	过滤效率	滤芯产生量 (kg/a)	过滤总活度 (Bq)	
2 车间	2-1 生产 线	管道过滤器 +除碘过 滤器	¹²³ I (标记)	1.48E+08	200	99.80%	45kg	2.95E+10
			¹²³ I (胶囊)	7.40E+06	150			1.11E+09
			¹³¹ I (标记)	3.33E+08	50			1.66E+10
			¹³¹ I (胶囊)	3.55E+08	100			3.54E+10
	2-6 生产 线	¹⁷⁷ Lu	管道过滤器 +袋进袋出 高效过滤	2.22E+07	200	99.99%	25kg	4.44E+09
	2-7 生产 线	⁹⁰ Y (微球)	管道过滤器 +袋进袋出 高效过滤	9.25E+06	180	99.99%	25kg	1.66E+09
⁹⁰ Y (单抗)		3.7E+06		50	1.85E+08			
4 车间	4-1 生产 线	管道过滤器 +袋进袋出 高效过滤	⁹⁹ Mo/ ^{99m} Tc	7.40E+08	10	99.99%	30kg	7.40E+09
			⁶⁸ Ge/ ⁶⁸ Ga	3.70E+06	50			1.85E+08
	4-2 生产 线	管道过滤器 +袋进袋出 高效过滤	¹⁷⁷ Lu (原 料)	1.85E+07	60	99.99%	30kg	1.11E+09
			¹⁷⁷ Lu (标 记)	1.48E+06	50			7.40E+07
			^{99m} Tc	5.55E+06	200			1.11E+09
	4-3 生产 线	管道过滤器 +袋进袋出 高效过滤	²²⁵ Ac	1.04E+04	200	99.99%	30kg	2.07E+06
²¹¹ At			1.04E+04	50	5.18E+05			
放射性药 物检验研 究中心	管道过滤器 +集成高效 除碘过滤	⁸⁹ Zr	7.40E+04	250	99.97%	20kg	1.85E+07	
		⁹⁰ Y	7.40E+05	250	99.97%		1.85E+08	
		¹³³ Xe	7.40E+04	250	99.97%		1.85E+07	
		²⁰¹ Tl	7.40E+04	250	99.97%		1.85E+07	
		²²⁷ Th	7.40E+02	250	99.97%		1.85E+05	
		^{99m} Tc	7.40E+05	250	99.97%		1.85E+08	
		⁹⁹ Tc	7.40E+05	1	99.97%		7.40E+05	
		⁹⁰ Sr	3.70E+03	250	99.97%		9.25E+05	
		⁸⁹ Sr	7.40E+04	250	99.97%		1.85E+07	
		¹⁵³ Sm	7.40E+03	250	99.97%		1.85E+06	
		¹⁸⁶ Re	3.70E+03	250	99.97%		9.25E+05	
		²²³ Ra	7.40E+02	250	99.97%		1.85E+05	
		³² P	7.40E+04	250	99.97%		1.85E+07	

生产线	核素组成	过滤器	日废气产生量 (Bq/d)	工作天数 (d)	过滤效率	滤芯产生量 (kg/a)	过滤总活度 (Bq)
	⁹⁹ Mo		1.85E+05	250	99.97%		4.62E+07
	¹⁷⁷ Lu		9.25E+05	50	99.97%		4.63E+07
	¹¹¹ In		7.40E+04	250	99.97%		1.85E+07
	¹³¹ I		7.40E+06	250	99.96%		1.85E+09
	¹²⁵ I		7.40E+05	250	99.96%		1.85E+08
	³ H		7.40E+05	250	99.97%		1.85E+08
	⁶⁸ Ge		7.40E+04	250	99.97%		1.85E+07
	⁶⁸ Ga		3.70E+05	50	99.97%		1.85E+07
	¹⁸ F		7.40E+04	250	99.97%		1.85E+07
	⁶⁴ Cu		7.40E+03	250	99.97%		1.85E+06
	⁵¹ Cr		7.40E+03	250	99.97%		1.85E+06
	¹⁴ C		7.40E+05	25	99.97%		1.85E+07
	¹²³ I		7.40E+05	250	99.96%		1.85E+08
	²²⁵ Ac		7.40E+03	250	99.97%		1.85E+06
	²²⁵ Ac		7.40E+02	250	99.97%		1.85E+05
	²¹¹ At		7.40E+03	250	99.97%		1.85E+06
	¹⁶¹ Tb		7.40E+03	250	99.97%		1.85E+06
放射性药物研发实验室三	⁹⁰ Y		5.18E+04	90	99.97%		4.66E+06
	¹³¹ I		1.85E+03	10	99.96%		1.85E+04
	⁶⁸ Ga		1.85E+03	10	99.97%		1.85E+04
	⁸⁹ Zr		1.85E+03	10	99.97%		1.85E+04
	¹⁷⁷ Lu		5.18E+03	60	99.97%		3.11E+05
	²²⁵ Ac		10	30	99.97%		3.00E+02
	¹⁶¹ Tb		1.50E+03	30	99.97%		4.50E+04

(2) 铅罐清洗固废

建设单位销售回收的药物铅罐将进行表面沾污监测，对于监测不合格的铅罐，将进行清洗，采取的清洗方式为擦拭法，主要采用擦拭纸或棉签进行清洗，整个清洗过程不涉及水洗，不产生放射性废水，放射性固废产生量约 50g/次，由于产品铅罐内还有溶液罐（如西林瓶、注射器等）包装，一般情况下放射性核素沾染量极低。

(3) 工作人员清洗废水

日常过程中，辐射工作人员离开各生产线及实验室将进行洁衣和手部表面沾污监测，若监测达标将不进行去污清洁，洁衣清洗和手部清洗产生的清洗废水将

作为非放射性废水进行处理，若表面沾污监测超标洁衣将作为放射性固体废物进行收集处理。涉及防护工作箱检修、事故应急及体表沾染情况，辐射工作人员将进行应急冲淋，该应急冲淋废水将作为放射性废水进行管理，根据《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019），按 60L/（人 d）计，单次事故或检修状态淋浴用水按单条生产线最多人数计算，则单次事故放射性废水最大排放量为 240L/次。

3.3.3 营运期非放射性污染源

（1）废气

根据源项分析，本项目非放射性废气主要来源于使用的氯化氢、硝酸、硫酸挥发产生的酸雾，由于在使用过程中很少进行开放液面使用，主要采取移液器或注射器进行液体转移或操作，同时根据建设单位提供的资料，年用酸液量仅 10L~24.5L，各工作箱还设置有前置活性炭管道过滤器，因此其酸雾产生量较小，可以忽略。

本项目运行期涉及使用无水乙醇，属于挥发形成挥发性有机物，本项目生产线无水乙醇年用量为 500L，放射性药物研发实验室无水乙醇年用量为 100L，主要用于消毒灭菌擦拭，无水乙醇密度为 789kg/m³，其挥发量按 100% 计算，年挥发性有机物产生量为 473.4kg。

（2）废水

本项目非放射性废水主要来源于辐射工作人员产生的生活废水、辐射工作人员清洗废水和非放用品清洗废水等。

本项目本次共有辐射工作人员 32 人，根据《四川省用水定额》（川府函[2021]8 号），生活用水按 240L/（人 d）计，每天用水量为 7.68m³/d，排放系数取 0.8，则生活废水排放量为 6.144m³/d；根据《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019）洁衣用水按 30L/（人 d）计，每天用水量为 0.96m³/d，排放系数取 0.8，则洗衣废水排放量为 0.768m³/d；洗手用水按 1L/（人 d）计，每天用水量为 32L，排放系数取 0.8，则洗手废水排放量为 25.6L/d。

生产线清洗用水主要来源于非放射性一次性耗材用品在进入工作箱前需进行清洗灭菌，清洗用水主要采用制备的纯化水进行清洗，其中生产线纯化用水量约 200L/d，纯化水使用后作为非放射性废水进行排放。实验室清洗用水主要来源于玻璃器皿（非放）的纯化水清洗，用水量约 500L/d，本项目纯化水制备效率约 70% 计，产生源为自来水，用水量约 1m³/d。

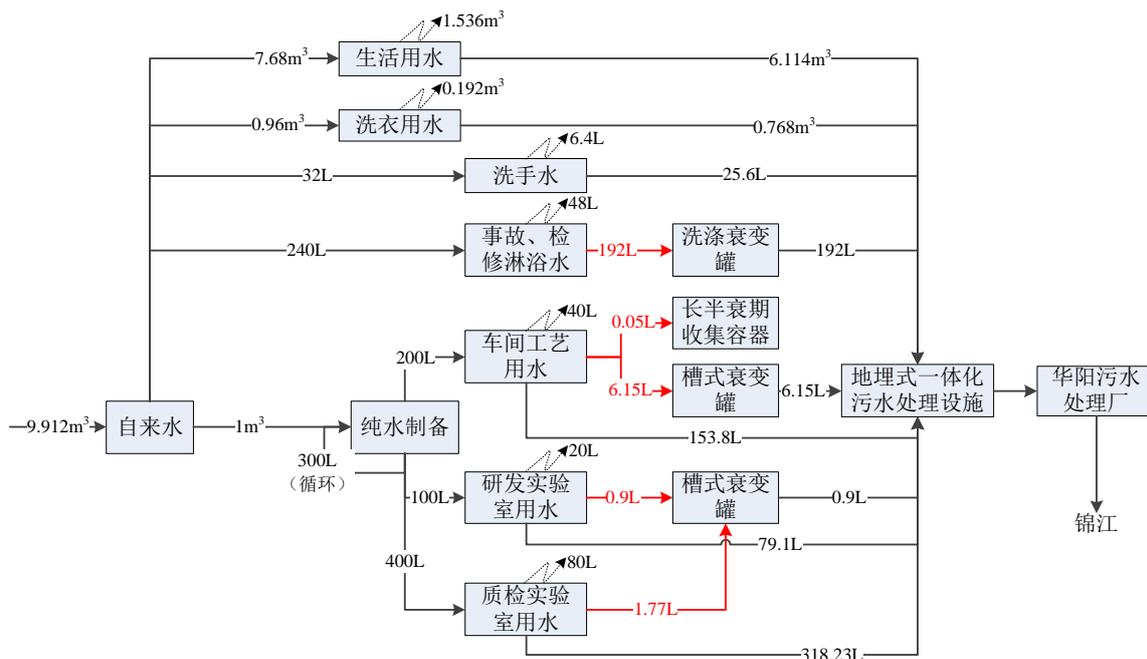


图 3.3-6 本项目水平衡图

(3) 固体废物

本项目非放射性固体废物主要来源于辐射工作人员产生的生活垃圾、餐厨垃圾、废油脂、污泥、生产线和实验室产生的非放射性固体废物等。

本项目拟设置辐射工作人员32人，生活垃圾按0.5kg/(人·d)计，产生量为16kg/d，餐厨垃圾按0.1kg/人·d计，产生量为3.2kg/d。一体化污水处理设施处理污泥产生量约1t/年。

生产线产生的非放射性固体废物主要是原料包装废材、产品包装废材、空化学试剂瓶、非放射性污染的一次性口罩、手套、擦拭物等，平均单条药物生产线产生量约1kg/d，本项目共6条生产线，产生量约6kg/d。放射性药物检验研究中心和放射性药物研发实验室产生的非放射性固体废物主要是灭活培养基、空化学试剂瓶，其中灭活培养基产生量约100g/d，空化学试剂瓶产生量约500g/d，根据《国家危险废物名录》（2021年版）空化学试剂瓶属于危险废物中HW49其他废物，危险废物代码为900-047-49。

(4) 噪声

项目营运期主要噪声源为排风机房的离心机和送风机房的空调机组，拟采用低噪声设备，同时针对不同的噪声源采取基础减振、厂房隔声、风机进出口设软接头等降噪措施。项目各产噪设备情况及治理措施见下表。

表3.3-28 项目产噪设备及治理措施

噪声源		数量	单台源强 dB(A)	降噪措施	降噪效果 dB(A)	备注
2-1 生产线	组合式空调机组	1 组	80	建筑隔声+减振	-10	已有
	离心风机	2 组	85	建筑隔声+减振+软管接头	-15	已有
2-6 生产线	组合式空调机组	1 组	80	建筑隔声+减振	-10	新增
	离心风机	1 组	85	建筑隔声+减振+软管接头	-15	新增
2-7 生产线	组合式空调机组	1 组	80	建筑隔声+减振	-10	新增
	离心风机	2 组	85	建筑隔声+减振+软管接头	-15	新增
4-1 生产线	组合式空调机组	1 组	80	建筑隔声+减振	-10	新增
	离心风机	1 组	85	建筑隔声+减振+软管接头	-15	新增
4-2 生产线	组合式空调机组	1 组	80	建筑隔声+减振	-10	新增
	离心风机	1 组	85	建筑隔声+减振+软管接头	-15	新增
4-3 生产线	组合式空调机组	1 组	80	建筑隔声+减振	-10	新增
	离心风机	2 组	85	建筑隔声+减振+软管接头	-15	新增
放射性药物 检验研究 中心、放射 性药物研 发实验 室三	组合式空调机组	2 组	80	建筑隔声+减振	-10	已有
	离心风机	1 组	85	建筑隔声+减振+软管接头	-15	已有

3.4 废弃物

3.4.1 放射性废弃物

3.4.1.1 放射性废气

根据源项分析，本项目放射性废气主要来源于各生产线和实验室产生的含放射性核素的气溶胶，具体放射性废气产生及排放情况见表3.4-1。

3.4.1.2 放射性废水

根据源项分析，本项目放射性废水主要来源于各生产线和实验室清洗废液、残留液、淋洗液、淋浴水等，具体放射性废水产生及排放情况见表3.4-2。

3.4.1.3 放射性固体废物

根据源项分析，本项目放射性固体废物来源于各生产线和实验室产生的过滤器、活性炭、硅胶、注射器、针头、转移管路、纯化柱、空溶液瓶、滴管、滤芯等，具体放射性固体废物产生及排放情况见表3.4-3。

表3.4-1 放射性废气产生及排放情况表

场所	核素组成	日产生量 (Bq/d)	年工作天数 (天)	年过滤量 (Bq/a)	处理措施及去向	年排放量
2-1生产线	¹²³ I (标记)	1.48E+08	200	2.96E+10	工作箱废气经前置管道过滤器过滤器后, 通过独立管道引至二楼风机房经高效除碘过滤风机组处理 (处理效率 99.80%) 后, 引至屋顶 1#排气筒排放, 排放高度为 30m。	6.14E+07
	¹²³ I (胶囊)	7.40E+06	150	1.11E+09		1.04E+08
	¹³¹ I (标记)	3.33E+08	50	1.66E+10		
	¹³¹ I (胶囊)	3.55E+08	100	3.54E+10		
2-6生产线	¹⁷⁷ Lu	2.22E+07	200	4.44E+09	工作箱废气经前置管道过滤器过滤器后, 通过独立管道引至二楼风机房经袋进袋出高效过滤风机组处理 (处理效率99.99%) 后, 引至屋顶4#排气筒排放, 排放高度为30m。	4.44E+05
2-7生产线	⁹⁰ Y (微球)	9.25E+06	180	1.66E+09		1.85E+05
	⁹⁰ Y (单抗)	3.7E+06	50	1.85E+08		
4-1生产线	⁹⁹ Mo/ ^{99m} Tc	7.40E+08	10	7.40E+09	工作箱废气经前置管道过滤器过滤器后, 通过独立管道引至二楼风机房经袋进袋出高效过滤风机组处理 (处理效率99.99%) 后, 引至屋顶5#排气筒排放, 排放高度为25m。	7.40E+05
	⁶⁸ Ge/ ⁶⁸ Ga	3.70E+06	50	1.85E+08		1.85E+04
4-2生产线	¹⁷⁷ Lu (原料)	1.85E+07	60	1.11E+09		1.18E+05
	¹⁷⁷ Lu (标记)	1.48E+06	50	7.40E+07		1.11E+05
	^{99m} Tc	5.55E+06	200	1.11E+09		2.08E+02
4-3生产线	²²⁵ Ac	1.04E+03	200	2.08E+06		5.18E+01
	²¹¹ At	1.04E+03	50	5.18E+05		
放射性药物检验研究中心	⁸⁹ Zr	7.40E+04	250	1.85E+07	工作箱废气经前置管道过滤器过滤器后, 通过独立管道引至楼顶经集成高效过滤除碘过滤风机组处理 (非碘处理效率99.97%, 碘处理效率99.96%) 后, 引至屋顶3#排气筒排放, 排放高度21m。	5.55E+03
	⁹⁰ Y	7.40E+05	250	1.85E+08		5.55E+04
	¹³³ Xe	7.40E+04	250	1.85E+07		5.55E+03
	²⁰¹ Tl	7.40E+04	250	1.85E+07		5.55E+03
	²²⁷ Th	7.40E+02	250	1.85E+05		55.5
	^{99m} Tc	7.40E+05	250	1.85E+08		5.55E+04

场所	核素组成	日产生量 (Bq/d)	年工作天数 (天)	年过滤量 (Bq/a)	处理措施及去向	年排放量
	⁹⁹ Tc	7.40E+05	1	7.40E+05		2.22E+02
	⁹⁰ Sr	3.70E+03	250	9.25E+05		2.78E+02
	⁸⁹ Sr	7.40E+04	250	1.85E+07		5.55E+03
	¹⁵³ Sm	7.40E+03	250	1.85E+06		5.55E+02
	¹⁸⁶ Re	3.70E+03	250	9.25E+05		2.78E+02
	²²³ Ra	7.40E+02	250	1.85E+05		55.5
	³² P	7.40E+04	250	1.85E+07		5.55E+03
	⁹⁹ Mo	1.85E+05	250	4.62E+07		1.39E+04
	¹⁷⁷ Lu	9.25E+05	50	4.63E+07		1.39E+04
	¹¹¹ In	7.40E+04	250	1.85E+07		5.55E+03
	¹³¹ I	7.40E+06	250	1.85E+09		7.40E+05
	¹²⁵ I	7.40E+05	250	1.85E+08		7.40E+04
	³ H	7.40E+05	250	1.85E+08		5.55E+04
	⁶⁸ Ge	7.40E+04	250	1.85E+07		5.55E+03
	⁶⁸ Ga	3.70E+05	50	1.85E+07		5.55E+03
	¹⁸ F	7.40E+04	250	1.85E+07		5.55E+03
	⁶⁴ Cu	7.40E+03	250	1.85E+06		5.55E+02
	⁵¹ Cr	7.40E+03	250	1.85E+06		5.55E+02
	¹⁴ C	7.40E+05	25	1.85E+07		5.55E+03
	¹²³ I	7.40E+05	250	1.85E+08		7.40E+04
	²²⁵ Ac	7.40E+03	250	1.85E+06		5.55E+02
	²²⁵ Ac	7.40E+02	250	1.85E+05		55.5

场所	核素组成	日产生量 (Bq/d)	年工作天数 (天)	年过滤量 (Bq/a)	处理措施及去向	年排放量
	²¹¹ At	7.40E+03	250	1.85E+06		5.55E+02
	¹⁶¹ Tb	7.40E+03	250	1.85E+06		5.55E+02
放射性药物研发实验室三	⁹⁰ Y	5.18E+04	90	4.66E+06	通风橱废气经独立管道引至楼顶经集成高效过滤除碘过滤风机组处理（非碘处理效率99.97%，碘处理效率99.96%）后，引至屋顶3#排气筒排放，排放高度21m。	1.40E+03
	¹³¹ I	1.85E+03	10	1.85E+04		7.4
	⁶⁸ Ga	1.85E+03	10	1.85E+04		5.55
	⁸⁹ Zr	1.85E+03	10	1.85E+04		5.55
	¹⁷⁷ Lu	5.18E+03	60	3.11E+05		93.2
	²²⁵ Ac	10	30	3.00E+02		9.00E-02
	¹⁶¹ Tb	1.50E+03	30	4.50E+04		13.5

*注：对于放射性废气过滤效率均以过滤风机组的过滤效率进行保守核算。

表3.4-2 放射性废液产生及排放情况表

场所	核素组成	种类	日产生量		比活度 (Bq/L)	年工作天数 (天)	年最大产生量		处理措施及去向
			mL/d	Bq/d			Bq/a	L/a	
2-1生产线	¹²³ I (标记)	硅胶柱清洗废液	200	4.44E+09	2.22E+10	200	8.88E+11	40	通过工作箱放射性特排水管道接入2号楼负一层废液暂存间工艺衰变罐贮存衰变，衰变期满后经监测达标排入一体化污水处理设施处理后经园区污水管网排入华阳污水处理厂处理后排入锦江。
	¹³¹ I (标记)	纯化柱清洗废液	100	9.25E+08	9.25E+09	50	4.64E+10	5	
2-7生产线	⁹⁰ Y (微球)	残留废液	300	3.7E+10	1.23E+08	180	6.66E+12	18	
	⁹⁰ Y (单抗)	残留废液	100	3.7E+09	3.70E+07	50	1.85E+11	15	
4-1生产线	⁹⁹ Mo/ ^{99m} Tc	残留母液	20	3.7E+09	1.85E+11	10	3.70E+10	0.20	
		冲洗废液	20	3.7E+09	1.85E+11		3.70E+10	0.20	
		渗透检测废液	5	3.7E+08	7.40E+10		3.70E+09	0.05	
		淋洗废液	5	3.7E+08	7.40E+10		3.70E+09	0.05	
	⁶⁸ Ge/ ⁶⁸ Ga	残留母液	20	3.7E+09	1.85E+11	50	1.85E+11	1	采用专用容器收集后，通过手推车转

场所	核素组成	种类	日产生量		比活度 (Bq/L)	年工作天 数(天)	年最大产生量		处理措施及去向
			mL/d	Bq/d			Bq/a	L/a	
		冲洗废液	20	3.7E+09	1.85E+11		1.85E+11	1	入2号楼西侧一层长半衰期固废暂存间贮存。
		渗透检测废液	5	3.7E+08	7.40E+10		1.85E+10	0.25	
		淋洗废液	5	3.7E+08	7.40E+10		1.85E+10	0.25	
4-2生 产线	¹⁷⁷ Lu	纯化柱清洗废液	5000	3.7E+10	7.40E+09	60	2.22E+12	300	采用专用容器收集,通过手推车转入射性药物2号楼负一层废液暂存间工艺衰变罐贮存衰变,衰变期满后经监测达标排入一体化污水处理设施处理后经园区污水管网排入华阳污水处理厂处理后排入锦江。
4-3生 产线	²²⁵ Ac	纯化柱清洗废液	200	1.48E+07	7.40E+04	200	2.96E+09	40	采用专用容器收集后,通过手推车转入2号楼西侧一层长半衰期固废暂存间贮存,达到一定量后交由有资质单位进行收集处置。
	²¹¹ At	纯化柱清洗废液	200	1.48E+07	7.40E+04	50	7.40E+08	10	
放射 性药 物检 验研 究中 心	⁸⁹ Zr	剩余受检药品、 稀释原液、实验 器具清洗废液和 检验混合分析液 体	1770	7.40E+06	4.18E+06	250	1.85E+09	442.5	短半衰期放射性废液通过特排管道排入1号楼负一层废液暂存间储液罐暂存衰变,衰变期满后经监测达标排入一体化污水处理设施处理后经园区污水管网排入华阳污水处理厂处理后排入锦江。 长半衰期废液废液采用专用容器单独收集,含α核素废液采用专用容器
	⁹⁰ Y			7.40E+07	4.18E+07		1.85E+10		
	¹³³ Xe			7.40E+06	4.18E+06		1.85E+09		
	²⁰¹ Tl			7.40E+06	4.18E+06		1.85E+09		
	²²⁷ Th			7.40E+04	4.18E+04		1.85E+07		
	^{99m} Tc			7.40E+07	4.18E+07		1.85E+10		
	⁹⁹ Tc			7.40E+07	4.18E+07		7.40E+07		
	⁹⁰ Sr			3.70E+05	2.09E+05		9.25E+07		

场所	核素组成	种类	日产生量		比活度 (Bq/L)	年工作天 数(天)	年最大产生量		处理措施及去向
			mL/d	Bq/d			Bq/a	L/a	
	⁸⁹ Sr			7.40E+06	4.18E+06		1.85E+09		单独收集，通过手推车转入1号楼负一层废液暂存间贮存，达到一定量后交由有资质单位进行收集处置。
	¹⁵³ Sm			7.40E+05	4.18E+05		1.85E+08		
	¹⁸⁶ Re			3.70E+05	2.09E+05		9.25E+07		
	²²⁴ Ra			1.85E+03	1.05E+03		4.63E+05		
	²²³ Ra			7.40E+04	4.18E+04		1.85E+07		
	³² P			7.40E+06	4.18E+06		1.85E+09		
	⁹⁹ Mo			1.85E+07	1.05E+07		4.63E+09		
	¹⁷⁷ Lu			9.25E+07	5.23E+07		4.63E+09		
	¹¹¹ In			7.40E+06	4.18E+06		1.85E+09		
	¹³¹ I			7.40E+07	4.18E+07		1.85E+10		
	¹²⁵ I			7.40E+06	4.18E+06		1.85E+09		
	³ H			7.40E+06	4.18E+06		1.85E+09		
	⁶⁸ Ge			7.40E+06	4.18E+06		1.85E+09		
	⁶⁸ Ga			3.70E+07	2.09E+07		1.85E+09		
	¹⁸ F			7.40E+06	4.18E+06		1.85E+09		
	⁶⁴ Cu			7.40E+05	4.18E+05		1.85E+08		
	⁵¹ Cr			7.40E+05	4.18E+05		1.85E+08		
	¹⁴ C			7.40E+07	4.18E+07		1.85E+09		
	¹²³ I			7.40E+06	4.18E+06		1.85E+09		
	²²⁵ Ac			7.40E+05	4.18E+05		1.85E+08		
	²²⁵ Ac			7.40E+04	4.18E+04		1.85E+07		

场所	核素组成	种类	日产生量		比活度 (Bq/L)	年工作天 数(天)	年最大产生量		处理措施及去向
			mL/d	Bq/d			Bq/a	L/a	
	²¹¹ At			7.40E+05	4.18E+05		1.85E+08		
	¹⁶¹ Tb			7.40E+05	4.18E+05		1.85E+08		
放射性药物研发实验室三	⁹⁰ Y	混合分析液、清洗废液	900	5.18E+05	1.73E+06	240	4.66E+07	216	含短半衰期核素废液采用专用容器收集，通过手推车转入1号楼负一层废液暂存间衰变罐贮存衰变，衰变期满后经监测达标排入一体化污水处理设施处理后经园区污水管网排入华阳污水处理厂处理后排入锦江。 含α核素废液采用专用容器单独收集，通过手推车转入1号楼负一层废液暂存间贮存，达到一定量后交由有资质单位进行收集处置。
	¹³¹ I			1.85E+05	6.17E+05		1.85E+06		
	⁶⁸ Ga			1.85E+05	6.17E+05		1.85E+06		
	⁸⁹ Zr			1.85E+05	6.17E+05		1.85E+06		
	¹⁷⁷ Lu			5.18E+05	1.73E+06		3.11E+07		
	²²⁵ Ac			1.00E+03	3.33E+03		3.00E+04		
	¹⁶¹ Tb			1.50E+05	5.00E+05		4.50E+06		
其他	¹²³ I、 ¹³¹ I、 ⁹⁰ Y、 ⁹⁹ Mo/ ^{99m} Tc、 ¹⁷⁷ Lu	淋浴水	2.4E+04	/	/	/	/	/	通过淋浴间特排下水管道排入2号楼负一层废液暂存间淋浴衰变罐贮存衰变，衰变期满后经监测达标排入一体化污水处理设施处理后经园区污水管网排入华阳污水处理厂处理后排入锦江。
	⁶⁸ Ge/ ⁶⁸ Ga、 ²⁵ Ac、 ²¹¹ At								采用专用容器收集后，通过手推车转入2号楼西侧一层长半衰期固废暂存间贮存，达到一定量后交由有资质单

场所	核素组成	种类	日产生量		比活度 (Bq/L)	年工作天 数(天)	年最大产生量		处理措施及去向
			mL/d	Bq/d			Bq/a	L/a	
									位进行收集处置。

表3.4-3 放射性固体废物产生及排放情况表

场所	核素组成	种类	日产生量		比活度 (Bq/g)	年工作天 数(天)	年产生量		处理措施及去向
			g/d	(Bq/d)			Bq/a	kg/a	
2-1生 产线	¹²³ I (标记)	过滤器、活性炭、硅胶、注射器、 针头、转移管路、纯化柱、滤膜、 空溶液瓶、铅罐清洗擦拭物	330	2.07E+09	6.27E+06	200	1.25E+09	66	通过放射性固废收集桶进行 收集后，通过手推车转入2号 楼西侧一层短半衰期放射性 固废暂存间贮存衰变，达到清 洁解控水后作为一般工业固 体废物处置。
	¹²³ I (胶囊)	枪头、空溶液瓶、铅罐清洗擦拭 物	150	5.50E+08	3.67E+06	150	5.50E+08	22.5	
	¹³¹ I (标记)	注射器、针头、转移管路、纯化 柱、滤膜、空溶液瓶、铅罐清洗 擦拭物	230	1.70E+09	7.39E+06	50	3.70E+08	11.5	
	¹³¹ I (胶囊)	注射器、针头、转移管路、纯化 柱、滤膜、空溶液瓶、铅罐清洗 擦拭物	150	5.50E+08	3.67E+06	100	3.67E+08	15	
	¹³¹ I、 ¹³¹ I	过滤器滤芯	/	/	/	/	8.26E+10	45	
2-6生 产线	¹⁷⁷ Lu	注射器、针头、滤膜、空溶液瓶、 铅罐清洗擦拭物	170	5.26E+08	3.09E+06	200	6.19E+08	34	
	¹⁷⁷ Lu	过滤器滤芯	/	/	/	/	4.44E+09	25	
2-7生 产线	⁹⁰ Y (单抗)	注射器、转移管路、针头、滤膜、 空溶液瓶、铅罐清洗擦拭物	200	3.70E+09	1.85E+07	50	9.25E+08	10	
	⁹⁰ Y (微球)	过滤装置、空溶液瓶、铅罐清洗 擦拭物	150	1.85E+09	1.23E+07	180	2.22E+09	27	
	⁹⁰ Y	过滤器滤芯	/	/	/	/	1.85E+09	25	

场所	核素组成	种类	日产生量		比活度 (Bq/g)	年工作天 数(天)	年产生量		处理措施及去向
			g/d	(Bq/d)			Bq/a	kg/a	
4-1生 产线	$^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$	无菌过滤器、滴管、铅罐清洗擦拭物	2500	3.70E+09	1.48E+06	10	1.48E+07	25	通过放射性固废收集桶进行单独收集后，通过手推车转入2号楼西侧一层长半衰期放射性固废暂存间贮存，达到一定量后交由有资质单位进行收集处置。
	$^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$	无菌过滤器、滴管、铅罐清洗擦拭物	250	3.70E+08	1.48E+06	50	7.40E+07	12.5	
	$^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$	过滤器滤芯	/	/	/	/	7.59E+09	30	
4-2生 产线	^{177}Lu （原料）	交换柱、滤膜和空溶液瓶、铅罐清洗擦拭物	250	2.90E+10	1.16E+08	60	6.96E+09	15	通过放射性固废收集桶进行收集后，通过手推车转入2号楼西侧一层短半衰期放射性固废暂存间贮存衰变，达到清洁解控水后作为一般工业固体废物处置。
	^{177}Lu （标记）	注射器、针头、滤膜、空溶液瓶、铅罐清洗擦拭物	210	1.30E+09	6.19E+06	50	3.10E+08	10.5	
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	注射器、针头、空溶液瓶、铅罐清洗擦拭物	450	3.32E+09	7.38E+06	200	1.48E+09	90	
	^{177}Lu 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	过滤器滤芯	/	/	/	/	2.29E+09	30	
4-3生 产线	^{225}Ac	注射器、针头、交换柱、空溶液瓶、铅罐清洗擦拭物	700	1.84E+08	2.63E+05	200	5.26E+07	140	通过放射性固废收集桶进行单独收集后，通过手推车转入2号楼西侧一层长半衰期放射性固废暂存间贮存，达到一定量后交由有资质单位进行收集处置。
	^{211}At	注射器、针头、交换柱、空溶液瓶、铅罐清洗擦拭物	700	1.84E+08	2.63E+05	50	1.31E+07	35	
	^{225}Ac 、 ^{211}At	过滤器滤芯	/	/	/	/	2.59E+06	30	

场所	核素组成	种类	日产生量		比活度 (Bq/g)	年工作天 数(天)	年产生量		处理措施及去向
			g/d	(Bq/d)			Bq/a	kg/a	
放射性 药物检 验研究 中心	⁸⁹ Zr	受检剩余固态药物、生物实验灭 活固态培养基、实验一次性耗材 等	6250	7.40E+08	1.18E+05	250	1.85E+11	1562	含短半衰期核素放射性固体 废物通过放射性固废收集桶 进行收集后,通过手推车转入 1号楼负一层放射性固废暂存 间贮存衰变,达到清洁解控水 后作为一般工业固体废物处 置。 含长半衰期核素及含 α 核素放 射性固体废物单独通过放射 性固废收集桶进行收集后,通 过手推车转入1号楼负一层放 射性固废暂存间贮存,达到一 定量后交由有资质单位进行 收集处置。
	⁹⁰ Y			7.40E+09	1.18E+06		1.85E+12		
	¹³³ Xe			7.40E+08	1.18E+05		1.85E+11		
	²⁰¹ Tl			7.40E+08	1.18E+05		1.85E+11		
	²²⁷ Th			7.40E+06	1.18E+03		1.85E+09		
	^{99m} Tc			7.40E+09	1.18E+06		1.85E+12		
	⁹⁹ Tc			7.40E+09	1.18E+06		7.40E+09		
	⁹⁰ Sr			3.70E+07	5.92E+03		9.25E+09		
	⁸⁹ Sr			7.40E+08	1.18E+05		1.85E+11		
	¹⁵³ Sm			7.40E+07	1.18E+04		1.85E+10		
	¹⁸⁶ Re			3.70E+07	5.92E+03		9.25E+09		
	²²⁴ Ra			1.85E+05	2.96E+01		4.63E+07		
	²²³ Ra			7.40E+06	1.18E+03		1.85E+09		
	³² P			7.40E+08	1.18E+05		1.85E+11		
	⁹⁹ Mo			1.85E+09	2.96E+05		4.63E+11		
	¹⁷⁷ Lu			9.25E+09	1.48E+06		4.63E+11		
	¹¹¹ In			7.40E+08	1.18E+05		1.85E+11		
¹³¹ I	7.40E+09	1.18E+06	1.85E+12						
¹²⁵ I	7.40E+08	1.18E+05	1.85E+11						
³ H	7.40E+08	1.18E+05	1.85E+11						
⁶⁸ Ge	7.40E+08	1.18E+05	1.85E+11						

场所	核素组成	种类	日产生量		比活度 (Bq/g)	年工作天 数(天)	年产生量		处理措施及去向
			g/d	(Bq/d)			Bq/a	kg/a	
	⁶⁸ Ga			3.70E+09	5.92E+05		1.85E+11		
	¹⁸ F			7.40E+08	1.18E+05		1.85E+11		
	⁶⁴ Cu			7.40E+07	1.18E+04		1.85E+10		
	⁵¹ Cr			7.40E+07	1.18E+04		1.85E+11		
	¹⁴ C			7.40E+09	1.18E+06		1.85E+11		
	¹²³ I			7.40E+08	1.18E+05		1.85E+11		
	²²⁵ Ac			7.40E+07	1.18E+04		1.85E+10		
	²²⁵ Ac			7.40E+06	1.18E+03		1.85E+09		
	²¹¹ At			7.40E+07	1.18E+04		1.85E+10		
	¹⁶¹ Tb			7.40E+07	1.18E+04		1.85E+10		
放射性 药物研 发实验 室三	⁹⁰ Y	灭活培养基、注射器、枪头、空 药瓶、擦拭纸、毛细管、手套	2100	5.13E+07	2.57E+05	240	4.62E+09	504	含α核素放射性固体废物单独 通过放射性固废收集桶进行 收集后，通过手推车转入1号 楼负一层长放射性固废暂存 间贮存，达到一定量后交由有 资质单位进行收集处置。 其余核素通过放射性固废收 集桶进行收集后，通过手推车 转入1号楼负一层放射性固废 暂存间贮存衰变，达到清洁解 控水后作为一般工业固体废
	¹³¹ I			1.83E+07	9.15E+04		1.83E+08		
	⁶⁸ Ga			1.83E+07	9.15E+04		1.83E+08		
	⁸⁹ Zr			1.83E+07	9.15E+04		1.83E+08		
	¹⁷⁷ Lu			5.13E+07	2.57E+05		3.08E+09		
	²²⁵ Ac			9.90E+04	4.95E+02		2.97E+06		
	¹⁶¹ Tb			1.49E+07	7.45E+04		4.47E+08		

场所	核素组成	种类	日产生量		比活度 (Bq/g)	年工作天 数(天)	年产生量		处理措施及去向
			g/d	(Bq/d)			Bq/a	kg/a	
									物处置。
	⁹⁰ Y、 ¹³¹ I、 ⁶⁸ Ga、 ⁸⁹ Zr、 ¹⁷⁷ Lu、 ²²⁵ Ac、 ¹⁶¹ Tb、 ¹³³ Xe、 ²⁰¹ Tl、 ²²⁷ Th、 ^{99m} Tc、 ⁹⁹ Tc、 ⁹⁰ Sr、 ⁸⁹ Sr、 ¹⁵³ Sm、 ¹⁸⁶ Re、 ²²⁴ Ra、 ²²³ Ra、 ³² P、 ⁹⁹ Mo、 ¹¹¹ In、 ¹²⁵ I、 ³ H、 ⁶⁸ Ge、 ¹⁸ F、 ⁶⁴ Cu、 ⁵¹ Cr、 ¹⁴ C、 ¹²³ I、 ²¹¹ At	过滤滤芯	/	/	/	/	3.07E+09	20	含短半衰期核素放射性固体废物通过放射性固废收集桶进行收集后，通过手推车转入1号楼负一层放射性固废暂存间贮存衰变，达到清洁解控水后作为一般工业固体废物处置。 含长半衰期核素及含α核素放射性固体废物单独通过放射性固废收集桶进行收集后，通过手推车转入1号楼负一层放射性固废暂存间贮存，达到一定量后交由有资质单位进行收集处置。

3.4.2 非放射性废弃物

3.4.2.1 非放射性废气

根据源项分析，本项目非放射性废气主要来源于各生产线及实验室使用的氯化氢、硝酸、硫酸挥发产生的酸雾，以及无水乙醇产生的挥发性有机物，其中酸雾量产生极少，可以忽略。本项目前置活性炭管道过滤器对挥发性有机物的过滤效率为60%，最终挥发性有机物产生量见表3.4-4。

表3.4-4 非放射性废气产生及排放情况表

工艺线	过滤效率	年产生量 (kg/a)	处理措施及去向
4-2 生产线	60%	236.7	经活性炭过滤器过滤后引至楼顶排放
放射性药物研发实验室	60%	47.3	

3.4.2.2 非放射性废水

根据源项分析，本项目非放射性废水主要来源于辐射工作人员的生活废水、清洗和工艺清洗废水，非放射性废水产生及排放情况见表3.4-5。

表3.4-5 非放射性废水产生及排放情况表

种类	日产生量 (m ³ /d)	年工作时间(d)	年产生量 (m ³ /a)	处理措施及去向
生活废水	6.114	200	1076	排入地理式一体化污水处理设施处理后经园区污水管网排入华阳污水处理厂，最终排入锦江
洗衣清洗废水	0.768	200	134.4	
洗手用水	0.0256	200	4.48	
生产工艺清洗非放废水	0.1538	250	38.45	
实验工艺清洗非放废水	0.397	250	99.25	

3.4.2.3 非放射性固体废物

根据源项分析，本项目非放射性固体废物主要来源于辐射工作人员产生的生活垃圾、餐厨垃圾和工艺固废等。

本项目放射性固体废物产生及排放情况见表3.4-6。

表3.4-6 非放射性固体废物产生及排放情况表

种类	日产生量 (kg/d)	年工作时间 (d)	年产生量 (kg/a)	处理措施及去向
生活垃圾	15	200	2800	集中收集后由环卫部门统一集中处理与处置。
餐厨垃圾	3.2	200	540	
一体化污水处理设施污泥	/	/	1000	

生产 线	原料包装废材、产品包装废材、非放射性污染的一次性口罩、手套、擦拭物等	6	200	1200	分类收集之后可回收的交由废品收购站处置，不可回收的由环卫部门统一集中处理与处置。
实验 室	空化学试剂瓶	0.1	250	25	交有资质单位回收处理
	非放射性污染的一次性口罩、手套、擦拭物、灭活培养基等	0.5	250	125	集中收集后由环卫部门统一集中处理与处置。

3.4.3 改扩建污染物排放“三本账”

根据本项目实际运行期情况及新增污染源源项分析，改扩建前后污染物排放“三本账”见表3.4-7。

表3.4-7 改扩建前后污染物排放“三本账”核算表

项目 分类	污染物	单位	现有工程排放量 ^①	在建工程排放量 ^②	本项目排放量 ^③	以新带老削减量 ^④	本项目建成后全厂排放量 ^⑤	变化 ^⑥
放射性废 气	¹³¹ I	Bq/a	2.23E+08	4.16E+03	1.04E+08	2.23E+08	1.04E+08	-1.19E+08
	¹²³ I	Bq/a	/	1.04E+03	6.15E+07	/	6.15E+07	6.15E+07
	⁹⁰ Sr	Bq/a	1.88E+04	1.11E+05	/	/	1.30E+05	1.11E+05
	⁹⁰ Y	Bq/a	4.18E+05	7.40E+06	1.86E+05	1.30E+02	8.01E+06	7.59E+06
	³² P	Bq/a	1.52E+05	7.40E+02	/	1.30E+02	1.52E+05	6.10E+02
	⁹⁹ Mo/ ^{99m} Tc	Bq/a	8.05E+04	1.46E+05	7.40E+05	/	9.67E+05	8.86E+05
	^{99m} Tc	Bq/a	1.23E+05	2.94E+05	1.11E+05	/	5.28E+05	4.05E+05
	¹⁷⁷ Lu	Bq/a	2.13E+04	1.30E+02	5.62E+05	/	5.84E+05	5.62E+05
	⁶⁸ Ge/ ⁶⁸ Ga	Bq/a	5.55E+03	2.59E+01	1.85E+04	/	2.41E+04	1.85E+04
	²²⁵ Ac	Bq/a	/	1.11E+01	8.19E+02	/	8.30E+02	8.30E+02
	²¹¹ At	Bq/a	/	1.11E+01	6.07E+02	/	6.18E+02	6.18E+02
	⁸⁹ Zr	Bq/a	7.77E+03	5.18E+01	5.55	/	7.83E+03	5.73E+01
	¹³³ Xe	Bq/a	5.55E+03	1.30E+01	/	/	5.56E+03	1.30E+01
	¹⁸⁸ W	Bq/a	/	2.59E+01	/	/	2.59E+01	2.59E+01
	²⁰¹ Tl	Bq/a	5.55E+03	1.30E+01	/	/	5.56E+03	1.30E+01
	²²⁷ Th	Bq/a	5.55E+01	1.11E+01	/	/	6.66E+01	1.11E+01
	⁸⁹ Sr	Bq/a	5.55E+03	2.59E+01	/	/	5.58E+03	2.59E+01
	¹⁵³ Sm	Bq/a	5.55E+03	2.59E+01	/	/	5.58E+03	2.59E+01
	¹⁸⁸ Re	Bq/a	/	2.59E+01	/	/	2.59E+01	2.59E+01

项目 分类	污染物	单位	现有工程排放量 ^①	在建工程排放量 ^②	本项目排放量 ^③	以新带老削减量 ^④	本项目建成后全厂排放量 ^⑤	变化 ^⑥
	¹⁸⁶ Re	Bq/a	2.77E+02	5.18E+01	/	/	3.29E+02	5.18E+01
	²²⁴ Ra	Bq/a	/	5.55E+00	/	/	5.55E+00	5.55E+00
	²²³ Ra	Bq/a	5.55E+01	1.11E+01	/	/	6.66E+01	1.11E+01
	¹¹¹ In	Bq/a	7.77E+03	5.18E+01	/	/	7.82E+03	5.18E+01
	¹²⁵ I	Bq/a	5.55E+04	1.04E+03	/	/	5.65E+04	1.04E+03
	³ H	Bq/a	5.77E+03	1.30E+01	4.97E+04	/	5.55E+04	4.97E+04
	⁶⁸ Ga	Bq/a	7.77E+03	2.59E+01	5.55	/	7.80E+03	3.14E+01
	¹⁸ F	Bq/a	6.44E+03	1.04E+02	/	/	6.54E+03	1.04E+02
	⁶⁴ Cu	Bq/a	7.77E+03	2.59E+01	/	/	7.80E+03	2.59E+01
	⁵¹ Cr	Bq/a	5.55E+03	1.30E+01	/	/	5.56E+03	1.30E+01
	¹⁴ C	Bq/a	5.77E+03	1.30E+01	/	/	5.79E+03	1.30E+01
	⁹⁹ Tc	Bq/a	2.22E+02	/	/	4.00E-05	2.22E+02	-4.00E-05
	¹⁶¹ Tb	Bq/a	/	/	5.69E+02	/	5.69E+02	5.69E+02
	¹⁶¹ Tb	Bq/a	/	/	5.69E+02	/	5.69E+02	5.69E+02
放射性废水	含短半衰期核素废水	Bq/a	3.06E+11	4.26E+12	9.15E+12	/	1.37E+13	1.34E+13
		L/a	1680	396	334	/	2410	730
	含长半衰期核素废水	Bq/a	9.26E+10	2.08E+09	1.85E+11	/	2.80E+11	1.87E+11
		L/a	220	2	50	/	272	52
	含 α 核素废水	Bq/a	/	/	3.70E+09	/	3.70E+09	3.70E+09
		L/a	/	/	250	/	250	250

项目 分类	污染物	单位	现有工程排放量 ^①	在建工程排放量 ^②	本项目排放量 ^③	以新带老削减量 ^④	本项目建成后全厂排放量 ^⑤	变化 ^⑥
放射性固体废物	含短半衰期核素固废	Bq/a	1.04E+12	1.76E+13	1.16E+13	3.67E+08	3.02E+13	2.92E+13
		kg/a	672.5	586.5	2517.5	15	3.76E+03	3.09E+03
	含长半衰期核素固废	Bq/a	6.25E+9	7.41E+11	7.75E+11	/	1.52E+12	1.52E+12
		kg/a	12.5	20.5	42.5	/	75.5	63
	含 α 核素固废	Bq/a	/	/	4.08E+10	/	4.08E+10	4.08E+10
		kg/a	/	/	205	/	205	205

*注：⑤=①+②+③-④；⑥=⑤-①

第四章 辐射防护与安全措施

4.1 场所布局与屏蔽

4.1.1 场所布局

4.1.1.1 总平面布置及合理性分析

(1) 厂区平面布置情况

公司整个厂区呈西北-东南走向布局，厂区人流出入口布置于南侧，物流出入口布置于西北侧，质检大楼（包含：放射性/非放射性检验实验室、放射性药物研发实验室等）位于厂区东南侧共3层（高19.2m）；办公大楼位于厂区西南侧，共4层（高20.7m）；生产大楼（包含：1车间、2车间、4车间、动物实验室等，呈U形布置），靠近厂区中部偏西北位置，共2层（高19.5m），综合楼（包含：食堂和员工宿舍）位于厂区西侧，共3层（高19.2m）；动力站布置于厂区北侧，共2层（地下一层、地上一层，高6.9m）；危险品库位于厂区东北侧，共1层（高6.9m）；生产大楼的放射性固废暂存间和放射性废液暂存间紧邻2车间西北侧，其中放射性废液间位于地下一层，放射性固废间位于地上一层；质检大楼的放射性固废暂存间和放射性废液暂存间均位于地下一层；厂区一体化污水处理设施和事故池布置于厂区西北角。

本项目整体采取放射性工作场所和非放射性工作场所分开布置的方式，且保持一定的防护距离，人流和物流分开布置，各区域相互独立，互不干扰，因此从环保角度分析其平面布置合理。

(2) 放射性工作场所布置及合理性分析

①2-1 生产线平面布置

2-1 生产线位于生产大楼一层西北侧，其东北侧为2-1生产线和2-2生产线共用货厅，东南侧为2-2生产线，西南侧为微球非放工艺线，西北侧为放射性固废暂存间，楼上为设备机房。2-1生产是利用原已有场所进行改造，改造后从东北向西南依次布置：包材间、包装间、碘-123溶靶间、产品接受暂存间、拆外包间、气锁间、工作箱前区、工作箱后区、暂存间、更衣间、预填充间、换鞋间、洁具间、灭菌间、清洁间、更衣间、换鞋间、淋浴间、清洁间等。

②2-6、2-7 生产线平面布置

2-6、2-7 生产线位于生产大楼一层东北侧与 2-3、2-4、2-5 和 2-8 生产线集中布置，2-6、2-7 生产线部分功能房间与其他生产线共用，两条生产线东北侧为走廊，东南侧为 2 车间洗衣区，西南侧为 2-3、2-4 和 2-5 生产线，西北侧为 2-8 生产线，楼上为设备机房，2-6、2-7 生产线从东南向西北依次布置：拆外包间、洁具间、清洗灭菌间、换鞋间、更衣间、准备间、2-6 生产线工作箱前区/后区、2-7 生产线工作箱前区/后区等。

③4-1、4-2、4-3 生产线

4-1、4-2、4-3 生产线位于生产大楼一层西南侧，整体采用集中式布置，部分配套功能房间公用，因此整体划分为 4 车间，其东北侧为室外、东南侧为动物实验室、西南侧为室外、西北侧为微球非放生产工艺线，楼上为设备机房。4 车间从东南向西北依次布置：放射性产品暂存库、放射性货厅、更衣间、缓冲间、4-2 生产线、外包间、4-1 生产线、4-3 生产线、灭菌室、物料清洗填柱室、称量室、洁具清洗暂存间、准备间、淋浴室、器具清洗暂存间、物料暂存间、洗衣间、整衣发送室、缓冲室、更衣室、更鞋室、一般区洁具室等。

④放射性药物检验研究中心

放射性药物检验研究中心位于质检大楼一楼，西北侧为办公区、楼上为放射性放射性药物研发实验室、从西北往东南依次布置：换鞋间、淋浴间、更衣间、无菌检测室、微生物限度室、检测仪器存放间、阳性对照间（非放）、清洗灭菌间、准备间、阳性对照间（放射）、制水间、样品接收间、样品暂存间、无菌检测室（放射）、培养室、高温室、培养室、培养基存放间、放射性实验室一、放射性实验室二、化学实验室、热释光测量室、液闪分析室、 γ 谱仪分析室、粒径分析室、液相色谱室、气相色谱室、原子吸收室、稳定性实验室、薄层扫描室等。

⑤放射性药物研发实验室三

放射性药物研发实验室三位于质检大楼二楼，其东北侧为走廊，东南侧为放射性药物研发实验室（二），西南侧为室外，西北侧为化学实验室，楼下为放射性药物检验研究中心，楼上为成都药品检验研究院。放射性药物研发实验室三从东南向西北依次布置：放射性实验室、换鞋更衣间、细胞间一（放射）、细胞间二（非放）、缓冲间、设备间、配电间等。

根据各生产线和实验室平面布置情况，对于可能涉及放射性污染的场所均采取

集中布置方式，并根据工艺需要在高放区域外围绕独立布置换鞋、更衣、淋浴、清洁、缓冲等配套辅助用房，同时通过设置独立的人流、物流通道，保障各辐射工作场所的相对独立性，避免放射性交叉污染影响。综合分析，本项目各放射性工作场所布局既相对独立又互相有机联系，既能减少放射性污染扩散，又能保障生产工艺及实验工艺的需求，因此其平面布局是合理的。

4.1.1.2 辐射工作场所分区

(1) 控制区、监督区划分

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，应把放射性工作场所分为控制区、监督区以便于辐射防护管理和职业照射控制，需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，对控制区运用行政管理程序（如工作许可证制度）限制进入。监督区通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。本项目辐射工作场所分区综合考虑区域的辐射水平、放射性污染水平及潜在辐射风险，结合设施内工艺系统布置、工艺特点以及人流、物流通道，以及所需要的防护手段与安全措施的性质和范围等因素。

本项目各放射性工作场所控制区和监督区划分情况见表 4.1-1。

表 4.1-1 本项目辐射“两区”划分一览表

工作场所		控制区	监督区
2 车间	2-1 生产线	工作箱前区/后区、碘-123 溶靶间、外包间、产品接收暂存间、拆外包间（放射）、气锁间	包材间、包装间、缓冲间、暂存间、缓冲间、更衣间、预填充间、换鞋间、灭菌间、清洗间、拆外包间（非放）、更衣间、淋浴间
	2-6 生产线	工作箱前区/后区	洁具间、更衣间、换鞋间
	2-7 生产线	工作箱前区/后区	洁具间、更衣间、换鞋间
	其他区域	产品暂存间、放射性物料暂存间、铅罐清洗间、原料铅罐暂存间、铅罐存放间	货厅、包装间、逃生通道、CNC 走廊、一次性洁具存放间、洁具间、淋浴间
4 车间	4-1 生产线	钼铯/锗镓发生器生产间、钨-177 生产间、铜-225/砷-211 标记生产间、放射性产品暂存库	外包间、缓冲室（一、二、三）、更鞋室（一、二）、更更衣室（一、二、三）、洁具暂存室、一般洁具室二、洁具室、货厅
	4-2 生产线		
	4-3 生产线		
放射性药物检验研究		样品接收间、样品暂存间、放射	无菌检测室（放射）、稳定实验室（放

工作场所	控制区	监督区
中心	性实验室一、放射性实验室二、	射)、阳性对照(放射)、培养室(放射)、留样库(放射)、易制毒室、试剂室、天平室、水分/电位滴定室、热释光测量室、液闪分析室、 γ 谱分析室、粒径分析室、稳定性实验室(非放)、稳定性实验室(放射)、薄层扫描室、原子吸收室、气相色谱室、液相色谱室、化学分析室、化学实验室、非放留样库、换鞋间、洁衣间、清洗灭菌/准备间
放射性药物研发实验室三	放射性实验室、细胞间一(放射)、放射性药品暂存库	换鞋更衣间、缓冲间
其他	1号楼放射性废液暂存间、放射性固废暂存间、泵房、设备间	楼梯间、设备间
	2号楼短半衰期放射性固废暂存间、长半衰期放射性固废暂存间、放射性废液暂存间	楼梯间

(2) “两区”管控要求

①控制区管控要求

A、在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的、符合GB18871-2002附录F（见图4.1-1）规定的警告标识，并以红色标识“控制区”的边界。B、制定辐射防护与安全措施，包括适用于控制区的规则和程序。C、运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证制度）和实体屏障（包括门锁、门禁等）限制进出控制区。D、工作人员要进入控制区高放射性场所，携带有个人剂量报警仪；E、定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

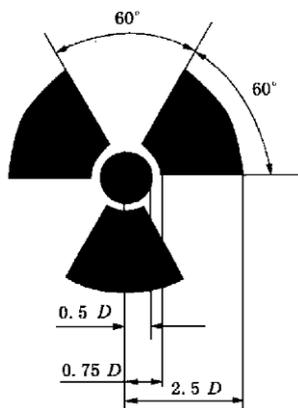


图 4.1-1 电离辐射标识和电离辐射警告标识**②监督区管控要求**

A、监督区范围内限值非职业人员进入；B、以黄色标识“监督区”的边界；C、在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌和电离辐射警告标识；D、定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

4.1.2 屏蔽设计**4.1.2.1 生产线实体屏蔽措施**

2车间、4车间为钢筋混凝土框架结构，建筑外墙为240mm厚砖墙，楼板为150mm现浇混凝土，建筑内根据各功能布局采用50mm厚净化岩棉彩钢板进行隔离。本项目各放射性药物生产线生产环节均在工作箱中进行，作箱组由若干个相连的密闭工作箱组成，分为非放射性工作箱和放射性工作箱，其中非放射性工作箱主要用于非放射性物料的预处理，为保证洁净需求，设计为密封手套箱、放射性工作箱，主要用于放射性物料的标记、分装、过滤、灭菌、活度测量等，放射性工作箱采用密闭机械臂设计，工作箱箱体密闭性符合《密封箱室密封性分级及其检验方法》（EJ/T1096-1999）的3级标准，小时泄漏率小于等于 10^{-2} ，防护性能满足人操作位置剂量率水平不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

放射性物料送入放射性工作箱内时的操作顺序是：工作人员通过运输车将装有放射性溶液铅罐运输至工作箱后区，再将铅罐放置在工作箱底部的顶升装置上托盘上，经顶升装置顶升至第一个防护工作箱的工作位置，关闭防护箱底部隔离门，从第一个防护箱至最后一个防护箱的生产流程均采用传递车和机械臂进行操作，放射性药品在最后一个工作箱通过内部运输通道运送至产品出口防护工作箱，经顶升装置将药品下降至运输小车，关闭防护箱底部隔离门。工作箱下部还设计有放射性固废收集桶、放射性废液收集桶或放射性废水下水口，便于放射性废水的收集。

本项目各生产线工作箱示意图如下，具体屏蔽参数见表4.1-2~4.1-7。

4.1.2.3 放射性药物检验研究中心屏蔽设计

放射性药物检验研究中心对于高活度的放射性实验（大于 1mCi ）在放射性实验室二手套箱内操作，中等活度的放射性实验（ $10\mu\text{Ci}\sim 1\text{mCi}$ ）在放射性实验室二通风橱内操作，低活度（小于 $1\mu\text{Ci}$ ）的放射性实验可在各放射实验室中操作。放射性实

验室二已配备屏蔽手套箱，正面20mm铅，其余侧面10mm铅，内部放置10mm有机玻璃屏；放射性实验室二通风橱内已设置30mm铅当量“L”形铅屏风进行屏蔽，同时整个放射性药物检验研究中心外墙还设计有240mm实心砖屏蔽墙体，楼板为120mm现浇混凝土。

4.1.2.2 放射性药物研发实验室屏蔽设计

由于放射性药物研发实验室三操作放射性核素活度较小（最大1.4mCi），通过铅罐转入实验室内的通风橱，并在通风橱内设置30mm铅当量“L”形铅屏风进行屏蔽，本项目放射性药物研发实验室三分别设置两台“L”型铅屏风，分别位于放射性实验室和细胞室一（放射），同时整个放射性研发实验室（三）外墙还设计有240mm实心砖屏蔽墙体，楼板为150mm现浇混凝土。

4.1.2.3 原料、产品、放射性废物暂存实体屏蔽措施

（1）原料及产品暂存实体屏蔽措施

本项目2车间、三车间均设置有放射性原料暂存间和产品暂存间，由于多数放射性原料半衰期较短，在原料进场经检查合格并进行台账登记后，将直接转入各生产线工作箱内，部分多余剩余原料会返回放射性原料暂存间进行暂存；放射性产品在完成包装后将暂时转入放射性产品暂存间，并在当天外运至客户，不会进行大批量的贮存。

各生产线购入的放射性原料在购入时均自带屏蔽罐进行辐射屏蔽，入场前放射性原料均按《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）规定的II级A型货包进行包装发货。各生产线生产的放射性药品也均采用铅罐进行屏蔽并按《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）规定的II级A型货包进行包装（外表面任意一点的最高辐射水平 $0.005 < H \leq 0.5 \text{mSv/h}$ ）或I级A型货包进行包装（外表面任意一点的最高辐射水平 $H \leq 0.005 \text{mSv/h}$ ）。

放射性原料及产品铅罐屏蔽设计详见表4.1-8。

（2）放射性废物暂存实体屏蔽措施

本项目2车间2-1、2-6、2-7生产线产生的放射性废液通过特排管道进入生产大楼负一层放射性废液暂存间，无需另外设置放射性废液收集容器，4车间及放射性药物研发实验室三产生的放射性废液均通过放射性废液收集容积进行收集转运；2-1、2-6、2-7生产线及4车间产生的放射性固体废物通过工作箱下方的放射性固废收集容器进

行收集，然后转入生产大楼一层放射性固废暂存间，放射性药物研发实验室三产生的放射性固体废物通过实验室内设置的放射性固体废物收集容器收集后转入质检大楼负一层放射性固废暂存间。各生产线及实验室设置的放射性废物屏蔽容器设计情况详见表4.1-9。

生产大楼（2号楼）西侧一层已建设有短半衰期、长半衰期放射性固废暂存间，用于各生产线放射性固体废物的暂存和衰变，该暂存间墙体为370mm实心墙体，地面为采用100mm厚混凝土垫层+2mm三层四涂玻璃钢进行防渗，顶板为120mm钢筋混凝土，大门为5mm铅板+1.5mm不锈钢敷面的电动屏蔽门。其中短半衰期放射性固废间共两间（1#、2#），其中1#短半衰期放射性固废间设有3个 β 废物桶、3个 γ 废物桶和一个备用桶，废物桶嵌在24cm砖屏蔽的台面内， γ 废物桶身为2mm不锈钢，桶盖为40mm钢板， β 废物桶内为10mm有机玻璃桶，外面是2mm不锈钢桶，桶盖内侧为10mm有机玻璃，外侧是15mm钢板，桶直径400mm，高400mm，体积均为45L。2#短半衰期放射性固废暂存间共设置99个地坑，地坑容积分为12L（ $\phi 250\text{mm}\times 250\text{mm}$ ）、21L（ $\phi 300\text{mm}\times 300\text{mm}$ ）和400L（ $\phi 800\times 800$ ），地坑内壁为2mm不锈钢，顶盖为5mm铅，由于前期项目产能较低且使用核素种类数量较少，建设单位将分不同核素种类进行放射性固体废物的暂存衰变。

质检大楼负一层已建设有放射性固废暂存间，用于质检大楼内放射性药物检验研究中心、放射性药品研发实验室产生的放射性固体废物，该暂存间墙体为250mm现浇混凝土，地面为采用100mm厚混凝土垫层+2mm三层四涂玻璃钢进行防渗，顶板为120mm钢筋混凝土，放射性固废暂存间设有3个 β 废物桶、3个 γ 废物桶和一个备用桶，废物桶嵌在24cm砖屏蔽的台面内， γ 废物桶身为2mm不锈钢，桶盖为40mm钢板， β 废物桶内为10mm有机玻璃桶，外面是2mm不锈钢桶，桶盖内侧为10mm有机玻璃，外侧是15mm钢板，桶直径400mm，高400mm，体积均为45L。

4.2 辐射安全与防护措施

4.2.1 操作过程中的辐射安全与防护措施

非密封放射性物质在操作过程中为保护职业人员主要采取的辐射安全与防护措施包括：气流组织及净化通排风、个人防护措施。

4.2.1.1 场所气流组织及净化通排风

（1）气流组织

本项目各放射性药品生产线为同时满足 GMP 洁净区正压气流组织要求及放射性物质负压气流组织，各生产线以邻近连通房间（如：气锁间、缓冲室等）为最高压力区，压差往两边邻近连通房间逐级递减，可保证放射性气溶胶局部流动方向为：非辐射工作区→前区→后区→工作箱→排风管道，避免放射性气溶胶扩散。本项目各生产线功能房间压差见表 4.2-1 和表 4.2-2，气流组织见图 4.2-1、图 4.2-2 和图 4.2-3。

表 4.2-1 各生产线工艺房间压差表

（略）

表 4.2-2 各生产线工艺房间压差表

（略）

（2）新风（回风）

送入洁净区的空气，都经过空调净化新系统净化，新风经初效过滤与回风混合后，再经表冷（夏季）、风机加压、加热（冬季）加湿、中效过滤后，由高效过滤风口送入洁净房间。空调机组选用组合式空调器，气流组织采用上送下侧回（排）形式。

（3）排风

本项目各生产线工作箱及控制区生产间排风情况见表 4.2-3~表 4.2-5，实验室排风情况见表 4.2-6，放射性废物暂存间排风情况见表 4.2-7。

表 4.2-3 2-1 生产线控制区压差及风量统计表

（略）

表 4.2-4 2-6、2-7 生产线控制区压差及风量统计表

（略）

表 4.2-5 4 车间（4-1、4-2、4-3 生产线）控制区压差及风量统计表

（略）

表 4.2-6 放射性药物检验研究中、放射性药物研发实验室控制区压差及排风量统计表
(略)

表 4.2-7 放射性废物暂存间控制区排风量统计表
(略)

4.2.1.2 个人防护措施

(1) 本项目辐射工作人员上岗前均进行辐射安全与防护知识培训，并在学习考核合格后上岗，同时各生产线制定严格的操作工作，所有辐射工作人员在上岗均先进行操作的冷试验后才能正式开展放射性物质的操作生产。

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

(3) 辐射工作人员进入生产区需按流程：一次换鞋→一次更衣（穿工作服）→消毒→二次换鞋→二次更衣（穿洁衣、戴口罩、带手套）→生产区，离开生产区需按流程：一次换鞋→一次更衣（脱洁衣）→表面沾污监测→二次更衣（换家服）→二次换鞋→离开，若表面沾污监测出线超标情况应须进行淋浴去污后监测达标后再离开。

(4) 对于放射性核素的分装过程中在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染。保持工作台面清洁，定期对工作台面采用湿法擦拭清洁，防止放射性核素沉降经伤口或皮肤渗透转移至体内，且严禁工作人员在开放性工作场所内进食、饮水和吸烟。

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

(6) 定期采用移动式气溶胶监测系统对生产场所进行室内气溶胶采样，若出现气溶胶异常应及时进行场所工作箱密闭性或通排风系统进行检修。

(7) 对于放射设备的检修和维护时，如工作箱的開箱检修或过滤器的滤芯的更换时，还将配备防护铅衣、铅帽、铅眼镜、铅围脖等个人防护用品。

4.2.2 运输过程的辐射安全与防护措施

本项目产品采用 A 型货包屏蔽容器，一般出厂货包分为三层包装结构，第一层为与放射性物料直接接触的储液瓶（罐），储液瓶（罐）口有密封胶塞并压有铝盖，在搬运过程中不会发生液体倾洒，第二层包装结构为屏蔽辐射照射的屏蔽铅罐或铅套，第三层包装结构为缓冲泡沫塑料和铁皮外桶或纸箱，起到保护屏蔽铅罐或铅套不受外力破坏的作用。货包准备好以后在装车前需对每个货包表面 γ 辐射剂量率和 β 表面沾污进行监测，并经监测达标后才进行装车，同时根据货包分级在外包装张贴标识（如图 4.2-4 所示）。对于例外货包需在包装外张贴“放射性”字样。在运输过程建设单位将设置专人和专车进行放射性核素产品的运输，每辆运输车辆将至少配置 2 名辐射工作人员。为尽量减小运输过程辐射事故发生几率，运行过程还需采取如下措施。

①运输车辆尽量选择错峰出行，并尽量优化运输线路，缩短运输时间，减小相关人员受照射时间；

②运输车辆不得运输其他无关物品，严禁运输易燃、易爆、易腐蚀等物品；

③运输车辆临时停靠时设立警示标志，并安排专人进行看守，防止放射性核素产品丢失、被盗。

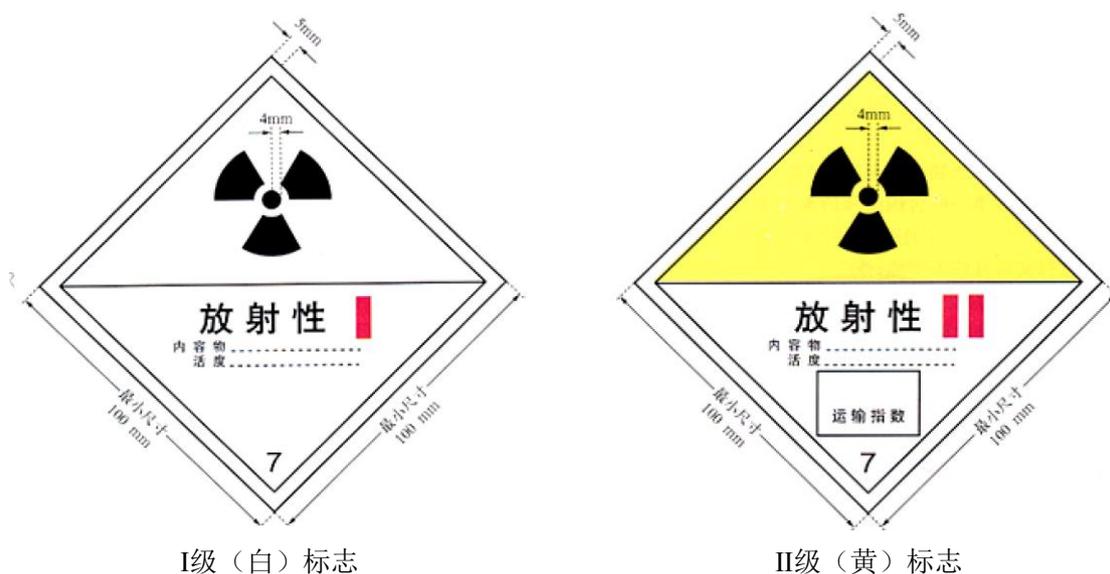


图 4.2-4 货包电离辐射标识

4.2.3 安全保卫措施

4.2.3.1 防盗、防抢、防破坏措施

（1）监控系统

为满足生产需要、改善生产条件和加强安全生产措施，本工程在各个非密封放射性物质工作场所和厂区内分别设置视频监控系统。可为工作人员及操作人员提供必要、直观的图像信息；厂区视频监控系统可对厂区进出口、周界、重要厂房进出口进行监控，防止非法人员进入，保障生产人员、放射性药物的安全。非密封放射性物质工作场所视频监控系统主机放置在总控制室，摄像机设置在门厅、生产线、外包发货间、普通区走廊、放射性废物暂存间及放射性物料库房等。整个非密封放射性物质工作场所有保卫人员 24h 值守，并采取定期和不定期巡查，确保放射性同位素处于安全位置。

（2）双人双锁及台账管理

本项目使用的放射性物料暂存间、放射性废物暂存间和产品暂存间均设施双人双锁双锁钥匙由一名安防负责人和一名生产负责人分别持有，确保放射性物质不被盗窃。同时，放射性原料及放射性废物的来源和去向都有完整记录并长期保存，并由专人进行管理，建设单位还将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）人员出入控制

为限制无关人员进入辐射工作场所，在人流出入口设置磁卡门禁系统，防止非授权人员进入，并对进入厂房的授权人员进行统计和管理。把所有持卡人员的姓名、卡号、部门、职务等个人资料输入电脑（或门控器），同时设置每张卡的级别，不同级别的门禁卡可进入场所不同，便完成了感应卡的输入程序。登记完成以后的感应卡，便有了合规进出的权力。辐射工作场所门禁点位设置：①辐射工作场所的人流、物流总出入口设置门禁；②在不同危险程度的区域交界处设置，如控制区与监督区、监督区与普通区；③在放射性物质存放间设置门禁系统和机械门锁。

表 4.2-8 辐射工作场所门禁安装一览表

场所	安装点位	类别	备注
2 车间	人员总入口门厅	门禁	已有
	2-1 生产线前区人员通道门	门禁	已有
	2-1 生产线后区人员通道门	门禁	已有
	2-1 生产线气锁间	门禁	已有
	2-1 生产线溶靶间	门禁	已有

场所	安装点位	类别	备注
	2-6 生产线前区人员通道门	门禁	已有
	2-6 生产线后区人员通道门	门禁	已有
	2-7 生产线前区人员通道门	门禁	已有
	2-7 生产线后区人员通道门	门禁	已有
	放射性原料暂存间 1#	门禁+机械双人双锁	已有
	放射性原料暂存间 2#	门禁+机械双人双锁	已有
	放射性产品暂存间	门禁+机械双人双锁	已有
	货厅	门禁	已有
4 车间	人员总入口门厅	门禁	新增
	放射性物料传递间	门禁	新增
	4-1 生产线人员通道门及缓冲间	门禁	新增
	4-2 生产线人员通道门及缓冲间	门禁	新增
	4-3 生产线人员通道门及缓冲间	门禁	新增
	放射性产品暂存间	门禁+机械双人双锁	新增
	货厅	门禁	新增
放射性药物检验 研究中心	人员总出入口	门禁	已有
	放射性实验室一人员入口	门禁	已有
	样品暂存间	门禁+机械双人双锁	已有
放射性药物研发 实验室	人员总出入口	门禁	已有
	放射性研发实验室（三）人员入口	门禁	已有
	2 号楼放射性固废暂存间	门禁+机械双人双锁	已有
	2 号楼放射性废液暂存间	门禁+机械双人双锁	已有
	1 号楼放射性废物暂存间	机械双人双锁	已有

4.2.3.2 防火措施

为及早发现和通报火灾，防止和减少火灾对生产造成的危害，根据《火灾自动报警系统设计规范》，药物生产车间按二级保护对象设置火灾自动报警系统。火灾报警控制器（联动型）设置在消防值班室，在厂房内火灾危险的房间或区域内设置离子型感烟探测器或感温探测器连续进行监测，一旦发生火灾，立即自动发出火灾报警信号，实现火灾早期预报，以便及时采取相应的措施；在走廊、外包装发货间、空调机房、门厅等地设置手动报警按钮及声光报警器。火灾报警系统各种设备之间均采用总线制式的探测报警连线，所有报警信号、反馈信号均传送至火灾报警控制器，由消防值班人员进行判断确认，然后采取消防联动措施进行灭火及人员疏散。同时考虑各生产场所布局的复杂性，在各生产线通向走廊区域设置有安全门，紧急

情况下工作人员可进行破门逃生。

4.2.3.3 防水（防渗）措施

本项目辐射工作场所均参照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）制定防渗措施：地面全部敷设易去污并可以拆除更换的防水、防渗材料，具有耐水性、耐油性、耐酸碱性等特点，且受辐照后不易老化，渗透系数 $\leq 10^{-10}$ cm/s，地坪边缘应高出墙角约高出地面15~25cm，且地面光滑，内部墙面与地面交接处须作圆角处理。各场所防水和防渗方案见表4.2-9。

表 4.2-9 本项目防水、防渗方案

场所	防水、防渗方案
2 车间	1.5mm 厚聚氨酯防水涂料
4 车间	1.5mm 厚聚氨酯防水涂料
放射性药物检验研究中心、放射性药物研发实验室	100mm 厚混凝土基层+1.5mm 厚聚氨酯防水涂料
放射性废物暂存库（生产车间、检测车间）	100mm 厚混凝土垫层+2mm 三层四涂玻璃钢
放射性废水贮槽间（生产车间、检测车间）	2 混凝土抗渗等级 p6+上铺 2mm 厚高分子防水卷材

4.2.3.4 防泄漏措施

本项目非密封放射性物质工作场所已设计了各项屏蔽设施（见 4.1.2 章节），同时建设单位还需制定严密的监测计划，定期或不定期对整个非密封放射性物质工作场所进行辐射环境监测（监测计划 6.3 章节）。由于本项目放射性物料及产品在正常状态下密封于屏蔽罐内，不会发生放射性物质泄漏，但为避免事故状态下放射性溶液泄漏，本项目 2-1、2-6、2-7、4-1、4-2、4-3 生产线、放射性固废暂存间、放射性废液暂存间、放射性原料暂存间、放射性产品暂存间均设置有固定式剂量报警仪，当发生放射性物质泄漏，辐射剂量率超过阈值时（5 μ Sv/h）将触动报警装置。

表 4.2-10 辐射工作场所固定式剂量报警仪设置表

场所	规格型号	数量（个）	备注
2 车间	2-1 生产线（前区、后区）	Model 375	2 已有
	2-1 生产线（溶靶间）	未定	1 新增
	2-6 生产线	未定	1 新增
	2-7 生产线	未定	1 新增
	发货大厅	Model 375	1 已有
	产品暂存间	Model 375	1 已有
	放射性原料暂存间（1#）	Model 375	1 已有

场所		规格型号	数量（个）	备注
	放射性原料暂存间（2#）	WF-GM-DTA 通用 GM 管探测器	1	新增
4 车间	4-1 生产线	未定	1	新增
	4-2 生产线	未定	1	新增
	4-3 生产线	未定	1	新增
	产品暂存间	未定	1	新增
放射性药物检验研究中心	放射性实验室一	WF-GM-DTA 通用 GM 管探测器	1	已有
	放射性实验室二	WF-GM-DTA 通用 GM 管探测器	1	已有
2 号楼短半衰期放射性固废暂存间		Model 375	1	已有
2 号楼长半衰期放射性固废暂存间		WF-GM-DTA 通用 GM 管探测器	1	已有
1 号楼放射性固废暂存间		Model 375	1	已有

4.2.4 辐射安全与防护措施要求对照分析

根据《甲级非密封放射性物质工作场所监督检查技术程序》（NNSA/HQ-08-JD-IP-005）、《乙级非密封放射性物质操作场所监督检查技术程序》（NNSA/HQ-08-JD-IP-006）、《丙级非密封放射性物质操作场所监督检查技术程序》（NNSA/HQ-08-JD-IP-007）、《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）和《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）中关于非密封放射性物质工作场所的辐射安全防护设施监督要求，建设单位已采取和拟采取的辐射安全防护措施对照见表 4.2-11~表 4.2-14。

表 4.2-11 甲级非密封放射性物质操作场所的辐射安全与防护措施要求落实对照一览表

序号	辐射安全防护设施检查项目		落实情况		
			2-1 生产线	2-6、2-7 生产线	4-1、4-2、4-3 生产线
1*	A 场所设施	工作场所功能、设置及分区	已落实	已设计	已设计
2*		场所分区的管控措施及标识	已落实	已设计	已设计
3*		入口处电离辐射警示标志	已落实	拟配备	拟配备
4*		卫生通过间	已落实	已设计	已设计
5*		通风系统完整性及效能	已落实	已设计	已设计
6*		排风过滤器	已落实	已设计	已设计
7*		密封箱室	已落实	已设计	已设计
8*		屏蔽防护设施	已落实	已设计	已设计
9		防过热或超压保护	已设计	不涉及	不涉及
10*		防止放射性液体操作造成污染的措施	已落实	已设计	已设计
11*		机械手或其它远离操作工具	已落实	已设计	已设计

序号	辐射安全防护设施检查项目	落实情况		
		2-1 生产线	2-6、2-7 生产线	4-1、4-2、4-3 生产线
12*	火灾报警仪	已落实	已设计	拟配备
13*	放射性废水处理系统及标识	已落实	拟落实	拟落实
14*	放射性物料与成品暂存场所设施	已落实	已落实	已落实
15*	放射性固体废物暂存场所或设施	已落实	已落实	已落实
16*	安保设施	已落实	已落实	拟配备
17	防火设备、应急出口	已落实	已落实	已设计
18*	人员出口污染监测仪	已落实	已落实	拟配备
19*	固定式辐射监测报警仪	已落实	拟配备	拟配备
20*	固定式或移动式气溶胶取样监测设备	已落实	已落实	已落实
21	气载放射性流出物取样监测设备	已落实	已落实	已落实
22*	便携式辐射监测仪表	已落实	已落实	拟配备
23*	个人剂量计	已落实	已落实	拟配备
24	个人剂量报警仪	已落实	已落实	拟配备
25*	C 防护用品 个人辐射防护用品	已落实	拟配备	拟配备
26*	D 应急物资 去污用品和应急物资	已落实	拟配备	拟配备
27	合适的灭火器材	已落实	拟配备	拟配备
28*	放射性同位素应急包装容器	已落实	拟配备	拟配备

注：加*的项目是重点项。

表 4.2-12 乙级非密封放射性物质操作场所的辐射安全与防护措施要求落实对照一览表

序号	辐射安全防护设施检查项目	设计建造
1*	工作场所功能、设置及分区布局	已落实
2*	场所分区的管控措施及标识	已落实
3*	电离辐射警告标志	已落实
4*	卫生通过间	已落实
5*	通风系统完整性及效能	已落实
6*	密封箱室	已落实
7*	屏蔽防护设施	已落实
8	防过热或超压保护	不涉及
9*	防止放射性液体操作造成污染的措施	已落实
10*	机械手或其它远距离操作工具	不涉及
11*	火灾报警仪	已落实
12*	放射性废水处理系统及标识	已落实

序号	辐射安全防护设施检查项目		设计建造
13*		放射性物料与成品暂存场所或设施	已落实
14*		放射性固体废物暂存场所或设施	已落实
15*		安保设施	已落实
16		防火设备、应急出口	已落实
17*	B 监测设备	人员出口污染监测仪	已落实
18*		固定式辐射监测报警仪	已落实
19*		固定式或移动式气溶胶取样监测设备	已落实
20*		便携式辐射监测仪	已落实
21*		个人剂量计	已落实
22		个人剂量报警仪	已落实
23*	C 防护用品	个人辐射防护用品	已落实
24*	D 应急物资	去污用品和应急物资	已落实
25		合适的灭火器材	已落实
26*		放射性同位素应急容器	已落实

注：加*的项目是重点项。

表 4.2-13 丙级非密封放射性物质操作场所的辐射安全与防护措施要求落实对照一览表

序号	辐射安全防护设施检查项目		设计建造
1*	A 场所设施	工作场所功能、设置及分区	已设计
2*		场所分区的管控措施及标识	已设计
3*		电离辐射警告标志	拟配备
4		通风柜	已设计
5*		防止放射性液体操作造成污染的措施	拟配备
6*		放射性废水处理系统及标识	已落实
7*		放射性物料与成品暂存场所或设施	已落实
8*		放射性固体废物暂存场所或设施	已落实
9		安保设施	已落实
10*	B 监测设备	便携式辐射监测仪	已落实
11		个人剂量计	已落实
12*	C 防护用品	个人辐射防护用品	已落实
13	D 应急物资	区域用品和应急物资	已落实

注：加*的项目是重点项。

4.3 三废治理

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

（1）放射性药物生产车间、放射性研发实验室废气处理措施

对于改造场所（2-1 生产线）及设计变更场所（2-6、2-7 生产线）原已有新风、回风、排风系统及管道连接不发生变化。放射性药品生产 2 车间、4 车间通风系统为全新风系统，新风来自室外，即全送全排系统。每个放射性药物生产线排风系统均分为控制区房间内排风和工艺防护工作箱排风，并且单独设置。本项目 2-1 生产线与 2-2 生产线共用一个废气排放口，排放口位于生产大楼楼顶，排放高度为 30m，同时废气排放口已按要求预留废气采样口；2-6、2-7 生产线与 2-3、2-4、2-5、2-8 生产线共用一个废气排放口，排放口位于生产大楼楼顶，排放高度为 30m，同时废气排放口已按要求预留废气采样口；4-1、4-2、4-3 生产线单独设置废气排放口，排放口位于生产大楼楼顶，排放高度为 25m，同时废气排放口将按要求预留废气采样口。放射性药物研发实验室与放射性药物检验研究中心共用一个废气排放口，排放口位于质检大楼楼顶，排放高度为 21m，同时废气排放口按要求已预留废气采样口。所有废气排放口内径为 1m，顶部安装防雨帽，

各生产线控制区房间排风通过风管汇集后，经普通高效过滤排风机箱排放至屋面；考虑防护工作箱自带风机开启台数变化，为保证房间内压差稳定，工作箱排风系统排风机设置变频器；防护工作箱自带独立排风机及前置管道过滤器，由于自带排风机余压不足，为保证防护箱内压差稳定，自带排风机处需经过接力风机（高效过滤排风机箱/除碘过滤器排风机箱）排放至楼顶；所有高效过滤排风机均为一备一用；同时排风机前后设置压差监测口，用于过滤效率实验的取样。放射性药物研发实验室设置有单独的排风系统，放射性废气经风管汇集后，经集成高效过滤除碘过滤器（涉及碘操作时废气经除碘过滤器，涉及非碘操作时，废气经高效过滤器）排风机组排放至楼顶，排风机前后设置压差监测口，用于过滤效率实验的取样。

本项目放射性药品生产线高效过滤器/除碘过滤器和放射性实验室集成过滤高效过滤除碘过滤器前后管道均设有压力监测传感器，实时监测过滤器前后管道压力，当管道前后压差维持正常值范围，过滤器工作正常。当管道前后压差大于正常压差

值，表明过滤器堵塞需要维护更换滤芯；当管道前后压差小于正常压差值，表明过滤器破损需要维护更换滤芯。

（2）过滤器工艺设备

本项目生产线工作箱上方均自带有前置管道过滤器，同时碘元素操作的工作箱设置有除碘过滤风机组，非涉碘操作的工作箱设置有袋进袋出高效过滤风机组，非工作箱区域的控制区房间设置有普通高效过滤风机组。

①前置管道过滤器

前置管道过滤器分为前置活性炭过滤器和前置高效过滤器，其中前置活性炭过滤器安装于涉及碘操作的工作箱及手套箱顶部，活性炭填充量约 5kg，该活性炭采用二乙撑二胺和碘化钾浸渍剂处理，以提高碘化物的过滤效率，内部结构采用 W 型或 Z 型结构碳床排列（见图 4.3-5），以增加空气接触面，提高净化效率，前置管道过滤器对于碘化物过滤效率可达到 90% 以上。前置高效过滤器为 HMH 无隔板高效过滤器（总量约 5kg），安装于非碘操作工作箱顶部，主要用于捕集 0.5 μm 以下的气溶胶颗粒，过滤效率大于 90%。

②袋进袋出高效过滤风机组

袋进袋出高效过滤器即具备利用气密袋安全更换条件的过滤器，其中包含预过滤段、中效过滤器 F6 和高效过滤器 H14。中效过滤器 F6 主要用于捕集 1-5 μm 的颗粒灰尘及各种悬浮物，过滤效率 $\geq 45\%$ ；高效过滤器 H14 主要用于捕集 0.5 μm 以下的颗粒灰尘及各种悬浮物，过滤效率 $\geq 99.99\%$ 。袋进袋出高效过滤器与排风系统尾端相连，防止污染物外泄，过滤器的安装更换均在保护袋中进行，过滤单元不与外界空气接触，从而保证人员安全，防止环境污染。袋进袋出高效过滤器外观见图 4.3-7。

③普通高效过滤风机箱

高效过滤风机箱与其中过滤段包含预过滤段、中效过滤器 F6 和高效过滤器 H14。中效过滤器 F6 主要用于捕集 1-5 μm 的颗粒灰尘及各种悬浮物，过滤效率 $\geq 45\%$ ；高效过滤器 H14 主要用于捕集 0.5 μm 以下的颗粒灰尘及各种悬浮物，过滤效率 $\geq 99.99\%$ 。高效过滤风机箱与排风系统尾端相连来防止污染物外泄。本项目已有高效过滤器使用 HMH610/10-70 型高效过滤器，外形尺寸 610 \times 610 \times 70mm，过滤面积 11.3 m^2 ，额定风量 1000 m^3/h ，额定风速 0.75 m/s 。该高效过滤器对 $\geq 0.3\mu\text{m}$ 颗粒的过滤效率在 99.97% 以上，采用的滤材为超细玻璃纤维滤纸，滤芯每年更换一次。

④除碘过滤系统

为去除工作箱内所含碘废气中的碘-131、碘-123，在手套箱排风系统设内置除碘过滤系统，除碘过滤系统由电加热器、预过滤器、前置 HEPA 过滤器、II型碘吸附器、后置高效过滤器组成，其中，II型碘吸附器对碘-131、碘-123 吸附后的泄漏率 $\leq 0.01\%$ ，单台外形尺寸 610×160×762mm，单台额定风量 567m³/h，初阻力 $\leq 310\text{Pa}$ 。本项目 2-1 生产线和质检大楼已建设有该除碘过滤系统，根据《成都纽瑞特医疗科技股份有限公司碘吸附器效率试验总结报告》（中辐院报告编号：CIRP-NRT-DXFQ-202101）其中 2-1 生产线除碘过滤系统对碘-131 核素的去除效率为 99.80%，质检大楼除碘过滤系统对碘-131 核素的去除效率为 99.96%。

（3）废气排放管理措施

①建设单位需定期对通排风系统管道及净化系统设施设备进行检修和维护，并建立设施设备维护台账，其中各型过滤装置需根据设备要求（当初效段过滤器两端压差值为小于初阻值或大于 2 倍初阻值时进行清洗或更换，初效端过滤器连续使用 3 个月更换，中效过滤器连续使用每半年更换一次；高效过滤器连续使用三年更换一次）定期进行过滤效率检定和更换，并将更换下的滤芯按半衰期进行分类收集暂存衰变或处置；②为尽量减小公众不必要的照射，建设单位应对各排放口进行信息标识，并对废气排放口楼顶进行封闭管理，除监测采样、设备维护、检修等特殊情况下，禁止人员在楼顶长期居留。

4.3.1.2 放射性废水处理措施

（1）放射性废水收集

本项目各生产线放射性废液的收集处理依托生产楼（2 号楼）负一层已建放射性废液暂存间，该放射性废液暂存间的放射性汇水区域包括：2-1、2-2、2-3、2-4、2-5、2-6、2-7、2-8 生产线、放射性实验室。该废液暂存间内分别布置工艺废液储罐和洗涤废液储罐，其中工艺废液储罐共 6 个，每 3 个储罐独立一组（1 个用于废液收集、1 个用于废液贮存衰变、1 个备用，单个储罐容积为 1.13m³），仅用于短半衰期放射性工艺废液的收集、贮存和衰变；洗涤废液储罐 4 个，每 2 个储罐独立一组（1 个用于废水收集，1 个用于废水贮存衰变，单个储罐容积为 1.13m³），仅用于检修及应急条件下淋浴废水的收集。

本项目放射性药物检验研究中心和放射性药物研发中心放射性废液的收集处理

依托质检大楼（1号楼）负一层已建放射性废液暂存间，该放射性废液暂存间的放射性汇水区域包括：放射性药物检验研究中心、放射性药物研发实验室。该废液暂存间共设置废液储罐3个（单个储罐容积为 1.13m^3 ）仅用于短半衰期放射性废液的收集、贮存和衰变。

本项目2-1、2-6、2-7生产线均已建设有独立特排管道，日常生产过程中产生的放射性废液直接通过工作箱内接入特排管道，最终引至工艺废液储罐。检修及应急条件下产生的淋洗废水，通过淋浴间的下水口接入特排管道，最终引至淋浴废水储液罐。

4-1、4-2、4-3生产线由于场地限制无法修建特排管道，生产过程中产生的放射性废液通过10L废液收集/转运桶转运至泵房地槽中倾倒，然后通过电泵抽入工艺废液储罐中衰变，其中含长半衰期核素（锆-60/镓-68）及 α 核素（碲-211、铟-225）的放射性废液采用10L废水收集桶收集后转入长半衰期放射性固废暂存间进行暂存。检修及应急条件下产生的淋浴废水通过淋浴间设置的300L人体去污废水收集桶收集后转运至泵房地槽中倾倒，然后通过电泵抽入淋浴废水储液罐中衰变，其中含长半衰期核素（锆-60/镓-68）及 α 核素（碲-211、铟-225）的淋浴废水采用300L废水收集桶收集后转入长半衰期放射性固废暂存间进行暂存。

本项目放射性药物检验研究中心和放射性药物研发实验室三建设有独立特排管道，日常生产过程中产生的放射性废液直接通过手套箱或通风橱内接入特排管道，最终引至负一层放射性废液暂存间储液罐。其中含长半衰期核素（锆-60/镓-68、碳-14、锶-90、氚-3、镅-99）及 α 核素（碲-211、钷-227、铟-225、镭-224、镭-223）的放射性废液采用10L废水收集桶收集后转入放射性固废暂存间进行暂存。

（2）放射性废液处理

本项目放射性废液储罐设计为自动控制，罐体设有连续的液位测量，并设置上、下限报警，为提高安全性，防止冒槽事故发生，在贮槽内另设有液位开关实现上限液位报警，做到冗余和多样性的监测，所有液位报警时均提供声、光指示。同时设置液位开关触发信号连锁控制衰变废液槽上的废液进口阀，当液位开关触发时，关闭废液进口阀，排放管道上设置有压力表监测排放泵出口压力。

当需要对指定衰变罐内废液进行取样分析时，开启对应的取样阀，启动排放泵，循环搅拌罐内废液10min~15min，通过设置在排放泵出口管上的取样阀取样。

结束后关闭取样阀。若监测结果满足排放标准限值要求（总 α 排放标准：1Bq/L；总 β 排放标准 10Bq/L），启动排放泵将废液排放至生活污水总管。当衰变罐的液位下降至低限时系统自动连锁停泵，关闭出口阀。

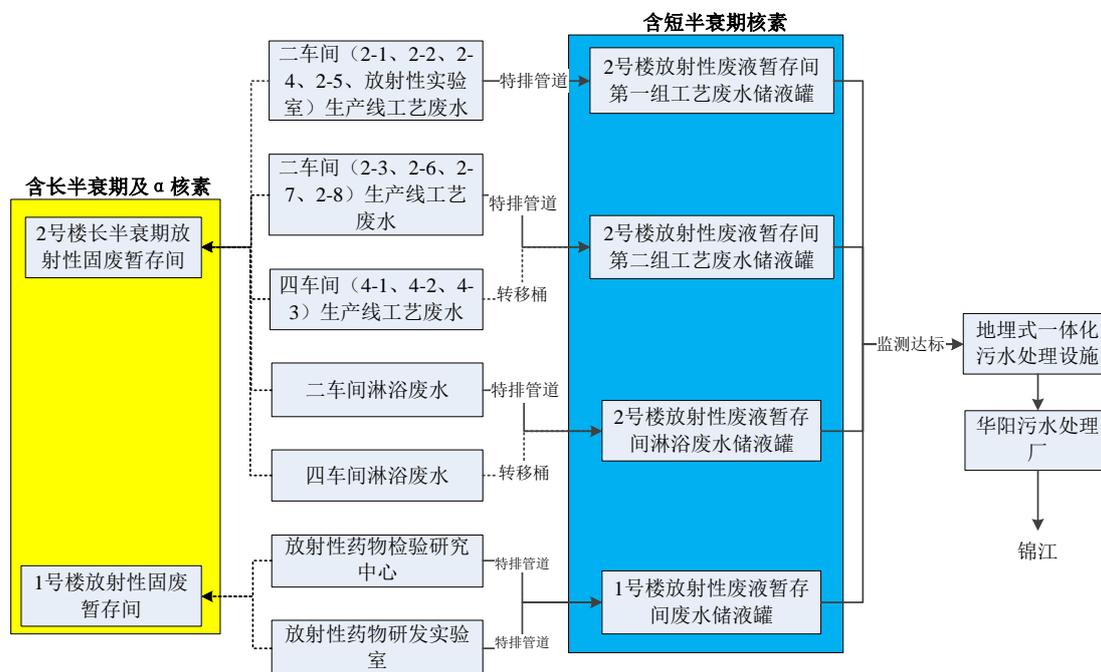


图 4.3-21 本项目放射性废水处理流程图

（3）放射性废液处理可行性分析

①生产楼（2号楼）放射性废液处理可行性分析

本项目生产楼（2号楼）放射性废液暂存间储液罐除了收集本项目产生的放射性废液外，还收集一期、二期已批复建设内容的放射性废液，其中 2-1、2-2、2-4、2-5、放射性实验室短半衰期放射性废液通过特排管道接入第一组工艺储液罐，2-3、2-6、2-7、2-8 生产线特排管道接入第二组工艺储液罐，淋浴间短半衰期放射性废水通过特排管道接入淋浴储源罐。根据《成都纽瑞特医疗科技有限公司放射性药物创新平台与产业化（一期）项目环境影响报告书》和《成都纽瑞特医疗科技有限公司放射性药物创新平台与产业化（二期）项目环境影响报告书》，最终 2 车间和 4 车间生产线可能汇入放射性储液罐的放射性核素种类（包括：碘-125、锶-89、碘-131、碘-125、钷-90、磷-32、钼-99/锝-99m、铅-89、氙-133、铊-201、锝-99m、钷-153、铯-188、铯-186、磷-32、钼-99、镭-177、钷-111、镓-68、氟-18、铜-64、铬-51）及废水量见表 4-5。

对于工艺废液，保守考虑，工艺储液罐注满过程不考虑衰变，即废液衰变时间从单个储源罐封闭开始计算，第一组衰变储液罐和备用储液罐注满时候，所需时间为 1121 天，第二组衰变储液罐和备用储液罐注满时，所需时间为 1799 天。衰变结束后单个储液罐排放时的比活度由下式计算。

对于淋浴废水，其中含长半衰期核素（锆-60/镓-68）及 α 核素（碲-211、铜-225）放射性核素的淋浴废水采用 300L 废水收集桶收集后转入长半衰期放射性固废暂存间暂存，其余淋浴废水采用 300L 废水收集桶收集后转入放射性废液暂存间进行暂存，单次淋浴人数按 4 人计算，根据《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019），用水按 60L/（人 d）计，排放系数取 0.8，排水量 192L/次，根据现有已运行生产线的经验，检修及应急次冲淋次数取不超过 1 次/a，单次检修或事故放射性和沾染量保守按最大操作量的 1% 估算（ $6.88 \times 10^9 \text{Bq}$ ），选择半衰期相对较长碘-131 作为代表核素进行估算，单个储液罐注满时碘-131 到衰变后排放时，放射性核素比活度根据下式计算：

表 4.3-1 2 号楼放射性废水储液罐排放比活度估算表

场所	核素	半衰期	年排放量 (L/a)	年排入总量 (Bq/a)	排放时比活度 (Bq/L)	储液罐
2-1 生产线	^{123}I	13.22h	40	$8.88\text{E}+11$	<0.001	第一组 储液罐
	^{131}I	8.04d	5	$4.64\text{E}+10$	<0.001	
2-2 生产线	^{90}Y	64.1h	140	$7.40\text{E}+10$	<0.001	
	^{32}P	14.3d	140	$7.40\text{E}+10$	<0.001	
	$^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.75d	140	$7.40\text{E}+10$	<0.001	
2-4 生产线	^{90}Y	64.1h	40	$7.40\text{E}+11$	<0.001	
2-5 生产线	^{90}Y	64.1h	60	$1.85\text{E}+12$	<0.001	
			100	$9.26\text{E}+11$	<0.001	
放射性实验室	^{89}Zr	78.4h	1	$4.14\text{E}+09$	<0.001	
	^{90}Y	64.1h	20	$1.20\text{E}+11$	<0.001	
	^{133}Xe	2.19d	1	$1.04\text{E}+09$	<0.001	
	^{201}Tl	72.9h	1	$1.04\text{E}+09$	<0.001	
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	15	$8.88\text{E}+10$	<0.001	
	^{153}Sm	46.28h	1	$2.07\text{E}+09$	<0.001	
	^{188}Re	17h	1	$2.07\text{E}+09$	<0.001	
	^{186}Re	3.72d	3	$4.14\text{E}+09$	<0.001	

场所	核素	半衰期	年排放量 (L/a)	年排入总量 (Bq/a)	排放时比活 度 (Bq/L)	储液罐	
	³² P	14.3d	10	5.92E+10	<0.001		
	⁹⁹ Mo	2.75d	3	8.29E+09	<0.001		
	¹⁷⁷ Lu	6.71d	4	1.04E+10	<0.001		
	¹¹¹ In	2.83d	1	4.14E+09	<0.001		
	¹³¹ I	8.04d	3	8.29E+09	<0.001		
	¹²³ I	13.22h	1	2.07E+09	<0.001		
	⁶⁸ Ga	1.13h	1	2.07E+09	<0.001		
	¹⁸ F	112min	1	8.29E+09	<0.001		
	⁶⁴ Cu	12.7h	1	2.07E+09	<0.001		
	⁵¹ Cr	27.7d	1	1.04E+09	<0.001		
	¹²⁵ I	59.7d	1	2.07E+09	6.26		
	⁸⁹ Sr	50.4	1	2.07E+09	0.57		
合计			736	/	6.83		
2-3 生产线	^{99m} Tc	6.02h	125	4.15E+11	<0.001	第二组 储液罐	
2-7 生产线	⁹⁰ Y	64.1h	18	6.66E+12	<0.001		
	⁹⁰ Y	64.1h	15	1.85E+11	<0.001		
4-1 生产线	⁹⁹ Mo/ ^{99m} Tc	2.75d	0.20	3.70E+10	<0.001		
			0.20	3.70E+10	<0.001		
			0.05	3.70E+09	<0.001		
			0.05	3.70E+09	<0.001		
4-2 生产线	¹⁷⁷ Lu	6.71h	300	2.22E+12	<0.001		
合计			458.5	/	<0.001		
淋浴水	碘-131	8.04d	240	/	<0.001		淋浴储 液罐

注：含 ²¹¹At 核素的放射性废水，由于产生的子体核素 ²⁰⁷Pb 半衰期长达 31.55a，应将其作为长半衰期废水进行管理，不排入储液罐。

根据表 4.3-1，经保守计算，生产楼（2 号楼）现有放射性废液暂存间第一组工艺储液罐排放周期为 1121d/次，排放时总 β 比活度为 5.18Bq/L，满足 10Bq/L 排放限值要求；第二组工艺废液储液罐排放周期为 1799d/次，排放时总 β 均小于 0.001Bq/L，满足 10Bq/L 排放限值要求；淋浴储液罐排放周期为 2148d/次，排放时总 β 均小于 0.001Bq/L，满足 10Bq/L 排放限值要求。

①生产楼（1 号楼）放射性废液处理可行性分析

本项目生产楼（2 号楼）放射性废液暂存间储液罐，仅收集放射性药物检验研究

中心和放射性药物研究中心短半衰期废水，核素组成：锆-89、钇-90、氙-133、铀-201、钷-227、钨-99m、钨-99、铟-90、铟-89、钷-153、铼-186、磷-32、钼-99、镱-177、铟-111、碘-131、碘-125、镓-68、氟-18、铜-64、铬-51、碘-123、铽-161，保守考虑，工艺储液罐注满过程不考虑衰变，第一组衰变储液罐和备用储液罐注满时候，所需时间为 1253 天，根据式 4.3-2 计算，最终排放时候，各短半衰期核素活度浓度见表 4.3-2。

表 4.3-2 1 号楼放射性废水储液罐排放比活度估算表

场所	核素	半衰期	年排放量 (L/a)	年排入总量 (Bq/a)	排放时比活度 (Bq/L)
放射性 药物检 验研究 中心	⁸⁹ Zr	78.4h	442.5	1.85E+09	<0.001
	⁹⁰ Y	64.1h		1.85E+10	<0.001
	¹³³ Xe	2.19d		1.85E+09	<0.001
	²⁰¹ Tl	72.9h		1.85E+09	<0.001
	^{99m} Tc	6.02h		1.85E+10	<0.001
	¹⁵³ Sm	46.28h		7.40E+07	<0.001
	⁸⁹ Sr	50.4d		1.85E+09	0.092
	¹⁸⁶ Re	3.72d		9.25E+07	<0.001
	³² P	14.3d		1.85E+09	<0.001
	⁹⁹ Mo	2.75d		4.63E+09	<0.001
	¹⁷⁷ Lu	6.71d		4.63E+09	<0.001
	¹¹¹ In	2.83d		1.85E+09	<0.001
	¹³¹ I	8.04d		1.85E+10	<0.001
	¹²⁵ I	59.7d		1.85E+09	1.35
	⁶⁸ Ga	1.13h		1.85E+09	<0.001
	¹⁸ F	112min		1.85E+09	<0.001
	⁶⁴ Cu	12.7h		1.85E+08	<0.001
⁵¹ Cr	27.7d	1.85E+08	<0.001		
¹²³ I	13.22h	1.85E+09	<0.001		
¹⁶¹ Tb	6.9d	1.85E+08	<0.001		
放射性 药物研 发实验 室	⁹⁰ Y	64.1h	216	4.66E+07	<0.001
	¹³¹ I	8.04d		1.85E+06	<0.001
	⁶⁸ Ga	68.3min		1.85E+06	<0.001
	⁸⁹ Zr	78.4h		1.85E+06	<0.001
	¹⁷⁷ Lu	6.71d		3.11E+07	<0.001
	¹⁶¹ Tb	6.9d		4.50E+06	<0.001

场所	核素	半衰期	年排放量 (L/a)	年排入总量 (Bq/a)	排放时比活度 (Bq/L)
合计			658.5	/	1.44

根据表 4.3-1，经保守计算，质检大楼（1 号楼）现有放射性废液暂存间储液罐排放周期为 1253d/次，排放时总 β 比活度为 1.44Bq/L，满足 10Bq/L 排放限值要求。

(4) 放射性废水管理措施

①本项目产生的所有放射性废水在排放前均需委托有资质单位进行监测，并在监测达标后（总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ ，总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ）进行排放。

②建设单位应严格建立放射性废水衰变运行管理台账，安排专职部门（安全环保部）及人员进行管理，短半衰期储液罐和长半衰期贮存容器封存时均应在外表面醒目处张贴封存封存时间、责任人、核素组成等信息，所有放射性废水排放及转移处理，应建立台账，记录每次排放时间（转移处理时间）、排放量（转移处理量）及监测结果情况，并妥善保管。

③定期对放射性废水特排管道进行检修，防止“跑、冒、滴、漏”情况出现，不得随意对特排管道进行改线或接入非下水管道，若需新建或改造特排管道不得设置 U 型下水管路，保持管道内径光滑并具有一定的下水坡度，防止出现放射性物质沉积。

4.3.1.3 放射性固废处理措施

(1) 放射性固废废物收集处理

根据《核技术利用放射性废物最小》（HAD4011-2020），本项目产生的放射性固体废物均属于可压缩、非感染性废物，根据项目实际产生核素种类按衰变方式分为 γ/β 核素废物和 α 核素废物，根据放射性核素半衰期分为 A 类废物（半衰期小于 24h）、B 类废物（半衰期大于 24h 小于 100d）和 C 类废物（半衰期大于 100d）。

在项目生产线运行前期由于核素种类较为单一，同时考虑本项目设计的暂存地坑数量较多，为提高放射性固体废物处理效率，将直接按核素种类进行分类收集暂存，在运行后期若核素种类及废物量较大时，按衰变方式和半衰期进行分类收集，其中 A 类废物和 B 类废物分别存入短半衰期放射性固废暂存间 γ/β 核素、 α 核素地坑中。A 类废物暂存 30d 后，取样监测达清洁解控水平后作为一般固体废物进行处理，B 类废物暂存 10 倍半衰期最长半衰期（固体废物包中所含最长半衰期核素），取样监测达清洁解控水平后作为一般固体废物进行处理。C 类废物存入长半衰期固

体废物暂存间进行贮存。

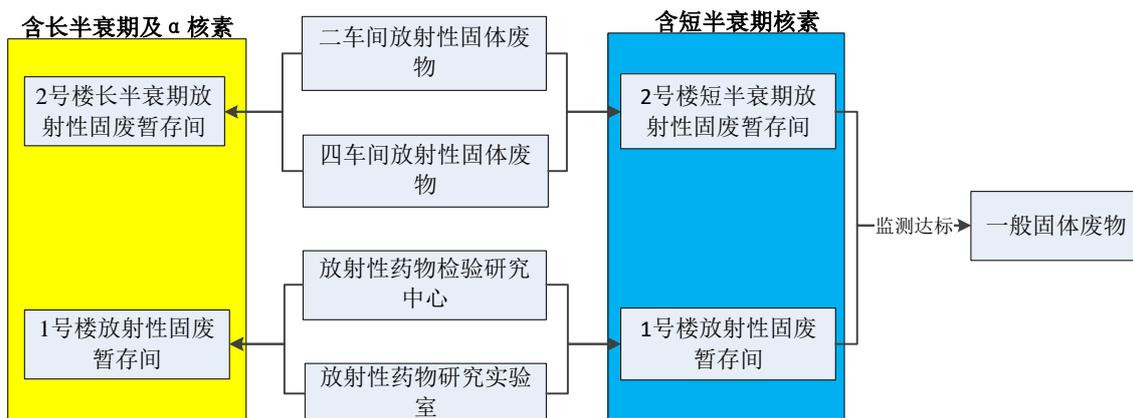


图 4.3-22 本项目放射性固废处理流程图

（2）放射性废物管理

①定期对放射性废物产生环节进行审查，制定废物最小化大纲，采取工艺、设备、产品方案优化方案，从源头减少放射性废物产生量。

②建设单位应严格建立放射性固体废物收集、暂存、转运台账管理台账，明确放射性废物的来源、去向及监测结果，安排专职部门（安全环保部）及人员继续管理，放射性固体废物在封存衰变过程应注明固废的废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等信息。

③暂存过程，放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h ，表面污染水平对 β/γ 发射体及低毒性 α 发射体应小于 4Bq/cm^2 ，其他 α 发射体应小于 0.4Bq/cm^2 。

④放射性固废暂存间不得存放其他易燃、易爆、易腐蚀危险物品，对于含破碎玻璃器皿、含尖刺及棱角的放射性固体废物，预先进行包装处理后再装入专用塑料袋中，防治塑料袋刺破，造成二次污染。

⑤短半衰期放射性固体废物应在监测达到清洁解控水平后排放，其中废物包（非屏蔽状态）表面 X/γ 辐射剂量率应接近本底水平， β 表面沾污应小于 0.08Bq/cm^2 ，含极毒核素 α 表面沾污应小于 0.08Bq/cm^2 ，含非极毒核素 α 表面沾污应小于 0.008Bq/cm^2 。

4.3.2 非放射性污染物治理措施

4.3.2.1 非放射性废气治理措施

（1）工艺废气

本项目工艺废气主要是非放物料准备过程及产品消毒过程中产生的挥发性有机

物（乙醇），同时生产和实验过程因使用无机酸形成挥发性酸雾（氯化氢、硝酸、硫酸），本项目各生产线及实验室非放准备间设置有独立的非放废气排风系统，经中效过滤器过滤后引至楼顶排放，工作箱产生的非放废气与放射性废气一起经过滤后引至楼顶排放。

（2）餐饮废气

本项目依托公司现有食堂，餐饮废气主要考虑油烟废气。食堂采用油烟净化器，油烟的净化效率大于 90%，经处理的油烟通过楼顶的排气筒排入大气环境（离地高度约 13.5m）。

4.3.2.2 非放射性废水治理措施

（1）工艺废水治理

本项目产生的工艺废水主要包括：生产线及实验室产生的洁具用品清洗灭菌废水，产生量约 $0.551\text{m}^3/\text{d}$ ，该部分废水进入一体化污水处理设施处理后排入园区污水管网，接入华阳污水处理厂进行处理，处理达标后排入锦江。

（2）生活废水

项目运营期生活废水产生量为 $6.114\text{m}^3/\text{d}$ ，该部分废水经初沉池预处理后，进入一体化污水处理设施处理后排入园区污水管网，接入华阳污水处理厂进行处理，处理达标后排入锦江。

（3）洁衣清洗废水及洗手废水

洁衣清洗及洗手废水的产生量为 $0.794\text{m}^3/\text{d}$ ，该部分废水进入一体化污水处理设施处理后排入园区污水管网，接入华阳污水处理厂进行处理，处理达标后排入锦江。

（4）一体化污水处理设施依托可行性

目前建设单位已建设有一体化污水处理设施，现有处理规模为 $30\text{m}^3/\text{d}$ ，其处理工艺为 A/O 工艺（见图 4.3-23），本项目产生的非放射性废水包括：工艺废水、生活废水、洁衣废水和洗手废水等，其水质简单，污染物含量少，根据《成都纽瑞特医疗科技有限公司放射性药物创新平台与产业化（一期）项目环境影响报告书》和《成都纽瑞特医疗科技有限公司放射性药物创新平台与产业化（二期）项目环境影响报告书》，本项目一期、二期非放废水总量为 $28.8\text{m}^3/\text{d}$ ，由于本项目仅新增 12 名辐射工作人员，总的新增废水量（仅洁衣废水和洗手废水等）约为 $2.7\text{m}^3/\text{d}$ （含监测达标后排放的衰变废水），最终总的非放废水总量为 $32.4\text{m}^3/\text{d}$ ，现有一体化污水处理设施

处理规模不满足处理要求，为满足本项目新增废水处理需求以及后期规划发展新增废水处理需求，建设单位将对一体化污水处理设施进行扩建，扩建后处理规模为60m³/d，处理工艺仍为A/O工艺，扩建后能满足本项目废水处理需求。

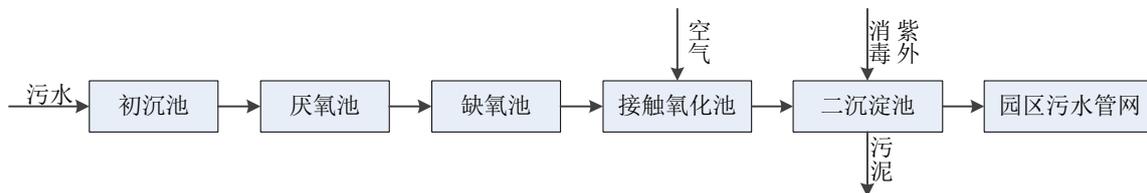


图 4.3-23 一体化污水处理设施处理工艺流程图

表 4.3-1 一体化污水处理设施设计参数

场所名称	处理单元	容积 (m ³)	池壁材料	防渗材料	备注
一体化污水处理设施	初沉池	100	钢筋混凝土	环氧煤沥青（涂两遍）	防渗系数可达10 ⁻⁹ cm/d。
	厌氧池	4	碳钢	环氧煤沥青（涂两遍）	
	缺氧池	8	碳钢	环氧煤沥青（涂两遍）	
	接触氧化池	24	碳钢	环氧煤沥青（涂两遍）	
	二沉池	4	碳钢	环氧煤沥青（涂两遍）	
事故池	事故池	60	钢筋混凝土	环氧煤沥青（涂两遍）	

本项目产生的非放射性废水以生活废水为主，本项目投运后总的废水产生总量为32.4m³/d，通过埋地式一体化污水处理设施处理后期废水水质情况见表4.3-2。

表 4.3-2 项目废水处理前后水质情况统计表

废水性质		排水量 (m ³ /a)	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TP
处理前	浓度 (mg/L)	8100	500	200	150	40	8
	产生量 (t/a)		4.05	1.62	1.215	0.324	0.0648
处理后	浓度 (mg/L)	8100	60	15	30	10	0.5
	排放量 (t/a)		0.486	0.1215	0.243	0.081	0.00405
厂区污水处理站处理效率 (%)			≥88	≥92	≥80	≥85	≥93
《污水综合排放标准》(GB8978-1996) 三级标准 (mg/L)			≤500	≤300	≤400	≤45	≤8.0

根据表4.3-2，本项目一体化污水处理设施能够满足《污水综合排放标准》(GB8978-1996)中三级标准要求。

4.3.2.3 噪声治理措施

项目生产设备均为低噪声运行设备，主要噪声源为净化空调机组和排风机运行造成，主要采取减振隔声、减振和增加软管接头等措施减少噪声影响。

4.3.2.4 非放射性固体废物处理措施

（1）一般固废处理措施

①生活垃圾：生活垃圾按照《成都市城市市容和环境卫生管理条例》的有关规定进行分类收集后，由四川省顺美环境卫生管理有限责任公司清运。

②餐厨垃圾：餐厨垃圾与生活垃圾分类收集，并将其交给经城管部门许可的单位收运、处理。同时，建设单位已按照《成都市餐厨垃圾管理办法》落实以下规定：

A、设置餐厨垃圾贮存间等收集设施设备；使用符合标准、有醒目标识的餐厨垃圾专用收集容器；产生废弃食用油脂的，还应当按照环保部门的规定设置油水分离器或隔油池等污染防治设施，避免废弃食用油脂和油水混合物直接排放。

B、保持餐厨垃圾收集、存放设施设备功能完好、正常使用、干净整洁。

C、按规定分类收集、密闭存放餐厨垃圾。

D、已与四川省顺美环境卫生管理有限责任公司签订生活垃圾清运服务合同，并在餐厨垃圾产生后二十四小时内交其收运，并落实联单制度。

③废油脂：废油脂由城管部门许可的单位定期清掏处理。

④污泥：一体化污水处理设施的清掏淤泥，作为生活垃圾由四川省顺美环境卫生管理有限责任公司清运。

（2）非放射性工艺固废治理

本项目放射性药品生产车间及放射性实验室运营期非放射性工艺固废属于一般工业固体废物，主要包括：原料包装废材、产品包装废材、非放射性污染的一次性口罩、手套、擦拭物、灭活培养基等。按照固体废弃物“减量化、资源化和无害化”的处置原则，建设单位对产生的非放固体废弃物实行最大程度的资源化分类处置，对可回收的固体废物交由废品收购站处置，对不可回收的固体废物集中收集后由环卫部门统一集中处理与处置。

（3）危险废物

本项目危险废物主要是空的非放化学试剂瓶（HW49 其他废物），该部分危险废物定期交由成都兴蓉环保科技有限公司进行回收处理。建设单位已在在危险品库设置危废暂存间，并根据产物性质分类储存，并要求已落实以下管理措施。

①危废暂存间设计满足《危险废物贮存污染控制标准》防渗、防风、防雨、防晒等相关要求；有防雨淋的装置，地基高度应确保设施内不受雨洪冲击或浸泡。危废暂存间做好通风换气措施。

②作好危险废物情况的记录，记录上须注明危险废物的名称、来源、数量、特性和包装容器的类别、入库日期、存放库位、废物出库日期及接收单位名称。危险废物的记录和货单在危险废物回取后应保留三年。

③定期对所贮存危险废物包装容器及贮存设施进行检查，发现破损，应及时采取措施清理更换。

④危险废物贮存设施按规定设置警示标志，并配备通讯设备、照明设施、安全防护服装及工具，并设有应急防护设施。

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）本项目各类核素生产车间设置为相对独立的场所，且对于易挥发和易撒漏的放射性物质均局限在空间较小的工作箱、手套箱或通风橱内操作，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）车间地面铺设采用设计和建设有光滑耐磨、易清洗、易更换的地坪，且墙角作圆角处理，防止撒漏放射性物质扩散到土壤中；

（3）项目设置了专用放射性废物暂存区，对放射性废物进行分类、集中处理，并采用先进工艺，尽可能实现废物最小化。

4.4.2 退役环保措施

（1）建设单位需根据《核技术利用设施退役核安全导则》（HAD401/14-2021）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，并取得生态环境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处置。

（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）退役过程按《核技术利用项目放射性废物最小化》（HAD401/11-2020）进行放射性废物的分类和整备，并通过源头控制、再循环与再利用、清洁解控、处理优化及强化管理，是最终放射性固体废物产生量（体积和活度）减小至可合理达到

的尽量低的水平。

第五章 环境影响分析

5.1 建设阶段对环境的影响

5.1.1 施工期声环境影响分析

项目施工期对声环境的影响主要是各种施工机械噪声和车辆行驶的交通噪声。施工过程中，大型机械设备和运输车辆的运行等都将产生较强的噪声。根据机械设备噪声值在 1m 处的源强见表 3.3-1。

点声源随传播距离增加引起的衰减按下式计算：

$$L_A=L_0-20\lg(r_A/r_0) \dots\dots\dots\text{式 5.1-1}$$

式中： L_A —计算点处的声压级，dB（A）；

L_0 —噪声源强，dB（A）；

r_0 —参考距离，m；

r_A —声源距计算点的距离，m。

根据各设备噪声源强声级，通过预测得出不同类型施工机械在不同距离处的噪声预测值，见表 5.1-1。

表 5.1-1 主要施工机械噪声预测结果 单位：dB（A）

声源	距离（m）							评价标准dB(A)		达标距离（m）	
	5	10	20	40	80	160	200	昼间	夜间	昼间	夜间
载重车、空压机、吊车	71	65	59	53	47	41	39	70	55	6	54
电锯	81	75	69	63	57	51	49	70	55	20	110
电钻、电锤、角磨机	91	85	79	73	67	61	59	70	55	55	300

从表 5.1-1 可知，单台施工机械噪声昼间最大在距声源 55m 以外可符合《建筑施工场界环境噪声排放标准》70dB（A）标准限值，夜间在 300m 以外可满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》55dB（A）标准限值。

为了减轻本项目施工期噪声对周围环境的影响，要求企业在建设期采取以下的措施以减轻施工噪声对周围环境影响：

（1）在施工机械上尽可能采用先进、低噪声设备和施工机械，在高噪声设备周围适当设置屏障以减轻噪声对周围环境的影响，同时定期维护和保养设备，使其处

于良好的运行状态，控制施工场界噪声不超过《建筑施工场界噪声排放标准》（GB12523-2011）。

（2）施工单位要合理安排施工作业时间，午间（12:00-14:00）及夜间（22:00-6:00）为休息时间，严禁施工。因建筑施工工艺要求或者特殊需要必须连续作业的，应当于施工前3日报市生态环境行政主管部门审批，并将批准的夜间作业时间公告附近居民，建筑施工工地在夜间进行建筑垃圾运输作业的，施工单位应当于施工前公告附近居民，要求业主单位在施工现场标明投诉电话，一旦接到投诉，业主单位应及时与当地主管部门取得联系，以便及时处理环境纠纷。

本项目施工期工程量较小，施工期较短，通过采取上述措施后对周围声环境影响较小。

5.1.2 施工期大气环境影响分析

本项目施工期产生的最主要的大气污染物是施工扬尘及装修过程产生的装修废气。

（1）施工扬尘

本项目施工期间所产生的扬尘主要来自一体化污水处理设施扩建及建筑内部改造建材（如水泥、白灰、砂子等）装卸、堆放产生的扬尘，以及搅拌机和交通运输引起的扬尘。

本项目施工面较小，且大部分施工作业在建筑内，施工期通过洒水降尘措施后，TSP满足《四川省施工场地扬尘排放标准》（DB51/2682-2020），对周围大气环境影响较小。尽量减少对周边环境的影响，施工期的粉尘影响为暂时性的，项目施工结束后，施工扬尘的影响将会消失。

为减小施工期扬尘对周围环境产生的影响，建设单位施工期应严格落实《成都市建设施工现场管理条例》和《成都市建设工地扬尘治理“十必须、十不准”的通知》对施工现场的管理要求，并全面督查建设工地现场管理“十必须”、“十不准”执行情况；严格落实《成都市2021年大气污染防治工作行动方案》对施工机械和运输车辆的管理要求；根据《成都市人民政府办公厅关于印发〈成都市重污染天气应急预案（2020年修订）〉的通知》（成办发[2020]27号），落实重污染天气状况下的应急措施要求，建设单位应要求施工单位制定施工期环境管理计划，加强管理，按进度、有计划地进行文明施工：

①施工前须制定控制工地扬尘方案，施工期间接受相关部门的监督检查，采取有效防尘措施。

②施工工艺要求：砂石骨料加工在施工工艺上尽量采用湿法破碎的低尘工艺，施工场地在非雨天时适时洒水，最大程度地减少粉尘污染。

③风速四级以上易产生扬尘时，建议施工单位应暂停土方开挖，采取覆盖堆料、湿润等措施，有效减少扬尘污染。

④及时清运施工废弃物，暂时不能清运的应采取覆盖等措施，工程完毕后及时清理施工场地；

⑤在施工现场出入口设置喷淋、冲洗等防尘降尘设施，施工单位已应当对施工现场出入口进行硬化。

⑥施工必须使用商品混凝土，不得进行现场搅拌加工混凝土，禁止使用袋装水泥。

⑦施工运输车辆严禁不经过冲洗直接进入城市道路。

⑧施工区域周围设置不低于 2.5m 的实体围挡。

⑨城区附近工地做到‘十必须’（必须规范打围，保持干净整洁、必须设置出场车辆高压冲洗设施、必须硬化主要施工道路、出入口、必须湿法作业、必须及时清运建筑垃圾、必须使用 800 目密目网覆盖裸土、建渣、必须分类有序堆码施工材料、必须规范张贴非道路移动机械环保标识、必须安装扬尘在线监测设备、必须安装高清视频监控设备）、‘十不准’（不准车辆带泥出门、不准运渣车辆冒顶装载、不准使用名录外运渣车、不准现场搅拌混凝土、砂浆、不准露天切割、不准高处抛洒建筑垃圾、不准场地积水、积泥、积尘、不准焚烧废弃物、不准干扰扬尘监测设备运行、不准干扰视频监控设备）。

（2）装修废气

装修废气来源于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，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较小，施工过程建设单位应采取如下措施：

①装修工程提倡绿色装修，采用符合国家标准的室内装饰和装修材料，从根本上降低装修废气对周围大气的污染；

②涂料和涂料喷涂产生的废气，对近距离接触的人体有一定危害，施工期的污染

对象主要是施工人员，应采取必要的安全防护措施，如防护面具或口罩等。

（3）机械施工废气

施工期间使用机动车运送原材料、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 THC 等，其特点是排放量小、属间断性无组织排放，由于其这一特点，加之施工场地开阔，扩散条件良好，因此对其不加处理也可达到相应的排放标准。在施工期内应多加注意施工设备的维护，使其能够正常的运行，提高设备原料的利用率。

5.1.2 施工期水环境影响分析

项目施工期废水主要为施工人员的生活废水及施工废气，其中生活废水产生量为 12.5m³/d，该生活废水直接依托建设单位已有一体化污水处理设施收集处理后排入园区污水管网，接入华阳污水处理厂进行处理，处理达标后排入锦江，对地表影响较小。

施工废水主要污染物为悬浮物，采用简易沉淀池沉淀后循环使用，不外排，对地表水环境无影响。

5.1.3 施工期固体废物环境影响分析

本项目施工期固体废物主要为：2-1 生产线原有工作箱的拆除固废，一体化污水处理设施扩建产生的土石挖方及建筑垃圾，装修施工过程中产生的建筑垃圾，设备安装过程产生的包装废材和施工人员的生活垃圾。

（1）2-1 生产线工作箱拆除固废

为优化 2-1 生产线生产工艺，原有工作箱不满足 GMP 药物生产要求，同时原原有屏蔽材质（铁）和屏蔽厚度不满足辐射防护要求，建设单位将对原有工作箱及进行拆除更换，并将更换下的工作箱达到清洁解控水平后转移至拟建的乐山基地继续使用。由于该工作箱前期已使用过碘-131，主要用于放射性药物生产的中试试验，（日最大操作量 5Ci），因此在拆除过可能产生含碘-131 的去污废物，由于该工作箱已使用 5 年时间，且体型较大，为尽量减少拆除过程中的辐射环境影响，建设单位应采取如下拆除程序及措施：

①该拟拆除工作箱首先提前停止放射性原料的接收及放射性药物生产，停止使用后清理工作箱内残留的放射性固体废物至放射性固废暂存间，并将遗留的生产设备转移至其他生产线，然后对该生产线进行封闭管理，封闭时间至少为碘-131 的 10 倍

半衰期以上。

②封闭期结束后首先采用便携式 γ 辐射监测仪和表面沾污对箱体表面进行巡测，若 γ 辐射剂量率降至本地水平， β 表面沾污小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 时，打开工作箱后区传递口，采用长杆 γ 辐射监测仪进行箱体内部监测，确认 γ 辐射剂量率是否降低至本底水平后，并采用表面沾污仪进行巡测确认 β 表面沾污是否小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，若未达到清洁解控水平，需对工作箱继续进行封存衰变。

③初次监测若箱体内达到清洁解控水平即可开展下一步的拆卸工作，拆卸人员应为辐射工作人员，拆卸前应首先做好个人防护措施包括：佩戴个人剂量计、个人剂量报警仪、手套、口罩和工作服等。

④拆卸人员应配备便携式 γ 辐射监测仪、长杆 γ 辐射监测仪、表面沾污仪、放射性固废收集铅桶、警戒盘线等用品，拆卸过程采取一步一测的方式进行，即每拆卸一部分部件应进行一次 β 表面沾污和 γ 辐射剂量率监测，并记录监测数据。

⑤拆卸过程若出现 β 表面沾污异常，应及时进行去污工作，去污宜采用擦拭纸蘸取10%无机酸进行擦拭，并将其作为放射性固体废物转入铅桶中收集，最终擦拭后表面沾污水平需小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，同时拆卸的工作箱管道过滤器也应作为放射性固体废物收集暂存。拆卸过程禁止进行构件切割作业及大水量冲洗作业，禁止将擦拭物随意丢弃。拆卸后的工作箱构件达到清洁解控水平后进行封装、装车。

⑥拆除过程还应关注工作箱构件拼接缝隙的监测，同时工作人员退出场所后应进行体表表面沾污监测，监测达标后方可离开。

⑦拆卸工作结束后，对场所进行清理，再次进行表面沾污监测确认，达到清洁解控水平后方可进行场所改造施工。

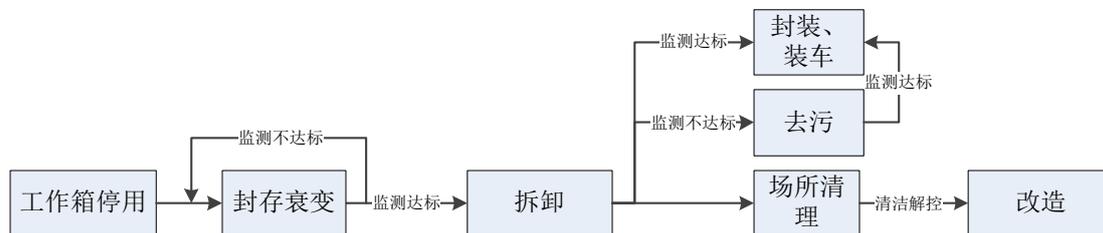


图 5.1-2 2-1 生产线工作箱拆除流程图

由于本项目拆除工程量较少，且是在工作箱封存衰变开展拆除过程，对工作人员辐射影响较小，同时拆除过程产生的放射性固体废物可依托已有放射性固废暂存进行收集，因此环境影响也较小。

（2）土石挖方

土石方工程量产生于一体化污水处理设施扩建基础开挖，其中挖方量约 100m^3 ，填方量约 60m^3 ，弃方量约 40m^3 ，弃方可直接用于厂区预留空地植被绿化覆土，不产生永久弃方。

①施工期应在施工区域设置围挡，严格控制施工范围，禁止超范围作业。

②施工过程中对临时堆放的土石方采取临时拦挡、遮盖措施。

③施工单位应加强对施工车辆和人员的管理，严格按照设计进行取弃土，并在指定地点堆放工程弃渣，工程弃土及时清运，避免雨天造成水土流失。

④工程结束后，及时做好施工场地迹地恢复工作。

（3）建筑垃圾

拟建项目施工期间需要挖土，运输弃土、运输各种建筑材料如水泥、砖瓦、木材等，过程完成后，会残留不少废弃建筑材料，建设单位应要求施工单位规划运输，加强管理，这些垃圾应尽量分类后回收利用，随意丢弃倾倒，减少对周围环境的影响。

根据估算，项目主体工程整个施工期间将产生 2t 的建筑垃圾。施工期间产生的建筑垃圾，集中临时堆放，并定期清运至市政部门指定的地点处置，防止二次污染。

（4）生活垃圾

项目施工期生活垃圾产生量为 2.7t ，分类收集后由四川省顺美环境卫生管理有限责任公司集中清运至垃圾填埋场，对周围环境影响较小。

5.2 运行阶段对环境的影响

5.2.1 项目运行期对职业人员辐射环境影响

5.2.1.1 职业人员受照剂量计算模型

本项目针对职业工作人员的受照剂量分析，主要包括外照射和内照射剂量两个部分，本项目涉及使用的核素种类较多，包括 α 核素、 β 核素和 γ 核素，其中 β 核素产生的 β 粒子在遇到重质材料时会产生韧致辐射，由于本项目各生产线和实验室均采用重质材料铅进行屏蔽， α 、 β 粒子穿透能量较弱，本次外照射剂量不考虑 α 、 β 射线辐射影响，主要考虑 γ 射线和韧致辐射的外照射影响，对于内照射，需考虑 α 核素和 β 核素的辐射影响，详见表5.2-1。

表 5.2-1 放射性核素影响因子表

放射性核素	射线类型	影响因素
^{32}P 、 ^{90}Y 、 ^{99}Tc 、 ^{90}Sr 、 ^{89}Sr 、 ^3H 、 ^{14}C	β	韧致辐射外照射、内照射、浸没外照射
^{131}I 、 ^{177}Lu 、 $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{68}\text{Ga}/^{68}\text{Ga}$ 、 ^{161}Tb 、 ^{89}Zr 、 ^{89}Zr 、 ^{201}Tl 、 ^{153}Sm 、 ^{186}Re 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、	β 、 γ	γ /韧致辐射外照射、内照射、浸没外照射
^{123}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{133}Xe 、 ^{125}I 、 ^{51}Cr	γ	γ 外照射、内照射、浸没外照射
^{225}Ac （子体核素： ^{211}Fr 、 ^{217}At 、 ^{213}Bi 、 ^{213}Po 、 ^{209}Ti 、 ^{209}Pb ）、 ^{211}At （子体核素： ^{211}Po 、 ^{207}Bi ）、 ^{227}Th （子体核素： ^{223}Ra 、 ^{219}Rn 、 ^{225}Po 、 ^{215}At 、 ^{211}Pb 、 ^{211}Bi 、 ^{211}Po 、 ^{207}Tl ）、 ^{224}Ra （子体核素： ^{220}Rn 、 ^{212}Pb 、 ^{212}Bi 、 ^{212}Po 、 ^{208}Tl ）、 ^{223}Ra （ ^{219}Rn 、 ^{225}Po 、 ^{215}At 、 ^{211}Pb 、 ^{211}Bi 、 ^{211}Po 、 ^{207}Tl ）	α 、 β 、 γ	γ /韧致辐射外照射、内照射、浸没外照射

(1) 职业人员贯穿外照射剂量估算模式

① γ 射线贯穿外照射剂量率计算公式

在放射性物质操作过程中，由于辐射源尺寸较小，可视为点源估算，参考参考《辐射防护导论》（方杰主编、李士骏主审，P75） γ 射线点源的剂量率计算公式如下：

$$X = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} \cdot \frac{1}{K} \dots\dots\dots \text{式5.2-2}$$

$$D = 8.73 \times 10^{-3} X \dots\dots\dots \text{式5.2-3}$$

$$K = 0.1^{-d/\text{TVL}} \dots\dots\dots \text{式5.2-4}$$

式中：

D —屏蔽体外空气吸收剂量率，Gy/h；

A —源活度，Ci；

Γ —照射量常数，R m²/h Ci；

r —计算点与放射源之前的距离，m；

K —屏蔽材料的减弱倍数；

d —屏蔽层厚度，mm；

TVL —什值层厚度；

②韧致射线贯穿辐射剂量率率计算公式

根据《辐射防护导论》（P133），韧致辐射在空气中的吸收剂量率计算公式如下：

$$D = \frac{4.58 \times 10^{-14} \cdot A \cdot Z \cdot E_b^2 \cdot (\mu_{en} / \rho)}{K \cdot r^2} \dots\dots\dots \text{式5.2-5}$$

式中：

D —屏蔽体外韧致辐射的空气吸收剂量率，Gy/h；

A —源活度，Bq；

Z —屏蔽材料的有效原子序数，来源于《辐射防护导论》表 4.4；

μ_{en}/ρ —平均能量为 E_b ；

K —屏蔽材料减弱倍数，由式 5.2-4 得到；

r —计算点与放射源之前的距离，m。

(2) 年受照剂量计算

$$E = 1000 \times \sum_i W_i \cdot D_i \cdot t_i \dots\dots\dots \text{式 5.2-6}$$

式中：

W_i —第 i 种放射性核素产生的射线辐射权重因子，保守取 1；

D_i —第 i 种放射性核素屏蔽体外的空气吸收剂量率，Gy/h；

t_i —第 i 种放射性核素的年操作时间，h。

(3) 气溶胶所致内照射剂量估算模式

$$E_\alpha = \sum_i e_i \cdot R \cdot C_i \cdot t \dots\dots\dots \text{式 5.2-7}$$

式中：

E_α —工作人员吸入放射性核素所致有效剂量，Sv/a；

e_i —对应第 i 种放射性核素的吸入剂量转换因子。

R —工作人员个人的年空气吸收量， m^3/a ；

C_i —第 i 中放射性核素的浓度， Bq/m^3 ；

t —年工作时间。

(4) 气溶胶所致浸没外照射剂量估算模式

$$E_\beta = \sum_i D_{im} C_i O_f \dots\dots\dots \text{式 5.2-8}$$

其中：

C_i —核素 i 的空气活度浓度，单位 Bq/m^3 ；

D_{im} —烟云浸没外照射剂量转换因子，单位 $\text{Sv m}^3 \text{Bq}^{-1} \text{a}^{-1}$

O_f —每年职业人员受到浸没外照射的时间份额。

5.2.1.2 职业人员贯穿外照射剂量分析

(1) 2-1生产线职业人员贯穿外照射剂量分析

2-1 生产线涉及生产碘-123/碘-131 标记药物，碘-123/碘-131 胶囊，生产过程外照射所致职业人员受照射剂量预测参数及计算结果见表 5.2-2~表 5.2-4。

表 5.2-2 2-1 生产线 γ 射线外照射所致剂量计算参数及计算结果表

工作箱	1#工作箱		2#工作箱		3#工作箱		4#工作箱		5#工作箱		6#工作箱		
操作核素名称	^{123}I	^{123}I	^{131}I										
γ 射线能量 (MeV)	0.159	0.159	0.364	0.159	0.364	0.159	0.364	0.159	0.364	0.159	0.364	0.159	0.364
操作活度 (Ci)	4	4.2	18.6	0.2	9.6	0.2	9.6	4	9	4	9	4	9
照射量常数 ($\text{R m}^2/\text{h Ci}$)	0.085	0.085	0.22	0.085	0.22	0.085	0.22	0.085	0.22	0.085	0.22	0.085	0.22
操作距离 (m)	1.45	0.975	0.975	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
屏蔽材料及厚度 (mm)	10 (铅)	50 (铅)											
γ 射线值层厚度 (mm)	2	2	11	2	11	2	11	2	11	2	11	2	11
减弱倍数	1.00E+05	1.00E+25	3.51E+04										
空气吸收剂量率 (Gy/h)	1.41E-08	3.28E-28	1.07E-06	7.06E-30	2.50E-07	7.06E-30	2.50E-07	1.41E-28	2.34E-07	1.41E-28	2.34E-07	1.41E-28	2.34E-07
年操作时间 (h)	283.3	29.2	12.5	900	300	75	50	1200	150	100	2.5	100	2.5
剂量转换因子	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
屏蔽体外剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	1.41E-02	3.28E-22	1.07	7.06E-24	2.50E-01	7.06E-24	2.50E-01	1.41E-22	2.34E-01	1.41E-22	2.34E-01	1.41E-22	2.34E-01
年受照剂量率 (mSv/a)	4.00E-03	9.57E-24	1.34E-02	6.35E-24	7.49E-02	5.29E-25	1.25E-02	1.69E-22	3.51E-02	1.41E-23	5.85E-04	1.41E-23	5.85E-04

表 5.2-3 2-1 生产线轫致辐射外照射所致剂量计算参数及计算结果表

工作箱	2#工作箱	3#工作箱	4#工作箱	5#工作箱	6#工作箱
操作核素名称	^{131}I	^{131}I	^{131}I	^{131}I	^{131}I
β 粒子最大能量 (MeV)	0.806	0.806	0.806	0.806	0.806
β 粒子平均能量 (MeV)	0.269	0.269	0.269	0.269	0.269
操作活度 (Bq)	6.88E+11	3.55E+11	3.55E+11	3.33E+11	3.33E+11
质量能量吸收系数 ($\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$)	3.67E-02	3.67E-02	3.67E-02	3.67E-02	3.67E-02
操作距离 (m)	0.975	1.45	1.45	1.45	1.45
屏蔽材料及厚度 (mm)	50 (铅)				
有效原子序数	82	82	82	82	82
轫致辐射什值层厚度	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
减弱倍数	7.41E+10	7.41E+10	7.41E+10	7.41E+10	7.41E+10
空气吸收剂量率 (Gy/h)	1.65E-13	3.85E-14	3.85E-14	3.61E-14	3.61E-14
年操作时间 (h)	2.5	300	300	150	2.5
剂量转换因子	1	1	1	1	1
屏蔽体外当量剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	1.65E-07	3.85E-08	3.85E-08	3.61E-08	3.61E-08
年受照剂量率 (mSv/a)	4.13E-10	1.15E-08	1.15E-08	5.42E-09	9.03E-11

表 5.2-4 2-1 生产线职业人员外照射所致受照剂量统计表

工作箱	1#工作箱	2#工作箱	3#工作箱	4#工作箱	5#工作箱	6#工作箱
-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------

工作箱		1#工作箱		2#工作箱		3#工作箱		4#工作箱		5#工作箱		6#工作箱	
操作核素		¹²³ I	¹²³ I	¹³¹ I									
屏蔽体外辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	γ 辐射剂量率	1.41E-02	3.28E-22	1.07	7.06E-24	2.50E-01	7.06E-24	2.50E-01	1.41E-22	2.34E-01	1.41E-22	2.34E-01	
	韧致辐射剂量率	/	/	1.65E-07	/	3.85E-08	/	3.85E-08	/	3.61E-08	/	3.61E-08	
	合计	1.41E-02	3.28E-22	1.07	7.06E-24	0.25	7.06E-24	0.25	1.41E-22	0.234	1.41E-22	0.234	
年受照剂量率 (mSv/a)	γ 辐射所致年受照剂量率	4.00E-03	9.57E-24	1.34E-02	6.35E-24	7.49E-02	5.29E-25	1.25E-02	1.69E-22	3.51E-02	1.41E-23	5.85E-04	
	韧致辐射所致年受照剂量	/	/	4.13E-10	/	1.15E-08	/	1.15E-08	/	5.42E-09	/	9.03E-11	
	人员工作模式	1人操作	1人操作		1人操作				1人操作				
	合计	4.00E-03	1.34E-02		8.74E-02				3.51E-02				

2-6 线生产过程碘-123、碘-131 标记药物生产由 4 人完成，碘-123 胶囊、碘-131 胶囊生产由 2 人完成，碘-123 和碘-131 不同时使用，根据表 5.2-3，生产过程工作箱外人员操作位置辐射剂量率水平最大为 $1.07\mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求，职业人员最大受照剂量为 $8.74\times 10^{-2}\text{mSv/a}$ 。

(2) 2-6生产线职业人员贯穿外照射剂量分析

2-6 生产线涉及生产镭-177 标记药物，生产过程 γ 射线和韧致辐射外照射所致职业人员受照射剂量预测参数及计算结果见表 5.2-5~表 5.2-7。

表 5.2-5 2-6 生产线 γ 射线外照射所致剂量计算参数及计算结果表

工作箱	2#	3#	4#
操作核素名称	^{177}Lu	^{177}Lu	^{177}Lu
γ 射线能量 (MeV)	0.208	0.208	0.208
操作活度 (Ci)	12	12	12
照射量常数 ($\text{R m}^2/\text{h Ci}$)	0.016	0.016	0.016
操作距离 (m)	0.80	0.95	0.95
屏蔽材料及厚度 (mm)	10 (铅)	10 (铅)	10 (铅)
γ 射线半值层厚度 (mm)	3.07	3.07	3.07
减弱倍数	1.81E+03	1.81E+03	1.81E+03
空气吸收剂量率 (Gy/h)	1.45E-06	1.03E-06	1.03E-06
年操作时间 (h)	16.7	1600	100
剂量转换因子	1	1	1
屏蔽体外当量剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	1.45	1.03	1.03
年受照剂量率 (mSv/a)	2.42E-02	1.64	0.103

表 5.2-6 2-6 生产线韧致辐射外照射所致剂量计算参数及计算结果表

工作箱	2#	3#	4#
操作核素名称	^{177}Lu	^{177}Lu	^{177}Lu
β 粒子最大能量 (MeV)	0.497	0.497	0.497
β 粒子平均能量 (MeV)	0.166	0.166	0.166
操作活度 (Bq)	4.44E+11	4.44E+11	4.44E+11
质量能量吸收系数 (m^2/kg)	9.71E-02	9.71E-02	9.71E-02
操作距离 (m)	0.80	0.95	0.95
屏蔽材料及厚度 (mm)	10 (铅)	10 (铅)	10 (铅)
有效原子序数	82	82	82
韧致辐射半值层厚度 (mm)	2.45	2.45	2.45
减弱倍数	1.21E+04	1.21E+04	1.21E+04
空气吸收剂量率 (Gy/h)	5.78E-07	4.10E-07	4.10E-07
年操作时间 (h)	2.5	1600	100
剂量转换因子	1	1	1
屏蔽体外当量剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	0.58	0.41	0.41
年受照剂量率 (mSv/a)	1.44E-03	0.66	4.10E-02

表 5.2-7 2-6 生产线职业人员外照射所致受照剂量统计表

操作位		2#	3#	4#
屏蔽体外辐射 剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	γ 辐射剂量率	1.45	1.03	1.03
	韧致辐射剂量率	0.58	0.41	0.41
	合计	2.03	1.44	1.44
年受照剂量率 (mSv/a)	γ 辐射所致年受照剂量率	2.42E-02	0.103	1.64
	韧致辐射所致年受照剂量	1.44E-03	4.10E-02	0.66
	人员工作模式	1 人操作		1 人操作
	合计	2.56E-02	0.14	2.30

2-6线生产过程镱-177标记药物生产由2人完成,根据表5.2-7,生产过程工作箱外人员操作位置辐射剂量率水平最大为 $2.30\mu\text{Sv/h}$,满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求,职业人员最大受照剂量为 2.30mSv/a 。

(3) 2-7生产线职业人员贯穿外照射剂量分析

2-7 生产线涉及生产钇-90 单抗药物和钇-90 微球要求,生产过程韧致辐射外照射所致职业人员受照射剂量预测参数及计算结果见表 5.2-8。

表 5.2-8 2-7 生产线韧致辐射外照射所致剂量计算参数及计算结果表

工作箱	2#		3#		4#	
	^{90}Y (微球)	^{90}Y (单抗)	^{90}Y (微球)	^{90}Y (单抗)	^{90}Y (微球)	^{90}Y (单抗)
β 粒子最大能量 (MeV)	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28
β 粒子平均能量 (MeV)	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
操作活度 (Bq)	9.25E+11	3.7E+11	9.25E+11	3.7E+11	9.25E+11	3.7E+11
质量能量吸收系数 ($\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$)	2.74E-03 (铁)	2.74E-03 (铁)	2.74E-03 (铁)	2.74E-03 (铁)	2.74E-03 (铁)	2.74E-03 (铁)
操作距离 (m)	0.80	0.80	0.95	0.95	0.95	0.95
屏蔽材料及厚度 (mm)	3 (铁) +100 (铅)					
有效原子序数	26 (铁)					
韧致辐射什值层厚度 (mm)	75.5 (铁) 27.6 (铅)					
减弱倍数	1.36 (铁) 2.38E-04 (铅)					

工作箱	2#		3#		4#	
空气吸收剂量率 (Gy/h)	5.92E-07	2.37E-07	4.20E-07	1.68E-07	4.20E-07	1.68E-07
年操作时间 (h)	15	4.2	900	250	90	25
剂量转换因子	1	1	1	1	1	1
屏蔽体外当量剂量 率($\mu\text{Sv/h}$)	0.59	0.24	0.42	0.17	0.42	0.17
人员工作模式	1 人操作		1 人操作			
年受照剂量率 (mSv/a)	9.87E-03		0.46			

2-7线生产过程钷-90单抗、微球标记药物生产由2人完成，根据表5.2-8，生产过程工作箱外人员操作位置辐射剂量率水平最大为 $0.59\mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求，职业人员最大受照剂量为 0.46mSv/a 。

(4) 4-1生产线职业人员贯穿外照射剂量分析

4-1 生产线涉及生产钼钨发生器、锗镓发生器，生产过程 γ 射线和韧致辐射外照射所致职业人员受照射剂量预测参数及计算结果见表 5.2-9~表 5.2-11。

表 5.2-9 4-1 生产线 γ 射线外照射所致剂量计算参数及计算结果表

工作箱	3#			4#			5#			6#		
	^{99}Mo	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{68}Ga	^{99}Mo	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{68}Ga	^{99}Mo	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{68}Ga	^{99}Mo	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{68}Ga
γ 射线能量(MeV)	0.181	0.141	0.511	0.181	0.141	0.511	0.181	0.141	0.511	0.181	0.141	0.511
操作活度 (Ci)	200	200	1	200	200	1	2	2	0.1	2	2	0.1
照射量常数 ($\text{R m}^2/\text{h Ci}$)	0.138	0.17	0.56	0.138	0.17	0.56	0.138	0.17	0.56	0.138	0.17	0.56
操作距离 (m)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
屏蔽材料及厚度 (mm)	100 (铅)	100 (铅)	100 (铅)	100 (铅)	100 (铅)	100 (铅)	60 (铅) +10 (铅)	60 (铅) +10 (铅)	40 (铅) +10 (铅)	60 (铅) +10 (铅)	60 (铅) +10 (铅)	40 (铅) +10 (铅)
γ 射线半值层厚度 (mm)	19	1	17	19	1	17	19	1	17	19	1	17
减弱倍数	1.83E+05	1.00E+100	7.63E+05	1.83E+05	1.00E+100	7.63E+05	4.83E+03	1.00E+70	8.73E+02	4.83E+03	1.00E+70	8.73E+02
空气吸收剂量率 (Gy/h)	1.62E-06	3.66E-101	7.91E-09	1.62E-06	3.66E-101	7.91E-09	1.02E-06	6.06E-73	1.14E-06	1.02E-06	6.06E-73	1.14E-06
年操作时间 (h)	15	15	75	20	20	100	40	40	200	5	5	25
剂量转换因子	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
屏蔽体外当量剂 量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	1.62	3.66E-95	7.91E-03	1.62	3.66E-95	7.91E-03	1.02	6.06E-67	1.14	1.02	6.06E-67	1.14
年受照剂量率 (mSv/a)	2.43E-02	5.50E-97	5.94E-04	3.25E-02	7.33E-97	7.91E-04	4.07E-02	2.42E-68	0.23	5.09E-03	3.03E-69	2.86E-02

注：①生产过程假设钼-99 和锝-99m 达到平衡，镅-68 和镓-68 达到平衡；②由于镅-68 的 γ 射线能量仅 0.0092MeV，能量较低，辐射环境影响较小，影响分析仅考虑子体核素镓-68 的辐射环境影响；③质控箱和装罐箱操作时，放射性溶液已装入铅罐中，其屏蔽厚度为铅罐厚度和工作箱厚度。

表 5.2-10 4-1 生产线韧致辐射外照射所致剂量计算参数及计算结果表

工作箱	3#		4#		5#		6#	
操作核素名称	⁹⁹ Mo	⁶⁸ Ga	⁹⁹ Mo	⁶⁸ Ga	⁹⁹ Mo	⁶⁸ Ga	⁹⁹ Mo	⁶⁸ Ga
β 粒子最大能量 (MeV)	1.215	1.90	1.215	1.90	1.215	1.90	1.215	1.90
β 粒子平均能量 (MeV)	0.405	0.633	0.405	0.633	0.405	0.633	0.405	0.633
操作活度 (Bq)	7.4E+12	3.7E+10	7.4E+12	3.7E+10	7.4E+10	1.85E+09	7.4E+10	1.85E+09
质量能量吸收系数 (m ² .kg ⁻¹)	1.41E-02	7.13E-03	1.41E-02	7.13E-03	1.41E-02	7.13E-03	1.41E-02	7.13E-03
操作距离 (m)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7
屏蔽材料及厚度 (mm)	100 (铅)	100 (铅)	100 (铅)	100 (铅)	60 (铅) +10 (铅)	40 (铅) +10 (铅)	60 (铅) +10 (铅)	40 (铅) +10 (铅)
有效原子序数	82	82	82	82	82	82	82	82
韧致辐射什值层 (mm)	15.8	23.4	15.8	23.4	15.8	23.4	15.8	23.4
减弱倍数	2.13E+06	1.88E+04	2.13E+06	1.88E+04	2.69E+04	1.37E+02	2.69E+04	1.37E+02
空气吸收剂量率 (Gy/h)	3.72E-08	2.61E-08	3.72E-08	2.61E-08	4.87E-08	2.96E-07	4.87E-08	2.96E-07
年操作时间 (h)	12.5	75	20	100	40	200	5	25
剂量转换因子	1	1	1	1	1	1	1	1
屏蔽体外当量剂量率(μSv/h)	3.72E-02	2.61E-02	3.72E-02	2.61E-02	4.87E-02	0.30	4.87E-02	0.30
年受照剂量率 (mSv/a)	4.65E-04	1.96E-03	7.44E-04	2.61E-03	1.95E-03	5.91E-02	2.43E-04	7.39E-03

表 5.2-11 4-1 生产线职业人员外照射所致受照剂量统计表

操作位		3#			4#			5#			6#		
操作核素		⁹⁹ Mo	^{99m} Tc	⁶⁸ Ga	⁹⁹ Mo	⁹⁹ Mo	^{99m} Tc	⁶⁸ Ga	⁹⁹ Mo	⁹⁹ Mo	^{99m} Tc	⁶⁸ Ga	⁶⁸ Ga
屏蔽体外辐射剂量率 (μ Sv/h)	γ 辐射剂量率	1.62	3.66E-95	7.91E-03	1.62	3.66E-95	7.91E-03	1.02	6.06E-67	1.14	1.02	6.06E-67	1.14
	韧致辐射剂量率	3.72E-02	2.61E-02	/	3.72E-02	2.61E-02	/	4.87E-02	0.30	/	4.87E-02	0.30	/
	合计	1.68		7.91E-03	1.68		7.91E-03	1.37		1.14	1.37		1.14
年受照剂量率 (mSv/a)	γ 辐射所致年受照剂量率	2.43E-02	5.50E-97	5.94E-04	3.25E-02	7.33E-97	7.91E-04	4.07E-02	2.42E-68	0.23	5.09E-03	3.03E-69	2.86E-02
	韧致辐射所致年受照剂量	4.65E-04	1.96E-03	/	7.44E-04	2.61E-03	/	1.95E-03	5.91E-02	/	2.43E-04	7.39E-03	/
	人员工作模式	1 人操作					1 人操作						
	合计	6.39E-02					0.37						

4-1线生产过程锗镓发生器、锗镓发生器生产由2人完成，钼-99/锝-99m和锗-68/镓-68不同时生产，根据表5.2-11，生产过程工作箱外人员操作位置辐射剂量率水平最大为1.68 μ Sv/h，满足2.5 μ Sv/h控制剂量率要求，职业人员最大受照剂量为0.37mSv/a。

(5) 4-2生产线职业人员贯穿外照射剂量分析

4-2 生产线涉及生产镓-177 原料、镓-177 标记药物和锝-99m 标记药物，生产过程 γ 射线和韧致辐射外照射所致职业人员受照射剂量预测参数及计算结果见表 5.2-12~表 5.2-14。

表 5.2-12 4-2 生产线 γ 射线外照射所致剂量计算参数及计算结果表

工作箱	2#			3#			4#		5#		
	^{177}Lu (原料)	^{177}Lu (标记)	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{177}Lu (原料)	^{177}Lu (标记)	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{177}Lu (标记)	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{177}Lu (原料)	^{177}Lu (标记)	$^{99\text{m}}\text{Tc}$
γ 射线能量 (MeV)	0.208	0.208	0.141	0.208	0.208	0.141	0.208	0.208	0.141	0.208	0.208
操作活度 (Ci)	50	4	15	50	4	15	4	15	50	4	15
照射量常数 (R m ² /h Ci)	0.016	0.016	0.17	0.016	0.016	0.17	0.016	0.17	0.016	0.016	0.17
操作距离 (m)	0.8	0.8	0.8	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	1	1	1
屏蔽材料及厚度 (mm)	12 (铅)	12 (铅)	12 (铅)	12 (铅)	12 (铅)	12 (铅)	12 (铅)	12 (铅)	12 (铅)	12 (铅)	12 (铅)
γ 射线什值层厚度 (mm)	3.07	3.07	1	3.07	3.07	1	3.07	1	3.07	3.07	1
减弱倍数	8.11E+03	8.11E+03	1.00E+12	8.11E+03	8.11E+03	1.00E+12	8.11E+03	1.00E+12	8.11E+03	8.11E+03	1.00E+12
空气吸收剂量率 (Gy/h)	1.35E-06	1.08E-07	3.48E-14	9.55E-07	7.64E-08	2.47E-14	7.64E-08	2.47E-14	8.62E-07	6.89E-08	2.23E-14
年操作时间 (h)	5	4.17	16.7	60	50	200	50	200	30	25	100
剂量转换因子	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
屏蔽体外当量剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	1.35	0.11	3.48E-08	0.96	7.64E-02	2.47E-08	7.64E-02	2.47E-08	0.86	6.89E-02	2.23E-08
年受照剂量 (mSv/a)	6.73E-03	4.49E-04	5.81E-10	5.73E-02	3.82E-03	4.93E-09	3.82E-03	4.93E-09	2.58E-02	1.72E-03	2.23E-09

表 5.2-13 4-2 生产线韧致辐射外照射所致剂量计算参数及计算结果表

工作箱	2#		3#		4#	5#	
操作核素名称	¹⁷⁷ Lu（原料）	¹⁷⁷ Lu（标记）	¹⁷⁷ Lu（原料）	¹⁷⁷ Lu（标记）	¹⁷⁷ Lu（标记）	¹⁷⁷ Lu（原料）	¹⁷⁷ Lu（标记）
β 粒子最大能量（MeV）	0.497	0.497	0.497	0.497	0.497	0.497	0.497
β 粒子平均能量（MeV）	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166
操作活度（Bq）	1.85E+12	1.48E+11	1.85E+12	1.48E+11	1.85E+12	1.48E+11	1.85E+12
质量能量吸收系数 （m ² .kg ⁻¹ ）	9.71E-02						
操作距离（m）	0.8	0.8	0.95	0.95	1	1	0.8
屏蔽材料及厚度（mm）	12	12	12	12	12	12	12
有效原子序数	82	82	82	82	82	82	82
韧致辐射什值层（mm）	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45
减弱倍数	7.91E+04						
空气吸收剂量率（Gy/h）	3.67E-07	2.94E-08	2.61E-07	2.08E-08	2.35E-07	1.88E-08	3.67E-07
年操作时间（h）	5	4.17	60	50	30	25	5
剂量转换因子	1	1	1	1	1	1	1
屏蔽体外当量剂量率 （μSv/h）	0.37	2.94E-02	0.26	2.08E-02	0.24	1.88E-02	0.37
年受照剂量率（mSv/a）	1.84E-03	1.23E-04	1.56E-02	1.04E-03	7.05E-03	4.70E-04	1.84E-03

表 5.2-14 4-2 生产线职业人员外照射所致受照剂量统计表

工作箱		2#			3#			4#		5#		
操作核素		¹⁷⁷ Lu（原料）	¹⁷⁷ Lu（标记）	^{99m} Tc	¹⁷⁷ Lu（原料）	¹⁷⁷ Lu（标记）	^{99m} Tc	¹⁷⁷ Lu（标记）	^{99m} Tc	¹⁷⁷ Lu（原料）	¹⁷⁷ Lu（标记）	^{99m} Tc
屏蔽体外辐射剂量率（μSv/h）	γ辐射剂量率	1.35	0.11	3.48E-08	0.96	7.64E-02	2.47E-08	7.64E-02	2.47E-08	0.86	6.89E-02	2.23E-08
	韧致辐射剂量率	0.37	2.94E-02	/	0.26	2.08E-02	/	0.24	/	1.88E-02	0.37	/
	合计	1.72	0.14	3.48E-08	1.22	9.72E-02	2.47E-08	0.3164	2.47E-08	0.88	0.44	2.23E-08
年受照剂量率（mSv/a）	γ辐射所致年受照剂量	6.73E-03	4.49E-04	5.81E-10	5.73E-02	3.82E-03	4.93E-09	3.82E-03	4.93E-09	2.58E-02	1.72E-03	2.23E-09
	韧致辐射所致年受照剂量	1.84E-03	1.23E-04	/	1.56E-02	1.04E-03	/	7.05E-03	/	4.70E-04	1.84E-03	/
	人员工作模式	1 人操作			1 人操作			1 人操作		1 人操作		
	合计	9.14E-03			7.78E-02			1.09E-02		2.98E-02		

4-2线生产过程，产镭-177原料、镭-177标记药物和镓-99m标记药物生产由4人完成，根据表5.2-14，生产过程工作箱外人员操作位置辐射剂量率水平最大为1.72μSv/h，满足2.5μSv/h控制剂量率要求，职业人员最大受照剂量为7.78×10⁻²mSv/a。

(6) 4-3生产线职业人员贯穿外照射剂量分析

4-3生产线涉及生产镭-225标记药物、铋-211标记药物，生产过程 γ 射线外照射所致职业人员受照射剂量预测参数及计算结果见表5.2-15~表5.2-17。

表 5.2-15 4-3 生产线 γ 射线外照射所致剂量计算参数及计算结果表

工作箱	2#工作箱			3#工作箱		
操作核素名称	^{225}Ac	^{225}Ac 子体核素 ^{213}Bi	^{211}At 子体核素 ^{207}Bi	^{225}Ac	^{225}Ac 子体核素 ^{213}Bi	^{211}At 子体核素 ^{207}Bi
γ 射线能量 (MeV)	0.09	0.44	0.57	0.09	0.44	0.57
操作活度 (mCi)	14	14	5.85	14	14	5.85
照射量常数 ($\text{R m}^2/\text{h Ci}$)	6.06E-03	0.133	1.53	6.06E-03	0.133	1.53
操作距离 (m)	0.8	0.8	0.8	0.95	0.95	0.95
屏蔽材料及厚度(mm)	33 (铅)	33 (铅)	33 (铅)	33 (铅)	33 (铅)	33 (铅)
γ 射线什值层厚度 (mm)	1	15.2	18.8	1	15.2	18.8
减弱倍数	1.00E+33	1.48E+02	5.69E+01	1.00E+33	1.48E+02	5.69E+01
空气吸收剂量率 (Gy/h)	1.16E-39	1.71E-07	2.14E-06	8.21E-40	1.21E-07	1.52E-06
年操作时间 (h)	600		150	116.7		29.2
剂量转换因子	1	1	1	1	1	1
屏蔽体外当量剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	0.17		2.14	0.12		1.52
年受照剂量率(mSv/a)	0.10		0.32	1.42E-02		4.44E-02

表 5.2-16 4-3 生产线韧致辐射外照射所致剂量计算参数及计算结果表

工作箱	2#工作箱		3#工作箱	
操作核素名称	^{225}Ac 子体核素 ^{209}Tl	^{211}At 子体核素 ^{207}Bi	^{225}Ac 子体核素 ^{209}Tl	^{211}At 子体核素 ^{207}Bi
β 粒子最大能量 (MeV)	2.0	0.38	2.0	0.38
β 粒子平均能量 (MeV)	0.67	0.13	0.67	0.13
操作活度 (Bq)	5.18E+08	2.17E+08	5.18E+08	2.17E+08
质量能量吸收系数 ($\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$)	6.33E-03	1.67E-02	6.33E-03	1.67E-02
操作距离 (m)	0.8	0.8	0.95	0.95

工作箱	2#工作箱		3#工作箱	
屏蔽材料及厚度（mm）	20（铅）	20（铅）	20（铅）	20（铅）
有效原子序数	82	82	82	82
韧致辐射什值层厚度（mm）	23.7	9.78	23.7	9.78
减弱倍数	2.47E+01	2.37E+03	2.47E+01	2.37E+03
空气吸收剂量率（Gy/h）	3.46E-07	1.44E-10	2.46E-07	1.02E-10
年操作时间（h）	600	150	116.7	29.2
剂量转换因子	1	1	1	1
屏蔽体外当量剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	0.35	1.44E-04	0.25	1.02E-04
年受照剂量率（mSv/a）	0.21	2.16E-05	2.87E-02	2.98E-06

*注：保守考虑 ^{225}Ac 母体核素与子体核素 ^{209}Pb 为平衡状态； ^{211}At 核素按41.8%比例生成 ^{207}Bi 。

表 5.2-17 4-2 生产线职业人员外照射所致受照剂量统计表

操作位		2#工作箱			3#工作箱		
操作核素		^{225}Ac	^{225}Ac 子体核素 ^{209}Pb	^{211}At 子体核素 ^{207}Bi	^{225}Ac	^{225}Ac 子体核素 ^{209}Pb	^{211}At 子体核素 ^{207}Bi
屏蔽体外辐射剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	γ 辐射剂量率	0.17		2.14	0.12		1.52
	韧致辐射剂量率	0.35		1.44E-04	0.25		1.02E-04
	合计	0.52		2.14	0.37		1.52
年受照剂量率（mSv/a）	γ 辐射所致年受照剂量率	0.10		0.32	1.42E-02		4.44E-02
	韧致辐射所致年受照剂量	0.21		2.16E-05	2.87E-02		2.98E-06
	人员工作模式	1 人操作			1 人操作		
	合计	0.63			8.73E-02		

4-3线生产过程镭-225、碲-211标记药物由4人完成，每组2人分两套工作箱进行操作，镭-225、碲-211不同时使用，根据表5.2-17，生产过程工作箱外人员操作位置辐射剂量率水平最大为 $2.14\mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求，职业人员最大受照剂量为 0.63mSv/a 。

（7）放射性药物检验研究中心职业人员贯穿外照射剂量分析

根据建设内容，放射性药物检验研究中心将对部分放射性核素用量降低，并新增使用镅-68、钆-89、镧-177、镭-225、铯-161，由于新增放射性核素用量较原已有放射性核素用量较小，且不改变涉及使用的平均放射性核素种类数量，因此本次新

增放射性核素不会改变原有辐射环境影响，本次评价可直接引用生态环境部核安全中心审核通过的《成都纽瑞特医疗科技股份有限公司辐射安全许可证增项安全评估报告》结论，根据该评估报告，放射性药物检验研究中心手套箱外辐射剂量率（ γ 射线、韧致辐射）最大值为 $2.25\mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求，职业人员外照射有效剂量为 0.23mSv/a 。

（8）放射性药物研发实验室职业人员贯穿外照射剂量分析

放射性药物研发实验室涉及使用钷-90、镓-68、锆-89、碘-131、镱-177、铜-225、铽-161放射性核素用于放射性药物研发，实验过程 γ 射线外照射所致职业人员受照射剂量预测参数及计算结果见表5.2-18。

表 5.2-19 放射性药物研发实验室 γ 射线外照射所致剂量计算参数及计算结果表

参数	通风橱					
	^{68}Ga	^{89}Zr	^{131}I	^{177}Lu	^{225}Ac	^{161}Tb
操作核素名称	^{68}Ga	^{89}Zr	^{131}I	^{177}Lu	^{225}Ac	^{161}Tb
γ 射线能量 (MeV)	0.511	0.511	0.364	0.208	0.44	0.075
操作活度 (Ci)	5.00E-04	5.00E-04	5.00E-04	1.40E-03	2.70E-06	4.05E-04
照射量常数 ($\text{R m}^2/\text{h Ci}$)	0.56	0.58	0.22	0.016	0.133	0.0175
操作距离 (m)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
屏蔽材料及厚度 (mm)	30 (FZ_6 铅玻璃)					
γ 射线什值层厚度 (mm)	48.6	48.6	34.4	26.5	41.6	7.10
减弱倍数	4.14	4.14	7.45	13.6	5.26	1.68E+04
空气吸收剂量率 (Gy/h)	2.36E-06	2.44E-06	5.16E-07	5.77E-08	2.38E-09	1.47E-11
年操作时间 (h)	20	20	20	120	60	60
剂量转换因子	1	1	1	1	1	1
屏蔽体外当量剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	2.36	2.44	0.52	5.77E-02	2.38E-03	1.47E-05
年受照剂量率 (mSv/a)	4.72E-02	4.89E-02	0.10	6.93E-03	1.43E-04	8.84E-07

表 5.2-19 放射性药物研发实验室韧致辐射外照射所致剂量计算参数及计算结果表

参数	通风橱						
	^{90}Y	^{68}Ga	^{89}Zr	^{131}I	^{177}Lu	^{225}Ac	^{161}Tb
操作核素名称	^{90}Y	^{68}Ga	^{89}Zr	^{131}I	^{177}Lu	^{225}Ac	^{161}Tb
β 粒子最大能量 (MeV)	2.280	1.90	0.902	0.806	0.497	2.0	0.584
β 粒子平均能量 (MeV)	0.760	0.633	0.301	0.269	0.166	0.67	0.195
操作活度 (Bq)	5.18E+07	1.85E+07	1.85E+07	1.85E+07	5.18E+07	9.99E+04	1.50E+07

参数	通风橱						
	质量能量吸收系数 ($\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$)	8.13E-03	7.13E-03	2.58E-02	3.67E-02	9.71E-02	6.33E-03
操作距离 (m)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
屏蔽材料及厚度 (mm)	20 (FZ ₆ 铅玻璃)						
有效原子序数	82	82	82	82	82	82	82
韧致辐射什值层	76.2	63.3	28.5	25.5	15.7	67.6	18.5
减弱倍数	2.48	2.98	11.29	15.01	81.44	2.78	41.84
空气吸收剂量率 (Gy/h)	1.48E-06	2.67E-07	5.76E-08	4.92E-08	2.56E-08	1.53E-09	1.28E-08
年操作时间 (h)	180	20	20	20	120	60	60
剂量转换因子	1	1	1	1	1	1	1
屏蔽体外当量剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	1.48	0.27	5.76E-02	4.92E-02	2.56E-02	1.53E-03	1.28E-02
年受照剂量率 (mSv/a)	0.27	5.33E-03	1.15E-03	9.83E-04	3.07E-03	9.21E-05	7.65E-04

表 5.2-20 放射性药物研发实验室职业人员外照射所致受照剂量统计表

操作位		通风橱						
操作核素		⁹⁰ Y	⁶⁸ Ga	⁸⁹ Zr	¹³¹ I	¹⁷⁷ Lu	²²⁵ Ac	¹⁶¹ Tb
屏蔽体外辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	γ 辐射剂量率	/	2.36	2.44	0.52	5.77E-02	2.38E-03	1.47E-05
	韧致辐射剂量率	1.48	0.27	5.76E-02	4.92E-02	2.56E-02	1.53E-03	1.28E-02
	合计 ($\mu\text{Sv/h}$)	1.48	0.27	5.76E-02	4.92E-02	2.56E-02	1.53E-03	1.28E-02
年受照剂量率 (mSv/a)	γ 辐射所致年受照剂量率	/	4.72E-02	4.89E-02	0.10	6.93E-03	1.43E-04	8.84E-07
	韧致辐射所致年受照剂量率	0.27	5.33E-03	1.15E-03	9.83E-04	3.07E-03	9.21E-05	7.65E-04
	人员工作模式	2 人轮换操作						

操作位	通风橱						
操作核素	⁹⁰ Y	⁶⁸ Ga	⁸⁹ Zr	¹³¹ I	¹⁷⁷ Lu	²²⁵ Ac	¹⁶¹ Tb
合计	0.48						

放射性药物研发实验室三由2名实验人员轮换操作，每次实验仅操作1种放射性核素，根据表5.2-20，实验过程通风橱箱外人员操作位置辐射剂量率水平最大为1.48 μ Sv/h，满足2.5 μ Sv/h控制剂量率要求，职业人员最大受照剂量为0.48mSv/a。

（9）放射性原料/产品转运、拆包、打包职业人员贯穿外照射剂量分析

本项目购买的放射性原料是由生产厂家直接送至各车间内放射性原料暂存间，然后由车间职业人员转运至传递窗内，放射性产品生产结束后通过传递窗转至外包间，然后由职业人员进行打包转运至放射性产品暂存库，最终由销售人员发货至客户，本次仅考虑放射性原料/产品在车间内的转运、拆包、打包过程对职业人员外照射剂量影响。本项目2车间共安排4人轮换进行放射性原料/产品车间内的转运、拆包、打包，4车间共安排2人轮换进行放射性原料/产品车间内的转运、拆包、打包，放射性药物研发实验室安排2人轮换进行放射性原料的转运和拆包，2车间和4车间人员互不交叉，放射性原料单次转运、拆包时间约10min，放射性产品单批次打包、转运时间约30min，该过程职业人员受照射剂量分析结果见表5.2-21。

表 5.2-21 2 车间、4 车间生产线放射性原料/产品转运、拆包、打包过程职业人员外照射剂量计算表

转运物品	单次操作活度 (Ci)	γ/β 射线能量 (MeV)	照射量常数 ($R\ m^2/h\ Ci$) / 质量能量吸收系数 ($m^2.kg^{-1}$)	屏蔽铅罐厚度 (mm)	什值层厚度 (mm)	减弱倍数	铅罐表面剂量率 ($\mu Sv/h$)	单次操作时间 (min)	年操作次数	年操作时间 (h)	年受照剂量 (mSv/a)
^{123}I (标记) 原料	4	0.159	0.085	10	2	1.00E+05	2.97	10	200	33.3	3.96E-03
^{123}I (标记) 产品	2.00E-02	0.159	0.085	5	2	3.16E+02	4.69	30	200	100.0	1.88E-02
^{131}I (标记) 原料	9	0.364	0.22	50	11	3.51E+04	49.2	10	50	8.3	1.64E-02
	9	0.269	3.67E-02	50	4.6	7.41E+10	4.48E-06	10	50	8.3	1.49E-09
^{131}I (标记) 产品	6.00E-02	0.364	0.22	20	11	6.58E+01	175	30	50	25.0	0.18
	6.00E-02	0.269	3.67E-02	20	4.6	2.23E+04	9.94E-02	30	50	25.0	9.94E-05
^{123}I (胶囊) 原料	0.2	0.159	0.085	10	2	1.00E+05	14.8	10	100	16.7	9.89E-05
^{123}I (胶囊) 产品	2.00E-04	0.159	0.085	2	2	1.00E+01	1.48	30	100	50.0	2.03E-13
^{131}I (胶囊) 原料	3.2	0.364	0.22	50	11	3.51E+04	17.5	20	150	50.0	3.50E-02
	3.2	0.269	3.67E-02	50	4.6	7.41E+10	1.59E-06	20	150	50.0	3.19E-09
^{131}I (胶囊) 产品	0.15	0.364	0.22	20	11	0.66	43.8	30	150	75.0	1.31
	0.15	0.269	3.67E-02	20	4.6	2.23E+04	0.25	30	150	75.0	7.45E-04
^{177}Lu 原料	6	0.208	0.016	10	3.07	1.81E+03	46.3	20	200	66.7	0.12
	6	0.166	9.71E-02	10	2.45	1.21E+04	18.5	20	200	66.7	4.93E-02
^{177}Lu 产品	2.40E-01	0.208	0.016	5	3.07	4.25E+01	78.8	30	200	100.0	0.32
	2.40E-01	0.166	9.71E-02	5	2.45	1.10E+02	81.2	30	200	100.0	0.33
^{90}Y (单抗) 原料	1	0.76	8.13E-03	70	27.6	3.44E+02	190	100	50	208.3	0.63

转运物品	单次操作活度 (Ci)	γ/β 射线能量 (MeV)	照射量常数 ($R\ m^2/h\ Ci$) / 质量能量吸收系数 ($m^2.kg^{-1}$)	屏蔽铅罐厚度 (mm)	什值层厚度 (mm)	减弱倍数	铅罐表面剂量率 ($\mu Sv/h$)	单次操作时间 (min)	年操作次数	年操作时间 (h)	年受照剂量 (mSv/a)
^{90}Y (单抗) 产品	1.00E-01	0.76	8.13E-03	50	27.6	6.48E+01	252	30	50	25.0	0.10
^{90}Y (微球) 原料	1	0.76	8.13E-03	70	27.6	3.44E+02	190	250	180	625.0	5.69
^{90}Y (微球) 产品	0.25	0.76	8.13E-03	50	27.6	6.48E+01	101	30	180	75.0	0.91
合计 (4人轮换操作)											2.43
^{99}Mo 原料	5	0.181	0.138	70	19	4.83E+03	125	400	10	66.7	0.33
	5	0.405	1.41E-02	70	15.8	2.69E+04	5.96	400	10	66.7	1.59E-02
钼铈发生器产品	2	0.181	0.138	60	19	1.44E+03	168	30	10	5.0	3.35E-02
	2	0.405	1.41E-02	60	15.8	6.27E+03	10.2	30	10	5.0	2.05E-03
^{68}Ge 原料	1	0.511	0.56	60	17	3.38E+03	144	10	50	8.3	4.82E-02
	1	0.633	7.13E-03	60	23.4	3.67E+02	108	10	50	8.3	3.61E-02
锗镓发生器产品	5.00E-02	0.511	0.56	40	17	2.25E+02	108	30	50	25.0	0.11
	5.00E-02	0.633	7.13E-03	40	23.4	5.12E+01	38.8	30	50	25.0	3.88E-02
^{177}Lu 原料	50	0.208	0.016	15	3.07	7.69E+04	9.08	10	60	10.0	3.63E-03
	50	0.166	9.71E-02	15	2.45	1.33E+06	1.40	10	60	10.0	5.61E-04
^{177}Lu 产品	2.00E-01	0.208	0.016	10	3.07	1.81E+03	1.54	30	60	30.0	1.85E-03
	2.00E-01	0.166	9.71E-02	10	2.45	1.21E+04	0.62	30	60	30.0	7.39E-04

转运物品	单次操作活度 (Ci)	γ/β 射线能量 (MeV)	照射量常数 ($R\ m^2/h\ Ci$) / 质量能量吸收系数 ($m^2.kg^{-1}$)	屏蔽铅罐厚度 (mm)	什值层厚度 (mm)	减弱倍数	铅罐表面剂量率 ($\mu Sv/h$)	单次操作时间 (min)	年操作次数	年操作时间 (h)	年受照剂量 (mSv/a)
钼得发生器	2	0.181	0.138	70	19	4.83E+03	49.9	40	200	133.3	0.27
	2	0.405	1.41E-02	70	15.8	2.69E+04	2.39	40	200	133.3	1.27E-02
^{99m}Tc 产品	5.00E-02	0.141	0.17	5	1	1.00E+05	7.42E-02	30	200	100.0	2.97E-04
^{225}Ac 原料	0.014	0.44	0.133	15	15.2	9.70E+00	168	10	200	33.3	0.22
	0.014	0.67	6.33E-03	15	23.7	4.29E+00	129	10	200	33.3	0.17
^{225}Ac 产品	2.00E-04	0.44	0.13	2	15.2	1.35E+00	17.2	30	200	100.0	6.86E-02
	2.00E-04	0.67	6.33E-03	2	23.7	1.21E+00	6.50	30	200	100.0	2.60E-02
^{211}At 原料	5.85E-03	0.57	1.53	30	18.8	3.94E+01	198	10	50	8.3	6.61E-02
	5.85E-03	0.13	1.67E-02	30	9.78	1.17E+03	1.96E-02	10	50	8.3	6.55E-06
^{211}At 产品	2.00E-04	0.57	1.53	15	18.8	6.28E+00	42.5	30	50	25.0	4.25E-02
	2.00E-04	0.13	1.67E-02	15	9.78	3.42E+01	2.29E-02	30	50	25.0	2.29E-05
合计（2人轮换操作）											0.75

①生产过程假设钼-99和钨-99m达到平衡，锆-68和镓-68达到平衡；②由于锆-68的 γ 射线能量仅0.0092MeV，能量较低，辐射环境影响较小，影响分析仅考虑子体核素镓-68的辐射环境影响；③保守考虑 ^{225}Ac 母体核素与最大影响子体核素 ^{209}Tl 为平衡状态； ^{211}At 核素按41.8%比例生成 ^{207}Bi ；④铅罐表面剂量是指0.1m处辐射剂量率，人员操作时（转运、拆包、打包）预测距离为0.5m。

表 5.2-22 放射性药物检验研究中心/放射性药物研发实验室放射性原料转运、拆包过程职业人员外照射剂量计算表

转运物品	单次操作活度 (Ci)	γ/β 射线能量 (MeV)	照射量常数 ($R\ m^2/h\ Ci$) / 质量能量吸收系数 ($m^2.kg^{-1}$)	屏蔽铅罐厚度 (mm)	什值层厚度 (mm)	减弱倍数	铅罐表面剂量率 ($\mu Sv/h$) *	单次操作时间 (min)	年操作次数	年操作时间 (h)	年受照剂量 (mSv/a)
^{90}Y	1.40E-03	0.76	8.13E-03	10	27.6	2.303132	39.7	10	90	15.0	2.38E-02
^{131}I	5.00E-04	0.364	0.22	10	11	8.111308	11.8	10	10	1.7	7.89E-04
	5.00E-04	0.269	3.67E-02	10	4.6	149.2496	0.12	10	10	1.7	8.24E-06
^{68}Ga	5.00E-04	0.511	0.56	10	17	3.874675	63.1	10	10	1.7	4.21E-03
	5.00E-04	0.633	7.13E-03	10	23.4	2.675164	74.2	10	10	1.7	4.95E-04
^{89}Zr	5.00E-04	0.511	0.58	10	17	3.874675	65.3	10	10	1.7	4.36E-03
	5.00E-04	0.301	2.58E-02	10	6.09	43.85672	0.37	10	10	1.7	2.47E-05
^{177}Lu	1.40E-03	0.208	0.016	2	3.07	4.481938	4.36	10	10	1.7	2.91E-04
	1.40E-03	0.166	9.71E-02	2	2.45	6.551286	7.95	10	10	1.7	5.30E-04
^{225}Ac	2.70E-06	0.44	0.13	2	15.2	1.353876	0.23	10	30	5.0	4.64E-05
	2.70E-06	0.67	6.33E-03	2	23.7	1.214474	8.79E-02	10	30	5.0	1.76E-05
^{161}Tb	4.05E-04	0.075	0.0175	2	0.259	52723924	1.17E-07	10	30	5.0	2.35E-11
放射性性药物 检验研究中心	/										0.37
合计（2人轮换操作）											0.20

*注：①保守考虑 ^{225}Ac 母体核素与最大影响子体核素 ^{209}Tl 为平衡状态；②铅罐表面剂量是指 0.1m 处辐射剂量率，人员操作时（转运、拆包、打包）预测距离为 0.5m。

5.2.1.3 放射性药物销售运输过程贯穿外照射剂量分析

销售人员是在放射性药物其装罐后进行运输，运输过程，至少两名押运人员，运输前拟对驾驶员座椅处、车厢外表面和距离车表面 2m 处进行 γ 辐射剂量率监测，需确保驾驶员座椅处和车厢外表面空气比释动能率不超过 $2\mu\text{Gy/h}$ ，在距离车表面 2m 将空气比释动能率不大于 $0.1\mu\text{Gy/h}$ 。若发现 γ 辐射剂量率大于上述控制值，将转移 A 型货包和运输工具至安全区域，进行去污，待满足上述标准后，方可再次启用。

对于短途运输运输时间约 2h，对于长途运输采用公共交通（火车或飞机）进行运输，全年运输时间约 300 天，驾驶员座椅处的辐射剂量率最大为 $2\mu\text{Gy/h}$ ，则运送放射性核素产品过程中辐射工作人员累计接受剂量为 1.2mSv/a 。

5.2.1.4 气溶胶所致职业人员照射剂量分析

本项目生产线所使用的工作箱均为密闭环境，且正常运行时保持有 -150Pa 负压，箱体内逸散到车间内的放射性气溶胶量较少，但考虑到工作箱设有物料进出口、进风口等，存在一定的泄漏率。根据建设单位针对现有场所自行监测，在放射性物料进出前后能检出一定含量的放射性气溶胶，参考《辐射防护手册（三分册）》，本项目工作箱、手套性泄漏率按取 1‰，对于放射性药物研发实验室三泄漏率保守取 1%，逸散放射性气溶胶浓度见表 5.2-23。

表 5.2-23 生产线及实验室逸散至车间放射性气溶胶浓度

生产线	操作核素	放射性核素日挥发时间 (h)	日挥发量 (Bq)	工作箱排风量 (m^3/h)	逸散放射性气溶胶浓度 (Bq/m^3)
2-1生产线	^{123}I (分离纯化)	1.42	$1.48\text{E}+08$	200	$5.21\text{E}+02$
	^{123}I (标记)	6.0	$1.48\text{E}+08$	3700	6.67
	^{123}I (胶囊)	3.0	$7.40\text{E}+06$	3700	0.67
	^{131}I (标记)	6	$3.33\text{E}+08$	3700	30.0
	^{131}I (胶囊)	3	$3.55\text{E}+08$	3700	16.0
2-6生产线	^{177}Lu	7.42	$2.22\text{E}+07$	1815	1.65
2-7生产线	^{90}Y (单抗)	5	$9.25\text{E}+06$	1815	1.02
	^{90}Y (微球)	5	$3.7\text{E}+06$	1815	0.41
4-1生产线	$^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$	3	$7.40\text{E}+08$	1815	$1.36\text{E}+02$
	$^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$	3	$3.70\text{E}+06$	1815	0.68
4-2生产线	^{177}Lu (原料)	1	$1.85\text{E}+07$	2139	8.65
	^{177}Lu (标记)	2	$1.48\text{E}+06$	2139	0.35
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ (标记)	2	$5.55\text{E}+06$	2139	1.30

生产线	操作核素	放射性核素日挥发时间 (h)	日挥发量 (Bq)	工作箱排风量 (m ³ /h)	逸散放射性气溶胶浓度 (Bq/m ³)
4-3生产线	²²⁵ Ac	3	1.04E+03	2000	1.73E-03
	²¹¹ At	3	1.04E+03	2000	1.73E-03
放射性药物 研发实验室 三	⁹⁰ Y	2	5.18E+03	150	17.3
	¹³¹ I	2	1.85E+04	150	61.7
	⁶⁸ Ga	2	1.85E+03	150	6.17
	⁸⁹ Zr	2	1.85E+03	150	6.17
	¹⁷⁷ Lu	2	5.18E+03	150	17.3
	²²⁵ Ac	2	10	150	3.33E-02
	¹⁶¹ Tb	2	1.50E+03	150	5.00

在生产过程工作箱逸散气溶胶对职业人员关键照射途经为吸入内照射和浸没外照射，其计算模式分别见式5.2-7和式5.2-8。

表5.2-24 生产线放射性气溶胶所致年受照剂量计算表

生产线	操作核素	职业人员年工作时间 (h)	Q_f	年空气吸入量 (m ³ /a)	所致年有效剂量 (mSv/a)
2-1生产线	¹²³ I (分离纯化)	283.3	3.23E-02	340.0	1.73E-02
	¹²³ I (标记)	1316.7	1.50E-01	1580.0	9.72E-02
	¹²³ I (胶囊)	987.5	1.13E-01	1185.0	
	¹³¹ I (标记)	156.7	1.79E-02	188.0	
	¹³¹ I (胶囊)	358.3	4.09E-02	430.0	
2-6生产线	¹⁷⁷ Lu	1600	1.83E-01	1920.0	3.18E-03
2-7生产线	⁹⁰ Y (单抗)	1005	1.15E-01	1206	2.33E-03
	⁹⁰ Y (微球)	279.2	3.19E-02	335.0	
4-1生产线	⁹⁹ Mo/ ^{99m} Tc	80	9.13E-03	96.0	7.79E-03
	⁶⁸ Ge/ ⁶⁸ Ga	400	4.57E-02	480.0	
4-2生产线	¹⁷⁷ Lu (原料)	95	1.08E-02	114.0	1.08E-03
	¹⁷⁷ Lu (标记)	129.2	1.47E-02	155.0	
	^{99m} Tc (标记)	516.7	5.90E-02	620.0	
4-3生产线	²²⁵ Ac	716.7	8.18E-02	860.0	8.79E-03
	²¹¹ At	44.2	5.05E-03	53.0	
放射性药物检验研究中心	/	/	/	/	1.23×10 ⁻² *
放射性药物研发实验室三	⁹⁰ Y	180	2.05E-02	216	3.49E-02
	¹³¹ I	20	2.28E-03	24	

生产线	操作核素	职业人员年工作时间 (h)	Q_f	年空气吸入量 (m^3/a)	所致年有效剂量 (mSv/a)
	^{68}Ga	20	2.28E-03	24	
	^{89}Zr	20	2.28E-03	24	
	^{177}Lu	120	1.37E-02	144	
	^{225}Ac	60	6.85E-03	72	
	^{161}Tb	60	6.85E-03	72	

*注：数据来源于《成都纽瑞特医疗科技股份有限公司辐射安全许可证增项安全评估报告》。

根据表5.2-24，各生产线及实验室工作人员内照射所致年有效剂量约 $1.08 \times 10^{-3} \text{mSv/a} \sim 9.72 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ 。

5.2.1.5 职业人员受照剂量综合分析

本项目职业人员受照剂量主要来源于生产过程的外照射和内照射影响，根据前述分析，同时本项目部分人员还将参与原有部分辐射工作，本次评价考虑其叠加影响，最终本项目职业人员受照剂量综合分析结果见表 5.2-25。

表 5.2-25 本项目职业人员受照剂量综合分析表

人员		贯穿辐射所致受照剂量 (mSv/a)	气溶胶所致受照剂量 (mSv/a)	从事其他辐射工作受照剂量 (mSv/a)	合计 (mSv/a)	备注
2 车 间	2-1 生产人员	8.74E-02	0.15	/	0.21	/
	2-6 生产人员	2.30	3.18E-03	/	2.30	/
	2-7 生产人员	0.46	2.33E-03	/	0.46	/
	转运、拆包、打包人员	2.43	/	1.91*	4.34	可能参与 2-1、2-3、2-4、2-5、2-8 生产线转运、拆包、打包工作
4 车 间	4-1 生产人员	0.37	7.79E-03	/	0.38	/
	4-2 生产人员	7.78E-02	1.08E-03	/	7.79E-02	/
	4-3 生产人员	0.63	8.79E-03	/	0.64	/
	转运、拆包、打包人员	0.75	/	/	0.75	/
放射性药物检验研究中心		0.23*	1.23E-02*	/	0.24	/
放射性药物研发实验室		0.48	3.49E-02	/	0.52	/
放射性药物运输人员		1.20	/	1.88*	3.08	可能参与其他放射性药物药物的销售工作

*注：数据来源于《纽瑞特放射性药物创新平台与产业化项目（一期）环境影响报告书》（报批件）、《纽瑞特放射性药物创新平台与产业化项目（二期）环境影响报告书》、《成都纽瑞特医疗科技股份有限公司辐射安全许可证增项安全评估报告》预测分析结果。

根据表 5.2-25 分析，本项目职业人员最大受照剂量为 4.34mSv/a，满足本项目 5mSv/a 剂量约束限值要求。由于本项目辐射工作场所较多，且工序及流程较为复杂，

在后期实际过程，建设单位需根据实际情况进行人员工作安排的调配，同时在必要条件下新增辐射工作人员进行轮换工作，以达到受照剂量最优化及尽可能小的原则，确保职业人员年受照剂量不超过 5mSv/a 剂量约束值。

5.2.2 项目运行期对公众辐射环境影响

5.2.2.1 生产线及实验室对公众外照射剂量分析

根据项目外环境关系及前述计算公式、参数，本项目各生产线及实验室相邻非辐射工作区域辐射剂量率计算结果见表 5.2-26。

表 5.2-26 生产线及实验室以外非辐射工作区域辐射剂量率计算结果表

场所	方位	东北侧	东南侧	西南侧	西北侧	楼上	楼下
	2-1 生产线	距离	17.6	/	13.3	6.3	3
最大 γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		3.28E-03	/	9.28E-04	4.13E-03	1.82E-02	/
最大韧致辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		5.06E-10	/	8.87E-10	3.95E-09	1.74E-08	/
辐射剂量率合计 ($\mu\text{Sv/h}$)		3.28E-03	/	9.28E-04	4.13E-03	1.82E-02	/
2-6 生产线	距离	8.13	/	/	/	3	/
	最大 γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	1.40E-02	/	/	/	0.1	/
	最大韧致辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	5.59E-03	/	/	/	4.11E-02	/
	辐射剂量率合计 ($\mu\text{Sv/h}$)	1.96E-02	/	/	/	0.14	/
2-7 生产线	距离	8.13	22.1	/	/	3m	/
	最大韧致辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	5.88E-02	7.95E-03	/	/	0.43	/
4-1 生产线	距离	3.38	/	/	17.5	3m	/
	最大 γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	0.12	/	/	4.30E-03	0.15	/
	最大韧致辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	2.64E-03	/	/	9.84E-05	3.35E-03	/
	辐射剂量率合计 ($\mu\text{Sv/h}$)	0.12	/	/	4.40E-03	0.15	/

场所	方位	东北侧	东南侧	西南侧	西北侧	楼上	楼下
	4-2生 产线	距离	8.16	/	7.18	25.1	3
最大 γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		5.80E-02	/	7.49E-02	6.13E-03	0.43	/
最大韧致辐射剂 量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		2.31E-02	/	2.99E-02	2.45E-03	0.17	/
辐射剂量率合计 ($\mu\text{Sv/h}$)		8.11E-02	/	0.11	8.58E-03	0.60	/
4-3生 产线	距离	/	7.12 m	6.05	/	3	/
	最大 γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	/	0.13	0.18	/	0.75	/
	最大韧致辐射剂 量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	/	1.55E-02	2.14E-02	/	8.71E-02	/
	合计 ($\mu\text{Sv/h}$)	/	0.15	0.20	/	0.84	/
放射性 药物检 验研究 中心	辐射剂量率合计 ($\mu\text{Sv/h}$)	/	/	/	/	6.25E-02*	/
放射性 药物研 发实验 室三	距离 (m)	4.00	/	1.70	4.33	3	3
	最大 γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	6.13E-02	/	0.34	5.23E-02	0.11	0.11
	最大韧致辐射剂 量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	3.12E-02	/	0.17	2.66E-02	5.55E-02	5.55E-2
	合计 ($\mu\text{Sv/h}$)	9.25E-02	/	0.51	7.89E-02	0.17	0.17

*注：数据来源于《成都纽瑞特医疗科技股份有限公司辐射安全许可证增项安全评估报告》。

根据表 5.2-26, 本项目生产线及实验室以外非辐射工作区域辐射剂量率最大值为 0.84 $\mu\text{Sv/h}$ (位于 4-3 生产线楼上风机房), 满足 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求, 4-3 生产线楼上风机房公众年受照时间按 761h 计算, 居留因子为 1/16, 年最大受照射剂量为 4.00 $\times 10^{-2}\text{mSv/a}$, 满足 0.1 mSv/a 剂量约束限值。

5.2.2.2 项目放射性气载流出物所致公众照射剂量分析

(1) 放射性气载流出物源项

根据源项分析, 项目正常工况下, 排放的气载性流出物汇总如下。

表 5.2-27 放射性气载性流出物排放源项表

场所	核素	年排放量 (Bq/a)	年排放时间 (s)	排放口高度 (m)	排放速率 (Bq/s)
2-1 生产线	¹²³ I	6.14E+07	3.56E+06	30	17.2
	¹³¹ I	1.04E+08	5.64E+05		184
2-6 生产线	¹⁷⁷ Lu	4.44E+05	5.76E+06	30	7.71E-02
2-7 生产线	⁹⁰ Y	1.85E+05	1.01E+06		0.18
4-1 生产线	⁹⁹ Mo	7.40E+05	2.88E+05	30	2.57
	^{99m} Tc	7.40E+05	2.88E+05		2.57
	⁶⁸ Ge	1.85E+04	1.44E+06		1.28E-02
	⁶⁸ Ga	1.85E+04	1.44E+06		1.28E-02
4-2 生产线	¹⁷⁷ Lu	1.18E+05	3.42E+05		0.35
	^{99m} Tc	1.11E+05	1.86E+06		5.97E-02
4-3 生产线	²²⁵ Ac	1.04E+02	2.58E+06		4.03E-05
	²¹¹ At	2.59E+01	1.59E+05		1.63E-04

*注：当各生产线存在统一核素多种产品生产时，本次保守取生产时间最小的产品作为排放时间。

(2) 受照估算模型

对于本项目放射性气载流出物对公众的关键照射途经包括：烟云浸没外照射、地面沉积造成的外照射、吸入空气造成的内照射，由于本项目位于工业建成区，评价范围内无农作物耕作区、畜牧养殖区，周围公众饮食原料均来源于评价范围以外区域，因此本次评价不考虑食入内照射。各照射途经计算模式如下：

①地面空气浓度计算模式

本项目 2 车间排放口高度 (H) 为 30m、4 车间排放口高度 (H) 为 25m，放射性药物研发实验室三排放口高度 21.0m，邻近最高建筑物高度 (H_B) 为 20.07m， $H \leq 2.5H_B$ ，所以本项目适用如下计算模式：

A、下风向距离 $x \leq 2.5\sqrt{A_B}$ 的计算模式

在 $H \leq 2.5H_B$ 且 $x \leq 2.5\sqrt{A_B}$ （对扩散影响最大的建筑物最大面的表面积，本项目中对扩散影响最大的建筑物为距排气筒最近的检测车间，其最大面的表面积为 2080m²，其距离取 114m）时，下风向距离 x 处核素的地面空气浓度可以由下式计算。

$$C_A = \frac{P_p Q_i}{\pi u_a H_B K} \dots\dots\dots \text{式 5.2-9}$$

其中：

u_a —释放高度处年平均风速，单位m/s；

Q_i — i 核素的平均释放速率，单位Bq/s；

P_p — p 风向的风频，单位 1，保守取值 0.25；

H_B —邻近最高建筑物的高度，单位 m；如果该的建筑物的宽度大于其高度，则应该用其宽度替代式中的 H_B 。周围邻近最高建筑物为检测车间，高度 20.07m，宽度 103.6m，宽度大于高度，因而，此处 H_B 的取值为 103.6m；

K —经验常数，取值为 1，单位 m。

B、下风向距离 $x > 2.5\sqrt{A_B}$ 的计算模式

在 $H \leq 2.5H_B$ 且 $x > 2.5\sqrt{A_B}$ 时，下风向距离 x 处核素的地面空气浓度可以由下式计算，在式中使用扩散因子 B 作修正。

$$C_A = \frac{P_p B Q_i}{u_a} \dots\dots\dots \text{式 5.2-10}$$

$$B = \frac{12}{\sqrt{2\pi^3}} \times \frac{1}{x \Sigma_z} \dots\dots\dots \text{式 5.2-11}$$

$$\Sigma_z = (\sigma_z^2 + \frac{A_B}{\pi})^{0.5} \dots\dots\dots \text{式 5.2-12}$$

$$\sigma_z = \frac{0.06x}{\sqrt{1+0.0015x}} \dots\dots\dots \text{式 5.2-13}$$

其中：

u_a —释放高度处年平均风速；

Q_i — i 核素的平均释放速率，单位Bq/s；

P_p — p 风向的风频，单位 1，保守取值 0.25；

σ_z —垂直扩散参数；

x —下风向距离，单位 m；

在年均大气弥散的计算中，需要考虑风速随高度的变化。采用风速廓线指数方法计算排放高度处的风速：

$$\mu_H = \mu_{10} (0.1H)^p \dots\dots\dots \text{式 5.2-14}$$

其中：

μ_H —排放高度 H 处的风速，单位 m/s；

μ_{10} —10m 高度处的风速，取双流区年平均风速 1.3m/s；

p —风速廓线指数，风速廓线指数和设施的具体地理、地形及气象条件有关，本项目选用 D 稳定度下适用城市地区的风速廓线指数 0.25。

②地面沉积外照射所致剂量估算模式

$$D_i^{gr} = C_{gr} DF_{gr} O_f \dots\dots\dots \text{式 5.2-15}$$

$$C_{gr} = \frac{d_i [1 - \exp(-(\lambda_i + \lambda_m)t_b)]}{(\lambda_i + \lambda_m)} \dots\dots\dots \text{式 5.2-16}$$

$$d_i = (V_d + V_w) C_{Ai} \dots\dots\dots \text{式 5.2-17}$$

其中：

C_{Ai} —核素 i 的地面空气浓度，单位 Bq/m^3 ；

DF_{gr} —地面沉积外照射剂量转换因子，单位 $\text{Sv m}^2 \text{Bq}^{-1} \text{a}^{-1}$ ；

O_f —每年公众受到地表沉积外照射的时间份额，取值为 1/3；

λ_i —核素 i 的衰变常数，单位 d^{-1} ；

λ_m —核素在陆地环境中的去除常数，单位 d^{-1} ，

d_i —核素 i 在地面上的年均沉积率， $\text{Bq} \cdot (\text{m}^2 \text{s})^{-1}$

V_d+V_w —总沉积速率；

t_b —核素在地面上的沉积时间。

③吸入内照射所致剂量估算模式。

$$D_i^{inh} = C_{Ai} R_{inh} DF_{inh} t \dots\dots\dots \text{式 5.2-18}$$

其中：

C_{Ai} —核素 i 的地面空气浓度，单位 Bq/m^3 ；

R_{inh} —呼吸率，成人的呼吸率取 $5000\text{m}^3/\text{a}$ ；

DF_{inh} —吸入内照射剂量转换因子，单位 Sv/Bq ；

t —一年工作时间，单位 h 。

④烟云浸没外照射所致剂量估算模式，

$$D_i^{im} = C_{Ai} DF_{im} O_f \dots\dots\dots \text{式 5.2-19}$$

其中：

C_{Ai} —核素 i 的地面空气浓度，单位 Bq/m^3 ；

DF_{im} —烟云浸没外照射剂量转换因子，单位 $\text{Sv m}^3 \text{Bq}^{-1} \text{a}^{-1}$ ，

O_f —每年公众成员受到浸没外照射的时间份额，取值 1/3。

（3）预测结果与分析

本项目各敏感目标地面不同距离处地面放射性核素活度浓度计算结果见表 5.2-30，年吸入放射性核素总活度及占标率见表 5.2-31，所致工作受照剂量计算结果见表 5.2-32，叠加一期、二期贡献量所致公众受照剂量见表 5.2-33。

表 5.2-30 敏感目标处地面放射性核素浓度计算结果表

敏感目标	2-1 生产线排放口对应地面放射性核素浓度 (Bq/m ³)		2-6、2-7 生产线排放口对应地面放射性核素浓度 (Bq/m ³)		4-1、4-2、4-3 排放口对应地面放射性核素浓度 (Bq/m ³)							
	¹²³ I	¹³¹ I	¹⁷⁷ Lu	⁹⁰ Y	⁹⁹ Mo	^{99m} Tc	⁶⁸ Ge	⁶⁸ Ga	¹⁷⁷ Lu	^{99m} Tc	²²⁵ Ac	²¹¹ At
厂区综合楼	7.73E-03	8.27E-02	3.47E-05	6.29E-05	1.16E-03	1.16E-03	5.75E-06	5.75E-06	1.57E-04	2.68E-05	1.81E-08	7.33E-08
厂区办公楼	7.73E-03	8.27E-02	3.47E-05	6.29E-05	1.16E-03	1.16E-03	5.75E-06	5.75E-06	1.57E-04	2.68E-05	1.81E-08	7.33E-08
仁宝供水加压站	7.73E-03	8.27E-02	3.47E-05	6.29E-05	1.16E-03	1.16E-03	5.75E-06	5.75E-06	1.57E-04	2.68E-05	1.81E-08	7.33E-08
成都紫光电子设备有限公司	1.28E-03	8.27E-02	4.65E-06	8.44E-06	1.38E-04	1.38E-04	6.89E-07	6.89E-07	1.88E-05	3.21E-06	2.17E-09	8.77E-09
四川正红生物科技有限公司	9.32E-04	8.27E-02	4.65E-06	8.44E-06	1.55E-04	1.55E-04	7.71E-07	7.71E-07	2.11E-05	3.60E-06	2.43E-09	9.82E-09
四川环太生物科技股份有限公司	6.49E-04	8.27E-02	3.20E-06	5.82E-06	1.07E-04	1.07E-04	5.32E-07	5.32E-07	1.45E-05	2.48E-06	1.67E-09	6.77E-09
顺丰集散中心	4.64E-04	8.27E-02	2.27E-06	4.13E-06	7.58E-05	7.58E-05	3.78E-07	3.78E-07	1.03E-05	1.76E-06	1.19E-09	4.81E-09
泓奇实业股份有限公司	4.75E-04	8.27E-02	2.36E-06	4.28E-06	8.39E-05	8.39E-05	4.18E-07	4.18E-07	1.14E-05	1.95E-06	1.32E-09	5.32E-09
中加美电子科技产业园	6.69E-04	8.27E-02	3.32E-06	6.02E-06	1.26E-04	1.26E-04	6.26E-07	6.26E-07	1.71E-05	2.92E-06	1.97E-09	7.97E-09
兴发铝业(成都)有限公司	2.44E-04	8.27E-02	1.16E-06	2.10E-06	4.99E-05	4.99E-05	2.48E-07	2.48E-07	6.79E-06	1.16E-06	7.82E-10	3.16E-09
成都铖珏科技有限公司	2.95E-04	8.27E-02	1.41E-06	2.56E-06	5.09E-05	5.09E-05	2.54E-07	2.54E-07	6.94E-06	1.18E-06	7.99E-10	3.23E-09

敏感目标	2-1 生产线排放口对应地面放射性核素浓度 (Bq/m ³)		2-6、2-7 生产线排放口对应地面放射性核素浓度 (Bq/m ³)		4-1、4-2、4-3 排放口对应地面放射性核素浓度 (Bq/m ³)							
	¹²³ I	¹³¹ I	¹⁷⁷ Lu	⁹⁰ Y	⁹⁹ Mo	^{99m} Tc	⁶⁸ Ge	⁶⁸ Ga	¹⁷⁷ Lu	^{99m} Tc	²²⁵ Ac	²¹¹ At
成雅高速收费站	8.98E-04	8.27E-02	3.63E-06	6.58E-06	1.21E-04	1.21E-04	6.02E-07	6.02E-07	1.65E-05	2.81E-06	1.90E-09	7.67E-09
四川汉能光伏有限公司	4.87E-04	8.27E-02	2.07E-06	3.75E-06	6.89E-05	6.89E-05	3.43E-07	3.43E-07	9.38E-06	1.60E-06	1.08E-09	4.37E-09
汉龙集团	2.66E-04	8.27E-02	1.19E-06	2.16E-06	4.15E-05	4.15E-05	2.06E-07	2.06E-07	5.65E-06	9.63E-07	6.50E-10	2.63E-09

表 5.2-31 敏感目标处年摄入放射性核素活度计算结果表

敏感目标		¹²³ I	¹³¹ I	¹⁷⁷ Lu	⁹⁰ Y	⁹⁹ Mo	^{99m} Tc	⁶⁸ Ge	⁶⁸ Ga	¹⁷⁷ Lu	^{99m} Tc	²²⁵ Ac	²¹¹ At	占标率合计
厂区综合楼	年摄入量	6.18E+01	6.50E+02	2.78E-01	5.03E-01	9.28E+00	9.28E+00	4.60E-02	4.60E-02	1.26E+00	2.14E-01	1.45E-04	5.86E-04	/
	占标率	4.76E-05	5.00E-02	3.34E-06	7.62E-07	9.28E-05	1.86E-06	6.48E-06	2.30E-08	1.51E-41	4.29E-08	1.32E-05	9.46E-08	5.02E-02
厂区办公楼	年摄入量	6.18E+01	6.50E+02	2.78E-01	5.03E-01	9.28E+00	9.28E+00	4.60E-02	4.60E-02	1.26E+00	2.14E-01	1.45E-04	5.86E-04	/
	占标率	4.76E-05	5.00E-02	3.34E-06	7.62E-07	9.28E-05	1.86E-06	6.48E-06	2.30E-08	1.51E-41	4.29E-08	1.32E-05	9.46E-08	5.02E-02
仁宝供水加压站	年摄入量	6.18E+01	6.50E+02	2.78E-01	5.03E-01	9.28E+00	9.28E+00	4.60E-02	4.60E-02	1.26E+00	2.14E-01	1.45E-04	5.86E-04	/
	占标率	4.76E-05	5.00E-02	3.34E-06	7.62E-07	9.28E-05	1.86E-06	6.48E-06	2.30E-08	1.51E-41	4.29E-08	1.32E-05	9.46E-08	5.02E-02
成都紫光电子设备有限公司	年摄入量	1.02E+01	1.08E+02	3.72E-02	6.75E-02	1.10E+00	1.10E+00	5.51E-03	5.51E-03	1.50E-01	2.57E-02	1.74E-05	7.02E-05	/
	占标率	7.88E-06	8.31E-03	4.48E-07	1.02E-07	1.10E-05	2.21E-07	7.76E-07	2.76E-09	1.81E-42	5.14E-09	1.58E-06	1.13E-08	8.33E-03
四川正红生物科技有限公司	年摄入量	7.46E+00	7.84E+01	3.72E-02	6.75E-02	1.24E+00	1.24E+00	6.17E-03	6.17E-03	1.69E-01	2.88E-02	1.94E-05	7.86E-05	/
	占标率	5.74E-06	6.03E-03	4.48E-07	1.02E-07	1.24E-05	2.48E-07	8.69E-07	3.08E-09	2.03E-42	5.76E-09	1.77E-06	1.27E-08	6.05E-03
四川环太生物科	年摄入量	5.19E+00	5.46E+01	2.56E-02	4.66E-02	8.56E-01	8.56E-01	4.26E-03	4.26E-03	1.16E-01	1.98E-02	1.34E-05	5.42E-05	/

敏感目标		¹²³ I	¹³¹ I	¹⁷⁷ Lu	⁹⁰ Y	⁹⁹ Mo	^{99m} Tc	⁶⁸ Ge	⁶⁸ Ga	¹⁷⁷ Lu	^{99m} Tc	²²⁵ Ac	²¹¹ At	占标率 合计
技股份有限公司	占标率	3.99E-06	4.20E-03	3.08E-07	7.05E-08	8.56E-06	1.71E-07	5.99E-07	2.13E-09	1.40E-42	3.97E-09	1.21E-06	8.74E-09	4.21E-03
顺丰集散中心	年摄入量	3.71E+00	3.90E+01	1.82E-02	3.30E-02	6.06E-01	6.06E-01	3.02E-03	3.02E-03	8.24E-02	1.41E-02	9.52E-06	3.85E-05	/
	占标率	2.86E-06	3.00E-03	2.19E-07	5.01E-08	6.06E-06	1.21E-07	4.26E-07	1.51E-09	9.93E-43	2.82E-09	8.65E-07	6.21E-09	3.01E-03
泓奇实业股份有 限公司	年摄入量	3.80E+00	3.99E+01	1.89E-02	3.42E-02	6.71E-01	6.71E-01	3.34E-03	3.34E-03	9.12E-02	1.56E-02	1.06E-05	4.26E-05	/
	占标率	2.92E-06	3.07E-03	2.27E-07	5.19E-08	6.71E-06	1.34E-07	4.71E-07	1.67E-09	1.10E-42	3.12E-09	9.60E-07	6.86E-09	3.08E-03
中加美电子科技 产业园	年摄入量	5.35E+00	5.63E+01	2.66E-02	4.82E-02	1.01E+00	1.01E+00	5.01E-03	5.01E-03	1.37E-01	2.34E-02	1.58E-05	6.38E-05	/
	占标率	4.12E-06	4.33E-03	3.20E-07	7.30E-08	1.01E-05	2.02E-07	7.05E-07	2.50E-09	1.65E-42	4.67E-09	1.43E-06	1.03E-08	4.35E-03
兴发铝业(成都) 有限公司	年摄入量	1.95E+00	2.06E+01	9.28E-03	1.68E-02	3.99E-01	3.99E-01	1.98E-03	1.98E-03	5.43E-02	9.28E-03	6.26E-06	2.53E-05	/
	占标率	1.50E-06	1.58E-03	1.12E-07	2.55E-08	3.99E-06	7.98E-08	2.79E-07	9.92E-10	6.54E-43	1.86E-09	5.69E-07	4.08E-09	1.59E-03
成都城冠球科技有 限公司	年摄入量	2.36E+00	2.49E+01	1.13E-02	2.05E-02	4.07E-01	4.07E-01	2.03E-03	2.03E-03	5.55E-02	9.44E-03	6.39E-06	2.58E-05	/
	占标率	1.82E-06	1.91E-03	1.36E-07	3.10E-08	4.07E-06	8.14E-08	2.86E-07	1.02E-09	6.69E-43	1.89E-09	5.81E-07	4.17E-09	1.92E-03
成雅高速收费站	年摄入量	7.18E+00	7.56E+01	2.90E-02	5.26E-02	9.68E-01	9.68E-01	4.82E-03	4.82E-03	1.32E-01	2.25E-02	1.52E-05	6.14E-05	/
	占标率	5.53E-06	5.82E-03	3.50E-07	7.98E-08	9.68E-06	1.94E-07	6.78E-07	2.41E-09	1.59E-42	4.50E-09	1.38E-06	9.90E-09	5.83E-03
四川汉能光伏有 限公司	年摄入量	3.90E+00	4.10E+01	1.66E-02	3.00E-02	5.51E-01	5.51E-01	2.74E-03	2.74E-03	7.50E-02	1.28E-02	8.64E-06	3.50E-05	/
	占标率	3.00E-06	3.16E-03	2.00E-07	4.55E-08	5.51E-06	1.10E-07	3.86E-07	1.37E-09	9.04E-43	2.56E-09	7.85E-07	5.64E-09	3.17E-03
汉龙集团	年摄入量	2.13E+00	2.24E+01	9.52E-03	1.73E-02	3.32E-01	3.32E-01	1.65E-03	1.65E-03	4.52E-02	7.70E-03	5.20E-06	2.10E-05	/
	占标率	1.64E-06	1.72E-03	1.15E-07	2.62E-08	3.32E-06	6.64E-08	2.32E-07	8.24E-10	5.45E-43	1.54E-09	4.73E-07	3.39E-09	1.73E-03

*注：占标率是指：公众成员年吸入放射性核素活度总量占《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WS/T613-2018）吸入摄入量限值（以 0.1mSv/a 为约束限值）。

根据表 5.2-31，公众年吸入放射性核素活度满足《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WS/T613-2018）限值要求，且总摄入量占标率为 $1.59 \times 10^{-3} \sim 5.02 \times 10^{-2}$ ，均小于 1，满足评价标准要求。

表 5.2-32 敏感目标处地面放射性核素所致公众受照剂量计算结果表

敏感目标	2-1 生产线排放口			2-6、2-7 生产线排放口			4-1、4-2、4-3 排放口			合计受照剂量 (mSv/a)
	浸没外照射	地面沉降外照射	吸入内照射	浸没外照射	地面沉降外照射	吸入内照射	浸没外照射	地面沉降外照射	吸入内照射	
厂区综合楼	1.57E-05	4.39E-08	4.82E-03	1.14E-09	3.33E-12	1.09E-06	2.34E-07	1.71E-10	1.28E-05	4.85E-03
厂区办公楼	1.57E-05	4.38E-08	4.82E-03	1.14E-09	3.33E-12	1.09E-06	2.34E-07	1.71E-10	1.28E-05	4.85E-03
成都紫光电子设备有限公司	1.57E-05	4.38E-08	4.82E-03	1.14E-09	3.33E-12	1.09E-06	2.34E-07	1.71E-10	1.28E-05	4.85E-03
仁宝供水加压站	2.60E-06	7.24E-09	7.97E-04	1.52E-10	4.47E-13	1.46E-07	2.81E-08	2.05E-11	1.53E-06	8.01E-04
四川正红生物科技有限公司	1.90E-06	5.28E-09	5.80E-04	1.52E-10	4.47E-13	1.46E-07	3.14E-08	2.29E-11	1.71E-06	5.84E-04
四川环太生物科技股份有限公司	1.32E-06	3.67E-09	4.04E-04	1.05E-10	3.08E-13	1.01E-07	2.17E-08	1.58E-11	1.18E-06	4.07E-04
顺丰集散中心	9.44E-07	2.63E-09	2.89E-04	7.45E-11	2.19E-13	7.14E-08	1.54E-08	1.12E-11	8.39E-07	2.91E-04
泓奇实业股份有限公司	9.65E-07	2.69E-09	2.96E-04	7.72E-11	2.27E-13	7.39E-08	1.70E-08	1.24E-11	9.29E-07	2.98E-04
中加美电子科技产业园	1.36E-06	3.79E-09	4.17E-04	1.09E-10	3.19E-13	1.04E-07	2.55E-08	1.86E-11	1.39E-06	4.20E-04
兴发铝业（成都）有限公司	4.97E-07	1.38E-09	1.52E-04	3.79E-11	1.11E-13	3.63E-08	1.01E-08	7.39E-12	5.52E-07	1.53E-04
成都铖珏科技有限公司	6.01E-07	1.67E-09	1.84E-04	4.62E-11	1.36E-13	4.42E-08	1.03E-08	7.55E-12	5.64E-07	1.85E-04
成雅高速收费站	1.83E-06	5.08E-09	5.59E-04	1.19E-10	3.49E-13	1.14E-07	2.45E-08	1.79E-11	1.34E-06	5.62E-04
四川汉能光伏有限公司	9.91E-07	2.76E-09	3.03E-04	6.77E-11	1.99E-13	6.49E-08	1.40E-08	1.02E-11	7.63E-07	3.05E-04
汉龙集团	5.41E-07	1.51E-09	1.66E-04	3.90E-11	1.15E-13	3.74E-08	8.41E-09	6.14E-12	4.59E-07	1.67E-04

表 5.2-33 一期、二期已评价内容放射性气载流出物所致公众受照剂量统计表

评价阶段	最大贡献值 (mSv/a)	最大占标率 (%)
一期评价内容	5.02×10^{-3} (扣除 2-1 生产线的贡献)	5.02
二期评价内容	1.149×10^{-2} (扣除 2-6、2-7 生产线贡献)	11.49
放射性药物检验研究中心	1.85×10^{-4} ^①	0.185
本项目贡献值	4.85×10^{-3}	4.85
成都药物检验研究院	1.24×10^{-4} ^②	0.124
合计	2.17×10^{-2}	21.7

*注：①数据来源于《成都纽瑞特医疗科技股份有限公司辐射安全许可证增项安全评估报告》；②数据来源于《成都市食品药物检验研究院放射性药品检验检测平台项目环境影响报告表》。

根据表 5.2-33，本项目正常运行条件下，放射性气载流出物所致公众年受照最大剂量为 4.85×10^{-3} mSv/a，同时考虑已评价内容放射气载性流出物所致公众受照射剂量贡献值，最终公众最大受照射剂量为 2.17×10^{-2} mSv/a，满足 0.1mSv/a 约束限值要求。

5.2.3 放射性废水环境影响分析

本项目运营期产生的短半衰期废水通过放射性废液间已有储液罐收集暂存衰变一定时间后取样监测,若监测结果满足排放标准限值要求(总 α 排放标准:1Bq/L;总 β 排放标准 10Bq/L),经审管部门同意后,排入厂区一体化污水处理设施,处理达标后排入园区污水管网,最终引至华阳污水处理厂处理达标后排入锦江,对地表水影响较小。

对于含长半衰期和含 α 核素废水采取单独收集贮存,达到一定量后交由有资质单位进行处理,对地表水环境影响较小。

5.2.4 放射性固体废物环境影响分析

本项目运营期产生的放射性固体废物由建设单位分为 A 类废物(半衰期小于 24h)、B 类废物(半衰期大于 24h 小于 100d)和 C 类废物(半衰期大于 100d),A 类废物暂存 30d 后,取样监测达清洁解控水平,经审管部门同意后,后作为一般固体废物进行处理,B 类废物暂存 10 倍半衰期最长半衰期(固体废物包中所含最长半衰期核素),取样监测达清洁解控水平后,经审管部门同意后,作为一般固体废物进行处理。C 类废物及 α 废物存入长半衰期固体废物暂存间进行贮存,达到一定量后交由有资质单位进行收集处置。采取该措施后放射性固体废物对环境的影响较小。

5.2.5 项目运行期非放射性环境影响

5.2.5.1 废气环境影响

(1) 工艺废气

本项目非放射性废气主要来源于使用的氯化氢、硝酸、硫酸挥发产生的酸雾,由于在使用过程中很少进行开放液面使用,主要采取移液器或注射器进行液体转移或操作,同时根据建设单位提供的资料,年用酸液量仅 10L~24.5L,各工作箱还设置有前置活性炭管道过滤器,因此其酸雾产生量较小,可以忽略。对于无水乙醇挥发性有机物,根据表 1.5-5 预测结果,最大落地浓度为 $49.6\mu\text{g}/\text{m}^3$,满足 $600\mu\text{g}/\text{m}^3$ 评价标准要求,对周围大气环境影响较小。

(2) 餐饮废气

本项目依托公司现有职工食堂。职工食堂餐饮废气主要考虑油烟废气,油烟废气经油烟净化器处理后,通过楼顶的排气筒排入大气环境,其排放浓度能达到国家《饮食业油烟排放标准》(GB18483-2001)标准要求。另外,职工食堂使用天然气

作为燃料，天然气属于清洁燃料，其使用不会对周围大气环境造成明显不利影响。

5.2.5.2 废水环境影响

本项目运营期非放射性废水包括：工艺废水、生活废水、洁衣清洗废水和洗手废水，非放射性废水产生量为 $7.46\text{m}^3/\text{d}$ ，该废水排入一体化污水处理设施处理后排入园区污水管网，接入华阳污水处理厂进行处理，处理达标后排入锦江，对地表水环境影响较小。

5.2.5.3 固体废物环境影响

本项目运营期产生的生活垃圾、餐厨垃圾、废油脂、污泥等非放射性固体废物交由四川省顺美环境卫生管理有限责任公司清运，工艺固体废物采取分类收集对可回收的固体废物交由废品收购站处置，对不可回收的固体废物集中收集后由环卫部门统一集中处理与处置。危险废物交由成都兴蓉环保科技有限公司进行处置。采取该措施后非放射性固体废物对环境的影响较小。

5.2.5.4 噪声环境影响

本项目生产及配套设施产生的噪声通过车间厂房隔声处理，对厂界周围声环境影响较小。

5.3 事故影响分析

5.3.1 事故分级判断依据

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 449 号）和《四川省生态环境厅（四川省核安全局）辐射事故应急预案（2020 版）》，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（I级）、重大辐射事故（II级）、较大辐射事故（III级）和一般辐射事故（IV级）等四级，详见表 5.3-1。

表 5.3-1 辐射事故等级划分表

事故等级	危害结果	放射性同位素失控量化指标
特别重大辐射事故（I级）	放射性同位素失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。	①事故造成气态放射性物质的释放量大于等于 $5.0\text{E}+15\text{Bq}$ 的 I-131 当量，或者事故造成大于等于 3km^2 范围的环境剂量率达到或超过 0.1mSv/h ，或者 β/γ 沉积水平达到或超过 $1000\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，或者 α 沉积活度达到或超过 $100\text{Bq}/\text{cm}^2$ ； ②事故造成水环境污染时液态放射性物质的释放量大于等于

事故等级	危害结果	放射性同位素失控量化指标
		<p>1.0E+13Bq 的 Sr-90 当量；</p> <p>③事故造成地表、土壤污染（未造成地下水污染）时液态放射性物质的释放量大于等于 1.0E+14Bq 的 Sr-90 当量；</p> <p>④在放射性物质运输过程中，发生事故造成大于等于 25000D₂ 的放射性同位素释放。</p>
重大辐射事故(II级)	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。	<p>①事故造成气态放射性物质的释放量大于或等于 5.0E+14Bq，且小于 5.0E+15Bq 的 I-131 当量，或者事故造成大于等于 0.5km²，且小于 3km² 范围的环境剂量率达到或超过 0.1mSv/h，或者 β/γ 沉积水平达到或超过 1000Bq/cm²，或者 α 沉积活度达到或超过 100Bq/cm²；</p> <p>②事故造成水环境污染时液态放射性物质的释放量大于等于 1.0E+12Bq，且小于 1.0E+13Bq 的 Sr-90 当量；</p> <p>③事故造成地表、土壤污染（未造成地下水污染）时液态放射性物质的释放量大于等于 1.0E+13Bq，且小于 1.0E+14Bq 的 Sr-90 当量；</p> <p>④在放射性物质运输过程中，发生事故造成大于等于 2500D₂，且小于 25000D₂ 的放射性同位素释放。</p>
较大辐射事故(III级)	放射性同位素导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。	<p>①事故造成气态放射性物质的释放量大于等于 5.0E+11Bq，且小于 5.0E+14Bq 的 I-131 当量，或者事故造成大于等于 500m²，且小于 0.5km² 范围的环境剂量率达到或超过 0.1mSv/h，或者 β/γ 沉积水平达到或超过 1000Bq/cm²，或者 α 沉积活度达到或超过 100Bq/cm²；</p> <p>②事故造成水环境污染时液态放射性物质的释放量大于等于 1.0E+11Bq，且小于 1.0E+12Bq 的 Sr-90 当量；</p> <p>③事故造成地表、土壤污染（未造成地下水污染）时液态放射性物质的释放量大于等于 1.0E+12Bq，且小于 1.0E+13Bq 的 Sr-90 当量；</p> <p>④在放射性物质运输过程中，发生事故造成大于等于 2.5D₂，且小于 2500D₂ 的放射性同位素释放。</p>
一般辐射事故(IV级)	放射性同位素失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。	<p>①事故造成气态放射性物质的释放量大于等于 5.0E+10Bq，且小于 5.0E+11Bq 的 I-131 当量，或者事故造成小于 500m² 范围的环境剂量率达到或超过 0.1mSv/h，或者 β/γ 沉积水平达到或超过 1000Bq/cm²，或者 α 沉积活度达到或超过 100Bq/cm²；</p> <p>②事故造成水环境污染时液态放射性物质的释放量大于等于 1.0E+10Bq，且小于 1.0E+11Bq 的 Sr-90 当量；</p>

事故等级	危害结果	放射性同位素失控量化指标
		③事故造成地表、土壤污染（未造成地下水污染）时液态放射性物质的释放量大于等于 $1.0E+11Bq$ ，且小于 $1.0E+12Bq$ 的 Sr-90 当量； ④在放射性物质运输过程中，发生事故造成大于等于 $0.25D_2$ ，且小于 $2.5D_2$ 的放射性同位素释放。

5.3.2 辐射事故影响分析

5.3.2.1 事故类型

根据污染源分析本项目可能存在的潜在辐射事故类型包括：

- ①工作人员误操作或场所火灾因素，导致放射性溶液撒漏；
- ②工作箱负压不足或破损泄漏导致放射性气溶胶逸散到操作区；
- ③排风系统过滤装置达到饱和或受照、断电导致过滤失效；
- ④放射性物品暂存、运输因管理不善导致丢失、被盗并释放到环境（地表水、土壤）中；

根据本项目实际特点，本次评价选择辐射事故等级判定因子为：事故造成气态放射性物质的释放量（碘-131 当量），事故造成水环境污染时放射性物质的释放量（锶-90 当量），事故造成地表、土壤污染时放射性物质的释放量（锶-90 当量），职业人员及公众受照剂量。

5.3.2.2 气态放射性物质释放事故状态下的影响分析

（1）事故情景假设

①本项目过滤装置设置有在线监测系统，当过滤器失效时将显示故障提示进行检修，事故持续时间以天计，气态放射性物质的释放量以每日最大操作的挥发量作为评价；

- ②当过滤装置失效，释放的气态放射性物质全部释放到空气环境中；
- ③当工作箱泄漏时，人员操作位的放射性核素浓度与工作箱内浓度相同；
- ④本项目不涉及气态物质的操作，评价选择易挥发的碘-131 作为评价核素。

（2）事故后果影响分析

碘-131 标记药物日操作量最大，根据源项分析，每日碘-131 气溶胶最大产生量为 $3.55 \times 10^8 Bq$ ，小于 $5.0 \times 10^{10} Bq$ ，释放速率为 $629 Bq/s$ ，对公众所致受照剂量见表 5.3-2。

表 5.3-2 过滤器失效状况公众受照剂量计算表

距离 (m)	受照射类型	放射性核素浓度 (Bq/m ³)	吸入内照射剂量 (mSv)
人员操作位	职业	3.0E+04	4.03
0~114	公众	0.28	1.13E-04
120		4.52E-02	1.82E-05
150		3.61E-02	1.46E-05
200		2.71E-02	1.09E-05
300		1.80E-02	7.26E-06
400		1.35E-02	5.44E-06
500		1.8E-02	7.26E-06

注：职业人员受照时间取 8h，公众受照时间取 24h。

根据表 5-6，过滤器失效状态下，碘-131 气溶胶最大释放量小于 5.0×10^{10} Bq，公众吸入内照射所致最大受照剂量为 1.13×10^{-4} mSv，小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众 1mSv 的剂量限值，不构成辐射事故，属于辐射事件；当工作箱泄漏状态下，职业人员吸入内照射所致最大受照剂量为 4.03mSv/a，小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业 20mSv 的剂量限值，不构成辐射事故，属于辐射事件。

5.3.2.3 液态放射性物质释放事故状态下影响分析

本次评价以本次以核素单日最大操作量最为事故状态下的释放量，各核素事故状态下铯-90 当量释放量见表 5.3-3。

表 5.3-3 事故状态下铯-90 当量释放量计算表

核素	评价核素日最大操作量 (Bq)	评价核素食入所致待积有效剂量 (Sv/Bq) ^①	铯-90 当量释放量 ^② (Bq)
¹³¹ I	3.55E+11	1.8E-07	2.78E+11
¹²³ I	1.48E+11	2.2E-09	1.42E+09
¹⁷⁷ Lu	1.85E+12	6.1E-09	4.91E+10
⁹⁰ Y	1.30E+12	3.1E-08	1.75E+11
⁹⁹ Mo	7.4E+12	5.5E-09	1.77E+11
^{99m} Tc	7.4E+11	2.0E-10	6.43E+08
⁶⁸ Ge	3.7E+10	1.2E-08	1.93E+09
⁶⁸ Ga	3.7E+10	1.2E-09	1.93E+08
²²⁵ Ac	1.04E+09	4.6E-07	2.08E+09
²¹¹ At	1.04E+09	1.2E-07	5.43E+08

*注：①食入所致待积有效剂量根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 B6 查得；②镱-90 当量释放量=评价核素释放量（Bq）×评价核素食入待积有效剂量（Sv/Bq）/镱-90 食入待积有效剂量（Sv/Bq）。

本项目放射性核素最大释放当量为 2.78×10^{11} Bq，当其释放到水环境时，超过 1.0×10^{11} Bq 的镱-90 当量，构成较大辐射事故，当其释放到地表、土壤时，小于 1.0×10^{12} Bq 的镱-90 当量，构成一般辐射事故。

5.2.3.4 放射性物质撒漏事故状态下影响分析

①事故情景假设

对于使用密封防护工作箱进行生产的各类生产线，放射性溶液撒漏不会直接沾染工作人员手部皮肤，因而对人体的影响不大。放射性研发使用防护通风橱等半开敞式环境操作下，会因撒漏对工作人员造成辐射影响。

A、假设发生事故时溅洒活度为日最大活度；

B、假设溅洒溶液在手部均匀分布，沾染面积取成人平均手部表面积 100cm^2 ，

C、假设事故处理时间持续 2min。

(2) 事故后果影响分析

不同放射性核素溅洒到手部时，每 1kBq cm^{-2} 对皮肤造成的剂量率及事故状态下受照剂量见表 5.3-4。

表 5.3-4 放射性溶液溅洒对手部照成的剂量计算表

核素	日最大操作活度 (Bq)	手部沾染活度 (kBq)	每 1kBq cm^{-2} 对皮肤造成的剂量率辐射剂量率 (mSv/h)	事故中皮肤受照剂量 (mSv)
^{131}I	5.18E+07	3.45E+02	1.62	28.0
^{90}Y	5.18E+07	3.45E+02	0.38	6.56
^{68}Ga	1.85E+07	1.23E+02	2.03	12.5

经计算，单次事故状态下职业人员手部最大受照剂量为 28mSv，小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量 500mSv 的限值，不构成辐射事故，属于辐射事件。

5.2.3.5 辐射事故应急措施

发生辐射事故时，采取的应急处理措施如下：

(1) 当发生过滤装置失效、通风系统失效或工作箱泄漏时候时，应及时组织人员对设备进行检修，并对室内放射性气溶胶进行采样监测，并对职业人员进行内照射监测，带维修正常且室内放射性气溶胶降低至本地水平后再开展工作。

(2) 由于操作不慎，有少量的液态药物溅洒。发生这种事故应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。最后用表面沾污仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， α 表面沾污大于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， α 表面沾污小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。

(3) 因不慎造成放射性核素大面积污染了地面或台面时，应先用吸收滤纸将其吸干，以防扩散，并立即标记污染范围，注明放射性核素名称、日期。根据污染程度及时报告上级领导和有关部门。人体溅污放射性核素时，应先用吸水纸吸干体表，避免污染面积扩大，之后根据不同核素分别去污，最终去污标准 β 表面沾污需达到 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， α 表面沾污需达到 $4\times 10^{-2}\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

(4) 若发生放射性试剂丢失、被盗，应立即启动辐射事故应急预案；分析确定丢失、被盗事故的具体时间及原因，向相关部门提供信息，根据有关线索，组织人员协同相关部门查找丢失、被盗放射性同位素，在查找过程中携带辐射监测仪器，防止事故处理人员受到照射；对放射性同位素丢失前存放场所进行监测，根据现场辐射剂量率的大小确定是否受污染。如现场受到污染出现辐射剂量率异常情况，根据辐射剂量率大小划定警戒线，撤离警戒区域内的所有人员，事故处理人员应穿戴防护用品，佩戴个人剂量计进入事故现场。

(5) 放射性废物处置或管理不当造成污染时，立即划定警戒区，并设置放射性污染标识，限制无关人员靠近，由专业人员处理，经监测满足解控要求后再解除警戒。

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组织机构

目前建设单位已成立“辐射防护与安全管理小组”，由公司总经理担任组长，并已成立安全环保专职部门，设立专职辐射安全管理人员4人，“辐射防护与安全管理小组”职责如下：

①全面负责公司内的辐射安全管理工作；②认真学习贯彻国家相关法规、标准，结合公司实际制定安全规章制度并检查监督实施；③负责公司内放射工作人员的法规教育和安全环保知识培训；④检查安全环保设施，开展环保监测，对公司内使用非密封放射性物质及射线装置安全防护情况进行年度评估；⑤实施放射工作人员的健康体检并做好体检资料的档案管理工作；⑥编制辐射事故应急预案，并妥善处理公司有可能发生的辐射事故；⑦定期向环保和主管部门报告安全工作，接受环保监督、监测部门的检查指导。

6.1.2 辐射工作人员配备情况

目前建设单位在岗辐射工作人员 54 人，均已参与辐射安全与防护知识学习和合格，并考核合格后上岗（详见表 6-1），同时根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《关于发布《注册核安全工程师执业资格关键岗位名录》（第一批）的通知》（国核安发[2010]25 号），建设单位辐射安全关键岗位已配备 2 名（丁愿、李冬梅）注册核安全工程师。

表6.1-1 在岗辐射工作人员学习考核一览表

姓名	培训证书号	备注	姓名	培训证书号	备注
蒋登荣	F1807012	/	白冰	CHO44940	/
冉崇霖	FS20SC0000010	/	胡晓阳	F1807009	/
田泽丰	F1807013	/	罗宇	FS21SC2200036	/
谢万舟	FS20SC0100214	/	赵小生	FS20SC0000013	/
马小雪	CHO44943	/	赵翔	H1924003	/
刘智弘	F1807008	/	杨小丹	H1924053	/
路静	G1802026	/	白翹遥	H1924052	/
廖明月	CHO32854	/	李冬梅	FS20SC1000194	注册核安全

姓名	培训证书号	备注	姓名	培训证书号	备注
					工程师
谢亚飞	FS21SC2300187	/	张双	G1802022	/
卞洁	CHO44941	/	李向晖	F1807005	/
胡仁鑫	G1802023	/	赵宗利	H1924057	/
黎卓铭	G1802024	/	廖庆莉	H1924058	/
熊遥	H1924054	/	余维珍	CHO44942	/
陈华西	F1807007	/	付锦	D1805085	/
丁款	FS21SC2300213	/	罗媛元	FS20SC1000246	/
韦贤理	FS21SC2300188	/	陈翔宇	FS21SC2200156	/
张钧	G1802025	/	马超	FS21SC2300127	/
罗显进	FS21SC2300280	/	卢振刚	FS21SC2300059	/
石磊	FS21SC230024	/	周子豪	FS21SC1000028	/
丁愿	G1802021	注册核安全 工程师	何状	FS21SC1000007	/
陈坤	CHO32855	/	孔红秀	FS21SC1000009	/
马文亮	F1807006	/	于坤茹	FS20SC1000206	/
熊毕清	FS21SC2300220	/	范欣怡	FS21SC2300178	/
李浩铭	FS21SC2300229	/	李欢	FS21SC2300032	/
钟舒	FS21SC2300135	/	田昊樾	FS21SC1000017	/
朱绍贵	FS21SC1000020	/	卢政全	FS21SC2300023	/
吴洁	FS21SC2300217	/	范朝政	FS21SC1000023	/

本项目拟新增辐射工作人员12人，建设单位承诺，将依据生态环境部《关于做好2020年核技术利用辐射安全与防护培训和考核工作有关事项的通知》（环办辐射函〔2019〕853号）要求，积极组织项目新增辐射工作人员上岗前参加辐射安全和防护学习、考核，并在考核合格后上岗。

6.2 辐射安全管理规章制度

6.2.1 制度要求及落实

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的相关管理要求，非密封放射性物质工作场所的单位应当具备有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。并根

据《生态环境部（国家核安全局）甲级非密封放射性物质工作场所监督检查技术程序》（NNSA/HQ-08-JD-IP-005）和《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函〔2016〕1400号）的相关要求，建设单位目前已落实的规制制度情况见表 6.2-1。

表 6.2-1 建设单位辐射安全管理规章制度落实情况对照表

制度	具体制度要求	落实情况	备注
综合	辐射安全与防护管理大纲	辐射防护管理规程（SMP-15001-01）	符合要求
放射性物质	非密封放射性物质的管理规定	放射性物质管理规程（SMP-15008-01）	符合要求
	物料平衡管理规定	放射性物料和产品管理规程（SMP-06006-01）	符合要求
场所管理	场所分区管理规定	放射性工作场所分区管理规程（SMP-04002-02）、放射性废物暂存库管理规程（SMP-04010-02）	符合要求
	操作规程	以及各生产线、实验室安全操作规程	符合要求
	安保管理规定	人员进出放射性工作区管理规程（SMP-04017-01）	符合要求
	去污操作规程	放射性工作场所和人员表面去污（SOP-04020-01）	符合要求
	安全防护设施的维修与维护制度	辐射防护监督检查管理规定（SMP-15004-01）	符合要求
监测	监测方案	辐射监测管理规程（SMP-15003-03）	符合要求
	监测仪表使用与校验管理制度	AT-1121/AT1123 便携式剂量率仪、FH40TG 长杆剂量率仪、Model 375 区域 γ 监测仪、CoMo170 型便携式表面污染仪、SmartCAM 气溶胶在线监测仪、CF901 便携式气溶胶碘取样仪、TCS-316H 便携式表面污染仪、PDM-501 电子个人剂量计、IA-V2 射线仪、PDM-227-SH 电子个人剂量计使用维护保养（SOP-05051-02、SOP-05052-01、SOP-05053-01、SOP-05054-01、SOP-05055-01、SOP-05056-01、SOP-05057-01、SOP-05058-01、SOP-05059-01、SOP-05060-01）	符合要求
人员	辐射工作人员培训/再培训管理	辐射安全培训管理规程（SMP-03010-02）	符合要求

制度	具体制度要求	落实情况	备注
	制度		
	辐射工作人员个人剂量管理制度	个人剂量监测管理规程（SMP-15002-02）	符合要求
应急	辐射事故应急预案	辐射事故应急预案（SMP-15009-01）	符合要求
三废	放射性“三废”管理规定	（SMP-15007-01）放射性三废处理管理规程、放射性三废处理（SOP-15002-01）	符合要求

目前建设单位，已根据《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函〔2016〕1400号）要求将制度中相关《辐射工作场所安全管理要求》、《辐射工作人员岗位职责》、《操作规程》和《辐射事故应急响应程序》悬挂于辐射工作场所内，且上墙制度的尺寸不小于400mm×600mm。建设单位承诺，对于新增辐射工作场所和新的生产实验工艺将重新制定操作规程并按要求将相关辐射安全管理规章制度张贴上墙，同时在后期实践过程中，辐射防护与安全管理小组还将定期对辐射安全管理规章制度执行情况进行评议，并根据具体实践存在的问题及时进行修改和完善。

6.2.2 档案管理

建设单位辐射安全与环保相关档案资料放置于“安全环保部”办公室，对照《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），建设单位落实的档案管理情况见表6.2-2。

表 6.2-2 档案管理落实情况对照表

序号	规定档案	落实档案
1	制度文件	辐射安全管理制度档案
2	环评资料	项目“三同时”档案
3	许可证资料	辐射安全许可证申请档案
4	放射源和射线装置台账	放射性同位素转让档案
5	监测和检查记录	辐射安全检查档案、年度监测档案、 γ 剂量率监测单位、表面沾污监测档案、气溶胶监测档案
6	个人剂量档案	个人剂量监测档案
7	培训档案	辐射安全培训档案
8	辐射应急资料	应急演练档案
9	废物处置记录	放射性液体管理档案、放射性固废管理档案
10	其他相关档案	健康体检档案、年度评估档案、仪器检定档案

6.3 辐射监测

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《操作开非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中的相关规定，本项目监测内容包括：个人剂量监测、工作场所监测、流出物（废物）监测、环境监测、产品监测。目前建设单位已制定《辐射监测管理规程》（SMP-15003-02）执行辐射监测工作，并建立辐射环境监测档案，由安全环保部专职辐射安全管理人员管理。

6.3.1 个人剂量监测

本项目所有辐射工作人员均已配备热释光个人剂量计，同时对于进入控制区的辐射工作人员还配备直读式个人剂量报警仪（可以即时显示工作人员操作现场的 γ 辐射水平和工作人员的累积剂量，如果现场 γ 辐射水平超过设定的报警阈值，仪器将发出报警），热释光个人剂量计定期（每季度一次）送有资质单位（中国辐射防护院）进行检测。

根据统计结果，2021 年建设单位辐射工作人员全年个人剂量累计量为 $0\text{mSv}\sim 0.54\text{mSv}$ ，未出现个人剂量超标情况，建设单位承诺对于本项目新增辐射工作人员也将配备个人剂量计，并按要求正确佩戴个人剂量计。在后区运营过程中建设单位将持续按《四川省环境保护厅关于印发〈四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）〉的通知》（川环函〔2016〕1400 号）的要求做好个人剂量管理工作。

①应为每位辐射工作人员建立个人剂量档案，并终生保存。②对于某一季度个人剂量检测数据超过 1.25mSv 的辐射工作人员，要进一步开展调查，查明原因，撰写调查报告并由当事人在情况调查报告上签字确认。对于全年累计检测数值超过 5mSv 的，要查明原因，采取暂停开展放射性工作等进一步干预手段，并撰写调查报告，经本人签字确认后，上报辐射安全许可证发证机关；③当单年个人剂量超过 50mSv 时，需调查超标原因，上报辐射安全许可证发证机关，确认是否启动辐射事故应急预案。④在每年的 1 月 31 日前上报的辐射安全和防护状况自查评估报告中，应包含辐射工作人员剂量监测数据及安全评估的内容。

6.3.2 工作场所监测

对于工作场所监测分为：区域 γ 辐射剂量率监测、区域空气放射性监测和表面

沾污。

（1）区域 γ 辐射监测

区域 γ 辐射监测用于监测生产线车间内放射性工作区域的 γ 辐射水平，设置固定式区域 γ 监测点，对于固定式监测点覆盖不到的场所使用便携式 γ 测量仪进行监测。

固定式区域 γ 监测点就地显示测点位置 γ 辐射水平，当 γ 辐射水平超过预先设定的报警阈值时就地和远程控制单元实时发出声光报警信号，起到提醒、警示作用，保证工作人员免受过量照射。生产线后区监测点使用宽量程 γ 探测器，具有阈值设定和超限报警功能（设定阈值为 $5\mu\text{Sv/h}$ ）。其余监测点使用普通量程 γ 探测器。

（2）区域空气放射性监测

区域空气放射性监测采用便携式气溶胶/碘取样仪进行产线工作区域空气中气溶胶放射性活度浓度测量，确保工作人员的辐射安全。

（3）表面沾污监测

①场所中的表面污染监测对象包括放射性药品生产场所的工作台面、地面、设备表面、墙壁等，可采用直接测量法或擦拭取样测量法进行测量。直接测量法采用便携式表面污染监测仪现场测量；擦拭取样测量法适用于 γ 辐射水平较高的区域或不平整的污染表面。

②在卫生通道门口设置表面污染监测仪用于手脚表面污染监测，当其超过预先设定的报警阈值时，仪器报警，提醒工作人员对手脚进行去污处理。

表 6.3-2 工作场所监测计划表

场所	监测点位	监测项目	监测频次	备注
2-1、2-6、2-7、4-1、4-2、4-3 生产线、放射性药物检验研究中心、放射性药物研发实验室、放射性固废暂存间、放射性废液暂存间、放射性原料暂存间、放射性产品暂存间等	控制区内所有房间，控制区内职业人员操作位，控制区外相邻的房间及楼上、楼下等区域	γ 辐射剂量率	每月一次	自行监测
			每年一次	委托监测
	控制区内所有房间	气溶胶（总 α/β ）	每月一次	自行监测
			每年一次	委托监测
	人员易接触或放射性物品易撒漏的墙面、地面、工作台等区域	α/β 表面沾污	每月一次	自行监测
			每次生产结束后	自行监测
			每年一次	委托监测
	工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋和帽子等	α/β 表面沾污	每次涉及放射性操作后离开场所	自行监测

			前	
--	--	--	---	--

6.3.3 放射性废物监测

(1) 放射性气载流出物监测

本项目 1#排气筒设置在线监测系统和手工采样口，4#、5#排气筒设置在线采样系统和手工采样系统，3#排气筒设置手工采样口。

(2) 放射性液态流出物监测

对于放射性液态流出物的监测主要是针对含短半衰期废液进行监测，本项目放射性废液暂存间储液罐设置有废液采样口进行取样监测。

(3) 放射性固体废物监测

对于放射性固体废物监测，主要是在针对短半衰期放射性固体废物进行监测，本项目放射性固废暂存间设置有暂存地坑，达到衰变时间后进行取样监测。

(4) 监测计划

根据本项目气载性流出物、液态流出物和放射性固体废物特性及项目实际情况，其监测计划见表 6.3-3。

表 6.3-3 放射性流出物及放射性固废监测计划表

监测对象	监测因子	监测频次	备注
1#、4#、5#排气筒放射性气载流出物	总 α 、总 β	连续监测	自行监测
	总 α 、总 β 、 γ 核素	每年一次	委托监测
3#排气筒放射性气载流出物	总 α 、总 β 、 γ 核素	每年一次	委托监测
放射性液态流出物	总 α 、总 β 、如总 α 大于 0.5Bq/L，总 β 大于 1.0Bq/L，分析 γ 核素	排放前	委托监测
放射性固体废物	α/β 表面沾污、 γ 空气吸收剂量率	清洁解控前	委托监测

6.3.4 过滤器效率监测

根据设备性能要求定期对过滤器的阻力进行监测，并做好记录，高效空气过滤器的阻力达到初阻力的两倍或出现无法修补的渗漏时予以更换。此外，当过滤器两端压差异常（如穿漏）时亦予以更换。

6.3.5 产品监测

每批次药物生产结束装罐后，在进行打包时需对货包表面进行监测，监测内容包括： α/β 表面沾污， γ 辐射剂量率，货包表面任意一点的 γ 辐射剂量率需满足《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2019）要求，若不满足需对铅罐表面进行去污或

变更铅罐屏蔽设计。

6.3.6 环境监测

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中“5.3.1 应用非密封放射性物质”的辐射环境监测要求及本项目实际情况，本项目辐射环境监测计划见表 6.3-4。

表 6.3-4 辐射环境监测内容

监测对象	监测项目	监测点位	监测频次	备注
γ辐射	γ辐射空气吸收剂量率	以工作场所为中心,半径50~300m范围内敏感目标	1次/季	委托监测
土壤	总α、总β、γ核素	以工作场所为中心,半径50~300m范围内敏感目标	1次/年	委托监测
地表水	总α、总β、γ核素	华阳污水处理厂排放口上下游500m处	1次/年	委托监测
底泥	总α、总β、γ核素	华阳污水处理厂排放口上下游500m处	1次/年	委托监测

6.3.7 监测设备

根据前述监测计划，建设单位已有及新增监测设备配备情况见表 6.3-5，监测设备具体参数见表 6.3-6。

表 6.3-5 辐射环境监测内容

监测设备名称	规格型号	数量	使用场所	备注
区域γ辐射监测	WF-GM-DTA 通用GM管探测器	1	2车间放射性原料暂存间（2#）、长半衰期放射性固废暂存间、放射性药物检验研究中心	已有
	Model 375	7	2-1生产线、2车间产品暂存间、发货大厅、放射性原料暂存间（1#）、短半衰期放射性固废暂存间、放射性废液暂存间、放射性药物检验研究中心	已有
	未定	7	2-1（溶靶间）、2-6、2-7、4-1、4-2、4-3生产线、4车间放射性产品暂存间	新增
便携式γ剂量率仪	AT1121	2	2-1、2-6、2-7生产线、放射性药物检验研究中心	已有
	AT1121	1	全厂区	已有
	未定	1	4-1、4-2、4-3生产线	新增
长杆便携式γ剂量率仪	FH40TG	1	全厂区内	已有
便携式表面沾污仪	Inspector alert IA-V2	1	2-1生产线	已有
	未定	2	2-6、2-7生产线	新增

监测设备名称	规格型号	数量	使用场所	备注
	CoMo 170、Inspector alert IA-V2	2	放射性药物检验研究中心	已有
	CoMo 170、TCS-316H 日立防刺穿	1	全厂区内	已有
	未定	3	4-1、4-2、4-3 生产线	新增
全身表面 a、 β 污染监测仪	SIM-MAX BA3330	1	2-1、2-2、2-3、2-4、2-5、2-6、2-7、 2-8 生产线共用	已有
a、 β 污染手脚沾污仪	未定	1	4-1、4-2、4-3 生产线	新增
便携式气溶胶碘取样仪	CF901 取样器	1	全厂区内	已有
	CF1001 取样器	1	全厂区内	已有
α 、 β 气溶胶在线监测仪	SmartCAM	1	2-1、2-2 生产线废气排放口	已有
气溶胶在线取样回路系统	WF-ASE-3011	1	2-3、2-4、2-5、2-6、2-7、2-8 生产线废气排放口	已有
	未定	1	4-1、4-2、4-3 生产线废气线排放口	新增
电子个人剂量计	PDM-501 日立、DMC3000	15	全厂区内	已有
	新增	4	全厂区内	新增

表 6.3-6 本项目已有监测仪器性能及指标一览表

仪器名称	型号规格	主要参数	用途
区域 γ 辐射监测	WF-GM-DTA 通用 GM 管探测器	能量范围：50keV~3MeV 量程：0.1 μ Sv/h~10mSv/h	区域 γ 辐射水平的监测与数据的显示
	就地辐射处理单元	有 4、2、1 通道 3 种	
	报警灯铃等配件	声光报警	报警
区域 γ 辐射监测	环境水平区域 γ 辐射监测仪 Model 375/1	内置 CSI 探测器量程:0.01 μ Sv/h~99.99 μ Sv/h	区域 γ 辐射水平的监测
	高量程区域 γ 辐射监测仪 Model 375/2	内置 GM 探测器量程:1 μ Sv/h~ 10mS/h	
	电脑、打印机及电缆等配件，辐射监测软件	并网方式可选有限或者是无线；内置电池可在断电情况下连续工作 48 小时（非报警模式）；12 小时（报警模式）	γ 剂量率监测数据的显示与统计
便携式 γ 剂量率仪	AT1121	X 射线、 γ 射线剂量范围 10nSv 到 10Sv；能量响应范围（Cs-137, 0.662MeV）： \pm 30% 能量范围 15keV 到 60keV， \pm 25% 能量范围 60keV 到 3MeV， \pm 50% 能量范围 3MeV 到 10MeV。	用于环境 γ 剂量率检测
	AT1123	环境持续X射线、 γ 射线剂量率：50nSv/h~10Sv/h；短时辐射剂量率：5nSv/h~10Sv/h；环境 X 射线、 γ 射线剂量（低于剂量）：10nSv~10Sv；对于持续和短时辐射测试模式的能量范围：15keV~3MeV；对于脉冲辐射测试模式的能量范围：15keV ~10MeV.	
长杆便携式 γ 剂量率仪	FH40TG	GM 计数管 2 个，X 射线、 γ 射线剂量范围 0.1 μ Sv/h~10Sv/h。	用于 γ 剂量率检测
便携式气溶胶碘取样仪	CF901 取样器	最大流量（CF-901）：12CFM(FP2063-20)&6.5CFM(FP 5211-20)；	场所/环境中气溶胶、碘取样
$\alpha\beta$ 气溶胶在线	SmartCAM	γ 剂量率探测器，量程 0.01Sv/h~10Sv/h;能响:50keV~3MeV 量程(探测下限): α 量程	气溶胶中 α 、 β 活度

仪器名称	型号规格	主要参数	用途
监测仪		0.01Bq/m ³ - 10'Bq/m ³ ;β 量程 1Bq/m ³ - 10'Bq/m 典型探测效率: Am241/Pu239~22.5%;Co60~15%; C14~6%	实时监测
便携式表面污染仪	TCS-316H 日立防刺穿	测量对象: β; 探测器: 遮光膜一体型塑料闪烁体(防刺穿); 探测效率: 45%±25%; 计数率: 0~999min ⁻¹ , 1.00K~9.99kmin ⁻¹ , 10.0k~99.9kmin ⁻¹ ;	辐射监测
表面沾污仪	美国 IMI Inspector alert	探测器卤素淬灭剂 GM 管, 有效直径 45mm, 云母窗密度 1.5-2.0mg/cm ³ ; 平均周期每 3s 更新一次, 显示前 30s 的平均值。操作量程 0.001 到 100.0 mR/hr, 0 到 300,000 CPM, 记数总计 1 到 9,999,000; 0.01 到 1,000μSv/hr, 0 到 5,000 CPS; 效率 Sr-90 (546KeV, 2.3MeV β max)的效率约 75%; C-14 (156KeV β max) 的效率约 11%; Bi-210 (1.2 MeV β max) 的效率约 64%; Am-241 (5.5 MeV α) 的效率约 36%;	用于表面污染水平的监测
表面污染仪	CoMo 170	ZnS 涂层、薄膜塑料闪烁体; 探测器尺寸: 170 平方厘米; 声光报警; 保护栅格透射率: >82%; 大尺寸 LCD 显示, 带背景灯; 探测效率 (2π, 放射源面积 100 平方厘米): 23% (Co-60、25% (P-32)、42% (Sr-90/Y-90)、21% (I-131)、8% (In-111); 本底: α: 0.1cps, β/γ 15-25cps。	表面污染检测
全身表面 αβ 污染监测仪	SIM-MAX BA3330	α 最低可探测限: 身体≤0.02Bq/cm ² , 脚部 0.04Bq/cm ² .探测效率≥25% (Am-241)。 β 最低可探测限: 身体≤0.2Bq/cm ² , 脚部 0.4Bq/cm ² .探测效率≥30% (Sr-90/Y-90)。 探测器总探测面积达 10000cm ² 。	表面污染检测
电子个人剂量计	DMC3000	测量范围: 累积剂量 1μSv-10Sv; 剂量率 0.1μSv/h-20Sv/h; 精确度: ±5% (Cs-137); 线性 ±20% 10Sv/h 以下	辐射监测
电子个人剂量计	PDM-501 日立	测量范围: 剂量 0.001μSv-1Sv 剂量率: 0.01μSv/h-10mSv/h 精确度: ±10% 0.1μSv-1Sv 线性: ±20% 1μSv-10mSv	
低本底 αβ 测量仪	LB-1	仪器对于 ⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y β 源的 2π 探测效率比≥55%时; 本底≤0.15cm ⁻² min ⁻¹ ; 仪器对于 239Pu α 源的 2π 效率比≥85%时, 本底≤0.005cm ⁻² min ⁻¹ ; α / β 串道比: α 进入 β 道≤1%, β 进入 α	放射性废水、气溶胶样品的 αβ 活度

仪器名称	型号规格	主要参数	用途
		道 \leq 0.5%；灵敏度 β : $1\times 10^{-3}\text{Bq}$, α : $5\times 10^{-3}\text{Bq}$ ；重复性：仪器连续通电 24 小时，各路探测器效率变化 $\alpha < 2\%$, $\beta < 3\%$ ；本底稳定性：在 1000min 的测量时间内，本底计数变化应在 $(b\pm 3\sigma)$ 的范围内，其中 b 为本底计数的平均值， σ 为本底计数的标准误差。	测量

6.3.8 2021 年工作场所及辐射环境监测情况

2021 年建设单位按照制定的监测计划落实了自行监测，并委托四川省核工业辐射测试防护院（四川省核应急技术支持中心）开展了年度辐射环境监测，监测场所包括：2 车间（2-1、2-2、2-3 生产线、放射性实验室）、动物实验室、放射性药物检验研究中心、放射性药物研发实验室，监测因子包括： γ 辐射剂量率、 α/β 表面沾污、环境空气气溶胶，根据监测结果：场所各监测点 X- γ 辐射剂量率范围为 $0.09\mu\text{Gy/h}\sim 7.6\mu\text{Gy/h}$ （最大值出现在 1 号楼放射性固废暂存间），满足 $25\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求； α 表面污染的范围为 $0\text{Bq/cm}^2\sim 0.03\text{Bq/cm}^2$ ，均满足控制区 $4\sim 40\text{Bq/cm}^2$ ，监督区 $0.4\sim 4\text{Bq/cm}^2$ 放射性表面污染控制水平； β 表面污染的范围为 $0.11\text{Bq/cm}^2\sim 3.21\text{Bq/cm}^2$ ，均满足控制区 40Bq/cm^2 ，监督区 4Bq/cm^2 放射性表面污染控制水平；厂区下风向气溶胶总 α 活度浓度为 $1.00\times 10^{-5}\text{Bq/m}^3$ ，总 β 活度浓度为 $2.80\times 10^{-4}\text{Bq/m}^3$ ，对照项目建设前厂区本底监测结果（总 α ： $1.00\times 10^{-5}\text{Bq/m}^3\sim 4.00\times 10^{-4}\text{Bq/m}^3$ ；总 β ： $1.11\times 10^{-4}\text{Bq/m}^3\sim 3.30\times 10^{-4}\text{Bq/m}^3$ ），属于正常辐射水平。

6.4 辐射事故应急

6.4.1 应急响应机构

建设单位已成立“辐射应急领导小组”，由总经理（第一责任人）统一指挥本单位的应急响应行动，下设：应急办公室、技术支援组、应急执行组 2、保障组，应急执行组 2。应急领导小组职责包括：①负责公司的辐射事故应急预案的建立、发布和实施；②负责制定辐射安全事故处理方案；③负责辐射安全事故分级、调查与分析；④指挥和管理辐射安全事故救援和处置；⑤负责与公安、职业健康和环境保护相关的上级机关沟通、联络和报告工作；⑥负责组织辐射事故应急响应演习；⑦负责应急物资的采购和应急资金的调配。

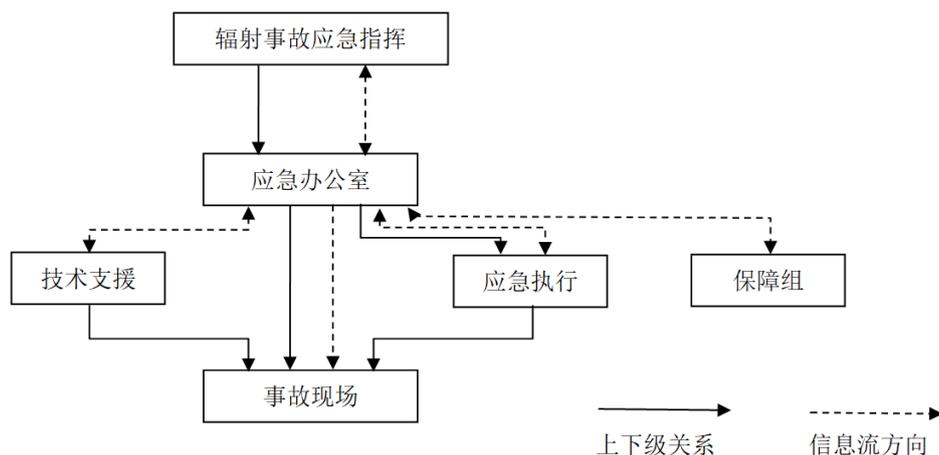


图 6.4-1 应急组织体系

6.4.2 辐射应急响应方案

（1）辐射事故相应等级

根据预估事故严重性，建设单位分为以下三个等级：

①一级，非常严重；属于较大辐射事故。包括：非密封放射性物质（ $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 活度 $\geq 27\text{Ci}$ ， ^{99}Mo 活度 $\geq 8.1\text{Ci}$ ， ^{131}I 活度 $\geq 5.4\text{Ci}$ ）失控、丢失、被盗。

②二级，严重；属于一般辐射事故。包括：除①所列之外的放射性物质失控、丢失、被盗，人员误食或恶意投放非密封放射性物质，人员剂量超过年剂量限值，非密封放射性物质工作箱或手套箱外洒漏可能致环境污染，过滤器饱和、受潮、失效造成过滤效率下降导致的超限释放，火灾、水淹或地震致放射性物质泄漏或不确定放射性物质是否泄露。

③三级，一般；属于辐射事件。包括：人员剂量超管理限值但未超年剂量限值，非密封放射性物质工作箱或手套箱内洒漏污染。

（2）辐射事故应急响应程序

建设单位目前已制定《辐射事故应急预案》（SMP-15009），列出了可能出现的 6 种辐射事故和 2 种辐射事件类型：非密封放射性物质失控、丢失、被盗辐射事故；人员误食或恶意投放非密封放射性物质辐射事故；人员剂量超过年剂量限值辐射事故；非密封放射性物质工作箱或手套箱外洒漏可能导致环境污染辐射事故；过滤器饱和、受潮、失效造成过滤效率下降导致的超限释放辐射事故；火灾、水淹或地震致放射性物质泄漏辐射事故；人员剂量超管理限值但未超年剂量限值事件；非密封放射性物质工作箱或手套箱内部洒漏污染事件。针对每种事故/事件，分别制定

应急响应程序（包括：上报流程、处置程序），同时建设单位已制定内部应急联系通讯录和政府机构应急通讯录，并张贴于各辐射工作场所。

一旦发生辐射事故，应立即启动应急预案，采取必要的应急措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，由应急领导小组按程序逐级上报生态环境主管部门，若发生放射性物品丢失、被盗时同时上报公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向卫生行政部门报告，同时及时组织专业技术人员排除事故，配合各相关部门做好辐射事故调查工作。

6.4.2 应急保障措施

建设单位已储备的应急响应物质保障条件见表 6.4-1。

表 6.4-1 辐射应急响应物质保障

类型	应急物资	数量	存放位置	备注
应急通讯器材	对讲机	6	生产部	已有
	手机	/	各部门	已有
应急处置用品	铅衣、铅手套	3	动物实验室	已有
	电子式个人剂量计	14	生产部、放射性药物检验研究中心、动物实验室	已有
	长杆式 X、 γ 剂量率仪	1	安全环保部	已有
	便携式表面污染仪	6	生产部、放射性药物检验研究中心、动物实验室、安全环保部	已有
	长柄夹具	2	安全环保部	已有
	实验服、手套、口罩	/	物资部	已有
	无纺纸、胶带、酒精	/	安全环保部	已有
	屏蔽铅桶	2	生产部	已有
	碘污染应急药品	/	安全环保部	已有
	警戒带	2	安全环保部	已有
应急后勤保障用品	汽车	3	综合部	已有

6.4.3 应急人员的培训及演练

建设单位先已制定《辐射安全培训管理规程》（SMP-03010-02），其内容已涵盖应急人员的培训内容及要求，建设单位每年进行一次应急培训，2021 年建设单位已自主开展的培训内容包括：消防安全知识培训，辐射安全与防护基础知识培训，安全生产意识、辐射安全知识培训，辐射个人防护与污染处理培训（含考试），辐

射仪器简介选择、公司使用 γ 剂量率仪、表面污染仪、个人剂量计的使用操作培训等。

建设单位每一年组织员工进行应急演练 1~2 次，2021 年开展了一次辐射应急演练，模拟生产车间后区和动物实验室烟感报警下的应急，并在演练结束后对存在的问题进行总结。

6.4.4 辐射事故对照分析

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（生态环境部 18 号令），根据建设单位现有辐射事故应急管理执行对照情况见表 6.4-2。

表 6.4-2 建设单位的应急预案与环境保护部令 第 18 号相关要求的对比

序号	环境保护部令 第 18 号的要求	建设单位的应急预案
1	应急机构和职责分工	成立了“辐射应急领导小组”，由应急办公室、技术支援组、应急执行组 2、保障组组成，全面负责事故应急响应和准备工作。应急预案已明确了应急组织各组的职责分工。
2	应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备	编制了各应急小组成员名单、联系方式。由应急办公室安排人员培训。应急物质与保障已采取了通讯保障、队伍保障、物资和装备保障、经费保障等措施，切实保障应急物质准备到位。
3	辐射事故分级与应急响应措施	应急预案已进行辐射事故分级，并列出了可能出现的 6 辐射事故和 2 种辐射事件类型：非密封放射性物质失控、丢失、被盗事故；人员误食或恶意投放非密封放射性物质事故；人员剂量超过年剂量限值事故；非密封放射性物质工作箱或手套箱外洒漏可能导致环境污染事故；过滤器饱和、受潮、失效造成过滤效率下降导致的超限释放事故；火灾、水淹或地震致放射性物质泄漏或不确定放射性物质是否泄露；人员剂量超管理限值但未超年剂量限值事故；非密封放射性物质工作箱或手套箱内部洒漏污染事故。同时针对每种辐射事故和事件已针对性提出可靠的应急措施，具有可操作性。
4	辐射事故的调查、报告和处理程序	公司应急领导小组配合政府部门对环境进行恢复、事故调查、经验教训总结。制定了应急报告程序和报告内容。对不同类型事故制定了处理程序。
5	制定辐射事故信息公开、公众宣传方案	建设单位有创新发展部负责配合政府部门进行辐射事故信息对外的发布。

根据表 6.4-2，建设单位现有辐射事故应急预案能满足现有辐射活动所需，对于本次新增建设内容，建设单位承诺将根据实际建设内容及时进行修订，以满足后续发展需求。

6.5 从事辐射活动能力综合分析

依据《关于修改<放射性同位素与射线装置安全许可管理办法>的决定》（环境保护部令第 3 号）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护令第 18 号）规定，建设单位从事本项目辐射活动能力评价综合分析列于表 6.5-1 和表 6.5-2 中。

表 6.5-1 项目执行“环保部 3 号令”要求对照表

序号	环保部 3 号令要求	建设单位落实情况	备注
1	设有专门的辐射安全与环境保护管理机构。	建设单位已成立“辐射防护与安全管理小组”，由公司总经理担任组长，同时建设单位已设立安全环保专职部门，专职负责厂区日常辐射安全与环保管理工作。	符合
2	有不少于 5 名核物理、放射化学、核医学和辐射防护等相关专业的技术人员，其中具有高级职称的不少于 1 名（生产半衰期大于 60 天的放射性同位素的单位，前项所指的专业技术人员应当不少于 30 名，其中具有高级职称的不少于 6 名）。	本项目涉及生产半衰期大于 60 天的放射性同位素，目前建设单位已配备 40 名核物理、放射化学、核医学科和辐射防护等相关专业的技术人员，其中具有高级职称的技术人员为 10 人。	符合
3	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，其中辐射安全关键岗位应当由注册核安全工程师担任。	本项目已有辐射工作人员均已参加辐射安全与防护专业知识及相关法律法规的学习考核，并取得合格证，同时建设单位辐射防护关键岗位已配备 2 名注册核安全工程师（丁愿、李冬梅）	符合
4	有与设计生产规模相适应，满足辐射安全和防护、实体保卫要求的放射性同位素生产场所、生产设施、暂存库或暂存设备，并拥有生产场所和生产设施的所有权。	建设单位已按相关标准要求设计/建设有放射性同位素生产车间和屏蔽工作箱等，并设计/建设有放射性原料暂存间和放射性产品暂存间，同时建设单位拥有该场所的所有权（川（2021）双流区不动产权第 0019885 号）。	符合
5	具有符合国家相关规定要求的运	建设单位在放射性药品运输、贮存过程中，	符合

序号	环保部 3 号令要求	建设单位落实情况	备注
	输、贮存放射性同位素的包装容器。	将按《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）规定进行货包进行设计和制造。	
6	具有符合国家放射性同位素运输要求的运输工具，并配备有 5 年以上驾龄的专职司机。	对于低活度、短距离放射性药品运输，建设单位将自行进行运输，目前已配备 5 年以上驾龄的专职司机；对于高活度、长距离运输，建设单位将委托有资质单位进行运输。	符合
7	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、固定式和便携式辐射监测、表面污染监测、流出物监测等设备。	建设单位将按要求配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，详见 6.3 章节。	符合
8	建立健全的操作规程、岗位职责、辐射防护制度、安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训制度、台帐管理制度和监测方案。	建设单位目前已按要求落实操作规程、岗位职责、辐射防护制度、安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训制度、台帐管理制度和监测方案等规章制度的制定。建设单位承诺，对于新增辐射工作场所和新的生产实验工艺将重新制定操作规程并按要求将相关辐射安全管理规章制度张贴上墙，同时在后期实践过程中，辐射防护与安全管理小组还将定期对辐射安全管理规章制度执行情况进行评议，并根据具体实践存在的问题及时进行修改和完善。详见 6.2.1 章节	符合
9	建立事故应急响应机构，制定应急响应预案和应急人员的培训演习制度，有必要的应急装备和物资准备，有与设计生产规模相适应的事故应急处理能力。	建设单位已成立“辐射应急领导小组”，由总经理（第一责任人）统一指挥本单位的应急响应行动，并落实应急装备和物质准备，具有与设计生产规模相适应的事故应急处理能力，详见 6.4 章节。	符合
10	具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	①对于放射废气，建设单位已设计/建设有独立排风系统和过滤系统，最终经过滤后的废气引至楼顶排放，并设置取样口，按监测计划落实监测； ②对于放射性废液，1 号楼、2 号楼均已建设有放射性废液暂存间和贮液罐，用于短半衰期废水收集、衰变，并经监测达标后排放，	符合

序号	环保部 3 号令要求	建设单位落实情况	备注
		长半衰期废液采取单独收集贮存，不外排。 ③对于放射性固废，1 号楼、2 号楼均已建设有放射性固废暂存间，其中短半衰期放射性固废收集衰变，经监测达标后作为一般固体废物处理，长半衰期放射性固废收集贮存，不外排。	

表 6.5-2 项目执行“环保部 18 号令”要求对照表

序号	安全和防护管理办法要求	实际情况	备注
1	生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全连锁、报警装置或者工作信号。	本项目已有辐射工作场所均已按要求设置明显的电离辐射警告标识，并按要求设置“两区”划分标识，对于新增辐射工作场所也将按要求设置明显的电离辐射警告标识和“两区”划分标识。	符合
2	射线装置的生产调试和使用场所，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	本项目所有辐射工作场所均安装固定式剂量报警仪，实时显示场所辐射水平，当辐射水平超过限值（25 μ Sv/h）时，将进行声光报警提示，防止人员误照射，同时在辐射工作场所入口还设置有门禁系统，防止非相关人员误入。	符合
3	放射性同位素的包装容器、含放射性同位素的设备和射线装置，应当设置明显的放射性标识和中文警示说明；放射源上能够设置放射性标识的，应当一并设置。运输放射性同位素和含放射源的射线装置的工具，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志或者显示危险信号。	建设单位将配备与销售的放射性药物匹配的包装容器，对外销售的放射性药物按《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）规定货包的要求进行包装，并经监测达标后进行货包运输。	符合
4	生产、使用放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定采取有效措施，防止运行故障，并避免故障导致次生危害。	建设单位已制定操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫管理制度、监测管理制度、设备检修制度、人员培训制度、销售管理制度、辐射工作场所分区管理制度预防运行故障发生，同时制定了辐射事故应急处理预案并制定相应应急措施防治次生危害。	符合
5	放射性同位素和被放射性污染的	本项目放射性原料暂存间、放射性产品暂存	符合

序号	安全和防护管理办法要求	实际情况	备注
	物品应当单独存放，不得与易燃、易爆、腐蚀性物品等一起存放，并指定专人负责保管。	间、放射性废物暂存间，所有放射性原料、产品和废物将分开独立存放，并由专人实行双人双锁管理。本项目涉及使用的易燃、易爆、腐蚀性物品等将单独存放于危化品库，不与放射性同位素和被放射性污染的物品存放。	
6	贮存、领取、使用、归还放射性同位素时，应当进行登记、检查，做到账物相符。对放射性同位素贮存场所应当采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的安全措施。	建设单位已制定《放射性物料和产品管理规程》，并已建立放射性同位素管理台账，将严格落实放射性同位素台账管理制度，同时建设单位前期已针对“六防”进行设计/建设，采取的措施情况见 4.2.3 章节。	符合
7	生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	建设单位已按要求制定《辐射监测管理规程》，目前已按要求落实自行监测计划，同时每年建设单位还将委托有资质单位进行年度监测，具体监测计划见表 6.3 章节。	符合
8	生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当加强对本单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况的日常检查。发现安全隐患的，应当立即整改；安全隐患有可能威胁到人员安全或者有可能造成环境污染的，应当立即停止辐射作业并报告发放辐射安全许可证的环境保护主管部门，经发证机关检查核实安全隐患消除后，方可恢复正常作业。	建设单位已制定《辐射防护监督检查管理规定》，将严格落实放射性同位素与射线装置安全和防护状况的日常检查规定。	符合
9	生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告	2021 年建设单位已按要求编制《成都纽瑞特医疗科技股份有限公司放射性同位素与射线装置 2021 年度安全和防护状况评估报告》，并上报发证机关生态环境部，后期运行过程中建设单位还将继续落实。	符合
10	生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和	建设单位已制定《辐射安全培训管理规程》，目前已有辐射工作人员均已参加辐射安全与防护学习考核，并取得合格证，同时对于新	符合

序号	安全和防护管理办法要求	实际情况	备注
	考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。取得辐射安全培训合格证书的人员，应当每五年接受一次再培训。	增辐射工作人员，建设单位承诺将严格落实中华人民共和国生态环境部 2019 年第 57 号公告相关要求，及时组织人员通过核技术利用辐射安全与防护培训平台进行相关知识学习，并确保所有辐射工作人员及辐射安全管理人员考核合格后上岗。	
11	生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测，并安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。	建设单位已制定《个人剂量监测管理规程》，建设单位每个季度将个人剂量片送有资质单位进行检测，并已建立个人剂量档案，若出现个人剂量异常情况，将进行核实和调查，并上报发证机关。	符合

综上所述，建设单位严格落实上述要求后，对于本项目具备从事辐射活动综合能力。

第七章 利益-代价简要分析

7.1 利益分析

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。

随着我国国民经济的持续发展，广大国民物质文化生活水平的不断提高及老龄化加剧等，对医疗服务提出更高效的要求。放射性药物作为体内放疗的一重大组成部分，在应用过程中有其独特的优势。同时，国家鼓励、支持放射性药品的开发、生产与应用，2015年，国家发改委制定的《高端医疗器械和药品关键技术产业化实施方案》中，放射药品和高端肿瘤放疗设备关键技术产业化开发是其支持的重点项目之一。四川省委、四川省人民政府决策咨询委员会向省人民政府报送的《促进四川民用非动力核技术产业发展的建议》中提出“重点发展先进的医用同位素制备技术，高特异诊断标记化合物（药物）和特效放射性治疗标记化合物（药物），高效低毒的抗辐射损伤新药”。2021年国家原子能机构、科技部、公安部、生态环境部、交通运输部、国家卫生健康委、国家医疗保障局、国家药品监督管理局等8部委联合发布了《关于印发〈医用同位素中长期发展规划（2021-2035）〉的通知》（国原发[2021]2号），将放射性药物研发作为重点任务，指出“针对国外已应用于临床的放射性诊疗药物，加强技术研发力度，获得一批具备自主知识产权的放射性新药。针对严重威胁人类健康的恶性肿瘤，开展具有精准靶向性、生物活性的多肽、抗体类放射性新药研发。加快新型介入给药技术和剂量控制技术研究，提升放射性药物效能。”在此形势下，放射性药品技术和产品的市场需求将持续增长，我国放射性药品的市场发展潜力巨大。

此外，由于放射性药物具有自然衰变的特殊性，运输过程太长会造成极大的浪费，给患者增加负担。本项目的生产和经营将覆盖我国西南地区，其建设可推进区

域患者总体诊疗费用下降、医药分离、推广经验和方案等医改目标。

同时，项目建成后，将对研发、生产技术、销售及其他职能人员有一定的需求，并为新型研发人才打造很好的就业平台，这对减轻社会就业或再就业压力，保障社会安定起到了积极作用。

综上所述，本项目的建设符合新兴产业发展需要，有利于加快实现区域产业发展布局的总规划，有利于促进当地经济快速发展，增强企业的综合经济能力，增加就业机会，具有明显的经济和社会效益。

7.2 代价分析

7.2.1 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，项目在经济开发区内进行，故评价项目无土地、农作物和其他经济作物征购问题，也不存在新建道路问题，项目运行依托整个经济开发区的基础设施，不单独建设供水、排水系统，故社会损失可忽略。

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	年耗量	来源	主要化学成分
电能	2.5 万 kW	城市供电系统	/
水	9.91t/d	城市给水管网	H ₂ O

7.2.3 经济代价

经济代价主要包括以下三方面的成本：

- (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，合计投入约 825.72 万元。项目拟采取的污染防治（辐射防护）措施及环保投资估算见下表。

表 7.2-2 项目污染防治（辐射防护）措施及环保投资一览表

场所	设施（措施）	数量	金额（万元）	备注	
2 车间	屏蔽设施	2-1 生产线屏蔽工作箱	6 套	120	新增
		2-6 生产线屏蔽工作箱	3 套	60	新增
		2-7 生产线屏蔽工作箱	3 套	60	新增
		产品铅罐	若干	40.0	新增
	安全设施	电离辐射警示标志、“两区”划分标识	若干	/	已有
		2-1 生产线人员出入口门禁系统	4 套	/	已有
		2-6 生产线人员出入口门禁系统	2 套	/	已有
		2-7 生产线人员出入口门禁系统	2 套	/	已有
		货厅、人员总出门厅门禁系统	2 套	/	已有
		放射性原料暂存间 1#、放射性原料暂存间 2#、放射性产品暂存间门禁+机械双人双锁	3 套	/	已有
		2 车间门厅、生产线、外包间、走廊、放射性原料暂存间、放射性产品暂存间等视频监控系统	1 套	/	已有
		2-1 生产线卫生通过间气闸联锁系统	4 套	/	已有
		2-6 生产线卫生通过间气闸联锁系统	2 套	4.0	新增
		2-7 生产线卫生通过间气闸联锁系统	2 套	4.0	新增
		2-1 生产线（前区、后区）固定式 γ 辐射监测系统	2 套	/	已有
		2-1 生产线（溶靶间）固定式 γ 辐射监测系统	1 套	1.0	新增
		2-6 生产线固定式 γ 辐射监测系统	1 套	1.0	新增
		2-7 生产线固定式 γ 辐射监测系统	1 套	1.0	新增
	个人防护用品	γ 个人剂量报警仪	6 个	/	已有
		γ 个人剂量计	8 个	/	已有
		洁净工作服、一次性口罩、手套等	若干	/	已有
		污染表面清洗剂	/	/	已有
		卫生通过区表面沾污监测仪	1 台	/	已有
			2 台	4.0	新增
		全身表面沾污仪	1 台	/	已有
	便携式 γ 辐射监测仪	1 台	/	已有	
放射性废气处理	2-1 生产线放射性废气排风、过滤系统	1 套	/	已有	
	2-6 生产线放射性废气排风、过滤系统	1 套	40.0	新增	
	2-7 生产线放射性废气排风、过滤系统	1 套	40.0	新增	

场所	设施（措施）	数量	金额（万元）	备注	
4 车间	放射性废水处理	2-1 生产线独立下水系统	1 套	/	已有
		2-6 生产线独立下水系统	1 套	/	已有
		2-7 生产线独立下水系统	1 套	/	已有
	放射性固废处理	2-1 生产线放射性固废收集/转移桶	1 个	/	已有
		2-6 生产线放射性固废收集/转移桶	1 个	5.0	新增
		2-7 生产线放射性固废收集/转移桶	1 个	5.0	新增
	其他	2-1 生产线地面防渗、防水处理	/	/	已有
		2-6、2-7 生产线地面防渗、防水处理	/	10.0	新增
		2-1 生产线制度上墙	/	/	已有
		2-6、2-7 生产线制度上墙	/	0.1	新增
	屏蔽设施	4-1 生产线屏蔽工作箱/手套箱	4 套	80.0	新增
		4-2 生产线屏蔽工作箱	4 套	80.0	新增
4-3 生产线屏蔽工作箱		4 套	80.0	新增	
产品铅罐		若干	40.0	新增	
安全设施		电离辐射警示标志、“两区”划分标识	若干	0.1	新增
		4-1、4-2、4-3 生产线人员出入口门禁系统	3 套	1.5	新增
		货厅、人员总出门厅门禁系统	2 套	1.0	新增
		放射性产品暂存间门禁+机械双人双锁	1 套	0.5	新增
		2 车间门厅、生产线、外包间、走廊、放射性原料暂存间、放射性产品暂存间等视频监控系统	1 套	20.0	新增
		4-1、4-2、4-3 生产线卫生通过间气闸连锁系统	3 套	6.0	新增
		4-1、4-2、4-3 生产线、放射性产品暂存间固定式 γ 辐射监测系统	4 套	8.0	新增
个人防护用品		γ 个人剂量报警仪	3 个	3.0	新增
		γ 个人剂量计	12 个	0.12	新增
	洁净工作服、一次性口罩、手套等	若干	5.0	新增	
	污染表面清洗剂	/	0.1	新增	
	手脚表面沾污仪	1 台	5.0	新增	
	卫生通过区表面沾污监测仪	3 台	3.0	新增	
	便携式 γ 辐射监测仪	1 台	2.0	新增	
放射性废气处理	4-1 生产线放射性废气排风、过滤系统	1 套	20.0	新增	
	4-2 生产线放射性废气排风、过滤系统	1 套	20.0	新增	
	4-3 生产线放射性废气排风、过滤系统	1 套	20.0	新增	

场所	设施（措施）	数量	金额（万元）	备注	
放射性废 水处理	放射性废液收集/转运桶	1个	2.0	新增	
	放射性废液收集/转运桶	1个	2.0	新增	
	放射性废液收集/转运桶	1个	2.0	新增	
	人体去污废水收集桶	1个	2.0	新增	
	放射性固 废处理	放射性固废收集/转运桶	1个	2.0	新增
		放射性固废收集/转运桶	2个	2.0	新增
		放射性固废收集/转运桶	1个	2.0	新增
	其他	地面防渗、防水处理	/	10.0	新增
制度上墙		/	0.1	新增	
放射 性药 物检 验研 究中 心、 放射 性药 物研 发实 验室	屏蔽设施	手套箱	1台	/	已有
		通风橱+L型铅玻璃屏	3套	/	已有
		原料铅罐	若干	/	已有
	安装设施	电离辐射警示标志、“两区”划分标识	/	/	已有
		固定式 γ 剂量报警仪	2套	/	已有
		γ 个人剂量报警仪	2个	/	已有
		γ 个人剂量计	6个	/	已有
		视频监控系统	2套	/	已有
		实验室出入口门禁系统	2套	/	已有
		个人防护 用品	洁净工作服、一次性口罩、手套等	若干	/
	污染表面清洗剂		/	/	已有
	卫生通过区表面沾污监测仪		2台	/	已有
	便携式 γ 辐射监测仪		1台	/	新增
	放射性废 气处理	放射性废气排风及过滤系统	1套	/	已有
	放射性废 水处理	放射性药物检验研究中心独立下水系统	1套	/	已有
		放射性药物研发实验室放射性废水收集/转移桶	1个	/	已有
	放射性固 废处理	放射性固废收集/转移桶	2个	/	已有
	其他	地面防渗、防水处理	/	/	已有
		制度上墙	/	/	已有
	其他	地理式一体化污水处理设施扩建	/	10.0	新增
2号楼放射性废物（废水、固废）暂存间及收集贮存设施		/	/	已有	
1号楼放射性废物（废水、固废）暂存间		/	/	已有	

场所	设施（措施）	数量	金额（万元）	备注
	及收集贮存设施			
	新增辐射工作人员培训	12人	1.2	新增
	合计		825.72	/

7.2.4 环境代价

本项目环境代价主要表现在：

（1）项目建设施工阶段，将产生噪声、施工扬尘、施工建渣及施工人员产生的生活污水、生活垃圾等，如果不加强施工管理将对周围环境造成一定影响。但是这些影响具有时效性，随着施工期间的结束，对环境的影响也消除。只要工程在施工期严格执行上述基本要求，可以使施工期的环境影响降到最小程度。

（2）项目运营阶段，将产生放射性气载流出物、放射性废液和放射性固废，同时对职业人员及公众造成一定辐射影响。

通过理论预测，项目运营期间排入环境的放射性气载流出物所致 500m 评价范围内的公众剂量为 $4.85 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，低于本报告提出的剂量管理约束值 0.1mS/a ；电离辐射对辐射工作人员和周边公众造成的附加剂量值低于本报告提出的剂量管理约束值（职业人员 5mS/a 、公众 0.1mS/a ）。

运营期间产生的放射性废液暂存衰变，经监测满足排放标准后，排入园区污水管网；产生生活污水、餐饮废水经一体化污水处理设施处理达标后排入园区污水管网，最终经华阳污水处理厂处理达标后排入锦江，对区域地表水环境影响较小。

运营期间产生的放射性固废送入放射性废物库暂存，定期委托专业机构处置或解控后由环卫部门清运处置，不会对项目所在区域环境造成影响。

7.3 正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于辐射防护“实践的正当性”要求，在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

综上所述，本项目生产的放射性药品用于临床核医学诊断及治疗可以达到一般非放射性治疗方法所不能及的诊断及治疗效果，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，项目竣工营运以后，为西南地区病人和医护人员提供一个

充足、及时的药品供给，具有明显的经济效益和社会效益。

因此，本项目为接受治疗的个人和给社会所带来的利益远大于其引起的辐射影响，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

第八章 结论与建议

8.1 项目工程概况

成都纽瑞特医疗科技股份有限公司拟在本项目位于四川省成都市双流区西航港经济开发区空港三路 999 号（坐标：东经 103°58'28.27"，北纬 30°29'55.27"）建设“放射性药物创新平台与产业化技改项目（三期）”，对放射性药物生产 2 车间 2-1、2-6、2-7 生产线、放射性药物检验研究中心、放射性药物研发实验室三进行改造和设计变更并新建放射性药物生产 4 车间 4-1、4-2、4-3 生产线。主要建设内容如下：

（1）对已建设的 2-1 生产线进行改造，将原许可的碘-131 胶囊生产线改造为碘-131 胶囊、碘-123 胶囊、碘-131 标记、碘-123 标记药物生产线，同时对原有场所布局进行调整；将原已批复未建设的 $\text{Na}_2^{99\text{m}}\text{TcO}_4$ 溶液生产线变更为镓-177 标记药物生产线，变更前后场所布局不发生变化；将原已批复未建设的 $\text{Na}_2^{99}\text{MoO}_4$ 溶液生产线变更为钷-90 标记药物生产线，变更前后布局不发生变化。放射性药物生产 2 车间通过改造、变更后总的日等效最大操作量为 $4.52 \times 10^{15}\text{Bq}$ ，属于甲级非密封放射性物质工作场所。

（2）4 车间内新建 4-1 生产线，生产钼钨发生器和锆镓发生器，新建 4-2 生产线，生产镓-177、钨-99m 标记药物和镓-177 原料，新建 4-3 生产线生产铟-225 和碲-211 标记药物，4 车间新建后总的日等效最大操作量为 $7.55 \times 10^{14}\text{Bq}$ ，属于甲级非密封放射性物质工作场所。

（3）对已建设的放射性药物检验研究中心进行非密封放射性物质种类新增，并对用量进行调整，变更后涉及使用、销售的非密封放射性物质包括：钍-89、钷-90、氙-133、铊-201、钍-277、钨-99m、钨-99、铟-90、铟-89、钷-153、铈-186、镭-224、镭-223、磷-32、钼-99、镓-177、铟-111、碘-131、碘-125、氙-3、锆-68、镓-68、氟-18、铜-64、铬-51、碳-14、碘-123、铟-225、碲-211、铯-161，本次不涉及场所布局变化，变更后放射性药物检验研究中心总的日等效最大操作量为 $3.94 \times 10^9\text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

（4）对已建设的放射性药物研发实验室进行改造，改造后涉及使用钷-90、镓-68、钍-89、碘-131、镓-177、铟-225、铯-161，总的日等效最大操作量为 $1.67 \times 10^7\text{Bq}$ ，属

于丙级非密封放射性物质工作场所。

8.2 辐射安全与防护

8.2.1 电离辐射防护

2车间、4车间为钢筋混凝土框架结构，建筑外墙为240mm厚砖墙，楼板为150mm现浇混凝土，建筑内根据各功能布局采用50mm厚净化岩棉彩钢板进行隔离。本项目各放射性药物生产线生产环节均在工作箱中进行，作箱组由若干个相连的密闭工作箱组成，分为非放射性工作箱和放射性工作箱，其中非放射性工作箱主要用于非放射性物料的预处理，为保证洁净需求，设计为密封手套箱，放射性工作箱，主要用于放射性物料的标记、分装、过滤、灭菌、活度测量等，放射性工作箱采用密闭机械臂设计，工作箱箱体密闭性符合《密封箱室密封性分级及其检验方法》（EJ/T1096-1999）的3级标准，小时泄漏率小于等于 10^{-2} ，防护性能满足人操作位置剂量率水平不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

放射性药物研发实验室三分别设置两台“L”型铅屏风，分别位于放射性实验室和细胞室一（放射），同时整个放射性研发实验室（三）外墙还设计有240mm实心砖屏蔽墙体，楼板为150mm现浇混凝土。

经预测分析，拟采取的各类屏蔽工作箱防护设计满足相关标准要求，可使辐射工作人员受照剂量满足GB18871提出的职业人员剂量照射限值和本报告提出的职业人员剂量管理约束值。同时，各涉放工作场所按相关要求划定控制区与监督区进行管理，人流、物流路径分离，尽可能限制放射性污染范围。

8.2.2 放射性“三废”治理

8.2.2.1 放射性废气

控制区房间排风通过风管汇集后，经普通高效过滤排风机箱排放至屋面；考虑防护工作箱自带风机开启台数变化，为保证房间内压差稳定，工作箱排风系统排风机设置变频器；防护工作箱自带排风机，由于自带排风机余压不足，为保证防护箱内压差稳定，自带排风机处需经过接力风机（高效过滤排风机箱/除碘过滤器排风机箱）排放至屋面；所有高效过滤排风机/除碘过滤器排风机均为一备一用；同时排风机前后设置压差监测口，用于过滤效率实验的取样。放射性药物研发实验室设置有单独的排风系统，放射性废气经风管汇集后，经集成高效过滤除碘过滤器排风机组

排放至屋面，排风机前后设置压差监测口，用于过滤效率实验的取样。

8.2.2.2 放射性废水

根据废液中核素半衰期和比活度，将废水划分为含长半衰期核素废水、含短半衰期核素废水及含 α 核素废水，分别采取不同的处理方式。

含短半衰期核素废水排入放射性废液暂存间储液罐暂存衰变一定时间后，委托有资质单位进行监测，并在监测达标后经生态环境主管部门核准后进行排放。

含长半衰期核素废水及含 α 核素废水通过 10L 废水收集桶收集后转入长半衰期放射性固废暂存间进行暂存，达到一定量后交由有资质单位收集处置。

8.2.2.3 放射性固废

根据《核技术利用放射性废物最小》（HAD4011-2020），本项目产生的放射性固体废物均属于可压缩、非感染性废物，根据项目实际产生核素种类按衰变方式分为 γ/β 核素废物和 α 核素废物，根据放射性核素半衰期分为 A 类废物（半衰期小于 24h）、B 类废物（半衰期大于 24h 小于 100d）和 C 类废物（半衰期大于 100d）。

其中 A 类废物和 B 类废物分别存入短半衰期放射性固废暂存间 γ/β 核素地坑中。A 类废物暂存 30d 后，取样监测达清洁解控水平后作为一般固体废物进行处理，B 类废物暂存 10 倍半衰期最长半衰期（固体废物包中所含最长半衰期核素），取样监测达清洁解控水平后作为一般固体废物进行处理。C 类废物及 α 废物存入长半衰期固体废物暂存间进行贮存，达到一定量后交由有资质单位收集处置。

8.3 环境影响分析

8.3.1 施工期环境影响分析结论

项目施工期间对环境存在一定的影响，但是这些影响具有时效性，随着施工期间的结束，对环境的影响也消除。只要工程在施工期严格执行上述基本要求，可以使施工期的环境影响降到最小程度。

8.3.2 运营期环境影响分析结论

8.3.2.1 辐射环境影响分析

（1）职业人员受照剂量分析

本项目职业人员最大受照剂量为 4.69mSv/a，满足本项目 5mSv/a 剂量约束限值要求。

（2）公众受照剂量分析

放射性气载流出物所致公众年受照最大剂量为 $4.85 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，同时考虑一期和二期已评价内容放射气载性流出物所致公众受照射剂量贡献值，最终公众最大受照射剂量为 $2.15 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，满足 0.1mSv/a 约束限值要求。

（3）液态流出物影响

本项目运营期产生的短半衰期废水通过放射性废液间已有储液罐收集暂存衰变一定时间后取样监测，若监测结果满足排放标准限值要求（总 α 排放标准： 1Bq/L ；总 β 排放标准 10Bq/L ），经审管部门同意后，排入厂区一体化污水处理设施，处理达标后排入园区污水管网，最终引至华阳污水处理厂处理达标后排入锦江，对地表水影响较小。

对于长半衰期废水采取单独收集贮存，达到一定量后交由有资质单位进行处理，对地表水环境影响较小。

（4）放射性固废影响

A 类废物暂存 30d 后，取样监测达清洁解控水平，经审管部门同意后，后作为一般固体废物进行处理，B 类废物暂存 10 倍半衰期最长半衰期（固体废物包中所含最长半衰期核素），取样监测达清洁解控水平后，经审管部门同意后，作为一般固体废物进行处理。C 类废物存入长半衰期固体废物暂存间进行贮存。采取该措施后放射性固体废物对环境的影响较小。

8.3.2.2 非放环境影响分析结论

（1）工艺废气经排风系统送至屋顶废气总排口的末端治理设施，通过中效过滤风机箱处理后达标排放，对环境空气影响很小。

（2）油烟废气经油烟净化器处理后，通过楼顶的排气筒排入大气环境，其排放浓度能达到国家《饮食业油烟排放标准》（GB18483-2001）标准要求，对环境空气影响较小。

（3）工艺废水、生活废水、洁衣清洗废水和洗手废水，非放射性废水产生量为 $6.12 \text{m}^3/\text{d}$ ，该废水排入一体化污水处理设施处理后排入园区污水管网，接入华阳污水处理厂进行处理，处理达标后排入锦江，对地表水环境影响较小。

（4）生活垃圾、餐厨垃圾、废油脂、污泥等非放射性固体废物交由四川省顺美环境卫生管理有限责任公司清运，工艺固体废物采取分类收集对可回收的固体废物

交由废品收购站处置，对不可回收的固体废物集中收集后由环卫部门统一集中处理与处置。危险废物交由成都兴蓉环保科技有限公司进行处置。采取该措施后非放射性固体废物对环境的影响较小。

8.4 辐射安全管理

建设单位已成立辐射安全管理机构，现有辐射工作人员均已进行辐射防护与安全知识学习考核，已按要求制定各项辐射安全管理和辐射事故应急预案，建设单位承诺在项目投运前，建设单位承诺将对新增辐射工作人员进行学习考核，并现有规章制度及应急预案进行修订，继续严格执行相关辐射安全管理要求。

本项目各涉放工作场所均拟配备相应的辐射监测仪器，并制定相应的环境监测制度。环境监测方案包含工作场所监测计划、流出物监测计划和个人剂量监测计划，各监测计划包含监测项目、监测频次、监测点位及监测方法，监测方案满足相关环境监测规范要求，满足本项目环境监管要求。

8.5 公众参与

根据《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令第4号）的相关规定，建设单位于2022年5月6日起在官方网站（网址：<http://www.nrtmedtech.com/details.aspx?mid=155&sid=1103>）对本工程的环境影响评价信息进行了首次公示；在建设项目环境影响报告书征求意见稿形成后，建设单位于2022年7月8日~2022年7月21日在官方网站（网址：<http://www.nrtmedtech.com/details.aspx?mid=155&sid=1109>）、《四川科技日报》以及项目现场张贴的形式进行了本工程环境影响评价第二次信息公示。

环境影响评价信息发布后，至意见反馈截止日期，未收到与本项目环境影响和环境保护措施有关的建议和意见。

8.6 建议和承诺

8.6.1 建议

(1) 本项目在建设和运营过程中须严格落实项目设计及本报告书提出的各项污

染防治措施与辐射安全防护措施。

（2）建设单位应在申请辐射安全许可证之前，注册并登陆全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn/rsmsreq/login.jsp>），对本项目所用非密封放射性物质及其场所的相关信息申报。

（3）定期对辐射安全防护设施进行检查、维护，发现问题及时维修。

（4）建设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，并按时（每年1月31日前）向生态环境主管部门网站申报辐射安全与防护状况年度自查评估报告。报告内容应包括单位放射性工作场所采取的辐射安全防护设施、放射工作场所管理制度、辐射工作人员年剂量和事故应急预案等。

（5）定期进行辐射事故应急演练，检验应急预案的可行性、可操作性，并根据演练反应的问题，总结、完善事故应急预案。

8.6.2 承诺

（1）在项目投运前完成各项辐射安全管理规章制度及辐射事故应急预案的制定，并在后续运营期间，根据相关法律法规的更新及运营过程中发现的问题，及时组织修订，使其具有针对性、可操作性。

（2）在项目投运前完成所有辐射工作人员的辐射安全与防护考核，保证所有辐射工作人员考核通过持证上岗。并在后续的运营期间，按相关规定对辐射工作人员进行再培训教育。

（3）放射性核素产品和锝发生器只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。

8.7 竣工验收要求

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，建设单位四川省纽瑞特医疗科技股份有限公司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 3 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。