核技术利用建设项目

德阳市人民医院城北第五代医院
新增核医学科建设项目
环境影响报告表

（公示稿）

德阳市人民医院

2025 年 08 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

德阳市人民医院城北第五代医院
新增核医学科建设项目
环境影响报告表

建设单位名称：德阳市人民医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：四川省德阳市泰山北路一段 173 号

[redacted]

打印编号：1752117587000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	2w8028
建设项目名称	德阳市人民医院城北第五代医院新增核医学科建设项目
建设项目类别	55—172核技术利用建设项目
环境影响评价文件类型	报告表
一、建设单位情况	
单位名称（盖章）	德阳市人民医院
统一社会信用代码	12510500451134681A
法定代表人（签章）	[redacted]
主要负责人（签字）	
直接负责的主管人员（签字）	
二、编制单位情况	
单位名称（盖章）	浙江君安检测技术有限公司
统一社会信用代码	91330106593053975 4
三、编制人员情况	

1 编制主持人

姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
莫圣浩	20230503533000000014	BH064685	莫圣浩

2 主要编制人员

姓名	主要编写内容	信用编号	签字
占晋铖	表1、表2、表3、表4、表5	BH057728	占晋铖
潘立成	表6、表7、表8、表9、表10	BH038966	潘立成
莫圣浩	表11、表12、表13	BH064685	莫圣浩

目 录

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="5">德阳市人民医院城北第五代医院新增核医学科建设项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="5">德阳市人民医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>[redacted]</td><td>联系人</td><td>[redacted]</td><td>联系电话</td><td>[redacted]</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="5">四川省德阳市泰山北路一段 173 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="5">德阳市泰山北路与钱塘江路交汇处西北角（德阳市人民医院城北第五代医院内部）</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">[redacted]</td><td>批准文号</td><td colspan="2">[redacted]</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>[redacted]</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>[redacted]</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>[redacted]</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">☑新建 □改建 □扩建 □其它</td><td>占地面积(m^2)</td><td>/</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="4">□ Ⅰ类 □ Ⅱ类 □Ⅲ类 □Ⅳ类 □ Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="4">□ Ⅰ类（医疗使用） □ Ⅱ类 □Ⅲ类 □Ⅳ类 ☑ Ⅴ类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>☑生产</td><td colspan="4">☑制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="4">/</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="4">☑乙 □丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="4">□ Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="4">□ Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="4">☑ Ⅱ类 ☑Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="5">/</td></tr>
</table>

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位情况简介

德阳市人民医院（统一社会信用代码：12510500451134681A，以下简称医院）始建于1942 年，位于德阳市，是一所综合性三甲医院。医院下设六个院区，分别位于德阳市泰山北路一段 173 号（院本部）、德阳市泰山南路二段 868 号（旌南分院）、德阳市庐山南路三段 35 号（六医院骨科中心）、德阳市旌阳区双东镇龙凤村 8 组（德阳市看守所二监区）、广汉市三水镇九一街北段（三水镇卫生院住院部）、德阳市泰山北路四段 606 号（妇儿院区）。医院现核定床位为 1300 张，牙椅 16 张，设有预防保健科、全科医疗科、内科、外科、妇产科、妇女保健科、儿科、儿童保健科、眼科、耳鼻咽喉科、口腔科、皮肤科、医疗美容科、精神科、传染科、结核病科、肿瘤科、急诊医学科、康复医学科、麻醉科、疼痛科、重症医学科、医学检验科、病理科、医学影像科、中医科等诊疗科目。

1.1.2 项目由来

为了改善德阳市人民医院的诊疗条件，提高医疗服务水平，满足德阳市人民医院的发展，同时为配合德阳市城市总体规划、旌东新区规划的实施，修建相关的配套设施等，德阳市人民医院于 2014 年 4 月启动了“德阳市人民医院城北第五代医院城北院区”、“德阳市妇女儿童专科医院”的实施。

2019 年 3 月 20 日经德阳市发展和改革委员会批复，拟在德阳市泰山北路与钱塘江路交汇处西北角建设德阳市人民医院城北第五代医院（以下简称为：医院），医院占地面积为 202.9 亩，拟建急诊急救中心（急诊综合部）、综合门诊医技大平台中心、疾病诊疗住院中心（头颈中心住院部、腹部中心住院部、胸部中心住院部、肿瘤中心住院部）、配套办公和综合库房等行政后勤保障用房、停车库和污水处理垃圾暂存等辅助用房，总建筑面积 280000 ㎡，编制床位 1400 张，日门诊/急诊人数 7000 人次，总投资 200000 万元。

德阳市人民医院已委托西藏国策环保科技股份有限公司编制了《德阳市人民医院城北第五代医院建设项目环境影响报告书》，并已于 2020 年 2 月 28 日取得德阳市生态环境局的批复。

德阳市人民医院城北第五代医院综合门诊医技大平台中心地下共两层，地上共三层。综合门诊医技大平台中心东侧与疾病诊疗住院中心相连，自北向南分别为头颈中心住院部、腹部中心住院部、胸部中心住院部和肿瘤中心住院部，疾病诊疗住院中心地上共七层。综合门诊医技大平台中心北侧与急诊急救中心（急诊综合部）相连，该建筑地上共六层。

医院拟在综合门诊医技大平台中心（以下简称为：综合楼）三层西北侧设置手术中心，拟设置一间复合手术室（DSA+MRI）、四间介入手术室（DSA，其中三台为单球管 DSA，一台为双球管 DSA）和一间中型 C 臂机房，新增五台 DSA（150kV，1250mA，其中一台为双球管 DSA）和一台中型 C 臂机（125kV，1000mA），均属Ⅱ类射线装置。

医院拟在综合楼负二层东南侧设置放疗科，拟设置三间直线加速器机房、一间后装机房、一间 CT 模拟定位机房和一间常规模拟定位机房，新增三台 10MV 直线加速器（属Ⅱ类射线装置），新增一台铱源后装机（最大装源活度 10Ci，属Ⅲ类放射源），新增一台 CT 模拟定位机和一台常规模拟定位机（150kV，1500mA，均属Ⅲ类射线装置）。

医院拟在综合楼负二层东南侧设置核医学科核素制备场所，主要设置北侧正电子药物制备区、西南侧治疗药物制备区和南侧药物质检区三个功能区：

正电子药物制备区拟配置 1 台四川玖谊源粒子科技有限公司生产的玖源-12 型回旋加速器（最大束流能量 12MeV，最大束流强度 100μA，带自屏蔽措施，属Ⅱ类射线装置），生产正电子放射性药物 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{89}Zr、^{64}Cu 和 ^{68}Ga；拟配备 1 柱最大规格为 50mCi 的锗镓发生器，淋洗制备放射性药物 ^{68}Ga，用于 PET 显像诊断。本项目核医学科核素制备场所正电子药物制备区非密封放射性核素日等效操作量为 1.15×10^{8}Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。

治疗药物制备区拟外购放射性核素 ^{177}Lu 和 ^{225}Ac 料液，自行标记合成为放射性药物 ^{177}Lu 和 ^{225}Ac，用于肿瘤治疗及临床试验研究。本项目核医学科核素制备场所治疗药物制备区非密封放射性核素日等效操作量为 1.64×10^{9}Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。

药物质检区拟对正电子药物制备区及治疗药物制备区制备的放射性药物进行质控检测。本项目核医学科核素制备场所药物质检区非密封放射性核素日等效操作量为 3.79×10^{8}Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。

医院拟在综合楼负一层东南侧设置核医学科核素诊断场所，拟设置两间 SPECT/CT 机房和一间 PET/CT 机房，新增两台 SPECT/CT（Ⅲ类射线装置），拟使用放射性核素 ^{99m}Tc、^{123}I、^{203}Pb 用于 SPECT 显像诊断；新增一台 PET/CT（Ⅲ类射线装置），拟使用放射性核 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{44}Sc、^{124}I 用于 PET 显像诊断，拟配置 7 枚 ^{22}Na 放射源（1.48×10^{7}Bq1 枚+3.7×10^{5}Bq6 枚，均为Ⅴ类放射源）用于 PET-CT 校准。其中 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 均由医院自行生产或淋洗（当回旋加速器故障或其他特殊原因导致无法生产或淋洗时，采用外购成品药），^{44}Sc、^{124}I、^{99m}Tc、^{123}I、^{203}Pb 统一采购外部成品药。本项目核医学科核素诊断场所非密封放射性核素日等效操作量为 1.34×10^{8}Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。

医院拟在综合楼一层东南侧设置核医学科核素治疗场所，主要设置东侧新型核素病房区和西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区两个功能区：

新型核素病房区拟新建一间α核素病房（双人间）、两间 ^{177}Lu 核素病房（均为双人间）及其配套房间，拟使用放射性核 ^{161}Tb、^{177}Lu、^{89}Sr、^{211}At、^{223}Ra、^{47}Sc、^{188}Re、^{212}Pb、^{225}Ac 进行肿瘤治疗及临床试验研究。本项目核医学科核素治疗场所新型核素病房区非密封放射性核素日等效操作量为 $2.41\times10^{9}Bq$，为乙级非密封放射性物质工作场所。

甲癌病房及门诊核素诊疗区拟新建三间甲癌病房（均为双人间）及其配套房间，另外在甲癌病房区域西南侧新建一间甲吸测定室和一间敷贴治疗室，拟使用放射性核 ^{131}I 进行甲癌治疗、甲亢治疗和甲吸测定；敷贴治疗室拟使用 ^{90}Sr 敷贴器（出厂活度 $7.4\times10^{8}Bq$，V类放射源）进行敷贴治疗。本项目核医学科核素治疗场所甲癌病房及门诊核素诊疗区非密封放射性核素日等效操作量为 $2.96\times10^{9}Bq$，为乙级非密封放射性物质工作场所。

目前医院主体建筑已基本建造完成，正在进行局部室内建造及装饰工作。因前期医院拟建核医学科区域平面布局等设计方案未确定，为加快项目整体建设进度，医院综合楼三层西北侧手术中心及综合楼负二层东南侧放疗科核技术利用建设项目已委托浙江君安检测技术有限公司编制了《德阳市人民医院城北第五代医院核技术利用建设项目环境影响报告表》。本项目仅对医院综合楼负二层东南侧核医学科核素制备场所、综合楼负一层东南侧核医学科核素诊断场所和综合楼一层东南侧核医学科核素治疗场所建设项目进行环境影响评价。

医院拟为本项目核医学相关工作配置 26 名辐射工作人员，拟配备的辐射工作人员部分从医院外部招聘，部分从医院内部调配，辐射工作人员均不存在兼职其他辐射工作场所岗位情况。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第 7 号，2019 年修改）：辐射工作单位在申请领取辐射安全许可证前，应当组织编制或者填报环境影响评价文件，并依照国家规定程序报环境保护主管部门审批。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部令第 16 号），本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—制备 PET 用放射性药物；使用 II 类射线装置；乙级、丙级非密封放射性物质工作场所”，故应编制环境影响报告表。并根据四川省生态环境厅《四川省生态环境厅审批环境影响评价文件的建设项目目录（2025 年本）》，本项目应报四川省生态环境厅审查批准，并在取得环评批复后及时重新申领辐射安全许可证。

为保护环境，保障公众健康，德阳市人民医院委托浙江君安检测技术有限公司对该项目进行辐射环境影响评价。评价单位在现场踏勘和收集有关资料的基础上，并结合项目特点，按照《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）等规定要求编制了本环评报告表，供生态环境行政审批部门审查。

1.2 项目概况

1.2.1 项目名称、性质、建设地点

（1）项目名称：德阳市人民医院城北第五代医院新增核医学科建设项目

（2）建设单位：德阳市人民医院

（3）建设性质：新建

（4）建设地点：德阳市泰山北路与钱塘江路交汇处西北角（德阳市人民医院城北第五代医院内部）

1.2.2 项目建设内容及规模

本项目建设地点位于德阳市泰山北路与钱塘江路交汇处西北角德阳市人民医院城北第五代医院，医院拟在综合楼负二层东南侧（放疗科北侧）设置核医学科核素制备场所，在综合楼负一层东南侧设置核医学科核素诊断场所，在综合楼一层东南侧设置核医学科核素治疗场所。

（1）核素制备场所

医院核医学科核素制备场所拟设在综合楼负二层东南侧，主要设置北侧正电子药物制备区、西南侧治疗药物制备区和南侧药物质检区三个功能区：其中北侧正电子药物制备区拟新建一间回旋加速器机房及其控制室、设备间、靶片存储间、固体靶热室、正电子热室、放废暂存间、洁净走廊、更衣缓冲间等配套房间；西南侧治疗药物制备区拟新建一间治疗药物热室、放废暂存间、清洁间、更衣缓冲间等配套房间；南侧药物质检区拟新建一间内毒素检测室、阳性菌检测室、放化室、培养室、微生物室、无菌室、放废暂存间、清洁间、卫生通过间等配套房间。各功能间建设情况具体如下：

表 1-1 核素诊断场所各功能间建设情况表

功能区	功能间（面积）	屏蔽体	建设内容
正电子药物制备区	回旋加速器机房（约 52.5 ㎡）	四周墙体	南墙、西墙、北墙：800mm 混凝土 东侧设“L”型迷道（具体厚度见迷道）
		迷道	迷道内墙：500mm 混凝土 迷道外墙：800mm 混凝土
		顶棚	800mm 混凝土
		防护门	10mm 铅板+150mm 含硼聚乙烯板

		固体靶热室（约40.2 ㎡）	四周墙体	东墙：800mm 混凝土 其余墙体：300mm 混凝土
			顶棚	300mm 混凝土
			防护门	15mmPb
			合成柜、分装柜	气体靶合成热室：正面 80mmPb、侧面 70mmPb、靶线屏蔽 50mmPb； 固体靶双腔合成热室：正面 95mmPb、侧面 90mmPb、靶线屏蔽 70mmPb； 固体靶单腔合成热室：正面 95mmPb、侧面 90mmPb、靶线屏蔽 70mmPb； 固体靶分装热室：正面 90mmPb、侧面 80mmPb、靶线屏蔽 70mmPb；
		正电子热室（约54.5 ㎡）	四周墙体	东墙：800mm 混凝土 北墙、西墙和南墙东侧：300mm 混凝土 南墙：370 mm 实心砖
			顶棚	300mm 混凝土
			防护门	15mmPb
			传递窗	15mmPb
			合成柜、分装柜	^{18}F 合成热室：正面 75mmPb、侧面 65mmPb、靶线屏蔽 50mmPb 多功能合成热室：正面 75mmPb、侧面 65mmPb、靶线屏蔽 50mmPb 液体靶分装热室：正面 65mmPb、侧面 60mmPb、靶线屏蔽 50mmPb
		靶片存储间	四周墙体	200mm 实心砖
			顶棚	180mm 混凝土
			防护门	5mmPb
		废物暂存间 1	四周墙体	北墙：370 mm 实心砖、南墙：300mm 混凝土 东墙、西墙：240 mm 实心砖
			防护门	10mmPb
			传递窗	15mmPb
治疗药物制备区		治疗药物热室	四周墙体	西墙：240mm 实心砖、东墙和南墙：200mm 实心砖 北墙：300mm 混凝土
			顶棚	180mm 混凝土
			防护门	10mmPb
			传递窗	10mmPb
			合成柜	β 核素标记热室：整体各面 50mmPb α 核素标记热室：整体各面 30mmPb
		放废暂存间 2	四周墙体	东墙和南墙：240mm 实心砖、西墙：200mm 实心砖 北墙：300mm 混凝土
			顶棚	180mm 混凝土
			防护门	10mmPb
			传递窗	10mmPb
药物质检区		质检区整体	四周墙体	370 mm 实心砖
			顶棚	180mm 混凝土
			传递窗	10mmPb
		放化室	通风柜	20mmPb
		废物暂存间 3	四周墙体	南墙：370mm 实心砖，东墙、西墙和北墙：240mm 实心砖
			顶棚	180mm 混凝土

		防护门	10mmPb
		传递窗	10mmPb

1）正电子药物制备区

本项目核医学科核素制备场所正电子药物制备区拟配置 1 台四川玖谊源粒子科技有限公司生产的玖源-12 型回旋加速器（最大束流能量 12MeV，最大束流强度 100μA，带自屏蔽措施，属Ⅱ类射线装置），生产正电子放射性药物 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{89}Zr、^{64}Cu 和 ^{68}Ga；拟配备 1 柱最大规格为 50mCi 的锗镓发生器，淋洗制备放射性药物 ^{68}Ga，用于 PET 显像诊断。

其中拟使用回旋加速器生产放射性核素 ^{18}F（日实际最大操作量为 7.55×10^{9}Bq、日等效最大操作量为 7.55×10^{7}Bq、年最大生产量为 1.89×10^{12}Bq）、^{11}C（日实际最大操作量为 1.92×10^{9}Bq、日等效最大操作量为 1.92×10^{7}Bq、年最大生产量为 9.62×10^{10}Bq）、^{13}N（日实际最大操作量为 2.29×10^{9}Bq、日等效最大操作量为 2.29×10^{7}Bq、年最大生产量为 1.15×10^{11}Bq）、^{89}Zr（日实际最大操作量为 7.77×10^{7}Bq、日等效最大操作量为 7.77×10^{6}Bq、年最大生产量为 3.89×10^{9}Bq）、^{64}Cu（日实际最大操作量为 7.77×10^{7}Bq、日等效最大操作量为 7.77×10^{5}Bq、年最大生产量为 3.89×10^{9}Bq）、^{68}Ga（打靶）（日实际最大操作量为 8.14×10^{8}Bq、日等效最大操作量为 8.14×10^{6}Bq、年最大生产量为 4.07×10^{10}Bq）；拟使用 ^{68}Ge（发生器）（日实际最大操作量为 1.85×10^{9}Bq、日等效最大操作量为 1.85×10^{6}Bq、年最大操作量为 1.85×10^{9}Bq），淋洗生产放射性核素 ^{68}Ga（淋洗）（日实际最大操作量为 1.48×10^{9}Bq、日等效最大操作量为 1.48×10^{7}Bq、年最大生产量为 7.40×10^{10}Bq）。核医学科核素制备场所正电子药物制备区划为一个非密封放射性物质工作场所进行管理，日等效最大操作量为 1.15×10^{8}Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

2）治疗药物制备区

本项目核医学科核素制备场所治疗药物制备区拟外购放射性核素 ^{177}Lu 和 ^{225}Ac 料液，自行标记合成为放射性药物 ^{177}Lu 和 ^{225}Ac，用于肿瘤治疗及临床试验研究。

其中标记合成放射性药物 ^{177}Lu（日实际最大操作量为 1.11×10^{10}Bq、日等效最大操作量为 1.11×10^{9}Bq、年最大生产量为 5.57×10^{11}Bq）、^{225}Ac（日实际最大操作量为 5.25×10^{7}Bq、日等效最大操作量为 5.25×10^{8}Bq、年最大生产量为 2.63×10^{9}Bq）。核医学科核素制备场所治疗药物制备区划为一个非密封放射性物质工作场所进行管理，日等效最大操作量为 1.64×10^{9}Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

3）药物质检区

本项目核医学科核素制备场所药物质检区拟对正电子药物制备区及治疗药物制备区制备

的放射性药物进行质控检测，各放射性药物质检操作量为：^{18}F（日实际最大操作量为 $7.40\times10^{7}Bq$、日等效最大操作量为 $7.40\times10^{5}Bq$、年最大操作量为 $1.85\times10^{10}Bq$）、^{11}C（日实际最大操作量为 $3.70\times10^{7}Bq$、日等效最大操作量为 $3.70\times10^{5}Bq$、年最大操作量为 $1.85\times10^{9}Bq$）、^{13}N（日实际最大操作量为 $3.70\times10^{7}Bq$、日等效最大操作量为 $3.70\times10^{5}Bq$、年最大操作量为 $1.85\times10^{9}Bq$）、^{89}Zr（日实际最大操作量为 $3.70\times10^{7}Bq$、日等效最大操作量为 $3.70\times10^{6}Bq$、年最大操作量为 $1.85\times10^{9}Bq$）、^{64}Cu（日实际最大操作量为 $3.70\times10^{7}Bq$、日等效最大操作量为 $3.70\times10^{5}Bq$、年最大操作量为 $1.85\times10^{9}Bq$）、^{68}Ga（打靶）（日实际最大操作量为 $3.70\times10^{7}Bq$、日等效最大操作量为 $3.70\times10^{5}Bq$、年最大操作量为 $1.85\times10^{9}Bq$）、^{68}Ga（淋洗）（日实际最大操作量为 $3.70\times10^{7}Bq$、日等效最大操作量为 $3.70\times10^{5}Bq$、年最大操作量为 $1.85\times10^{9}Bq$）、^{225}Ac（日实际最大操作量为 $3.70\times10^{7}Bq$、日等效最大操作量为 $3.70\times10^{8}Bq$、年最大操作量为 $1.85\times10^{9}Bq$）、^{177}Lu（日实际最大操作量为 $3.70\times10^{7}Bq$、日等效最大操作量为 $3.70\times10^{6}Bq$、年最大操作量为 $1.85\times10^{9}Bq$）。核医学科核素制备场所药物质检区划为一个非密封放射性物质工作场所进行管理，日等效最大操作量为 $3.79\times10^{8}Bq$，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

（2）核素诊断场所

医院核医学科核素诊断场所拟设在综合楼负一层东南侧，主要设置南北两个诊断区：其中北侧 PET 诊断区拟新建一间 PET/CT 机房及其控制室、设备间、PET 活性室、PET 储源室、PET 显像前候诊室、PET 观察室、PET 放废暂存间、受检者走廊；南侧 SPECT 诊断区拟新建两间 SPECT/CT 机房及其控制室、多功能室兼急救室、SPECT 活性室、SPECT 储源室、SPECT 显像前候诊室、SPECT 观察室、SPECT 放废暂存间、受检者走廊；两诊断区中间拟新建医护走廊、报告室等配套房间。各功能间建设情况具体如下：

表 1-2　核素诊断场所各功能间建设情况表

功能区	功能间（面积）	屏蔽体	建设内容
PET 诊断区	PET/CT 机房（有效使用面积：48 ㎡）	四周墙体	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		地坪	180mm 混凝土+50mm 防护涂料
		防护门	15mmPb
		观察窗	15mmPb
	PET 受检者走廊、PET 观察室（约 10.5 ㎡）	四周墙体	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 （其中受检者走廊北墙为 400mm 混凝土）
		顶棚、地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	15mmPb
	PET 放废暂存间（约 3.6 ㎡）	四周墙体	西墙：200mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料 其余墙体：370mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		地坪	180mm 混凝土+50mm 防护涂料
		防护门	10mmPb

	PET 显像前候诊室（约 22.1 ㎡）、PET 活性室（约 11.0 ㎡）	四周墙体	200mm 混凝土+50mm 防护涂料（显像前候诊室东墙为：370mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料）
		顶棚	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		地坪	180mm 混凝土+50mm 防护涂料
		防护门	15mmPb
		通风柜	50mmPb
		注射窗为	50mmPb
	PET 储源室（约 4.4 ㎡）、更衣缓冲间（约 7.4 ㎡）	四周墙体	200mm 混凝土+50mm 防护涂料
		顶棚	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		地坪	180mm 混凝土+50mm 防护涂料
		防护门	10mmPb
SPECT 诊断区	两间 SPECT/CT 机房（有效使用面积均为：40.5 ㎡）	四周墙体	370mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料
		顶棚、地坪	180mm 混凝土+30mm 防护涂料
		防护门	5mmPb
		观察窗	5mmPb
	多功能室兼急救室（约 17.6 ㎡）、SPECT 储源室（约 5.4 ㎡）、SPECT 活性室（约 7.9 ㎡）、更衣缓冲间（一更和二更合计约 7.3 ㎡）	四周墙体	200mm 混凝土+20mm 防护涂料
		顶棚、地坪	180mm 混凝土+30mm 防护涂料
		防护门	5mmPb
		传递窗	5mmPb
		注射窗	20mmPb
		通风柜	20mmPb
	SPECT 显像前候诊室（约 29.9 ㎡）、SPECT 放废暂存间（约 3.8 ㎡）、SPECT 受检者走廊和 SPECT 观察室（约 12.2 ㎡）	四周墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料
		顶棚、地坪	180mm 混凝土+30mm 防护涂料
		防护门	5mmPb

核素诊断场所拟新增 1 台 PET-CT（CT 参数：150kV，1500mA）和 2 台 SPECT-CT（CT 参数：150kV，1500mA），均属III类射线装置；拟配置 7 枚 ^{22}Na 放射源（1.48×10^{7}Bq1 枚 $+3.7\times10^{5}$Bq6 枚）用于 PET-CT 校准，属 V 类放射源。

本项目核医学科核素诊断场所拟使用放射性核 ^{99m}Tc（日计划最大操作量为 5.50×10^{10}Bq、日等效最大操作量为 5.50×10^{7}Bq、年最大操作量为 1.39×10^{13}Bq、）、^{123}I（日计划最大操作量为 1.85×10^{9}Bq、日等效最大操作量为 1.85×10^{7}Bq、年最大操作量为 4.63×10^{11}Bq）、^{203}Pb（日计划最大操作量为 1.85×10^{9}Bq、日等效最大操作量为 1.85×10^{7}Bq、年最大操作量为 4.63×10^{11}Bq）进行 SPECT 显像诊断；拟使用放射性核 ^{18}F（日计划最大操作量为 7.40×10^{9}Bq、日等效最大操作量为 7.40×10^{6}Bq、年最大操作量为 1.85×10^{12}Bq）、^{11}C（日计划最大操作量为 1.85×10^{9}Bq、日等效最大操作量为 1.85×10^{7}Bq、年最大操作量为 9.25×10^{10}Bq）、^{13}N（日计划最大操作量为 2.22×10^{9}Bq、日等效最大操作量为 2.22×10^{7}Bq、年最大操作量为 1.11×10^{11}Bq）、^{89}Zr（日计划最大操作量为 3.70×10^{6}Bq、日等效最大操作量为 3.70×10^{5}Bq、年最大操作量为 1.85×10^{8}Bq）、^{64}Cu（日计划最大操作量为 3.70×10^{6}Bq、日等效最大操作量为 3.70×10^{4}Bq、年最大操作量为 1.85×10^{8}Bq）、^{68}Ga（日计划最大操作量为 7.40×10^{8}Bq、日等效最大操作量为

7.40×10^{6}Bq、年最大操作量为 3.70×10^{10}Bq）、^{44}Sc（日计划最大操作量为 3.70×10^{8}Bq、日等效最大操作量为 3.70×10^{6}Bq、年最大操作量为 1.85×10^{10}Bq）、^{124}I（日计划最大操作量为 3.70×10^{6}Bq、日等效最大操作量为 3.70×10^{5}Bq、年最大操作量为 1.85×10^{8}Bq）进行 PET 显像诊断。核医学科核素诊断场所划为一个非密封放射性物质工作场所进行管理，日等效最大操作量为 1.34×10^{8}Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

（3）核素治疗场所

医院核医学科核素治疗场所拟设在综合楼一层东南侧，主要设置东侧新型核素病房区和西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区两个功能区：其中西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区拟新建门诊给药室、门诊留观室、门诊污物暂存间、三间甲癌病房（均为双人间）、住院给药室、配药间、储源室、放废暂存间、污染被服库、清洁间等配套房间，另外在甲癌病房区域西南侧新建一间甲吸测定室和一间敷贴治疗室；东侧新型核素病房区拟新建一间 α 核素病房（双人间）、两间 ^{177}Lu 核素病房（均为双人间）、储源室、分装注射间、抢救室兼 ^{177}Lu 注射室、放废暂存间、清洁间、污染被服间等配套房间；各功能间建设情况具体如下：

表 1-3　核素治疗场所各功能间建设情况表

功能区	功能间（面积）	屏蔽体	建设内容
甲癌病房及门诊核素诊疗区	三间甲癌病房（约 25.2 ㎡/间）	四周墙体	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+6mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	20mmPb
		采光窗	20mmPb
	住院给药室（约 5.3 ㎡）	四周墙体	东墙：200mm 混凝土+80mm 防护涂料 其余墙体：370mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		地坪	180mm 混凝土+6mm 铅板
		防护门	22mmPb
	配药间（约 12.2 ㎡）	四周墙体	200mm 混凝土+80mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+6mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	22mmPb
		碘分装柜	50mmPb
		传递窗	40mmPb
	储源室（约 5.2 ㎡）	四周墙体	200mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+6mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	22mmPb
	放废暂存间	四周墙体	西墙：200mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 其余墙体：200mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+6mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	15mmPb

	污染被服间	四周墙体	北墙：200mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料 其余墙体：200mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+6mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	15mmPb
	甲癌病房患者走廊	四周墙体	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+6mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	22mmPb
		取餐传递窗	22mmPb
	门诊给药室 （约 5.5 ㎡）	四周墙体	东墙：200mm 混凝土+40mm 防护涂料 其余墙体：370mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		地坪	180mm 混凝土+6mm 铅板
		防护门	10mmPb
		注射窗	25mmPb
	门诊留观室及其卫生间（约 5.4 ㎡）、 门诊污物暂存间（约 2.1 ㎡）、 门诊治疗患者走廊	四周墙体	东墙：370mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料 其余墙体：200mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+4mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+40mm 防护涂料
		防护门	10mmPb
	甲吸测定室、敷贴治疗室	四周墙体	200mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料
		顶棚	120mm 混凝土
		地坪	120mm 混凝土
		防护门	2mmPb
新型核素病房区	一间 α 核素病房和两间 ^{177}Lu 核素病房（约 25.2 ㎡/间）、 α 核素及 ^{177}Lu 核素病房患者走廊	四周墙体	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+6mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	10mmPb
		采光窗	10mmPb
	取餐间	四周墙体	南墙：200mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料 其余墙体：370mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+6mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	10mmPb
		取餐传递窗	10mmPb
	分装注射间	四周墙体	北墙、南墙和西墙南侧：200mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料 西墙北侧和东墙：370mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+6mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	10mmPb
		注射窗	10mmPb
	储源室	四周墙体	东墙：370mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料 其余墙体：200mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+6mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	10mmPb

	抢救室兼 ^{177}Lu 注射室、放射暂存间、清洁间、污染被服库	四周墙体	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+6mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	抢救室兼 ^{177}Lu 注射室：10mmPb 其余场所：5mmPb

敷贴治疗室拟使用 ^{90}Sr 敷贴器（出厂活度 7.4×10^{8}Bq）进行敷贴治疗，属V类放射源。

本项目核医学科核素治疗场所甲癌病房及门诊核素诊疗区拟使用放射性核 ^{131}I（日计划最大操作量为 2.78×10^{10}Bq、日等效最大操作量为 2.78×10^{9}Bq、年最大操作量为 1.39×10^{12}Bq）进行甲癌治疗；拟使用放射性核 ^{131}I（日计划最大操作量为 1.85×10^{9}Bq、日等效最大操作量为 1.85×10^{8}Bq、年最大操作量为 4.63×10^{11}Bq）进行甲亢治疗；拟使用放射性核 ^{131}I（日计划最大操作量为 1.85×10^{6}Bq、日等效最大操作量为 1.85×10^{5}Bq、年最大操作量为 4.63×10^{8}Bq）进行甲吸测定。核医学科核素治疗场所甲癌病房及门诊核素诊疗区划为一个非密封放射性物质工作场所进行管理，日等效最大操作量为 2.96×10^{9}Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目核医学科核素治疗场所新型核素病房区拟使用放射性核 ^{161}Tb（日计划最大操作量为 5.55×10^{9}Bq、日等效最大操作量为 5.55×10^{8}Bq、年最大操作量为 2.78×10^{11}Bq）、^{177}Lu（日计划最大操作量为 1.11×10^{10}Bq、日等效最大操作量为 1.11×10^{9}Bq、年最大操作量为 5.55×10^{11}Bq）、^{89}Sr（日计划最大操作量为 2.96×10^{8}Bq、日等效最大操作量为 2.96×10^{7}Bq、年最大操作量为 1.48×10^{10}Bq）、^{211}At（日计划最大操作量为 7.40×10^{7}Bq、日等效最大操作量为 7.40×10^{7}Bq、年最大操作量为 3.70×10^{9}Bq）、^{223}Ra（日计划最大操作量为 4.44×10^{7}Bq、日等效最大操作量为 4.44×10^{8}Bq、年最大操作量为 2.22×10^{9}Bq）、^{47}Sc（日计划最大操作量为 3.70×10^{8}Bq、日等效最大操作量为 3.70×10^{7}Bq、年最大操作量为 1.85×10^{10}Bq）、^{188}Re（日计划最大操作量为 1.48×10^{9}Bq、日等效最大操作量为 1.48×10^{8}Bq、年最大操作量为 7.40×10^{10}Bq）、^{212}Pb（日计划最大操作量为 7.40×10^{7}Bq、日等效最大操作量为 7.40×10^{6}Bq、年最大操作量为 3.70×10^{9}Bq）、^{225}Ac（日计划最大操作量为 1.55×10^{7}Bq、日等效最大操作量为 1.55×10^{8}Bq、年最大操作量为 7.77×10^{8}Bq）进行肿瘤治疗及临床试验研究。核医学科核素治疗场所新型核素病房区划为一个非密封放射性物质工作场所进行管理，日等效最大操作量为 2.41×10^{9}Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目主要组成内容及可能产生的环境问题见表 1-4。

表 1-4　项目组成及主要的环境问题表

名称	场所	建设内容及规模	可能产生的环境问题	
			施工期	运营期
主体	核医学科	医院核医学科核素制备场所拟设在综合楼负二层东南侧，主要设置北侧正电子药物制备区、西南侧治疗药物制备区和南侧药物质检区三个功能	噪声、施工废	X 射线、γ

工程	核素制备场所	区：其中北侧正电子药物制备区拟新建一间回旋加速器机房及其控制室、设备间、靶片存储间、固体靶热室、正电子热室、废物暂存间、洁净走廊、更衣缓冲间等配套房间；西南侧治疗药物制备区拟新建一间治疗药物热室、放废暂存间、清洁间、更衣缓冲间等配套房间；南侧药物质检区拟新建一间内毒素检测室、阳性菌检测室、放化室、培养室、微生物室、无菌室、放废暂存间、清洁间、卫生通过间等配套房间。 拟新增 1 台回旋加速器（属Ⅱ类射线装置）生产正电子放射性药物 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{89}Zr、^{64}Cu 和 ^{68}Ga；拟配备 1 柱最大规格为 50mCi 的锗镓发生器，淋洗制备放射性药物 ^{68}Ga，用于 PET 显像诊断。拟外购放射性核素 ^{177}Lu 和 ^{225}Ac 料液，自行标记合成为放射性药物 ^{177}Lu 和 ^{225}Ac，用于肿瘤治疗及临床试验研究。	水、扬尘、固体废物、射线装置安装调试阶段产生 X 射线等	射线、β射线、中子、放射性废气、放射性废水、放射性固废、β表面污染、感生放射性物质、臭氧、氮氧化物
	核医学科核素诊断场所	医院核医学科核素诊断场所拟设在综合楼负一层东南侧，主要设置南北两个诊断区：其中北侧 PET 诊断区拟新建一间 PET/CT 机房及其控制室、设备间、PET 活性室、PET 储源室、PET 显像前候诊室、PET 观察室、PET 放废暂存间、受检者走廊；南侧 SPECT 诊断区拟新建两间 SPECT/CT 机房及其控制室、多功能室兼急救室、SPECT 活性室、SPECT 储源室、SPECT 显像前候诊室、SPECT 观察室、SPECT 放废暂存间、受检者走廊；两诊断区中间拟新建医护走廊、报告室等配套房间。拟新增 1 台 PET-CT 和 2 台 SPECT-CT，上述设备属III类射线装置。另拟配置 7 枚 ^{22}Na 放射源（1.48×10^{7}Bq1 枚+3.7×10^{5}Bq6 枚）用于 PET-CT 校准，属Ⅴ类放射源。 本项目核医学科核素诊断场所拟使用放射性核素 ^{99m}Tc、^{123}I 和 ^{203}Pb 进行 SPECT 显像诊断；拟使用放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{44}Sc 和 ^{124}I 进行 PET 显像诊断。		
	核医学科核素治疗场所	医院核医学科核素治疗场所拟设在综合楼一层东南侧，主要设置东侧新型核素病房区和西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区两个功能区：其中西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区拟新建门诊给药室、门诊留观室、门诊污物暂存间、三间甲癌病房（均为双人间）、住院给药室、配药间、储源室、放废暂存间、污染被服库、清洁间等配套房间，另外在甲癌病房区域西南侧新建一间甲吸测定室和一间敷贴治疗室；东侧新型核素病房区拟新建一间α核素病房（双人间）、两间 ^{177}Lu 核素病房（均为双人间）、储源室、分装注射间、抢救室兼 ^{177}Lu 注射室、放废暂存间、清洁间、污染被服间等配套房间。敷贴治疗室拟使用 ^{90}Sr 敷贴器（出厂活度 7.4×10^{8}Bq）进行敷贴治疗，属Ⅴ类放射源。 本项目核医学科核素治疗场所拟使用放射性核 ^{131}I 进行甲癌治疗、甲亢治疗和甲吸测定，拟使用放射性核 ^{161}Tb、^{177}Lu、^{89}Sr、^{211}At、^{223}Ra、^{47}Sc、^{188}Re、^{212}Pb、^{225}Ac 进行肿瘤治疗及临床试验研究。		
辅助工程		配套建设候诊区、诊室和护士站等设施		/
环保设施		◆废水：医院拟在核医学科西北侧的室外地下（即肿瘤中心住院部与胸部中心住院部之间的室外住院广场西侧）设置 1 套 3 级并联式衰变池，设置有 3 格污泥池和 3 格衰变池，单格衰变池有效容积为 418m^3，总容积为 1255.5m^3。核医学科各场所产生的放射性废水均暂存在衰衰变池中超过 10 个最长半衰期（含 ^{131}I 核素的暂存超过 180 天）。之后经提升泵送至院内污水处理站进一步处理，达标后排入市政污水管网。 ◆废气： ①核素制备场所： 正电子药物制备区：正电子药物制备区共设置有 5 套排风管路（以下简称 1 号至 5 号管路），1 号管路连接回旋加速器底部的排风管道，该管路单独设置；2 号管路排风口位于回旋加速器机房东南角，排风口距	噪声、施工废水、扬尘、固体废物	噪声

	地300mm，该管路单独设置；3号管路排风口布设于固体靶热室、正电子热室和放废暂存间 1 内；4 号管路排风口连接固体靶热室内合成热室柜及分装热室柜；5 号管路连接正电子热室内合成热室柜及分装热室柜；6 号管路连接热室缓冲间、消毒洁具洗存间、整衣间、洗衣间、清洁间、洁净走廊卫生通过区域。 治疗药物制备区：治疗药物制备区共设置有 2 套排风管路（以下简称 1 号至 2 号管路），1 号管路连接热室内的 α/β 核素标记热室柜，该管路单独设置；2 号管路排风口布设于放废暂存间2、治疗药物热室及其净化走廊、更衣缓冲间内。 药物质检区：药物质检区共设置有2套排风管路（以下简称1号至2号管路），1号管路连接放化室内的通风橱，该管路单独设置；2号管路排风口布设于放化室、消毒灭菌间、放废暂存间、无菌室、微生物室、内毒素检测室、阳性菌检测室及其更衣缓冲间内。 ②核素诊断场所： 场所共设置有4套放射性废气排风管道系统（以下简称1号至4号管路），1号管路连接PET活性室和SPECT活性室的手套箱，该管路单独设置；2号管路连接两间放废暂存间、两间清洁间、两间显像前候诊室的卫生间、两间观察室的卫生间；3号管路连接两间储源室、两间活性室及其卫生通过间；4号管路连接多功能室兼急救室、显像前候诊室、受检者走廊、PET-CT机房和两间SPECT-CT机房。 ③核素治疗场所： 甲癌病房及门诊核素诊疗区：场所设置有 4 套放射性废气排风管道系统（以下简称 1 号至 3 号管路），1 号管路连接门诊给药室、门诊留观室及其卫生间、门诊污物暂存间和甲吸测定室；2 号管路连接三间甲癌病房及其卫生间；3 号管路连接住院给药室、配药间、储源室、卫生通过间、清洁间、污染被服库、放废暂存间和患者走廊；4 号管路连接两台手套箱，该管路单独设置。 新型核素病房区：场所设置有1套放射性废气排风管道系统，管路连接卫生通过间、储源室、分装注射间、抢救室兼^{177}Lu注射室、放废暂存间、清洁间、污染被服库、两间^{177}Lu病房、一间α核素病房和患者走廊。 ◆固废：本项目核医学科产生的放射性废物暂存于各场所的废物暂存间，所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍，含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天后，达到清洁解控水平，作为医疗废物处理。 ◆废物衰变桶：10mmPb，28 个；废物衰变箱：10mmPb，16 个。 ◆噪声：选取低噪声设备；利用建筑隔声；设置减振、软管连接等降噪措施。		
公用工程	依托医院的配电、供电、通讯系统及污水处理系统等。		/

1.2.3 本项目主要原辅材料及能耗情况

本项目主要原辅材料及能耗情况见表 1-5。

表 1-5 本项目主要原辅材料及耗能情况

类别	名称	年用量	来源	用途
主要原	^{99m}Tc	1.39E+13 Bq	外购	SPECT 显像诊断

	辅材料	^{123}I	4.63E+11 Bq	外购	SPECT 显像诊断
		^{203}Pb	4.63E+11 Bq	外购	SPECT 显像诊断
		^{18}F	1.85E+12 Bq	回旋加速器自制或外购	PET 显像诊断
		^{11}C	9.25E+10 Bq	回旋加速器自制或外购	PET 显像诊断
		^{13}N	1.11E+11 Bq	回旋加速器自制或外购	PET 显像诊断
		^{89}Zr	1.85E+08 Bq	回旋加速器自制或外购	PET 显像诊断
		^{64}Cu	1.85E+08 Bq	回旋加速器自制或外购	PET 显像诊断
		^{68}Ga	3.70E+10 Bq	回旋加速器自制、自淋洗或外购	PET 显像诊断
		^{44}Sc	1.85E+10 Bq	外购	PET 显像诊断
		^{124}I	1.85E+08 Bq	外购	PET 显像诊断
		^{131}I	1.85E+12 Bq	外购	甲癌治疗、甲亢治疗、甲吸测定
		^{161}Tb	2.78E+11 Bq	外购	肿瘤治疗及临床试验研究
		^{177}Lu	5.55E+11 Bq	自合成或外购	
		^{89}Sr	1.48E+10 Bq	外购	
		^{211}At	3.70E+09 Bq	外购	
		^{223}Ra	2.22E+09 Bq	外购	
		^{47}Sc	1.85E+10 Bq	外购	
		^{188}Re	7.40E+10 Bq	外购	
		^{212}Pb	3.70E+09 Bq	外购	
		^{225}Ac	7.77E+08 Bq	自合成或外购	
		^{68}Ge	1.85E+09 Bq	外购	淋洗制备 ^{68}Ga
	能源	电（kW）	30000度	市政电网	—
	水	自来水	3300m^3	市政供水管网	—

1.2.4 本项目涉及的医用射线装置

本项目涉及医用射线装置的情况详见表 1-6 和表 1-7。

表 1-6 本项目医用射线装置基本情况表

序号	射线装置	型号	主要参数	类别	拟安装场所	备注
1	回旋加速器	玖源-12 型	最大束流能量：12MeV，最大束流强度：100μA；带自屏蔽	II 类	核医学科核素制备场所回旋加速器机房	1 台，拟购
2	正电子发射计算机断层成像系统（PET-CT）	待定	CT 部分：150kV,1500mA	III类	核医学科核素诊断场所 PET-CT 机房	1 台，拟购
3	单光子发射计算机断层成像系统（SPECT-CT）	待定	CT 部分：150kV,1500mA	III类	核医学科核素诊断场所 SPECT-CT 机房	2 台，拟购

1.2.5 本项目涉及的医用核素

本项目涉及的医用核素及其特性情况详见表 1-7，涉及的密封型放射核素特性见表 1-8。

表 1-7 本项目涉及核素特性

序号	核素种类	衰变方式	主要射线和能量（MeV）	半衰期	物化状态	毒性分组	周围剂量当量率常数（μSv·m^2/MBq·h）	用途
1	^{18}F	β^+、EC	γ/0.511	109.77min	液态	低毒	0.143	PET显像诊断
2	^{11}C	β^+	γ/0.511	20.39min	液态	低毒	0.148	

3	^{13}N	β^+	γ/0.511	9.97min	液态	低毒	0.148	
4	^{64}Cu	β^+、β^-、EC	γ/0.511,1.346	12.7h	液态	低毒	0.029	
5	^{89}Zr	β^+、EC	γ/0.511	78.4h	液态	中毒	0.2662	
6	^{68}Ga	β^+、EC	γ/0.511	68.3min	液态	低毒	0.134	
7	^{44}Sc	β^+、EC	γ/0.511,1.157	3.93h	液态	低毒	0.183	
8	^{124}I	β^+、EC	γ/0.511,0.602	4.18d	液态	中毒	0.185	
9	^{99m}Tc	IT	γ/0.141	6.02h	液态	低毒	0.0303	SPECT显像诊断
10	^{123}I	EC	γ/0.159,0.184	13.2h	液态	低毒	/	
11	^{203}Pb	EC	γ /0.279,0.401	52.1h	液态	低毒	/	
12	^{131}I	β^-	β/0.602 γ/0.365	8.04d	液态	中毒	0.0595	甲吸测定、甲亢治疗、甲癌治疗
13	^{177}Lu	β^-	β/0.497,0.176,0.384 γ/0.2083	6.71d	液态	中毒	0.007636	肿瘤治疗及临床试验研究
14	^{161}Tb	β^-	β/0.520,0.460 γ/0.0746	6.91d	液态	中毒	0.006371	
15	^{89}Sr	β^-	β/1.488	50.53d	液态	中毒	/	
16	^{211}At	α	α/5.9	7.21h	液态	高毒	/	
17	^{223}Ra	α	α/5.7478,5.7164,5.6076 γ/0.2696	11.44d	液态	极毒	0.08789	
18	^{47}Sc	β^-	β/0.600.0.439 γ/0.1593	3.41d	液态	中毒	/	
19	^{188}Re	β^-	β/2.128,1.973 γ/0.633,0.155	16.98h	液态	中毒	/	
20	^{212}Pb	β^-	β/0.330,0.5686 γ/0.2386	10.6h	液态	中毒	/	
21	^{225}Ac	α	α/5.830,5.794 5.732 γ/0.0.0998	10.0d	液态	极毒	0.05172	
22	^{68}Ge(发生器)	EC	γ/1.89	288h	液态	中毒	0.01634	淋洗制备^{68}Ga

注：数据来源于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《γ 射线屏蔽参数手册》（中国科学院工程力学研究所编，原子出版社）、《实用辐射安全手册》（第二版，原子能出版社）、《辐射防护手册》（第一分册，原子能出版社）、《Health Physics and Radiological Health》和《EXPOSURE RATE CONSTANTS AND LEAD SHIELDING VALUES FOR OVER1100 RADIONUCLIDES》。

表 1-8　本项目涉及密封型核素特性

序号	核素名称	总活度（Bq）/活度（Bq）×枚数	类别	主要射线和能量（MeV）	半衰期	活动种类	使用场所	贮存地点	来源
1	^{22}Na	$1.48\times10^7/1.48\times10^7\times1$枚	V类	γ /1.27，β /1.82	2.6a	使用	核医学科核素诊断场所	PET储源室	拟购
2	^{22}Na	$2.22\times10^6/3.7\times10^5\times6$枚	V类			使用			
3	^{90}Sr	$7.4\times10^8\times1$枚	V类	β /0.53	28.1a	使用	核医学科核素治疗场所	敷贴治疗室	拟购

1.2.6 本项目生产或使用核素工作场所分级

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号，2016 年 3 月 7 日施行），满足以下特点的放射性药品生产、使用场所，应当作为一个单独场所

进行日等效操作量核算：

（1）有相对独立、明确的监督区和控制区划分；

（2）工艺流程连续完整；

（3）有相对独立的辐射防护措施。

本项目核医学科主要分为三个场所：负二层核素制备场所、负一层核素诊断场所和一层核素治疗场所。其中负二层核素制备场所中设置三个工作区块，分别为正电子药物制备区、治疗药物制备区和药物质检区；负一层核素诊断场所中设置两个工作区块，分别为 PET 诊断区和 SPECT 诊断区；一层核素治疗场所中主要设置两个工作区块，分别为东侧新型核素病房区和西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区；依据上述划分条件，对于本项目辐射工作场所分区，具体分析情况见表 1-9。

表 1-9　本项目核医学科非密封放射性物质工作场所分区划分

划分条件	本项目设计情况
有相对独立、明确的监督区和控制区划分	本项目核医学科负二层核素制备场所的正电子药物制备区、治疗药物制备区和药物质检区，负一层核素诊断场所，一层核素治疗场所的东侧新型核素病房区和西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区均具有实体物理隔离，有相对独立的监督区和控制区划分，且均具备相对独立的人流、物流路径，每层楼相对独立。
	负一层核素诊断场所的PET诊断区和SPECT诊断区因存在共用人流、物流通道，因此应划分为一个场所进行管理。
工艺流程连续完整	负二层核素制备场所的正电子药物制备区、治疗药物制备区和药物质检区三个区域分别进行正电子药物制备、治疗药物制备和制备后药物的质控检测，三个区域工艺流程相对完整，同时生产制备后的药物直接通过专用药梯转移至负一层诊断场所和一层治疗场所，其余诊断/治疗流程相对连续完整。
有相对独立的辐射防护措施	负二层核素制备场所的正电子药物制备区、治疗药物制备区和药物质检区，负一层核素诊断场所，一层核素治疗场所的东侧新型核素病房区和西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区均配置有相对独立的辐射屏蔽设施（如工作箱、手套箱、通风橱和生物安全柜等），同时各楼层之间设置有相对独立的通排风及净化设施，排风系统不存在共用情况，且各区域均配套设计有相对独立的放射性废物暂存间以及相对独立的放射性废水下水管道，不存在辐射防护设施共用情况。

根据上表分析，核医学科负二层核素制备场所的正电子药物制备区、治疗药物制备区和药物质检区，负一层核素诊断场所，一层核素治疗场所的东侧新型核素病房区和西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区有相对独立、明确的监督区控制区划分，各区域的放射性药物制备/质检、病人诊断或治疗工艺均完整连续，均具有相对独立的辐射防护措施（屏蔽、放射性废气收集处理、放射性废水排放以及放射性固废收集处理等），因此本次将核医学科负二层核素制备场所的正电子药物制备区、治疗药物制备区和药物质检区，负一层核素诊断场所，一层核

素治疗场所的东侧新型核素病房区和西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区分别划分为一个单独的非密封放射性物质工作进行管理。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录C提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法（日等效最大操作量计算公式为：日等效最大操作量=日最大操作量×毒性组别修正因子/操作方式修正因子），经计算本项目核素制备场所（正电子药物制备区）日等效最大操作量 1.15×10^{8}Bq，核素制备场所（治疗药物制备区）日等效最大操作量 1.64×10^{9}Bq，核素制备场所（药物质检区）日等效最大操作量 3.79×10^{8}Bq，核素诊断场所日等效最大操作量 1.34×10^{8}Bq，核素治疗场所（西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区）日等效最大操作量 2.96×10^{9}Bq，核素治疗场所（东侧新型核素病房区）日等效最大操作量 2.41×10^{9}Bq，上述六个场所均属于乙级非密封放射性物质工作场所。计算表见表1-10。

表1-10　本项目工作场所分级计算表

工作场所	核素种类	日生产批次（次）	年生产批次（次）	单批次最大生产量（Bq）	靶原料	计划最大日操作量（Bq）	毒性组别修正因子	操作方式修正因子①	计划日等效最大操作量（Bq）	年最大生产量（Bq）
核素制备场所（正电子药物制备区）	^{18}F	2	500	3.77E+09	液态	7.55E+09	0.01	1	7.55E+07	1.89E+12
	^{11}C	1	50	1.92E+09	气态	1.92E+09	0.01	1	1.92E+07	9.62E+10
	^{13}N	1	50	2.29E+09	液态	2.29E+09	0.01	1	2.29E+07	1.15E+11
	^{89}Zr	1	50	7.77E+07	固态	7.77E+07	0.1	1	7.77E+06	3.89E+09
	^{64}Cu	1	50	7.77E+07	固态	7.77E+07	0.01	1	7.77E+05	3.89E+09
	^{68}Ga(打靶)	1	50	8.14E+08	液态	8.14E+08	0.01	1	8.14E+06	4.07E+10
	^{68}Ge	/	/	/	/	1.85E+09	0.1	100	1.85E+06	1.85E+09
	^{68}Ga(淋洗)	1	50	1.48E+09	/	1.48E+09	0.01	1	1.48E+07	7.40E+10
	回旋加速器每天均打靶生产核素 ^{18}F，此外最多再打靶生产1种核素，以及淋洗锗镓发生器，**日等效最大操作量取最大值 1.15×10^{8}Bq**（按核素 ^{18}F、^{13}N、^{68}Ge和 ^{68}Ga（淋洗）操作量核算），**工作场所级别为乙级。**									
核素制备场所（治疗药物制备区）	^{225}Ac	1	50	5.25E+07	/	5.25E+07	10	1	5.25E+08	2.63E+09
	^{177}Lu	1	50	1.11E+10	/	1.11E+10	0.1	1	1.11E+09	5.57E+11
	治疗药物制备区可能同时制备2种核素，**日等效最大操作量取最大值 1.64×10^{9}Bq，工作场所级别为乙级。**									
核素制备场所（药物质检区）	^{18}F	2	500	3.70E+07	/	7.40E+07	0.01	1	7.40E+05	1.85E+10
	^{11}C	1	50	3.70E+07	/	3.70E+07	0.01	1	3.70E+05	1.85E+09
	^{13}N	1	50	3.70E+07	/	3.70E+07	0.01	1	3.70E+05	1.85E+09
	^{89}Zr	1	50	3.70E+07	/	3.70E+07	0.1	1	3.70E+06	1.85E+09
	^{64}Cu	1	50	3.70E+07	/	3.70E+07	0.01	1	3.70E+05	1.85E+09
	^{68}Ga(打靶)	1	50	3.70E+07		3.70E+07	0.01	1	3.70E+05	1.85E+09
	^{68}Ga(淋洗)	1	50	3.70E+07		3.70E+07	0.01	1	3.70E+05	1.85E+09
	^{225}Ac	1	50	3.70E+07		3.70E+07	10	1	3.70E+08	1.85E+09

	^{177}Lu	1	50	3.70E+07	/	3.70E+07	0.1	1	3.70E+06	1.85E+09
	根据正电子药物制备区和治疗药物制备区生产计划，**药物质检区日等效最大操作量取最大值 3.79×10^{8}Bq**（按核素 ^{18}F、^{89}Zr、^{68}Ga（淋洗）、^{225}Ac 和 ^{177}Lu 操作量核算），**工作场所级别为乙级。**									
工作场所	**核素种类**	**日最大诊疗量（人）**	**年最大诊疗量（人）**	**单人次最大使用量（Bq）**	**给药方式**	**计划最大日操作量（Bq）**	**毒性组别修正因子**	**操作方式修正因子①**	**计划日等效最大操作量（Bq）**	**年最大用量（Bq）**
核素诊断场所	^{99m}Tc	60	15000	9.25E+08	注射	5.55E+10	0.01	10	5.55E+07	1.39E+13
	^{123}I	5	1250	3.70E+08	注射	1.85E+09	0.01	1	1.85E+07	4.63E+11
	^{203}Pb	5	1250	3.70E+08	注射	1.85E+09	0.01	1	1.85E+07	4.63E+11
	^{18}F	20	5000	3.70E+08	注射	7.40E+09	0.01	10	7.40E+06	1.85E+12
	^{11}C	2	100	9.25E+08	注射	1.85E+09	0.01	1	1.85E+07	9.25E+10
	^{13}N	2	100	1.11E+09	注射	2.22E+09	0.01	1	2.22E+07	1.11E+11
	^{89}Zr	2	100	1.85E+06	注射	3.70E+06	0.1	1	3.70E+05	1.85E+08
	^{64}Cu	2	100	1.85E+06	注射	3.70E+06	0.01	1	3.70E+04	1.85E+08
	^{68}Ga	2	100	3.70E+08	注射	7.40E+08	0.01	1	7.40E+06	3.70E+10
	^{44}Sc	2	100	1.85E+08	注射	3.70E+08	0.01	1	3.70E+06	1.85E+10
	^{124}I	2	100	1.85E+06	注射	3.70E+06	0.1	1	3.70E+05	1.85E+08
	核素诊断场所 SPECT 显像诊断使用的核素和 PET 显像诊断使用的 ^{44}Sc、^{124}I 均为外购成品药物，其余 PET 显像诊断使用的正电子核素正常情况下均由医院自行生产或淋洗（当回旋加速器故障或其他特殊原因导致无法生产或淋洗时，采用外购成品药）（^{68}Ga 可由回旋加速器打靶生产，也可通过锗镓发生器淋洗制备，两种方式取其一），回旋加速器每天均打靶生产核素 ^{18}F，此外最多再打靶生产 1 种核素，因此核素诊断场所 PET 显像诊断核素最大使用情况为：每天使用 ^{18}F 和其他任何一种自生产正电子核素（取日等效最大操作量核 ^{13}N），以及淋洗锗镓发生器；其余外购成品药物均保守考虑每天使用，**合计日等效最大操作量为 1.34×10^{8}Bq**（按核素 ^{99m}Tc、^{123}I、^{203}Pb、^{18}F、^{13}N、^{68}Ga、^{44}Sc、^{124}I 操作量核算），**工作场所级别为乙级。**									
核素治疗场所（西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区）	^{131}I(甲癌)	5	250	5.55E+09	口服	2.78E+10	0.1	1	2.78E+09	1.39E+12
	^{131}I(甲亢)	5	1250	3.70E+08	口服	1.85E+09	0.1	1	1.85E+08	4.63E+11
	^{131}I(甲吸)	10	2500	1.85E+05	口服	1.85E+06	0.1	1	1.85E+05	4.63E+08
	合计日等效最大操作量为 2.96×10^{9}Bq，工作场所级别为乙级。									
核素治疗场所（东侧新型核素病房区）	^{161}Tb	1	50	5.55E+09	注射	5.55E+09	0.1	1	5.55E+08	2.78E+11
	^{177}Lu	2	100	5.55E+09	注射	1.11E+10	0.1	1	1.11E+09	5.55E+11
	^{89}Sr	2	100	1.48E+08	注射	2.96E+08	0.1	1	2.96E+07	1.48E+10
	^{211}At	2	100	3.70E+07	注射	7.40E+07	1	1	7.40E+07	3.70E+09
	^{223}Ra	2	100	2.22E+07	注射	4.44E+07	10	1	4.44E+08	2.22E+09
	^{47}Sc	2	100	1.85E+08	注射	3.70E+08	0.1	1	3.70E+07	1.85E+10
	^{188}Re	2	100	7.40E+08	注射	1.48E+09	0.1	1	1.48E+08	7.40E+10
	^{212}Pb	2	100	3.70E+07	注射	7.40E+07	0.1	1	7.40E+06	3.70E+09
	^{225}Ac	2	100	7.77E+06	注射	1.55E+07	10	1	1.55E+08	7.77E+08
	核素治疗场所使用的核素 ^{177}Lu 和 ^{225}Ac 均由医院核素制备场所自行生产（当特殊原因导致无法生产时，采用外购成品药），其余核素均为外购成品药物，^{161}Tb 和 ^{177}Lu 核素治疗需住院（1～3 天），其余核素治疗均为门诊治疗，每天规划门诊治疗核素最多三种，**合计日等效最大操作量为 2.41×10^{9}Bq**（按核 ^{161}Tb、^{177}Lu、^{223}Ra、^{188}Re 和 ^{225}Ac 操作量核算），**工作场所级别为乙级。**									

注：①根据《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）的有关规定：

1.放射性药品生产中，分装、标记等活动视为“简单操作”；

2.医疗机构使用 ^{18}F、^{99m}Tc 相关活动为“很简单的操作”，使用 ^{131}I 核素相关活动视为“简单操作”。

②根据建设单位规划，本项目拟购置 1 柱最大规格为 50mCi 的锗镓发生器，根据厂家提供参数，平均单次淋洗效率为 80%，本项目病人就诊频次为 50 天/年，则镓-68 最大淋洗量由下式估算：

$$A=\sum_{i=1}^{50}0.8A_0\times0.5^{\frac{i-1}{288}} \qquad \text{（式 1-1）}$$

式中：A—50 天淋洗总活度，Bq；A_0—初始锗-68 活度，1.85×10^9Bq；i—第 i 天；T—锗-68 半衰期，288 天。

经计算 50 天，锗镓发生器最大淋洗量为 6.96×10^{10}Bq。

1.2.7 工作制度和劳动定员

工作制度：本项目辐射工作人员每天工作 8 小时，每年工作 250 天。

劳动定员：本项目核医学科核素制备、核素诊断、治疗场所拟配备辐射工作人员 26 名，拟配备的辐射工作人员部分从医院外部招聘，部分从医院内部调配，辐射工作人员均不存在兼职其他辐射工作场所岗位情况。

表 1-11 本项目拟配备辐射工作人员情况表

场所		项目/岗位	配置人数
核素制备场所	正电子药物制备区	回旋加速器操作	2
		药物制备	1
		药物转运	1
	治疗药物制备区	药物制备	1
		药物转运	1
	药物质检区	药物质控检测	2
核素诊断场所	PET 诊断区	PET 药物分装、注射	2
		PET-CT 操作、摆位	2
	SPECT 诊断区	SPECT 药物分装、注射	2
		SPECT-CT 操作、摆位	4
核素治疗场所	东侧新型核素病房区	分装、给药	2
		病房管理	1
	西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区	给药、甲吸测定	2
		病房管理	1
		敷贴治疗操作	2

1.3 产业政策符合性分析

根据《产业结构调整指导目录(2024 年本)》（国家发展和改革委员会令第 7 号，2024 年 2 月 1 日施行），本项目属鼓励类中第六项“核能”第 4 条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”项目和第十三项“医药”中的第 4 条“高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”项目，其建设符合国家现行产业政策。

1.4 项目规划符合性分析

本项目位于德阳市泰山北路与钱塘江路交汇处西北角，隶属于德阳市旌东新区起步区，旌东新区规划建设目标为“以商务核心区和宜居新城为主题，依托高铁北站、行政中心和职教基地，建设居住以及服务功能协调发展的北部新城”

根据德阳市旌东新区起步区控制性详细规划—土地利用规划图，本项目拟建地的用地性质为“医院用地”，本项目均依托医院主体工程征地红线内建设，不新增用地，项目符合德阳市总体规划。

1.5 实践正当性分析

本项目的建设可以更好地满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求， 提高对疾病的诊断和治疗能力。核技术应用项目的开展，可达到一般非放射性诊治方法所不能及的效果，是其它诊治项目无法替代的，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，由于放射诊断和治疗的方法效果显著、病人治疗中所受的痛苦较小，方法的优势明显，因此，该项目的实践是必要的。但是，由于在诊断或治疗过程中射线装置的使用不当可能会造成如下辐射影响问题：

（1）给辐射工作人员及周围公众造成一定的辐射影响，给病人造成一定的负面影响；

（2）射线装置的不正当性操作会造成较大和一般的辐射事故。

建设单位在放射性诊断和治疗过程中，对射线装置、放射性核素其所在的辐射工作场所的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，并建立相应的规章制度和辐射事故应急预案。因此，在正确操作和严格管理的情况下，可以将本项目产生的辐射影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给辐射工作人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术利用的实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践正当性”的要求。

1.6 项目选址、外环境关系、布局合理性分析

1.6.1 项目选址合理性分析

本项目位于德阳市泰山北路与钱塘江路交汇处西北角，德阳市人民医院城北第五代医院综合楼内，医院东面紧邻泰山路，隔泰山路为散居小型商铺、农户；东南侧 67m 为中石化加油站；南侧紧邻规划的钱塘江路，农户；西侧 79m 为在建居民小区，再远为农田；北侧紧邻妇女儿童专科医院。**医院地理位置图见附图 1，周边环境现状见附图 2，医院总平面布置图见附图 3。**

本项目用地为医疗用地。医院周围为居民商住区，交通较为便捷，能为周围居民提供方便的就医设施。本项目评价范围内无自然保护区、保护文物、风景名胜区、水源保护区等生态敏感点，所开展的核技术应用项目通过采取相应有效治理和屏蔽措施后对周围环境影响较小，因此选址是合理的。

1.6.2 周边环境关系

（1）本项目四周关系

本建设项目地址位于德阳市泰山北路与钱塘江路交汇处西北角德阳市人民医院城北第五代医院内，医院东面紧邻泰山路，隔泰山路为散居小型商铺、农户；东南侧 67m 为中石化加油站；南侧紧邻规划的钱塘江路，农户；西侧 79m 为在建居民小区，再远为农田；北侧紧邻妇女儿童专科医院。

本项目位于医院综合楼负二层东南侧（核医学科核素制备场所）、负一层东南侧（核医学科核素诊断场所）和一层东南侧（核医学科核素治疗场所），另外配套建设的衰变池拟设置在核医学科西北侧的室外地下（即肿瘤中心住院部与胸部中心住院部之间的室外住院广场西侧），核医学科场所边界（包含衰变池所在区域边界）外东侧 50m 范围内为医院内部道路、绿化及泰山路；南侧 190m 范围内为医院内部道路、污水处理站、液氧站、景观绿化、室外停车场；西侧 170m 范围内为医院内部道路、景观广场、绿化带及综合楼其他区域，北侧 50m 范围内为医院内部道路、室外住院广场及综合楼其他区域。

（2）本项目布局合理性分析

本项目核医学核素制备场所、核素诊断场所和核素治疗场所分别设置于医院综合楼负二层东南侧、负一层东南侧和一层东南侧，工作场所医护通道、患者通道、药物通道出入口均设置独立门禁，无关人员不能直接进入。整个工作场所相对独立且封闭，核素生产、接诊等候、核素诊断治疗、扫描检查、工作人员办公区域划分明确，相对隔离，可以尽量避免公众和医护人员不必要的照射，平面布置较为合理； 本项目放射性废物间设置在辐射工作场所靠近出口处，放射性废物能以最短距离被送出本项目区域，避免了对其他人员的二次照射，降低了医生及公众受照射的可能性，其设置合理；本项目拟在核医学科西北侧的室外地下（即肿瘤中心住院部与胸部中心住院部之间的室外住院广场西侧）设置一套衰变池系统，沿途管路均增设铅防护并设置专用污泥池和污水提升泵，衰变池周边主要为土层，上方设置检修入口，周边人流量较小，降低了医生及公众受照射的可能性，其设置合理。

表 1-12　核医学工作场所与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）选址要求对照分析

标准要求	本项目实际情况	备注
核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的	本项目核医学工作场所分布于医院综合楼负二层东	满足

建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。	南侧、负一层东南侧和一层东南侧（分别为核素制备场所、核素诊断场所和核素治疗场所），各场所区域均相对独立，各场所边界均设置了物理隔离和单独的人员、物流通道。	
核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。	本项目核医学工作场所不毗邻产科、儿科和食堂等部门，同时避开了医院内人流量较大的住院区域、门诊大厅区域，同时与周围非辐射工作场所有明确的分界隔离，并有实体屏蔽措施。	满足
核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。	本项目核医学工作场所控制区内设置有独立排风系统，且排风管道引至楼顶进行排放，且排放口朝向避开了周围高层建筑。	满足

综上所述，本项目辐射工作场所位置相对封闭且独立，各组成部分功能分区明确，满足诊治工作要求，既能有机联系，又不相互干扰，从辐射安全防护的角度分析，其总平面布置是合理的。

本项目各辐射工作场所边界外 50m 范围内主要是医院内部和医院东侧泰山路部分区域，无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等环境敏感区。各辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对周围环境影响较小，从辐射安全防护的角度分析，本项目选址是合理的。

1.7 现有核技术利用项目许可情况

（1）目前，医院已取得四川省生态环境厅核发的《辐射安全许可证》（川环辐证[00236]，允许使用种类和范围为：使用Ⅴ类放射源；使用Ⅱ、Ⅲ射线装置；使用非密封性放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所；有效期至 2025 年 12 月 06 日，见附件5）。

（2）医院辐射安全许可证已登记的放射性同位素、射线装置和放射源情况见表 1-13，表 1-14 和 1-15。该医院现有核技术利用项目均已履行环评审批手续，相关项目均已完成环保“三同时”验收，环保措施和设施均运行正常；经现场踏勘，未发现有环境遗留问题。同时，经建设单位证实，医院开展放射性诊疗多年，目前未发生过辐射安全事故。

表 1-13 辐射安全许可证已登记的放射性同位素一览表

序号	场所名称	场所等级	使用核素	日等效最大操作量（Bq）	年最大使用量（Bq）
1	核医学科	丙级	^{18}F	7.4×10^{6}	1.93×10^{12}
2			^{89}Sr	1.85×10^{7}	4.81×10^{11}
3			^{125}I	3.1×10^{4}	7.78×10^{7}
4	核医学科	乙级	^{131}I	2.22×10^{8}	1.11×10^{11}
5			^{99m}Tc	1.85×10^{8}	4.44×10^{12}
6			^{125}I（粒子源）	3.7×10^{7}	9.32×10^{10}

表 1-14 辐射安全许可证已登记的射线装置一览表

序号	装置名称	场所名称	类别	设备参数
1	口腔 X 射线数字化体层摄影设备	CBCT 照片室	III类	90kV,16mA
2	计算机断层扫描系统（64 层螺旋 CT）	CT 室（二）	III类	140kV,500mA

3	X射线计算机体层摄影设备（超高档CT）	CT室（五）	III类	150kV,2600mA
4	X射线计算机体层摄影设备（外科CT）	CT室（一）	III类	140kV,825mA
5	数字化医用X射线摄影系统	DR照片室（第三照片室）	III类	150kV,640mA
6	医用血管造影X射线系统（DSA）	DSA二室	II类	125kV,1000mA
7	数字平板减影血管造影系统	DSA一室	II类	125kV,1250mA
8	直接数字化X射线成像系统	第一照片室	III类	150kV,650mA
9	X射线计算机体层摄影设备	方舱CT室	III类	140kV,420mA
10	X射线计算机体层摄影设备	放疗中心模拟定位CT机房	III类	125kV,500mA
11	医用直线加速器	放疗中心直线加速器①机房	II类	粒籽能量6MeV
12	直线加速器	放疗中心直线加速器②机房	II类	粒籽能量10MeV
13	医用血管造影X射线系统	复合手术室	II类	125kV,1000mA
14	数字化移动式摄影X射线机	妇儿院区2楼照片室	III类	150kV,400mA
15	X射线计算机体层摄影设备	妇儿院区CT室	III类	140kV,677mA
16	数字化医用X射线摄影系统	妇儿院区DR室	III类	150kV,640mA
17	数字乳腺X射线摄影系统	妇儿院区乳腺摄影室	III类	49kV,200mA
18	双能X射线骨密度仪	骨密度检测室	III类	76kV,3mA
19	单光子发射计算机断层系统（SPECT）	核医学科SPECT检查室	III类	140kV,2.5mA
20	X射线计算机体层摄影设备	急诊CT室	III类	140kV,833mA
21	X射线诊断系统	急诊DR室	III类	150kV,650mA
22	口腔X射线机（牙片机）	口腔科牙片室	III类	60kV,7mA
23	移动式C型臂X射线机	六医院手术室4间	III类	110kV,23mA
24	移动式C型臂X射线系统	六医院手术室5间	III类	110kV,21mA
25	移动式G型臂X射线成像系统	六医院手术室6间	III类	110kV,15mA
26	移动式X射线影像系统	六医院手术室7间	III类	110kV,20mA
27	医用诊断X射线机(数字胃肠机)	数字胃肠造影室	III类	150kV,800mA
28	X射线骨密度仪	体检中心骨密度室（一）	III类	60kV,0.333mA
29	移动式数字化医用X射线摄影系统	外科大楼9楼ICU（1）	III类	150kV,400mA
30	移动式C型臂X射线机	外科手术室第12间	III类	125kV,250mA
31	放射治疗模拟机	肿瘤科模拟定位室	III类	125kV,500mA
32	医用X射线影像装置	旌南DR照片室	III类	150kV,560mA
33	X射线计算机体层摄影设备	旌南分院CT室（二）	III类	140kV,515mA
34	全身X射线计算机体层螺旋扫描装置	旌南分院CT室（一）	III类	130kV,345mA
35	乳腺X射线系统	旌南分院乳腺室	III类	49kV,200mA

表1-15 辐射安全许可证已登记的放射源一览表

序号	核素	类别	总活度（贝可）/活度（贝可）×枚数	活动种类
1	Sr-90（Y-90）	V类	$7.4\times10^{8}\times1$	使用

1.8 现有核技术利用管理情况

医院遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关放射性法律、法规，配合各级生态环境主管部门监督和指导，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

（1）辐射安全与环境保护管理机构

建设单位已成立了辐射安全与环境保护管理领导小组，明确了相关工作内容和职责，能够满足现有核技术利用项目运行过程中辐射防护管理和监督的需要。

（2）辐射安全管理相关规章制度

医院在现有核技术利用项目运行中已根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中相应要求，制定了<辐射安全与环境保护管理机构文件>、<辐射安全管理规定>、<辐射工作设备操作规程>、<辐射安全和防护设施维护维修制度>、<辐射工作人员岗位职责>、<放射源与射线装置台账管理制度>、<辐射工作场所和环境辐射水平监测方案>、<监测仪表使用与校验管理制度>、<辐射工作人员培训制度>、<辐射工作人员个人剂量管理制度>、<辐射事故应急预案>、<质量保证大纲和质量控制检测计划>等规章制度（详见附件 6）。同时，各科室根据项目开展特点，制定了相应的操作规程、岗位职责、管理制度等，并落实执行。

上述制度基本满足目前核技术利用项目开展的需要，实践过程中若发现与工作实践不符或采取的防护技术有变化的情况出现，医院会立即组织相关人员进行修订，以保持制度的适用性和规范性，最大限度保护环境和人员免受辐射影响。

（3）辐射工作人员培训情况

医院现有 416 名辐射工作人员，均已取得辐射安全与防护培训合格证书，医院定期安排辐射工作人员在生态环境部辐射安全与防护培训平台参加培训。

根据（生态环境部公告 2021 年第 9 号）《关于进一步优化辐射安全考核的公告》和《四川省生态环境厅关于进一步做好核技术利用单位辐射安全与防护考核的通知》（2021 年 3 月 29 日），医院应根据辐射安全许可要求和实际工作情况，组织安排仅从事III类射线装置使用活动的辐射工作人员参加自行考核；从事其他核技术利用活动的辐射工作人员应参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（http://fushe.mee.gov.vn）上的考试并取得相应的成绩报告单，申请辐射安全许可证时做到持证上岗。医院应根据上述规定落实本项目新增辐射工作人员辐射安全与防护培训工作，此外超过培训合格证或成绩报告单有效期后应进行复训。

（4）开展辐射监测工作的情况

①个人剂量监测：建设单位现有辐射工作人员均已委托进行个人剂量监测，监测结果表明辐射工作人员个人季度有效剂量及年有效剂量均均低于 1.25mSv/季度的约束值以及职业人员 5mSv/年的管理限值。

②工作场所和环境辐射水平监测：医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，根据建设单位提供的监测报告，各辐射工作场所监测结果均满足相关

标准要求，医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。

（5）辐射事故应急处理及演练执行情况

医院在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好，运行过程中未曾发生辐射事故，若发生辐射事故时应立即启动辐射事故应急预案。医院每年开展一次辐射事故应急演练但并对演习内容进行记录和保存。

（6）年度评估报告情况

医院按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，每年对本单位射线装置安全和防护状况进行评估，并于每年 1 月 31 日前向管理部门提交上一年度评估报告。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度（Bq）/ 活度（Bq）×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	^{22}Na	$1.48\times10^{7}/1.48\times10^{7}\times1$枚	V类	使用	校准源	负一层东南侧核素诊断场所	PET储源室	拟购
2	^{22}Na	$2.22\times10^{6}/3.7\times10^{5}\times6$枚	V类	使用	校准源	负一层东南侧核素诊断场所	PET储源室	拟购
3	^{90}Sr	$7.4\times10^{8}/7.4\times10^{8}\times1$枚	V类	使用	敷贴治疗	一层东南侧核素治疗场所	敷贴治疗室	拟购
	以下空白							

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度（n/s）。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大用量（Bq）	日等效操作量(Bq)	年最大用量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	^{18}F	液态\低毒 半衰期 109.77min	生产	7.55E+09	7.55E+07	1.89E+12	制备放射性药物，用于显像诊断及核素治疗	简单操作	核素制备场所（正电子药物制备区）	药物制备后，转运至核素诊断场所和核素治疗场所储源室暂存	/
2	^{11}C	液态\低毒 半衰期 20.39min	生产	1.92E+09	1.92E+07	9.62E+10					
3	^{13}N	液态\低毒 半衰期 9.97min	生产	2.29E+09	2.29E+07	1.15E+11					
4	^{89}Zr	液态\中毒 半衰期 78.4h	生产	7.77E+07	7.77E+06	3.89E+09					
5	^{64}Cu	液态\低毒 半衰期 12.7h	生产	7.77E+07	7.77E+05	3.89E+09					
6	^{68}Ga(打靶)	液态\低毒 半衰期 68.3min	生产	8.14E+08	8.14E+06	4.07E+10					
	^{68}Ge	液态\中毒 半衰期 288h	使用	1.85E+09	1.85E+06	1.85E+09		贮存			
	^{68}Ga(淋洗)	液态\低毒	使用	1.48E+09	1.48E+07	7.40E+10		简单操作			

		半衰期 68.3min									
	^{225}Ac	液态\极毒 半衰期 10.0d	使用	5.25E+07	5.25E+08	2.63E+09			核素制备场所（治疗药物制备区）		/
	^{177}Lu	液态\中毒 半衰期 6.71d	使用	1.11E+10	1.11E+09	5.57E+11					
	^{18}F	液态\低毒 半衰期 109.77min	使用	7.40E+07	7.40E+05	1.85E+10			核素制备场所（药物质检区）		/
	^{11}C	液态\低毒 半衰期 20.39min	使用	3.70E+07	3.70E+05	1.85E+09					
	^{13}N	液态\低毒 半衰期 9.97min	使用	3.70E+07	3.70E+05	1.85E+09					
	^{89}Zr	液态\中毒 半衰期 78.4h	使用	3.70E+07	3.70E+06	1.85E+09					
	^{64}Cu	液态\低毒 半衰期 12.7h	使用	3.70E+07	3.70E+05	1.85E+09					
	^{68}Ga(打靶)	液态\低毒 半衰期 68.3min	使用	3.70E+07	3.70E+05	1.85E+09					
	^{68}Ga(淋洗)	液态\低毒 半衰期 68.3min	使用	3.70E+07	3.70E+05	1.85E+09					
	^{225}Ac	液态\极毒 半衰期 10.0d	使用	3.70E+07	3.70E+08	1.85E+09					
	^{177}Lu	液态\中毒 半衰期 6.71d	使用	3.70E+07	3.70E+06	1.85E+09					
	^{99m}Tc	液态\低毒 半衰期 6.02h	使用	5.55E+10	5.55E+07	1.39E+13	显像诊断	很简单操作	核素诊断场所	专业供应商送到 SPECT 储源室暂存	/
	^{123}I	液态\低毒 半衰期 13.2h	使用	1.85E+09	1.85E+07	4.63E+11	显像诊断	简单操作			
	^{203}Pb	液态\低毒 半衰期 52.1h	使用	1.85E+09	1.85E+07	4.63E+11	显像诊断	简单操作			
	^{18}F	液态\低毒 半衰期	使用	7.40E+09	7.40E+06	1.85E+12	显像诊断	很简单操作		核素制备场所制备后，转运至 PET 储	

		109.77min								源室暂存	
	^{11}C	液态\低毒 半衰期 20.39min	使用	1.85E+09	1.85E+07	9.25E+10	显像诊断	简单操作			
	^{13}N	液态\低毒 半衰期 9.97min	使用	2.22E+09	2.22E+07	1.11E+11	显像诊断	简单操作			
	^{89}Zr	液态\中毒 半衰期 78.4h	使用	3.70E+06	3.70E+05	1.85E+08	显像诊断	简单操作			
	^{64}Cu	液态\低毒 半衰期 12.7h	使用	3.70E+06	3.70E+04	1.85E+08	显像诊断	简单操作			
	^{68}Ga	液态\低毒 半衰期 68.3min	使用	7.40E+08	7.40E+06	3.70E+10	显像诊断	简单操作			
	^{44}Sc	液态\低毒 半衰期 3.93h	使用	3.70E+08	3.70E+06	1.85E+10	显像诊断	简单操作		专业供应商送到 PET 储源室暂存	
	^{124}I	液态\中毒 半衰期 4.18d	使用	3.70E+06	3.70E+05	1.85E+08	显像诊断	简单操作			
	^{131}I(甲癌)	液态\中毒 半衰期 8.04d	使用	2.78E+10	2.78E+09	1.39E+12	甲癌治疗	简单操作	核素治疗场所（西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区）	专业供应商送到甲癌储源室暂存	/
	^{131}I(甲亢)	液态\中毒 半衰期 8.04d	使用	1.85E+09	1.85E+08	4.63E+11	甲亢治疗	简单操作			
	^{131}I(甲吸)	液态\中毒 半衰期 8.04d	使用	1.85E+06	1.85E+05	4.63E+08	甲吸测定	简单操作			
	^{161}Tb	液态\中毒 半衰期 6.91d	使用	5.55E+09	5.55E+08	2.78E+11	肿瘤治疗及临床试验研究	简单操作	核素治疗场所（东侧新型核素病房区）	专业供应商送到东侧病房储源室暂存	/
	^{177}Lu	液态\中毒 半衰期 6.71d	使用	1.11E+10	1.11E+09	5.55E+11		简单操作		核素制备场所制备后，转运至东侧病房储源室暂存	
	^{225}Ac	液态\极毒 半衰期 10.0d	使用	1.55E+07	1.55E+08	7.77E+08		简单操作			
	^{89}Sr	液态\中毒 半衰期 50.53d	使用	2.96E+08	2.96E+07	1.48E+10		简单操作		专业供应商送到东侧病房储源室暂存	
	^{211}At	液态\高毒 半衰期 7.21h	使用	7.40E+07	7.40E+07	3.70E+09		简单操作			
	^{223}Ra	液态\极毒	使用	4.44E+07	4.44E+08	2.22E+09		简单操作			

		半衰期 11.44d									
	^{47}Sc	液态\中毒 半衰期 3.35d	使用	3.70E+08	3.70E+07	1.85E+10		简单操作			
	^{188}Re	液态\中毒 半衰期 16.98h	使用	1.48E+09	1.48E+08	7.40E+10		简单操作			
	^{212}Pb	液态\中毒 半衰期 10.6h	使用	7.40E+07	7.40E+06	3.70E+09		简单操作			
		以下空白									

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）。

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	装置名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量（MeV）	额定电流（mA）	用途	工作场所	备注
1	回旋加速器	II类	1	玖源-12 型	质子	最大束流能量 12MeV	最大束流强度：100μA	核素制备	核医学科核素制备场所回旋加速器机房	拟购
	以下空白									

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊和治疗、分析等用途

序号	装置名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
1	正电子发射计算机断层成像系统（PET-CT）	III类	1	待定	CT 部分：150	CT 部分：1500	显像诊断	综合楼负一层东南侧核素诊断场所 PET-CT 机房	拟购
2	单光子发射计算机断层成像系统（SPECT-CT）	III类	1	待定	CT 部分：150	CT 部分：1500	显像诊断	综合楼负一层东南侧核素诊断场所 SPECT-CT 机房	拟购
	以下空白								

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大靶电流（μA）	中子强度(n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度（Bq）	贮存方式	数量	
	以下空白												

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性废水： 放射性药物制备区制备纯化柱、离子交换柱等清洗、纯化残液等、质检玻璃器皿清洗及废弃分析混合液、活化冷却水；诊疗病人排泄、清洗、淋浴废水，工作人员、场所及住院病房清洗废水等。	液态	^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{44}Sc、^{124}I、^{99m}Tc、^{123}I、^{203}Pb、^{131}I、^{161}Tb、^{177}Lu、^{89}Sr、^{211}At、^{223}Ra、^{47}Sc、^{188}Re、^{212}Pb、^{225}Ac等	/	/	总α≤1Bq/L、总β≤10Bq/L、碘-131 活度浓度≤10Bq/L	暂存在核医学科西北侧的室外地下（即肿瘤中心住院部与胸部中心住院部之间的室外住院广场西侧）设置的一套并联式衰变池中。	a）所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放 b）所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期（含碘-131核素的暂存超过180天），监测结果经审管部门认可后，按照GB18871中8.6.2规定方式进行排放。 排放出的废水经提升泵送至院内污水处理站进一步处理。
放射性固废： 药物制备、质检过程产生的离子交换柱、纯化柱、滤膜、棉签、原液玻璃瓶、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、稀释液玻璃瓶、擦拭废物等一次性耗材，以及废回旋加速器靶膜及附件；门诊/住院病人产生	固态	^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{44}Sc、^{124}I、^{99m}Tc、^{123}I、^{203}Pb、^{131}I、^{161}Tb、^{177}Lu、^{89}Sr、^{211}At、^{223}Ra、^{47}Sc、^{188}Re、^{212}Pb、^{225}Ac、^{61}Co 等	/	/	/	暂存在放废暂存间/污物暂存间/靶片存储间	暂存衰变，经监测达标（辐射剂量率满足所处环境本底水平、α表面污染小于0.08Bq/cm^2、β表面污染小于0.8Bq/cm^2）后，转入医院医疗废物暂存库，按照普通医疗废物执行转移联单制度，由有资质单位统一处理。废回旋加速器靶膜及附件、废锗镓发生器、废^{22}Na校准用放射源及时由厂家或有资质单位进行回收处理。

的一次性注射器/口杯/肺通气患者施给器、药棉、口罩、手套、空药瓶、台面/器皿吸收垫、滤纸及擦拭废物等，及住院病人治疗过程产生的一次性卫生用品、采血针管、废血样；废^{22}Na校准用放射源；废锗镓发生器；定期更换的废过滤器滤芯。							
放射性废气： 含有液态放射性药物分装时挥发的微量气溶胶	气态	^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{44}Sc 、^{124}I、^{99m}Tc、^{123}I、^{203}Pb、^{131}I、^{161}Tb、^{177}Lu、^{89}Sr、^{211}At、^{223}Ra、^{47}Sc、^{188}Re、^{212}Pb、^{225}Ac等	少量	少量	/	经活性炭过滤器过滤后排放	经独立排风管道引至屋顶，并经活性炭过滤器过滤后排放。
回旋加速器运行中产生的感生放射性物质	气态	^{11}C、^{13}N、^{15}O、^{41}Ar	少量	少量	/		
放射性同位素和射线装置产生的臭氧、氮氧化物	气态	/	少量	少量	/	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧常温约 50 分钟下可自行分解为氧气。
以下空白							

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

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

表 6 评价依据

法规文件	（1）《中华人民共和国环境保护法》（1989 年 12 月 26 日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过；2014 年 4 月 24 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订），2015 年 1 月 1 日施行； （2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2002 年 10 月 28 日通过，自 2003 年 9 月 1 日起施行；2016 年 7 月 2 日第一次修正；2018 年 12 月 29 日第二次修正）； （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》（中华人民共和国主席令第六号），2003 年 10 月 1 日施行； （4）《建设项目环境保护管理条例》（1998 年 11 月 29 日中华人民共和国国务院令第 253 号发布施行；2017 年 7 月 16 日中华人民共和国国务院第 682 号令修订，自 2017 年 10 月 1 日起施行）； （5）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，（2005 年 9 月 14 日经国务院令第 449 号公布，2014 年 7 月 29 日经国务院令第 653 号修改，2019 年 3 月 2 日经国务院令第 709 号修改）； （6）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年 1 月 18 日，国家环境保护总局令第 31 号公布，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）； （7）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（中华人民共和国环境保护部令第 18 号），自 2011 年 5 月 1 日起施行； （8）《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（环境保护部国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号），自 2017 年 12 月 5 日起施行； （9）《关于发布<放射源分类办法>的公告》（国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号），自 2005 年 12 月 23 日起施行； （10）《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》（公告 2019 年第 57 号）； （11）《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 2021 年第 9 号）；

	（12）《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》（生态环境部令第16号），自2021年1月1日起施行； （13）《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，中华人民共和国环境保护部办公厅，环办辐射函[2016]430号，2016年3月7日发布； （14）《关于发布<放射性废物分类>的公告》（环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告2017年第65号），自2018年1月1日施行； （15）《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（国家环保总局，环发[2006]145号）； （16）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》（生态环境部令第9号），2019年11月1日施行； （17）《产业结构调整指导目录（2024年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第7号），2024年2月1日起施行； （18）《关于贯彻落实 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》（川环办函[2019] 507号）； （19）《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公告第63号），2016年6月1日实施； （20）《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），2020年6月28日； （21）《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲》（川环函〔2016〕1400号）； （22）四川省生态环境厅关于印发《四川省生态环境厅审批环境影响评价文件的建设项目目录（2025年本）》的通知（川环规〔2025〕1号）。
技术标准	（1）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）； （2）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （3）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； （4）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； （5）《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）；

	（6）《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）； （7）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）； （8）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）； （9）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； （10）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； （11）《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）。
其他	（1）环境影响评价委托书； （2）德阳市人民医院提供的其它相关资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据本项目的特点，结合《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关规定，本辐射环境评价范围取本项目辐射工作场所实体边界外 50m 范围。

7.2 保护目标

根据附图 3 可知，本项目实体边界外 50m 评价范围内主要为医院内部和医院东侧泰山路部分区域，无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等环境敏感区。

本项目主要环境影响因素为电离辐射。环境保护目标主要是工作人员和周边公众。由于电离辐射水平随着距离的增加而衰减，因此选取辐射工作场所较近、有代表性的环境保护目标进行分析。项目具体环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标信息

环境保护目标类型		位置描述	距靶源最近距离(m)		估计人数	年有效剂量管理约束值
			水平	垂直		
核医学科核素制备场所	辐射工作人员	控制区内、回旋加速器/热室控制室内	/	0	8	5mSv
	公众	东侧楼梯间	13.0	0	10	0.1mSv
		南侧过道、气瓶间、纯水机房	2.0	0	15	
		西侧送风机房、净化机房、后勤库房	6.0	0	5	
		上方核医学科核素诊断场所	0	4.0	50	
		50m评价范围内的其他公众	/	/	100	
核医学科核素诊断场所	辐射工作人员	控制区内、PET/SPECT控制室内	/	0	10	5mSv
	公众	东侧送风机房、楼梯间	1.5	0	5	0.1mSv
		南侧空调机房	1.5	0	5	
		西侧候诊室、候诊通道、卫生间	1.5	0	50	
		上方核医学科核素治疗场所	0	4.0	30	
		下方核医学科核素制备场所	0	5.0	20	
		50m评价范围内的其他公众	/	/	100	
核医学科核素治疗场所	辐射工作人员	控制区内	/	0	8	5mSv
	公众	东侧空调机房、楼梯间	1.5	0	5	0.1mSv
		南侧通道、值班室、办公室、诊室等	1.5	0	50	
		西侧护士站、候诊区、楼梯间等	1.5	0	30	
		北侧室外空地	1.5	0	10	
		上方肿瘤中心病房	0	4.0	50	
		下方核医学科核素诊断场所	0	5.0	50	
		50m评价范围内的其他公众	/	/	100	

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限制

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

表 7-2 剂量限制的相关内容

对象	具体内容
职业照射剂量限值	应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： ①由审管部门决定的连续5 年的年平均有效剂量，20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv； ③四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。
公众照射剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果5个连续年的年平均剂量不超过lmSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv。
剂量约束值通常应在公众照射剂量限值10%~30%（即0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内。	

（2）参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中关于剂量约束值的规定：

a）一般情况下，从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为 5mSv/a。

b）公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

（3）参考《国际辐射防护和辐射源安全基本安全标准》第 GSR Part 3 号中的一览III中的相关要求：连续 5 年以上眼晶体接受年平均当量剂量 20mSv（5 年内 100mSv），且任何单一年份内的当量剂量 50mSv。

建设调试期间工作人员作为非辐射工作人员，期间以不超过 0.1mSv/a 作为其年有效剂量约束值。

辐射工作人员年有效剂量按上述表 7-2 中规定的照射剂量限制的 1/4 执行，即辐射工作人员剂量约束值不超过 5mSv；公众剂量约束值按照上述表 7-2 中标准的 1/10 执行，即不超过 0.1 mSv。辐射工作人员四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量约束值按照上述表 7-2 中标准的 1/4 执行，即不超过 125mSv。

7.3.2 辐射管理分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

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

6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

7.3.3 CT 机房安全措施和辐射屏蔽要求

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

（1）每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求；对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积，最小单边长度应符合表 7-3 要求。

表 7-3 本项目涉及机房使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积㎡	机房内最小单边长度 m
CT（不含头颅移动 CT）	30	4.5

（2）X 射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求

①不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护应不低于表 7-4 的规定。

表 7-4 各项设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	

②医用诊断 X 射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录 C 中表 C.4~表 C.7。

③机房的门和窗关闭时应满足表 7-4 的要求。

（3）机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

CT 机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h；

（4）工作场所防护用品及防护设施配置要求

根据工作内容现场应配备不少于 4 种基本种类要求的工作人员、患者和受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅防护衣；除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb；应为儿童的 X 射线检查配备有保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.5mmPb。详细情况见表 7-5。

表 7-5 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
介入放学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	——
CT体层扫描（隔室）	——	——	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	——
注1：“——”表示不需要求。 注2：各类个人防护用品和辅助防护设施，指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品，特别是非铅介入防护手套。				

7.3.4 核医学工作场所安全措施和辐射屏蔽要求

（1）表面污染控制水平

根据《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)，核医学工作场所的放射性表面污染控制水平见表 7-6。

表 7-6 核医学科工作场所放射性表面污控制水平（单位：Bq/cm²）

表面类型		β放射性物质（Bq/cm²）
工作台、设备、墙壁、地面	控制区[1)]	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1}
[1)] 该区内的高污染子区除外		

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）B2.2 规定，工作场所的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 11（见 7.3.5 中表 7-6）中所列设备类的控制水平的五十分之一以下时，经主管部门确认同意后，可当作普通物品使用。即控制区内表面污染≤0.8Bq/cm²。

（2）屏蔽要求

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

表 7-7 核医学科辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

场所	位置	剂量率控制水平（μSv/h）
核医学科	控制区外人员可到达处，距屏蔽体外 30cm 处	2.5
	控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处	2.5（人员居留因子≥1/2）
		10（人员居留因子＜1/2）
	放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位	2.5

	放射性药物合成和分装的箱体等设备外表面 30cm 处非正对人员操作位	25
	固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道外表面 30cm 处	2.5

（3）安全措施要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）

6.2 场所安全措施要求

6.2.1 核医学工作场所的放射性素操设备表面、工作台台面等平整光滑，室内地与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。

6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的病床旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。

6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相的去污措施。

6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐水平监测，无关人员不应入内，贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。

6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。

6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

7.3.5 放射性废物处理

（1）放射性废液

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

7.3.1 放射性废液收集

7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。

7.3.1.2 核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。

7.3.1.3 核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

7.3.1.4 放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。

7.3.2 放射性废液贮存

7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。

7.3.2.3 核医学诊断和门诊碘-131 治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为 3-5 级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

b）所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

7.3.3.2 对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB 18871 附录 A 表 A1 的要求。

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

根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）中相关规定，含碘-131 放射性废水可按照下列任意一种方式进行排放：

（一）根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》第 8.6.2 条规定，经监管部门

确认单次排入普通下水道的废水中碘-131 活度不超过 1ALImin（9E+5 贝可），每月排放的废水中碘-131 总活度不超过 10ALImin（9E+6 贝可）。

（二）暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放。

（三）暂存不满 180 天但监测结果表明碘-131 活度浓度已降至不高于 10 贝可/升水平，也可直接排放。

医院应做好相关排放记录。

另根据《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）规定，综合医疗机构水污染物排放标准执行表 2 规定限值，详见表 7-8。

表 7-8 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放标准（日均值）

控制项目	排放标准	预处理标准
总α（Bq/L）	1	1
总β（Bq/L）	10	10

（2）放射性固体废物

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

7.2.1 固体放射性废物收集

7.2.1.1 固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。

7.2.1.2 含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。

7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过 20 kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

7.2.2 固体放射性废物贮存

7.2.2.1 产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。

7.2.2.2 放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

7.2.2.3 废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。

7.2.2.4 含放射性的实验动物尸体或器官应装入废物袋做好防腐措施（如存放至专用冰柜内），并做好屏蔽防护。不需要特殊防护措施即可处理的尸体含放射性常用核素的上限值见附录 C。

7.2.2.5 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

7.2.3 固体放射性废物处理

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

a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

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

c）含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

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

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

（3）放射性废气

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。

7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

根据《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)：

核医学工作场所的通风按 7.3.3 中表 1 要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5 m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）中三、关于独立通风要求：

核医学标准第 6.3.4 节规定，手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统。单独的排风系统意为手套箱、通风橱等设备的排风管在汇入“主排风管道前”的部分，应独立设置，防止发生气体回流和交叉污染。经过滤后的气体汇入到一个主管道中排放不违反标准要求。

7.3.6 环境质量及污染物排放的执行标准

（1）环境质量控制标准

1、环境空气质量执行国家《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准；

2、地表水环境质量执行国家《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中III类标准；

3、声环境质量执行国家《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 2 类声功能区环境噪声限值。

（2）污染物排放标准

1、废气执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）表 2 二级标准；

2、医疗废水排放执行《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 中的

预处理排放标准；

3、噪声执行 ①施工期：《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）标准；②运营期：《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）表 1 中 2 类区域标准。

4、固废：一般固废执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599-2020）。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

本项目位于德阳市泰山北路与钱塘江路交汇处西北角，德阳市人民医院城北第五代医院综合楼内，医院东面紧邻泰山路，隔泰山路为散居小型商铺、农户；东南侧 67m 为中石化加油站；南侧紧邻规划的钱塘江路，农户；西侧 79m 为在建居民小区，再远为农田；北侧紧邻妇女儿童专科医院。

本项目位于医院综合楼负二层东南侧（核医学科核素制备场所）、负一层东南侧（核医学科核素诊断场所）和一层东南侧（核医学科核素治疗场所），另外配套建设的衰变池拟设置在核医学科西北侧的室外地下（即肿瘤中心住院部与胸部中心住院部之间的室外住院广场西侧），核医学科场所边界（包含衰变池所在区域边界）外东侧 50m 范围内为医院内部道路、绿化及泰山路；南侧 190m 范围内为医院内部道路、污水处理站、液氧站、景观绿化、室外停车场；西侧 170m 范围内为医院内部道路、景观广场、绿化带及综合楼其他区域，北侧 50m 范围内为医院内部道路、室外住院广场及综合楼其他区域。

8.2 辐射环境现状

为了解本项目辐射工作场所周围辐射环境现状水平，浙江君安检测技术有限公司于 2025 年 4 月 5 日对工作场所周围环境 β 表面污染水平、中子周围剂量当量率和 γ 射线剂量率进行监测。

8.2.1 环境现状评价对象

拟建项目辐射工作场所区域周边环境。

8.2.2 监测项目

γ 射线剂量率、中子周围剂量当量率和 α/β 表面污染水平。

8.2.3 监测点位

根据现场踏勘、本项目工作场所平面布置情况及《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)、《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021）和《表面污染测定 第 1 部分：β 发射体(Eβmax>0.15 MeV)和 α 发射体》(GB/T 14056.1-2008)的相关要求，本次选择在建设地周围布设监测点位以反映区域辐射环境质量本底状况，环境现状监测点位图见图 8-1，监测点位布设合理。

[redacted]

图 8-1 拟建辐射工作场所周围环境监测布点示意图

8.3 监测方案、质量保证措施及监测结果

8.3.1 监测方案

（1）监测单位：浙江君安检测技术有限公司

（2）监测日期：2025 年 4 月 5 日；

（3）监测方式：现场监测

（4）监测依据：《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）和《表面污染测定第一部分：β发射体（Eβmax>0.15Mev）和α发射体》（GB/T14056.1-2008）

（5）监测频次：依据标准予以确定

（6）监测工况：辐射环境现状

（7）天气环境条件：温度 25℃，相对湿度 55%，晴

（8）监测仪器

表 8-1　监测仪器一览表

监测项目	监测仪器信息		
	仪器名称	仪器编号	仪器参数及检定情况
γ射线剂量率	便携式 X、γ辐射周围剂量当量率仪	JAYQ-42	仪器型号：FH40G-X+FHZ672E-10 测量范围：1nSv/h~100μSv/h 能量响应：48keV~6MeV 校准因子：0.99 检定/校准单位：华东国家计量测试中心 证书编号：2024H21-10-5433154001 检定/校准日期：2024 年 08 月 14 日 检定/校准有效期：2025 年 08 月 13 日
β表面污染水平	α、β表面污染仪	JAYQ-33	仪器型号：COMO170 探测器尺寸: 170×100×1mm^3 α表面发射率响应：0.41 β表面发射率响应：0.41 检定/校准单位：华东国家计量测试中心 证书编号：2024H21-20-5354355001 检定/校准日期：2024 年 07 月 08 日 检定/校准有效期：2025 年 07 月 07 日
中子周围剂量当量率	中子周围剂量当量仪	JAYQ-32	仪器型号：RTM-3020 型 探测器：^{6}LiF 测量范围：0.01μSv/h～200mSv/h 校准因子：1.190 检定/校准单位：中国计量科学研究院 证书编号：DLjs2024-03375 检定/校准日期：2024 年 09 月 05 日 检定/校准有效期：2025 年 09 月 04 日

8.3.2 质量保证

本次监测单位为浙江君安检测技术有限公司，该单位具有浙江省质量技术监督局颁发的资质认定证书（证书号：161118341686），并在允许范围内开展监测工作和出具有效的监测报告，保证了监测工作的合法性和有效性。具体质量保证措施如下：

（1）合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性；

（2）监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗；

（3）监测仪器按规定定期经计量部门检定，检定合格后方可使用；

（4）监测仪器经常参加国内各实验室间的比对，确保监测数据的准确性和可比

性；

（5）每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否良好；

（6）由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录；

（7）监测报告实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术负责人审定。

8.3.3 监测结果

本项目辐射环境现状各监测点位的γ射线剂量率监测结果见表 8-2，中子周围剂量当量率监测结果见表 8-3，α/β表面污染水平监测结果见表 8-3。

表 8-2　拟建辐射工作场所区域周围环境γ射线剂量率监测结果

监测点号	监测地点	监测结果（nGy/h）		备注
		测量值	标准差	
1	综合楼负二层拟建核素制备场所东侧	95	1.1	室内
2	综合楼负二层拟建核素制备场所南侧	91	1.1	室内
3	综合楼负二层拟建核素制备场所西侧	92	2.3	室内
4	综合楼负二层拟建核素制备场所北侧	90	0.9	室内
5	综合楼负二层拟建核素制备场所中部	93	2.0	室内
1`	综合楼负一层拟建核素诊断场所东侧	88	1.6	室内
2`	综合楼负一层拟建核素诊断场所南侧	89	1.4	室内
3`	综合楼负一层拟建核素诊断场所西侧	86	1.5	室内
4`	综合楼负一层拟建核素诊断场所北侧	88	2.5	室内
5`	综合楼负一层拟建核素诊断场所中部	87	1.2	室内
1’	综合楼一层拟建核素治疗场所东侧	83	1.0	室内
2’	综合楼一层拟建核素治疗场所南侧	88	1.6	室内
3’	综合楼一层拟建核素治疗场所西侧	90	2.1	室内
4’	综合楼一层拟建核素治疗场所北侧	82	1.6	室内
5’	综合楼一层拟建核素治疗场所中部	79	1.2	室内
6	医院综合楼东侧空地	80	1.0	室外，水泥路面
7	医院综合楼南侧空地	76	2.0	室外，水泥路面
8	医院综合楼西侧空地	76	2.0	室外，水泥路面
9	医院综合楼北侧空地	82	1.2	室外，水泥路面
10	医院综合楼东侧泰山北路	78	1.4	室外，市政道路
11	医院综合楼南侧钱塘江路	76	1.5	室外，市政道路
12	医院综合楼西侧太行山路	71	1.5	室外，市政道路

注：1、测量时探头距离地面约 1m；
2、每个监测点测量 10 个数据取平均值，以上监测结果均已对宇宙射线的响应值进行了修正；
3、环境γ辐射空气吸收剂量率=读数平均值×校准因子 k_1×仪器检验源效率因子 k_2-屏蔽修正因子 k_3×测量点宇宙射线响应值 D_C，其中校准因子 k_1 为 0.99，仪器使用 ^{137}Cs 进行校准效率因子 k_2 取 1，空气比释动能和周围剂量当量的换算系数取 1.20Sv/Gy，k_3 楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1，测量点宇宙射线的响应值 D_C 为 **8.9nGy/h**；
4、测量点宇宙射线的响应值依据 HJ61-2021 标准附录 D 中的方法对参考点监测值修正得出，参考点为浙江省宁波市东钱湖湖面（海拔高度：6.21m，地理经纬度：东经 121.683574°，北纬 29.791144°）。

表 8-3　拟建辐射工作场所区域周围环境中子周围剂量当量率监测结果

序号	监测点位置	监测结果（μSv/h）	备注
1	综合楼负二层拟建核素制备场所东侧	<0.01	室内
2	综合楼负二层拟建核素制备场所南侧	<0.01	室内
3	综合楼负二层拟建核素制备场所西侧	<0.01	室内
4	综合楼负二层拟建核素制备场所北侧	<0.01	室内
5	综合楼负二层拟建核素制备场所中部	<0.01	室内
1`	综合楼负一层拟建核素诊断场所东侧	<0.01	室内
2`	综合楼负一层拟建核素诊断场所南侧	<0.01	室内
3`	综合楼负一层拟建核素诊断场所西侧	<0.01	室内
4`	综合楼负一层拟建核素诊断场所北侧	<0.01	室内
5`	综合楼负一层拟建核素诊断场所中部	<0.01	室内
1’	综合楼一层拟建核素治疗场所东侧	<0.01	室内
2’	综合楼一层拟建核素治疗场所南侧	<0.01	室内
3’	综合楼一层拟建核素治疗场所西侧	<0.01	室内
4’	综合楼一层拟建核素治疗场所北侧	<0.01	室内
5’	综合楼一层拟建核素治疗场所中部	<0.01	室内
6	医院综合楼东侧空地	<0.01	室内
7	医院综合楼南侧空地	<0.01	室内
8	医院综合楼西侧空地	<0.01	室内
9	医院综合楼北侧空地	<0.01	室外
10	医院综合楼东侧泰山北路	<0.01	室外
11	医院综合楼南侧钱塘江路	<0.01	室外
12	医院综合楼西侧太行山路	<0.01	室外
注：RTM-3020 型中子周围剂量当量率仪(JAYQ-32)探测下限为 0.01μSv/h。			

表 8-4　拟建辐射工作场所区域周围环境α/β 表面污染监测结果

序号	监测点位置	监测结果（Bq/cm²）	
		α 表面污染	β 表面污染
1	综合楼负二层拟建核素制备场所东侧	<0.01	<0.08
2	综合楼负二层拟建核素制备场所南侧	<0.01	<0.08
3	综合楼负二层拟建核素制备场所西侧	<0.01	<0.08
4	综合楼负二层拟建核素制备场所北侧	<0.01	<0.08
5	综合楼负二层拟建核素制备场所中部	<0.01	<0.08
1`	综合楼负一层拟建核素诊断场所东侧	<0.01	<0.08
2`	综合楼负一层拟建核素诊断场所南侧	<0.01	<0.08
3`	综合楼负一层拟建核素诊断场所西侧	<0.01	<0.08
4`	综合楼负一层拟建核素诊断场所北侧	<0.01	<0.08
5`	综合楼负一层拟建核素诊断场所中部	<0.01	<0.08
1’	综合楼一层拟建核素治疗场所东侧	<0.01	<0.08
2’	综合楼一层拟建核素治疗场所南侧	<0.01	<0.08
3’	综合楼一层拟建核素治疗场所西侧	<0.01	<0.08
4’	综合楼一层拟建核素治疗场所北侧	<0.01	<0.08
5’	综合楼一层拟建核素治疗场所中部	<0.01	<0.08
6	医院综合楼东侧空地	<0.01	<0.08
7	医院综合楼南侧空地	<0.01	<0.08
8	医院综合楼西侧空地	<0.01	<0.08
9	医院综合楼北侧空地	<0.01	<0.08

10	医院综合楼东侧泰山北路	＜0.01	＜0.08
11	医院综合楼南侧钱塘江路	＜0.01	＜0.08
12	医院综合楼西侧太行山路	＜0.01	＜0.08

注：1、CoMo170 型 α、β 表面污染仪(JAYQ-33)的 α 表面污染探测下限为 0.01Bq/cm²；
2、CoMo170 型 α、β 表面污染仪(JAYQ-33)的 β 表面污染探测下限为 0.08Bq/cm²。

8.4 环境现状调查结果的评价

监测所用仪器已由计量部门年检，且在有效期内；测量方法按国家相关标准实施；测量不确定度符合统计学要求；布点合理、人员合格、结果可信，能够反映出辐射工作场所的客观辐射水平，可以作为本次评价的科学依据。

根据表 8-2，本项目拟建辐射工作场所区域周围环境γ辐射空气吸收剂量率范围为 71～95nGy/h，低于四川省生态环境厅《2024 年四川省生态环境状况公告》中的德阳市环境电离辐射水平（70~100nGy/h），属于当地正常天然本底辐射水平。

根据表 8-3，本项目拟建辐射工作场所区域周围环境中子周围剂量当量率水平均低于设备探测下限，属于当地正常水平。

根据表 8-4，本项目拟建辐射工作场所区域周围环境α/β表面污染水平均低于设备探测下限，属于当地正常水平。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工程分析

本项目主体工程土建施工环境影响已包含在批复的《德阳市人民医院城北第五代医院建设项目环境影响报告书》中进行了分析评价，本次评价不涉及。本项目施工期主要是机房装修施工阶段和设备安装、调试阶段。各机房建设过程中要保证屏蔽墙体没有漏缝，使用的水泥标号要满足设计要求，禁止使用残砖，混凝土浇筑墙体要连续施工，同时要防止噪声扰民。

本项目装修施工期主要环境影响因素为噪声、施工废水、建筑粉尘和建筑垃圾等。装修时应注意施工方式，保证各屏蔽体有效衔接，各屏蔽体应有足够的超边量，墙与墙之间须紧密贴合，防护门与墙的重叠宽度至少为空隙的 10 倍，门的底部与地面之间的重叠宽度至少为空隙的 10 倍，注射给药窗和观察窗等与墙体至少重叠 5cm，且采用硫酸钡涂料灌缝，避免各屏蔽体之间有漏缝产生，防止辐射泄漏。

本项目装修施工期较短，施工量较小，在建设单位的严格监督下，施工方遵守文明施工、合理施工的原则，做到各项环保措施，可使其对环境的影响降至最小程度。施工结束后，项目施工期环境影响将随之消除。

本项目所有设备的安装、调试，均由设备厂家专业人员进行，建设方和医院方不得自行搬迁、安装及调试设备。在射线装置安装过程中，会产生少量包装废弃物；在射线装置安装调试阶段，主要污染因素为 X 射线、γ 射线、臭氧和少量包装废弃物。医院应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房必须上锁并派人看守。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入设备区域，防止辐射事故发生。

9.2 工程设备和工艺分析

9.2.1 核医学科核素制备项目

9.2.1.1 回旋加速器制备药物项目

（1）工作原理

回旋加速器通过电流和磁场使带电粒子得到加速轰击靶核后引起的核反应生产放射性核素。在回旋加速器中心部位的离子源（Ion Source）经高压电弧放电而使气体电离发射出粒子束流，该粒子束流在称为 Dees 的半圆形电极盒（简称 D 型盒）中运

动。D 型盒与高频振荡电源相联为加速粒子提供交变的电场。在磁场和电场的作用下被加速的粒子在近似于螺旋的轨道中运动飞行。带电粒子经多次加速后，圆周轨道直径达到最大而接近 Dees 的边缘并具有最大的能量，在该点粒子经过束流提取系统的剥离碳膜。被加速的负粒子在通过碳膜期间被脱去二个电子，变成带正电的阳离子，此时，在磁场中粒子的运行轨道是逆时针方向偏转，直接将具有最大能量的带电粒子从真空室引出，通过调整提取膜的位置使引出的束流引导进入所确定的同位素生产靶系统，以一定的初始速度轰击靶体内填充的物质引发核反应。根据靶物质的不同，该系统在离子加速打靶后可完成临床上所需要的 ^{18}F、^{11}C 等放射性同位素。其中 ^{18}F 是目前临床使用标记示踪剂最多的正电子放射性核素。

回旋加速器工作原理见图 9-1。

图9-1 回旋加速器工作原理示意图

（2）设备组成

1）回旋加速器设备

回旋加速器一般由磁场系统、射频系统、真空系统、离子源系统、束流提取系统、诊断系统、靶系统和冷却系统等组成，各系统的主要作用如下：

磁场系统：由上下磁轭、线路极片、磁场线圈、磁场电源等组成，其作用就是提供偏转力使束流维持在上下磁极之间中心平面的准环形轨迹上。磁场线圈使束流在上下磁极之间加速。磁场非匀场，而是采用深谷设计，对束流粒子在加速的中心层面提供了强聚焦力，引导粒子返回中心层面，产生高的束流引出效率。

射频系统：包括监测与控制元件、频率合成器、中级放大器、RF 电源振幅器、共轴透射线、耦合网络和 D 型盒结构等，其作用就是对 D 型盒提供一交替的高电压

电势，并将能量转至 H-离子。随着束流加速得到能量，其轨道半径逐渐增加，这种轨迹被称为准螺旋形。当束流到达提取半径时，其能量也将达到预定能量。正常工作时，射频频率自动受 RF 控制元件调整以维持 D 型盒结构的共振。

真空系统：包括真空室、排气泵、仪表和控制元件等。真空仪表和控制元件用于监测并显示真空室的压力以及在系统出现故障时对仪器起到保护作用。真空室需要连续不断地抽气以排除来源于离子源及真空室内表面的气体。

离子源系统：包括离子源、ARC 源、偏向电源与氢气流量控制器等。离子源产生 H^-离子，在正常操作中不需要进行调试或干预性操作。离子源存在电势差，用于电离氢气形成等离子浓聚体。进入离子源的氢气流量由电子质流控制器调控以与变化的离子源和加速器运行条件相匹配。等离子体的电源（或 ARC）由电流调节的开关型电源提供，在正常运行时，控制系统调节离子源的 ARC 电流以维持期望的靶电流。

束流提取系统：主要包括剥离碳膜、引出器等装置，该系统直接将加速的且具有最大能量的带电负离子从真空腔中引出，主要是通过剥离膜剥去 H^-的两个电子，使其转变成为带正电荷的 H^+，此时粒子束运行轨道发生逆向偏转，然后通过引出装置将束流引入靶内。

靶系统：是完成特定核反应而产生正电子核素的装置，一般包括靶体、准直器、靶膜、管路阀门等。靶材料包括液态、气态和固态靶三种类型。

冷却系统：包括水冷却系统和氦冷却系统，水冷却系统分为一级水冷却系统和二级水冷却系统。一级水冷却系统为普通的冷却机组，常年制冷；二级水冷却系统中的去离子水带走回旋加速器产生的热量，通过热交换传递给一级水冷却系统，达到为机器降温的目的。氦冷却系统主要是在束流轰击期间对靶室和靶窗的 havar 膜与钛膜之间腔隙进行冷却，主要由氦气、压缩机和流量计组成。氦气冷却系统的热量通过热交换传递给一级水冷却系统。

2）化学合成系统

该系统包括合成分装模块以及相应的仪器设备，用于合成和分装核素的药物。回旋加速器打靶产生的放射性核素由屏蔽输送管道直接输送到合成热室内的合成分装模块中，由自动合成装置进行药物合成。化学合成系统是在计算机控制下自动化地完成药物的合成。

药物合成、分装在合成热室柜、分装热室柜中进行，合成热室柜、分装热室柜主要由铅板构成自屏蔽体，其尺寸及屏蔽防护参数详见表10-6；计算机合成程序控制合成器进入自动合成过程，放置在一个密闭的铅罐中的无菌真空瓶，铅罐侧面预留一小管道供接收及抽取药品。回旋加速器及化学合成系统工作方式为加速两级真空泵支持其具有的高真空环境，高压射频提供粒子加速所需的能量，强磁场改变粒子运动方向，使粒子作近似圆周运动。自屏蔽系统较好地屏蔽了核反应过程中产生的中子及高能γ光子。加速器生产结束后，其产品都是从主屏蔽内部用气体推送方式，通过小的传输管道再穿过套在地沟中铅块覆盖的管道内传送到化学合成系统。合成前在合成器中加入合成前体，回旋加速器产生的放射性粒子经特殊管道传到合成器后，计算机合成程序使进入自动合成过程。合成结束后，采用气体推送方式将放射性药物传送到一个无菌真空瓶中。无菌真空瓶放置在一个密闭的铅罐中，铅罐侧面预留一小管道供接收及抽取药剂用。放射性药物完全传送到无菌真空瓶后，工作人员将铅罐放置在分装柜中，然后在分装柜中利用自动分装仪根据每个病人/动物所需的放射性药物分装相应的剂量，将放射性药物放置在转运铅罐中，再将药物通过转运车送至本项目核医学科核素动物实验场所、核素诊断场所使用，另外医院拟委托具备放射性物质运输资质的第三方单位将部分生产的 ^{18}F 药物送至医院现有院区核医学科使用。

（3）设备参数

根据建设单位提供的资料，本项目拟选一台四川玖谊源粒子科技有限公司生产的玖源-12型回旋加速器（带自屏蔽），该设备主要参数见下表。

表 9-1 玖源-12 型回旋加速器技术参数

系统类别	名称	参数
束流	质子束流能量	12 MeV
	质子束流强度	100μA
束流引出系统	碳膜支持器	2个
	单个碳膜支持器支持碳膜数	2个
	束流引出端口数量	4个
	束流引出系统数量	2个
靶系统	可安装靶数	8个
	^{18}F液体靶及传输系统	1）提供靶体1个及独立传输和专用水冷 2）靶体积可选范围：1.0～3.0mL 3）^{18}F液体靶的靶材料:铌靶 4）^{18}F产额(饱和)：5.2Ci/2h 5）靶系统独立性:每套靶系统独立传输和专用水冷，不与其他靶共用
	^{13}N液体靶及传输系统	1）提供靶体1个及独立传输和专用水冷 2）^{13}N液体靶的靶材料:铌靶

		3）^{13}N产额(饱和)：180mCi/20min 4）靶系统独立性:每套靶系统独立传输和专用水冷，不与其他靶共用
	^{11}C气体靶及传输系统	1）提供靶体1个及独立传输和专用水冷 2）^{11}C气体靶的靶材料：铝靶 3）^{11}C产额(饱和)：1.2Ci/30min 4）靶系统独立性:每套靶系统独立传输和专用水冷，不与其他靶共用
	^{68}Ga液体靶及传输系统	1）提供靶体1个及独立传输和专用水冷 2）^{68}Ga液体靶的靶材料:铌靶 3）^{68}Ga产额(EOB)：100mCi/h 4）靶系统独立性:每套靶系统独立传输和专用水冷，不与其他靶共用
	固体靶系统	1）提供跑兔传输单元，传输方式:正压气动传输，具备溶解模块(热室内)一靶站双向传输功能，具备靶梭通过检测功能 2）固体可生产核素:^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 3）^{68}Ga产额(饱和):1.5Ci/h 4）^{64}Cu产额(饱和):1.0Ci/6h 5）^{89}Zr产额(饱和):35mCi/3h

表 9-2 玖源-12 型回旋加速器生产同位素参数

序号	产物	靶材料	核反应	轰击时间	辐照能量	饱和产额
1	^{18}F	液态重氧水（$H_2{}^{18}O$）	^{18}O（p，n）18F	2h	12 MeV	5.2Ci
2	^{11}C	N_2+1%O_2气体	^{14}N(p，α)^{11}C	30min	12 MeV	1.2Ci
3	^{13}N	液态重氧水（$H_2{}^{16}O$）	^{16}O（p，α）^{18}N	20min	12 MeV	180mCi
4	^{68}Ga	Zn 盐溶液	^{68}Zn（p，n）^{68}Ga	1h	12 MeV	100mCi
5	^{64}Cu	^{64}Ni 固体靶	^{64}Ni（p，n）^{64}Cu	6h	12 MeV	1.0Ci
6	^{89}Zr	^{89}Y 固体靶	^{89}Y（p，n）^{89}Zr	3h	12 MeV	35mCi
注：本项目所有靶材料均为外购，不涉及靶材料制备工艺。						

（4）工作流程及产污环节

本项目回旋加速器制备 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 共 6 种放射性药物，供本项目核医学科核素诊断场所和预留的核医学科动物实验场所使用。

1）加速器运行工艺流程及产污环节

a）确定制备核素种类和数量，制定生产计划。

b）制定好生产计划后，根据生产打靶需求选择不同的运行靶位，辐射工作人员进入加速器机房巡检和清场（重点进行各项联锁及安全装置有效性进行检查），并同步进行热室准备。

c）在进行正式打靶生产前，为尽量减小束流输送过程的损失，先插上束流挡板进行低束流调束测试，通过不断对束流参数进行优化，将注入线到束流挡板的束流损失降到最小。

d）低束流调束结束后，将准备好的靶材，通过热室的靶自动传输系统将靶材传输至对应靶位。不同核素的生产原理基本相同，只是所需的靶材料不同。靶材料分为气体靶、液体靶和固体靶，本项目回旋加速器生产 ^{18}F、^{13}N、^{68}Ga 使用液体靶，液体靶是将液态的靶材料密封在靶腔中进行轰击；生产 ^{64}Cu、^{89}Zr 使用固体靶；生产 ^{11}C 使用气体靶，通过质子轰击 N_2 和 O_2 的混合气体产生核反应，各类靶材料准备流程如下：

液体靶：将准备好的液体靶置于热室自动传靶装置上，启动程序，液体靶通过专用管道传输至回旋加速器液体靶位。液体靶需要工作人员定期进入加速器机房添加靶水，通常每月一次。

固体靶：将准备好的固体靶采用热室的靶自动传输系统，通过专用管道传输至回旋加速器固体靶位。

气体靶：气体靶由一个与进入靶的束流形状相匹配的容器（靶室）和其它附件构成，这些附件包括两个用于冲靶、空靶和封闭靶的阀；一个用于连续地监测在生产期间靶压力的传感器；另一个 Havar 封闭箔膜使靶室与加速器真空箱封闭；两个箔膜之间由高速的 He 气流进行冷却，后法兰连接有靶气体管道和冷却靶室的冷却水管道。气体靶是由气瓶间通过管道自动输送到加速器，充靶程序是靶通过相应的气体压力计将气体充到规定的压力。充靶有一个固定的时间，经这个时间后，靶气体输入和输出阀门关闭。

本项目回旋加速器中，靶总是保持在被充状态，在充靶结束后可直接读出靶的压力，并且其压力必须在预先设定的生产压力范围内。如果相差超过允许的范围，轰击可能被终止。在轰击期间，束流和靶压被连续地监测，如果有一项指标超出允许的范围，轰击将被终止。^{14}N 和 ^{15}O 气瓶存储于气瓶间，一般使用期限可长达几年，更换气体罐的操作在气瓶间完成。

e）靶材料传输至回旋加速器靶位后，开启回旋加速器，质子轰击靶材料，发生核反应，生成所需要的核素。

f）回旋加速器生产结束后将同位素产物经过专用的防护管道系统，在惰性气体的推动下，自动传输到热室的工作箱进行下一步的分离纯化、合成、分装等，回旋加速器冷却关机。

g）产污环节

整个回旋加速器生产核素离子过程均为自动控制，生产过程中工作人员不会进入加速器室，仅在加速器操作间进行电脑操作与控制。

回旋加速器在生产核素的同时伴随产生大量中子，成为瞬时辐射源，由于高能带电粒子直接轰击加速器有关部件导致有关原件被活化从而产生中子活化产物，中子在慢化吸收过程中产生高能射线和放射性废物，另外回旋加速器长期运行会产生废靶。加速器室内的空气受中子照射后生成放射性活化气体，主要有 ^{11}C、^{13}N、^{15}O 和 ^{41}Ar 等感生放射性物质，以及回旋加速器在开机时会产生少量的非放射性有害气体，主要是臭氧和氮氧化物。

回旋加速器打靶时需要提供水冷却，采用多级冷却，一级冷却系统为密封的纯水，密封循环使用，不外排，直接冷却靶体；二级冷却系统采用去离子冷却水，去离子水制备过程中会产生一定的废离子交换树脂。

[redacted]

图9-2 回旋加速器运行工艺流程及产污环节图

2）药物制备工艺流程及产污环节

加速器生产完放射性核素后，确认热室的防护门均处于关闭状态。放射性核素从回旋加速器机房通过地下输送管道，在惰性气体的推动下，传输至带有铅屏蔽的热室合成柜。操作人员在热室设置好参数，控制系统自动完成药物制备。放射性药物标记合成、分装在热室内进行。

在计算机控制下，液体靶和气体靶产物直接进行药物的化学合成，固体靶产物需

首先在前处理模块内自动进行溶解纯化，再参与下一步化学合成反应。通过化学反应将生产的核素标记到生理性代谢物质上（如葡萄糖、氨基酸、胆碱等），形成所需要的放射性药物，经过化学反应、纯化等处理后制备的放射性药物自动传输至分装模块中，在分装模块按药物使用需求分装出所需的活度和体积，利用自动分装系统分装药物置于专用转运铅罐中。

回旋加速器机房的核素离子生产完成后，通过氦气吹扫专门的防护管道系统传输到热室的相应模块箱中。辐射工作人员会预先在热室内设置药物的合成和分装参数。

模块箱包括合成模块箱 4 套和分装模块箱 2 套，放置在带有铅屏蔽的合成分装热室柜中，用来合成分装生成的正电子核素。

在整个操作过程中，加速器操作人员在回旋加速器操作间内通过计算机控制自动完成核素制备及传输。生产工作人员于核素传输前在热室房间内进行合成分装准备，设置药物的合成和分装参数，通过计算机控制系统自动完成药物合成分装。放射性药物制备、分装、包装转运完成后，完成清场、监测后离开。

单次药物生产中装罐灭菌时间约 10min，包装转运时间约 10min。每次生产的放射性同位素均为即产即用，不存在暂存以及销售的情况。

a）液体靶生产放射性药物

本项目 ^{18}F、^{13}N、^{68}Ga 放射性药物采用液体靶进行生产，除使用的靶材不同外，工艺流程基本相同，以 ^{18}F-FDG 放射性药物合成为例，其具体工艺流程如下：

①^{18}F 核素离子制备工艺

^{18}F 每天最多打靶 2 次，核素制备前对回旋加速器运行参数进行确认。回旋加速器运行期间，工作人员不进入加速器室内，仅在加速器操作间内操作。

自动装靶水装置将重氧水靶物质（丰度 95%的 $H_2{}^{18}O$）装入液体靶腔内，以高能质子束流轰击一定时间（具体视所需制备量而定）后可得到 ^{18}F-F^-。^{18}F-F^-需从轰击后的靶水中进行富集捕获，用阴离子交换柱捕获法。将制备的核素通过地下专用防护管道系统，在氦气推动下输送至热室中的合成模块箱内。

②^{18}F-FDG 药物合成

回旋加速器所制备的 ^{18}F 经专用防护管道传送到化学合成模块箱，利用亲核氟代标记，加速器生成的 ^{18}F 液体首先通过分离柱，将氟离子吸附在 QMA 柱上，废水及其中的杂质离子留到废水瓶中收集，再使用洗脱液（K_2CO_3/K222 溶液等）将氟离子

洗脱至反应容器内，加热除去乙腈与水的共沸物后，得到中间产物 $K^{18}F/K222$；加入无水乙腈溶解的三氟甘露糖溶液，进行标记反应生成乙酰化的 ^{18}F-FDG，然后加热除去反应体系中的乙腈；加入氢氧化钠进行水解反应，加入酸中和，生成最终产物 FDG 和一些杂质的混合物；将 FDG 溶液粗产品通过纯化柱进行纯化，除去杂质，经过无菌滤膜过滤获得最终产品 ^{18}F-FDG，将 ^{18}F-FDG 抽入热室分装柜的产物瓶中。

b）固体靶生产放射性药物

固体靶放射性药物的生产、合成、质检、分装、运输等流程与液体靶基本类似，打靶完成后生成的是固体放射性核素，需要首先在合成热室内全自动完成固体放射性核素的溶解和纯化，然后再经化学反应、纯化等自动合成最终的放射性药物。

本项目拟配套金属固体靶处理系统，用于生产 ^{64}Cu、^{89}Zr 放射性药物，传输、溶解、纯化全自动操作，每种金属核素使用专用的地下传输管线，将固体靶传输到靶位进行轰击，活化后自动传输到热室内溶解和纯化模块进行自动溶解和纯化，本项目拟生产的放射性药物 ^{89}Zr 为液体，不生产纳米粒子和微球。

本次仅以 ^{64}Cu 核素的生产过程及原理举例说明固体靶生产放射性药物流程。

①靶准备、轰击

生产 ^{64}Cu 放射性药物使用的固体靶主体是由耐腐蚀的铝合金构成，靶梭内部的金属附着部件是由铂构成的，耐强酸及高温腐蚀，^{64}Ni 附着在靶梭上，具体结构如图 9-3 所示。

1和3为靶梭内部的金属附着部件，由铂构成的，耐强酸和高温；
2和4为靶梭靶体，由耐腐蚀的铝合金构成。

图 9-3 靶梭的结构图

将外购的靶梭自动传输至回旋加速器靶位，开启回旋加速器，质子轰击靶材料，发生核反应，生成所需要的核素。

②溶解

将靶梭回输至热室（固体靶通过气动传输系统，自动传输），运行溶解程序，首先回输的靶梭先恢复到初始位置，然后通过盐酸溶液按照设定的反应顺序溶解靶梭上的 ^{64}Cu、^{64}Ni 等金属；^{64}Cu 及 ^{64}Ni 等金属被溶解后输送至收集瓶，溶解程序完成。

③分离及纯化

^{64}Cu 及 ^{64}Ni 等金属被溶解后收集，利用不同摩尔浓度的盐酸对 ^{64}Cu 及 ^{64}Ni 等金属的溶解能力不同以及 ^{64}Cu 及 ^{64}Ni 等金属的原子半径大小的不同，可以使用 AG1-X8，利用分子筛的原理分离及纯化 ^{64}Cu 及 ^{64}Ni 等金属。运行传输设备初始化后使用氦气将溶液推运至 AG1-X8 柱子上、干燥。运行纯化程序，设备初始化后盐酸经过 AG1-X8 柱子，液体流入镍回收瓶、分离镍；同理盐酸分离钴和铜，最后干燥 AG1-X8 柱子、设备初始化。此时镍回收瓶、钴回收瓶及铜产物瓶处均可放置放射性的探头用于探测放射性剂量。

④回收 ^{64}Ni

运行回收程序，设备初始化，清洗线路将残留的 ^{64}Ni 回收到镍回收瓶内，回收程序完成，装有残液的回收瓶置于热室合成柜内暂存衰变。运行清洗程序，清洗完成后，^{64}Cu 核素生产过程即完成。

固体靶生产放射性药物整个过程均为电脑程序自动运行，产污环节及污染物种类与液体靶生产放射性药物基本相同。

固体靶生产放射性药物用到的靶材料均置于库房内存放，根据其特性进行隔离储存，储存量一般不超过每周的用量，库房应保持干燥、清洁，采取避光、通气等措施。

由于本项目固体靶生产放射性药物用到的靶材料纯度达到99%以上，因此放射性药物经分离纯化后残液中所含放射性核素量主要为轰击靶材料后形成的其他核素，且浓度非常低，生产放射性药物 ^{64}Cu、^{89}Zr 产生的残液中所含核素分别为 ^{61}Co、^{90}Zr，其中 ^{90}Zr 无放射性。

c）气体靶生产放射性药物

本项目回旋加速器生产 ^{11}C 使用气体靶，^{11}C 核素生产是通过质子轰击 N_2 和 O_2 的混合气体产生 ^{14}N（p，α）^{11}C 核反应，产生的 ^{11}C 自由基与 O_2 反应生成 $^{11}CO_2$。

通常使用高纯 N_2（99.5%）+O_2（0.5%）混合气体作为靶材料，经过质子照射后得到 $^{11}CO_2$（气态）。$^{11}CO_2$ 经过核素传输管道传送至自动化合成模块中，$^{11}CO_2$ 经过氢

氧化铝还原转化为 $^{11}CH_3OH$，再经过氢碘酸（HI）碘代法生产出 $^{11}CH_3I$ 示踪剂（液态）。为了防止 CO_2 的污染，可在 N_2 进入靶室的管线间连接一个捕获器，捕获器内可以装载氢化铝锂、烧碱石棉剂、分子筛或聚苯乙烯固定剂，同时应注意捕获剂所带来的污染。为了防止外界渗透污染，应选用不锈钢材料的传送管道，并且在保证气体流量的前提下，管道的内径应尽可能细。

气体靶生产放射性药物整个过程均为电脑程序自动运行，产污环节及污染物种类与液体靶生产放射性药物基本相同。

d）产污环节

药物合成、分装过程中核素衰变发出 β^+射线以及因发生正电子湮灭而产生的 γ 射线，另外 β 射线与周围物质相互作用会产生轫致辐射；操作过程中，可能会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，造成放射性表面污染；发生药品泄露后医务人员去污、应急洗消、场所清洗时可能产生少量放射性废水；合成分装模块内药物的挥发产生含放射性核素的废气；作业产生废棉签、口罩、手套等放射性固废。

[redacted]

图9-4 正电子药物加速器制备工艺流程及产污位置图

9.2.1.2 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器制备 ^{68}Ga 项目

（1）设备组成及工作原理

本项目核素制备场所正电子药物制备区拟使用 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器进行淋洗，制备

^{68}Ga 放射性药物。^{68}Ge-^{68}Ga 发生器是一种由母体核 ^{68}Ge 衰变制备 ^{68}Ga 正电子显像药物的装置，^{68}Ge-^{68}Ga 发生器属于色谱柱型发生器，用二氧化锡作吸附柱。二氧化锡对母体核 ^{68}Ge 有很强的亲和力，子体核 ^{68}Ga 则几乎不被吸附。用生理盐水淋洗吸附柱，则仅有 ^{68}Ga 被洗出。由于母体核素的不断衰变就不断地产生子体核素，因而核素发生器可以反复淋洗制得子体核素。

具体工作原理为：^{68}Ge 离子吸附在色层柱上，^{68}Ge 离子衰变后产生 ^{68}Ga 离子，^{68}Ga 离子与 ^{68}Ge 离子化学性质不同，使用时每隔数小时用 0.05~0.15mol/L 的 HCl 溶液淋洗即可得到含有 ^{68}Ga 离子的淋洗液，而 ^{68}Ge 仍留在发生器内，一般情况下，发生器每隔 4 小时可淋洗一次。放射性核素 ^{68}Ga 的淋洗效率与 2 次淋洗所间隔的时间关系曲线图见 9-5，2 次淋洗间隔时间为 1.128h，淋洗效率可达到 50%，间隔时间为 14.1h，淋洗效率可达到 100%。^{68}Ge-^{68}Ga 发生器外形及结构示意图见图 9-6。

本项目 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器一般从国内生产厂家定期采购，其自带铅屏蔽套，由生产厂家发货至医院综合楼负二层东南侧核素制备场所，辐射工作人员接收后，将发生器暂存在正电子药物制备区的热室合成柜内。本项目拟购的 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器最大规格为 50mCi/柱，退役的发生器暂存于正电子药物制备区放废暂存间 1 内，定期由厂家统一回收。

核素 ^{68}Ge 半衰期为 280 天，中毒，衰变方式为 EC，衰变时主要产生约 0.0092MeV 的 X 射线；核素 ^{68}Ga 半衰期为 68.3min，衰变方式为 β^+衰变和 EC，衰变时主要产生 β 射线和 β^+衰变经湮没反应后产生的能量为 0.511MeV 的 γ 射线。

图 9-5 放射性核素 ^{68}Ga 的淋洗效率与淋洗间隔时间关系图

[redacted]

图 9-6 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器外形及结构示意图

（2）工作流程及产污环节

^{68}Ge-^{68}Ga 发生器淋洗、标记工艺流程如下：

1）发生器订购：^{68}Ge-^{68}Ga 发生器由相应资质的运输单位运送到正电子药物制备区热室合成柜内暂存；

2）淋洗制备：辐射工作人员穿戴好个人防护用品在合成柜内打开发生器顶部的屏蔽盖，用 75%酒精棉球擦拭发生器的单针、双针和 HCl 淋洗溶液小瓶、负压瓶盖进行消毒，先将 HCl 淋洗溶液小瓶插入发生器的双针，然后将置入铅罐的负压瓶插入发生器的单针（输出口）。借助负压瓶的负压，使淋洗溶液淋洗发生器的吸附柱，这时由母体[^{68}Ge]衰变而得到的子体放射性核素[^{68}Ga]即被洗脱入负压瓶中，获得淋洗液，取走前一个负压瓶后，用另一负压瓶插至单针上，吸干吸附柱。通常整个淋洗过程约需 5min。

3）测量活度：工作人员用注射器吸取制得的少量淋洗液，垂直放入活度计井中，测量其放射性活度，得出该瓶淋洗液的比活度，同时可测量淋洗液的纯度，操作时间约 1min。

4）标记：用于标记的冻干药盒在标记操作前经完整性检查后传递至热室合成柜内，用注射器将已测量好活度的淋洗液迅速转移至冻干药盒，并充分摇匀，稀释到预设体积，室温放置 5min。

5）包装转运：工作人员将标记后的溶液装入铅罐经包装后通过专用放射源电梯转运至负一层核素诊断场所进行下一步的分装、注射、显像。包装转运过程约需

10min。

^{68}Ge-^{68}Ga 发生器淋洗、标记工艺流程及产污环节见图 9-7。

[redacted]

图 9-7 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器淋洗、标记工艺流程及产污环节

9.2.1.3 ^{177}Lu 和 ^{225}Ac 放射性药物制备项目

（1）工作原理

1）^{177}Lu

^{177}Lu 的物理半衰期为 6.71d，衰变子体核素为 ^{177}Hf，衰变过程中发射 3 种能量的 β^-粒子[E_β(max)=497keV(78.6%)、176keV(12.2%)、384keV(9.1%)]，同时还发射 γ 射线[113keV(6.4%)、208keV(11%)]。

^{177}Lu 发射 β^-射线，粒子能量相对较低，且 β^-颗粒穿透软组织深度更浅（最大值为 1.70mm，平均值为 0.23mm），对病灶临近正常组织损伤较小，是一种非常适合于治疗的放射性核素。溶液中的 ^{177}Lu 以 $^{177}Lu^{3+}$的形式存在，通过双功能螯合剂与配体形成配合物，常用的用于 ^{177}Lu 标记的双功能螯合剂包括 DOTA、DOTAGA、DTPA 等。

2）^{225}Ac

^{225}Ac 的物理半衰期为 10.0d，衰变子体核素为 ^{221}Fr，衰变过程中发射 3 种能量的 α 粒子[E_α(max)=5830keV(50.65%)、5794keV(24.3%)、572keV(10.1%)]，同时还发射 γ 射线[99.8keV(1.7%)、150.09keV(0.71%)]。

将纯化的 ^{225}Ac 连接到靶向分子（如抗体、肽、小分子）上，形成最终的放射性

药物。

溶液中的 ^{225}Ac 以 $^{225}Ac^{3+}$的形式存在，$^{225}Ac^{3+}$离子半径大、电荷高，配位化学复杂，需要强有力且动力学惰性的螯合剂将其牢固结合，防止体内脱落释放游离 $^{225}Ac^{3+}$（毒性高）。常用螯合剂包括 DOTA、Macropa 及其衍生物、DTPA 衍生物、HOPO/HOPO 衍生物等。

（2）工作流程及产污环节

1）原料订购：根据病人用药规划进行放射性原料（^{177}Lu 或 ^{225}Ac 核素料液）预订，制定制药计划，治疗药物的制备拟在治疗药物热室完成。

2）活度测量：工作人员将订购的放射性原料垂直放入活度计井中，测量其放射性活度，得出该放射性原料的比活度，同时可测量淋洗液的纯度，操作时间约 1min。

3）合成标记：工作人员将采购回来的 ^{177}Lu 或 ^{225}Ac 核素原料溶液及反应前体（乙酸、抗坏血酸、龙胆酸等调配）等装配至化学合成器的指定位置，随后通过模块的自动运行完成标记合成步骤，合成过程在合成热室中进行。主要标记合成过程为：取 2mL 纯水将 100~150μg DOTATATE 前体（或其他螯合剂）溶解，然后将前体溶液转移至缓冲液瓶，按图 9-8 所示。安装卡套和试剂瓶，关闭合成热室门，操作软件，操作控制程序启动自动合成仪进行自动合成（加热至 60-90℃），单次标记时间约 30min。

[redacted]

图 9-8 使用合成模块制备放射性药物的典型示意图

4）纯化：标记后的放射性药物通过纯化柱将未结合的放射性核素和杂质去除，

纯化时间约 30min。

5）包装转运：工作人员将标记后的溶液准装入铅罐经包装后通过传递窗分别转运负二层药物质检区和一层核素治疗场所使用。包装转运过程约需 10min。

[redacted]

图 9-9 ^{177}Lu 和 ^{225}Ac 放射性药物制备工艺流程及产污环节图

9.2.1.4 药物质检工艺分析

本项目主要针对放射性药物进行质检，质检项目包括：pH 测定、放射性活度（浓度）测定、放射化学纯度测定、放射性核纯度测定、细菌内毒素测定、阳性对照分析、无菌检测等，主要工艺流程描述如下：

（1）pH 值测定：用注射器抽取少量样品，取一滴于 pH 试纸上，观察颜色并与标准比色板进行比对。

（2）放射性核纯度测定：在手套箱中，用微量取样器吸取少量样品，置于西林瓶中，加塞密封后用铅罐转入高纯锗 γ 谱仪进行测定。

（3）放射性活度（浓度）测定

①活度计法：对于 γ 或高能 β 核素，可用活度计直接进行测量。将放射性样品置于活度计中直接读出放射性活度值。测量前必须根据被测条件进行仪器校准给出相应的校准系数。

②液体闪烁计数器法：对于 α、β 核素类以及含有 α、β 核素杂质的放射性药品，采用液体闪烁计数器进行测定。在通风橱中用精准移取待测放射性样品适量置液闪瓶中，充分摇匀后，放入液体闪烁计数器样品室进行活度测定。

（4）放射化学纯度测定

①纸色谱法、薄层色谱法：在防护手套箱中，用取样器移取少量样品，根据放射性浓度进行适当的稀释后，用毛细管吸取适量样品，在铅玻璃防护屏后，点于层析纸或薄层板上，晾干展开。将展开、晾干后的层析纸或薄层板用 γ、β 计数器或薄层色谱仪进行测定。

②液相色谱仪法：采用液相色谱仪法，在防护手套箱中制备一定活度样品放入液相色谱仪进行分析。

（5）细菌内毒素、阳性对照分析

待放射性产品衰变一定活度后，用移液器取适量放射性样品进行稀释混合，经过滤后作为供试品溶液。取细菌内毒素工作标准品用细菌内毒素检查用水复溶并封口，采用混合仪混合，再用细菌内毒素检查用水稀释并做好标记。取一定体积的供试品溶液、阳性对照溶液，混合后制成供试品阳性对照溶液。向每支鲎试剂中加入细菌内毒素检查用进行复溶，然后分别加入供试品溶液、阳性对照溶液、供试品阳性对照溶液、细菌内毒素检查用水，用封口膜封口，保温一定时间后观察结果。

（6）无菌检测

无菌检测可采用薄膜过滤和直接接种两种方法。放射性样品通常采用直接接种法，在铅屏后面操作；短半衰期核素可在衰变完全后进行操作，长半衰期可采用全封闭的薄膜过滤系统进行操作。

[redacted]

图 9-10 质检工艺流程及产污位置图

9.2.1.5 核素制备项目工作负荷

本项目正式开展后，核医学科核素制备场所每年工作 250 天，每周工作 5 天，各

工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷具体如下：

（1）回旋加速器制备药物项目

本项目回旋加速器每天最多生产 2 种核素，每天都需要生产 ^{18}F，根据需求一天内剩余时间还可能生产除 ^{18}F 以外的其他正电子核素中的一种，年打靶运行时间为 1041.7h，具体运行时间详见表 9-3。

表 9-3 回旋加速器生产运行时间

核素	单次最长打靶时间	单批次最大生产量（Bq）	每天运行次数（次）	年运行天数（天）	年打靶时间（h）
^{18}F	1h	7.55E+09	2	250	500
^{11}C	30min	1.92E+09	1	50	25
^{13}N	20min	2.29E+09	1	50	16.7
^{89}Zr	3h	7.77E+07	1	50	150
^{64}Cu	6h	7.77E+07	1	50	300
^{68}Ga	1h	8.14E+08	1	50	50
打靶运行合计时间					1041.7

表 9-4 回旋加速器制备药物人员配置及操作时间一览表

工艺	操作时间	年操作次数（次）	年操作时间（h）	配置人数
打靶操作	/	500	1041.7	2
药物装罐灭菌	10min/次	500	83.3	与发生器制备 ^{68}Ga 药物共用 1 人
包装转运	10min/次	500	83.3	与发生器制备 ^{68}Ga 药物共用 1 人

（2）^{68}Ge-^{68}Ga 发生器制备 ^{68}Ga 项目

^{68}Ge-^{68}Ga 发生器制备 ^{68}Ga 药物项目预计每年生产 50 个批次（每周一次），每次生产 ^{68}Ga 药物最多 $1.48\times10^{9}Bq$（平均单次淋洗效率为 80%），^{68}Ge-^{68}Ga 发生器制备 ^{68}Ga 药物人员配置及操作时间见下表：

表 9-5 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器制备 ^{68}Ga 药物人员配置及操作时间一览表

工艺	操作时间	年操作次数（次）	年操作时间（min）	配置人数
发生器淋洗	5min/次	50	250	与回旋加速器制备药物共用 1 人
活度测量	1min/次	50	50	
标记	5min/次	50	250	
包装转运	10min /次	50	500	与回旋加速器制备药物共用 1 人

（3）^{177}Lu 和 ^{225}Ac 放射性药物制备项目

^{177}Lu 和 ^{225}Ac 放射性药物制备项目预计每年各生产 50 个批次（每周各生产一

次），每次生产 ^{177}Lu 药物最多 1.11×10^{10}Bq，生产 ^{225}Ac 药物最多 5.25×10^{7}Bq，^{177}Lu 和 ^{225}Ac 放射性药物制备人员配置及操作时间见下表：

表 9-6 ^{177}Lu 和 ^{225}Ac 放射性药物制备人员配置及操作时间一览表

工艺	操作时间	年操作次数（次）	年操作时间（min）	配置人数
活度测量	1min/次	100	100	1
合成标记	30min/次	100	3000	
纯化	30min/次	100	3000	
包装转运	10min /次	100	1000	1

（4）药物质检项目

放射性药物质检项目根据生产计划，每年开展 650 批次，每批次质检操作时间约 10min，每次每种核素质检最多取用 1.85×10^{7}Bq（18.5MBq），药物质检工作共配置 2 名工作人员。

9.2.1.5 核素制备项目路径规划

1）放射性药物/核素路径规划

a）成品药物路线：

固体靶热室和正电子热室合成出的正电子放射性药物由管路自动输入到成品瓶，根据患者实际使用活度，分装至注射器内经标定活度后，在分装柜中贴标装入铅罐中，依次经正电子热室西南侧的传递窗、核素通道、正电子放射性药物专用提升梯送至负一层的核素诊断场所的 PET 储源室暂存；另外待后期负二层东南侧（核素制备场所西南侧）的核医学科动物实验场所启用后，动物实验场所使用的正电子放射性药物通过转运车从核素制备场所的西南门向西送至动物实验场所的储源室暂存。

治疗药物热室合成出的放射性药物，根据患者实际使用活度，分装至注射器内经标定活度后，在分装柜中贴标装入铅罐中，依次经治疗药物热室南侧的传递窗、核素通道、核素制备场所南侧放射源电梯（DT-57）送至一层的核素治疗场所的东侧新型核素病房区储源室暂存。

b）质检药物路线：

固体靶热室和正电子热室的质检药物经自动分装至转运铅罐内，自热室分装柜中取出后，依次经正电子热室西南侧的传递窗、核素通道、药物质检区西南侧的传递窗传送至质检区，再经内部过道分别送至放化室、内毒素检测室、阳性菌检测室、无菌室和微生物室进行各项质检工作。

治疗药物热室的质检药物经分装至转运铅罐内，自热室分装柜中取出后，依次经热室南侧的传递窗、核素通道、质检区西南侧的传递窗传送至质检区，再经内部过道

分别送至放化室、内毒素检测室、阳性菌检测室、无菌室和微生物室进行各项质检工作。

c）外购放射性核素原料路线：

本项目拟外购 ^{177}Lu 或 ^{225}Ac 核素料液为原料，用于制备 ^{177}Lu 和 ^{225}Ac 放射性药物，外购的放射性核素原料由供应公司人员开车到地下二层核医学科西侧停车位后，手推运输小车经工作人员通道、传递窗将原料送至治疗药物热室合成柜内。

放射性核素原料由核医学科工作人员接收，在摄像头监控下核对放射性核素原料信息，与供应公司办理交接手续并存档。

2）放射性固体废物路径规划

放射性药物分装、合成过程中产生的树脂、滤膜等废物收集在对应热室铅废物桶内的专用塑料袋中，一天工作结束后，由工作人员从传递窗传递至对应的放废暂存间的铅废物箱内暂存，通风系统中更换下来的废活性炭直接放入放废暂存间内暂存。

回旋加速器日常维护更换下来的靶体、靶膜、过滤网暂存在回旋加速器铅废物桶内的专用塑料袋，在维护结束后转移到靶片存储间内暂存。

放射性药物质检过程中产生的毛细管、废棉签、口罩、手套等收集在铅废物桶内的专用塑料袋中，一天工作结束后，由工作人员转移至放废暂存间的铅废物箱内暂存，通风系统中更换下来的废活性炭直接放入放废暂存间内暂存。

放废暂存间内的放射性废物暂存达到清洁解控水平后，经东南侧污物电梯（DT-55）转运至负一层东南侧的医疗废物暂存间。

3）辐射工作人员路径规划

a）工作人员进出回旋加速器控制室及机房的路线：工作人员通过核素制备场所西侧的公共医务电梯到达地下二层核素制备场所，经核素制备场所南侧通道向东后向北到达控制室内，如需要添加靶水，则需经设备间进入回旋加速器机房内，操作结束后原路返回。

b）工作人员进出热室路线：

固体靶热室、正电子热室：工作人员通过核素制备场所西侧的公共医务电梯到达地下二层核素制备场所，经核素制备场所南侧通道向东，依次通过换鞋间、一更、二更、缓冲间后进入洁净走廊，向西到达热室，通过控制热室合成柜生产正电子药物。然后抽取少量药物通过西南侧的传递窗送至药物质检区进行质检操作，将分装在转运

铅罐中的正电子药物通过热室西南侧传递窗，转运至负一层核素诊断场所使用。操作结束后，经洁净走廊进入缓冲间，随后进入退更检测室使用表面污染仪进行表面污染检测，检测通过后进入一更、换鞋间，随后离开场所。

治疗药物热室：工作人员通过核素制备场所西侧的公共医务电梯到达地下二层核素制备场所，经核素制备场所南侧通道向东后向北，依次通过一更、二更、缓冲间后进入热室，通过控制热室合成柜生产治疗药物。然后抽取少量药物通过南侧的传递窗送至药物质检区进行质检操作，将分装在转运铅罐中的治疗药物通过热室南侧传递窗，转运至一层核素治疗场所使用。操作结束后，经退更检测室使用表面污染仪进行表面污染检测，检测通过后进入缓冲、一更，随后离开场所。

c）工作人员质检操作路线：工作人员通过核素制备场所西侧的公共医务电梯到达地下二层核素制备场所，经核素制备场所南侧通道向东，通过卫生通过间进入药物质检区，通过质检区域内过道及相应功能间的更衣缓冲间分别进入放化室、内毒素检测室、阳性菌检测室、无菌室和微生物室进行相关质检操作，操作结束后原路返回。

e）工作人员转运药物路线同核素制备场所成品药物路线和质检药物路线。

9.2.2 核素诊断项目

9.2.2.1 PET 诊断项目

（1）设备组成及工作原理

PET 正电子发射断层扫描（Positron Emission Tomography，PET）的工作原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，藉此诊断疾病，又称为生化显像或功能因子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术。

PET-CT 是将 PET 和 X 线计算机断层扫描（Computer Tomography，CT）组合而成的多模式成像系统，是目前全球最高端的医学影像设备，同时也是一种可以在分子水平成像的影像技术。PET-CT 将 PET 与 CT 融为一体，使两种成像技术优势互补，PET 图像提供功能和代谢等分子信息，CT 提供精细的解剖和病理信息，通过融合技术，一次诊断即可获得疾病的病理生理变化和形态学改变。

（2）工作流程及产污环节

1）药物生产或外购

本项目PET诊断用的^{44}Sc、^{124}I药物均为外购成品药物，其余正电子放射性药物均为医院自行生产药物（当回旋加速器故障或其他特殊原因导致无法生产或淋洗时，采用外购成品药）。工作人员根据临床诊断所需用药量、病人预约情况确定诊断所需药物的使用量，提前生产或提前一天订购药物。

药物生产完毕后自动进入转运铅罐，由专人通过药物提升梯，将药物转运至核素诊断场所 PET 储源室内，使用时可能采用人工或自动分装仪进行分装（本项目保守按人工分装进行考虑）。

订购的放射性药物由供药单位在约定的时间，将预约用量的药物以单支成品药物送至核医学科核素诊断场所，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在PET储源室。

2）分装、测活、注射

本项目 PET 诊断用的 ^{44}Sc、^{124}I 药物均为外购成品针剂药物，工作人员注射前无需额外分装。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），应对外购的按人份分装的放射性药物活度进行抽样检测，抽样率不应小于10%。给药前，本项目抽取10%的针剂，在手套箱内的活度计测活度，确定药物活度实测值与期望值的偏差不大于±10%后方才进行注射。本项目PET诊断用的^{44}Sc、^{124}I药物每次抽检时间约为1min。

本项目使用的正电子药物均采用静脉注射的方式给药，由医务人员将药物连同转运罐转移至手套箱内分装、测活后（其中外购成品药无需分装），在 PET 区域注射窗的屏蔽下为病人静脉注射。

3）扫描诊断

病人注射后在 PET 显像前候诊兼急救室内静躺候诊（注射药物候诊时间约为15min），待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 PET-CT 机房。医生在控制室内进行语音提示摆位，必要时进入机房指导（1/10 病人需医生进入机房进行现场摆位），摆位完成后离开机房进入控制室。医生隔室操作对患者进行 PET 扫描诊断，PET-CT 机房每次扫描流程耗时15min。扫描完成后，进入观察室内留观15～30分钟，留观结束后由东北侧病人出口和专用电梯离开核医学科。PET诊断项目工作流程与产污环节分析见图9-11。

[redacted]

图9-11 PET诊断项目工作流程与产污流程图

工作人员注射完毕后的一次性注射器、棉签等放入专用放射性废物铅桶内。患者候诊时产生的尿液、粪便、呕吐物均冲入专用卫生间，纳入衰变池内衰变。

本项目拟为 PET-CT 设备配置校准源，拟配置的校准源均为Ⅴ类放射源，进行校准工作时：将校准源放置在病床上，做放射源透射的质量控制；进行病人检查，采集病人体内核素发射的射线，然后再采集校准源的透射线；将源卸下，至于专用铅盒中放入储源室保险柜保存。本项目校准源衰变放出β射线和γ射线，同时也会产生退役校准源固废。

9.2.2.2 SPECT 诊断项目

（1）设备组成及工作原理

SPECT（Single Photon Emission Computed Tomography，单光子发射型计算机体层显像），是一种利用放射性核素的检查方法。SPECT-CT 的全称是单光子发射计算机断层扫描仪（Single-Photo Emission Computed Tomography）。其使用放射性核素进行诊断的基本原理是：受检者注射含放射性核素的药物，放射性核素在特定的器官或组织发射出γ射线，穿过组织器官后到达 SPECT 探测器。SPECT 使用低能准直器对γ射线进行准直，通过闪烁体将γ射线能力转换为光信号，再通过光电倍增管将光信号转化为电信号并进行放大，得到的测量值代表在该投影线上的放射性大小，再利用计

算机从投影求解断层图形。其主要的功能特点是：除了显示脏器形态结构外，更重要的是可观察到脏器血流灌注、功能和代谢的变化。临床主要应用于骨骼显像、心脏灌注断层显像、甲状腺显像、肾动态显像等。

SPECT-CT 主要由三部分组成，即探头、旋转运动机架、计算机及其辅助设备。探头部分主要由准直器、晶体、光导、光电倍增管、模拟定位计算电路组成。SPECT-CT 自身带有一个 CT 球管，在 SPECT 核素扫描的基础上，可以同时获得 CT 解剖图像，从而更有利于对疾病作出全面、准确的判断。

（2）工作流程及产污环节

1）药物外购

本项目计划使用放射性核素 ^{99m}Tc、^{123}I 和 ^{203}Pb 进行 SPECT 诊断，工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物以单支成品药物送至核医学科核素诊断场所，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在 SPECT 储源室。

2）测活、注射

本项目 SPECT 诊断药物均为成品针剂药物，工作人员注射前无需额外分装。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），应对外购的按人份分装的放射性药物活度进行抽样检测，抽样率不应小于 10%。给药前，本项目抽取 10%的针剂，在手套箱内的活度计测活度，确定药物活度实测值与期望值的偏差不大于±10%后方才进行注射。本项目 SPECT 诊断药物每天抽检时间约为 5min。

使用放射性药物时，由医务人员将药物连同转运罐转移至手套箱内，取出药物后在 SPECT 区域注射室注射窗的屏蔽下为病人注射。

3）扫描诊断

病人注射后在 SPECT 注射后候诊室内静躺候诊（注射药物候诊时间为 15min），待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 SPECT-CT 机房。医生在控制室内进行语音提示摆位，必要时进入机房指导（1/10 病人需医生进入机房进行现场摆位），摆位完成后离开机房返回控制室。医生隔室操作对患者进行 SPECT 扫描诊断，SPECT-CT 机房每次扫描约 15min。扫描完成后，进入观察室内留观 15～30 分钟，留观结束后由西北侧病人出口离开核医学科。SPECT 诊断项目的工作流程与产污环节详见图 9-12。

[redacted]

图9-12 SPECT诊断项目工作流程与产污流程图

9.2.2.3 核素诊断项目工作负荷

本项目正式开展后，核医学科核素诊断场所每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h。

PET 诊断项目使用 1 台 PET-CT 开展工作，共规划使用 8 种正电子放射性核素 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{44}Sc 和 ^{124}I 进行显现诊断。PET 每日常规开展 ^{18}F，其他核素均根据核素患者预约人数，每周安排 1 天进行显像诊断，且当天同时开展核素的种类不超过 5 种（日诊疗量不超过 28 人）。

SPECT 诊断项目使用 2 台 SPECT-CT 开展工作，共规划使用 3 种放射性核 ^{99m}Tc、^{123}I 和 ^{203}Pb 进行显现诊断，3 种放射性核均每日常规开展（日诊疗量不超过 70 人）。

具体 PET 诊断项目和 SPECT 诊断项目诊疗规划见下表。

表 9-7 PET 诊断项目和 SPECT 诊断项目诊疗规划一览表

设备名称	设备数量	诊断核素	诊疗量	年诊疗量（人）	单人次最大核素用量（Bq）	给药方式	来源
PET-CT	1 台	^{18}F	20 人/天	5000	3.70E+08	注射	回旋加速器自制或外购
		^{11}C	2 人/周	100	9.25E+08	注射	
		^{13}N	2 人/周	100	1.11E+09	注射	
		^{89}Zr	2 人/周	100	1.85E+06	注射	
		^{64}Cu	2 人/周	100	1.85E+06	注射	
		^{68}Ga	2 人/周	100	3.70E+08	注射	回旋加速器自制、自淋洗或外购
		^{44}Sc	2 人/周	100	1.85E+08	注射	外购
		^{124}I	2 人/周	100	1.85E+06	注射	

SPECT-CT	2 台	^{99m}Tc	60 人/天	15000	9.25E+08	注射	
		^{123}I	5 人/天	1250	3.70E+08	注射	
		^{203}Pb	5 人/天	1250	3.70E+08	注射	

各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷具体如下：

表 9-8 PET 诊断项目和 SPECT 诊断项目人员配置及操作时间一览表

工艺		操作时间	日操作次数（次）	年操作次数（次）	年操作时间（h）	配置人数
PET 诊断项目	活度抽检	1min/次	1	250	4.2	2
	分装、测活	1min/次	24	6000	100	
	注射	30s/次	28	7000	58.3	
	隔室指导摆位	1min/次	25	6250	104.2	2
	现场摆位	1min/次	3	750	12.5	
	扫描	15min/次（CT 出束 20s/次）	28	7000	1750（CT 出束 38.9h）	
SPECT 诊断项目	活度抽检	5min/次	1	250	20.8	2
	注射	30s/次	70	17500	145.8	
	隔室指导摆位	1min/次	63	15750	262.5	4
	现场摆位	1min/次	7	1750	29.2	
	扫描	15min/次（CT 出束 20s/次）	70	17500	4375（CT 出束 97.2h）	

9.2.2.4 核素诊断项目路径规划

1）放射性药物路径规划

a）外购药物：供药公司人员开车到地下二层核医学科西侧停车位后，负二层核医学科西侧停车位后，手推运输小车依次经过工作人员通道（向东后向北）、放射源电梯（DT-57）、负一层核素诊断场所 PET 诊断区西侧合用前室、医护走廊后，分别向北和向南通过卫生通过间，将药物送至 PET 储源室和 SPECT 储源室内暂存。

药物由核医学科工作人员接收，在摄像头监控下核对放射性药物信息，与供药公司办理交接手续并存档。

b）核素制备场所制备药物：

合成出的正电子放射性药物分装标定活度后装入铅罐中，依次经正电子热室西南侧传递窗、核素通道、正电子药物专用提升梯送至负一层核素诊断场所的 PET 储源室内暂存。

2）放射性固体废物路径规划

放射性药物注射过程中产生的注射器、一次性手套、棉签、试纸等带放射性药物的放射性固体废物收集在活性室、显像前候诊室、观察室、受检者走廊铅废物桶内的专用塑料袋中，一天工作结束后，由工作人员转运至对应的放废暂存间的铅废物箱内暂存，通风系统中更换下来的废活性炭直接放入放废暂存间铅废物箱内暂存。

放废暂存间内的放射性废物暂存达到清洁解控水平后，经场所东侧工作人员通道向南转运至负一层东南侧的医疗废物暂存间。

3）辐射工作人员路径规划

工作人员通过核素诊断场所西侧公共医务电梯到达地下一层，护士、医师和技师路线分别为：

a）护士行进路线：护士沿医护走廊向东后分别向北和向南，经卫生通过间后进入 PET 活性室\储源室和 SPECT 活性室\储源室进行相关核素操作，操作结束后原路返回。

b）医师、技师进出路线：显像诊断医师和技师沿医护走廊向东后分别向北和向南，进入 PET 控制室和 SPECT 控制室，操作结束后原路返回。

4）受检者路径规划

a）PET 显像诊断受检者路线：受检者在核素诊断场所西侧的护士站放置留置针后，进入诊室经过咨询、问诊，在候诊室等候叫号。被叫号后由入口防护门进入受检者走廊，随后向东到达 PET 注射窗口接受注射，然后在 PET 显像前候诊兼急救室内候诊，再进入 PET-CT 机房进行检查，检查后受检者在受检者走廊东侧观察室内留观，经主管医生确认图像质量满意后，受检者由东侧出口到达专用电梯，上升至地面后离开。

b）SPECT 显像诊断受检者路线：受检者在核素诊断场所西侧的护士站放置留置针后，在候诊区等候叫号。被叫号后由入口防护门进入受检者走廊，随后向东到达 SPECT 注射窗口接受注射，然后在 SPECT 显像前候诊室内候诊，再进入 SPECT-CT 机房进行检查，检查后受检者在东侧观察室内留观，经主管医生确认图像质量满意后，受检者由东侧出口到达专用电梯，上升至地面后离开。

9.2.3 核素治疗项目

9.2.3.1 ^{131}I 核素治疗项目（含甲吸测定项目）

（1）工作原理

甲吸测定：全称为甲状腺摄碘率测定（简称为甲吸测定）。甲状腺具有选择性摄取和浓聚碘的功能，其摄碘的速度和数量以及碘在甲状腺的停留时间，均取决于甲状腺的功能状态。食物中的碘为 ^{127}I，而 ^{131}I 为其同位素，具有相同的理化性质，但 ^{131}I 具有放射性，在其衰变时发出 γ 射线。因此，给检查者口服一定量的 ^{131}I 后，即被甲

状腺所摄取，在体外用特定的γ射线探测仪就可测得甲状腺对 ^{131}I 的吸收情况，从而判断甲状腺的功能状况。

甲亢治疗：全称为甲状腺功能亢进症治疗。甲状腺具有高度选择性摄取 ^{131}I 的能力，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多，可高达血浆的几百倍，且在甲状腺内停留的时间较长，有效半衰期可达 3.5～4.5 天。在患者服用 ^{131}I 后，90%以上的 ^{131}I 都会聚集到患者的甲状腺，其余的 ^{131}I 随代谢排出体外。^{131}I 衰变为 ^{131}Xe 时放射出 95%的β射线，该射线能量低，在甲状腺内的平均射程仅有 0.5mm，一般不会造成甲状腺周围组织例如甲状旁腺、喉返神经等的辐射损伤。因此，^{131}I 治疗可使部分甲状腺组织受到β射线的集中照射，使部分甲状腺细胞发炎症、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的功能恢复正常，达到治疗的目的。

甲癌治疗：即甲状腺癌治疗。^{131}I 是一种带有放射性的碘，摄入体内主要聚集在有甲状腺和其他摄取碘的组织里。由于分化型甲状腺癌细胞分化较好，因此具备部分摄取碘的能力，但通常比甲状腺组织弱很多，当正常甲状腺组织被去除后，分化好的甲状腺癌组织能够摄取一定量的 ^{131}I，利用 ^{131}I 衰变发出的β射线破坏肿瘤细胞，达到治疗目的。

（2）工作流程及产污环节

1）外购药物

甲吸测定、甲亢治疗和甲癌治疗使用 ^{131}I 为外购成品药物碘[^{131}I]化钠口服液体，工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物以货包形式送达核医学科，安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在甲癌病房区储源室。

2）指导服药

患者进行治疗前，医护人员将装有药物的屏蔽容器放在配药间的碘自动分装仪内，打开密封盖，通过电脑控制系统操作碘自动分装仪测定活度自动分装药物，患者根据医护人员指示进行服药，并用一次性口杯接适量纯净水服下，单名患者分药、服药均为 1min。

医院采取分时段管控患者就诊，避免不同 ^{131}I 诊疗患者在同一时段进行服药而发生交叉污染。

3）服药后流程

①甲吸测定：甲状腺吸碘功能测定主要用于甲亢治疗、甲癌治疗患者服碘量的计算以及亚急性甲状腺炎患者的诊断。甲吸测定患者经预约问诊后，进入核素治疗场所甲癌病房区门诊给药室，服用放射性药物后离开核医学科场所。患者分别于服药后2h、4h、6h、24h 到核医学科甲吸测定室进行吸碘率的测定，然后打印报告，检查结束。甲吸测定患者不在碘留观室和甲吸测定室候诊，甲测患者服药后由患者出口离开核医学科，等检测时间到后患者进入甲吸测定室进行测量，每次测量约 1min。

②甲亢治疗：甲亢患者经预约问诊后，进入核素治疗场所甲癌病房区门诊给药室，服用放射性药物后在医生的语音指导下在碘留观室短暂留观，如无异常情况，可离开核医学科场所。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 B.1 患者出院的体内放射性核素活度要求可知，本项目患者给药量低于放射治疗患者出院时体内放射性核素活度的要求，因此，甲亢患者服药后可不必住院，经短暂观察无碍后离开核医学科。医院应对患者做出书面建议，给出接触同事、亲属以及到公众场所的合理限制和有关防护措施（限制接触时间及距离等）。

③甲癌治疗流程：甲癌患者经预约问诊后，从核素治疗场所甲癌病房区东侧入口进入，沿患者走廊向西到住院给药室，单名甲癌患者最大服药量为 150mCi，服药之后按病房号对号进入甲癌病房住院治疗。住院期间核医学科医护人员通过视频、语音查房，甲癌患者在专用防护病房内休息。

接受 ^{131}I 治疗的患者应在其体内的放射性活度降至 400MBq 以下或距离患者体表 1 米处的周围剂量当量率不大于 25μSv/h 方可出院。根据国内医院实践运行经验，甲癌病人住院 3~5 天后均可达到出院标准，患者出院初期与家人保持 1m 以上的距离，避免出入公共场所。

应用 ^{131}I 开展甲吸测定、甲亢治疗、甲癌治疗流程及产污环节见图 9-13～图 9-15。

[redacted]

图9-13 甲吸测定项目工作流程及产污环节分析

[redacted]

图9-14 甲亢治疗项目工作流程及产污环节分析

[redacted]

图9-15 甲癌治疗项目工作流程及产污环节分析

9.2.3.2 ^{177}Lu 和 ^{161}Tb 核素治疗项目

（1）工作原理

^{177}Lu 半衰期 6.71d，衰变方式为 β^-（100%），衰变放出的 β^- 射线能量为 497keV（78.6%）、176keV（12.2%）和 384keV（9.1%），其粒子能量相对较低，在对病灶发生辐射作用时对骨髓抑制较轻。同时，^{177}Lu 还发射 γ 射线，可用于成像。本项目拟自标记合成或外购 ^{177}Lu 放射性药物，用于肠神经内分泌肿瘤、前列腺癌、神经内分泌肿瘤及骨转移癌的治疗。

^{161}Tb 半衰期 6.91d，衰变方式为 β^-（100%），衰变放出的 β^- 射线能量为 520 keV(55%)、460 keV(35%)、590 keV(10%)，组织穿透深度约 0.5 mm，可杀伤肿瘤细胞簇。每次衰变释放 11 个俄歇电子和 1.4 个内转换电子，射程极短（0.5–30μm），产生高线性能量传递（LET≈10–25 keV/μm），能精准破坏 DNA 双链，对微转移灶和单个肿瘤细胞杀伤力更强，同时，^{161}Tb 还发射 γ 射线，可用于成像。本项目拟外购 ^{161}Tb 放射性药物，用于转移性前列腺癌、神经内分泌肿瘤及其他实体瘤的治疗。

^{161}Tb 与广泛使用的放射性核 ^{177}Lu 性质相似，且疗效更好，为新型的放射性治疗核素。初步研究表明，在相同的活度下，^{161}Tb 在肿瘤治疗方面比 ^{177}Lu 更有效。

（2）工作流程及产污环节

1）药物生产或外购

本项目使用的 ^{177}Lu 为医院自行生产药物（当特殊原因导致无法生产时，采用外购成品药），^{161}Tb 药物为外购成品药物。工作人员根据治疗所需用药量、病人预约情况确定所需药物的使用量，提前生产或提前一天订购药物。

药物生产完毕后装进入转运铅罐，由专人通过药物提升梯，将药物转运至核素治疗场所新型核素病房储源室内，使用时采用人工分装。

订购的放射性药物由供药单位在约定的时间，将预约用量的药物以单支成品药物送至核医学科核素治疗场所，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在新型核素病房储源室。

2）诊疗流程

①接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害；

②医生根据病情确定使用核素的剂量；

③进入东侧新型核素病房区，医护人员在手套箱内分装、测活药物后（其中外购

成品药无需分装），在 ^{177}Lu 注射室给患者静脉注射 ^{177}Lu 药物，在注射窗口给患者静脉注射 ^{161}Tb 药物，注射药物量最大均为 5.55×10^{9} Bq（150mCi）；

④注射后按病房号对号进入 ^{177}Lu 病房或新型核素病房住院治疗。住院期间核医学科医护人员通过视频、语音查房，^{177}Lu 治疗患者和 ^{161}Tb 治疗患者住院一般 1～3 天/次。

参照甲癌患者出院要求，经检测病人 1m 处剂量率满足（小于 25μSv/h）要求后即可离开核医学科，并书面告知患者初期与家人保持 1m 以上的距离，避免出入公共场所。

开展 ^{177}Lu 和 ^{161}Tb 核素治疗流程及产污环节见图 9-16。

[redacted]

图9-16 ^{177}Lu和^{161}Tb核素治疗项目工作流程及产污环节分析

9.2.3.3 核素门诊治疗项目

本项目拟在核医学科核素治疗场所东侧新型核素病房区开展 ^{89}Sr、^{47}Sc、^{188}Re、^{212}Pb、^{225}Ac、^{211}At、^{223}Ra 门诊注射治疗，在敷贴治疗室使用 ^{90}Sr 敷贴器开展敷贴治疗工作。

9.2.3.3.1 东侧新型核素病房区门诊核素治疗项目

（1）工作原理

^{89}Sr 半衰期 50.53d，衰变方式为 β^{-}（100%），衰变放出的 β^{-}射线能量为 1.488MeV（100%），是一种亲骨性放射性核素，进入人体内后同钙一样参加骨矿物质的代谢过程，静脉给药后，恶性肿瘤骨转移病灶内的摄取率大于正常骨组织的 2~25 倍，并滞留在癌灶中，杀伤癌细胞，缩小病灶，起到良好的镇痛作用。

^{47}Sc 半衰期 3.41d，衰变方式为β⁻（100%），衰变放出的β⁻射线能量为 600keV（≈40%）和 439keV（≈60%），平均能量 162 keV，适合中低能量β治疗，穿透距离短（约 0.5 mm），肿瘤杀伤力强且组织毒性可控。同时，^{47}Sc 还发射 γ 射线，可用于成像。本项目拟外购 ^{47}Sc 放射性药物，用于成人神经内分泌肿瘤、前列腺癌及骨转移疼痛的治疗。

^{188}Re 半衰期 16.98h，衰变方式为β⁻（100%），衰变放出的β⁻射线最大能量 2.128 MeV，平均能量 0.76 MeV，组织中穿透深度约 3-4 mm，可精准杀伤浅表肿瘤细胞而不损伤深层组织。同时，^{188}Re 还发射 γ 射线，可用于成像。本项目拟外购 ^{188}Re 放射性药物，用于骨转移疼痛治疗、表皮放射治疗及放射滑膜切除术。

^{212}Pb 半衰期 10.6d，通过β衰变转化为 ^{212}Bi，^{212}Bi 进一步衰变，主要通过两种途径：36%的 ^{212}Bi 通过α衰变转化为 ^{208}Tl，64%的 ^{212}Bi 通过β衰变转化为 ^{212}Po，其中释放的α粒子，形成短程高能冲击（射程 50-100 微米），精准杀伤肿瘤细胞且对周围组织损伤小。本项目拟外购 ^{212}Pb 放射性药物，用于神经内分泌肿瘤及前列腺癌的治疗。

^{225}Ac 半衰期 10.0d，为α衰变核素，衰变链中释放 4 个高能α粒子，累积能量≈28 MeV，细胞杀伤力极强，α粒子在组织中穿透距离仅 50-100 微米（约 2-10 个细胞直径），对周围健康组织损伤小。本项目拟外购 ^{225}Ac 放射性药物，用于前列腺癌、小细胞肺癌及三阴性乳腺癌的治疗。

^{211}At 半衰期 7.21h，为α衰变核素，释放能量 5.9MeV 的α粒子，线性传能密度（LET）高，在组织中射程仅 55－80 μm（约 6－8 个细胞直径），可精准破坏 DNA 双链且不可修复。本项目拟外购 ^{211}At 放射性药物，用于神经内分泌肿瘤、多发性骨髓瘤（MRD）、嗜铬细胞瘤及脑肿瘤的治疗。

^{223}Ra 半衰期 11.44d，为α衰变核素，释放能量 5.7478MeV 的α粒子，射程<100 μm（约 10 个细胞直径），线性能量传递（LET）高达 80 keV/μm，可高效破坏 DNA 双链，杀伤力强。本项目拟外购 ^{223}Ra 放射性药物，用于伴症状性骨转移的去势抵抗性前列腺癌（CRPC）的治疗。

（2）工作流程及产污环节

1）药物生产或外购

本项目东侧新型核素病房区门诊核素治疗使用的 ^{225}Ac 为医院自行生产药物（当

特殊原因导致无法生产时，采用外购成品药），其余治疗药物均为外购成品药物。工作人员根据门诊治疗所需用药量、病人预约情况确定门诊治疗所需药物的使用量，提前生产或提前一天订购药物。

药物生产完毕后装进入转运铅罐，由专人通过药物提升梯，将药物转运至核素治疗场所新型核素病房储源室内，使用时采用人工分装。

订购的放射性药物由供药单位在约定的时间，将预约用量的药物以单支成品药物送至核医学科核素治疗场所，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在新型核素病房储源室。

2）诊疗流程

①接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害；

②医生根据病情确定使用核素的剂量；

③进入东侧新型核素病房区，医护人员在手套箱内分装、测活药物后（其中外购成品药无需分装），在注射窗口给患者静脉注射治疗药物；

④注射后患者进入病房短暂留观后，如无特殊情况即可离开核医学科。

门诊核素治疗流程及产污环节见图 9-17。

图9-17　门诊核素治疗项目工作流程及产污环节分析

9.2.3.3.2 敷贴治疗项目

（1）工作原理

当患者患有血管瘤、毛细血管扩张、神经性皮炎、局限性慢性湿疹或某些皮肤癌等症状时，通过某些放射性同位素（如 ^{90}Sr 敷贴器）产生的 β 射线，可以使微血管发生萎缩、闭塞等退行性改变，增生性病变细胞分裂速度变慢，白细胞增加和吞噬作用

增强从而达到诊疗目的。敷贴治疗仅对病变组织发生作用，对周围正常组织及全身无影响，治愈后一般无疤痕，患者无任何痛苦，操作简便。目前常用的商用敷贴器为金属制品，使用时根据病变形状在保护周围正常皮肤前提下直接敷贴，治疗时可用一次大剂量法或多次小剂量法。

^{90}Sr 的物理半衰期为 28.1 年，衰变时发射出 546keV 的低能β射线然后转变成子代产物^{90}Y，^{90}Y 的半衰期很短为2.67天，但能随着^{90}Sr 的衰变过程源源不断地形成。^{90}Y 衰变发射出 2284keV 的β射线，是真正起治疗作用的放射性核素，因此也称为^{90}Sr-^{90}Y 敷贴器。^{90}Y 产生的β射线在组织中的最大射程为 11mm。随组织深度增加剂量也迅速减少，在深度 1mm 处组织吸收剂量为 53%，2mm 处为 26%，3mm 处为 12%，4mm 处 6%，5mm 处 2.5%，6mm 处仅 1%，适合浅表性疾病（如皮肤增生性瘢痕、疙瘩，皮肤血管癌、皮肤癌、皮炎、顽固性湿疹、眼部疾病、鸡眼等）的应用，深部正常组织受损伤极少。

^{90}Sr-^{90}Y 敷贴器为外购成品，核医学科拟使用敷贴器初始活度约 7.4×10^{8}Bq，属于 V 类放射源。其结构为 1mm 的银片或高分子材料，内含一定强度的 ^{90}Sr 化合物，外有一层金属薄膜保护层，并用以吸收 ^{90}Sr 所发射的β射线，其形状为圆形或方型，出厂时已标定其放射性活度及表面剂量率。由于 ^{90}Sr 的半衰期较长，可以长期使用，但每年需做一次衰变矫正。敷贴器的大小不等，其活性区的面积有不同规格选用，小则 30×40mm，大则 60×80mm。某些敷贴器还可弯曲，更有利于贴近皮肤。使用时需要用橡皮或塑料等防护材料将病变周围批复覆盖，免受不必要的照射，然后在敷贴器下放一层玻璃纸，用胶布或绷带将敷贴器固定于病变处，再将敷贴器上面放置大于敷贴器面积的防护材料固定。记录敷贴时间（约 2min），达到预定治疗剂量时及时取掉。眼科用敷贴器可根据病变需要做成不同形状（如圆形、船形、半圆形）或开有上述不同形状的窗的防护套来适应治疗不同角膜、结膜病变的需要。常见 ^{90}Sr-^{90}Y 敷贴器外观见图 9-18。

图9-18 常见^{90}Sr敷贴器外观照片

（2）工作流程及产污环节

患者就诊，医务人员根据患者病变性质和病变部位确定处方剂量和疗程，根据敷贴器核素活度确定每次照射时间。需要进行敷贴治疗的患者在护士站登记后候诊，听呼叫后进入敷贴室。治疗时，医务人员将从西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区储源室保险柜内取出储源铅罐，送到敷贴治疗室内再打开铅罐，持手柄取出敷贴器放在病变处，在不接触患者皮肤的面用 3mm 厚的橡皮泥覆盖屏蔽。照射时间长的用胶布等固定，请病人协助按压敷贴器，照射时间短的由工作人员亲自按压固定敷贴器或利用特制装置进行远距离操作。治疗结束后，医务人员将敷贴器放回铅罐，送回储源间的保险柜内，患者治疗结束后原路离开核医学科。

[redacted]

图9-19　^{90}Sr敷贴治疗项目工作流程及产污环节分析

9.2.3.4 核素治疗项目工作负荷

本项目正式开展后，核医学科核素治疗场所每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h。

东侧新型核素病房区规划使用 ^{161}Tb、^{177}Lu、^{89}Sr、^{211}At、^{223}Ra、^{47}Sc、^{188}Re、^{212}Pb 和 ^{225}Ac 进行肿瘤治疗及临床试验研究，其中 ^{161}Tb 和 ^{177}Lu 核素治疗需住院（1～3 天），其余核素治疗均为门诊治疗，每天规划门诊治疗核素最多 3 种（日门诊治疗量不超过 6 人）；西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区规划使用 ^{131}I 进行甲癌治疗、甲亢治疗和甲吸测定，规划使用 ^{90}Sr 敷贴器进行敷贴治疗。

具体核素治疗项目诊疗规划见下表。

表 9-9 核素治疗项目诊疗规划一览表

场所	治疗核素	诊疗量	年诊疗量（人）	单人次最大核素用量（Bq）	给药方式	来源
东侧新型核素病房区	^{161}Tb	1 人/周	50	5.55E+09	注射	外购
	^{177}Lu	2 人/周	100	5.55E+09	注射	自合成或外购
	^{89}Sr	2 人/周	100	1.48E+08	注射	外购
	^{211}At	2 人/周	100	3.70E+07	注射	
	^{223}Ra	2 人/周	100	2.22E+07	注射	
	^{47}Sc	2 人/周	100	1.85E+08	注射	
	^{188}Re	2 人/周	100	7.40E+08	注射	
	^{212}Pb	2 人/周	100	3.70E+07	注射	
	^{225}Ac	2 人/周	100	7.77E+06	注射	自合成或外购
西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区	^{131}I(甲癌)	5 人/周	250	5.55E+09	口服	外购
	^{131}I(甲亢)	5 人/天	1250	3.70E+08	口服	
	^{131}I(甲吸)	10 人/天	2500	1.85E+05	口服	

	^{90}Sr 敷贴治疗	10 人/天	2500	/	敷贴	外购

各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷具体如下：

表 9-10 核素治疗项目人员配置及操作时间一览表

工艺		操作时间	日操作次数（次）	年操作次数（次）	年操作时间（h）	配置人数
^{131}I 核素治疗项目	将铅罐装至自动分碘仪	5min/次	1	250	20.8	2
	远程操控分装，并指导患者服药	1min/次	甲癌：5 次/周 其他：15 次/天	4000	66.7	
	甲吸测定	1min/次	40	10000	166.7	
^{177}Lu 和 ^{161}Tb 核治疗项目	分装、测活	1min /次	3	150	2.5	2
	注射	30s/次	3	150	1.3	
门诊核素治疗项目	分装、测活	1min /次	6	1500	25	
	注射	30s/次	6	1500	12.5	
^{90}Sr 敷贴治疗项目	敷贴器转运至敷贴治疗室	1min /次	10	2500	41.7	2
	敷贴治疗	2min /次	10	2500	83.3	
	收回敷贴器	1min /次	10	2500	41.7	

9.2.3.4 核素治疗项目路径规划

1）放射性药物路径规划

a）外购药物：供药公司人员开车到地下二层核医学科西侧停车位后，负二层核医学科西侧停车位后，手推运输小车依次经过工作人员通道（向东后向北）、放射源电梯（DT-57）、一层核素治疗场所西侧扩大前室、候诊区、医护走廊后，向北分别通过对应卫生通过间，将药物送至东侧新型核素病房区储源室和西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区储源室内暂存。

药物由核医学科工作人员接收，在摄像头监控下核对放射性药物信息，与供药公司办理交接手续并存档。

b）核素制备场所制备药物：

合成出的治疗放射性药物分装标定活度后装入铅罐中，依次经治疗药物热室东南侧传递窗、核素通道（向西后向北）、放射源电梯（DT-57）、一层核素治疗场所西侧扩大前室、候诊区、医护走廊后，向北分别通过对应卫生通过间，将药物送至东侧新型核素病房区储源室和西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区储源室内暂存。

2）放射性固体废物路径规划

放射性药物注射/服用过程中产生的注射器、服药杯、一次性手套、棉签、试纸等带放射性药物的放射性固体废物收集在对应功能间的铅废物桶的专用塑料袋内，病

房区域每周工作结束后，由工作人员转运至相应场所放废暂存间的铅废物箱内暂存。通风系统中更换下来的废活性炭直接放入放废暂存间铅废物箱内暂存。

放废暂存间内的放射性废物暂存达到清洁解控水平后，东侧新型核素病房区废物经东侧患者出口运出，西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区废物经北侧患者出口运出，后集中从一层东南侧污物电梯（DT-55）转运至负一层东南侧的医疗废物暂存间。

3）辐射工作人员路径规划

工作人员通过核素治疗场所南侧办公室出发，经医护走廊向北，通过卫生通过间分别进入东侧新型核素病房区分装注射间\抢救室兼 ^{177}Lu 注射室和西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区配药间进行相关核素操作，操作结束后原路返回；甲功能测定和敷贴治疗工作人员经医护走廊向南分别进入甲吸测定室和敷贴治疗室进行操作，操作结束后原路返回。

4）患者路径规划

a）东侧新型核素病房区患者路线：患者从核素治疗场所西侧进入到候诊区域，在护士站放置留置针，等待叫号后沿着医护走廊向东，从东侧新型核素病房区西南侧入口防护门进入病房区。

^{177}Lu 治疗患者在抢救室兼 ^{177}Lu 注射室接受静脉注射放射性药物，^{161}Tb 治疗患者在注射窗口接受静脉注射放射性药物，注射后按病房号对号进入 ^{177}Lu 病房住院和新型核素病房内住院观察。^{177}Lu 治疗患者和 ^{161}Tb 治疗患者根据病情住院最多 3 天/次，参照甲癌患者出院要求，经检测病人 1m 处剂量率满足（小于 25μSv/h）要求后即可出院。

其余核素治疗患者在注射窗口接受静脉注射放射性药物，注射后进入观察病房内留观，最后从东侧患者出口离开核医学科。

b）西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区患者路线：

甲癌患者从核素治疗场所西侧进入到候诊区域，等待叫号后沿着医护走廊向东，从西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区东南侧入口防护门进入病房区，沿患者走廊向西到住院给药室，服药之后按病房号对号进入甲癌病房内住院观察，根据病情住院最多 5 天/次。接受 ^{131}I 治疗的患者应在其体内的放射性活度降至 400MBq 以下或距离患者体表 1 米处的周围剂量当量率不大于 25μSv/h 方可出院。

甲亢治疗及甲功能测定患者路线：

甲癌患者从核素治疗场所西侧进入到候诊区域，等待叫号后沿着医护走廊向东，从西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区西南侧经缓冲间进入门诊给药室，服药之后进入北侧留观室，留观结束后由北侧出口离开，甲功能测定人员依据约定时间返回到场所西南侧的甲吸测定室进行甲功能测定。

c）敷贴治疗患者路线：

敷贴治疗患者从核素治疗场所西侧进入到候诊区域，等待叫号后沿着医护走廊向东，进入敷贴治疗室，治疗结束后原路离开。

[redacted]

9.3 污染源项分析

9.3.1 施工期污染源分析

（1）施工阶段

本项目装修施工期主要环境影响因素为噪声、施工废水、建筑粉尘和建筑垃圾等。

（2）设备安装、调试阶段

本项目射线装置安装调试阶段，主要污染因素为 X 射线、臭氧和少量包装废弃物。

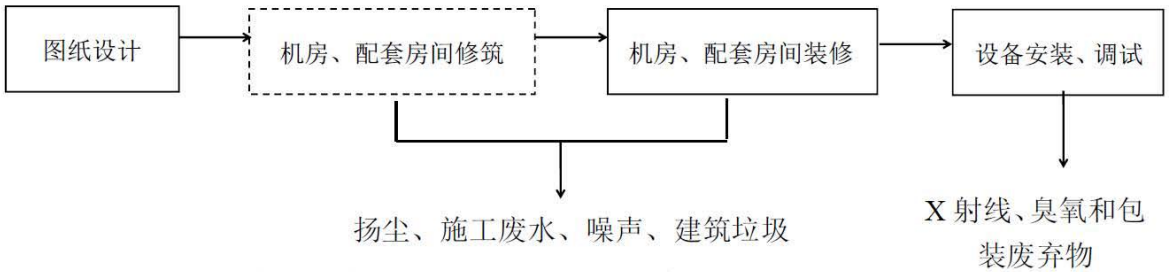

图 9-23 施工期施工工序及产污位置图（虚线框不属于本次评价内容）

9.3.2 运行期污染源分析

9.3.2.1 放射性污染源分析

9.3.2.1.1 核素制备项目

核素制备过程中污染因子主要包括：放射性核素生产过程中产生的中子、γ 射

线、β^+射线、β^-射线和α射线，还有含放射性核素的气态、液态和固态废物，此外还会产生少量的臭氧及氮氧化物。根据工艺流程，具体分析污染物和污染途径如下。

（1）贯穿辐射

回旋加速器在制备药物过程中，高速质子与靶物质作用伴随产生中子，中子与靶、部件、屏蔽体等物质相互作用会放出γ射线，中子和γ射线具有较强的穿透力，如果对其屏蔽不好则可以穿过屏蔽墙、防护门、屋顶等对工作人员和公众产生一定辐射危害。

在进行药物合成分装、交接、传输等操作时，正电子药物衰变时会发出β^+射线以及发生正电子湮灭产生的γ射线，β^+的最大能量为1.190MeV，β^+在空气中存在时间极短，极易与空气的电子结合（湮灭）而转化为两个γ射线光子（能量为0.511MeV）；其余治疗药物衰变时会发出β^-射线、α射线以及γ射线，另外放射性药物放射出的β粒子与周围物质相互作用会产生轫致辐射。

本项目核素制备、合成分装均为自动控制，以上过程中工作人员受到的辐射影响较小，贯穿辐射主要来自质检及传递运输放射性同位素药物过程中。

制药区无公众进入，加速器运行及在药物转运过程中周围公众活动量很小，对公众造成影响的可能性较小。

（2）空气活化产物

回旋加速器运行过程中，粒子与稳定的非放射性核素作用发生核反应，生成放射性的核素，称该非放射性核素被活化。活化产物决定因素主要包括：中子发生率和能量、空气的组成、核反应截面、粒子在空气中的行径（自靶点至墙内表面的距离）。加速器在运行期间，中子活化空气产生的活化产物主要为：^{11}C（半衰期 20.9min）、^{13}N（半衰期10min）、^{15}O（半衰期2min）、^{41}Ar（半衰期1.83h）。

这些核素均为β、γ衰变体，其中^{11}C、^{13}N、^{15}O半衰期很短，在很短时间内即可发生衰变，故可以不予考虑。主要考虑^{41}Ar的影响，由于空气中可以生成^{41}Ar的^{40}Ar含量仅为1.3%，加上产生^{41}Ar的活化反应截面很小，所以^{41}Ar的生成率极其微小。

根据《原子核物理》（卢希庭主编），活化物质产生量计算公式如下：

$$Q = \lambda \cdot \Phi \cdot R \cdot N \cdot \sigma \cdot t \qquad \text{（式 9-1）}$$

式中：Q—活化物质年排放量，Bq/a；

λ—放射性核素的衰变常数，s^{-1}；核素^{41}Ar的λ为$1.05\times10^{-4}s^{-1}$；

Φ—中子发射率，n/s；

σ—母核 ^{41}Ar 的活化截面，为 $1.57\times10^{-27}cm^2$；

R—房间内空气的有效半径，cm；保守取靶点至机房墙内表面最小距离，根据建设单位提供的资料，回旋加速器机房的 R 均取 250cm；

N—单位体积空气中的 ^{41}Ar 原子数，2.53×10^{20} 个/cm^3；

t—年运行时间，s；根据建设单位提供的资料，回旋加速器机房一年运行 1041.7h。

根据建设单位提供的资料，本项目回旋加速器最大束流为 100μA，最大束流时的中子发射率为 3.55×10^{11}n/s，本项目保守采用最大束流时的中子发射率对活化气体 ^{41}Ar 的产量进行核算。

根据上式及相关参数可得，本项目回旋加速器机房活化气体 ^{41}Ar 的年产量为 3.86×10^6 Bq/a，^{41}Ar 为惰性气体，其排放量即为产生量。

（3）表面污染

工作人员在对含有放射性核素制剂的各种操作中，可能会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等发生放射性沾污，造成放射性表面污染。

（4）放射性废气

在放射性药物合成分装、质检时，药物挥发产生的含放射性核素的废气。

（5）放射性废水

1）回旋加速器运行时，次级中子与冷却水中的氧发生核反应产生感生放射性核素。参考同类项目，低能回旋加速器运行期间，冷却水中活化产物主要有 ^{16}N（半衰期 7.3s）、^{15}O（半衰期 2min）放射性核素，为短半衰期核素，放置一定时间可衰变至较低水平。正常运行期间，冷却水在冷却系统管路中循环使用，不外排。维保期间可能需要排除冷却水，以便进行设备检修，冷却水经特排管道排入衰变池暂存，按每天 0.2L 保守估算。

2）回旋加速器制备过程产生的放射性废液主要为纯化柱、离子交换柱等清洗和纯化残液等（核素组成：^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr），单次最大产生量约 50mL，每天最多生产打靶 2 次，产生量为 100mL/d。锗镓发生器制备过程无放射性废液产生。

3）治疗药物制备过程产生的放射性废液主要为纯化柱清洗废液和纯化后残液

等，单次最大产生量约 50mL，每周涉及 ^{177}Lu 和 ^{225}Ac 各生产一次，产生量为 100mL/week。

4）放射性药物质检过程产生的放射性废液主要为玻璃器皿清洗以及废弃的分析混合液等（核素组成：^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{177}Lu 和 ^{225}A），单批次药物质检产生量约 30mL，每天共质检 2 批次，产量为 60mL/d。

4）核素制备场所中辐射工作人员洗手、淋浴及控制区场所清洗产生的放射性废水，约 150L/d。

（6）放射性固废

1）回旋加速器制备正电子放射性药物过程中会产生的废弃离子交换柱、纯化柱、滤膜、棉签及擦拭废物和废靶材等放射性固体废物，产生量约为 0.2kg/d；回旋加速器日常维护更换下来的靶体、靶膜、过滤网等带有感生放射性的内部构件（每年更换一次），产生量约为 3kg/a；固体靶生产放射性药物产生的少量残液，使用玻璃瓶在固体靶热室合成柜自动分类收集，采用吸水纸吸附后作为放射性固体废物处置，置于热室合成柜内衰变，产生量约为 0.02kg/d，残液所含的放射性核素为 ^{61}Co（半衰期约 1.65h）。

2）^{68}Ge-^{68}Ga 发生器淋洗合成正电子放射性药物 ^{68}Ga 过程中会产生废弃的空药瓶、注射器、棉签及擦拭废物等放射性固体废物，产生量约为 0.1kg/d；另外单柱 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器一般使用半年后退役，退役的发生器暂存于正电子药物制备区放废暂存间 1 内，定期由厂家统一回收。

3）治疗药物制备过程中会产生废弃纯化柱、滤膜、棉签、空原料瓶及擦拭废物等放射性固体废物，产生量约为 0.15kg/d；

4）放射性药物质检过程中会产生质检废弃液玻璃瓶、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、稀释液玻璃瓶等及无菌、微生物和阳性对照实验产生的灭活培养基等放射性固体废物，产生量约为 0.15kg/d；

5）排风管道更换下来的废活性炭含有放射性核素，也属于放射性废物。核素制备场所正电子药物制备区、治疗药物制备区及药物质检区，三个功能区均设置了独立的排风管道，放射性废气排放口位于肿瘤中心住院部楼顶（七层楼顶，距地高度约 36m）。排放口及分装合成柜、手套箱顶部均设置活性炭吸附装置，每个功能区排风管道中活性炭装置填装量为 25kg，平均每半年更换一次，核素制备场所产生量为 75kg/

半年。

9.3.2.1.2 核素诊断治疗项目

（1）X 射线和 γ 射线

PET-CT、SPECT-CT 扫描时产生的 X 射线；药物在分装、测活、注射/服药、注射/服药后候诊、扫描及留观等过程中产生的 γ 射线、β 射线及 α 射线，放射性药物放射出的 β 粒子与周围物质相互作用产生的韧致辐射。

（2）α /β 放射性表面污染

医生在对放射性药物的操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的 α /β 放射性表面污染。

（3）放射性废气

在放射性药物分装、测活、注射、口服过程中、患者摄入药物后候诊、扫描和留观过程中，药物挥发产生的含放射性核素的废气。

（4）放射性废水

1）核素诊断场所

患者注射放射性药物后，在显像前等候室等候、观察室留观至离开前产生的排泄物，辐射工作人员洗手、淋浴及控制区场所清洗产生的放射性废水。SPECT 显像诊断及 PET 显像诊断患者均为门诊患者，每天最多诊断 98 人（其中 SPECT 显像诊断 70 人次/天，PET 显像诊断 28 人次/天，保守考虑所有显像核素在同一天按日最大诊断量开展），参考《综合医院建筑设计规范》（GB 51039-2014），患者用水量取 10L/天·人，按每周工作 5 天、每年工作 250 天工作计，辐射工作人员洗手及控制区场所清洗产生的放射性废水按每天 150L 计算，则核素诊断和敷贴治疗场所放射性废水产生量约为 10L/人×98 人/d+150L/d=1.13m^3/d，282.5m^3/a。

2）核素治疗场所

患者摄入放射性药物后，在离开前产生的排泄物、辐射工作人员洗手及控制区场所清洗产生的放射性废水，门诊核素治疗患者在摄入药物后，仅休息片刻即从出口防护门离开，不产生放射性废水；敷贴治疗患者不产生放射性废水；场所内 ^{131}I 甲癌患者、^{177}Lu 核素治疗及 ^{161}Tb 核素治疗患者为住院患者，根据医院提供的核医学科隔离病房的设计，核医学科核素治疗场所共设置 3 间甲癌病房和 3 间其他核素治疗病房，均为双人病房，最多可容纳 6 名甲癌患者和 6 名其他核素治疗患者，病人产生放射性

废水产生量保守按其病床数核算。住院期间主要为淋浴和冲厕用水，其用水量参考《综合医院建筑设计规范》（GB 51039-2014），患者用水量取 150L/天·人，按每周工作 5 天、每年工作 250 天工作计，辐射工作人员洗手及控制区场所清洗产生的放射性废水按每天 150L 计算，则核素治疗场所放射性废水产生量约为 150L/人×12 人/d+150L/d=1.95m^3/d，487.5m^3/a。

（5）放射性固废

1）核素诊断场所

核素诊断患者摄入药物过程中产生的注射器、一次性手套、棉签、试纸等带放射性药物的放射性固体废物，SPECT 显像诊断及 PET 显像诊断患者均为门诊患者，每天最多诊断 98 人（其中 SPECT 显像诊断 70 人次/天，PET 显像诊断 28 人次/天，保守考虑所有显像核素在同一天按日最大诊断量开展），显像诊断产生的放射性废物约 20g/天·人，1.96kg/d，490kg/a；

PET-CT 中使用到一定年限后退役的校准密封源 ^{22}Na（每枚校准密封源 ^{22}Na 使用年限约为三年），产生量约为 7 枚/3a，由厂家回收处理。

排风管道更换下来的废活性炭含有放射性核素，也属于放射性废物。核素诊断场所 PET 诊断区和 SPECT 诊断区设置有独立排风管道，放射性废气排放口位于肿瘤中心住院部楼顶（七层楼顶，距地高度约 36m）。排放口及手套箱顶部均设置活性炭吸附装置，两功能区排风管道中活性炭装置填装量 50kg，平均每半年更换一次，产生量为 50kg/半年。

2）核素治疗场所

开展核素治疗时，放射性废物主要是废弃的一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破碎杯皿、源瓶、输液管、手套、患者使用过的杯子、擦拭体液、排泄物的纸巾以及其他患者住院产生的污被服等，其中敷贴治疗患者不产生放射性废物，除敷贴治疗患者外，核素治疗场所门诊治疗患者每天最多 21 人（甲吸患者每天最多 10 人、甲亢患者每天最多 5 人、其余核素治疗患者每天最多 6 人），按照 20g/天·人产生量进行估算，则核素治疗场所门诊治疗患者放射性废物产生量为 0.42kg/d，105kg/a；

核素治疗场所产生的废物主要是住院患者产生的废物，根据医院提供的核医学科隔离病房的设计，核医学科核素治疗场所共设置 3 间甲癌病房和 3 间其他核素治疗病房，均为双人病房，最多可容纳 6 名甲癌患者和 6 名其他核素治疗患者，病人放射性

废物产生量保守按其病床数核算，按照每人 0.3kg 产生量进行估算，则住院治疗患者放射性固废最大产生量为 3.6kg/d，900kg/a。

废 ^{90}Sr 放射源及其包装暂存于放射性源库保险箱中，进行包装整备后送交有相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。

排风管道更换下来的废活性炭含有放射性核素，也属于放射性废物。核素治疗场所东侧新型核素病房区域、西侧甲癌病房区域和门诊核素诊疗区域，均设置了独立的排风管道，放射性废气排放口位于肿瘤中心住院部楼顶（七层楼顶，距地高度约 36m）。排放口及分装合成柜、手套箱顶部均设置活性炭吸附装置，每个区域排风管道中活性炭装置填装量为 25kg，平均每半年更换一次，核素治疗场所产生量为 75kg/半年。

9.3.2.1.3 核医学科放射性“三废”汇总

（1）放射性废气

本项目核医学科涉及使用的全部核素均属于液态放射性药物，且大部分放射性药物均属于非挥发性化合物，采用负压瓶或成品针剂进行密封储存，在药物分装、测活、注射过程中采取注射器进行抽取，并最终通过静脉注射进入病人体内，在整个过程中注射类药物放射性核素（包括碘-124）气溶胶挥发量很小，几乎不产生放射性废气。本项目主要考虑使用的碘-131，属于易挥发性化合物，碘-131 在操作过程中存在裸露液面，存在一定的挥发量，保守考虑挥发量按日最大操作量的 0.1%（数据引自《非密封放射性核素治疗后的患者出院考虑》（ICRP 94 号出版物）。本项目碘-131 日最大操作量为 2.96×10^{10}Bq（仅在核素治疗场所使用），经计算碘-131 废气日最大排放量为 2.96×10^{7}Bq。

（2）放射性废水

表 9-11 核医学科放射性废水排放汇总表

工作场所	废水来源及类型		核素组成	每周最大废水产生量（L）①		
负二层核素制备场所	回旋加速器制备	纯化柱、离子交换柱等清洗和纯化残液等	^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr	50mL/次	2 次×5	0.5
	治疗药物制备	纯化柱清洗废液和纯化残液	^{177}Lu、^{225}Ac	50mL/次	2 次	0.1
	质检	玻璃器皿清洗以及废弃的分析混合液等	^{11}C、^{13}N、^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr、^{177}Lu、^{225}Ac	30mL/次	2 次×5	0.3
	回旋加速器	活化冷却水	^{16}N	0.2×5		
	工作人员及场所清洗废水		/	150×5		

	小计		751.9		
负一层核素诊断场所	诊断病人排泄、清洗废水	^{11}C、^{13}N、^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{123}I、^{203}Pb	10L/d•人	98 人×5	4900
	工作人员及场所清洗废水	/	150×5		
	小计		5650		
一层核素治疗场所	住院治疗病人排泄、淋浴废水	^{131}I	150 L/d•人	6 人×5	4500
		^{161}Tb、^{177}Lu		6 人×3	2700
	工作人员及场所清洗废水	/	150×5		
	小计		7950		
总计			14351.9（14.35m^3）		
注：①放射性废水排放系数保守取 1，即用水量和排水量一致；②其中 SPECT 显像诊断 70 人次/天，PET 显像诊断 28 人次/天；③住院治疗病人放射性废水产生量保守按其病床数核算，其中 ^{131}I 甲癌治疗病人住院 5 天/周，^{161}Tb 和 ^{177}Lu 治疗病人住院 3 天/周。					

（3）放射性固废

表 9-12 核医学科核素制备场所放射性固废汇总表

工作场所	核素	产生来源及种类	日产生量（kg/d）	年生产天数	年产生量（kg/a）	废物所含核素半衰期
负二层核素制备场所（正电子药物制备区）	^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr	正电子药物加速器制备废弃离子交换柱、纯化柱、滤膜、棉签及擦拭废物和废靶材等	0.2	250	50	＞24h
	^{61}Co	加速器固体靶生产放射性药物产生的少量残液，采用吸水纸吸附后作为放射性固体废物处置	0.02	50	1	＜24h
	^{68}Ga	正电子药物发生器制备废弃的空药瓶、注射器、棉签及擦拭废物等	0.1	50	5	＜24h
	^{68}Ge	废锗镓发生器	2 个/a	/	2 个/a	厂家回收
	/	回旋加速器靶体、靶膜、过滤网等带有感生放射性的内部构件	3kg/a	/	3	交有资质单位处理
	/	废活性炭过滤器滤芯	25kg/半年	/	50	＞24h
负二层核素制备场所（治疗药物制备区）	^{177}Lu、^{225}Ac	治疗药物制备废弃纯化柱、滤膜、棉签、空原料瓶及擦拭废物等	0.15	100	15	＞24h
	/	废活性炭过滤器滤芯	25kg/半年	/	50	＞24h
负二层核素制备场所（药物质检区）	^{11}C、^{13}N、^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr、^{177}Lu、^{225}Ac	质检废弃液玻璃瓶、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、稀释液玻璃瓶等及无菌、微生物和阳性对照实验产生的灭活培养基	0.15	250	37.5	＞24h（核素混装）
	/	废活性炭过滤器滤芯	25kg/半年	/	50	＞24h

表 9-13 核医学科核素诊断治疗场所放射性固废汇总表

场所	核素	产生来源及种类	产生量(g/d·人)	日最大病人数(人)	日产生量(kg/d)	年最大病人数(人)	年产生量(kg/a)	废物所含核素半衰期
负一层核素诊断场所（PET 诊断区）	^{11}C、^{13}N、^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr、^{44}Sc、^{124}I	使用过的一次性注射器、口罩、手套、空药瓶、棉签及擦拭废物等	20	28①	0.56	5700	114	＞24h（核素混装）
	/	废活性炭过滤器滤芯	25kg/半年	/	/	/	50	＞24h
	^{22}N	废放射源（校准源）	7 枚/3a	/	/	/	/	厂家回收
负一层核素诊断场所（SPECT 诊断区）	^{99m}Tc、^{123}I、^{203}Pb	使用过的一次性注射器、口罩、手套、空药瓶、棉签及擦拭废物等	20	70①	1.4	17500	350	＞24h（核素混装）
	/	废活性炭过滤器滤芯	25kg/半年	/	/	/	50	＞24h
一层核素治疗场所（东侧新型核素病房区域）	^{177}Lu	使用过的一次性口杯、一次性注射器、口罩、手套、空药瓶、棉签、擦拭废物和病人住院期间产生的一次性卫生用品等	300	4①	1.2	4×50	180（考虑住院 3 天）	＞24h
	^{161}Tb			2①	0.6	2×50	90（考虑住院 3 天）	＞24h
	^{89}Sr、^{211}At、^{223}Ra、^{47}Sc、^{188}Re、^{212}Pb、^{225}Ac		20	6	0.12	700	14	＞24h
	/	废活性炭过滤器滤芯	25kg/半年	/	/	/	50	
一层核素治疗场所（西侧甲癌病房区域）	^{131}I（甲癌）	使用过的一次性口杯、一次性注射器、口罩、手套、空药瓶、棉签、擦拭废物和病人住院期间产生的一次性卫生用品等	300	6①	1.8	300	450（考虑住院 5 天）	含 ^{131}I 固废
	/	废活性炭过滤器滤芯	25kg/半年	/	/	/	50	
一层核素治疗场所（门诊核	^{131}I（甲吸、甲亢）	一次性口杯、棉签、擦拭废物等	20	15	0.3	3750	75	
	/	废活性炭过滤器滤芯	25kg/半年	/	/	/	50	

素诊疗区域）	^{90}Sr-^{90}Y	废放射源	/	/	/	/	/	厂家回收
注：①住院病人放射性固废产生量保守按其病床数核算。								

9.3.2.2 非放射性污染源分析

（1）非放射性废水

本项目废水为工作人员产生少量的生活污水，经医院污水管网后排入医院污水处理站，处理达标后排入市政污水管网。

（2）非放射性固废

本项目的固体废物，主要为工作人员产生的办公垃圾、生活垃圾，依托医院大楼拟建设的收集系统进行回收后由当地环卫部门清运。

（3）非放射性废气

本项目非放射性废气主要来源于γ射线或X射线与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物，其中放射性同位素和III类射线装置产生的臭氧量和氮氧化物量较少，可不予考虑，本次主要考虑II类射线装置回旋加速器运行产生的臭氧量和氮氧化物量（主要考虑二氧化氮）。

空气主要吸收γ射线辐射能量，分子发生辐射分解，重新结合形成臭氧和二氧化氮（二氧化氮占比为臭氧的1/2），根据NCRP-144号报告，浓度计算公式如下：

$$\frac{dN}{dt} = gI - \alpha N - \kappa IN - \frac{QN}{V} \qquad \text{（式 9-2）}$$

式中：dN/dt—单位体积单位时间臭氧形成（或分解）的速率（m^3/s）；

N—辐照 t 时间后单位体积的臭氧数目，m^{-3}；

I—空气中单位体积光子能量沉积，$eV \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}$；

g—参考《Radiological safety aspects of the operation of electron linear accelerators.Vienna,Austria:International Atomic Energy Agency Technical Report No.188》，g 值在高剂量率（$>4\times10^8$Gy/s）下取0.103/eV，低剂量了下取值0.074/eV，本装置按低剂量率取值；

α—臭氧分子的化学分解速率，取 $2.3\times10^{-4}s^{-1}$；

κ—单位光子能量沉积的辐照分解速率，取 $1.4\times10^{-16}eV^{-1}\cdot m^3$；

Q/V—通风频率，按不排风进行保守考虑。

该方程解为下式：

$$N(t)=\frac{gI}{\alpha+\kappa I}\left[1-e^{-t(\alpha+\kappa I)}\right] \qquad （式 9-3）$$

假设长时间照射条件下，即上式 t→∞，得到臭氧的饱和浓度 N_{sat} 为：

$$N_{sat}=\frac{gI}{\alpha+\kappa I} \qquad （式 9-4）$$

$$I=6.25\times10^{18}\varphi(\frac{\mu_{en}}{\rho})E\rho \qquad （式 9-5）$$

$$C=N\frac{M}{N_A} \qquad （式 9-6）$$

式中：φ—光子通量，P/m^2；

E—光子能量，保守取 10MeV=10×1.6×10^{-13}J=1.6×10^{-12}J；

ρ—空气密度，取 1.29kg/m^3；

μ_{en}/ρ—光子在空气中的质能吸收系数，根据《辐射防护导论》附表 1 查得 1.501×$10^{-2}m^2$/kg；

C—臭氧浓度，mg/m^3；

M—臭氧的摩尔质量，4.8×10^4mg/mol；

N_A—阿伏伽德罗常数，取 6.022×$10^{23}mol^{-1}$。

参考《Radiation Sources for C30-XP》（M-ID99705）试验资料，在（p,xn）反应下，单个质子打靶产生光子 2.82×10^{-2}，总的光子产额 Q_F 由下式计算。

$$Q_F=aI/e \qquad （式 9-7）$$

式中：a—单个质子打靶光子产量产额，取 2.82×10^{-2}；

I—束流强度，取 1.0×10^{-4}A；

e—电子电量，取 1.602×10^{-19}C。

经计算最大光子产额为 1.76×10^{13}，光子通量=1.76×10^{13}/4π=1.4×$10^{12}P/m^2$，经计算，在连续运行条件下，臭氧的饱和平衡浓度为 4.21×10^{-5}mg/m^3，二氧化氮饱和平衡浓度为 2.11×10^{-5}mg/m^3，远小于《工业场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2007）中臭氧的一小时平均浓度值 0.3mg/m^3，二氧化氮的一小时平均浓度值 5mg/m^3。

（4）噪声

区域通排风风机工作时将产生一定的噪声，噪声源强不超过 65dB（A），经风机

机房墙体隔声和距离衰减后，对周围声环境影响较小。

表 10 辐射安全与防护

10.1 设施安全与防护分析

10.1.1 工作场所布局分析及分区情况

（1）工作场所布局分析

本项目核医学科分为核素制备场所、核素诊断场所、核素治疗场所，共三个工作区域。

核素制备场所设置于综合楼负二层东南侧，该场所东侧和北侧均为地下土层，南侧为放疗科，西侧为后勤库房、预留核医学科动物实验场所，上方为核素诊断场所，下方为地下土层。主要设置北侧正电子药物制备区、西南侧治疗药物制备区和南侧药物质检区三个功能区：其中北侧正电子药物制备区拟新建一间回旋加速器机房及其控制室、设备间、靶片存储间、固体靶热室、正电子热室、放废暂存间、洁净走廊、更衣缓冲间等配套房间；西南侧治疗药物制备区拟新建一间治疗药物热室、放废暂存间、清洁间、更衣缓冲间等配套房间；南侧药物质检区拟新建一间培养室、无菌室、菌种室、消毒灭菌室、放化室、内毒素检测理化室、阳性菌检测室、放废暂存间、清洁间、卫生通过间等配套房间。

核素诊断场所设置于综合楼负一层东南侧，东侧和北侧均为地下土层，南侧为库房、空调机房、采光井、医生办公场所，西侧为补风机房、排风机房及配电场所，上方为核素治疗场所，下方为核素制备场所。主要设置南北两个诊断区：其中北侧 PET 诊断区拟新建一间 PET/CT 机房及其控制室、设备间、PET 活性室、PET 储源室、PET 显像前候诊室、PET 观察室、PET 放废暂存间、受检者走廊；南侧 SPECT 诊断区拟新建两间 SPECT/CT 机房及其控制室、多功能室兼急救室、SPECT 活性室、SPECT 储源室、SPECT 显像前候诊室、SPECT 观察室、SPECT 放废暂存间、受检者走廊；两诊断区中间拟新建医护走廊、报告室等配套房间。

核素治疗场所设置于综合楼一层东南侧，东侧、西侧和北侧均为室外空地，南侧为采光井，上方为肿瘤中心病房，下方为核素诊断场所。主要设置东侧新型核素病房区和西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区：其中西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区拟新建门诊给药室、门诊留观室、门诊污物暂存间、三间甲癌病房（均为双人间）、住院给药室、配药

间、储源室、放废暂存间、污染被服库、清洁间等配套房间，另外在甲癌病房区域西南侧新建一间甲吸测定室和一间敷贴治疗室；东侧新型核素病房区拟新建一间α核素病房（双人间）、两间 ^{177}Lu 核素病房（均为双人间）、储源室、分装注射间、抢救室兼 ^{177}Lu 注射室、放废暂存间、清洁间、污染被服间等配套房间。

为防止工作人员受到放射性药物和服药后患者的交叉污染，核医学科设有独立的病人路径、送药路径和医护人员工作路径。核医学科住院区和门诊区独立设置，进入核医学科的门均拟设门禁，非工作人员引导不能进入，整个场所相对封闭，降低了公众受到照射的可能性。

表 10-1 平面布局与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）对照分析一览表

序号	标准要求	设计落实情况	评价
1	核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。	①本项目核医学科住院区位于综合楼一层东南侧，门诊区位于综合楼负一层东南侧，两个区域分开布置设计；②核医学科高活区域已采取集中布置设计，且布置于核医学科的一端，可防止交叉污染；③住院区和门诊区均已设置独立的和放射性废物室，同时核医学科工作场所均拟设置门禁系统、病房、留观室、可有效控制给药后患者的活动空间。	符合要求
2	核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。	本项目设置有独立的工作人员和患者通道，可以避免医生病人交叉影响，同时针对放射性药物和放射性废物运送采取时间管控措施，避免交叉影响，且储源室和放射性废物室运送通道已尽可能短捷。	符合要求
3	核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。	①本项目核医学科设置有病人用药后的留观室和病人住院病房，同时场所内设置病人单向流通门禁系统，可有效控制病人流动范围，避免工作人员和公众受到不必要的照射；②控制区出入口已设计工作人员卫生通过区域和缓冲区，配备工作人员使用的卫生通过间，包含更衣、淋浴和表面沾污监测设备，辐射工作人员需经过表面沾污监测→合格→更衣流程后离开；③核医学科住院区和门诊区已设计有给药患者后的专用卫生间，针对用药病人排泄废水的收集采用独立下水管道排入衰变池。	符合要求

综上所述，本项目核医学科平面布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），核医学科位置相对封闭且独立，功能用房相对集中且齐全，基本满足功能需

要，设施布局顺序和诊断流程一一对应，便于放射性药物给药、注射及住院、检查等步骤的逐步实施，各组成部分功能分区明确，满足诊治工作要求，既能有机联系，又不相互干扰，从辐射安全的角度考虑，平面布置合理。

此外，PET-CT 和 SPECT-CT 中的 CT 部分属于III类射线装置，其有效使用面积、最小单边长度应符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关要求，上述机房的最小单边长度和最小有效使用面积见表 10-2

表 10-2 PET-CT 和 SPECT-CT 机房有效使用面积和最小单边长度一览表

机房名称	最小单边长度		最小有效使用面积		评价
	拟设置情况	标准要求	拟设置情况	标准要求	
PET-CT机房	6.05	≥4.5m	48.4	≥30㎡	符合要求
SPECT-CT机房1	4.98	≥4.5m	40.3	≥30㎡	符合要求
SPECT-CT机房2	4.98	≥4.5m	40.5	≥30㎡	符合要求

（2）工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871-2002 和《核医学放射防护要求》GBZ 120-2020，该项目拟将核医学科工作场所划分为控制区和监督区，严格按照相关要求进行管理，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证）和实体屏蔽（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区，放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区，通常不需要采取专门防护手段或安全措施，但要需要经常对其职业照射状况进行监督和评价的区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标记；定期审查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

1）核素制备场所分区

对于综合楼负二层东南侧核素制备场所，医院拟划分为正电子药物制备区、治疗药物制备区和药物质检区共三个非密封放射性物质工作场所进行管理，三个场所的分区具体如下：

正电子药物制备区：医院拟将该场所中的回旋加速器机房、靶片存储间、固体靶热

室、正电子热室和放废暂存间 1 划定为控制区；将设备间、控制室、缓冲间、消毒洁具洗存间、整衣间、洗衣间、清洁间、洁净走廊、回更/检测及其冲淋间划定为监督区。

治疗药物制备区：医院拟将该场所中的治疗药物热室、和放废暂存间 2 划定为控制区；将区域内净化走廊、推更/检测及其冲淋间划定为监督区。

药物质检区：医院拟将该场所中的培养室、无菌室、菌种室、消毒灭菌室、放化室、内毒素检测理化室、阳性菌检测室、放废暂存间、清洁间及内部过道划定为控制区；将区域内卫生通过间及其冲淋间划定为监督区。

核素制备场所辐射分区示意图见图 10-1。

2）核素诊断场所分区

对于综合楼负一层东南侧核素诊断场所，医院拟将 PET/CT 机房、PET 活性室、PET 储源室、更衣缓冲间、PET 显像前候诊室、PET 受检者走廊、PET 观察室、PET 放废暂存间、两间 SPECT/CT 机房、多功能室兼急救室、SPECT 活性室、SPECT 储源室、一更、二更、SPECT 显像前候诊室、SPECT 放废暂存间、SPECT 受检者走廊、SPECT 观察室等区域划定为控制区；将注射前候诊室、诊室、医护人员走廊、PET 控制室、SPECT 注射前等候区、SPECT 控制室等区域划定为监督区。

核素诊断场所辐射分区示意图见图 10-2。

3）核素治疗场所分区

对于综合楼一层东南侧核素治疗场所，医院拟划分为东侧新型核素病房区和西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区共两个非密封放射性物质工作场所进行管理，两个场所的分区具体如下：

东侧新型核素病房区：医院拟将该场所中的一间 α 核素病房、两间 ^{177}Lu 核素病房、储源室、分装注射间、抢救室兼 ^{177}Lu 注射室、放废暂存间、清洁间、污染被服间和患者走廊划定为控制区；将工作人员卫生通过间、缓冲间、南侧医务走廊等区域划定为监督区。

西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区：医院拟将该场所中的门诊给药室、门诊留观室、门诊污物暂存间、三间甲癌病房、住院给药室、配药间、储源室、放废暂存间、污染被服库、清洁间、患者走廊划以及甲癌病房区域西南侧的甲吸测定室和敷贴治疗室定为控

制区；将工作人员卫生通过间、病人等候区、放射源电梯及其扩大前室、南侧医务通道等区域划定为监督区。

核素治疗场所辐射分区示意图见图 10-3。

[redacted]

管理要求：控制区需要最优化的辐射屏蔽和冗余的安全联锁系统，入口设置明显的电离辐射警告标志，标志图形、颜色、字体等均按照 GB18871-2002 规定要求设置，预防潜在照射及事故照射的发生。射线装置运行时，机房内禁止有人员滞留、禁止人员进入。只有经授权的放射性工作人员才能进入监督区进行操作，公众不允许进入。

[redacted]

图 10-4 电离辐射标志和电离辐射警告标志

本项目核医学科放射工作场所平面布局和两区划分如图 10-1 至图 10-3 所示，工作场所监督区、控制区划分明确、独立，设置合理，满足辐射防护管理和职业照射控制要求。

10.1.2工作场所防护要求

根据 GBZ120-2020《核医学放射防护要求》规定，应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三类，不同类别核医学场所室内表面和装备结构的基本放射防护要求见表 10-3。

表 10-3 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
结构屏蔽	需要	需要	不需要

地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道[a]	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆[b]和去污设备	洗手盆[b]和去污设备	洗手盆[b]
a 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。 b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。			

根据场所各级防护要求，本项目核医学科工作场所拟采取的辐射防护措施情况见下表。

表 10-4 拟采取的防护措施情况表

屏蔽结构	辐射工作场所的墙体、楼板、门、观察窗、工作箱、手套箱、通风橱均按防护要求设计屏蔽结构，根据环境影响分析屏蔽结构外辐射剂量率满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）有关限值要求。
地面	辐射工作场所墙面与地面交接做圆角处理，地面全部敷设易去污并可以拆除更换的材料，其边缘应高出地面 15~25cm，且地面光滑，易去污，受辐照后不易老化，且防水。
工作台表面	涉及非密封放射性物质操作的工作台面均设计为易清洗的不锈钢台面。
手套箱	各工作箱、手套箱和通风橱风速均大于 0.5m/s。
室内通风	辐射工作场所内已设计独立的排风系统（不与非辐射工作区域碰管），引至楼顶统一进行排放。
管道	辐射工作场所内已设计放射性下水口，并通过独立的特排管道连接至地下衰变池。
清洗剂去污设备	辐射工作场所职业人员卫生通过间拟配备清洗剂用于皮肤沾染去污，同时配备 α/β 表面沾污仪用于人体表面沾污监测。

对比表 10-3、表 10-4，本项目核医学科工作场所放射防护设计能满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中最高类别（I 类）场所的防护要求。

10.1.3屏蔽防护设计

（1）工作场所屏蔽防护设计

本项目核医学科工作场所辐射防护屏蔽设计参数表见表 10-5。

表 10-5 核医学场所屏蔽防护措施一览表

工作场所	功能间	屏蔽体	拟采取的屏蔽防护材料及厚度
负二层东南侧核素制备场所正电子药物制备区	回旋加速器机房	四周墙体	南墙、西墙、北墙：800mm 混凝土 东侧设“L”型迷道（具体厚度见迷道）
		迷道	迷道内墙：500mm 混凝土 迷道外墙：800mm 混凝土
		顶棚	800mm 混凝土
		防护门	10mm 铅板+150mm 含硼聚乙烯板
	固体靶热室	四周墙体	东墙：800mm 混凝土 其余墙体：300mm 混凝土

		顶棚	300mm 混凝土
		防护门	15mmPb
		合成柜、分装柜	固体靶合单腔成热室柜（^{89}Zr）：正面 80mmPb、侧面 70mmPb、靶线屏蔽 50mmPb； 固体靶双腔合成热室：正面 95mmPb、侧面 90mmPb、靶线屏蔽 70mmPb； 固体靶单腔合成热室柜（^{64}Cu）：正面 95mmPb、侧面 90mmPb、靶线屏蔽 70mmPb； 固体靶分装热室柜：正面 90mmPb、侧面 80mmPb、靶线屏蔽 70mmPb；
	正电子热室	四周墙体	东墙：800mm 混凝土 北墙、西墙和南墙东侧：300mm 混凝土 南墙：370 mm 实心砖
		顶棚	300mm 混凝土
		防护门	15mmPb
		传递窗	15mmPb
		合成柜、分装柜	^{68}Ge-^{68}Ga 发生器淋洗热室柜：正面 75mmPb、侧面 65mmPb； FDG 专用热室柜：正面 75mmPb、侧面 65mmPb、靶线屏蔽 50mmPb； 多功能合成热室柜：正面 75mmPb、侧面 65mmPb、靶线屏蔽 50mmPb； 分装热室柜：正面 65mmPb、侧面 60mmPb、靶线屏蔽 50mmPb；
	靶片存储间	四周墙体	200mm 实心砖
		顶棚	180mm 混凝土
		防护门	5mmPb
	废物暂存间 1	四周墙体	北墙：370 mm 实心砖、南墙：300mm 混凝土 东墙、西墙：240 mm 实心砖
		防护门	10mmPb
		传递窗	15mmPb
负二层东南侧核素制备场所治疗药物制备区	治疗药物热室	四周墙体	西墙：240mm 实心砖、东墙和南墙：200mm 实心砖 北墙：300mm 混凝土
		顶棚	180mm 混凝土
		防护门	10mmPb
		传递窗	10mmPb
		合成柜	β 核素标记热室柜：整体各面 50mmPb α 核素标记热室柜：整体各面 30mmPb
	放废暂存间 2	四周墙体	东墙和南墙：240mm 实心砖、西墙：200mm 实心砖 北墙：300mm 混凝土
		顶棚	180mm 混凝土
		防护门	10mmPb
		传递窗	10mmPb
负二层东	质检区整体	四周墙体	370 mm 实心砖

南侧核素制备场所药物质检区		顶棚	180mm 混凝土
		传递窗	10mmPb
	放化室	通风柜	10mmPb
	废物暂存间 3	四周墙体	南墙：370mm 实心砖，东墙、西墙和北墙：240mm 实心砖
		顶棚	180mm 混凝土
		防护门	10mmPb
		传递窗	10mmPb
北侧 PET 诊断区	PET/CT 机房	四周墙体	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		地坪	180mm 混凝土+50mm 防护涂料
		防护门	15mmPb
		观察窗	15mmPb
	PET 受检者走廊、PET 观察室	四周墙体	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料（其中受检者走廊北墙为 400mm 混凝土）
		顶棚、地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	15mmPb
	PET 放废暂存间	四周墙体	西墙：200mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料 其余墙体：370mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		地坪	180mm 混凝土+50mm 防护涂料
		防护门	10mmPb
	PET 显像前候诊室、PET 活性室	四周墙体	200mm 混凝土+50mm 防护涂料（显像前候诊室东墙为：370mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料）
		顶棚	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		地坪	180mm 混凝土+50mm 防护涂料
		防护门	15mmPb
		通风柜	50mmPb
		注射窗	50mmPb
	PET 储源室、更衣缓冲间	四周墙体	200mm 混凝土+50mm 防护涂料
		顶棚	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		地坪	180mm 混凝土+50mm 防护涂料
		防护门	10mmPb
南侧 SPECT 诊断区	两间 SPECT/CT 机房	四周墙体	370mm 实心砖+10mm 硫酸钡涂料
		顶棚、地坪	180mm 混凝土+30mm 防护涂料
		防护门	5mmPb
		观察窗	5mmPb
	多功能室兼急救室、SPECT 储源室、SPECT 活性室、更衣缓冲间	四周墙体	200mm 混凝土+20mm 防护涂料
		顶棚、地坪	180mm 混凝土+30mm 防护涂料
		防护门	5mmPb
		传递窗	5mmPb
		注射窗	20mmPb
		通风柜	20mmPb
	SPECT 显像前候诊室、SPECT 放废暂存间、SPECT 受检者走廊和 SPECT 观察室	四周墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料
		顶棚、地坪	180mm 混凝土+30mm 防护涂料
		防护门	5mmPb
西侧甲癌	三间甲癌病房	四周墙体	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料

病房及门诊核素诊疗区		顶棚	180mm 混凝土+6mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	20mmPb
		采光窗	20mmPb
	住院给药室	四周墙体	东墙：200mm 混凝土+80mm 防护涂料 其余墙体：370mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		地坪	180mm 混凝土+6mm 铅板
		防护门	22mmPb
	配药间	四周墙体	200mm 混凝土+80mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+6mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	22mmPb
		碘分装柜	50mmPb
		传递窗	40mmPb
	储源室	四周墙体	200mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+6mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	22mmPb
	放废暂存间	四周墙体	西墙：200mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 其余墙体：200mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+6mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	15mmPb
	污染被服间	四周墙体	北墙：200mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料 其余墙体：200mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+6mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	15mmPb
	甲癌病房患者走廊	四周墙体	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+6mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	22mmPb
		取餐传递窗	22mmPb
	门诊给药室	四周墙体	东墙：200mm 混凝土+40mm 防护涂料 其余墙体：370mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		地坪	180mm 混凝土+6mm 铅板
		防护门	10mmPb
		注射窗	25mmPb
	门诊留观室及其卫生间、门诊污物暂存间、门诊治疗患者走廊	四周墙体	东墙：370mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料 其余墙体：200mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+4mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+40mm 防护涂料
		防护门	10mmPb
	甲吸测定室、敷贴治疗室	四周墙体	200mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料
		顶棚	120mm 混凝土
		地坪	120mm 混凝土
		防护门	2mmPb

东侧新型核素病房区	一间α核素病房和两间 ^{177}Lu 核素病房、α核素及 ^{177}Lu 核素病房患者走廊	四周墙体	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+6mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	10mmPb
		采光窗	10mmPb
	取餐间	四周墙体	南墙：200mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料 其余墙体：370mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+6mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	10mmPb
		取餐传递窗	10mmPb
	分装注射间	四周墙体	北墙、南墙和西墙南侧：200mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料 西墙北侧和东墙：370mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+6mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	10mmPb
		注射窗	10mmPb
	储源室	四周墙体	东墙：370mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料 其余墙体：200mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+6mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	10mmPb
	抢救室兼 ^{177}Lu 注射室、放射暂存间、清洁间、污染被服库	四周墙体	370mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料
		顶棚	180mm 混凝土+6mm 铅板
		地坪	180mm 混凝土+60mm 防护涂料
		防护门	抢救室兼 ^{177}Lu 注射室：10mmPb 其余场所：5mmPb

（2）自屏蔽回旋加速器屏蔽体

玖源-12 型回旋加速器为自屏蔽结构，自屏蔽回旋加速器主体包括回旋加速器和自屏蔽体，整体尺寸 3.3m×3.3m×2.25m。自屏蔽体组成为：侧面屏蔽体 3cm 钢+32cm 水+12cm 钢+15cm 水+3cm 钢+10cm 水+2.5cm 钢+20cm 聚乙烯，顶部为 3cm 钢+22cm 水+12.5cm 钢+15cm 水+3cm 钢+8cm 水+2.5cm 钢+25cm 聚乙烯，靶区周围安装有 20cm 厚聚乙烯材料的局部屏蔽体。自屏蔽体由 2 个屏蔽体固定块、2 个屏蔽体移动块、伺服电动缸和混凝土安装底座等组成。

（3）合成与分装装置的屏蔽

固体靶热室、正电子热室和治疗药物热室拟设置合成热室柜、分装热室柜。合成、分装模块位于合成热室柜、分装热室内，均为负压式设计，垂直层流通风，通风系统 100%外排，内腔顶部匹配 HEPA 高效活性碳过滤器过滤，经北侧专用排风井，引至科研教

学楼（主楼）楼顶排放。

根据建设单位提供资料，本项目固体靶热室中自东向西分别拟设置固体靶单腔合成热室柜（用于回旋加速器固体靶制备 ^{89}Zr 的合成）、固体靶双腔热室柜（用于回旋加速器固体靶的溶解及核素的分离纯化）、固体靶单腔合成热室柜（用于回旋加速器固体靶制备 ^{64}Cu 的合成）、固体靶分装热室柜（用于回旋加速器固体靶制备 ^{89}Zr 药物和 ^{64}Cu 药物的分装）；正电子热室北侧拟设一台 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器淋洗热室柜（用于 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器淋洗、合成和分装 ^{68}Ga 药物），正电子热室西侧自北向南分别拟设置 FDG 专用热室柜（用于回旋加速器制备 ^{18}F-FDG 的合成）、多功能合成热室柜（用于回旋加速器制备 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga 的合成）、分装热室柜（用于回旋加速器制备 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga 的分装）；治疗药物热室北侧拟设置一台 β 核素标记热室柜（用于 ^{177}Lu 药物的合成分装），南侧拟设置一台 α 核素标记热室柜（用于 ^{225}Ac 药物的合成分装）。相关合成热室柜、分装热室柜的参数详见表 10-6。

表 10-6 核素制备场所合成热室柜、分装热室柜参数一览表

场所	热室柜名称	尺寸（mm）	屏蔽防护材料及厚度	备注
固体靶热室	固体靶合单腔成热室柜（^{89}Zr）	外部：W1175*D1100*H2400 内胆：W850*D620*H700	正面 80mmPb、侧面 70mmPb、靶线屏蔽 50mmPb	用于回旋加速器固体靶制备 ^{89}Zr 的合成
	固体靶双腔合成热室	外部：W1180*D1050*H2400 内胆：W850×D620×H630	正面 95mmPb、侧面 90mmPb、靶线屏蔽 70mmPb	用于回旋加速器固体靶的溶解及核素的分离纯化
	固体靶单腔合成热室柜（^{64}Cu）	外部：W1180*D1050*H2400 内胆：W850×D620×H630	正面 95mmPb、侧面 90mmPb、靶线屏蔽 70mmPb	用于回旋加速器固体靶制备 ^{64}Cu 的合成
	固体靶分装热室柜	外部：W1100*D1000*H2400 内胆：W850×D590×H680	正面 90mmPb、侧面 80mmPb、靶线屏蔽 70mmPb	用于回旋加速器固体靶制备 ^{89}Zr 药物和 ^{64}Cu 药物的分装
正电子热室	^{68}Ge-^{68}Ga 发生器淋洗热室柜	外部：W1180*D1050*H2400 内胆：W800×D800×H540	正面 75mmPb、侧面 65mmPb	用于 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器淋洗、合成和分装 ^{68}Ga 药物
	FDG 专用热室柜	外部：W1180*D1050*H2400 内胆：W800×D800×H540	正面 75mmPb、侧面 65mmPb、靶线屏蔽 50mmPb	用于回旋加速器制备 ^{18}F-FDG 的合成
	多功能合成热室柜	外部：W1180*D1050*H2400 内胆：W800×D800×H540	正面 75mmPb、侧面 65mmPb、靶线屏蔽 50mmPb	用于回旋加速器制备 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga 的合成
	分装热室柜	外部：W1100*D1000*H2400 内胆：W850×D590×H680	正面 65mmPb、侧面 60mmPb、靶线屏蔽 50mmPb	用于回旋加速器制备 ^{18}F、^{11}C、

				^{13}N、^{68}Ga 的分装
治疗药物热室	β核素标记热室柜	外部：W1180*D1150*H2400 内胆：W850×D620×H630	整体各面 50mmPb	用于 ^{177}Lu 药物的合成分装
	α核素标记热室柜	外部：W1200*D1100*H2400 内胆：W850*D620*H700	整体各面 30mmPb	用于 ^{225}Ac 药物的合成分装

（4）核素传输管道的屏蔽

回旋加速器制备的放射性同位素经管道自动传输到热室中，从回旋加速器机房至固体靶热室和正电子热室设置核素地沟，地沟分别设置在回旋加速器机房西北侧、固体靶热室北侧和西侧以及正电子热室的西侧，回旋加速器传输管道自西北角沿着核素地沟传输至固体靶热室和正电子热室的合成模块。核素地沟截面呈 T 型布置，下端截面尺寸为 100mm×100mm，上端截面尺寸为 300mm×180mm，地沟下端顶部覆盖 50mmPb 铅砖，上端顶部覆盖承重钢盖板，本项目核素传输地沟布设方式及其穿墙方式见图 10-5。

[redacted]

图10-5　回旋加速器核素传输地沟布设方式及穿墙穿墙大样图

（5）回旋加速器机房各类穿墙管线

回旋加速器机房通风管道及泄压管道采用“Z”型设计穿过机房屏蔽墙，电缆沟拟采用“U”型设计穿过机房屏蔽墙，通过多次折返的设计，增加管道中泄漏射线的散射次数和衰减，通风管道（新风/排风，截面尺寸 400mm×250mm）从机房东北侧防护门上方穿墙，穿墙口最低距地高度约 3.8 米；消防泄压管道（截面尺寸 700mm×340mm）从机房西北侧上方穿墙，穿墙口最低距地高度约 4.2 米；电缆沟（截面尺寸 200mm×300mm）从机房西北侧地面下方穿墙，穿墙口最高处距地面为 300mm；　本项目回旋加速器机房各类穿墙管线除通风管道、泄压管道及电缆沟截面尺寸较大外，其余穿墙空洞为直径 25～150mm，且多为斜穿，回旋加速器机房通风管道、泄压管道及电缆沟穿墙大样见图 10-6。

[redacted]

图10-6　回旋加速器机房泄压口、暖通及电缆沟穿墙大样图

10.1.4辐射安全和防护、环保相关设施

10.1.4.1辐射安全措施

（1）核素制备场所

1）回旋加速器室安全设施

①自屏蔽回旋加速器运行与自屏蔽装置实现联锁，即：回旋加速器本身有一套完整的安全联锁装置，只有当靶、离子源、D 型盒、磁铁线圈、冷水系统达到一定流量时，束流才能达到靶上；只有当自屏蔽体封闭、离子源射频屏蔽箱盖关闭、射频电源箱柜的门关闭才能出束。

②机房门-机联锁，即：回旋加速器机房门未关闭，或者运行时机房门开启，则回旋加速器无法正常运行，设备不能出束。

③工作指示灯：回旋加速器机房防护门外拟设置红黄绿三色工作指示灯信号，用于提示机房内设备的运行状态。红灯亮表示加速器正在出束工作；黄灯亮表示加速器已停机，加速器屏蔽门处于打开状态，非职业工作人员禁止入内；绿灯亮表示加速器已停机，屏蔽门处于关闭状态；

④电离辐射警告标志：回旋加速器工作场所入口醒目位置设置电离辐射警告标志；

⑤紧急开门开关：回旋加速器机房入口门内侧及外侧，靠近防护门处设置 1 个开门开关，当人员被关在机房内紧急情况下按下开关，可实现防护门从内部打开，同时加速器停止出束；

⑥急停开关：回旋加速器机房迷道内、机房东墙和西墙、控制台操作台合适位置上各设置 1 个急停开关，人员滞留在机房内时就可以按下开关，实现加速器停止出束；

⑦钥匙控制：回旋加速器控制台的开关机用钥匙控制，钥匙由专人保管，其他非加速器控制人员不能接触。

⑧固定式剂量监测：回旋加速器机房防护门内侧及外侧设置固定式γ射线剂量率和中子剂量率监测探头；

⑨清场巡更按钮：机房内设置巡检开关。当防护门打开后巡检开关自动复位，工作人员在关闭防护门前，需先进行巡检，并按下所有巡检开关后，防护门才能正常关闭。若巡检开关未被按下，加速器将无法正常启动，同时防护门也不能正常关闭。

⑩视频监控：回旋加速器机房内拟安装视频监控，监视器设置于控制室内，工作人

员可及时掌握回旋加速器机房内部情况。

2）热室工作场所安全设施

①电离辐射警告标志：热室入口醒目位置设置电离辐射警告标志；

②当加速器制备出核素之后，放射性核素传输之前，热室设备将根据程序设定，自动检测合成热室的门是否已经关闭，合成热室里面的压力是否满足负压要求；只有这两项条件均满足的情况下，放射性核素才能通过管道进行传送，同时在控制室内操作台上有相应的核素传输工作状态指示灯；

③剂量监测：热室内安装固定式剂量率仪探头，当探测到剂量率超过设置阈值时，则有声光报警，人员马上撤离；

④视频监控：拟安装视频监控系统，便于辐射工作人员观察操作场所内及周边的情况。

3）药物质检区工作场所安全设施

①电离辐射警告标志：药物质检区入口醒目位置设置电离辐射警告标志；

②视频监控：拟安装视频监控系统，便于辐射工作人员观察场所内及周边的情况。

综上，本项目核素制备场所辐射安全防护设施示意图见图 10-7。

[redacted]

根据上述辐射防护与安全措施可知，本项目回旋加速器在设备自检正常，各项安全系统正常的情况下，方可由专人启动钥匙开关，设定开机程序，设备出束，工作状态指示灯亮。固定式剂量率仪检测机房内辐射剂量率水平，控制室内报警灯亮。反之，若未启动钥匙开关或防护门未关闭，则回旋加速器不能正常出束。本项目回旋加速器辐射安全联锁逻辑关系见图 10-8。

[redacted]

图10-8　本项目回旋加速器辐射安全联锁逻辑关系图

（2）核素诊断场所

1）电离辐射警告标志

建设单位拟在核医学科核素诊断场所控制区各房间防护门外以及铅废物桶表面设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意辐射影响。在 PET-CT 机房和 SPECT-CT 机房受检者防护门上方设置工作状态指示灯，并与防护门联锁，防护门关闭时指示灯为红色，防护门打开时，指示灯灭。

2）紧急止动装置

在控制台上、治疗床上安装供紧急情况使用的强制终止照射的紧急止动按钮。一旦在检查过程中出现紧急情况，工作人员按动紧急止动按钮即可令 PET-CT 或 SPECT-CT 停止运行。

3）操作警示装置

PET-CT 或 SPECT-CT 扫描时，操作台上的指示灯变亮，警示装置发出警示声音。

4）视频监控和对讲装置

在工作场所范围内设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、核素诊断工作及敷贴治疗场所出入口情况；PET-CT 机房、SPECT-CT 机房和控制室之间拟安装对讲装置，便于工作人员通过对讲装置与机房内受检者联系。

5）门禁系统

在核素诊断场所受检者各出入口处设置专用门禁系统，对受检者的出入进行控制。

（3）核素治疗场所

1）电离辐射警告标志

建设单位拟在核医学科核素治疗场所控制区各房间防护门外以及铅废物桶表面设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意辐射影响。

2）视频监控和对讲装置

在工作场所范围内设置视频监控系统，对核素治疗中的给药、服药、住院留观等全程采取监控措施，并在各病房及相应位置处安装对讲装置，便于病房管理工作人员通过对讲装置与病房内患者联系。

3）门禁系统

在核素诊断场所各出入口处设置专用门禁系统，对患者的出入进行控制。

10.1.4.2 辐射防护用品

根据国家标准要求，应为相关人员配备防护用品，以减少不必要的照射，该项目核医学工作场所拟配备防护设施及用品种类及数量见表 10-7。

表 10-7 本项目核医学科防护设施及用品配备计划

核素制备场所				
序号	防护用品名称	数量	相关参数	设置场所
1	药物转运铅罐	3 个	50mmPb	固体靶热室、正电子热室、治疗药物热室
2	手套箱	1 台	20mmPb	放化室
3	固体靶合单腔成热室柜（^{89}Zr）	1 台	正面 80mmPb、侧面 70mmPb、靶线屏蔽 50mmPb	固体靶热室
4	固体靶双腔合成热室	1 台	正面 95mmPb、侧面 90mmPb、靶线屏蔽 70mmPb	
5	固体靶单腔合成热室柜（^{64}Cu）	1 台	正面 95mmPb、侧面 90mmPb、靶线屏蔽 70mmPb	
6	固体靶分装热室柜	1 台	正面 90mmPb、侧面 80mmPb、靶线屏蔽 70mmPb	
7	^{68}Ge-^{68}Ga 发生器淋洗热室柜	1 台	正面 75mmPb、侧面 65mmPb	正电子热室
8	FDG 专用热室柜	1 台	正面 75mmPb、侧面 65mmPb、靶线屏蔽 50mmPb	
9	多功能合成热室柜	1 台	正面 75mmPb、侧面 65mmPb、靶线屏蔽 50mmPb	

10	分装热室柜	1台	正面65mmPb、侧面60mmPb、靶线屏蔽50mmPb	
11	β核素标记热室柜	1台	整体各面50mmPb	治疗药物热室
12	α核素标记热室柜	1台	整体各面30mmPb	
13	活度计	6台	/	固体靶热室1台、正电子热室2台、治疗药物热室2台、放化室1台
14	固定式剂量率仪	1套	/	监测显示器设置在回旋加速器控制室，在回旋加速器机房防护门内和防护门外、固体靶热室、正电子热室、治疗药物热室、内各设置1个监测探头和声光报警装置
15	放射性废物桶	5个	10mmPb	固体靶热室、正电子热室、治疗药物热室、放化室、回旋加速器机房
16	废物衰变箱	6个	15mmPb，尺寸为50cm×50cm×60cm	放废暂存间1和放废暂存间2各设2个； 质检区放废暂存间和靶片暂存间各设1个
17	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	4套	0.5mmPb	固体靶热室、正电子热室、治疗药物热室、放化室
18	去污工具	3套	/	各功能区缓冲间
19	表面污染监测仪	3台	/	退更检测室、卫生通过间
20	个人剂量报警仪	6台	/	人员随身携带
21	个人剂量计	1个/人	/	人员随身携带
22	长柄小推车	1辆	/	核素制备场所
核素诊断场所				
序号	防护用品名称	数量	相关参数	设置场所
1	储源铅箱	1个	40mmPb	PET储源室
2	储源铅箱	1个	20mmPb	SPECT储源室
3	药物铅罐	2个	20mmPb	PET储源室、SPECT储源室
4	手套箱	1台	50mmPb	PET活性室
5	入墙式注射台	1套	50mmPb	
6	注射器屏蔽套	2套	10mmPb	
7	手套箱	1台	20mmPb	SPECT活性室
8	入墙式注射台	1套	20mmPb	
9	注射器屏蔽套	2套	5mmPb	
10	活度计	2台	/	PET活性室、SPECT活性室
11	放射性废物桶	4个	10mmPb	PET活性室、PET显像前候诊室兼急救室、PET观察室、PET注射窗台下方
12	放射性废物桶	5个	10mmPb	SPECT活性室、SPECT显像前候诊室、SPECT观察室、SPECT注射窗台下方、多功能室兼急救室
13	废物衰变箱	4个	10mmPb，尺寸为50cm×50cm×60cm	PET放废暂存间、SPECT放废暂存间
14	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽	6套	0.5mmPb	PET活性室、SPECT活性室、PET-CT控制室、SPECT-CT控制室

	子、铅防护眼镜			
15	去污工具	2套	/	卫生通过间
16	表面污染监测仪	2台	/	卫生通过间
17	个人剂量报警仪	4台	/	人员随身携带
18	个人剂量计	1个/人	/	人员随身携带
19	防护应急物品	若干	/	抢救室、观察室、显像前候诊室
核素治疗场所				
序号	防护用品名称	数量	相关参数	设置场所
1	储源铅箱	2个	40mmPb	两病房区储源室
2	药物铅罐	2个	20mmPb	
3	碘手套箱	1台	50mmPb	甲癌病房配药间
4	自动分药仪	1套	50mmPb	
5	活度计	1台	/	
6	入墙式注射台	1套	25mmPb	
7	入墙式注射台	1套	40mmPb	
8	手套箱	1台	20mmPb	新型核素病房分装注射间
9	活度计	1台	/	
10	入墙式注射台	1套	10mmPb	
11	注射器屏蔽套	2套	5mmPb	
12	放射性废物桶	12个	10mmPb	门诊给药室、住院给药室、门诊留观室、甲癌病房配药间、三间甲癌病房、新型核素病房分装注射间、抢救室、两间177Lu病房、一间α核素病房
13	废物衰变箱	6个	10mmPb，尺寸为50cm×50cm×60cm	两病房区放废暂存间和门诊污物暂存间各2个
14	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	4套	0.5mmPb	甲癌病房配药间、新型核素病房分装注射间
15	去污工具	2套	/	两病房区卫生通过间
16	表面污染监测仪	2台	/	
17	个人剂量报警仪	4台	/	人员随身携带
18	个人剂量计	1个/人	/	人员随身携带
19	防护应急物品	若干	/	甲癌病房配药间、新型核素病房分装注射间、抢救室及各病房内
其他				
1	环境辐射巡测仪	1台	/	核医学科各场所共用

10.1.4.3 放射性药物的存放控制措施

本项目核医学科使用的正电子放射性核素药物和部分治疗药物为医院自行生产或外购，本项目负二层核素制备场所生产的正电子放射性药物分装好后经正电子药物专用提升梯转运至负一层核素诊断场所 PET 储源室暂存，生产的治疗药物分装好后经放射源电梯（DT-57）转运至一层核素治疗场所东侧新型核素病房区储源室暂存，所有放射性药

物均不在核素制备场所暂存。其余核医学科诊断治疗药物提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物送至核医学科，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在相应场所的储源室内。

本项目各热室均设置门禁，只有相关工作人员才能进入。此外，建设单位拟在各热室、药物通道等区域设置监控设施。核医学科工作场所内放废暂存间及储源室均设置双人双锁保险柜、入侵防盗报警装置、监控等安保设施。放射性药物转运、放射性废物运出由专人完成，并形成记录，确保其运输过程的辐射安全。

建设单位必须配备专（兼）职人员负责放射性药物的管理并建立健全放射性物质的保管、领用、注销登记和定期检查制度。要求设置专门的台账（如交收账、库存帐、消耗账），加强对放射性药物的管理，严防丢失。放置放射性物质的容器，必须容易开启和关闭，容器外必须有明显的标签（注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起止时间、存放负责人等）。放射性药物要设有专门可靠的防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的“六防”安全设施的贮存场所，且不得将放射性药物与易燃易爆及其他危险物品放在一起。

10.1.4.4 表面污染控制措施

为保证非密封放射性物质工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，并减少职业人员内照射和外照射，建设单位应采取以下管控措施：

（1）针对放射性核素的分装操作（特别是挥发的药物）采用负压隔离的方法进行防护，即本项目设置热室工作箱、手套箱、通风橱等把放射性核素局限在某一空间内操作，操作过程局部空间风速不小于 0.5m/s，防止放射性核素逸散到房间内。

（2）非密封放射性物质工作场所墙面与地面交接做圆角处理，地面全部敷设易去污并可以拆除更换的材料，且地面光滑，并具有易去污和防渗能力（渗透系数≤10^{-10}cm/s）。

（3）对于放射性核素的操作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，且严禁辐射工作人员在开放性工作场所内进食、饮水和吸烟。

（4）放射性物料用后应及时存放在专用柜内，需防盗、防水、防火、柜外应有电

离辐射标志。

（5）每天操作结束后，对场所内易接触的部位进行表面沾污监测，若出现超标情况，应及时按制定的去污操作规程开展去污操作，不得使用大水量冲洗污染面，去污废水和擦拭纸等均需按放射性废物管理。

（6）辐射工作人员在进行工作前应做好个人防护用品的佩戴，包括：防护工作服、帽子、鞋子、手套、袖套、围裙、口罩、防护眼镜、个人剂量计、个人剂量报警仪等，在完成工作后按指定人员通道离开，同时更淋卫间内设置喷淋清洗区和表面沾污仪，并经过“洁衣剂量检查（监测不合格需经过“去污”过程）→脱洁衣→穿家常服→穿家常鞋→出口”的流程。

（7）所有辐射工作人员上岗前应经过专业培训，熟悉自己岗位的操作流程，并具备相应的技能与防护知识，管理人员需定期进行检查，严禁人员违规操作。

（8）用药病人在入院前及出院前，医生需提前告知病人及家属辐射可能带来的危害性，就诊病人在用药后均实行病人与陪护人员及其他公众的隔离管控，用药病人候诊和留观期间禁止病人随意流动，尽量控制因吐痰或随意丢弃垃圾等行为造成表面污染范围，并使用病人专用厕所进行大小便，在留观结束后须按指定线路离开核医学科。

10.1.4.5 人员防护措施

（1）辐射工作人员的防护在实际工作中，为了减少辐射工作人员所受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护、时间防护和距离防护。

屏蔽防护：通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的辐射危害；为核素操作人员配备铅防护手套、铅衣等个人防护用品，注射器配备注射防护套和注射器防护提盒。

时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

距离防护：在不影响工作质量的前提下，保持与辐射源尽可能大的距离，使距离最大化。

（2）其他人员防护

屏蔽防护：辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚、地坪、门、窗等实体进行屏蔽防护。

时间防护：设置明显的警示措施，提示其他人员尽可能减少在辐射工作场所周围的停留时间。

距离防护：设置必要的防护、隔离、警示措施，尽可能增大人员与辐射场所之间的

防护距离。

10.1.4.6 操作过程中的防护措施

医生在进行放射性药品合成、分装、质控检测、测活、注射、指导服药操作时首先做好个人防护，包括穿戴铅衣，铅眼镜、铅手套、工作帽等，均具备 0.5mmPb 当量。放射性药品分装均在分装柜（通风橱或手套箱）内完成，分装柜设置有相应的铅当量防护层，分装测活后放射性药品装于配备屏蔽套的注射器中，将其置于注射器防护提盒内后转运至注射台，注射时医院和病人之间设置有相应铅当量的入墙式注射台。分药时药品、铅罐均放置在垫有滤纸的瓷盘内进行，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染。分装柜底部设有废物铅桶，用于暂时收集放射性废物。注射时注射器外还配有注射器铅防护套，注射操作台拟采用铅玻璃防护。注射操作时，医生（采取相应防护措施）与病人及药物分别位于铅玻璃的两侧，病人注射后进入注射后候诊室候诊。

敷贴治疗室内拟配备乳胶手套及 1 个有机玻璃面罩，用于保护辐射工作人员；拟配备 3 个 3mm 厚的橡皮在不接触患者皮肤的一面进行覆盖屏蔽；拟配备 1 个具有报警功能的计时器，便于每次治疗时能控制照射时间，治疗过程中应密切观察治疗反应和病变治疗情况，及时调整照射剂量，防止产生并发症。

医生在进行放射性药品质检操作时首先做好个人防护，包括穿戴铅衣，铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽等，均具备 0.5mmPb 当量。工作人员分装少量药物并置于铅防护罐内，通过药物传递窗口送达质控室。质控人员将药物转移至手套箱内，利用注射器或毛细管在手套箱内沾取少量药物进行质控检测。

10.1.4.7 对服药和注射后病人的防护措施

用药病人在入院前及出院前，加强对患者和家属的宣教和管理，医生需提前告知病人及家属辐射可能带来的危害性，就诊病人在用药后实行病人与陪护人员及其他公众的隔离管控，用药病人候诊和留观期间禁止病人随意流动，尽量控制因吐痰或随意丢弃垃圾等行为造成表面污染范围，并使用病人专用厕所进行大小便，在留观结束后须按指定线路离开场所。

对于住院患者除采取上述措施外，在住院期间还应采取封闭隔离措施，患者流动区域需限制在病房区域，患者住院期间使用专用卫生间进行淋浴和大小便，对于双人病房间需设置铅当量铅屏风进行防护，病房内设置对讲和监控等装置，尽量减少辐射工作人员年和住院患者接触，住院患者住院期间应减小放射性废物产生，患者食物宜采用产生

废物少的食材，住院患者使用过的被服应先在污染被服间存放衰变经监测达标后（辐射剂量率满足所处环境本底水平，α 表面污染＜0.08Bq/cm²，β 表面污染＜0.8Bq/cm²）才能进行清洗，住院病人出院前应对病人进行监测，并确认患者出院体内活度满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求，其中碘-131 住院病人确保体内活度≤400MBq 或距离患者体表 1m 处的周围剂量当量率≤25μSv/h 后方可出院，病人出院时应按指定路线和出院通道离开核医学科。服药患者出院体内活度，以及对近期接受放射性药物治疗死亡的患者，其尸体处置时放射性核素活度应满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 B、附录 C 要求。

10.1.4.8 气流组织

本项目核医学科核素制备场所、核素诊断场所和核素治疗场所通风系统均独立设置，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉感染，保证工作场所的空气质量。且各辐射工作场所中的手套箱、通风橱、分装柜及合成柜均拟设置独立排风（设计风速不小于 0.5m/s），均拟设计放射性过滤装置，专用管道和风机，经风管引至建筑物的屋顶排出，排风机设置在屋顶，并在排风管路末端，保持整个管路负压。

10.1.4.9 辐射工作场所安保措施

安全保卫措施主要是防止外来因素导致辐射工作场所内辐射源出现丢失、被盗或失控，引发人员误照或环境污染，对照《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》，建设单位已设计和拟采取的防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏措施见表 10-8。

表 10-8 辐射工作场所安防措施一览表

措施类别	对应措施
防火	医院综合楼已按《建筑设计防火规范》（GB50016-2014）进行防火设计，建筑地上耐火等级为二级，地下耐火等级为一级。本项目辐射工作场所禁止存放易燃、易爆等其他一切与本项目无关的危险物品。同时人员易接触的地方均配备干粉式灭火器。
防水	综合楼屋面防水等级为一级，设两层 SBS 聚酯胎改性沥青卷材防水层及一道聚氨酯防水涂料。屋面保温材料采用挤塑聚苯乙烯保温板；地下室防水等级为一级，采用迎水面外防水，设两层 SBS 防水卷材，并采用钢筋混凝土自防水；外墙防水等级为一级，设一道 JS-Ⅱ防水涂料及一道水泥基渗透结晶型防水涂料。墙体保温为岩棉板外墙外保温。辐射工作场所内铺设防水材料，墙面与地面交接作圆角处理，避免地下水或雨水对辐射工作场所造成侵蚀。
防盗和防破坏	（1）整个核医学科控制区进行封闭管理，并设有门禁系统或机械锁，非相关人员或授权不能直接进入核医学科控制区内。 （2）涉及放射性物质存放的场所均设计有独立的储源室，储源室已设计有实体保卫措施如：监控摄像头、入侵防盗报警装置、双人双锁及保险柜等，放射性物质的转入、转出均由专人进行台账管理。一旦发生盗抢事件，建设单位将立即启动应急预案

	并向生态环境、卫健和公安部门报告。 （3）整个核医学科控制区设置严密的监控系统，实行 24h 实时监控，同时建设单位还将核医学科作为保安人员重点巡查范围，安排专人 24h 值守。 （4）本项目射线装置均拟购于正规厂家，具有良好的固有安全性，防护性能满足相关标准要求及出厂要求。
防泄漏	（1）本项目使用的各种放射性原料或放射性药物均来自于正规生产厂家，出厂时包装用铅罐密闭，铅罐表面剂量满足标准要求，且用完后的空铅罐经表面去污处理后放置于储源室内待厂家进行回收。 （2）核医学科辐射工作场所均采取有效的实体屏蔽措施，能够达到《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定的控制剂量率限值要求，同时职业和公众年受照剂量分别满足 5mSv/a 和 0.1mSv/a 约束值。 （3）核医学科高放射性区域拟安装固定式剂量报警仪，若出现放射性物质泄漏，将进行报警提示；医院还将制定监测计划，并自行配备γ辐射监测仪及α/β表面沾污仪，定期或不定期进行场所巡测，发现异常及时查明原因并进行处置。

10.1.4.10 辐射安全与防护措施符合性分析

为保证辐射安全，防止发生辐射事故，根据生态环境部（国家核安全局）《核技术利用监督检查技术程序》（2020 年发布版）和《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环函[2016]1400 号）中的相关检查内容，将本项目核医学科在设计阶段采取的辐射安全设施进行对照分析，具体情况见表 10-9。

表 10-9 本项目核医学科辐射安全防护设施汇总对照分析表

一、核医学科射线装置工作场所			
项目	检查内容	设计内容	符合情况
场所设施	隔室操作	已设计	符合
	观察窗防护	已设计（除回旋加速器机房外）	符合
	门防护	已设计	符合
	候诊位设置	已设计（除核素制备场所外）	符合
	辅助防护用品	拟配备	符合
	通风设施	已设计	符合
	入口处电离辐射警告标志	拟设置	符合
	入口处工作状态显示	拟设置	符合
其他	个人剂量计	拟配置	符合
二、核医学科非密封放射性物质操作场所			
核素操场所设施	分区管理	拟执行	符合
	场所门外电离辐射警示标志	拟设置	符合
	通风设施	已设计	符合
	注射用屏蔽设施	拟设置（除核素制备场所外）	符合
	病人专用卫生间	拟设置（除核素制备场所外）	符合
	患者进出口单向门禁	拟设置（除核素制备场所外）	符合
其它	门外电离辐射警示标志	拟设置	符合
	储源场所防火、防水、防盗、防丢失、防破坏措施	拟设置	符合
	通风橱	拟设置	符合
其他			
监测设备	便携式辐射剂量仪器仪表（表面污染仪、辐射剂量率仪等）	拟配置	符合

	个人剂量计	拟配置	符合
放射性废液和放射性废物	放射性下水及标识（衰变池）	已设计	符合
	放射性废物暂存间，防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏措施	拟设置	符合
	放射性固体废物收集容器、标识、标签	拟配备	符合
防护器材	个人防护用品	拟配备	符合
	放射性表面去污用品和试剂	拟配备	符合

10.2 三废分析

10.2.1 施工期三废治理

（1）废气

施工过程中产生的废气，属于无组织排放，但影响仅局限在施工现场附近区域。拟采取湿法作业控制排放扬尘，通过洒水增湿可以在很大程度上减少粉尘飞扬现象，加强管理。

（2）噪声

施工期噪声包括铺设电路时机器碰撞以及装修产生的噪声，由于施工范围小，施工期较短，施工噪声对周围环境的影响较小。

（3）废水

施工期废水主要包括施工废水和施工人员的生活污水，施工废水沉淀处理后回用，不外排。生活污水产量较小，拟依托医院临时污水处理设施进行处理。

（4）固体废物

施工中固体废物主要为装修过程产生的装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。装修垃圾能回收利用的继续利用，不能的送建筑垃圾处理厂堆放。施工人员生活垃圾由场内垃圾桶收集，日产日清，交由市政环卫部门统一收集清运。

10.2.2 运营期三废治理

10.2.2.1 废气处理措施

10.2.2.1.1 放射性废气

本项目核医学科废气来源于核医学科放射性药品制备、操作过程产生的气载流出物。本项目核医学科核素制备场所的正电子药物制备区、治疗药物制备区和药物质检区、核素诊断场所、核素治疗场所的甲癌病房及门诊核素诊疗区和新型核素病房区排风系统各自独立不交叉。且通排风系统采用独立设计，不与其他非辐射工作区域通排风系统交叉。

（1）核素制备场所

1）正电子药物制备区：正电子药物制备区共设置有 5 套排风管路（以下简称 1 号至 5 号管路），1 号管路连接回旋加速器底部的排风管道，该管路单独设置；2 号管路排风口位于回旋加速器机房东南角，排风口距地 300mm，该管路单独设置；3 号管路排风口布设于固体靶热室、正电子热室和放废暂存间 1 内；4 号管路排风口连接固体靶热室内合成热室柜及分装热室柜；5 号管路连接正电子热室内合成热室柜及分装热室柜；6 号管路连接热室缓冲间、消毒洁具洗存间、整衣间、洗衣间、清洁间、洁净走廊卫生通过区域。

2）治疗药物制备区：治疗药物制备区共设置有 2 套排风管路（以下简称 1 号至 2 号管路），1 号管路连接热室内的 α/β 核素标记热室柜，该管路单独设置；2 号管路排风口布设于放废暂存间 2、治疗药物热室及其净化走廊、更衣缓冲间内。

3）药物质检区：药物质检区共设置有 2 套排风管路（以下简称 1 号至 2 号管路），1 号管路连接放化室内的通风橱，该管路单独设置；2 号管路排风口布设于放化室、消毒灭菌间、放废暂存间、无菌室、微生物室、内毒素检测室、阳性菌检测室及其更衣缓冲间内。

上述各区域管路彼此互不干扰，最终引至本建筑物屋顶排放（七层楼顶，距地高度约 36m）。相应合成柜、分装柜、手套箱及生物安全柜内腔顶部均匹配 HEPA 高效活性碳过滤器过滤，场所内所有排风均在排风口处设置了活性碳过滤装置，场所排风局部示意图见图 10-9，场所局部气体流向示意图见图 10-10。

[redacted]

（2）核素诊断场所

场所共设置有 4 套放射性废气排风管道系统（以下简称 1 号至 4 号管路），1 号管路连接 PET 活性室和 SPECT 活性室的手套箱，该管路单独设置；2 号管路连接两间放废暂存间、两间清洁间、两间显像前候诊室的卫生间、两间观察室的卫生间；3 号管路连接两间储源室、两间活性室及其卫生通过间；4 号管路连接多功能室兼急救室、显像前候诊室、受检者走廊、PET-CT 机房和两间 SPECT-CT 机房。

上述各区域管路彼此互不干扰，最终引至本建筑物屋顶排放（七层楼顶，距地高度约 36m）。场所内的手套箱独立设置排风管道，手套箱内腔顶部均匹配 HEPA 高效活性碳过滤器过滤，场所内所有排风均在排风口处设置了活性碳过滤装置。最终管路汇集至场所南侧核医学专用排风井内，最终引至医技住院楼楼顶东侧排放（十一层楼顶，距地高度约 50m），排气口远离周围敏感目标。区域整体新风进风量为 7100m^3，总排风量为 9500m^3/h。场所排风局部示意图见图 10-11，场所局部气体流向示意图见图 10-12。

[redacted]

（3）核素治疗场所

1）甲癌病房及门诊核素诊疗区：场所设置有 4 套放射性废气排风管道系统（以下简称 1 号至 3 号管路），1 号管路连接门诊给药室、门诊留观室及其卫生间、门诊污物暂存间和甲吸测定室；2 号管路连接三间甲癌病房及其卫生间；3 号管路连接住院给药室、配药间、储源室、卫生通过间、清洁间、污染被服库、放废暂存间和患者走廊；4 号管路连接两台手套箱，该管路单独设置。

2）新型核素病房区：场所设置有 1 套放射性废气排风管道系统，管路连接卫生通过间、储源室、分装注射间、抢救室兼 ^{177}Lu 注射室、放废暂存间、清洁间、污染被服库、两间 ^{177}Lu 病房、一间 α 核素病房和患者走廊。

上述各区域管路彼此互不干扰，最终引至本建筑物屋顶排放（七层楼顶，距地高度约 36m）。场所内的手套箱独立设置排风管道，手套箱内腔顶部均匹配 HEPA 高效活性碳过滤器过滤，场所内所有排风均在排风口处设置了活性碳过滤装置。最终管路汇集至场所南侧核医学专用排风井内，最终引至医技住院楼楼顶东侧排放（十一层楼顶，距地高度约 50m），排气口远离周围敏感目标。区域整体新风进风量为 7100m^3，总排风量为 9500m^3/h。场所排风局部示意图见图 10-13，场所局部气体流向示意图见图 10-14。

[redacted]

[redacted]

核医学科气流流向为：清洁区、监督区、控制区，都单独设置了管道，控制区的负压高于监督区和清洁区，监督区为微负压，清洁区为常压，防止气载流出物互相扩散或向周围非辐射工作区域扩散，尽量减小公众及职业人员吸入内照射。核医学科场所内设置的分装柜（手套箱或通风橱）及核素制备场所设置的分装、合成热室柜内腔顶部均匹配HEPA高效活性碳过滤器过滤，控制区各房间排风管道由排风井引至楼顶排放，排风口处设置活性炭过滤器（其中核素治疗场所甲癌病房及门诊核素诊疗区排风管道增设活性炭除碘过滤器），能有效的过滤及吸附废气中的碘-131 等气载流出物，吸附效率不低于99%，达到气体排放要求。

排气筒均高出屋顶，且远离周围的高层建筑，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中的通风要求。此外，核医学科各场所设置的分装柜（手套箱或通风橱）及核素制备场所设置的分装、合成热室柜中均保持负压状态，风速均大于 0.5m/s，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中“合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于0.5m/s”的规定。

为保证放射性废气处理设置正常安全运行，建设单位还需采取如下措施：

①建设单位需定期对通排风系统管道及过滤系统设施设备进行检修和维护，并建立设施设备维护台账，其中活性炭需根据设备要求进行过滤效率检定和更换，每半年至少进行一次维护和校正；

②更换下的滤芯应按放射性固体废物进行管理和处置。

③为防止公众进入楼顶避免不必要的误照射，要求建设单位将废气排风口楼顶划为管控区域，并进行封闭管理。

放射性废气治理措施见表10-10。

表10-10　放射性废气治理措施一览表

场所			排风量(m^3/h)	汇入风井	废气处理设施	排放方式及去向
核素制备场所（正电子	1号管路	连接回旋加速器底部	[redacted]	正电子热室东侧穿楼板连接风井	独立排风管道+初中效过滤器+高效过滤器，总过滤效率大于99%	排气口高于本建筑物屋顶（七层楼

	药物制备区）	2号管路	回旋加速器机房	■	核素制备场所东侧穿楼板连接风井	独立排风管道+初中效过滤器+高效过滤器，总过滤效率大于99%	顶，距地高度约36m）	
		3号管路	固体靶热室、正电子热室和放废暂存间1	■	正电子热室东侧穿楼板连接风井	独立排风管道+初中效过滤器+高效过滤器，总过滤效率大于99%		
		4号管路	固体靶热室内合成热室柜及分装热室柜	■		热室柜自带过滤器+独立排风管道+初中效过滤器+高效过滤器，总过滤效率大于99%		
		5号管路	正电子热室内合成热室柜及分装热室柜	■		热室柜自带过滤器+独立排风管道+初中效过滤器+高效过滤器，总过滤效率大于99%		
		6号管路	热室缓冲间、消毒洁具洗存间、整衣间、洗衣间、清洁间、洁净走廊卫生通过区域	■		独立排风管道+初中效过滤器+高效过滤器，总过滤效率大于99%		
	核素制备场所（治疗药物制备区）	1号管路	α/β核素标记热室柜	■	核素制备场所西侧（净化机房内）穿楼板连接风井	热室柜自带过滤器+独立排风管道+初中效过滤器+高效过滤器，总过滤效率大于99%	排气口高于本建筑物屋顶（七层楼顶，距地高度约36m）	
		2号管路	放废暂存间2、治疗药物热室及其净化走廊、更衣缓冲间内	■		独立排风管道+初中效过滤器+高效过滤器，总过滤效率大于99%		
	核素制备场所（药物质检	1号管路	连接放化室内的通风橱	■	正电子热室东侧穿楼板连接风井	手套箱自带过滤器+独立排风管道+初中效过滤器+高效过滤器，总过滤效率大于99%	排气口高于本建筑物屋顶（七层楼顶，距地	

	区）	2号管路	放化室、消毒灭菌间、放废暂存间、无菌室、微生物室、内毒素检测室、阳性菌检测室及其更衣缓冲间	■	核素制备场所东侧穿楼板连接风井	独立排风管道+初中效过滤器+高效过滤器，总过滤效率大于99%	高度约36m）
	核素诊断场所	1号管路	PET活性室和SPECT活性室的手套箱	■	核素诊断场所东北侧（电梯厅）穿楼板连接风井	手套箱自带过滤器+独立排风管道+初中效过滤器+高效过滤器，总过滤效率大于99%	排气口高于本建筑物屋顶（七层楼顶，距地高度约36m）
		2号管路	两间放废暂存间、两间清洁间、两间显像前候诊室的卫生间、两间观察室的卫生间	■		独立排风管道+初中效过滤器+高效过滤器，总过滤效率大于99%	
		3号管路	两间储源室、两间活性室及其卫生通过间	■	1号SPECT-CT机房西南侧穿楼板连接风井	独立排风管道+初中效过滤器+高效过滤器，总过滤效率大于99%	
		4号管路	多功能室兼急救室、显像前候诊室、受检者走廊、PET-CT机房和两间SPECT-CT机房	■	核素诊断场所西侧穿楼板连接风井	独立排风管道+初中效过滤器+高效过滤器，总过滤效率大于99%	
	核素治疗场所（甲癌病房及门诊核素诊疗区）	1号管路	门诊给药室、门诊留观室及其卫生间、门诊污物暂存间和甲吸测定室	■	核素治疗场所南侧（卫生间）穿楼板连接风井	独立排风管道+初中效过滤器+高效过滤器（除碘），总过滤效率大于99%	排气口高于本建筑物屋顶（七层楼顶，距地高度约36m）
		2号管路	三间甲癌病房及其卫生间	■	核素治疗场所东北侧（电梯厅）风井	独立排风管道+初中效过滤器+高效过滤器（除碘），总过滤效率大于99%	

	3号管路	住院给药室、配药间、储源室、卫生通过间、清洁间、污染被服库、放废暂存间和患者走廊	■		独立排风管道+初中效过滤器+高效过滤器（除碘），总过滤效率大于99%	
	4号管路	两台手套箱	■		手套箱自带过滤器+独立排风管道+初中效过滤器+高效过滤器（除碘），总过滤效率大于99%	
核素治疗场所（新型核素病房区）	1号管路	卫生通过间、储源室、分装注射间、抢救室兼^{177}Lu注射室、放废暂存间、清洁间、污染被服库、两间^{177}Lu病房、一间α核素病房和患者走廊	■	核素治疗场所东侧风井	独立排风管道+初中效过滤器+高效过滤器，总过滤效率大于99%	排气口高于本建筑物屋顶（七层楼顶，距地高度约36m）

10.2.2.1.2 非放射性废气

本项目非放射性废气主要来源于γ射线或X射线与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物，各房间已设计有排风系统（含在放射性排风系统，其排风量见表10-10），少量臭氧和氮氧化物经各房间排风系统管道引至屋顶，并经过滤器过滤后排放。

10.2.2.2 废水处理措施

10.2.2.2.1 放射性废水

（1）放射性废水的收集

本项目核素制备场所产生的放射性废水主要来源于放射性药物制备、质检过程产生的清洗、纯化和质检废液、场所及人员清洗废水以及回旋加速器检修过程产生的冷却废水，通过各区域专用下水口排入衰变池。

本项目核素诊断场所和核素治疗场所产生的放射性废水主要为就诊病人排泄、清洗废水和场所及人员清洗废水，对于病人就诊区域已设置有独立的病人专用卫生间、放射性下水口，最终通过独立的下水管道排入衰变池。根据污染源项分析中核算结果，核医学科各场所放射性废水产生量及其排放途径详见表10-11。

表 10-11　核医学科各场所放射性废水排放途径汇总表

涉及场所	下水口位置	核素组成	所含核素最长半衰期	单周最大废水量（m^3）	合计（m^3）
负二层核素制备场所	正电子药物制备区：回旋加速器机房地漏、固体靶热室、正电子热室、整衣间、洗衣间、清洁间、冲淋间、一更	^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr、^{16}N、^{15}O	78.4h	[redacted]	[redacted]
	治疗药物制备区：清洁间、冲淋间、一更	^{177}Lu、^{225}Ac	10.0d		
	药物质检区：内毒素检测室、阳性菌检测室的一更、清洁室、紧急冲淋间、消毒灭菌间、无菌室及微生物室的一更	^{11}C、^{13}N、^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr、^{177}Lu、^{225}Ac	10.0d		
负一层核素诊断场所	多功能室兼急救室、活性室、卫生通过间、冲淋间、显像前候诊室的卫生间、清洁间、观察室的卫生间	^{11}C、^{13}N、^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr、^{44}Sc、^{124}I、^{99m}Tc、^{123}I、^{203}Pb	4.18d	[redacted]	
一层核素治疗场所	甲癌病房及门诊核素诊疗区：清洁间、卫生通过间、冲淋间、配药间、门诊留观室的卫生间、三间甲癌病房卫生间	^{131}I	8.04d	[redacted]	
	新型核素病房区：卫生通过间、抢救室兼 ^{177}Lu 注射室、清洁间、两间 ^{177}Lu 病房卫生间、一间 α 核素病房卫生间	^{131}I、^{161}Tb、^{177}Lu	8.04d		

（2）衰变池设计方案

本项目核医学科设置了一套衰变池，布置于核医学科西北侧的室外地下（即肿瘤中心住院部与胸部中心住院部之间的室外住院广场西侧），总建筑面积约 334m^2，整体采用槽式并联衰变工艺，池体四周采用 600mm 混凝土防护，池体间隔墙采用 400mm 混凝土防护。池体组成包括：三格污泥池和三格衰变池。其中，污泥池单格有效容积为 [redacted]，池中设置铰刀泵，用于搅碎固态物体，可防止和去除池底的污泥硬化淤积；衰变池单格有效容积为 [redacted]，三格并联池体总有效容积为 [redacted]用于收集核医学科产生的所有放射性废水。衰变池设计图见图 10-15 至图 10-17。

[redacted]

衰变池区其下方的基础底板采用防水混凝土，厚度为 600mm，抗渗等级为 P6，衰变池本身已具备防渗漏能力。为进一步加强衰变池的防渗漏能力，拟在衰变池区底板上部和内墙面再加设 1.5mm 厚聚氨酯防水层。衰变池整体采用自动化设计，设置有在线液位显示和报警系统，显示系统设置在核医学科一层值班室，同时衰变池管道阀门采用自动控制，可实现废水导流自动切换，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定的坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性和具有可靠的防泄漏措施等要求。核医学科放射性废水的排放管道采用铸铁或 HDPE 高密度聚乙烯材质，对于排放管道裸露部分及衰变池检修井盖拟采用 20mm 铅皮包裹（屏蔽），防止泄漏。排放管道走线避开人群密集区域，尽量减小对公众的辐射影响。

（3）衰变池的运行工艺

本项目衰变池采用 3 格并联方式间歇交替运行，以单组池体为例，初使用时，1#衰变池电动阀开启，其余衰变池电动阀关闭，废水排入 1#衰变池池体内。1#衰变池水位达到最高水位时，1#衰变池电动阀关闭，进行封闭衰变，2#衰变池电动阀开启，废水排入 2#衰变池池体内。2#衰变池水位达到最高水位时，2#衰变池电动阀关闭，进行封闭衰变，3#衰变池电动阀开启，废水排入 3#衰变池池体内，当 3#衰变池水位达到启泵水位时，启动 1#衰变池。3#衰变池水位达到最高水位时，3#衰变池电动阀关闭，进行封闭衰变，1#衰变池电动阀开启，如此循环反复。

污泥池控制原理：水位达到集水坑启泵水位启动，水位降至停泵水位停泵。

放射性废水在衰变池内停留一个排水周期，经监测达标后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式排放进入医院污水管道，最终进入医院污水处理站进行处理。3 格衰变池轮流循环使用。衰变池加盖上锁，并安排专人管理。

（4）衰变池容量可行性分析

根据表 10-11，本项目核医学科每周最大废水产生量为 [redacted] 本项目衰变池单个池体有效容积为 [redacted]，第三个衰变池蓄满后，第一个衰变池中第一周产生的污水存储时间至少为：[redacted]（约 408 天），满足《核医学辐射防护与安

全要求》（HJ1188-2021）中槽式衰变池含碘-131 核素放射性废液暂存时间超过 180 天的要求。因此，本项目衰变池设计容积式是合理的。

衰变池每格均设有废水取样口，方便排放前对放射性废水进行取样监测，监测结果符合排放标准后可排放。每次排放应做好排放时间、监测数据、排放量等应详细记录，设置专门的废水排放台账，台账应有专人管理，存档保存。

（5）衰变池运行管理措施

为保障该衰变池的长效可靠运行，还需采取如下管理措施：

①根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20 号），本项目衰变池放射性废水（含碘-131）应暂存超过 180 天或经监测达标（总 β≤10Bq/L、碘-131 活度浓度≤10Bq/L）后排放。

②建设单位应严格建立放射性废水管理台账，安排专职部门或专人进行管理，放射性废水排放应建立台账，记录每次封闭暂存时间、排放时间、排放量及监测结果情况，并妥善保管。

③衰变池区应作为重点防渗区（渗透系数需≤10^{-10}cm/s）和控制区进行独立管理，建设单位专职部门应定期对放射性废水管道、阀门、池体及附属安全设施（如液位报警、电控系统）及防渗设施进行维护和检修，防止“跑、冒、滴、漏”情况出现，同时防止污泥硬化淤积、堵塞进出水口、池体超压等情况发生，不得随意对下水管道进行改线或接入非放下水管道，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。

10.2.2.2.2 非放射性废水

本项目非放射性废水主要来自于运行期间工作人员产生的生活废水，该部分废水经医院污水管网后排入医院污水处理站，处理达标后排入市政污水管网。

根据已经获得批复的《德阳市人民医院城北第五代医院建设项目环境影响报告书》：医疗废水、生活污水经管道收集后进入新建污水处理站，经污水处理站处理后出水水质达到《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)表 2 中预处理标准及《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962-2015)表 1 中 B 级标准，经市政污水管道进入德阳市柳沙堰城市生活污水处理厂处理后，达到《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》（DB51/2311-2016）表 1 标准后排入绵远河。

10.2.2.3 固体废物处理措施

10.2.2.3.1 放射性废物

根据污染源分析，本项目产生的放射性固废主要是：①药物制备、质检过程产生的离子交换柱、纯化柱、滤膜、棉签、原液玻璃瓶、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、稀释液玻璃瓶、擦拭废物等一次性耗材，以及废回旋加速器靶膜及附件；②废锗镓发生器；③门诊/住院病人产生的一次性注射器/口杯、药棉、口罩、手套、空药瓶、台面/器皿吸收垫、滤纸及擦拭废物等，及住院病人治疗过程产生的一次性卫生用品、采血针管、废血样；④废 ^{22}N 校准用放射源；⑤废 ^{90}Sr-^{90}Y 敷贴器放射源；⑥定期更换的废活性炭过滤器滤芯。

各场所内热室、放化室、回旋加速器机房、活性室、显像前候诊室、观察室、注射窗台下方、门诊给药室、住院给药室、门诊留观室、配药间、病房、抢救室等均设置放射性固废收集桶用于分类收集放射性固废，到达一定量时转入相应放射性废物暂存间内采用放射性固废暂存容器进行暂存衰变。废回旋加速器靶膜及附件、废锗镓发生器、废 ^{22}N 校准用放射源、废 ^{90}Sr-^{90}Y 敷贴器放射源及时由厂家或有资质单位进行回收处理。

本项目各场所内放射性废物暂存间设置情况见表 10-12，根据污染源项分析中核算结果，本项目放射性废物产生量及其暂存间的暂存能力分析见表 10-13。

表 10-12　放射性废物暂存间设置情况一览表

工作场所	暂存场所	净空尺寸	有效容积①（m³）
负二层核素制备场所（正电子药物制备区）	放废暂存间 1	[redacted]	
	靶片存储间		
负二层核素制备场所（治疗药物制备区）	放废暂存间 2		
负二层（药物质检区）	放废暂存间		
负一层核素诊断场所	PET 放废暂存间		
	SPECT 放废暂存间		
一层核素治疗场所（甲癌病房及门诊核素诊疗区）	放废暂存间		
	门诊污物暂存间		
一层核素治疗场所（新型核素病房区）	放废暂存间		

注：①有效容积按废物暂存高度 1.5m 计算。

表 10-13　放射性废物暂存间暂存能力分析表

暂存场所	涉及核素	放射性固体废物类别	废物所含核素半衰期	日产生量（kg/d）	最少暂存时间（d）	暂存周期内工作天数（d）	暂存物密度（kg/m³）	暂存所需容积（m³）	暂存场所容积（m³）
核素制备场所（正电	^{18}F、^{11}C、^{13}N、	正电子药物加速器制备废弃	78.4h（以 ^{89}Zr	[redacted]					

子药物制备区）放废暂存间 1	^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{61}Co	离子交换柱、纯化柱、滤膜、棉签及擦拭废物和废靶材等、固体靶生产放射性药物产生的少量残液（按固体废物处理）	计）						
		废活性炭							
核素制备场所（治疗药物制备区）放废暂存间 2	^{177}Lu、^{225}Ac	治疗药物制备废弃纯化柱、滤膜、棉签、空原料瓶及擦拭废物等	10.0d（以 ^{225}Ac 计）						
		废活性炭							
核素制备场所（药物质检区）放废暂存间	^{11}C、^{13}N、^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr、^{177}Lu、^{225}Ac	质检废弃液玻璃瓶、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、稀释液玻璃瓶等及无菌、微生物和阳性对照实验产生的灭活培养基	10.0d（以 ^{225}Ac 计）						
		废活性炭							
核素诊断场所 PET 放废暂存间	^{11}C、^{13}N、^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、	一次性注射器、口罩、手套、空药瓶、棉签	4.18d（以 ^{124}I 计）						

	^{89}Zr、^{44}Sc、^{124}I	以及擦试废物等							
		废活性炭过滤器滤芯							
核素诊断场所SPECT放废暂存间	^{99m}Tc、^{123}I、^{203}Pb	一次性注射器、口罩、手套、空药瓶、棉签以及擦试废物等	52.1h（以^{203}Pb计）						
		废活性炭过滤器滤芯							
核素治疗场所甲癌病房放废暂存间	^{131}I	使用过的一次性口杯、一次性注射器、口罩、手套、空药瓶、棉签、擦拭废物和病人住院期间产生的一次性卫生用品等	8.04d						
		废活性炭							
核素治疗场所门诊污物暂存间	^{131}I	使用过的一次性口杯、棉签以及擦试废物等	8.04d						
		废活性炭	8.04d						

核素治疗场所新型核素病房放废暂存间	^{177}Lu、^{161}Tb、^{89}Sr、^{211}At、^{223}Ra、^{47}Sc、^{188}Re、^{212}Pb、^{225}Ac	使用过的一次性口杯、一次性注射器、口罩、手套、空药瓶、棉签、擦拭废物和病人住院期间产生的一次性卫生用品等	11.44d（以^{223}Ra计）	[redacted]					
		废活性炭							

注：①医疗废物密度国家统计结果平均值为 488.85kg/m³，颗粒柱状活性炭密度一般在 450~650kg/m³，保守按 450kg/m³ 进行统计。②暂存时间：根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）7.2.3 章节中固体放射性废物暂存时间要求，废物所含核素半衰期小于 24h 的废物暂存周期按 30d 计算，废物所含核素半衰期大于 24h 的废物暂存周期按核素最长半衰期的 10 倍计算，含 ^{131}I 核素的废物暂存周期按 180d 计算。③负二层核素制备场所产生的废回旋加速器靶膜及附件、废锗镓发生器，负一层核素诊断场所产生的废 ^{22}Na 校准用放射源，一层核素治疗场所产生的废 ^{90}Sr 敷贴器均由生产厂家或有资质单位及时回收处理，废物体积很小且暂存时间很短，故放射性废物间暂存能力分析时不作考虑。④废过滤器滤芯暂存量按半年产生量计算。⑤核素治疗场所每日病人放射性废物产生量保守按其病床数核算。⑥保守按各场所每日核素操作及病人放射性废物产生量核算暂存场所所需容积。

根据上表可知，本项目各场所内放射性废物暂存间容积均大于暂存周期内放射性废物所需容积，满足暂存要求。此外，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），针对放射性固废的收集、贮存和处理，提出如下管理措施要求：

（1）放射性固体废物收集

①按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理；②建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案；③放射性固废收集桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，放置刺破废物袋；④放射性废物每袋重量不超过 20kg，装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

（2）放射性固废临时贮存和最终处理

①放射性废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录；②固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β 表面污染小于 0.8Bq/cm² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物

处理：a)所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；b)所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；c)含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。③固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。经监测达标后，转移至医疗废物暂存库，按照普通医疗废物处理。

10.2.2.3.2 非放射性废物

本项目产生非放射性一般医疗废物包括一些药棉、纱布、手套等医用辅料，进入医疗废物暂存、管理系统。根据国家医疗垃圾管理制度，应严格执行医疗垃圾转移联单制度，由具备医疗垃圾回收处理资质的专业单位回收集中处理。工作人员产生的少量办公、生活垃圾，统一收集至医院的垃圾转运站后交由环卫部门统一处理。

10.2.2.4 噪声治理措施

本项目噪声主要来源于空调系统的室外机以及通排风系统的风机，本项目所使用的通排风系统为低噪声节能排风机，其噪声值低于 60dB(A)，噪声较小；空调系统的室外机其噪声值低于 58dB(A)，根据设计，建设单位拟采取隔声降噪措施，经过距离衰减后，噪声较小，无需采用专门的降噪措施。

10.2.2.5 射线装置报废处理

根据《四川省辐射污染防治条例》，“射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化”。报废后需确保射线装置不能正常通电，防止二次使用造成人员误照射。

10.3 环保措施及其投资估算

本项目辐射防护措施及其投资估算见表 10-14。

表 10-14　本项目环保预算一览表

项目		环保措施	[redacted]
核素制备场所	辐射屏蔽措施	屏蔽防护工程（含防护门、观察窗）	
	防护设备	手套箱 1 台	
		分装柜、合成柜共计 10 台	
		药物转运铅罐 3 个	
		放射性废物桶 5 个	
		废物衰变箱 6 个	

			铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜 4 套	[redacted]	
			去污工具 3 套		
			活度计 6 台		
			表面污染监测仪 3 台		
			个人剂量报警仪 6 台		
			个人剂量计 1 套/人		
			长柄小推车 1 辆		
		废水	废水处理设施及相应管道		
		废气	净化通风排风系统		
	核素诊断场所	辐射屏蔽措施	屏蔽防护工程（含防护门、观察窗、注射台）		
		防护设备	储源铅箱 2 个		
			药物铅罐 2 个		
			手套箱 1 台（50mmPb 当量）		
			手套箱 1 台（20mmPb 当量）		
			注射器屏蔽套 4 套		
			放射性废物桶 11 个		
			废物衰变箱 4 个		
			铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜 6 套		
			去污工具 2 套		
			活度计 2 台		
			表面污染监测仪 2 台		
			个人剂量报警仪 4 台		
			个人剂量计 1 套/人		
		废水	废水处理设施及相应管道		
		废气	净化通风排风系统		
	核素治疗场所	辐射屏蔽措施	屏蔽防护工程（含防护门、观察窗、注射台）		
		防护设备	储源铅箱 2 个		
			药物铅罐 2 个		
			手套箱 1 台（50mmPb 当量）		
			手套箱 1 台（20mmPb 当量）		
			自动分药仪		
			放射性废物桶 12 个		
			废物衰变箱 6 个		
			铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜 4 套		
			去污工具 2 套		
			活度计 2 台		
			表面污染监测仪 2 台		
			个人剂量报警仪 4 台		
			个人剂量计 1 套/人		
		废水	废水处理设施及相应管道		
		废气	净化通风排风系统		

监测费用	辐射工作场所监测费用	[redacted]	
其他	辐射剂量率仪 1 台（共用）	[redacted]	
	辐射工组人员、管理人员及应急人员的组织培训		
合计		[redacted]	

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目主体工程施工环境影响已包含在批复的《德阳市人民医院城北第五代医院项目环境影响报告书》中，本次评价不涉及。

本项目施工期主要是机房装修施工阶段和设备安装、调试阶段。

11.1.1 装修施工的环境影响分析

（1）大气环境影响分析

装修过程中采用“环保型”油漆及涂料，产生的废气污染物主要是扬尘，装修过程中采取湿法作业、加强通风或室内空气净化措施，可尽量降低粉尘对周围环境的影响。

（2）水环境影响分析

装修过程中施工人员会排放一定量的生活污水，可依托医院污水处理站处理，经处理后污水进入城市污水管网，不会对周围水环境产生不良影响。

（3）声环境影响分析

装修过程会产生一定噪声，针对噪声影响，本项目拟采取尽量选择低噪音设备、避免夜间施工、注意对施工设备的维修、保养以使各种施工机械保持良好的运行状态等措施，可大大降低本项目噪声对周围的影响。

（4）固体废物影响分析

装修过程固体废弃物主要是生活垃圾、建筑垃圾。产生的废弃物如废材料、废纸张、废包装材料、废塑料薄膜等应妥善保管，及时回收处理；对于不可回收的建筑垃圾，应定点堆放，及时送当地指定的建筑垃圾堆放场；施工人员产生的生活垃圾依托医院生活垃圾收集设施收集后，交由环卫部门统一处理。

此外，在符合建筑设计和辐射防护要求的前提下，保证各屏蔽体有效衔接，各屏蔽体应有足够的重叠量，避免各屏蔽体之间有漏缝产生。

11.1.2 设备安装调试期间的环境影响分析

在射线装置安装调试阶段，主要污染因素为 X 射线、臭氧和少量包装废弃物。院方应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房必须上锁并派人看守。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入设备区域，防止辐射事故

发生。由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响较小。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 核医学科核素制备场所辐射环境影响分析

略

11.2.2 核医学科核素诊断场所辐射环境影响分析

略

11.2.3 核医学科核素治疗场所辐射环境影响分析

略

11.2.4 大气环境影响分析

略

11.2.5 水环境影响分析

略

11.2.6 固体废物环境影响分析

略

11.2.7 声环境影响分析

略

11.3 辐射事故影响分析

11.3.1 事故等级判断依据

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）和《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 11-46。

表 11-46 项目的环境风险因子、潜在危害及可能发生的事故等级

事故等级	危害结果
特别重大辐射事故（Ⅰ级）	Ⅰ类、Ⅱ类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致3人以上急性死亡。 或者放射性同位素和射线装置失控导致3人及以上急性死亡。
重大辐射事故（Ⅱ级）	Ⅰ类、Ⅱ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致2人及以下急性死亡或者10人及以上急性重度放射 病、局部器官残疾。
较大辐射事故（Ⅲ级）	Ⅲ类放射源丢失、被盗、控，或者放射性同位素和射线装置导致9人及以下急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故（Ⅳ级）	Ⅳ类、Ⅴ类放射源丢失、被盗、失控，或放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

急性放射病发生参考剂量见表 11-47。

表 11-47 急性放射病初期临床反应及受照剂量范围参考值

急性放射病	程度	受照剂量范围参考值
骨髓型急性放射病	轻度	1.0Gy~2.0Gy
	中度	2.0Gy~4.0Gy
	重度	4.0Gy~6.0Gy
	极重度	6.0Gy~10.0Gy
肠型急性放射病	轻度	10.0Gy~20.0Gy
	中度	-
	重度	20.0Gy~50.0Gy
	极重度	-
脑型急性放射病	轻度	50Gy~100Gy
	中度	
	重度	
	极重度	
	死亡	100Gy

11.3.2 非密封放射性物质及校准源辐射事故影响分析

（1）事故类型

根据污染源分析本项目核医学科可能存在的最大潜在辐射事故包括：

（a）放射性药物发生丢失或被盗；

（b）放射性药物操作不当或因其他原因打翻，完全泄露；

（c）分装设备发生故障造成的放射性药物撒漏；

（d）校准源丢失、被盗、失控。

（2）放射性核素撒漏事故工况下辐射影响分析

（a）事故情景假设

①放射性核素分装过程中导致放射性药物试剂瓶或铅罐打翻或破碎，或其他任何原因造成放射性药物泄漏，本次以核素单日最大操作量计算。

②泄漏事故持续过程中按点源考虑；

③受照人员不考虑任何屏蔽措施。

（b）剂量估算模式与参数选取

根据本项目实际使用核素及相应工作流程，本项目选取核医学科日操作量最大的三种核素 ^{18}F、^{131}I、^{99m}Tc，分别计算距辐射源 0.1m、0.2m、0.5m、1.0m、2.0m、5.0m、10m、以及超过 0.1mSv/h 处的剂量率。三种核 ^{18}F、^{131}I、^{99m}Tc 的日最大操作量分别为：4.08×10^{10}Bq、1.85×10^{9}Bq、2.78×10^{10}Bq。

（c）计算结果

根据事故情景假设条件计算得出，距源 0.1m~12.6m 范围内剂量率，计算结果见表 11-48。

表 11-48 放射性药物丢失和泄漏事故和下不同距离处剂量率分布表

[redacted]

（d）事故后果

根据上表可知，当日 ^{18}F 全部泄漏后，事故持续 1h 后，周围 7.6m 半径范围内的

公众受照剂量将超过 0.1mSv，超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众 0.1mSv/a 剂量限值，构成一般辐射事故。^{131}I 和 ^{99m}Tc 事故影响范围较 ^{18}F 小。

（3）校准源丢失、被盗、失控事故工况下辐射影响分析

（a）事故情景假设

①1 枚 ^{22}Na 校准源丢失、被盗、失控，活度最大为 $1.48\times10^{7}Bq$；

②距离最近的人员为 0.2m；

③从丢失、被盗、失控至找到放射源的时间为 12h。

（b）剂量估算

在假设事故情境下，人员在事故持续时间内的受照剂量为 104mSv/次。

（c）剂量估算

在上述事故情景假设下，公众受照剂量已超过 5 个连续年的平均剂量限值（1mSv），不构成轻度急性放射病发病，事故持续周期内可造成人员超剂量照射而导致一般辐射事故。由于计算过程未考虑放射性核素衰变，计算结果偏保守。

11.3.3 射线装置辐射事故影响分析

11.3.3.1 回旋加速器辐射事故影响分析

（1）可能发生的辐射事故识别

根据污染源分析，本项目使用回旋加速器存在主要环境风险因子为中子、γ 射线等，危害因素为中子、γ 射线外照射导致人员超剂量照射，回旋加速器只有在开机状态下才会产生中子、γ 射线，一旦切断电源，便不会再有中子、γ 射线产生。由于回旋加速器在停机后存在剩余辐射，若处理不当也会对人员和环境造成一定的影响。本项目可能发生的辐射事故如下：

（a）安全装置或设备控制系统出现故障，人员非法闯入正在运行的机房，操作人员开启回旋加速器导致人员误照射。

（b）操作人员未按操作规程对机房进行清场巡更，导致人员滞留机房内，室外操作人员开启回旋加速器导致人员误照射。

（c）回旋加速器冷却系统失效或火灾事故，导致靶腔破裂，造成非密封放射性物质泄漏。

（d）辐照后的固态靶件在传输过程中因传输管道堵塞导致卡靶或停靶。

（2）非法闯入或人员滞留机房事故后果影响分析

根据建设单位提供资料，回旋加速器机体表面 1m 处最大辐射剂量当量率为 151μSv/h（屏蔽体上方 1m 处，γ射线与中子射线剂量率总和），当人员非法闯入或滞留回旋加速器机房，假设受照时间为 2min，人员距离机体表面 1m 处，其受照剂量为 0.005mSv，未超过《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。

（3）回旋加速器卡靶或停靶事故后果影响分析

当发生卡靶时，辐照后的放射性固体靶将长时间滞留于管道中，会持续对周围辐射环境造成影响，根据建设单位提供的资料，回旋加速器机房地沟管道屏蔽厚度为 3mm 铅套管，采用 60mm 铅盖板进行屏蔽，假设传输的放射性固体原料未发生衰变，以氟-18 为代表（单次生产活度为 2.04×10^4MBq），经计算距离其 1m 处辐射剂量率为 0.467μSv/h，人员居留时间为 8h，其最大受照剂量为 0.0037mSv，人员受照射剂量未超过《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。若工作人员私自打开铅盖板进行处置，其辐射剂量率将达到 1.92mSv/h，事故持续发生超过 10.4h，可导致工作人员受照剂量超过《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，构成一般辐射事故。

11.3.3.3 III类射线装置辐射事故影响分析

（1）可能发生的辐射事故识别

本项目共涉及III类射线装置 3 台，分别为 1 台 PET-CT 和 2 台 SPECT-CT，所用射线装置均为数字成像，无废显定影液及废胶片产生，其主要危害为设备工作时产生 X 射线。上述射线装置管电压较低，曝光时间较短，装置失控只可能导致人员受到超过年剂量限值的照射。本项目 3 台III类射线装置可能发生的辐射事故如下：

①在防护门未关闭的情况下即进行曝光操作，可能给周围活动的人员造成不必要的照射。

②医护人员开展介入治疗时，未穿防护服进行手术操作受到射线照射。

（2）事故工况下辐射影响分析

射线装置关机时不会产生 X 射线，不存在影响辐射环境质量的事故，只有当设备开机时才会产生 X 射线等危害因素。射线装置 X 射线能量不大，曝光时间都比较短，事故情况下，假设考虑人员在无其他屏蔽的情况下处于机房内，由于机房内人员易接触的位置设置有“急停”按钮，只要按下此按钮就可以停止出束，因此受照时间取 30s。计算公众闯入时，距离按 2 米考虑，计算职业人员和检修人员受照时，距离按 1 米考虑。源强保守取 CT 扫描条件下距靶 1m 处输出剂量率计算，在事故状态下环境影响分析结果见表 11-49。

表 11-49 III类射线装置事故情况下人员受照剂量值

[redacted]

根据上表，III类射线装置在事故状态下短时间内可导致公众受照射剂量超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众年受照射剂量 1mSv/a 限值；可导致职业人员受照射剂量超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员平均年受照射剂量 20mSv/a 限值，构成一般辐射事故。

根据上述分析，本项目可能发生的事故为一般辐射事故，若随着受误照人员受照时间的增加，其所受剂量可能远超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值，可能造成更严重的辐射事故。

11.3.4 事故防范措施

为了杜绝上述辐射事故的发生，环评要求建设方严格执行以下风险预防措施：

（1）定期认真地对本单位射线装置的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查，制定完善的辐射安全规章管理制度并有专人监督核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生；

（2）凡涉及对射线装置进行操作，必须有明确的操作规程，射线装置运行时，至少有 2 名操作人员同时在场，对辐射工作人员定期培训，使之熟练操作，操作人员严格按照操作规程进行操作，并做好个人的防护，并应将操作规程张贴在操作人

员可看到的显眼位置；

（3）发生撒漏事件后，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拭，直到擦干污染区。

（4）严格执行核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。注射间、储源室设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

（5）加强放射性废物的管理，对储存的放射性废物在废物桶外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。放射性废水和固体废物经足够长的时间衰变后，方可排放或按照普通医疗垃圾处理，并做好监测记录。

（6）正确穿戴个人防护用品，主要包括工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，以及铅防护衣、防护镜等附加防护用品。工作人员进入监督区必须穿戴放射防护用品，个人计量仪佩戴于铅衣内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅衣、戴口罩、手套，防护眼镜。科主任负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

（7）严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如果监测表明防护墙外辐射水平偏高，应适当增加防护墙厚度。

（8）射线装置每次开机前检查机房监控系统、门机联锁装置、门灯联锁装置和其他安全联锁装置，确保一切正常并安全的情况下，射线装置才能进行照射；

（9）射线装置运行之前确保所有人员全部撤离机房后才能启动，防止误操作，防止工作人员和公众受到意外辐射；

（10）定期对各射线装置机房的安全装置有效性进行检查；

（11）建设单位所有辐射工作人员均需参加辐射安全与防护考核，并需取得合格证书，所有辐射工作人员均需持证上岗。

（12）设备安装调试时必须由厂家专业人员负责完成，安装调试时关闭防护门，并在机房门外设立辐射警示标志。

（13）辐射防护管理人员要经常对辐照工作场所进行巡视，及时纠正不利于辐射安全防护的行为。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》 等法律法规要求，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

建设单位成立了辐射安全与环境保护管理领导小组，小组成员如下：

[redacted]

辐射安全与环境保护管理领导小组职责包括：

（1）认真贯彻国家、省、市辐射安全防护相关法律法规和技术规范，制定全院辐射安全防护管理规章制度。

（2）负责全院辐射安全防护法律法规及规章制度的执行，并对执行情况进行指导，监督检查后的整改和评价。

（3）负责医院改扩建放射诊疗项目的申报评审和审批。

（4）负责组织辐射工作人员相关知识的培训和考核。

（5）负责组织开展辐射工作场所环境监测及放射设备的性能检测。

（6）负责组织和监督辐射性事件的处理和放射性“三废”的处置。

（7）负责对辐射工作人员进行健康管理，建立健康档案。

（8）负责组织个人剂量计的定期监测及超标情况的调查分析整改并上报。

（9）定期开展院内辐射安全防护管理工作检查。

（10）定期召开会议，研究协调和解决辐射安全防护工作管理方面的重大事项，遇有紧急问题可随时召开会。

12.2 辐射安全管理规章制度

12.2.1 档案管理分类

医院应对相关资料进行分类归档放置，包括以下八大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“放射源和射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“辐射应急资料”。

12.2.2 主要规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2008 年修改）（环境保护部第 3 号令）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第 18 号令）的相关管理要求，非密封放射性物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《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）的相关要求，医院已制定了一系列辐射安全规章制度，辐射安全管理规章制度落实情况见表 12-1。

表 12-1 本项目辐射管理制度汇总对照分析表

序号	规定的制度	落实情况	备注
1	辐射安全与环境保护管理机构文件	已制定	本项目建成后，拟根据项目开展的实际情况对已有规章制度文件进行更新。
2	辐射安全管理规定(综合性文件)	已制定	
3	辐射工作设备操作规程	已制定	
4	辐射安全和防护设施维护维修制度	已制定	
5	辐射工作人员岗位职责	已制定	
6	放射源与射线装置台账管理制度	已制定	
7	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	已制定	
8	监测仪表使用与校验管理制度	已制定	
9	辐射工作人员培训制度(或培训计划)	已制定	
10	辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定	
11	辐射事故应急预案	已制定	
12	质量保证大纲和质量控制检测计划	已制定	

辐射工作场所需上墙的制度包括但不限于：《辐射工作场所安全管理要求》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作设备操作规程》和《辐射事故应急响应程序》。上墙制度的内容应字体醒目，简单清楚，体现现场操作性和实用性，尺寸大小为 400mmx600mm。

目前建设单位已制定的规章制度包括：<辐射安全与环境保护管理机构文件>、<辐射安全管理规定>、<辐射工作设备操作规程>、<辐射安全和防护设施维护维修制度>、<辐射工作人员岗位职责>、<放射源与射线装置台账管理制度>、<辐射工作场所和环境辐射水平监测方案>、<监测仪表使用与校验管理制度>、<辐射工作人员培训制

度>、<辐射工作人员个人剂量管理制度>、<辐射事故应急预案>、<质量保证大纲和质量控制检测计划>等管理制度，各项规章制度内容较全面，操作性强，可满足本项目运行的需要。

医院应根据规章制度内容认真组织实施，并且应根据国家发布的新的相关法规内容，结合医院实际及时对各项规章制度补充修改，使之更能符合实际需要。建设单位在按照环评要求对制度、人员、场所、设施等进行补充完善后，项目符合辐射安全及环境保护要求。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测仪器和防护设备

《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》提出，使用II类射线装置的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警仪、辐射监测仪等仪器。生产和使用非密封型放射性物质的单位还应当有表面污染检测仪。根据以上要求，建议建设单位依据表 12-2 的内容对本项目辐射工作场所进行辐射监测仪器配置。

表 12-2 本项目辐射工作场所辐射监测仪器拟配置清单

工作场所	监测仪器	拟配置数量	备注
核素制备工作场所	环境辐射巡测仪	[redacted]	
	表面污染监测仪		
	多探头固定式剂量率仪		
	个人剂量报警仪		
核素诊断场所	表面污染监测仪		
	个人剂量报警仪		
核素治疗场所	表面污染监测仪		
	个人剂量报警仪		

12.3.2 监测计划

根据《四川省辐射污染防治条例》“使用放射性同位素和射线装置的单位应当建立辐射监测制度，组织对从业人员个人辐射剂量、工作场所及周围环境进行监测，并建立相应档案”，为了保证本项目运行过程的安全，为控制和评价辐射危害，医院设置了相应的辐射剂量监测手段，使工作人员和公众所受照射尽可能低。

（1）个人剂量监测

医院辐射环境监测工作由辐射安全与防护管理委员会统一领导，各辐射工作业务科室负责组织具体实施。

项目建成投运后，建设单位应保证每名辐射工作人员均配备个人剂量计，并根据原四川省环境保护厅“关于进一步加强辐射工作人员个人剂量管理的通知”（川环办发[2010]49 号）做好个人剂量管理的工作。加强检测管理和辐射工作人员职业健康检查管理，保证每名辐射工作人员的个人剂量应每三个月送有资质部门检测一次，并建立个人剂量档案终生保存。

①如果在单个季度出现个人剂量超过 1.25mSv 时需进行干预，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并本人签字。年剂量超过 5mSv 的管理限制时，暂停该辐射工作人员继续从事放射性作业，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并本人签字，并上报当地环境保护主管部门。单年剂量超过 20mSv 标准时，构成辐射事故，按事故应急预案处理，立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，由辐射事故应急处理领导小组上报当地环境保护主管部门及省级环境保护主管部门。同时上报公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。并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。医院须建立个人剂量档案，辐射工作人员调离辐射工作岗位，个人剂量档案要终生保存。

②个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度评估报告一起作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并提交给发证机关。

③辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。建设单位应当将个人剂量档案终生保存。

（2）辐射工作场所及周围环境监测

①每年医务部负责联系有放射防护监测资质的机构对医院有射线装置及放射源的科室进行一次环境辐射影响安全防护监测。出具评估报告并存档。

②每年医务部负责联系有资质部门对全院有射线装置及放射源的科室进行安全防护及性能测试，出具评估报告并存档。

③对新增加射线设备做到先环评再建设，手续齐全后再使用。

④内部监测：由医院环保辐射专职监测人员每三月对全院有辐射装置及有放射源

的科室进行一次安全监测并记录存档。

⑤应急监测：应急情况下，为查明放射性污染情况和辐射水平，可进行不定期的内部或外部监测。

（3）验收监测

本次评价项目竣工后，建设单位应根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）对配套建设的环境保护设施进行验收，建设单位应如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，报告编制完成5个工作日内，建设单位应公开验收报告，公示的期限不得少于20个工作日。建设单位在提出验收意见的过程中，可组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

（4）辐射监测的内容和要求

①监测内容：X-γ辐射周围剂量当量率、中子剂量当量率、β表面污染、放射性废水（总β、碘-131活度浓度）；

②监测布点及数据管理：本项目监测布点应参考环评提出的监测计划（表 12-3）或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

表 12-3　本项目监测布点方案表

设备名称	监测项目	监测周期	监测点位
医用直线加速器、回旋加速器机房	X-γ辐射周围剂量当量率	委托有资质的单位进行监测，频率为1次/年；验收监测1次；自行开展辐射监测，频率为1次/月。	墙体四周外侧、操作人员操作位、防护门外、机房顶棚外等机房外敏感点
	中子剂量当量率	委托有资质的单位进行监测，频率为1次/年；验收监测1次	
非密封型放射性物质工作场所（核素制备场所、核素诊断及敷贴治疗场	X-γ辐射周围剂量当量率	委托有资质的单位进行监测，频率为1次/年；验收监测1次；自行开展辐射监测，频率为1次/月。	SPECT-CT机房和PET-CT机房四周墙体、门（及其门缝）、观察窗表面外 30cm 处、顶棚上方（楼上）距顶棚地面 30cm 处、地面下方（楼下）距楼下地面 170cm 处
			距工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处、顶棚上方（楼上）距顶棚地面 30cm 处、地面下方（楼下）距楼下地面 170cm 处

所、核素治疗场所、核素动物实验场所）	放射性废水	总β	封闭暂存时间不满足要求时进行监测	短半衰期衰变池排放口
		总β、碘-131 活度浓度	封闭暂存时间不满足要求时进行监测	长半衰期衰变池排放口
	β表面污染		每天工作完成后进行一次（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。

③监测范围：控制区和监督区域及周围环境

④监测质量保证

a）落实监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测单位的监测数据与医院监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；或委托有资质的单位对监测仪器进行检定/校核；

b）采用国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法；

c）完善辐射工作场所环境监测管理制度。

此外，医院需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。

（5）辐射监测的可行性

环评认为，医院可以根据上述内容完善辐射工作场所和环境辐射水平监测方案与监测仪表使用与校验管理制度。制订的监测方案，应能够及时反映屏蔽设施的防护效能和放射废物排放达标情况。

12.4 年度评估报告情况

医院应按照规定的格式编写《辐射安全和防护状况年度评估报告》。医院应于每年1月31日前登录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）申报上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，近一年（四个季度）个人剂量检测报告和辐射工作场所年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并提交给发证机关。

12.5 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等有关放射防护法律、法规的

规定，结合医院实际情况，医院已制定了《德阳市人民医院放射事故应急处置预案》等应急管理制度和措施。并成立了放射事故应急处置组，应急处置组成员包含相关职能部门的负责人及辐射相关临床医技科室负责人，制度明确了应急处置组的主要职责。预案内容应包括：

（1）目的；

（2）组织架构及职责；

（3）放射工作管理制度；

（4）应急处置程序；

（5）保障措施。

项目单位应按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保护部令第18号）第六章第四十三条规定，结合本项目实际情况，对原有辐射事故应急预案予以补充、完善，增加应急设备、应急演练计划等内容。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

（1）项目名称：德阳市人民医院城北第五代医院新增核医学科建设项目

（2）建设单位：德阳市人民医院

（3）建设性质：新建

（4）建设地点：德阳市泰山北路与钱塘江路交汇处西北角（德阳市人民医院城北第五代医院内部）

（5）建设内容：

医院拟在综合楼负二层东南侧设置核医学科核素制备场所，主要设置北侧正电子药物制备区、西南侧治疗药物制备区和南侧药物质检区三个功能区：

正电子药物制备区拟配置 1 台四川玖谊源粒子科技有限公司生产的玖源-12 型回旋加速器（最大束流能量 12MeV，最大束流强度 100μA，带自屏蔽措施，属Ⅱ类射线装置），生产正电子放射性药物 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{89}Zr、^{64}Cu 和 ^{68}Ga；拟配备 1 柱最大规格为 50mCi 的锗镓发生器，淋洗制备放射性药物 ^{68}Ga，用于 PET 显像诊断。

治疗药物制备区拟外购放射性核素 ^{177}Lu 和 ^{225}Ac 料液，自行标记合成为放射性药物 ^{177}Lu 和 ^{225}Ac，用于肿瘤治疗及临床试验研究。

药物质检区拟对正电子药物制备区及治疗药物制备区制备的放射性药物进行质控检测。

医院拟在综合楼负一层东南侧设置核医学科核素诊断场所，拟设置两间 SPECT/CT 机房和一间 PET/CT 机房，新增两台 SPECT/CT（III类射线装置），拟使用放射性核素 ^{99m}Tc、^{123}I、^{203}Pb 用于 SPECT 显像诊断；新增一台 PET/CT（III类射线装置），拟使用放射性核 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr、^{44}Sc、^{124}I 用于 PET 显像诊断，拟配置 7 枚 ^{22}Na 放射源（1.48×10^{7}Bq1 枚+3.7×10^{5}Bq6 枚，均为Ⅴ类放射源）用于 PET-CT 校准。其中 ^{18}F、^{11}C、^{13}N、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 均由医院自行生产或淋洗（当回旋加速器故障或其他特殊原因导致无法生产或淋洗时，采用外购成品药），^{44}Sc、^{124}I、^{99m}Tc、^{123}I、^{203}Pb 统一采购外部成品药。

医院拟在综合楼一层东南侧设置核医学科核素治疗场所，主要设置东侧新型核素病房区和西侧甲癌病房及门诊核素诊疗区两个功能区：

新型核素病房区拟新建一间α核素病房（双人间）、两间 ^{177}Lu 核素病房（均为双人间）及其配套房间，拟使用放射性核 ^{161}Tb、^{177}Lu、^{89}Sr、^{211}At、^{223}Ra、^{47}Sc、^{188}Re、^{212}Pb、^{225}Ac 进行肿瘤治疗及临床试验研究。

甲癌病房及门诊核素诊疗区拟新建三间甲癌病房（均为双人间）及其配套房间，另外在甲癌病房区域西南侧新建一间甲吸测定室和一间敷贴治疗室，拟使用放射性核 ^{131}I 进行甲癌治疗、甲亢治疗和甲吸测定；敷贴治疗室拟使用 ^{90}Sr 敷贴器（出厂活度 7.4×10^{8}Bq，V类放射源）进行敷贴治疗。

13.1.2 产业政策符合性与实践正当性分析

根据《产业结构调整指导目录(2024 年本)》（国家发展和改革委员会令第 7 号，2024 年 2 月 1 日施行），本项目属鼓励类中第六项“核能”第 4 条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”项目和第十三项“医药”中的第 4 条“高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备，高端放射治疗设备，急危重症生命支持设备，人工智能辅助医疗设备，移动与远程诊疗设备，高端康复辅助器具，高端植入介入产品，手术机器人等高端外科设备及耗材，生物医用材料、增材制造技术开发与应用”项目，其建设符合国家现行产业政策。

本项目按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践正当性”的要求。

13.1.3 选址的合理性结论

本建设项目地址位于德阳市泰山北路与钱塘江路交汇处西北角德阳市人民医院城北第五代医院内，医院东面紧邻泰山路，隔泰山路为散居小型商铺、农户；东南侧 67m 为中石化加油站；南侧紧邻规划的钱塘江路，农户；西侧 79m 为在建居民小区，再远为农田；北侧紧邻妇女儿童专科医院。

本项目位于医院综合楼负二层东南侧（核医学科核素制备场所）、负一层东南侧（核医学科核素诊断场所）和一层东南侧（核医学科核素治疗场所），另外配套建设的衰变池拟设置在核医学科西北侧的室外地下（即肿瘤中心住院部与胸部中心住院部之间的室外住院广场西侧），核医学科场所边界（包含衰变池所在区域边界）外东侧 50m

范围内为医院内部道路、绿化及泰山路；南侧 190m 范围内为医院内部道路、污水处理站、液氧站、景观绿化、室外停车场；西侧 170m 范围内为医院内部道路、景观广场、绿化带及综合楼其他区域，北侧 50m 范围内为医院内部道路、室外住院广场及综合楼其他区域。

总结：本项目各辐射工作场所边界外 50m 范围内主要是医院内部和医院东侧泰山路部分区域，无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等环境敏感区。各辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对周围环境影响较小，从辐射安全防护的角度分析，本项目选址是合理的。

13.1.4 辐射环境质量现状分析

本项目拟建辐射工作场所区域周围环境γ辐射空气吸收剂量率范围为 71～95nGy/h，低于四川省生态环境厅《2024年四川省生态环境状况公告》中的德阳市环境电离辐射水平（70~100nGy/h），属于当地正常天然本底辐射水平。

本项目拟建辐射工作场所区域周围环境中子周围剂量当量率水平均低于设备探测下限，属于当地正常水平。

本项目拟建辐射工作场所区域周围环境α/β表面污染水平均低于设备探测下限，属于当地正常水平。

13.1.5 环境影响评价结论

（1）辐射环境影响分析

本项目核医学工作场所各控制区屏蔽体外的剂量率预测值，满足国家标准的有关规定。

本项目辐射工作人员、周围公众及敏感点成员年受照射有效剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标志》（GB18871-2002）中的剂量限值和本项目剂量约束值的要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

（2）水环境影响分析

本项目放射性废水主要来自于病人的排泄废水和清洗废水，放射性废水在衰变池中停留超 180 天后，首次监测达标后，按照排水计划定期排入院内污水处理站，后纳管排放，对周围水环境影响轻微。

本项目非放射性废水主要来自于运行期间工作人员产生的生活废水，该部分废水经医院污水管网后排入医院污水处理站，处理达标后排入市政污水管网，对周围水环境影响轻微。

（3）固废影响分析

本项目核医学科产生的放射性固体废物主要是核素制备场所药物生产过程产生的废弃离子交换柱、纯化柱、滤膜、棉签及擦拭废物、质检一次性实验耗材；核素诊断及治疗相关工作产所产生的一次性注射器、口罩、手套、空药瓶、棉签以及擦试废物、一次性口杯；还包括各场所空气净化系统产生的废活性炭等。放射性固废采用专门的固废收集桶收集后，暂存于源库衰变10个半衰期（含^{131}I的放射性废物衰变超180天）经监测达标后按照普通医疗废物由当地有资质单位定期处置；回旋加速器固体靶片一般可重复使用，不需要更换。在意外损坏无法继续使用需要更换时，换下的废靶片、靶膜、过滤网按放射性固体废物处理，在回旋加速器机房内专用的铅废物桶内中暂存，由厂家或有资质单位进行回收。

本项目产生非放射性一般医疗废物包括一些药棉、纱布、手套等医用辅料，进入医疗废物暂存、管理系统。根据国家医疗垃圾管理制度，应严格执行医疗垃圾转移联单制度，由具备医疗垃圾回收处理资质的专业单位回收集中处理。工作人员产生的少量办公、生活垃圾，统一收集至医院的垃圾转运站后交由环卫部门统一处理。

综上所述，本项目产生的固体废物经妥善处理后对周围环境影响较小。

（4）废气影响分析

本项目核医学相关工作用房产生的废气均由专用排风管道汇集至核医学专用排风井，不与其他非辐射工作区域通排风系统交叉，排风口位于建筑物屋顶，相应密闭设备顶壁均设置活性炭过滤。本项目回旋加速器运行期间的臭氧和氮氧化物产生量较低，经机房通排风系统收集排放，对周围大气环境影响较小。

（5）声环境影响分析

本项目噪声主要来源于空调系统的室外机以及通排风系统的风机，本项目所使用的通排风系统为低噪声节能排风机，其噪声值低于 60dB(A)，噪声较小；空调系统的室外机其噪声值低于 58dB(A)，根据设计，建设单位拟采取隔声降噪措施，经过距离衰减后，噪声较小，对周围声环境影响较小。

（6）事故风险与防范

建设单位应按规定完善各项规章制度和事故防范措施，及时修订辐射事故应急预案并严格贯彻执行，项目建成投运后，应认真贯彻实施，以避免发生辐射事故。

13.1.6 辐射防护措施有效性结论

（1）本项目核医学科拟设置铅注射窗、专用铅分装柜（通风橱或手套箱）、铅防护屏风、铅衰变桶、表面污染监测仪、环境辐射巡测仪、个人剂量报警仪等辐射防护用具，拟配备铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护衣等个人防护用品，在满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护，减少不必要的照射；核医学储源室防护门拟设计为铅防盗门，钥匙由专人负责保管；日常期间由值班人员 24 小时监控；出入口安装摄像头及红外报警系统并入科室监控系统；拟设置放射性废水的专用管线及衰变池、放射性废气专用管线及活性炭高效过滤器、放射性废物的专用铅收集桶等，工作用房的通排风均能满足相关标准规范的要求。

（2）控制区拟设置相应的警示标志，限制无关人员进入。

（3）本项目运行后，辐射工作人员拟佩戴个人剂量计并建立个人剂量档案，定期进行职业健康体检并建立职业健康档案。拟配备个人剂量计、个人剂量报警仪，在回旋加速器机房内拟设置固定式辐射报警仪。

综上所述，本项目拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。

13.1.7 环保设施与保护目标

医院须按环评要求配备较全、效能良好的环保设施，使本次环评中确定的保护目标所受的辐射剂量保持在合理的、可达到的尽可能低的水平。

13.1.8 辐射安全管理的综合能力

建设单位目前已成立了辐射安全与防护管理委员会，并指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作；医院应根据实际情况及本报告要求，制定和完善相关辐射管理制度，以适应当前环保的管理要求；本项目建成后辐射工作人员须进行上岗培训，并进行职业健康监护和个人剂量监测，建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

13.2 项目环保可行性结论

在坚持“三同时”的原则，采取切实可行的环保措施，落实本报告提出的各项污染防治措施后，评价认为，本项目运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.3 建议与承诺

13.3.1 工作场所建设

墙体施工时应请专门的施工单位进行施工，保证混凝土密度满足要求，砖块缝隙间水泥砂浆密实饱满，并确保墙面防护涂料涂抹均匀，保证防护厚度符合要求；使用的屏 蔽防护材料应向专业厂家购置；防护门、窗安装时注意搭接处的防护，防护门与墙、窗 与墙、墙体之间搭接处重叠宽度应不小于空隙的 10 倍。

13.3.2 人员培训

根据生态环境部《关于做好 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训和考核工作有关事项的通知》（环办辐射函〔2019〕853 号）和《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（2019 年，第 57 号）精神，医院应尽快组织新增辐射工作人员与原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员到生态环境部培训平台（http:/fushe.mee.gov.cn）报名并参加考核。

13.3.3 管理制度

（1）本项目竣工环境保护验收之前，确保拟制定的管理制度完成；原有制度应结合本项目实际情况予以补充、完善。

（2）严格执行本项目在医疗工作过程中对控制区和监督区管理措施，控制人流管理措施，落实分区管理措施。

13.3.4 其它建议和要求

（1）医院应进一步加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。

（2）医院各辐射工作场所室内环境空气质量应达到《室内空气质量标准》（GB/T 18883-2022）的相关要求。

（3）加强对辐射工作人员个人剂量的管理，若发现季度监测数据超过 1.25mSv，应及时进行调查、查找原因，并采取相应的干预管理措施；定期将辐射监测设备送至有检定资质的单位进行检定，保证监测设备监测数据的有效性。

（4）医用射线装置报废前，医院应采取去功能化措施妥善处理，确保报废装置无法再次通电使用。

（5）定期进行辐射工作场所的检查及监测，如发现监测结果超过管理限制，应及时查找原因、排除事故隐患影响，把辐射影响减少到“可以合理达到的尽可能低的水平”。

（6）医院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。

（7）本项目环评审批后，医院应及时到四川省生态环境厅重新申领《辐射安全许可证》，办理前应登录“全国核技术利用辐射安全申报系统(网址 http://rr.mee.gov.cn/)”中实施申报登记。

（8）根据《建设项目环境保护管理条例》（国务院682号令），工程建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。建设项目正式投产运行前，建设单位应按规范进行项目竣工环保验收。项目投入运行后，建设单位应当按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序，自行对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，并依法向社会公开验收报告。本项目竣工环境保护验收检查一览表见表13-1。

表13-1　项目环保竣工验收检查一览表

项目		环保措施
核素制备场所	辐射屏蔽措施	屏蔽防护工程（含防护门、观察窗）
	防护设备	手套箱1台
		分装柜、合成柜共计10台
		药物转运铅罐3个
		放射性废物桶5个
		废物衰变箱6个
		铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜4套
		去污工具3套
		活度计6台
		表面污染监测仪3台
		个人剂量报警仪6台
		个人剂量计1套/人
		长柄小推车1辆
	废水	废水处理设施及相应管道
	废气	净化通风排风系统
核素诊断场所	辐射屏蔽措施	屏蔽防护工程（含防护门、观察窗、注射台）
	防护设备	储源铅箱2个
		药物铅罐2个
		手套箱1台（50mmPb当量）
		手套箱1台（20mmPb当量）
		注射器屏蔽套4套
		放射性废物桶11个

			废物衰变箱 4 个	
			铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜 6 套	
			去污工具 2 套	
			活度计 2 台	
			表面污染监测仪 2 台	
			个人剂量报警仪 4 台	
			个人剂量计 1 套/人	
		废水	废水处理设施及相应管道	
		废气	净化通风排风系统	
	核素治疗场所	辐射屏蔽措施	屏蔽防护工程（含防护门、观察窗、注射台）	
		防护设备	储源铅箱 2 个	
			药物铅罐 2 个	
			手套箱 1 台（50mmPb 当量）	
			手套箱 1 台（20mmPb 当量）	
			自动分药仪	
			放射性废物桶 12 个	
			废物衰变箱 6 个	
			铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜 4 套	
			去污工具 2 套	
			活度计 2 台	
			表面污染监测仪 2 台	
			个人剂量报警仪 4 台	
			个人剂量计 1 套/人	
		废水	废水处理设施及相应管道	
		废气	净化通风排风系统	
	其他		辐射剂量率仪 1 台（共用）	

表 14 审批

下一级环保部门预审意见： 经办人：　　　　　　　　　　公章 年　月　日
审批意见： 经办人：　　　　　　　　　　公章 年　月　日