

核技术利用建设项目

成都中医药大学附属医院

新增肿瘤放疗中心项目

环境影响报告表

(公示本)

成都中医药大学附属医院

2025年8月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

成都中医药大学附属医院

新增肿瘤放疗中心项目

环境影响报告表

建设单位名称：成都中医药大学附属医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

唐健元

通讯地址：四川省成都市金牛区十二桥路 39 号

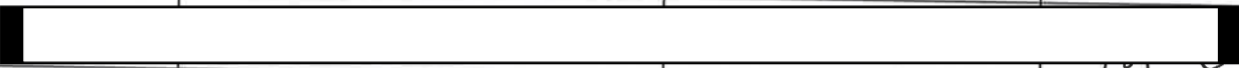
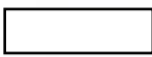
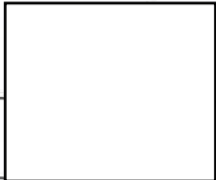
邮政编码：*

联系人：*

电子邮箱：*

联系电话：*

编制单位和编制人员情况表

项目编号	27m25v		
建设项目名称	成都中医药大学附属医院新增肿瘤放疗中心项目		
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）	成都中医药大学附属医院		
统一社会信用代码	12510000450718503F		
法定代表人（签章）			
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）	四川中环康源卫生技术服务有限公司		
统一社会信用代码	91510100782288124U		
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
			
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
	评价依据、保护目标与评价标准、环境质量和辐射现状、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理、结论与建议	BH028705	
	项目基本情况、放射源、非密封放射性物质、射线装置、废弃物	BH025602	



营业执照

(副本)

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



统一社会信用代码
91510100782288124U



名称 四川中环康源卫生技术服务有限公司
类型 有限责任公司(自然人投资或控股)

法定代表人 ☐

注册资本 壹仟万元整

成立日期 2005年12月28日

住所 成都高新区科园南路5号1栋3层1号附1号、
6层1号附2号、8层1号

经营范围 建设项目职业病危害评价乙级（职业、放射）、职业病危害因素检测与评价、放射卫生防护检测与评价（凭资质证在有效期内经营）；职业卫生技术咨询、工程技术咨询、商务信息咨询；环境保护监测；安全咨询服务；环保咨询；环保技术服务；生态资源监测（未取得相关行政许可（审批），不得开展经营活动）；环境评估服务（未取得相关行政许可（审批），不得开展经营活动）。（依法须经批准的项目，经相关部门批准后方可开展经营活动）。



登记机关

2023 年 12 月 28 日

国家企业信用信息公示系统网址: <http://www.gsxt.gov.cn>
市场主体应当于每年1月1日至6月30日通过国家企业信用信息公示系统报送公示年度报告。

国家市场监督管理总局监制

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

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



Ministry of Human Resources and Social Security

The People's Republic of China



Ministry of Environmental Protection

The People's Republic of China



No. 101241



持证人签名:

Signature of the Bearer

管理号:

File No. 11355143505510162

姓名:

Full Name

性别:

Sex

出生年月:

Date of Birth

专业类别:

Professional Type

批准日期:

Approval Date

男

1970年11月

二〇一一年九月三十日

签发单位盖章:

Issued by

签发日期:

Issued on





参保人姓名:

四川省社会保险个人参保证明

性别: 男

社会保障号码:

(一) 历年参保基本情况

险种	当前缴费状态	累计月数(个)
企业职工基本养老保险	参保缴费	232
失业保险	参保缴费	229
工伤保险	参保缴费	229
生育保险	暂停缴费(中断)	229

(二) 2023年07月至2025年06月的参保缴费明细

缴费月份	参保单位编号	参保类型	养老保险			失业保险			工伤保险			参保地
			缴费基数	单位缴纳	个人缴纳	缴费基数	单位缴纳	个人缴纳	缴费基数	单位缴纳	单位缴纳	
202307	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	24	24	成都市高新区
202308	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	24	24	成都市高新区
202309	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	24	24	成都市高新区
202310	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	24	24	成都市高新区
202311	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	24	24	成都市高新区
202312	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	24	24	成都市高新区
202401	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	24	24	成都市高新区
202402	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	24	24	成都市高新区
202403	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	24	24	成都市高新区
202404	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	24	24	成都市高新区
202405	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	24	24	成都市高新区
202406	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	24	24	成都市高新区
202407	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	24	24	成都市高新区
202408	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	24	24	成都市高新区
202409	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	24	24	成都市高新区
202410	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	24	24	成都市高新区
202411	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	24	24	成都市高新区
202412	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	24	24	成都市高新区
202501	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	30	30	成都市高新区
202502	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	30	30	成都市高新区
202503	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	30	30	成都市高新区
202504	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	30	30	成都市高新区
202505	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	30	30	成都市高新区
202506	10010703305	企业养老	15000	2400	1200	15000	90	60	15000	30	30	成都市高新区

说明: 1. 表中“单位编号”对应的单位名称为: 10010703305: 四川中环康源卫生技术服务有限公司。

2. 本证明采用电子验证方式验证, 不再加盖红色公章。如需验证, 请登陆<https://www.schrss.org.cn/scggfw/cbzmyz/toPage.do>, 凭验证码 T a 5 u g n w T N s e N R Q h 1 Q B s 验证, 验证码的有效期至2025 年 09 月 25 日(有效期三个月)。扫描左上角二维码也可验证。

打印时间: 2025年06月25日

- 3. 该表(一)历年参保基本情况中的“累计月数”不含视同缴费月数;若存在视同缴费月数或重复缴费月数情形的,以办理退休手续时核定的月数为准。
- 4. 该表(二)2023年07月至2025年06月的参保缴费明细,显示的是所选择时段的实缴到账明细,不含异地转入的基本养老保险缴费信息,未实缴到账的显示为空。
- 5. 2024年1月1日起,由税务部门征收社会保险费,缴费记录可能存在滞后。



目 录

表 1 项目基本情况 - 1 -

表 2 放射源 - 16 -

表 3 非密封放射性物质 - 16 -

表 4 射线装置 - 18 -

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） - 19 -

表 6 评价依据 - 20 -

表 7 保护目标与评价标准 - 23 -

表 8 环境质量和辐射现状 - 30 -

表 9 项目工程分析与源项 - 36 -

表 10 辐射安全与防护 - 56 -

表 11 环境影响分析 - 82 -

表 12 辐射安全管理 - 114 -

表 13 结论与建议 - 119 -

附图 1 成都中医药大学附属医院新增肿瘤放疗中心项目地理位置示意图**错误！未定义书签。**

附图 2 成都中医药大学附属医院总平面图..... **错误！未定义书签。**

附图 3 成都中医药大学附属医院肿瘤放疗中心负一层平面布局**错误！未定义书签。**

附图 4 成都中医药大学附属医院肿瘤放疗中心负二层平面布局**错误！未定义书签。**

附图 5 成都中医药大学附属医院肿瘤放疗中心负三层平面布局**错误！未定义书签。**

附图 6 成都中医药大学附属医院回旋加速器机房平面布局及剖面图**错误！未定义书签。**

附图 7 成都中医药大学附属医院医用电子直线加速器机房平面布局及剖面图**错误！未定义书签。**

附图 8 成都中医药大学附属医院后装治疗机机房平面布局及剖面图**错误！未定义书签。**

附件 1 委托书..... **错误！未定义书签。**

附件 2 一般项目环境影响报告书批复..... **错误！未定义书签。**

附件 3 辐射安全许可证正副本..... **错误！未定义书签。**

附件 4 项目本底监测报告..... **错误！未定义书签。**

附件 5 辐射安全管理领导小组文件及应急预案..... **错误！未定义书签。**

附件 6 2024 年度评估报告..... **错误！未定义书签。**

附件 7 资料确认清单..... **错误！未定义书签。**

表 1 项目基本情况

建设项目名称		成都中医药大学附属医院新增肿瘤放疗中心项目			
建设单位		成都中医药大学附属医院			
法人代表	*	联系人	*	联系电话	*
注册地址		四川省成都市金牛区十二桥路 39 号			
项目建设地点		四川省成都市金牛区十二桥路 39 号 成都中医药大学附属医院肿瘤放疗中心			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	*	项目环保总投资 (万元)	*	投资比例(环保 投资/总投资)	*
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他			占地面积(m ²)
应用 类 型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
		☒ 使用	☐ I类(医疗使用) ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☒ V类		
	非密封放 射性物质	☒ 生产	☒ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类		
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类		
		☒ 使用	☒ II类 ☒ III类		
	其他	/			
	项目概述 一、建设单位情况 成都中医药大学附属医院(又称“四川省中医院”，以下简称“医院”，其统一社会信用代码:*)创建于 1957 年，是中国最早成立的四所中医药高等院校附属医院之一，医院占地面积 7 万平方米，建筑面积 20 万平方米。作为集医疗、教学、科研、养生、保健、康复“六为一体”的三级甲等中医院，是国家中医临床研究(糖尿病)基地、国家中药临床试验研究(GCP)中心、国家中医药传承创新基地、国家中医药高级人才培养基地和国家中医药国际合作基地。是我国中西部地区中医药特色				

突出、临床学科门类齐全、自主创新能力较强、区域影响力明显、综合实力雄厚的中医医疗中心、科教中心和治未病中心，有 5 个国家区域（中医）专科（急诊、妇科、内分泌、眼科、肛肠科）诊疗中心，6 个国家卫生部临床重点专科（中医专业），13 个国家中医药管理局重点专科。

成都中医药大学附属医院已取得辐射安全许可证，其许可证证书编号为川环辐证〔00354〕，许可的种类和范围为：使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所，有效期至 2025 年 8 月 15 日。

（一）任务由来

根据医院的辐射安全许可证，移动 DR (ICU 和新生儿科等场所移动使用)、车载 CT (川 A.HJ599) 为移动使用，本项目原有核技术利用场所（辐射活动场所）主要分布如下：

- （1）核医学科位于第二住院楼二层，位于本项目建设区域的西南侧；
- （2）介入室 3、介入室 1 位于第二住院楼一层，位于本项目建设区域的西南侧；
- （3）骨密度室检测室 2、骨密度室、X 光机室 1、X 光机室 2、CT 室 2、CT 室 3、乳腺机室、第一住院楼 2 楼胃肠造影室位于门诊楼二层，位于本项目建设区域的西南侧；
- （4）口腔科 X 光机室、口腔 CT 位于门诊楼四层，位于本项目建设区域的西南侧；
- （5）第一住院楼 6 层第 13 手术间、第一住院楼 6 层第 20 手术室位于第一住院楼 6 层，位于本项目建设区域的南侧；
- （6）介入室 2 位于第一住院楼二层，位于本项目建设区域的南侧；
- （7）CT4 室位于治未病大楼二层，位于本项目建设区域的西北侧；

本项目结合原有核技术利用场所分布，原有核技术设备仅仅第一住院楼二楼的介入室 2 中的血管造影用 X 射线装置距离本项目较近，该装置利用场所进行了辐射屏蔽且中间间隔了墙体，该装置验收时均达标，故对本次选址无影响。

为了更好的满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求，以及更加精确的诊治肿瘤患者，提升医院肿瘤放疗治疗能力，医院原有的核医学科等核技术利用设备就诊已接近满负荷，故成都中医药大学附属医院于医院院内中部预留空地（现在为临时停车场）新建肿瘤放疗中心，为地上 1 层（仅设置电梯厅）、地下 3 层（内

设核医学科及放疗中心）及局部地下 4 层（局部设置污水提升间及放射性废水衰变系统）建筑，总建筑面积 6110m²（地上 385m²及地下 5725m²）。

成都中医药大学附属医院新建肿瘤放疗中心项目建成效果图见图 1-1。

*

图 1-1 成都中医药大学附属医院新建肿瘤放疗中心项目建成效果图

1、肿瘤放疗中心负二层及负三层拟设置 2 处核医学科工作场所，包括放射性药物生产制备区及病人诊断区。于负三层东北角拟配套建设 1 套地埋式放射性废水衰变系统（整套衰变系统位于局部负四层），放射性废水衰变系统包括：两个容积均为 15m³的沉淀池（总容积为 30m³，一备一用）及三个容积均为 27m³的并联衰变池（总容积为 81m³），均采用间歇式衰变的处理方式设计。

放射性药物生产制备区：1 处乙级非密封放射性物质工作场所，于场内拟新增使用 1 台自屏蔽式回旋加速器（属Ⅱ类射线装置）生产制备病人诊断区使用的放射性同位 ¹⁸F、¹¹C、¹³N、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr 及 ¹²⁴I，均根据病人诊断区患者预约按需生产，均为科病人诊断区显像诊断，不对外销售。

病人诊断区：1 处乙级非密封放射性物质工作场所，于场所内使用放射性同位 ¹⁸F、¹¹C、¹³N、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr、¹²⁴I 及 ⁶⁸Ga（由锗镓发生器淋洗而成，锗镓发生器拟向有资质的药物供货商进行购买）开展 PET/CT（属Ⅲ类射线装置）显像诊断；使用 ^{99m}Tc（由钼锝发生器淋洗而成，钼锝发生器拟向有资质的药物供货商进行购买）开展 SPECT/CT（属Ⅲ类射线装置）显像诊断；拟在敷贴治疗室内使用 1 枚 ⁹⁰Sr-⁹⁰Y 放射源（初始活度约 7.40E+07Bq，属于 V 类放射源）。

2、肿瘤放疗中心负三层拟设置放疗中心，主要包括新建 2 座医用电子直线加速器机房（为南北竖向并排排列布置），各配备 1 台 10MV 医用电子直线加速器（属Ⅱ类射线装置），均带 CBCT 图像引导系统（属Ⅲ类射线装置）；新建 1 座后装治疗机机房，配备 1 台后装机治疗机，内含 1 枚 ¹⁹²Ir 放射源（初始装源活度为 3.70E+11Bq，属Ⅲ类密封源）；新建 1 座模拟定位 CT 机房，配备 1 台模拟定位 CT（属Ⅲ类射线装置）。

（二）编制目的

为加强核技术应用项目的辐射环境管理，防止辐射污染和意外事故的发生，确保其使用过程不对周围环境和工作人员及公众产生不良影响，根据《中华人民共和国环

境保护法》《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置防护条例》等相关法律法规要求，建设方成都中医药大学附属医院需对该项目进行环境影响评价。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行）规定，本项目属于“第 172 条 核技术利用建设项目”中“**制备 PET 用放射性药物的；生产使用Ⅱ、Ⅲ射线装置的、使用医用Ⅲ类放射源及乙、丙级非密封放射性物质工作场所的**”，应编制环境影响报告表。

因此，建设单位委托四川中环康源卫生技术服务有限公司开展环境影响评价工作（委托书见附件 1）。四川中环康源卫生技术服务有限公司在接受委托后，通过现场勘察、收集资料等工作，结合本项目的特点，按照国家有关技术规范要求，编制了该项目环境影响报告表。

（三）环境影响评价报告信息公开

为进一步保障公众对环境保护的参与权、知情权和监督权，加强环境影响评价工作的公开、透明，方便公民、法人和其他组织获取生态环境主管部门环境影响评价信息，加大环境影响评价公众参与公开力度，依据国家生态环境部颁布的《建设项目环境影响评价政府信息公开指南》的规定，结合四川省生态环境厅要求，建设单位在向生态环境主管部门提交建设项目环境影响报告表前，应依法主动公开建设项目环境影响报告表全本信息。

根据以上要求，医院于2025年6月5日在成都中医药大学附属医院官网上对该项目的环境影响报告表进行了全文公示。

公示网址（<http://www.sctcm120.com/info/1092/17335.htm>）及截图如下：

5.56E+12Bq)； ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu （日最大生产量均为 3.70E+09Bq、日等效最大操作量均为 3.70E+07Bq、年最大生产量均为 3.70E+10Bq）； ^{89}Zr 及 ^{124}I （日最大生产量 3.70E+09Bq、日等效最大操作量 3.70E+08Bq、年最大生产量 3.70E+10Bq）。

本项目生产制备的放射性核素均根据病人诊断区患者预约按需生产（回旋加速器每日最多开机两次，每天生产制备核素 ^{18}F 及再根据计划生产制备 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{89}Zr 、 ^{64}Cu 、 ^{124}I 中的一种核素），均为科病人诊断区显像诊断，不对外销售。

本项目放射性药物制备区场所日等效最大操作量为 5.55E+08Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

放射性药物生产制备区所包含 1 座**回旋加速器机房**（53.04m²）：位于肿瘤放疗中心负三层东南部，机房四面墙体均为 1000mm 厚混凝土结构、顶部均为 1500mm 厚混凝土结构，防护门为 20mm 铅板+150mm 聚乙烯，机房内东南角设置核素传输井（600mm×600mm，贴墙向上，经内置核素专用传送管送至正上方药物合成热室）；**药物合成热室**（45.76m²）：位于肿瘤放疗中心负二层（回旋加速器机房正上方），四面墙体均为 300mm 厚混凝土结构、顶部及地面均为 260mm 厚混凝土结构、防护门为 6mm 铅板、北侧设置 2 处传递窗均为 8mm 铅当量，配套自屏蔽化学合成系统（内设负压高效过滤器通风系统，在计算机控制下自动化地完成药物的合成和分装），包括自屏蔽自动合成柜及自屏蔽自动分装柜（正面 70mm 铅当量、其余面 60mm 铅当量），配套药物转运铅防护罐（40mm 铅当量）及铅废物桶（20mm 铅当量）；**质控室**（22.96m²）：位于肿瘤放疗中心负二层（药物合成热室西北侧），东、南、北墙为 240mm 实心砖结构、西墙为 500mm 混凝土结构、顶部及地面均为 120mm 厚混凝土+150mm 硫酸钡涂料结构、防护门为 6mm 铅板；**无菌检测室**（12.22m²）及**阳性检查室**（19.32m²）；同时配套建设更衣室、淋浴间、退更检查间、废药间、灭菌间、拆包消毒间等辅助用房。

（2）病人诊断区

病人诊断区于拟新建的 PET/CT 机房内新增使用 1 台 PET/CT（最大管电压 140kV、最大管电流 1000mA）、于拟新建的 SPECT/CT 机房内新增使用 1 台 SPECT/CT（最大管电压 140kV、最大管电流 1000mA）用于开展显像诊断项目，均属于Ⅲ类射线装置；PET/CT 拟使用 2 枚 ^{68}Ge 放射源（活度为 7.40E+07Bq×2 枚）用于 PET/CT 设备校准，均属于 V 类放射源；拟在敷贴治疗室内使用 1 枚 ^{90}Sr - ^{90}Y 放射源，初始活度约

7.40E+07Bq，属于 V 类放射源。

根据医院前期规划，预计用于 PET/CT 显像诊断的放射性核素： ^{18}F （日最大操作量 7.40E+09Bq、日等效最大操作量 7.40E+06Bq、年最大使用量 1.85E+12Bq）； ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu （日最大操作量均为 7.40E+08Bq、日等效最大操作量均为 7.40E+06Bq、年最大使用量均为 3.70E+10Bq）； ^{89}Zr （日最大操作量 1.48E+08Bq、日等效最大操作量 1.48E+07Bq、年最大使用量 7.40E+09Bq）； ^{124}I （日最大操作量 7.40E+08Bq、日等效最大操作量均为 7.40E+07Bq、年最大使用量 3.70E+10Bq）； ^{68}Ga （日最大操作量为 1.85E+09Bq、日等效最大操作量 1.85E+07Bq、年最大使用量 4.44E+10Bq）、 ^{68}Ge （锗镓发生器用于制备 ^{68}Ga ，操作方式为贮存，日最大操作量为 1.85E+09Bq、日等效最大操作量 1.85E+06Bq、年最大使用量 3.70E+09Bq）。 ^{68}Ga 淋洗、分装及标记过程日最大操作量为 50mCi，淋洗效率约为 80%，注射、显像、留观环节日最大操作量为 12mCi，故计算场所等级时取最大值， ^{68}Ga 日最大操作量为 50mCi（1.85E+09Bq）。

用于 SPECT/CT 显像诊断的放射性核素： $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （日最大操作量为 2.96E+10Bq、日等效最大操作量 2.96E+08Bq、年最大使用量 3.70E+12Bq）、 ^{99}Mo （钼锝发生器用于制备 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，操作方式为贮存，日最大操作量为 2.96E+10Bq、日等效最大操作量 2.96E+07Bq、年最大使用量 1.48E+12Bq）。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗、分装、标记过程日最大操作量为 800mCi，钼锝发生器单次洗效率约为 90%，注射、显像、留观环节日最大操作量为 400mCi，故计算场所等级时取最大值， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 日最大操作量为 800mCi（2.96E+10Bq）。

本项目病人诊断区场所日等效最大操作量为 4.64E+08Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

病人诊断区位于肿瘤放疗中心负二层西北部，包含 **SPECT/CT 机房**（52.8m²）：四面墙体均为 300mm 厚混凝土结构+2mm 铅当量硫酸钡、顶部及地面均为 260mm 混凝土+2mm 铅当量硫酸钡、防护门为 6mm 铅板、观察窗均为 6mm 铅当量；**PET/CT 机房**（48m²）：四面墙体均为 300mm 厚混凝土结构+4mm 铅当量硫酸钡、顶部及地面均为 260mm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡、防护门为 12mm 铅当量、观察窗均为 12mm 铅当量；**分装注射室**（18.48m²，注射窗为 5mm 铅当量铅玻璃（SPECT/CT）及 20mm 铅当量铅玻璃（PET/CT），配备 3 套手套箱均为 60mm 铅当量）、**注射室**（5.88m²）、**储源室**（5.98m²）、**PET/CT 注射后等候室**（12.54m²）、**SPECT/CT 注射后等候室**

(15.30m²)、PET/CT 留观室 (18.26m²)、SPECT/CT 留观室 (13.99m²) 及放射性废物暂存间 (3.26m²) 四周墙体均为 300mm 厚现浇混凝土, 楼顶和地面均采用 260mm 厚现浇混凝土, 防护门为 4mm 铅板, 同时配套建设医生办公室、PET/CT 控制室、设备间等辅助用房。

本项目核医学科于肿瘤放疗中心负三层东北角拟配套建设 1 套地埋式放射性废水衰变系统 (整套衰变系统位于局部负四层), 放射性废水衰变系统包括: 两个容积均为 15m³ 的沉淀池 (总容积为 30m³, 一备一用) 及三个容积均为 27m³ 的并联衰变池 (总容积为 81m³), 均采用间歇式衰变的处理方式设计。

2、放疗中心

拟在肿瘤放疗中心负三层设置放疗中心, 主要包括 2 座医用电子直线加速器机房、1 座后装治疗机机房、1 座模拟定位 CT 机房及各配套使用用房。

(1) 医用电子直线加速器

本项目于拟新建的 2 座医用电子直线加速器机房内各新增使用 1 台 10MV 医用电子直线加速器, 设备型号待定, 其主要参数均为: X 射线最大能量为 10MV, 10MV 时 1 米处最大输出剂量率为 24Gy/min, 电子线最大能量为 18MeV, 电子线等中心 1 米处最大剂量率为 10Gy/min, 均带 CBCT 图像引导系统 (最大管电压 150kV、最大管电流 1000mA, 属 III 类射线装置), 无调强功能, 医用电子直线加速器属 II 类射线装置, 其主射方向均朝向东北侧、西南侧、屋顶及地面。根据医院预测的诊疗需要, 预估每台医用直线加速器总出束时间约为 883.3h/a (包括治疗出束时间 833.3h/a 及物理师质控时间 50h/a)。

本次拟新建的 2 座医用电子直线加速器机房为南北竖向并排排列布置 (1#机房西南侧主屏蔽墙体与 2#机房东北侧主屏蔽墙体共用), 位于负三层放疗中心西南部, 机房室内有效使用面积均约为 58.32m² (不含迷道), 机房净空尺寸均为长 8.10m×宽 7.2m×高 3.95m (不含迷道), 2 座机房四周墙体、迷道及屋顶均为钢筋混凝土结构, 其主射方向均朝向东北侧、西南侧、屋顶及地面; 迷道均位于东南侧, 为 9.15m 长 “L” 型迷道, 2 座机房均配置了控制室 (均位于 2 座机房的东南侧)、缓冲间及设备机房。

1#机房东北侧墙体主屏蔽部分为 3.00m 厚混凝土 (宽 4.80m), 相连次屏蔽部分为 1.70m 厚混凝土, 西南侧墙体 (与 2#机房共用) 主屏蔽部分为 3.00m 厚混凝土 (宽 5.10m), 相连次屏蔽部分为 1.70m 厚混凝土, 顶部主屏蔽部分为 3.10m 厚混凝土 (宽

4.80m），相连次屏蔽部分为 1.70m 厚混凝土；其余西北侧、迷道内墙及迷道外墙均为 1.50m 厚混凝土。

2#机房东北侧墙体（与 1#机房共用）主屏蔽部分为 3.00m 厚混凝土（宽 5.10m），相连次屏蔽部分为 1.70m 厚混凝土，西南侧墙体主屏蔽部分为 3.00m 厚混凝土（宽 4.80m），相连次屏蔽部分为 1.70m 厚混凝土，顶部主屏蔽部分为 3.10m 厚混凝土（宽 4.80m），相连次屏蔽部分为 1.70m 厚混凝土；其余西北侧、迷道内墙及迷道外墙均为 1.50m 厚混凝土。2 座机房迷道入口防护门均设计为 16mm 铅当量电动钢板夹芯平移防护门。

（2）后装治疗机

本项目拟于后装治疗机机房内新增使用 1 台后装治疗机，型号待定，内含 1 枚 ^{192}Ir 放射源，初始装源活度为 $3.70\text{E}+11\text{Bq}$ ，属 III 类放射源。根据医院预测的诊疗需要，预估后装治疗机年总出束时间约为 675h/a（包括治疗出束时间 650h/a 及物理师质控时间 25h/a）。

后装治疗机机房位于负三层放疗中心东北部，室内面积约为 25m^2 （不含迷道），机房净空尺寸为长 5.00m×宽 5.00m×高 4.85m，其四周墙体、迷道及屋顶均为混凝土结构，迷道位于机房北侧，为 5.00m 长“L”型迷道。

后装治疗机机房东南侧墙体、东北侧墙体、迷道内墙、迷道外墙及顶部均为 0.80m 厚混凝土；西南侧墙体（与回旋加速器机房共用）为 1.00m 厚混凝土；机房迷道入口防护门设计为 10mm 铅当量电动钢板夹芯平移防护门。

（3）模拟定位 CT

本项目拟于模拟定位 CT 机房内新增使用 1 台模拟定位 CT，型号待定，其最大管电压 140kV、最大管电流 1000mA，属 III 类射线装置。

模拟定位 CT 机房位于负三层放疗中心中部，其室内有效使用面积约为 30.3m^2 ，机房净空尺寸为长 6.93m×宽 6.06m×高 6.30m，其四周墙体为 370mm 实心砖结构，顶部为 260mm 混凝土楼板，防护门均为 3mm 铅当量防护铅门，观察窗为 3mm 铅当量铅玻璃。

（三）项目组成内容及环境问题

本项目主要组成内容及可能产生的环境问题见表 1-1。

表 1-1 项目组成内容及主要环境问题

*

(四) 项目依托工程

1、依托办公设施：

依托拟建设的肿瘤放疗中心医生办公室。

2、依托环保设施：

(1) 医院设有医疗废物暂存间，产生的医疗废物在此集中暂存，医院委托有资质单位进行统一收集、清运和处置；医院设有生活垃圾暂存间，产生的生活垃圾及办公垃圾分类收集后，暂存至生活垃圾暂存间，由市政环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。

(2) 本项目产生的医疗废水及生活污水依托医院原有污水处理站处理，该污水处理站采用“二级生化+次氯酸钠消毒”工艺，医院废水经埋地式污水处理站处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）中处理标准后排入市政污水管网，再经成都市第九净水厂进一步处理达标，尾水排入锦江，该污水处理设施处理能力能够满足生活污水及医疗废水的排放需求。

(3) 本项目新建非密封放射性物质工作场所内设置有放射性废物暂存间，用于暂存工作期间产生的放射性固废，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 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，按照医疗废物执行转移联单制度，最终交由有资质单位进行统一收集、清运和处理。

(五) 本项目主要原辅材料及能耗情况

表 1-2 本项目主要原辅材料及耗能情况

*

(六) 本项目所涉及放射源及射线装置

本项目所涉及放射源及射线装置情况见表 1-3 及表 1-4。

表 1-3 本项目所涉及放射源情况

*

表 1-4 本项目所涉及射线装置情况

*

(七) 本项目所涉及放射性核素

本项目核医学科所涉及放射性核素特性及用量见表 1-5~表 1-7。

表 1-5 本项目核医学科所涉及放射性核特性一览表

*

表 1-6 本项目核医学科（放射性药物生产制备区）所涉及放射性核素用量情况

*

表 1-7 本项目核医学科（病人诊断区）所涉及放射性核素用量情况

*

（八）本项目非密封放射性物质工作场所分级

本项目核医学科放射性药物制备区拟使用回旋加速器生产放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{124}I 用于 PET/CT 显像诊断；拟使用锗镓发生器制备放射性核素 ^{68}Ga 用于 PET/CT 显像诊断；拟使用钼锝发生器淋洗制备放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用于 SPECT/CT 显像诊断，本项目生产制备的放射性核素均根据病人诊断区患者预约按需生产，均为科病人诊断区显像诊断，不对外销售。

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，工作场所人流及物流具有自己的独立通道，不与其他楼层交叉等条件。

根据设计院提供的平面布局可知，本项目核医学科工作场所主要包括放射性药物生产制备区和病人诊断区：病人诊断区位于瘤放疗中心负二层，仅回旋加速器机房位于瘤放疗中心负三层（制备核素通过回旋加速器机房内装配的传输管道运送至正上方负二层药物合热室合成装置内自动完成药物的合成，质控室等配套房间紧邻药物合热室），放射性药物生产制备区和病人诊断区场所各自满足相对独立、具有明确的监督区和控制区划分，工艺流程连续完整，有相对独立的辐射防护措施，除此以外，两个工作场所的放射性三废处理上设计和布局各自独立、工作人员也各自独立配置，因此将放射性药物生产制备区和病人诊断区场所两个单独场所进行日等效操作量核算。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 提供的放射性同位素工作场所放射性核素日等效最大操作计算方法和建设单位提供的放射性同位素最大日操作量，可以计算出核素的日等效最大操作量。

非密封源工作场所的分级判据如表 1-8。

表 1-8 非密封放射性物质工作场所的分级

*

放射性同位素的日等效最大操作量根据其毒性组别、操作方式、放射源状态和实际日最大操作量确定。毒性组别和操作方式与放射源状态修正因子见表 1-9。

表 1-9 放射性核素毒性组别修正因子

*

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）。

根据本项目非密封放射性物质工作场所使用放射性同位素的毒性组别、操作方式和日等效操作量，确定出本项目非密封放射性物质工作场所级别，见表 1-10。

表 1-10 本项目使用的放射性核素日等效最大操作量核算

*

注：1.本项目生产制备的放射性核素均根据病人诊断区患者预约按需生产，均为科病人诊断区显像诊断，不对外销售；

2.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）：放射性药品生产中，分装，标记等活动视为“简单操作”；

3.医院回旋加速器每日最多开机两次，每天生产制备核素¹⁸F及再根据计划生产制备其他任何一种核素，故选取日等效操作量最大的核素¹²⁴I计算。

综上所述，根据《电离辐射防护与辐射源安全标准》（GB18871-2002）规定，本项目放射性药物制备区场所日等效最大操作量为 5.55E+08Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

表 1-11 本项目使用的放射性核素日等效最大操作量核算（续表）

*

综上所述，根据《电离辐射防护与辐射源安全标准》（GB18871-2002）规定，本项目病人诊断区场所日等效最大操作量为*，均属于乙级非密封放射性物质工作场所。

四、工作制度及人员配置

工作制度：本项目辐射工作人员年工作天数为 250 天，实行 8 小时工作制。

人员配置：本项目拟配置辐射工作人员 37 名，均为新增辐射工作人员。

表 1-12 本项目辐射工作人员配置情况

*

根据医院初步规划本项目拟配置的辐射工作人员均定岗定职，不存在交叉工作的

情况，不涉及剂量叠加，医院应做好辐射工作人员管理工作。本项目投入运营后，医院也将根据其发展规划持续引进技术熟练的核医学科及肿瘤科医生、技师及护士，医院应做好辐射工作人员管理工作。

*

五、项目产业政策符合性

本项目系核技术应用项目在医学领域内的运用。根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，属于鼓励类中第三十七项“卫生健康”的第 1 条“医疗服务设施建设”，是目前国家鼓励发展的项目。本项目的运营可为本地区及周边病人提供诊疗服务，是提高人民群众生活质量，提高医疗卫生水平和建设小康社会的重要内容，本项目具有放射实践的正当性，符合现行的国家产业政策。

六、实践正当性分析

本项目通过建设肿瘤放疗中心目的在于提升医院肿瘤治疗的手段和能力，为当地人民群众提供更好的、更加全面的医疗服务，实践过程中采取了可能的辐射防护措施，在患者得到诊疗预期效果的同时，对周围环境、公众的辐射影响满足国家辐射防护安全标准的要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践正当性”的要求。

七、项目外环境关系及场址选址情况

（一）医院外环境关系

成都中医药大学附属医院位于成都市金牛区十二桥路 39 号，医院院界东侧为成都中医药大学（十二桥校区）；南侧为蜀都大道十二桥路；西侧为一环路西三段；北侧依次为青羊东一路 95 号院、47 号院、39 号院及青羊东一路。

（二）本项目辐射工作场所外环境关系

本项目肿瘤放疗中心位拟建于医院院内中部预留空地（现在为临时停车场）区域，肿瘤放疗中心为地上 1 层（仅设置电梯厅）、地下 3 层（内设核医学科及放疗中心）及局部地下 4 层（局部设置污水提升间及放射性废水衰变系统）建筑。负二层及负三层核医学科及放疗中心距地面高差约 15m~20m，其东侧 50m 范围内依次为院内道路、停车位、食堂（平面距离约 22m）、行政楼（平面距离约 25m）及药剂科（平面距离约 30m）；南侧 50m 范围内依次为院内道路及第一住院大楼（平面距离约 18m）；西侧 50m 范围内依次为院内道路、绿化区域、锅炉房、第三住院大楼（平面距离约 16m）

及制氧站；北侧 50m 范围内依次为院内道路、停车位、脑神经内科病房（平面距离约 15m）及家属区一栋（平面距离约 40m）。

（三）选址合理性分析

成都中医药大学附属医院已获得了成都市生态环境局关于《成都中医药大学附属医院（四川省中医院）改扩建工程（一期）项目环境影响报告书的审查批复》（川环评审〔2020〕15 号）（见附件 2），医院选址合理性已在相关环评报告中进行了论述，本项目仅为医院内部原停车场区域新建肿瘤放疗中心（地上 1 层仅设置电梯厅及地下 3 层，内设核医学科及放疗中心），本用地属于医疗卫生用地，不新增用地且拟建的辐射工作场所均位于地下负二及负三层，具有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射通过采取相应的治理措施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。

八、项目单位核技术应用现状

（一）原有辐射安全许可情况

成都中医药大学附属医院现持有四川省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》（证书编号川环辐证〔00354〕），有效期至 2025 年 08 月 15 日，许可种类和范围为：使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。辐射安全许可证正副本见附件 3。

成都中医药大学附属医院现有核技术利用情况见表 1-13。

表 1-13 成都中医药大学附属医院现有核技术利用情况一览表

*

表 1-13 成都中医药大学附属医院现有核技术利用情况一览表（续表）

*

（二）医院辐射安全管理现状

1、辐射工作人员培训情况

成都中医药大学附属医院目前登记有辐射工作人员 227 人，其中 225 人已参加辐射安全和防护知识培训并合格持证上岗。根据 2020 年 3 月生态环境部发布的《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部 2021 年第 9 号公告），针对原仅有从事 III 类射线装置使用工作的未持证辐射工作人员，医院已组织人员集中学习相关课件与视频课程，并从国家核技术利用辐射安全与防护培训平台题库中抽取对应科目

考题编写试卷，组织未持证人员进行闭卷考核，并已对考核结果存档。

医院现有的，持上岗证辐射工作人员证书均在有效期内。根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年 第 57 号）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。

（三）辐射工作人员个人剂量情况

医院已为每名辐射工作人员均配有个人剂量计，但因非所有辐射工作人员全年参与辐射工作场所工作，且部分人员为新入职或调岗，故部分人员部分季度未进行剂量监测。

*

医院已进行调查，并召开人员个人剂量超标调查会议，安排对该三名辐射工作人员进行职业健康体检并暂停放射相关工作，复查后结果正常已返岗继续从事放射相关岗位工作，第三及第四季度无个人剂量计超标。

医院应根据现有核技术利用情况，完善辐射工作人员个人剂量管理制度，并加强辐射安全管理。

（四）辐射工作人员体检情况

医院已对所有入职、在职和离职人员均组织了岗前、在岗和离岗职业健康体检并建档管理，目前在岗的辐射工作人员的职业健康体检结果均合格。

（五）辐射工作场所辐射环境监测情况

医院已委托有资质的检测公司开展了 2024 年度辐射工作场所辐射环境监测，根据监测结果，*。

（六）年度评估报告

医院在全国核技术利用辐射安全申报系统（rr.mee.gov.cn）中提交了“2024 年度四川省核技术利用单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告”，医院对 2024 年度的辐射场所的安全和防护状况以及辐射管理情况进行了评估说明。

*

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	活度种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	⁶⁸ Ge	7.40E+07 ×2 枚	V类	使用	校准源	PET/CT	校准源室	本次环评
2	⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	7.40E+07 ×1 枚	V类	使用	敷贴治疗	敷贴治疗室	储源箱	本次环评
3	¹⁹² Ir	3.70E+11 ×1 枚	III类	使用	放射治疗	后装治疗机机房	后装机内	本次环评

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	¹⁸ F	液态/低毒 T _{1/2} =109.8min	生产使用	1.85E+10	1.85E+08	5.56E+12	生产使用	简单操作 1	核医学科 放射性药物 制备区	提前制定计划，按需生产，当日使用完毕
2	¹¹ C	液态/低毒 T _{1/2} =20.39min	生产使用	3.70E+09	3.70E+07	3.70E+10	生产使用	简单操作 1		
3	¹³ N	液态/低毒 T _{1/2} =10min	生产使用	3.70E+09	3.70E+07	3.70E+10	生产使用	简单操作 1		
4	⁸⁹ Zr	液态/中毒 T _{1/2} =78.4h	生产使用	3.70E+09	3.70E+08	3.70E+10	生产使用	简单操作 1		
5	⁶⁴ Cu	液态/低毒 T _{1/2} =12.7h	生产使用	3.70E+09	3.70E+07	3.70E+10	生产使用	简单操作 1		
6	¹²⁴ I	液态中毒 T _{1/2} =4.18d	生产使用	3.70E+09	3.70E+08	3.70E+10	生产使用	简单操作 1		
7	¹⁸ F	液态/低毒 T _{1/2} =109.8min	生产使用	7.40E+09	7.40E+06	1.85E+12	PET/CT 显像	很简单操作 10	核医学科 放病人诊断	提前制定计划，按需生产，

8	^{11}C	液态/低毒 $T_{1/2}=20.39\text{min}$	生产 使用	7.40E+08	7.40E+06	3.70E+10	PET/CT 显像	简单操作 1	区	自动分装后转移至手套箱， 当日使用完毕
9	^{13}N	液态/低毒 $T_{1/2}=10\text{min}$	生产 使用	7.40E+08	7.40E+06	3.70E+10	PET/CT 显像	简单操作 1		
10	^{89}Zr	液态/中毒 $T_{1/2}=78.4\text{h}$	生产 使用	1.48E+08	1.48E+07	7.40E+09	PET/CT 显像	简单操作 1		
11	^{64}Cu	液态/低毒 $T_{1/2}=12.7\text{h}$	生产 使用	7.40E+08	7.40E+06	3.70E+10	PET/CT 显像	简单操作 1		
12	^{124}I	液态中毒 $T_{1/2}=4.18\text{d}$	生产 使用	7.40E+08	7.40E+07	3.70E+10	PET/CT 显像	简单操作 1		
14	^{68}Ga	液态/低毒 $T_{1/2}=68.3\text{min}$	使用	1.85E+09	1.85E+07	4.44E+10	PET/CT 显像	简单操作 1		暂存在储源室，使用时转移至手套箱
15	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液态/低毒 $T_{1/2}=6.02\text{h}$	使用	2.96E+10	2.96E+08	3.70E+12	SPECT/CT 显像	简单操作 1		
13	^{68}Ge	液态/中毒 $T_{1/2}=288\text{d}$	使用	1.85E+09	1.85E+06	3.70E+09	锗镓发生器 制备 ^{68}Ga	源的贮存 100		
15	^{99}Mo	固态/中毒 $T_{1/2}=2.75\text{d}$	使用	2.96E+10	2.96E+07	1.48E+12	钼铈发生器 制备 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	源的贮存 100		

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	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	回旋加速器	II	1	未定	质子	最大质子束流能量 20MeV 最大质子束流强度 100μA		核素制备	肿瘤放疗中心负三层 回旋加速器机房	拟购
2	直线加速器	II	2	未定	电子	X 射线最大能量为 10MV，1 米处最大输出剂量率为 24Gy/min；电子线最大能量为 18MeV，电子线等中心 1 米处最大剂量率为 10Gy/min；CBCT 图像引导系统 150kV/1000mA，无调强功能		放射治疗	肿瘤放疗中心负三层 放疗中心 1#、2#直线 加速器机房	拟购

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	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	SPECT/CT	III	1	未定	140kV	1000mA	放射诊断	肿瘤放疗中心负二层核医学科 病人诊断区	拟购
2	PET/CT	III	1	未定	140kV	1000mA	放射诊断		拟购
3	模拟定位 CT	III	1	未定	140kV	1000mA	放射诊断	肿瘤放疗中心负三层放疗中心 模拟定位 CT 机房	拟购

(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	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
沾有放射性核素的一次性注射器、口罩、手套、废药瓶、离子交换柱、纯化柱、废试纸条以及擦拭废物等	固体	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{89}Zr 、 ^{64}Cu 、 ^{124}I 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	/	小于清洁解控水平	暂存于铅废物桶内，随后转移至废物间	达到清洁解控水平后，由医院统一作为普通医疗废物处理
回旋加速器产生的有靶废料等	固态	/	/	/	/	/		
医用电子直线加速器退役废靶	固态	/	/	/	/	/	/	交有资质单位收贮
药物制备少量废液、质检废液、含放射性核素的卫生间下水及清洗废水等	液体	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{89}Zr 、 ^{64}Cu 、 ^{124}I 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	约 20m ³	约 240m ³	总 β <10 Bq/L	暂存于放射性衰变池系统内	经检测符合标准后直接排至医院的污水处理站进行处理
含有液态放射性药物分装时挥发的微量气溶胶	气体	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{89}Zr 、 ^{64}Cu 、 ^{124}I 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	微量	微量	微量	不暂存	在手套箱/生物安全柜内操作，经/生物安全柜管道内及屋顶排放口活性炭装置过滤后排放
感生放射性气体	气体	^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar 等活化气体	/	/	/	/	不暂存	
臭氧和氮氧化物	气体	/	/	微量	微量	微量	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温条件下 50 分钟后可自动分解为氧气
废活性炭，废过滤器	固体	/	/	/	/	小于清洁解控水平	更换后暂存在废物间内	存放十个半衰期，由医院统一作为普通废物处理
退役放射源、退役敷贴器	固体	^{68}Ge 、 ^{90}Sr - ^{90}Yi 、 ^{192}Ir	/	/	/	/	不暂存	交由厂家收贮
退役锗镓发生器及钼铈发生器	固体	/	/	/	/	/	不暂存	交由厂家收贮

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）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 日发布施行；2014 年 4 月 24 日修订，2015 年 1 月 1 日起施行； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修正版），2018 年 12 月 29 日发布施行； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起实施； (4) 《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，2005 年 12 月 1 日起施行；2019 年修正，国务院令 709 号，2019 年 3 月 2 日施行； (5) 《建设项目环境保护管理条例》，（2017 年修订版），国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日发布施行； (6) 《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 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行； (7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》，生态环境部第 16 号令，自 2021 年 1 月 1 日起施行； (8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行； (9)《射线装置分类》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告，2017 年 第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行； (10) 《放射源分类办法》，国家环保总局公告 2005 年第 62 号，2015 年 12 月 23 日起施行； (11) 《放射性废物安全管理条例》，中华人民共和国国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行； (12) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》（环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告，2017 年公告第 65 号公布，2018 年 1 月 1 日起施行； (13) 《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； (14) 《四川省辐射污染防治条例》， 2016年6月1日起实施。
------	---

技术标准	(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016)； (2) 《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)； (3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)； (4) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) (5) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)； (6) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)； (7) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)； (6) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)； (8) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)； (9) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)； (10) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分一般原则》(GBZ/T 201.1-2007)； (11) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分一般原则：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011)； (12) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014)； (13) 《后装γ源近距离治疗质量控制检测规范》(WS 262-2017)； (14) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005)。
其他	(1) 《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》国家环保总局，环发[2006]145 号，2006 年 9 月 26 日起施行； (2) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部，公告 2019 年第 57 号，2020 年 1 月 1 日起施行； (3) 《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部，公告 2019 年第 38 号，2019 年 11 月 1 日起施行； (4) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》生态环境部公告 2019 年第 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行； (5) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部，公告 2019 年

	第 39 号，2019 年 11 月 1 日起启用； （6）生态环境部辐射源安全监管司关于核医学标准相关条款咨询的复函，辐射函〔2023〕20 号，2023 年 9 月 11 日； （7）生态环境部核技术利用监督检查技术程序（2020 版）； （8）四川省生态环境厅关于印发《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》的通知，川环函[2016]1400 号； （9）医院提供的相关资料及设计图纸。
--	---

表 7 保护目标与评价标准

一、评价范围

根据本项目的特点并参照《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》（HJ 10.1-2016）中“核技术利用建设项目环境影响评价报告书的评价范围和保护目标的选取原则：放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”，确定为成都中医药大学附属医院本次新增肿瘤放疗中心项目所在工作场所实体屏蔽墙体外周边 50m 范围内作为评价范围，详见附图 2。

二、保护目标

本项目周围 50m 范围均位于医院院区内。50m 评价范围内除涉及部分居民区外无学校等其他环境敏感点。本项目辐射环境保护目标为医院辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患、陪同家属及院内公众，详见表 7-1。

表 7-1 本项目评价范围内辐射环境保护目标一览表

*

三、评价标准

（一）环境质量标准

- 1、地表水：执行《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）中的Ⅲ类水域标准；
- 2、大气环境：执行《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）及其修改单中二级标准；
- 3、声环境：执行《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中的 2 类标准。

（二）污染物排放标准

1、废水：生活废水排入设置有二级污水处理厂的城镇排水系统污水，执行《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准；医疗废水执行《医疗机构水污染排放标准》（GB18466-2005）中表 2 排放标准。

2、废气：执行《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）二级标准。

3、噪声：施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）中相关标准，营运期执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）2 类标准。

4、固体废物：执行《一般工业固体废物储存、处置场污染物控制标准》（GB 18599-2001）及其修改单相关标准；如有危险废物产生，执行《危险废物贮存污染控制

标准》（GB 18597-2001）及其修改单相关标准。

（三）辐射防护标准

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的相关规定。

二、辐射环境评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

（1）职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 4.3.2.1 条的规定，对任何工作人员，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯平均）20mSv。评价要求按上述标准限值的 1/4 作为本项目职业照射年有效剂量管理限值，即 5mSv/a。

（2）公众照射：第 B1.2.1 条的规定，实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过年有效剂量 1mSv。项目管理限值按上述标准中规定的公众照射年有效剂量限值的 1/10 执行，即 0.1mSv/a 管理限值。

（3）辐射工作场所的分区：

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

1）控制区：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。

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

2、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）：

4.8 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合 GB 18871-2002 中剂量限值相关规定。

4.9 从事放射治疗工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求：

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。

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a）治疗室墙和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面 30cm 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 1）和 2）所确定的剂量率参考控

制水平 $\dot{H}_c$:

1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子(可依照附录 A 选取),由以下周剂量参考控制水平($\dot{H}_c$)求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}(\mu\text{Sv/h})$:

机房外辐射工作人员: $\dot{H}_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$; 机房外非辐射工作人员: $\dot{H}_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

2) 按照关注点人员居留因子的不同,分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,\max}(\mu\text{Sv/h})$:

人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,\max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$;

人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,\max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射,以年剂量 $250\mu\text{Sv}$ 加以控制。

c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶,机房顶外表面 30 cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100\mu\text{Sv/h}$ 加以控制(可在相应位置处设置辐射告示牌)。

3、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021):

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下,职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a ;

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a 。

6.1 屏蔽要求

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

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

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

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内,并应有适当屏蔽。

7.2 固体放射性废物的管理

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

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 0.08Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/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。

7.3.3 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），监测结果经监管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L 、总 β 不大于 10Bq/L 、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L 。

7.3.3.2 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。

4、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

引自“第 6 款 X 射线设备机房防护设施的技术要求”内容，如下：

6.1.1 应合理设置 X 射线设备、机房门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

6.1.2 X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。

6.1.3 每台固定使用 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；

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和改建项目和技术改造、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 3 的规定。

表 3 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

*

6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 3 的规定。

6.2.2 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。

表 4 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

*

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a) 具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

*

6.5.3 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。

6.5.4 应为儿童的 X 射线检查配备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小于 0.5mmPb。

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表 5 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

*

7.4 CT 设备操作的防护安全要求

7.4.1 CT 工作人员应根据临床的实际需要，正确选取并优化设备工作参数，在满足诊断需要的同时，尽可能减少受检者受照剂量。

7.4.2 对儿童进行 CT 检查时，应正确选取扫描参数，以减少受照剂量，使儿童的 CT 应用达到最优化。

三、辐射环境评价标准限值

1、个人剂量管理限值

（1）职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 4.3.2.1 条的规定，对任何工作人员，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯平均）20mSv。对于职业人员项目，要求按上述标准中规定的职业照射年有效剂量约束限值的 1/4 执行（即 5mSv/a）。本项目评价标准按上述标准中规定的职业照射年有效剂量约束限值的 1/4 执行，即 5mSv/a。

（2）公众照射：第 B1.2.1 条的规定，实践使公众中有关关键人群组的成员所受到

的平均剂量估计值不应超过年有效剂量 1mSv。项目要求按上述标准中规定的公众照射年有效剂量约束限值的 1/10 执行，即 0.1mSv/a。

2、放射性表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）表 B11 工作场所的放射性表面污染的控制水平见表 6。

*

3、工作场所内外控制剂量率

（1）距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h，即“控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ），周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h；控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 10μSv/h。”

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

回旋加速器机房边界周围剂量率控制水平参照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）等有关规定，回旋加速器机房屏蔽体外 30cm 处剂量率目标控制值为 2.5μSv/h，顶部人员不可达处剂量率目标控制值为 10μSv/h。

（2）医用电子直线加速器机及后装治疗机机房边界周围剂量率控制水平参照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）等相关标准要求，医用电子直线加速器机房及后装治疗机机房屏蔽体外人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ，人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

根据《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS 262-2017），距离贮源器表面 5cm 泄露辐射所致周围剂量当量率不超过 50μSv/h；距离贮源器表面 100cm 泄露辐射所致周围剂量当量率不超过 5μSv/h。

模拟定位 CT 机房边界周围剂量率控制水平参照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）等相关标准要求，模拟定位 CT 机房外的周围剂量当量率应不大于为 2.5 μ Sv/h。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理和场所位置

1、成都中医药大学附属医院外环境关系

成都中医药大学附属医院位于成都市金牛区十二桥路 39 号，医院院界东侧为成都中医药大学（十二桥校区）；南侧为蜀都大道十二桥路；西侧为一环路西三段；北侧依次为青羊东一路 95 号院、47 号院、39 号院及青羊东一路。

2、肿瘤放疗中心外环境关系

本项目拟建设肿瘤放疗中心位于院内中部预留空地（现在为临时停车场），肿瘤放疗中心为地上 1 层（仅设置电梯厅）及地下 3 层（内设核医学科及放疗中心），其东侧 50m 范围内依次为院内道路、停车位、食堂、行政楼及药剂科；南侧 50m 范围内依次为院内道路及第一住院大楼；西侧 50m 范围内依次为院内道路、绿化区域、锅炉房、第三住院大楼及制氧站；北侧 50m 范围内依次为院内道路、停车位、脑神经内科病房及家属区一栋。

3、辐射工作场所外环境关系

（1）核医学科

核医学科位于拟新建的肿瘤放疗中心负二层，包括放射性药物生产制备区和病人诊断区，并于肿瘤放疗中心负三层东北角拟配套建设 1 套地埋式放射性废水衰变系统（整套衰变系统位于局部负四层），放射性废水衰变系统包括：两个容积均为 15m³ 的沉淀池（总容积为 30m³）及三个容积均为 27m³ 的并联衰变池（总容积为 81m³），均采用间歇式衰变的处理方式设计。

1) 放射性药物生产制备区

核医学科放射性药物生产制备区所包含 1 座回旋加速器机房，位于肿瘤放疗中心负三层东南部，机房内东南角设置专用核素传输井（600mm×600mm，贴墙向上，经内置核素专用传送管送至正上方药物合成热室）；配套功能用房包括药物合成热室位于（回旋加速器机房正上方）、质控室、检查室、无菌检测室、废药间及库房等均位于肿瘤放疗中心负二层。

回旋加速器机房其东侧为土层结构；南侧 50m 范围内依次为通道、患者侯梯厅、

楼梯间及土层结构；西侧 50m 范围内依次为设备间、控制室、卫生通过间、植入室、污物间、患者走廊、抢救室、直线加速器机房等；北侧 50m 范围内依次为后装治疗机机房、检修室、库房、楼梯间、办公室、计划室等；下方为土层结构，正上方为负二层药物合热室。

药物合热室其东侧为土层结构；南侧 50m 范围内依次为通道、患者侯梯厅、楼梯间及土层结构；西侧 50m 范围内依次为库房、废药间、更衣室、洁净区域、核医学科病人诊断区等；北侧 50m 范围内依次为药物运送通道、质控室、检查室、无菌检测室、库房、楼梯间及办公室等；下方为回旋加速器机房，正上方为负一层设备间、准备室及库房。

2) 病人诊断区

核医学科病人诊断区位于肿瘤放疗中心负二层西部，其东侧 50m 范围内依次为洁净区域、核医学科放射性药物生产制备区配套功能用房区域及土层结构；南侧 50m 范围内依次为通道、患者侯梯厅、楼梯间、病人候诊区、护士站、卫生间等及土层结构；西侧 50m 范围内依次为质控工具室、封闭空间及土层结构；北侧 50m 范围内依次为医用侯梯厅、采光天井及土层结构；正上方为负一层空调机房、控制廊、放射用机房、碎石机房等，正下方为负三层放疗中心。

(2) 放疗中心

放疗中心位于拟新建的肿瘤放疗中心负三层，包括 2 座直线加速器机房、1 座后装治疗机机房、1 座模拟定位 CT 机房及各配套功能用房。

1) 直线加速器机房其东侧 50m 范围内依次为设备机房、控制室、缓冲间、通道、模拟定位 CT 机房、抢救室、植入室、控制室、污物间及回旋加速器机房等及土层结构；南侧 50m 范围内依次为通道、电梯厅及土层结构；西侧为土层结构；北侧 50m 范围内依次为医用侯梯厅办公室、采光天井及土层结构；正上方为负二层核医学科病人诊断区、质控室工具室及封闭空间，正下方为土层结构。

2) 后装治疗机机房其东侧为土层结构；南侧 50m 范围内依次为回旋加速器机房、患者侯梯厅、楼梯间及土层结构；西侧 50m 范围内依次为控制室、模拟定位 CT 机房、直线加速器机房及土层结构；北侧 50m 范围内依次为检修室、库房、楼梯间及土层结构；正上方为负二层检查室等，正下方为土层结构。

3) 模拟定位 CT 机房其东侧 50m 范围内依次为控制室、通道及后装治疗机机房；

南侧 50m 范围内依次为抢救室、消毒间、通道、模具室及土层结构；西侧 50m 范围内依次为通道、控制室、设备机房、直线加速器机房及土层结构；北侧 50m 范围内依次为通道、计划室、采光天井及土层结构；正上方为负二层核医学科病人诊断区，正下方为土层结构。

本项目拟建设的肿瘤放疗中心拟建址周围环境现状见图 8-1 至图 8-6。

*

二、辐射环境现状评价

本项目为新增肿瘤放疗中心项目，为使用Ⅱ、Ⅲ类射线装置，使用Ⅲ、Ⅴ类放射源及乙级非密封放射性物质工作场所，主要污染因子为工作场所运行时产生的 X 射线、 γ 射线、中子及 β 表面沾污。对环境空气、地表水及地下水影响较小，因此本次评价未对区域环境空气质量、地表水和地下水环境质量进行监测评价，重点对评价区域开展了辐射环境现状监测评价。

三、本项目所在地 X- γ 辐射空气吸收剂量现状监测

为掌握项目所在地的辐射环境现状，本次由四川中环康源卫生技术服务有限公司对本项目所在位置及周围环境进行了 γ 辐射剂量率、中子周围剂量率和 β 表面污染水平及表面污染水平的布点监测，监测报告见附件 4，监测结果见表 8-2。

四、监测时间

监测日期：2024 年 12 月 10 日

五、监测外环境条件

环境温度：6℃；环境湿度：69%RH；环境大气压：96.3kPa；天气状况：阴。

六、监测方法及监测仪器

表 8-1 监测项目、方法及方法来源表

监测项目	监测方法	方法来源
γ 辐射剂量率、中子	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》	HJ1157-2021
	《辐射环境监测技术规范》	HJ 61-2021
表面污染水平	《表面污染测定第一部分： β 发射体（ $E_{\beta\max}0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》	GB/T 14056.1-2008

表 8-2 监测仪器一览表

监测项目	监测设备		
	名称及编号	技术参数	检定情况

X-γ辐射剂量率	BH3103B 型便携式 X-γ剂量率仪 编号: YQ19032	测量范围(1~10000)×10 ⁻⁸ Gy/h 能响范围: 0.025MeV~3MeV 修正因子: 0.90	校准单位: 中国测试技术研究院 校准有效期: 2024/10/12-2025/10/11 校准证书: 校准字第 202410101592 号
表面污染水平	CoMo170 型α、β表面沾污检测仪 编号: YQ21056	计数范围: 1~1000000 探测效率: β≥45% 灵敏度: β表面活度响应>7s ⁻¹ Bq ⁻¹ cm ² 检定因子: 49.54	检定单位: 中国计量科学研究院 校准有效期: 2024/3/19-2025/3/18 证书编号: 检定字第 202403005979 号
中子	ATKN/AT1117M 型 n-γ 辐射检测仪 编号: YQ18021	能量响应范围: 0.025MeV~14 MeV 剂量率范围: 0.1μSv/h~10mSv/h 校准因子: 0.835	检定单位: 中国计量科学研究院 校准有效期: 2024/7/17-2025/7/16 证书编号: DLjs2024-02919

七、监测质量保证

本次监测单位为四川中环康源卫生技术服务有限公司，具有 CMA 资质认证（212303100255），并在许可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、根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）和项目实际情况制定监测方案及实施细则；
- 2、严格按照监测单位《质保手册》《作业指导书》开展现场工作；
- 3、监测仪器每年经过计量部门检定后使用；每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；
- 4、监测人员经考核并持有合格证书上岗；
- 5、根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），布设监测点位置和高度，兼顾监测技术规定和实际情况，监测结果具有代表性和针对性；
- 6、监测时获取足够的数量，以保证监测结果的统计学精度。监测中异常数据以及监测结果的数据处理按照统计学原则处理；
- 7、建立完整的文件资料。仪器校准（测试）证书、监测方案、监测布点图、测量原始数据、统计处理程序等全部保留，以备复查；
- 8、检测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术负责人审定。

八、参考标准

项目所在地环境天然贯穿辐射水平参考成都市生态环境局发布《2024 成都生态环境质量公报》中环境 γ 辐射剂量率连续自动监测年均值范围（66.7~117）nGy/h。

九、监测布点原则及监测点布置

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。具体监测结果见表 8-3~表 8-5，检测点位见图 8-7。

表 8-3 肿瘤放疗中心拟建址及周围环境 X- γ 辐射剂量率监测结果

测点编号	X- γ 辐射（nGy/h）		监测点位	备注
	监测值	标准差		
1	88.80	0.50	肿瘤中心西北部	室外
2	87.15	0.23	肿瘤中心东北部	室外
3	101.25	1.56	肿瘤中心西南部	室外
4	82.20	0.38	肿瘤中心东南部	室外
5	100.05	0.84	肿瘤中心东侧食堂	室内
6	92.10	0.57	肿瘤中心东南侧行政楼	室内
7	104.40	0.70	肿瘤中心西南侧第一住院楼	室内
8	95.85	0.99	肿瘤中心西南侧锅炉房	室内
9	107.55	1.18	肿瘤中心西侧第三住院楼	室内
10	84.0	0.63	肿瘤中心西北侧传承大楼	室内
11	89.25	1.35	肿瘤中心东北侧老神经内科病房	室内
12	90.15	0.54	肿瘤中心东北侧家属区	室外

注：以上监测数据未扣除仪器宇宙射线响应值。

表 8-4 肿瘤放疗中心拟建址及周围 β 表面污染监测结果

测点编号	β 表面污染（Bq/cm ² ）		监测点位	备注
	监测值	标准差		
1	0.41	0.02	肿瘤中心西北部	室外
2	0.33	0.01	肿瘤中心东北部	室外
3	0.45	0.02	肿瘤中心西南部	室外
4	0.40	0.01	肿瘤中心东南部	室外
5	0.38	0.01	肿瘤中心东侧食堂	室内
6	0.39	0.02	肿瘤中心东南侧行政楼	室内
7	0.51	0.05	肿瘤中心西南侧第一住院楼	室内
8	0.34	0.01	肿瘤中心西南侧锅炉房	室内
9	0.39	0.01	肿瘤中心西侧第三住院楼	室内
10	0.34	0.02	肿瘤中心西北侧传承大楼	室内
11	0.33	0.01	肿瘤中心东北侧老神经内科病房	室内

12	0.43	0.01	肿瘤中心东北侧家属区	室外
表 8-5 肿瘤放疗中心拟建址及周围中子监测结果				
测点编号	中子(nSv/h)		监测点位	备注
	监测值	标准差		
1	未测出		肿瘤中心西北部	室外
2	未测出		肿瘤中心东北部	室外
3	未测出		肿瘤中心西南部	室外
4	未测出		肿瘤中心东南部	室外
5	未测出		肿瘤中心东侧食堂	室内
6	未测出		肿瘤中心东南侧行政楼	室内
7	未测出		肿瘤中心西南侧第一住院楼	室内
8	未测出		肿瘤中心西南侧锅炉房	室内
9	未测出		肿瘤中心西侧第三住院楼	室内
10	未测出		肿瘤中心西北侧传承大楼	室内
11	未测出		肿瘤中心东北侧老神经内科病房	室内
12	未测出		肿瘤中心东北侧家属区	室外

由表 8-3 及表 8-5 可知，项目所在区域 X-γ辐射剂量率监测值在（82.20~107.22）nSv/h 之间；项目所在区域β表面污染为（0.33 ~0.51）Bq/cm²；项目所在区域的中子背景值未测出。根据成都市生态环境局发布《2024 成都生态环境质量公报》中数据显示，成都市环境γ辐射剂量率年均值范围：（66.7~117）nGy/h，由此可知，本项目拟建址区域周围辐射环境监测值与成都市天然贯穿辐射水平相当，属于当地正常天然本底辐射水平。

*

图 8-7 肿瘤放疗中心拟建址及周围环境监测点位示意图

表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、施工期工艺分析

（一）土建装修施工阶段

本项目肿瘤放疗中心位拟建于医院院内中部预留空地（现在为临时停车场）区域，肿瘤放疗中心为地上1层（仅设置电梯厅）、地下3层（内设核医学科及放疗中心）及局部地下4层（局部设置污水提升间及放射性废水衰变系统）建筑。

施工过程中产生的废水、废气和固废按照《成都中医药大学附属医院（四川省中医院）改扩建工程（一期）项目环境影响报告书》中提出的环保设施和环保措施处理即可。目前肿瘤放疗中心还未修建。本项目施工期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。建设单位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，避免各屏蔽体之间有漏缝产生，防止辐射泄漏，核医学科场所需做防渗处理。

本项目涉及的射线装置和含源装置的安装调试阶段，会产生 X 射线及 γ 射线，造成一定的辐射影响。设备安装完成后，会有少量的废包装材料产生。

本项目射线装置和含源装置的运输、安装和调试均由设备厂家专业人员进行操作。在射线装置和含源装置的运输、安装、调试过程中，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证屏蔽体屏蔽到位，在运输设备和机房门外设立辐射警示标志，禁止无关人员靠近；在设备的调试和维修过程中，射线源开关钥匙应安排专人看管，或由维修操作人员随身携带，并在机房入口等关键处设置醒目的警示牌，工作结束后，启动安全联锁并经确认系统正常后才能启用射线装置；人员离开时运输设备的车辆和机房上锁并派人看守。由于本项目涉及的射线装置和含源装置的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。

二、营运期工艺分析

（一）核医学科放射性药物生产制备区

1、回旋加速器的工作原理

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。

回旋加速器基本原理如下图 9-1。

*

图 9-1 医用回旋加速器工作原理简图

2、回旋加速器系统组成

回旋加速器一般由磁场系统、射频系统、真空系统、离子源系统、束流提取系统、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：

*

3、回旋加速器设备技术参数

回旋加速器设备数量：1 台（自屏蔽）；

型号：待定；最大质子束流能量 20MeV，最大质子束流强度 100 μA 。

本项目参考玖源-20 型 20MeV 医用回旋加速器，相关设计参数情况见表 9-1。

表 9-1 20MeV 医用回旋加速器相关设计参数一览表

*

自屏蔽系统组成：回旋加速器由回旋加速器和自屏蔽体组成，加速器主机整体尺寸为深 2m×宽 1.9m×高 1.89m，自屏蔽体尺寸深 3.8m×宽 3.8m×高 2.36m。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。自屏蔽体组成为：两侧主移动屏蔽体为 5cm 钢+55cm 钢砂和水的混合物+5cm 钢，两侧固定块屏蔽体为 3cm 钢+48cm 钢砂和水的混合物+3cm 钢，靶区周围安装有 42cm+18cm 的聚乙烯局部屏蔽体。自屏蔽系统示意图见图 9-2。

*

图 9-2 医用回旋加速器自屏蔽体示意图

4、回旋加速器制药规划

本项目生产制备的放射性核素均根据病人诊断区患者预约按需生产，均为科病人诊断区显像诊断，不对外销售。医院根据 PET/CT 诊断项目的临床使用需求，生产 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{89}Zr 、 ^{64}Cu 及 ^{124}I 。 ^{18}F 为主要使用核素，医院一般会将预约使用同一种核素的病人集中在同一天诊断，预计每日最多开机两次，每次最多生产两种核素，每天生产制备核素 ^{18}F 及再根据计划生产制备其他任何一种核素。

本项目使用的核素 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{124}I 为质子轰击固体靶制得，固体靶靶材料为固体，喷在一个基板上，基板材质为黄金，即靶片；核 ^{11}C 靶材料为气体靶， ^{18}F 及 ^{13}N 靶材料为液体靶，靶材料放在靶盒中。

本项目回旋加速器制备放射性同位素参数表见 9-2。

表 9-2 本项目回旋加速器制备放射性同位素参数表

*

5、工作流程、产污环节及污染因子

(1) 放射性药物的制备

医院提前一天根据患者预定的药物数量预定安排第二天的放射性药物生产量。

在回旋加速器启动之前，工作人员须进入主机室进行巡视，确保机房内无人和各项准备工作（靶物质、冷却系统、通风系统等）就绪，然后关闭主机室防护门，进入控制室开启回旋加速器，回旋加速器运行期间，工作人员不进入加速器室内，仅在加速器控制室内操作。回旋加速器在每次正式制备放射性同位素前均进行预处理。用 $^{16}\text{O}\text{-H}_2\text{O}$ 先清洗靶并用纯氮吹干药物传递管道，然后注入靶物质，以一定的束流轰击一定时间（视所需制备量而定）后，将制备的核素通过专用核素传输井（600mm×600mm 混凝土，贴墙向上）内专用管道输送至药物合成热室内，通过核素沟进入自屏蔽化学合成系统（自动成分装柜正面均为 70mm 铅当量，其余面均为 60mm 铅当量），分装后自动装入 40mm 铅当量的合金罐；以上整个过程（包括加速器打靶、化学合成及

分装)为全自动控制,无工作人员参与,人员只在办公室监控整个过程的执行情况。

1) 液态靶

①靶材注入: ^{18}F 靶材为 ^{18}O 水, ^{13}N 靶材为去离子水,靶材暂存于液体靶靶外围控制柜,打靶前通过回旋加速器控制软件选择对应的靶材腔,再通过靶材注入系统自动控制,将靶材注入靶材腔内。

②核素传输:打靶完成后,通过回旋加速器控制软件选择需要连通的合成模块,采用氦气吹送方式将核素经过对应的核素传输管道传输到对应的药物合成热室。

③靶腔清洗(非必须步骤):核素传输完成后,可以选择用去离子水对靶材腔及核素传输管道进行冲洗,去离子水暂存于液体靶靶外围控制柜,整个过程也是通过回旋加速器控制软件自动操作。一般情况下无需进行靶腔冲洗,通常只有在生产的核素的量不够的情况下才会清洗靶材腔(原因在于残留的去离子水会稀释 ^{18}O 水的纯度,可能导致下一次生产的产额降低)。

2) 气态靶

①靶材注入: ^{11}C 靶材为氮氧混合气体,暂存于气体靶靶外围控制柜,打靶前通过回旋加速器控制软件选择对应的靶材腔,再通过靶材注入系统自动控制,将靶材注入靶材腔内。

②核素传输:打靶完成后,通过回旋加速器控制软件选择需要连通的合成模块,采用氮氧混合气体吹送方式将核素经过对应的核素传输管道传输到对应的合成热室。气体靶靶材腔无需冲洗。

3) 固体靶

①靶件制备: ^{64}Cu 靶材为 ^{64}Ni ,通过电镀方式制备靶件; ^{89}Zr 靶材为 ^{89}Y ,可直接购买成品 ^{89}Y 箔片,裁剪成合适的尺寸安装梭体上部凹槽中即可; ^{124}I 靶材为 ^{124}Te ,一般采用压制烧结法制靶,先将 ^{124}Te 粉末通过压片机压制成直径 10mm 左右的片状,再将压制得到的钼靶片放置于 1700°C 高温真空炉中,通入氩气或氢(4%)氩混合气烧结。制备好的靶梭预装在配套的溶解传输装置中(该装置放置在双腔热室的下腔)。

②靶件传输:打靶前通过回旋加速器控制软件,控制溶解传输模块选择对应的靶梭,经预埋的靶梭传输管道自动传输至加速器室固体靶辐照装置,自动完成打靶。打靶完成后,辐照后的靶梭经预埋的靶梭传输管道再自动传回至热室内溶解传输模块,自动进行核素溶解。整个过程为全自动操作,正常情况下无需手动操作。

③靶件更换：辐照后的靶梭在溶解完成后自动回收至溶解传输装置下方的废靶箱暂存衰变，一般放置 10 个以上半衰期再手动取出。下一次打靶重复第②步即可。

(2) 放射性药物质检单元

放射性药物质检内容包括活度检测、外观形状检测、pH 值测量、放射性化学纯度检测、无菌度、肉毒素和杂质检测。其中，活度检测、外观形状检测和 pH 值测量由工作人员在药物合成分装间内分装药物时同步进行；放射性化学纯度检测、无菌度、内毒素和杂质检测在放射性质检间进行，放射性化学纯度检测在配置的手套箱（整体铅屏蔽为 20mmPb）内进行。

活度检测、外观性状检测、pH 值测量、放射性化学纯度检测操作频次为每生产批次进行一次。活度检测、外观性状检测和 pH 值测量与分装药物在药物合成热室内同步进行，操作时间约 10min；放射性化学纯度检测每次工作人员近距离操作持续时间约 3min。无菌度、内毒素和杂质检测需等样品放置 10 个半衰期后再进行检测，每月一次，每次工作人员近距离操作持续时间约 3min。无菌度、内毒素和杂质检测用的样品产生的残余药剂作为废物暂存于危废暂存间。

(3) 放射性药物转运

工作人员将装有质检合格药剂的铅罐由人工转送至核医学科分装注射室手套箱暂存，交由核医学科医护人员进行后续 PET/CT 显像诊断使用。

(4) 产污环节

药物质控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；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；生物安全柜操作过程中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。

放射性药品的生产、合成、分装和质检流程见图 9-3。

*

图 9-3 放射性药品的生产、合成、分装、质检流程及产污环节分析示意图

(二) 核医学科病人诊断区

1、SPECT/CT 显像诊断

(1) SPECT/CT 设备组成及工作原理

*

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) SPECT/CT 显像诊断工作流程及产污环节

SPECT/CT 显像诊断具体工作流程如下：

1) 接收患者，开具 SPECT/CT 诊断单并告知患者诊断过程存在辐射危害；

2) 本项目 SPECT/CT 显像诊断使用的 ^{99m}Tc 由钼锝发生器淋洗而成，根据计划药物当日用完且不储存。本项目钼锝发生器是向有资质的药物供货商进行购买，购买的钼锝发生器最大规格为 800mCi，供货商发货至医院，由工作人员接收后，暂时存放于储源室内，钼锝发生器淋洗制备在专用手套箱（60mmPb）内操作，手套箱底部设有 10mmPb 废物铅桶，用于暂时收集放射性废物及废液。退役的发生器暂存于储源室并由供货商统一定期回收。

^{99m}Tc 通过钼锝发生器淋洗制备流程如下：

①淋洗：将 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器淋洗制备在专用手套箱（包含 ^{99m}Tc 标记、分装）内，用 75%酒精棉球擦拭发生器的单针、双针和氯化钠淋洗溶液小瓶、负压瓶盖进行消毒，先将氯化钠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。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 ^{99}Mo 衰变而得到的子体放射性核素 ^{99m}Tc 即被洗脱入负压瓶中，获得高锝[^{99m}Tc]酸钠淋洗液。取走铅罐后，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两分钟，钼锝发生器单次洗效率约为 90%。

②测量活度：测量活度在手套箱内进行，由负责注射的工作人员完成，手套箱内配置有用于活度测量的活度计，工作人员用注射器吸取少量淋洗液，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。

③标记：标记 ^{99m}Tc 在手套箱内进行，工作人员同测量活度的人员为同一人，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手套箱内。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。

3) 医护人员在手套箱内根据患者用药情况将药物分装至带铅套的注射器内或者

容器内，测定活度，经校对无误后，在注射铅玻璃屏的屏蔽下为患者注射药物。在药品摄入过程中存在 γ 射线污染，同时会产生放射性废水、固废（注射器、棉球、药品盒）；

4) 患者根据注入的 ^{99m}Tc 药物特性，在 SPECT/CT 注射后等候室内静坐或静躺片刻，待药物代谢至靶器官，再进入 SPECT/CT 机房，经医护人员摆位后，接受 SPECT/CT 的扫描，每次扫描约 10~20min。扫描完成后，患者在留观室留观一段时间后，若无其他情况，经卫生通过间从患者专用通道离开。

SPECT/CT 显像诊断工作流程及产污环节分析见图 9-4。

*

图 9-4 SPECT/CT 显像诊断工艺流程及产污环节分析示意图

因此，在 SPECT/CT 核素显像检查过程中，主要环境影响为淋洗、分装、注射及摆位等过程对工作人员产生的外照射；分装、给药等过程对工作台面、地面等造成的表面污染；操作过程产生的放射性固体废物，如使用放射性药物的注射器、注射针头、可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物；操作过程产生的放射性废水，如洗涤废水、使用放射性药物患者的排泄物；SPECT/CT 扫描时产生的 X 射线、臭氧及氮氧化物等。

2、PET/CT 显像诊断

(1) PET/CT 设备组成及工作原理

*

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。

本项目 PET/CT 显像诊断使用的正电子放射性核素（ ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{89}Zr 、 ^{64}Cu 及 ^{124}I ）均由医院自行生产，根据规划的诊断计划，回旋加速器每日最多开机两次，每天生产制备核素 ^{18}F 及再根据计划生产制备其他任何一种核素； ^{68}Ga 由锗镓发生器淋洗而成，根据计划药物当日用完且不储存。

本项目 PET/CT 显像诊断使用的 ^{68}Ga 由锗镓发生器淋洗而成，镓发生器拟向有资

质的药物供货商进行购买，该发生器属于裂变色层发生器，基本部件是钼酸锆柱/活化氧化铝柱、淋洗系统和用于保护工作人员的辐射屏蔽套。 ^{68}Ga 由活化氧化铝柱内 ^{68}Ge 不断裂变产生，并被活化氧化铝柱吸附，当加入适当的淋洗剂时， ^{68}Ga 便以 $^{68}\text{GaO}^{4-}$ 的形式被淋洗出来，整个过程称为“挤奶”。为了使用方便，一套发生器除基本部件外，常附加子体核素溶液接收瓶（即负压瓶）和一定量的淋洗剂（生理盐水）。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。

（2）PET/CT 显像诊断工作流程及产污环节

PET/CT 显像诊断具体工作流程如下：

1）接收患者，开具 PET/CT 诊断单并告知患者诊断过程存在辐射危害；

2）本项目 PET/CT 显像诊断使用的放射性核素（ ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{89}Zr 、 ^{64}Cu 及 ^{124}I ）均由医院自行生产，工作人员根据临床诊断所需药量、病人预约情况确定诊断所需药物的使用量，在放射性药物制备区工作人员提前安排所计划所需药物的生产，药物生产完毕后自动进入转运铅罐，由专人使用转运小推车将药物运至核医学科病人诊断区，定时定点运送到储源室内；本项目 PET/CT 显像诊断使用的 ^{68}Ga 由锗镓发生器淋洗而成，根据计划药物当日用完且不储存。本项目锗镓发生器是向有资质的药物供货商进行购买，供货商发货至医院，由工作人员接收后暂时存放于储源室内，锗镓发生器淋洗制备在专用手套箱（60mmPb）内操作，手套箱底部设有 10mmPb 废物铅桶，用于暂时收集放射性废物及废液。购买的锗镓发生器最大规格为 50mCi，单柱发生器一般使用约 1 年后退役，退役的发生器暂存于储源室并由供货商统一定期回收。

^{68}Ga 通过锗镓发生器淋洗制备流程如下：

①将生理盐水瓶插入发生器的双针，一分钟后整体拔下外有防护罐的负压瓶，即制得淋洗液，制得的淋洗液贮存于外有防护罐的负压瓶之中。通常整个淋洗过程约需两分钟，锗镓发生器淋洗效率约为 80%。

②测量活度：测量活度在手套箱内进行，由负责注射的工作人员完成，手套箱内配置有用于活度测量的活度计，工作人员用注射器吸取少量淋洗液，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。

③标记：标记 ^{68}Ga 在手套箱内进行，工作人员同测量活度的人员为同一人，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手套箱内。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，待医务人员在注射时使用。

3) 注射：本项目使用的药物均采用静脉注射的方式给药，工作人员（作好防护措施，穿戴铅帽、铅衣、铅围脖等）将装有放射性药物的铅罐放置在分装注射室内的手套箱（60mm 铅当量）中，用注射器从铅罐内的西林瓶中吸取药物，注射器用 10mm 铅当量的铅套包覆，由医务人员在注射窗的屏蔽下为病人静脉注射。

4) 候检、显像：根据病人情况确定注射药物后，在 PET/CT 注射后候诊室内候检，观察等待时间约 20min，待药物充分代谢后通过语音呼叫，病人进入 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（必要时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，诊断时间约 20min，诊断结束后病人在 PET/CT 留观室留观约 10min，留观结束后由病人出口离开核医学科。

PET/CT 显像诊断工作流程及产污环节见图 9-5。

*

图 9-5 PET/CT 显像诊断工艺流程及产污环节分析示意图

因此，PET/CT 核素显像检查过程中，主要环境影响为分装、注射及摆位等过程对工作人员产生的外照射；分装、注射过程对工作台面、地面等造成的表面污染；操作过程产生的放射性固体废物，如使用放射性药物的注射器、注射针头、可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物；操作过程产生的放射性废水，如洗涤废水、注射放射性药物患者的排泄物；PET/CT 扫描时产生的 X 射线、臭氧及氮氧化物等。

3、敷贴治疗

（1）工作原理

放射性核素敷贴治疗是使用放射性核素（一般选用 β 射线发射体），如 ^{32}P 、 ^{90}Sr 、 ^{90}Y ，将其均匀地吸附于滤纸或银箔上，按病变形状和大小制成专用的敷贴器，把敷贴器紧贴于病变的表面，对表浅病变进行外照射治疗。某些病变对 β 射线比较敏感，经电离辐射作用，微血管发生萎缩、闭塞等退行性改变，某些症状经照射后引起局部血管渗透性改变、白细胞增加和吞噬作用增强而获得治愈；增生性病变经辐照后细胞分裂速度变慢得以控制，从而可达到治疗目的的一种治疗方法。

(2) 工作流程、产污环节及污染因子

本项目 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器为向有资质单位进行购买，保存在敷贴治疗室的保险柜的铅罐内。患者由候诊大厅到达诊断室进行诊断随后经患者通道进入敷贴治疗室。医生根据患者病变的大小、厚度及部位的情况，选择不同的剂量及疗程，确定每次照射时间；治疗时，医生拟佩戴有机玻璃眼镜或面罩，拟配备 3mmPb 橡胶板用于患者防护，医生打开铅罐，持手柄取出敷贴器放在患处，治疗完毕，医生将放射源放回铅罐，并将铅罐转移至保险柜内。

^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器使用一段时间后，其活度会降低至不适宜用于治疗，应拟对不能使用的 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器进行密封退役处理，退役的放射源由厂家进行收贮。

(三) 核医学科人流和物流路径规划

1、工作人员路径

(1) 射性药物生产制备区：工作人员经负三楼南部进入回旋加速器的控制室；负二层经洁净区进入换鞋区进入一更、二更进入净化走廊再到达药物合成热室；经洁净区进入质控室、无菌检测（通过专用的一更及二更）及检查室（通过专用的一更及二更）；工作结束后原路返回，该路径上配置有表面污染监测设备，设置有感应式洗手池和淋浴设施，质控区内产生的固体废弃物暂存于废物桶内，随后转移至放射性废物暂存间内。

(2) 病人诊断区：工作人员由北部医生电梯通过缓冲间进入病人诊断区，通过医生通道进入 SPECT/CT 及 PET/CT 控制室；向东通过卫生通过间及防护门进入分装注射室，在手套箱内完成分装活度测量等操作，最后在注射窗口给患者施药。该路径上卫生通过间内配置有表面污染监测设备，设置有感应式洗手池和淋浴设施，分装注射室内产生的固体废弃物暂存于废物桶内，随后转移至放射性废物暂存间内。

2、患者路径

患者按预约日期到负二层核医学科护士站登记，登记后的患者进入滞留针室安置滞留针后通过带有门禁装置的防护门进入病人诊断区域，首先到达注射窗口，随后注射相对应的放射性药物后，在注射后等候室休息等待，一般等待大约 10~20min，再进入 SPECT/CT 或 PET/CT 机房进行显像检查，检查完毕后在留观室内休息约 10min 后离开。该路径上，患者入口和患者出口处均设置为单向门禁，仅允许患者单向通行。

该诊断区域内设有专用卫生间，患者在专用卫生间内如厕，不随意走动，诊断期间，各自根据叫号系统提示到相应的位置进行诊断检查。

3、工作场所拟使用的药物运送路径

本项目所使用的放射性药物 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 及 ^{124}I 由回旋加速器生产制备所得，放射性药物会在病人就诊前制备好并通过专用通道将放射性药物送至分装注射室的手套箱内暂存。

本项目所使用的放射性核素 ^{68}Ga 及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分别由医院通过购置的锗镓发生器及钼铈发生器自行淋洗所得，锗镓发生器及钼铈发生器医院购置后暂存于先暂存于储源室内需要淋洗时在分装注射室的手套箱（设置 ^{68}Ga 及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 专用手套箱）操作，辐射工作人员在分装注射室完成淋洗分装后随后转移至注射窗口给患者施药。

本项目核医学科工作场所的病人、医护人员及药物流动路线见图 9-6。

*

图 9-6 本项目核医学科人流及物流路径示意图

4、放疗中心设备工作原理及工艺流程

（1）医用电子直线加速器

1) 工程设备

医院拟于肿瘤放疗中心负三层拟设置放疗中心并新建 2 座医用电子直线加速器机房，各配备 1 台医用电子直线加速器，均用于肿瘤的放射治疗。

拟配备医用电子直线加速器设备参数详见表 9-3。

表 9-3 本项目拟配备 2 台医用电子直线加速器技术参数一览表

*

注：根据医院提供的设备参数，本次新增医用电子直线加速器无调强功能。

医用电子直线加速器是产生高能 X 射线和电子束的装置，为远距离治疗机。主要由机架组件、辐射头、水冷系统、速调管、真空系统、充气系统、高压脉冲调制器、栅控电子枪电源、控制柜及操作盒、运控机箱、整机动力配电及低压电源、整机联锁保护电路等组成。从电子枪发出的同步电子束注入已建立高梯度的驻波或行波加速场中加速，在加速管末端，电子束加速到所需能量后经过漂移管进入 270° 偏转磁场。在偏转磁场中，电子束偏转 270° 后由水平入射变为垂直出射，并同时完成聚集和消除能谱色差形成直径 2mm 左右的平行束流，经过引出窗到达移动靶件处。移动靶件具有

不同工位，可根据治疗需要使电子束轰击合金靶产生 X 辐射或直接穿透初级散射箔产生电子辐射。典型医用直线加速器基本结构示意图见图 9-7。

*

图 9-7 典型医用电子直线加速器基本结构示意图

2) 工作原理

放疗是癌症三大治疗手段之一。是用各种不同能量的射线照射肿瘤，以抑制和杀灭癌细胞的一种治疗方法。放疗可单独使用，也可与手术、化疗等配合，作为综合治疗的一部分，以提高癌症的治愈率。放疗的基本目的是努力提高放疗的治疗增益比，即最大限度地将放射线的剂量集中到病变（靶区）内，而使周围的正常组织和器官少受或免受不必要的照射。

医用电子直线加速器是实现放疗的最常见设备之一，医用电子直线加速器是利用具有一定能量的高能电子与大功率微波的微波电场相互作用，从而获得更高的能量。这时电子的速度增加不大，主要是质量不断变大。电子直接引出，可作电子线治疗，电子打击重金属靶，产生韧致辐射发射 X 射线，作 X 射线治疗。

医用电子直线加速器系统示意图见图 9-8。

*

图 9-88 医用电子直线加速器系统示意图

3) 工艺流程及产污环节

①进行定位：先采用 CT 模拟定位机或速锐直线加速器自带的 CBCT 对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位；

②制订治疗计划：根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间；

③检测相关记录，确认机器无故障记录后，开启设备，将控制钥匙旋转到 ON 位置；

④固定患者体位：在利用医用电子直线加速器进行治疗时需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野。

⑤技师离开机房，进入控制室，根据 TPS 计划进行出束治疗；

⑥治疗结束后，关机，打开治疗室防护门，患者离开治疗室。

医用电子直线加速器放疗流程及产污环节见图 9-9。

*

图 9-9 医用电子直线加速器放疗流程及产污环节示意图

4) 工作负荷

医用电子直线加速器主要用于肿瘤的放射治疗，根据医院预测的诊疗需要，预估每台医用直线加速器日最大诊疗人次为 100 人，最大出束时间为 2min/人次，每周工作 5 天，周最大诊疗人次为 500 人/次，每周用于治疗的出束时间为 16.7h，一年工作 50 周，预计年诊疗人数为 25000 人/次，每年用于治疗的出束时间约为 833.3h。每周物理师将对医用直线加速器进行 1 次质控，每次质控出束时间约为 1h，则年质控出束时间为 50h，则单台设备总出束时间约为 883.3h/a。

5) 项目人员流动的路径规划

医用电子直线加速器项目的人流路径规划具体如下：

①工作人员路径：医用电子直线加速器技师由放疗中心北部的医护电梯进入负三层放疗中心工作区域，随后通过医护通道经缓冲间进入控制室，在医用电子直线加速器机房内对患者摆位后离开并再进入控制室对病人实施放射治疗。

②患者路径：患者按预约日期首先到负三层放疗中心护士站登记，随后在旁边候诊区候诊，再向西经缓冲间通过机房东侧防护门进入机房内接受放射治疗，治疗完成按照原路径返回。

(2) 后装治疗机

1) 工程设备

医院拟于肿瘤放疗中心负三层拟设置放疗中心并新建 1 座后装治疗机机房，配备 1 台后装治疗机，内含 1 枚 ^{192}Ir 放射源，最大装源活度为 $3.70\text{E}+11\text{Bq}$ ，用于腔内、组织间等肿瘤的放射治疗。

本项目拟配备后装治疗机主要技术参数见表 9-4。

表 9-4 本项目拟配备后装治疗机技术参数情况一览表

*

后装治疗机由施源器、贮源系统、源传输系统以及控制系统组成。施源器是个直径为毫米级的管状物，管内可装球形的真源和假源，并有气动通道。后装治疗机治疗时则由传输管道连接贮源器，将源输送到预置于病员体内的施源器，按治疗计划由电脑自动控制进行照射治疗，照射完毕即自动将放射源收回到贮源器内。

2) 工作原理

后装治疗机是采用后装技术（后装技术就是先在病人身上正确放置好施源器，然后在安全防护条件下用遥控方法自控制室将后装治疗机贮源室内的放射源通过管道送到病人身上的施源器内，其好处是放置施源器有充分的时间，并可用透视或摄片校正位置，从而保证了放射源的正确位置），使 γ 放射源在人体自然腔、管道或组织间驻留而达到预定的剂量及其分布的一种放射治疗手段。可用于宫体、宫颈、直肠、食道、口腔、鼻咽等腔内肿瘤的后装治疗，也可用于皮肤浅表面肿瘤的后装治疗。

3) 工艺流程及产污环节

后装治疗机治疗流程为：

①病人经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者与放疗中心预约登记，以确定模拟定位和治疗时间。

②预约病人首先通过模拟定位 CT 等设备上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状，确定治疗中心。定位操作过程类似于 X 射线影像诊断，工作人员隔室操作。

③确定肿瘤位置和形状后，物理人员根据医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划，该过程通常在电脑上完成。

④治疗计划制定后，肿瘤病人在技术人员协助下，依据计划在治疗床上进行连接施源器，该过程在治疗机房内完成。

⑤安装施源器后，技术人员进入操作室，确定所有安全措施到位后，启动治疗机进行照射。

⑥照射完毕后，放射源返回后装治疗机贮源装置，技术人员协助病人离开机房，为下次照射做准备。

本项目后装治疗机贮源装置安装在机房内，驱动装置安装在控制室内，在对病人进行治疗时由辐射工作人员在控制室隔室遥控操作进行。后装机计划每 6 个月~8 个月换一次源，换源工作由后装机厂家工程师负责，退役废放射源由厂家进行回收处理，不存在暂存，并建立交接单。

本项目后装治疗机治疗流程及产污环节见图 9-10。

*

图 9-10 本项目后装治疗机治疗流程及产污环节示意图

4) 工作负荷

后装治疗机主要用于肿瘤的放射治疗，根据医院预测的诊疗需要，本项目后装治

疗机投入使用后,预计日最大工作量 10 人次/d, 平均每位病人单次出束治疗时间不超过 15min, 年工作 250d, 则后装治疗机年出束运行时间约 650h, 物理师质量控制验证出束时间约为 25h/a, 则设备总出束时间约为 675h/a。

5) 项目人员流动路径规划

①患者路径: 本项目患者经后装治疗机机房西侧防护门入机房内接受治疗。

②医生路径: 本项目后装治疗机控制室位于机房西侧, 辐射工作人员经由机房西侧防护门进入后装治疗机机房, 对患者进行摆位等治疗准备后离开机房, 在控制室内对后装治疗机设备进行隔室操作。

(3) 模拟定位 CT

1) 工程设备

医院拟于肿瘤放疗中心负三层放疗中心新建 1 座模拟定位 CT 机房, 配置 1 台模拟定位 CT, 用于定位使用。模拟定位 CT 主要由 CT 机、诊断床、控制台、中央工作站和激光定位系统组成。本项目拟购模拟定位 CT 的具体参数见表 9-5。

表 9-5 本项目模拟定位 CT 技术参数情况一览表

*

2) 工作原理

CT 等 X 射线诊断装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成, 阴极是钨制灯丝, 它装在聚焦杯中, 当灯丝通电加热时, 电子就“蒸发”出来, 而聚焦杯使这些电子聚集成束, 直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间, 使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度, 这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。

3) 工艺流程及产污环节

病人经医生诊断后, 预约登记诊断时间。受检者按约定时间在候诊区准备和等候。受检者进入机房在医务人员的指导下正确摆位。摆位完成后, 除患者外, 无关人员退出机房。工作人员检查无误后, 即开启 CT 机进行拍片/模拟定位。检查结束后, 受检者离开机房。本项目模拟定位 CT 诊断流程及产污环节见图 9-11。

*

图 9-11 模拟定位 CT 诊断流程及产污环节示意图

4) 项目人员流动路径规划

①患者路径：本项目患者从等候区经机房西侧防护门进入机房内接受诊断。

②医生路径：本项目模拟定位 CT 控制室位于机房东侧，辐射工作人员经由控制室入口处进入模拟定位 CT 机房的控制室，诊断过程中再通过机房西侧防护门进入机房对患者进行摆位后离开机房，在控制室内对设备进行隔室操作。

本项目负三层放疗中心人流及物流路径详见图 9-12。

*

图 9-12 本项目放疗中心人流及物流路径示意图

污染源项描述

一、施工期污染源

(一) 废水

施工期少量废水主要包括：施工场地废水及施工人员生活污水。

(二) 扬尘

施工期的大气污染物主要是地面扬尘污染，污染因子为 TSP，为无组织排放。施工产生的地面扬尘主要来自三个方面，一是墙体装修扬尘；二是来自建筑材料包括水泥、沙子等搬运扬尘；三是来自来往运输车辆引起的二次扬尘。

(三) 固体废物

施工期产生的固体废弃物主要为施工人员的生活垃圾及废弃的各种建筑装饰材料等建筑垃圾。

(四) 噪声

主要是使用施工机械和装修设备产生的噪声。

二、营运期污染源

(一) 核医学科

1、放射性药物生产制备区

(1) 放射性污染源分析

在回旋加速器区主要的环境影响为制备核素、化学分离与合成、质量控制、药物分装过程中对工作人员产生外照射；质量控制、药物分装过程中对工作台面、地面等造成的表面污染；生产过程产生的含放射性的滤膜、靶材料等；操作过程产生的放射

性固体废物，如使用可能沾染放射性药物的手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物；操作过程产生的放射性废水，如洗涤废水。

回旋加速器营运过程中产生的电离辐射主要为 γ 射线和中子，此外尚有质子、 β^+ 等。在 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 及 ^{124}I 的生产中，除产生电离辐射（ β^+ 、 γ ）之外，还可能产生含 ^{11}C 、 ^{13}N 等的废气、废液和固体废物，此外尚有少量的活化气体。

1) 贯穿辐射

回旋加速器运行时产生的贯穿辐射有中子、 γ 射线，在进行化学合成时和分装时产生 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、防护门和屋顶对工作人员和公众会产生一定辐射危害。

2) 活化气体

回旋加速器机房中的空气受中子照射后生成放射性活化气体，主要核素有 ^{13}N 、 ^{16}N 、 ^{41}Ar 等，只要有相应的通风管道就可以避免机房内活化气体的存在。

3) 质检及废弃药物废水

制备的药物需要抽取样品进行质量检验，检验完成后抽检的废弃液体药物作为放射性废水，场所台面采取干法去污，无放射性废水产生。极少数情况下，因操作人员违规操作，未佩戴一次性橡胶手套或手套破裂，出现人员皮肤污染，则需要进入去污间清洗去污，会产生少量放射性废水。

4) 放射性废物

①含放射性核素的气溶胶：在放射性药物制取、质检、分装时，在放射性药物质控、分装等环节时，药物挥发产生的含放射性核素的废气，会对环境产生污染。

②放射性液体废物：放射性药物制取工艺流程中加入的反应介质乙腈溶液和乙醚洗涤液，在同位素交换反应和洗涤完成后产生放射性废液，由药物合成热室专用瓶自动收集，热室在当天运行结束后只能等到第二天才能打开，废液在热室贮存。

③回旋加速器制备放射性核素的过程是在密闭系统中进行的，回旋加速器采用密封循环水冷却方式，在正常运转状况下，不外排。如回旋加速器维修时可能会有冷却水溢出，加速器冷却水被活化将产生的感生放射性核素主要产生的是通过（ n,p ）核反应生成的 ^{16}N ，半衰期仅 7.13s，能在很短的时间内降低至本底水平；同时，因冷却水在循环过程中水分会有自然蒸发，故废冷却水中含盐量较高。建设单位拟配备 2 个 1000L+4 个 500 升不锈钢桶（总有效容积为 4000L），用于废冷却水的收集，冷却水

收集桶应设置防雨措施，并设置液位报警和废水采样口。最终冷却水排放时需经监测达标后（总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ）排入医院污水管网。药物医务人员去污、应急洗消、场所清洗时产生一定量的放射性废水。

④放射性固体废物：有靶废料，即有靶窗、废弃的离子源灯丝等为感生放射性废物；放射性药物制取时产生放射性残留物如硅胶、树脂、氧化铝、碳柱、滤膜、废过滤器芯废活性炭等，每年产生约 150kg；操作药物时主要产生的手套、口罩和清洁时用过的抹布、拖布等，年产生量约 20kg。所有以上放射性废物均采用衰变存贮方式。

（2）非放射性污染源

1）由空气电离产生臭氧，臭氧是加速器产生的电离与空气中的氧相互作用的结果，它对人的呼吸系统、眼睛和粘膜有伤害。高浓度的臭氧还可以使易燃材料的活性增强，降低臭氧浓度的主要措施是加速器机房要有良好的通风系统。

2）水冷机、通排风系统等产生的噪声，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。

2）回旋加速器冷却水系统由内水冷系统、外水冷系统和水路组件组成，内水冷系统为去离子水闭路冷却系统，将加速器各部件产生的热量从部件系统带走，再经过内外水冷系统的热交换装置形成循环冷却水，不会直接排放；外水冷系统接自来水管，提供足够的冷却能力，作为普通生活废水排放，不循环使用。

2、病人诊断区

（1）电离辐射

SPECT/CT 及 PET/CT 扫描时产生的 X 射线；放射性药物在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生的 γ 射线。以上射线会造成医务人员和公众的外照射。 ^{68}Ge 校准源校准过程中、锗镓发生器及钼铈发生器在淋洗过程中释放 γ 射线， γ 射线对医护人员产生的外照射影响。

（2） β 放射性表面污染

医生在对含有放射性同位素 ^{18}F 等的各种操作中，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 β 放射性表面污染。

（3）废气

本项目使用的放射性同位素均在带有通风装置的手套箱内进行操作，产生少量的放射性气溶胶。

在 PET/CT 及 SPECT/CT 开机并曝光时，X 射线电离空气，会产生臭氧和氮氧化物。CT 曝光时间很短，臭氧和氮氧化物的产生量极少。

(4) 废水

体内含有放射性核素的病人排泄物；工作场所清洗废水等。

(5) 放射性固体废物

开展核素诊断治疗时，放射性废物主要是工作人员操作过程产生的沾有放射性核素的一次性卫生用品、棉棒、注射器、口罩、手套、废药瓶、离子交换柱、纯化柱、废试纸条、及擦拭废物等及废过滤器芯和废活性炭；染途径为操作过程中及收集固废过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射，按照每人约 0.02kg 产生量进行估算，正常情况下，核医学科病人诊断区场所年放射性固体废物的产生量约 210kg。

退役或报废的 ^{68}Ge 校准源、 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器、锗镓发生器及钼铈发生器交有资质单位收贮。

(6) 噪声

本项目噪声主要来源于各机房内通排风系统的风机，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。

(7) 非放射性三废

本项目废气为电离辐射产生的臭氧及氮氧化物等废气；本项目废水为工作人员产生少量的生活污水；本项目的固体废物，主要为工作人员产生的生活垃圾以及医疗废物；本项目噪声主要设备运行过程中产生的噪声以及排风系统风机产生的噪声。

(8) 射线装置的报废处置

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。

(二) 放疗中心

(1) 电离辐射

1) 本项目医用电子直线加速器为 II 类射线装置，在开机状态下主要辐射为 X 射线，关机状态不产生 X 射线。本项目拟配备的医用电子直线加速器的 X 射线最大能量均为 10MV，1m 处最大输出剂量率为 24Gy/min。

2) 本项目后装治疗机内含 ^{192}Ir 放射源一枚，出厂活度为 $3.70\text{E}+11\text{Bq}$ ，属 III 类放射源。 ^{192}Ir 放射源主要产生 γ 射线对周围环境造成辐射影响。

3) 医院拟在模拟定位 CT 机房内拟新增使用 1 台模拟 CT (最大管电压 140kV、最大管电流 1000mA) 用于放射诊断, 本项目模拟 CT 采用先进的数字成像技术, 不使用显影液、定影液和胶片, 因此不会产生废显影液、废定影液和废胶片。模拟 CT 出束时, 产生的 X 射线会对周围产生辐射影响, 辐射途径为外照射。X 射线随模拟 CT 的开、关而产生和消失。

(2) 废气

本项目医用电子直线加速器、后装治疗机及模拟定位 CT 在设备开机运行过程中, 会使各机房内的空气电离, 产生少量臭氧和氮氧化物。

(3) 固体废物

1) 本项目医用电子直线加速器工作过程不产生固体废物; 工作人员工作中会产生少量的生活垃圾和办公垃圾。

加速器靶物质 (件) 以及机头等金属部件由于受电子的轰击会产生较强的感生放射性, 机器退役 (约使用 10 年) 后更换下来的废靶件等应作为放射性废物处理。

2) 后装治疗机使用的放射源 ^{192}Ir 随着核素的自然衰变, ^{192}Ir 放射源的活度不断降低, 当 ^{192}Ir 放射源使用到一定年限后, 会产生退役的 ^{192}Ir 放射源, 退役 ^{192}Ir 放射源由原厂家回收处置。

3) 辐射工作人员工作中会产生的少量的生活垃圾和办公垃圾。

(4) 废水

1) 本项目医用电子直线加速器冷却系统采用蒸馏水, 内循环使用不外排, 不会产生废水。

2) 本项目工作人员工作中会产生少量的生活废水。

(5) 噪声

本项目噪声主要来源于直线加速器水冷机房内的水冷机及各机房内通排风系统的风机, 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。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作区域布局管理

（一）工作场所布局合理性

本项目肿瘤放疗中心位拟建于医院院内中部预留空地（现在为临时停车场）区域，肿瘤放疗中心为地上 1 层（仅设置电梯厅）、地下 3 层（内设核医学科及放疗中心）及局部地下 4 层（局部设置污水提升间及放射性废水衰变系统）建筑。

本项目辐射工作场所均位于地下负二层及负三层，在设计阶段进行了合理的优化布局。**核医学科：**位置相对封闭且独立，且最大限度避开了人流量较大的门诊区或其它人流活动区，各机房及辅助机房相对集中且齐全，均按标准要求设计且防护屏蔽措施满足相关标准要求，设施布局顺序和生产制备及诊断治疗流程一一对应，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，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）相关要求。**放疗中心：**功能分区明确，既能有机联系又不互相干扰，且最大限度避开了人流量较大的门诊区或其它人流活动区，各机房及辅助机房均按标准要求设计且防护屏蔽措施满足相关标准要求，从辐射安全的角度考虑，平面布置合理，满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）相关要求。

（二）两区划分

1、分区原则

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）要求，将本项目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。

控制区：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。

监督区：通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

2、控制区与监督区的划分

（1）区域划分

本项目控制区和监督区划分情况见表 10-1，两区划分示意图见图 10-1 及图 10-2。

表 10-1 本项目控制区和监督区划分情况

工作场所		控制区	监督区
核医学科	放射性药物生产制备区	回旋加速器机房、药物合成热室、质控室、检查室、无菌检测室、拆包消毒间、物料缓冲间、废药间等	控制室、设备间、更衣室、退更检查间、淋浴通过间等
	病人诊断区	PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、储源室、分装注射室、注射间、注射后等候室、敷贴治疗室、留观室、缓冲间、患者通道、放射性废水衰变系统等	卫生通过间、控制室、设备室、问诊室、留置针室、医护通道等
放疗中心	直线加速器机房	1#、2#直线加速器机房（含迷道）	控制室、设备机房
	后装治疗机机房	后装治疗机机房（含迷道）	控制室
	模拟定位 CT 机房	模拟定位 CT 机房	控制室
备注		控制区内禁止无关人员进入，职业工作人员在进行日常工作时候尽量减小在控制区内停留时间，以减少不必要的照射	监督区范围内应限制无关人员进入

*

图 10-1 本项目核医学科两区划分示意图

*

图 10-2 本项目放疗中心两区划分示意图

1) 控制区的防护手段与安全措施：

①控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志，见图 10-3。

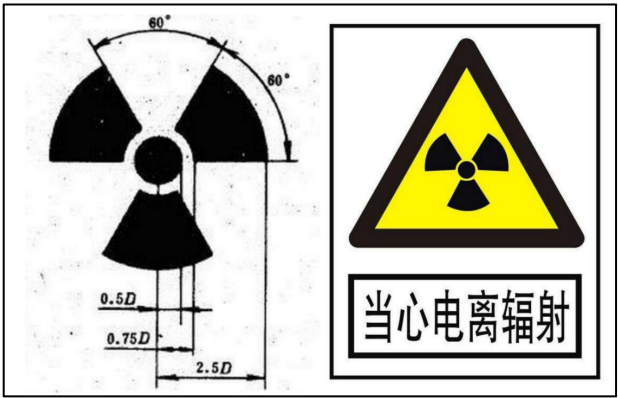


图 10-3 电离辐射标志和电离辐射警告标志

②制定辐射防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；

④在淋浴/更衣室、卫生通过区域等备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；

⑤定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

2) 监督区防护手段与安全措施

①以黄线警示监督区的边界；

②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

③定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

二、辐射安全及防护措施

(一) 辐射工作场所屏蔽措施

本项目新增肿瘤放疗中心项目辐射工作场所屏蔽设计见表 10-2、表 10-3。

表 10-2 本项目核医学科屏蔽防护设计一览表

*

表 10-3 本项目放疗中心屏蔽防护设计一览表

*

(二) 辐射安全装置

1、核医学科-放射性药物制备区

(1) 回旋加速器固有的安全性

在回旋加速器出束前，会对磁铁电流、高频腔压、靶压、冷却氦气气压进行测量，如果实测值达不到预设值，或者各个设备冷却水单独一路的流量达不到最低值，此时系统将无法开启离子源，从而预防事故的发生。

回旋加速器运行时，系统实时监控靶压以及冷却氦气气压，在正常运行情况下靶压和冷却氦气气压保持在一定范围内，如果一旦靶膜破裂或氦冷却循环回路泄露（表现为压力骤降），此时系统将立刻关闭离子源电源、高频功率源输出及磁铁电源输出，从而停止打靶，防止产生过量的感生放射性或避免对加速器内部器件构成破坏。

回旋加速器用户操作控制界面设有密码，只有被专门授权许可的操作人员才能实现回旋加速器的开机操作。

(2) 回旋加速器主机室辐射安全防护措施

1) 安全联锁

回旋加速器机房防护门与加速器的高压设置联锁，当防护门未关闭到位时，加速器无法开启高压出束；当加速器工作过程中误操作打开防护门时，加速器立即停止出束；辐射报警灯和报警与加速器准备出束状态联锁，准备出束时发出警示；控制台设置钥匙控制，当取出钥匙，加速器不能正常开启出束，只有获得资格且单位授权运行人员才能使用该钥匙，防护门入口设置钥匙控制，只有插入正确的钥匙，防护门才能正常打开，同时防护门拟设置有延时开门装置，回旋加速器停机后，需等待 1h 排风后防护门才能从外部正常开启。

2) 电离辐射警告标志：回旋加速器工作场所入口等醒目位置设置电离辐射警告标志；

3) 声光报警及语音播报：回旋加速器机房防护门入口均安装声光报警装置，其中灯光提示分绿、黄、红 3 种颜色。绿灯亮：指示加速器不工作，辐射水平处于安全水平；黄灯亮：指示加速器准备进入工作状态，并进行语音提示“准备-出束”；红灯亮：指示加速器正在工作，红灯闪烁则表明此时加速器机房的辐射剂量超过安全水平。加速器准备出束时，语音提示无关人员撤离机房，运行过程中语音提示会持续响；

4) 工作状态指示灯：回旋加速器机房入口设置工作状态指示灯，当防护门关闭时，工作状态指示灯亮起，并进行 LED 中文提示，如：正在工作/正在出束；

5) 清场巡检按钮：回旋加速器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启动，同防护门也不能正常关闭；

6) 开门开关：回旋加速器机房入口门内侧，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；

7) 急停开关：回旋加速器机房进出口、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；

8) 固定式剂量监测：回旋加速器机房防护门内设置固定式剂量率仪监测探头（含 γ 和中子剂量率监测功能）并带有报警提示，当出现剂量率超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 时，将进行报警提示；

9) 视频监控：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；

10) 其他：回旋加速器主机室的电缆、冷却水管道、通排风管道均采用 U 型地沟穿越墙体，避免 射线直接穿出。

本项目回旋加速器机房辐射安全设施布置示意图见图 10-4。

*

图 10-4 本项目回旋加速器机房辐射安全设施布置示意图

(3) 安全联锁运行逻辑

回旋加速器安全联系系统分为：加速器设备自带安全控制系统（Accelerator Control System-ACS）和场所安全联系系统（Building Safety System-BBS），其中设备自带安全控制系统在设备电气装配时已被设定入加速器联锁控制程序（PLC 系统）中，场所安全联锁系统由 PLC 系统预留可编辑逻辑输入扩展模块，输入扩展模块主要负责将：搜索按钮、急停按钮和钥匙面板等输入设备的状态发送给 PLC。输出扩展模块主要负责将 PLC 的控制信号发送给加速器安全设备，以及警铃警灯等输出设备。LED 显示屏用于显示放射性工作区域的状态信息，其与 PLC 通过 TCP/IP 网络 通讯。

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

*

图 10-5 回旋加速器 ACS 及 BBS 联锁控制关系示意图

(4) 回旋加速器运行逻辑

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

1) ACS 正常需具备条件：磁场系统正常、离子源正常、射频系统正常、真空系统正常、冷却系统正常、束流系统正常、靶系统温度正常、控制系统正常、控制钥匙插

入。

2) BBS 正常需具备条件：巡检按钮拍下、急停按钮未触动、活塞门正常关闭、紧急开门按钮未触动。

3) 加速器急停逻辑

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

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

2) BBS 破坏条件: 急停按钮触动、活塞门打开、紧急开门按钮触动。

*

图 10-6 回旋加速器正常开始逻辑关系示意图

*

图 10-7 回旋加速器急停逻辑关系示意图

(5) 药物合成热室工作场所安全设施

1) 电离辐射警告标志: 药物合成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) 固定式辐射剂量监控系统: 合成热室所在房间内安装固定式剂量率仪,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;

5) 药物合成热室配备自动合成分装柜(包括 2 套位自动合成柜及 1 套自动分装柜,正面 70mmPb,侧面 60mmPb),整个合成分装过工作人员均通过计算机工作站操作完成。

(6) 质控及检测工作场所安全设施

1) 电离辐射警告标志: 质控及检测场所入口醒目位置设置电离辐射警告标志;

2) 剂量监测: 质控及检测场所设置固定式剂量率仪,当探测到剂量率超过设置阈值时,则质控及检测工作场所内声光报警,人员马上撤离;

3) 固定式辐射剂量监控系统：质检区及检测工作场所均设置 1 套固定式辐射监测系统，当前区探测到剂量率超过设置阈值 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 时，则触发声光报警，提示人员故障及进行处理；

4) 视频监控：质检区及检测工作场所均 1 套视频监控系统，办公室人员可实施监控场所内的情况；

5) 门禁：质检区入口设置门禁系统，只有相应授权人员才可进入。

2、核医学科-病人诊断场所安全设施

(1) 电离辐射警告标志及工作状态指示灯

医院计划在核医学科工作场所控制区各房间防护门外设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。在 SPECT/CT 机房和 PET/CT 机房受检者防护门上方均设置工作状态指示灯，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 SPECT/CT 机房和 PET/CT 机房控制室（共用）内对应的控制台上、SPECT/CT 及 PET/CT 治疗床上均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 SPECT/CT 及 PET/CT 设备停止运行。

(3) 操作警示装置

SPECT/CT 及 PET/CT 设备扫描时，机房控制室内对应的控制台上指示灯变亮且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、工作场所进出口情况；SPECT/CT 机房和 PET/CT 机房控制室内对应的控制台上拟安装对讲装置，便于工作人员通过对讲装置与机房或病房内患者联系。

(5) 门禁系统

在核医学科工作场所受检者各出入口处设置专用单向门禁系统，对受检者的出入进行控制。

(6) 放射性废水衰变系统

SPECT/CT 及 PET/CT 注射后候诊室、留观室等拟设置患者专用厕所，放射性废

水直接流向本次拟建设的 1 套放射性废水衰变系统内。

(7) 对控制区内带药病人的监督管理

医院应做好本项目核医学科控制区的监督管理工作，防止无关人员入内；加强对控制区内病人的监督管理，避免其给药后随意走动；同时应告知检查完成后病人离开路线，防止其对公众造成不必要照射，核医学科的出入口均设置有“缓冲间”，缓冲间内设有表面污染水平监测仪，患者检查完或住院结束后均需进行监测。

(8) “两区”内安全防护措施规定

工作人员离开工作室前洗手和作表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，采取去污措施。从本项目核医学科控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

(9) 储源室红外报警系统

本项目工作场所的储源室拟设置双人双锁的保险柜，工作场所使用的放射性药物放置于铅罐中由专人直接送至储源室内暂存，如未用完的放射性药物放置在储源室双人双锁的保险柜内，日常期间由值班人员巡视检查，储源室出入口安装摄像头、红外报警系统。

(10) 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，提出以下管理措施和要求：

*

(11) 人员防护措施

人员主要指本项目辐射工作人员、受检者及本次评价范围内其他人员。

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：将辐射源安置在专用、固定的工作场所内，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，尽量减少工作时间，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、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。

(12) 操作过程中的防护措施

医生在进行放射性药品的分药操作时首先做好个人防护，包括穿铅衣，戴铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽等，均具备 0.5mmPb 当量。分装时，手动将定量的药物移至注射器或容器内，经测量核定药物活度后转移给病人注射或口服。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。手套箱底部设有 10mmPb 废物铅桶，用于暂时收集放射性废物。

3、放疗中心场所安全设施

(1) 医用电子直线加速器

1) 设备固有安全性

①医用电子直线加速器只有在通电开机时才有电子束、X 射线等产生，断电停机即停止出束；通过多叶准直器定向出束，其它方向的射线被自带屏蔽材料所屏蔽。

②控制台上有关辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数的显示装置，操作人员可随时了解设备运行情况。

③条件显示联锁：医用电子直线加速器具有联锁装置，只有当射线能量、吸收剂量选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当治疗室与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行。

④控制台上有关蜂鸣器，在医用电子直线加速器工作时发出声音以警示人员防止误入。

⑤有剂量分布监测装置与照射终止系统联锁，当剂量超过预选值或当剂量分布偏差超过预选值时，可自动终止辐照。

⑥有全部安全联锁设施的检查装置，能保证所有安全联锁系统保持良好的运行状

态。

⑦有时间控制联锁，当预选照射时间已定时，定时器能独立地使照射停止。

⑧治疗床旁、医用电子直线加速器主机上安装紧急制动按钮。

2) 屏蔽防护

本项目医用电子直线加速器机房由相应资质单位进行设计和施工，其主射方向朝向东北侧墙体、东南侧墙体、地面及屋顶，机房屏蔽设计参数详见表 10-3。其机房电缆线布设穿墙部分采取预埋的钢质引导管，穿墙部分呈“U”型，尺寸较小且电缆沟采用不锈钢电缆沟盖板进行屏蔽；通风管道采用“S”型穿墙方式，不会破坏墙体的屏蔽效果。

医用电子直线加速器机房排风管穿墙及电缆沟穿墙设计图见图 10-8。

*

图 10-8 医用电子直线加速器机房通风管穿墙及电缆沟穿墙设计图

3) 源项控制

本项目医用电子直线加速器购置于正规厂家，有用线束内杂散辐射和泄漏辐射不会超过国家规定的限值要求。

4) 距离防护

本项目治疗区域将严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，且在机房的人员通道门的醒目位置将张贴固定的电离辐射警告标志并安装工作状态指示灯。限制无关人员进入，以免受到不必要的照射。

5) 时间防护

在满足诊断要求的前提下，在每次使用射线装置进行诊疗之前，根据诊断要求和病人实际情况制定最优化的治疗方案，选择合理可行尽量低的射线照射参数，以及尽量短的曝光时间，减少工作人员和相关公众的受照射时间，也避免病人受到额外剂量的照射。

6) 安全装置

①视频监控系统、对讲装置：本项目医用电子直线加速器控制室与机房之间以墙体隔开，机房内拟安装视频监控系统、对讲装置，控制室能通过视频监控观察机房内患者治疗的情况，并通过对讲装置与机房内患者联系。

②门机联锁装置：医用电子直线加速器与屏蔽门之间拟设联锁装置。屏蔽门未关

好，医用电子直线加速器不能出束；医用电子直线加速器工作期间如将防护门打开，照射立即自动停止。

③紧急制动装置和紧急开门按钮：除了医用电子直线加速器治疗床、医用电子直线加速器主机上以及控制台上自带的紧急制动按钮外，机房内墙、迷道门出口处均设置有紧急制动按钮，以使误入人员按动紧急制动按钮就能使加速器停机；迷道出口处设置了紧急开门按钮。同时，防护门均拟设有防挤压功能。

④工作状态显示及警示标识：医用电子直线加速器机房防护门外顶部拟设置工作状态指示灯。医用电子直线加速器处于出束状态时，指示灯为红色，以警示人员注意安全；当医用电子直线加速器处于非出束状态，指示灯为绿色。医用电子直线加速器机房屏蔽门上设置明显的电离辐射警告标志。

⑤固定式报警仪：在医用电子直线加速器机房墙上安装固定式剂量报警装置（带剂量显示功能，一般安装在迷道的内入口处），只要迷道内的剂量超过预设的剂量阈值，就会报警提示人员不能进入机房，以防人员误入。

⑥医用电子直线加速器安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

⑦其他：医用电子直线加速器将由生产厂家进行质保维修，医院设备科人员仅对医用电子直线加速器进行日常维护（如电路、开关、机电等维护）。

7) 分区防护

机房严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，且在机房的人员通道门的醒目位置将张贴固定的电离辐射警告标志并安装工作状态指示灯。限制无关人员进入机房内的控制区，以免受到不必要的照射。

本项目医用电子直线加速器机房辐射安全设施布置示意图见图 10-9，安全联锁逻辑示意图详见图 10-10。

*

图 10-9 本项目医用电子直线加速器机房辐射安全设施布置示意图

以上辐射防护措施合理可行，能够有效防止本项目对外环境的影响。

*

图 10-10 医用电子直线加速器安全联锁逻辑示意图

(2) 后装治疗机项目

本项目后装治疗机主要辐射为 γ 射线，对 γ 射线的基本防护原则是减少照射时间、远离射线源及加以必要的屏蔽。本项目对 γ 射线外照射的防护措施主要有以下几方面：

1) 设备固有安全性

①本项目 ^{192}Ir 后装治疗机机头贮源部位设置了两层重金属屏蔽体，里层为 3cm 厚的金属钨，外层为 5cm 厚的金属铅，最外层为特制的防护钢壳，不易损坏。在贮源状态下，后装机表面 100cm 处 γ 辐射剂量率满足《密封 γ 放射源容器卫生防护标准》（GBZ 114-2006）中“密封 γ 源容器外表面 100cm 处任一点的空气比释动能率（活度大于 $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ ）不得超过 0.2mGy/h”的要求。同时机体张贴有醒目的电离辐射警示标识。

②设有紧急回源装置，在任何紧急情况下（如供电系统中断）放射源可自动返回到贮源位（贮、照联锁、断电联锁），主机本身有贮电电源，计算机有 UPS 系统。

③后装机设计有放射源驱动装置（若遇到管道堵塞情况可自动回源）、强制回源装置以及手动回源装置，防止不易出现卡源问题。

④后装机设计有仿真模拟运行，便于操作人员熟悉操作流程，同时在正常运行状态下，控制台显示器可以显示放射源的位置。

⑤控制台设置有防止非工作人员操作的锁定开关，只有完成治疗准备后（已正确输入准直器号、治疗时间，机房门已关闭、联锁系统就位等），才能启动按钮开始治疗，如果未完成治疗准备，不能启动治疗按钮。

2) 屏蔽防护

本项目后装治疗机机房由相应资质单位进行设计和施工，机房屏蔽设计参数详见表 10-3。其机房电缆线布设穿墙部分采取预埋的钢质引导管，穿墙部分呈“U”型，尺寸较小且电缆沟采用不锈钢电缆沟盖板进行屏蔽；通风管道采用“S”型穿墙方式，不会破坏墙体的屏蔽效果。

后装治疗机机房电缆沟穿墙及风管穿墙设计图见图 10-11。

*

图 10-11 后装治疗机机房电缆沟穿墙及风管穿墙设计图

3) 源项控制

本项目后装治疗机购置于正规厂家，贮源装置本身设置了屏蔽层，贮源装置周围剂量不会超过国家规定的限值。

4) 距离防护

本项目治疗区域将严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，且在机房的人员通道门的醒目位置将张贴固定的电离辐射警告标志并安装工作状态指示灯。限制无关人员进入，以免受到不必要的照射。

5) 时间防护

在满足诊断要求的前提下，在每次使用放射源进行诊疗之前，根据诊断要求和病人实际情况制定最优化的治疗方案，选择合理可行尽量低的射线照射参数，以及尽量短的曝光时间，减少工作人员和相关公众的受照射时间，也避免病人受到额外剂量的照射。

6) 安全装置

①隔室操作：本项目后装治疗机控制室与机房之间以墙体隔开，工作人员隔室对设备进行操作。

②视频监控系统、对讲装置，机房内拟安装视频监控系统及语音对讲系统，控制室能通过视频监控观察机房内患者治疗的情况，并通过对讲装置与机房内患者联系。

③门-回源安全联锁装置：后装治疗机与屏蔽门之间拟设回源联锁装置，开门状态下不能出源照射，出源照射状态下若开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。同时防护门拟设置手动开门装置。

④紧急止动装置和紧急开门装置：除了后装治疗机治疗床、后装治疗机主机上以及控制台上自带的紧急止动按钮外，机房内墙壁内侧、迷道门出口处均设置有紧急止动按钮，以使误入人员按动紧急止动按钮，后装治疗机会执行紧急收源程序。迷道出口处设置了紧急开门装置，按下紧急开门按钮防护门可打开。同时，该紧急开门装置也带手动开门装置，可保证在断电情况下，防护门可以从治疗室内部打开。

⑤工作状态显示及警示标识：后装治疗机机房防护门外顶部拟设置工作状态指示灯。后装治疗机处于出源照射状态时，指示灯为红色，以警示人员注意安全；当后装治疗机处于非出源照射状态，指示灯为绿色。后装治疗机机房屏蔽门上设置明显的电离辐射警告标志。

⑥断电自动回源装置：后装治疗机设计有断电自动回源装置。治疗过程中或者出源状态下，后装治疗机断电，后装治疗机会启动应急电源，后装治疗机会立即紧急回源。

⑦固定式报警仪：在后装治疗机机房墙上安装固定式剂量报警装置（带剂量显示

功能)，探头安装在机房迷道内墙上，只要迷道内的剂量超过预设的剂量阈值，就会报警提示人员不能进入机房，以防人员误入。

7) 分区防护

机房严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，且在机房的人员通道门的醒目位置将张贴固定的电离辐射警告标志并安装工作状态指示灯。限制无关人员进入机房内的控制区，以免受到不必要的照射。

8) 后装治疗机安装调试、装源、换源

本项目后装治疗机运输、安装和调试均由设备厂家专业人员进行操作，后装治疗机的装源工作由厂家委派的工程师在机房内完成，医院工作人员不进入机房参与装源、换源工作。在设备运输、安装、调试过程中，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证屏蔽体屏蔽到位，在运输设备和机房门外设立辐射警示标志，禁止无关人员靠近；在设备的调试和维修过程中，射线源开关钥匙应安排专人看管，或由维修操作人员随身携带，并在机房入口等关键处设置醒目的警示牌，工作结束后，启动安全联锁并经确认系统正常后才能启用射线装置；人员离开时运输设备的车辆和机房上锁并派人看守。

医院购买的后装治疗设备首次倒源由厂家负责，后期源的购买由医院申购，倒源仍然由厂家后装机工程师负责，退役放射源由厂家回收处置。 ^{192}Ir 放射源的购买需报四川省生态环境厅备案， ^{192}Ir 放射源的生产、运输均由厂家负责，每次申购 ^{192}Ir 放射源后由厂家运输至后装治疗机机房，由厂家进行换源操作，当厂家工程师导源完毕后，将旧源回收。

本项目后装治疗机机房辐射安全设施布置示意图见图 10-12，安全联锁逻辑示意图详见图 10-13。

*

图 10-12 本项目后装治疗机机房辐射安全设施布置示意图

*

图 10-13 本项目后装治疗机安全联锁逻辑示意图

(3) 模拟定位 CT

1) 设备固有安全性

①设备从专业生产厂家进行采购，满足质检要求，机头泄漏辐射满足国家相关标准规定的限值。

②具有安全系统，当设备出现错误或故障时，能中断照射，并有相应故障显示。

③正常情况下，必须按规定程序并经控制台确认验证设置无误时，才能启动照射。

2) 源项控制

医师会根据病情状况针对不同的病人制定不同的计划（包括照射时间和照射剂量），并通过可调限束装置进行参数设置，尽量避免不必要照射，有效进行源项控制。

3) 安全联锁装置

开机出束，机房防护门关闭良好，工作状态指示灯亮；停止出束时，指示灯熄灭，机房防护门打开。

4) 紧急制动装置

紧急停机开关：在控制室内控制台上设紧急停机开关。紧急停机开关应为红色按钮，并带有中文标识，易于辨认。在误操作或出现紧急情况时，按下开关即可随时切断供电电源。

5) 警示装置

①工作状态显示装置：在机房患者进出防护门外设置工作状态指示灯或工作状态指示灯箱，具备显示开机、停机的功能，并与机房防护门联锁。

②电离辐射警告标志：在机房防护门外醒目位置张贴电离辐射警告标志及中文警示说明。电离辐射警告标志须符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 F 要求。

6) 监测设备

个人剂量监测仪：按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）要求，从事 CT 诊断的辐射工作人员（包括技师、物理师和医生）每人 1 个人剂量计，要求在岗期间必须正确佩戴。

7) 其它防护设施

对讲系统：机房内和控制室内设 1 套扩音与对讲装置，便于控制室的工作人员与机房内的患者联系。

8) 与《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）要求符合性分析

对照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中人员安全防护的要求，本项目针对模拟定位机安全防护措施的符合性分析见表 10-4。

表 10-4 模拟定位机安全防护措施符合性

*

由上表可知，医院拟配置个人防护用品和辅助防护设施情况满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）相关要求。

三、辐射安全防护设施对照分析

根据《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》和《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查大纲》（川环函[2016]1400 号），将本项目的设施、措施进行对照分析，见表 10-5。

表 10-5 本项目辐射安全防护设施对照分析表

*

综上所述，按设计方案建设的各辐射工作场所，其拟采用的防护措施能够有效屏蔽各自辐射源产生的射线，符合相关标准要求，故本项目拟建的各辐射工作场所及其拟采取辐射安全防护措施是合理可行的。

四、环保投资

本项目总投资约*万元，环保投资*万，占总投资的*。医院应根据国家发布的法规内容，结合医院实际情况对环保设施做补充，使之更能满足实际需要；同时医院应定期对环保设施、监测仪器等进行检查、维护。

本项目环保投资估算见表 10-6。

表 10-6 环保设施及投资估算一览表

*

三废的治理

一、核医学科

（一）气态放射性废物

本项目核医学科放射性废气来源于各场所放射性药品操作过程产生的气载流出物，包括放射性药物制取、质检、分装及淋洗等过程中，药物挥发产生的含放射性核素的废气，放射性药物操作均在带有通风装置的手套箱或生物安全柜内进行操作。

根据《粒子加速器辐射防护规定》GB5172-85 中 3.4.1 规定，排放有毒气体（如臭氧）和气载放射性物质，加速器设施内必须设有通风装置。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）：合成和操作放射性药物所用的手套箱，工作中应有足够风速（一般不小于 0.5m/s），排气口应高于本建筑屋脊，并安装专用过滤装置。

本项目核医学科工作场所排风管道分为3支，**第1支：**单独连接药物合成热室、生物安全柜及手套箱，放射性药物的各项操作均在药物合成热室、生物安全柜及手套箱内进行，热室、生物安全柜及手套箱由专业厂商提供，根据《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手套箱，工作中应有足够风速（一般风速不小于0.5m/s）”要求，医院购买的手套箱排风口处风速不得低于0.5m/s；**第2支：**连接分装注射室、PET/CT机房、SPECT/CT机房、注射后等候室、留观室等。**第3支：**单独连接回旋加速器机房（见图10-17），回旋加速器机房容积均约为225.42m³（高度约4.25m），机房的有效排风风量设计均不低于约902m³/h，能满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2002）加速器室通风换气次数应达到每小时4次的要求。核医学科工作场所内的送风系统送风量需大于排风系统的排风量，拟安装防回流装置，各排风管路拟设置止回阀，防止气体倒灌和逸散，保证非密封放射性物质工作为负压工作场所，通过压差控制气流方向，核医学科工作场所的风向为病人候诊区、医生办公区等功能区域向核医学科内的各功能区域。

核医学科拟配置的放射性药物合成分装柜和各手套箱均自带高效过滤装置，核医学科工作场所产生的废气经由3支排风管道经地下风管沟并入至肿瘤放疗中心南侧第一住院大楼风井，送至第一住院大楼楼顶（23层，高度约75m）汇总为1支总排风管道于楼顶排放，在楼顶汇总的总排风管道末端均配置高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施，屋顶总排风管道排风口均朝向天空，由于第一住院大楼均高于本项目50m评价范围内的其他院外建筑，空气流通通畅，含放射性核素的气溶胶经活性炭及高效过滤器过滤后对周边环境影响较小。

本项目核医学科工作场所各排风管道必须密封良好，不与第一住院大楼其他排风管道相通；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，过滤器及活性炭需根据压差监测定期更换，更换后的过滤器及活性炭经贮存衰变10个半衰期后作为危废处置。

本项目核医学科通排风管道走向及风向压差示意图见图10-14。

*

图10-14 本项目核医学科通排风管道走向及风向压差示意图

（二）放射性废水

放射性药物生产制备区工作场所产生的含放射性废水包括：

工作场所台面及地坪如有污染会进行局部清洗去污；极少数情况下，因操作人员违规操作，未佩戴一次性橡胶手套或手套破裂，出现人员皮肤污染，则需要进入去污间清洗去污，会产生少量放射性废水；回旋加速器生产药物及需要抽取样品进行质量检验产生的废弃液体作为放射性废水。

回旋加速器制备放射性核素的过程是在密闭系统中进行，回旋加速器的水冷系统使用循环水，冷却水不外排不产生废水。加速器冷却水被活化将产生的感生放射性核素主要是 ^{16}N 等，一般采取放置一段时间其活度可衰减到可忽略的水平。该项目回旋加速器采用密封循环水冷却方式，在正常运转状况下，不外排。

病人诊断区产生的含放射性废水包括：

工作人员操作过程手部受到微量污染的清洗废水、清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水及患者冲洗排便用水等。

本项目核医学科工作场所按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）拟在核医学科总上水管处设置有洗消装置，满足标准要求。

核医学科工作场所产生的放射性废水通过预埋好的管道排至肿瘤放疗中心负三层东北角拟配套建设 1 套地埋式放射性废水衰变系统（整套衰变池系统位于局部负四层）沉淀池内，再通过专用管道排至衰变池，待放射性废水暂存至规定时间后通过管道排至医院污水处理站处理达标后排入市政管网。

1、处理措施

本项目拟配套建设的放射性废水衰变系统由两个容积均为 15m^3 的沉淀池（总容积为 30m^3 ，一备一用）及三个容积均为 27m^3 的并联衰变池（总容积为 81m^3 ）组成。

本项目拟配备的放射性废水衰变系统通过专门管路收集放射性废水，均采用间歇式衰变的处理方式设计。同时在排水口处设有专门取样孔，便于取样检测。衰变池池壁为混凝土结构，放射性废水在经衰变池的池体屏蔽后，对周围环境及公众产生的辐射影响较小。排水管道的材质为不锈钢材质，其表面光滑、坚固耐酸碱腐蚀、无渗透性，核医学科的排水管道均埋在地下土层内，裸露的排水管道均拟采用 2mm 铅当量的铅皮进行包裹，避免含放射性废水流动时造成管道穿行区域的辐射泄漏，尽量减小对公众的辐射影响。

2、衰变池的运行原理

本项目核医学科工作场所产生的放射性废水放射性废水先排至沉淀池，经沉淀后

进入第一个衰变池中，待第一个衰变池的废水装满后关闭第一个衰变池的进水阀门，打开第二个衰变池的进水阀门，核医学的废水通过沉淀池会排入第二衰变池内，此时第一个衰变池不外排放射性废水，待第二个衰变池的废水装满后，关闭第二个衰变池的进水阀门，打开第三个衰变池的进水阀门，此时核医学科产生的放射性废水均进入第三个衰变池内，待第三个衰变池即将装满放射性废水时，此时打开第一个衰变池的排水阀门，将放射性废水排至医院污水处理站，三个衰变池以此往复运行。该系统自动运行并在核医学科医生办公室位置设有实时液位监控系统，可实时查看衰变池的运行情况。

本项目核医学科工作场所放射性废水管道走向示意图见图 10-15，放射性废水衰变系统设计图见图 10-16。

*

图 10-15 本项目核医学科放射性废水排水管道走向示意图

*

图 10-16-1 放射性废水衰变系统设计图（平面）

*

图 10-16-2 放射性废水衰变系统设计图（剖面）

3、衰变池容量可行性分析

本项目放射性废水涉及的核素为 ^{18}F （半衰期为 109.8min）、 ^{11}C （半衰期为 20.39min）、 ^{13}N （半衰期为 10min）、 ^{64}Cu （半衰期为 12.7h）、 ^{89}Zr （半衰期为 78.4 h）、 ^{124}I （半衰期为 4.18d）、 ^{68}Ga （半衰期为 68min）、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （半衰期为 6.02h）。

表 10-7 核医学科项目废水产生情况一览表

*

本项目拟配套建设的放射性废水衰变系统由两个容积均为 15m^3 的沉淀池（总容积为 30m^3 ）及三个容积均为 27m^3 的并联衰变池（总容积为 81m^3 ）组成，均采用间歇式衰变的处理方式设计。放射性废水待放满第一个衰变池起才计算衰变时间，直到放满其余衰变池，该场所每天产生废水约 0.86m^3 ，保守按照装满 2 个池子的容积进行核算， $2 \times 27\text{m}^3 / 0.67\text{m}^3 = 86.6$ 天，保守取半衰期最长的核素 ^{124}I （半衰期为 4.18d），该放射性废水衰变系统容积能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“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”要求。

同时，医院应根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求：“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，最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB18871 附录 A 表 A1 的要求。”对放射性废水衰变系统进行监测。故本项目产生的放射性废水应经检测符合标准后直接排至医院的污水处理站进行处理。

衰变池每格均设有废水取样口/检修口，排水/取样井也设有取样口，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。建设单位应根据监测数据，结合废水的排水计划，按照计划定期将废水排放至院区污水处理站进一步处理达标后纳入市政管网。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。

4、管理措施及建议

为进一步保证衰变池的长效可靠运行及人员安全，医院应切实做好以下工作：

（1）建立衰变池排放台账，记录每次排放时间、排放量情况并由专人负责管理；

（2）衰变池区域应设置“当心电离辐射”警告标志和勿靠近的警示牌，提醒无关人员勿靠近和在此逗留；

（3）衰变后的废水需监测达标（总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ）才能排入医院污水处理站，池内沉渣如难于排出，可进行酸化预处理再排入下水系统；

（4）为防止衰变池过满溢出，每个衰变池设置液位计，随时监控衰变池内水位，到达预定位置时即可报警并提示手动关闭进水阀门或自动关闭进水阀门，使废水进入另外的池体。

（5）衰变池和污泥池作为重点防渗区进行管理，其防渗系数需 $\leq 10^{-10}\text{cm/s}$ 。

（三）放射性固废

1、放射性药物生产制备区产生的靶废料

回旋加速器机房更换下来的靶废料采用铅屏蔽箱（50mm 铅当量，容积 30L，可存放 8kg）收集并暂存于回旋加速器机房内，待场所退役时统一委托有资质放射性废物处置单位处置，退役前不外运。

2、放射性药物生产制备区合成分装质检废物

合成分装质检过程中产生的废液、废试纸、废滤膜和过滤柱等在热室内用玻璃瓶或塑料箱收集并在热室设置的 1 个废物衰变桶内（20mm 铅当量）暂存，定期转移至

放射性废物暂存间内。

3、病人诊断区核素诊断治疗产生的废物

工作人员操作过程产生的注射器、棉棒、一次性卫生用品、口罩、手套、废药瓶及擦拭废物等由废物衰变桶内（20mm 铅当量）收集，定期转移至放射性废物暂存间。

4、其他

本项目产生的退役或报废的 ^{68}Ge 校准源、 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器、锗镓发生器及钼铈发生器退役或报废的密封源交还给生产厂家；过滤器及活性炭需根据压差监测定期更换，更换后的活性炭经暂存于放射性废物暂存间内贮存衰变 10 个半衰期后作为危废处置。

5、处置措施可行性分析

拟将上述放射性固体废物采用专用塑料包装袋专门收集，包装袋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，按序分类封闭暂存于放射性废物衰变桶内，最后转移至放射性废物暂存间内进行暂存衰变，并做好登记记录。

放射性废物暂存间内拟设置 4 个 20L 废物衰变桶（有效容量为 20L。外尺寸： $\varphi 0.25\text{m} \times 0.5\text{m} = 0.025\text{m}^3$ ），暂存容器摆放占地面积约 $1\text{m}^2 <$ 放射性废物暂存间室内净面积约 3.26m^2 ，满足暂存周期内产生的放射性固体废物的存储要求。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）对固体放射性废物的收集、贮存及处理的要求，建设单位应严格执行以下各项管理措施：

（1）放射性固体废物收集

1）固体放射性废物应收集在具有防护外层和电离辐射标志的固体废物桶中，固体废物桶应避开辐射工作人员和经常走动的地方，装满后的废物袋应密封，不破漏，并及时转至放射性废物暂存间内，并放入专用容器中贮存；

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。

3）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。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）放射性固体放射性固废临时贮存

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。

2) 放射性废物贮存场所拟安装通风换气装置，入口处拟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。

3) 废物暂存间内拟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。

4) 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

6、放射性固体废物处理

本项目核医学科产生的带放射性药物固体废物、废敷贴器、回旋加速器废靶膜、废靶片、废活性炭、过滤器废过滤网、废离子交换柱、废纯化柱等放射性固体废物分类收集后，采用专用塑料袋收纳、密封，及时转运至放射性废物暂存间暂存衰变。

据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）要求，含半衰期小于 24h 核素（包括 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）的放射性固体废物暂存超过 30 天，含半衰期大于 24h 核素（包括 ^{124}I 、 ^{89}Zr 、 ^{99}Mo 和 ^{68}Ge ）的放射性固体废物暂存时间超过 10 个半衰期，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平、 β 表面污染水平小于 0.8Bq/cm^2 后作为医疗废物转运至医疗垃圾暂存间暂存，交由有资质单位进行处置。

退役或报废的 ^{68}Ge 校准源、 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器、锗镓发生器及钼钨发生器交有资质单位收贮。

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。

（四）非放射性污染防治措施

本项目运行期间产生的非放射性污染物主要是噪声、生活污水、生活垃圾。具体治理措施如下：

1、生活污水处理

本项目工作人员工作中会产生少量的生活污水、生活垃圾和办公垃圾，候诊病人

候诊过程中产生少量的生活污水和生活垃圾，依托医院已有的污水处理系统和生活垃圾收集系统进行处理。

回旋加速器冷却水系统由内水冷系统、外水冷系统和水路组件组成，内水冷系统为去离子水闭路冷却系统，将加速器各部件产生的热量从部件系统带走，再经过内外水冷系统的热交换装置形成循环冷却水，不会直接排放；外水冷系统接自来水管，提供足够的冷却能力，作为普通生活废水排放，不循环使用。

2、固体废物处理

本项目工作人员工作中会产生少量的生活污水、生活垃圾和办公垃圾，候诊病人候诊过程中产生少量的生活污水和生活垃圾，依托医院已有的污水处理系统和生活垃圾收集系统进行处理。

2、废气处理

本项目射线装置在工作状态时，会使空气电离产生少量的臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过通排风系统排出，臭氧 50 分钟后自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

3、噪声治理

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机，各机房所使用的通排风系统均为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值一般低于 60dB(A)，噪声较小，考虑到噪声的远距离衰减作用，各排风系统使用的风机均采用橡胶垫进行减震，噪声进一步减小，对周围环境影响可以忽略。

4、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”。本项目使用的射线装置在进行报废处理时，应将该射线装置的高压射线管进行拆卸并破碎处理等去功能化措施并按相应要求执行报废程序。

二、放疗中心

（一）医用电子直线加速器

1、废水治理

本项目医用电子直线加速器冷却系统采用蒸馏水，内循环使用不外排，不会产生废水。本项目工作人员产生生活污水依托医院已有污水处理站处理。

2、废气治理

本项目医用电子直线加速器治疗过程中产生少量臭氧和氮氧化物，1#、2#直线加速器机房设置有独立的通排风系统，2座医用电子直线加速器机房容积均约为174.96m³（吊顶高度约3m），机房的有效排风风量设计均不低于700m³/h，能满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“换气次数不少于4次/h”的要求。

本项目2座医用电子直线加速器机房均采用机械进排风，进风管道从加速器机房迷道入口防护门上方穿过进入加速器机房，进风管道采用“S”型管道，1#机房进风口位于机房西北侧顶部，排风口位于机房东南侧距离地面约0.3m处；2#机房进风口位于机房东北侧顶部，排风口位于机房西南侧距离地面约0.3m处。排风管道沿迷道上方穿过迷道入口防护门上方引出，同样采用“S”型管道，室内气体由通排风系统管道经地下风管沟并入至肿瘤放疗中心南侧第一住院大楼风井，最终通过至第一住院大楼楼顶（23层，高度约75m）排放，屋顶排风口均朝向天空，由于第一住院大楼均高于本项目50m评价范围内的其他院外建筑，空气流通通畅，对周边环境影响较小。

本项目放疗中心通排风管道示意图见图10-17。

*

图10-17 本项目放疗中心通排风管道示意图

3、噪声

本项目噪声主要来源于机房内通排风系统的风机，工作场所使用的通排风系统为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值低于60dB(A)，噪声对周围环境影响较小。

4、固体废物处理措施

本项目医用电子直线加速器工作过程不产生固体废物。

加速器靶物质（件）以及机头等金属部件由于受电子的轰击会产生较强的感生放射性，机器退役（约使用10年）后更换下来的废靶件等应作为放射性废物处理，交有资质单位收贮。

工作人员工作中会产生少量的生活垃圾和办公垃圾依托医院已有的生活垃圾暂存间，产生的生活垃圾集中暂存，由环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。

（二）后装治疗机机房

1、废水治理

本项目工作人员产生生活污水依托医院已有污水处理站处理。

2、废气治理

为了减少废气对人员产生的影响，后装治疗机机房设置独立的通排风系统，根据设计院提供的设计方案，本项目后装治疗机机房容积约为 75m^3 （吊顶高度为 3m ），机房的排风风量设计不低于 $300\text{m}^3/\text{h}$ ，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“换气次数不少于 4 次/h”的要求。

该后装治疗机机房采用机械进排风，进风管道从后装治疗机机房迷道入口防护门上方穿过进入机房，进风管道采用“S”型管道，进风口位于机房东北侧顶部，排风口位于机房西南角距离地面 0.3m 处。排风管道沿迷道上方穿过迷道入口防护门上方引出，同样采用“S”型管道，室内气体由通排风系统管道经地下风管沟并入至肿瘤放疗中心南侧第一住院大楼风井，最终通过至第一住院大楼楼顶（23 层，高度约 75m ）排放，屋顶排风口均朝向天空，由于第一住院大楼均高于本项目 50m 评价范围内的其他院外建筑，空气流通通畅，对周边环境影响较小。后装治疗机机房通排风管道示意图见图 11-17。

3、噪声

本项目噪声主要来源于机房内通排风系统的风机，工作场所使用的通排风系统为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值低于 $60\text{dB}(\text{A})$ ，噪声对周围环境影响较小。

4、固体废物处理措施

随着核素的自然衰变， ^{192}Ir 放射源的活度不断降低，当 ^{192}Ir 放射源使用到一定年限后，会产生退役的 ^{192}Ir 放射源，退役 ^{192}Ir 放射源由原厂家回收处置。

工作人员工作中会产生少量的生活垃圾和办公垃圾依托医院已有的生活垃圾暂存间，产生的生活垃圾集中暂存，由环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。

（三）模拟定位 CT 机房

1、废气治理

模拟定位机在开机出束期间，产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧及氮氧化物。

本项目模拟定位机 CT 机房设有通排风系统，其内通风口设置在机房距离地面约 30cm 处，室内气体由通排风系统管道经地下风管沟并入至肿瘤放疗中心南侧第一住

院大楼风井，最终通过至第一住院大楼楼顶（23 层，高度约 75m）排放，屋顶排风口均朝向天空，由于第一住院大楼均高于本项目 50m 评价范围内的其他院外建筑，空气流通通畅，对周边环境影响较小。模拟定位机 CT 机房通排风管道示意图见图 11-17。

2、固体废物

工作人员工作中会产生少量的生活垃圾和办公垃圾依托医院已有的生活垃圾暂存间，产生的生活垃圾集中暂存，由环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。

3、废水

本项目工作人员产生生活污水依托医院已有污水处理站处理。

4、噪声

本项目噪声主要来源于机房内通排风系统的风机，工作场所使用的通排风系统为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值低于 60dB(A)，噪声对周围环境影响较小。

（四）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”。本项目使用的射线装置在进行报废处理时，应将该射线装置的高压射线管进行拆卸并破碎处理等去功能化措施并按相应要求执行报废程序。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

一、施工阶段

本项目施工过程中有施工机械噪声、施工扬尘、建筑废渣及施工废水产生。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。建设单位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，避免各屏蔽体之间有漏缝产生，防止辐射泄漏，核医学科场所需做防渗处理。

（一）大气污染防治措施

（1）施工场地扬尘可用洒水和清扫措施予以抑止；

（2）在装修工程施工中，施工人员应配备必要的防护装备和口罩，避免人体吸入粉尘；

（3）加强对施工人员的环保教育，提高全体施工人员的环保意识，坚持文明施工、科学施工、减少施工期的大气污染。

（二）噪声防治措施

（1）门窗、预制构件、大部分钢筋的成品、半成品在工厂完成，减少施工场地内加工机械产生的噪声；

（2）不得随意扔、丢，减少金属件的碰击声。电钻等噪声设备使用时间尽量避开 12:00~14:00 及 22:00 以后；

（3）加强现场运输车辆出入的管理，车辆进入现场禁止鸣笛；

（4）施工单位通过文明施工、加强有效管理，材料堆放必须轻拿轻放；

（5）施工单位在现场张贴通告和投诉电话，建设单位在接到投诉电话后及时与当地环保部门联系，以便及时处理各种环境纠纷。

（三）固废防治措施

（1）装饰工程施工产生的废弃物料和生活垃圾等由市政环卫统一清运；

（2）在工程竣工以后，施工单位应同时拆除各种临时施工设施，做到“工完、料尽、场地清”。建设单位应负责督促施工单位的固体废物处置清理工作。

（四）水污染防治措施

施工期水环境影响主要为施工人员的生活污水，其产量较小，可依医院现有生活污水处理设施处理。

二、设备安装调试期间的环境影响分析

本项目涉及的射线装置和含源装置的安装调试阶段，会产生 X 射线及 γ 射线，造成一定的辐射影响。设备安装完成后，会有少量的废包装材料产生。

本项目射线装置和含源装置的运输、安装和调试均由设备厂家专业人员进行操作。在射线装置和含源装置的运输、安装、调试过程中，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证屏蔽体屏蔽到位，在运输设备和机房门外设立辐射警示标志，禁止无关人员靠近；在设备的调试和维修过程中，射线源开关钥匙应安排专人看管，或由维修操作人员随身携带，并在机房入口等关键处设置醒目的警示牌，工作结束后，启动安全联锁并经确认系统正常后才能启用射线装置；人员离开时运输设备的车辆和机房上锁并派人看守。

由于本项目涉及的射线装置和含源装置的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

（一）核医学科放射性药物制备区

1、回旋加速器机房辐射剂量率预测

参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I 中第 I.3 款“自屏蔽回旋加速器机房的屏蔽估算方法”，回旋加速器屏蔽室外的剂量率可采用生产厂家提供的泄露辐射剂量等高线，采用近似方法估算。估算公式如下：

*

相应不同屏蔽材料的 TVL 值见表 11-1。

表 11-1 20MeV 回旋加速器泄露辐射不同屏蔽材料的 TVL 值

*

采用方杰主编的《辐射防护导论》中公式计算参考点人员的有效剂量。

*

根据医院提供既有的资料参照玖源-20 型 20MeV 自屏蔽回旋加速器的设备相关参数，不同点位处的剂量分布图见图 11-1，该设备表面 0.3m 处的剂量率见表 11-2。

*

本项目的回旋加速器机房预测点位分布图见图 11-2，各预测点位剂量率计算参数及结果表 11-3。

*

图 11-2 回旋加速器机房屏蔽预测点位分布示意图

表 11-3 回旋加速器机房各预测点位剂量率计算参数及结果

*

根据预测结果可知，加速器机房在现有屏蔽设计和最大工况运行条件下，屏蔽体外剂量率在 $(5.00E-03) \mu\text{Sv/h} \sim (1.36E-01) \mu\text{Sv/h}$ 之间，满足 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 剂量限值要求，其屏蔽设计合理。

2、感生放射性的影响分析

当加速器加速粒子能量大于 10MeV 时，光-核反应产生的中子与加速器结构材料和空气发生的 (n, γ) 反应产生感生放射性，空气中会产生少量感生放射性气体；加速器在开机运行过程中因射线强辐射作用，在空气中会产生少量 ^{13}N 、 ^{16}N 、 ^{41}Ar 等有害气体。这些物质浓度过高会影响辐射工作人员健康。在加速器运行期间，由于加速器机房有足够的结构屏蔽，其部件产生的感生放射性不会危害屏蔽体外的工作人员，且本项目回旋加速器机房内除设备检修及更换靶材料外无人员进入，因此不考虑其对工作人员影响。防护门拟设置有延时开门装置，回旋加速器停机后，需等待 1h 排风后防护门才能从外部正常开启。加速器检修时，工作人员必须佩带个人剂量报警仪和巡测仪，穿戴防污染手套、铅衣等防护用品。

3、药物合成热室辐射剂量率预测

回旋加速器合成的核素有 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 及 ^{124}I ，其中 ^{18}F 日最大操作量为 $1.85E+10\text{Bq}$ ，其余日最大操作量均为 $3.70E+09\text{Bq}$ ，根据前述表 1-5 中本项目涉及的放射性核素特性可知，各放射性核素产生的 γ 射线能量及照射量常数接近，*

。

按照点源模式进行估算，参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中第 1.2 款 ^{99m}Tc 诊断、PET 等工作场所的屏蔽计算，保守起见，所有核素（如 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 等）工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。

*

表 11-4 本项目涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表

*

表 11-5 药物合成热室周围辐射剂量率

*

由表 11-5 可知，正常工作状态下，自动合成/分装柜表面 5cm 处的辐射剂量率最大为 $3.240\mu\text{Sv/h}$ ，药物合成热室屏蔽墙外 30cm 处辐射剂量率最大为 $(2.69\text{E}-02)\mu\text{Sv/h}$ 。满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ”的相关要求。

4、药物质检过程辐射剂量率预测

PET 药物制备完成后，工作人员进入药物合成热室将合成热室内装有药物的铅罐取出，药物通过药物传递窗送达质控间，在质控间进行抽样检测，检测完送至分装注射室的手套箱内。每种核素药物每次制备完成后均需要进行质控，每种药物均取 $100\mu\text{Ci}$ 药物在生物安全柜（ 20mmPb ）中进行质控，每次质控时间为 3min，身体与药物的直线距离取 0.3m。

表 11-6 质控过程辐射工作人员位置的剂量率估算结果表

*

由上表结果可见，在质控间进行抽样检测，生物安全柜外表面 30cm 处辐射剂量率人员操作位的剂量当量率最大为 $(1.61\text{E}-02)\mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 剂量限值要求。

5、药物转运过程辐射剂量率预测

根据设计方案，药物将装于转运铅罐（ 50mmPb ）内转移至核医学科病人诊断区分装注射室（路径约 20m）内供医护人员使用，整个转运过程用时约 5min，按当日生产、当日转运，全年转运天数最多约 250 天，转运人员身体距铅罐表面约 0.3m、手部距离辐射源约 0.05m 考虑，合成时药物回收率约 50%，本次预测保守按照最大操作量核算。

则负责转运辐射工作人员受照剂量估算结果见下表。

表 11-7 药物转运过辐射工作人员位置的剂量率估算结果表

*

6、辐射工作人员及公众个人剂量估算

(1) 工作负荷及计算参数

本项目生产制备的放射性核素均根据病人诊断区患者预约按需生产，均为科病人诊断区显像诊断，不对外销售，在制药区完自动成成分装、质控后，再送至病人诊断区分装注射室。制药时，工作人员仅在控制室操作，不进入机房。

(2) 辐射工作人员受照剂量估算

表 11-8 辐射工作人员个人年有效剂量估算

*

综上，回旋加速器核素制备场所中回旋加速器操作人员年有效剂量为 $(8.21\text{E}-03)$ mSv/a；质检人员年有效剂量为 0.021mSv/a ；药物转运人员身体所受年有效剂量为 0.703mSv/a ，手部所受年有效剂量为 39mSv/a ，均满足辐射工作人员年有效年剂量均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2003）规定的剂量限值（职业人员身体 20mSv/a 、手部 500mSv/a ）和本报告提出的管理目标剂量约束值（职业人员身体 5mSv/a 、手部 125mSv/a ）要求。

(3) 公众受照剂量估算

回旋加速器核素制备场所是相对封闭的区域，张贴有电离辐射警告标志，有严格的“两区”管理制度，除工作人员外，其它人员不得入内，普通公众成员不会到达控制区与监督区，因此，不会受到额外的辐射照射。

可能造成影响的主要为负三层回旋加速器南侧患者候梯厅的公众及负二层药物合成热室南侧患者候梯厅的公众，公众剂量计算结果见下表。

表 11-9 回旋加速器核素制备场所所致公众年有效剂量

*

由表 11-9 可知，回旋加速器机房及药物合成热室周边公众所受年有效剂量最大为 $(7.66\text{E}-03)$ mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2003）规定的剂量限值（公众 1mSv/a ）和本报告提出的管理目标剂量约束值（公众 0.1mSv/a ）要求。

综上，核医学科放射性药物制备区辐射工作人员及公众年有效剂量均能够满足

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)限值要求以及本项目管理目标剂量约束值要求(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)。

(二) 核医学科病人诊断区

根据本项目的工程分析可知, 辐射工作人员在放射性药物操作区进行相关放射性药物的分装和给病人注射放射性核素, 这个过程主要是放射性核素产生的 γ 射线引起的辐射照射。当病人注射了放射性药物之后, 病人又成为一个活动的辐射体, 其所在的工作场所则要考虑来自病人身体的射线辐射。

本项目核医学科病人诊断区用于 SPECT/CT 显像诊断用放射性核素为 ^{99m}Tc ; 用于 PET/CT 显像诊断用放射性核素包括 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{89}Zr 、 ^{64}Cu 、 ^{124}I 及 ^{68}Ga , 各核素诊断流程相同, 项目运行后 ^{18}F 核素诊断预计年门诊量约为 5000 人次远超于其他核素诊断预计年门诊量均约为 200 人次, 因此 PET/CT 核素诊断用核素对工作场所的辐射影响分析均按照 ^{18}F 核素进行辐射屏蔽分析。

根据本项目的工程分析可知, SPECT/CT 及 PET/CT 核素诊断项目辐射影响主要包括护士分装、取药和活度测量(保守按照 2min 估算)、药物注射(保守按照 1min 估算)、病人候诊(等候约 20min)、病人扫描(扫描过程约 20min)、病人留观(约 10min), 主要对核医学科工作人员及室外公众产生外照射辐射影响。

1、SPECT/CT 显像诊断 (^{99m}Tc)

(1) 关注点处的辐射水平

根据公式 11-3 可估算出各参考点处的辐射水平, 各参考点位置见图 11-3, 预测结果见表 11-10 至表 11-11。

*

图 11-3 核医学科病人诊断区开展显像诊断时估算点位示意图

表 11-10 SPECT/CT 显像诊断理论估算结果汇总

*

理论估算结果可以看出，分装注射室内配置 60mm 铅当量手套箱屏蔽， ^{99m}Tc 药物取药过程中对取药操作人员的躯干辐射影响较小； ^{99m}Tc 药物针剂外设有铅套、同时操作中工作人员穿戴铅防护服，药物操作过程中对注射室内环境辐射影响较小； ^{99m}Tc 药物在操作过程中及病人在显像过程中对分装注射室、候诊区及 SPECT/CT 机房等场所外的环境影响较小，各场所防护设计均能够满足对于 ^{99m}Tc 核素诊断的辐射防护要求，项目对核医学科病人诊断区周围环境辐射影响较小，均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

(2) 保护目标的有效剂量估算

根据表 11-10 的各关注点处辐射剂量率，结合工作时间，辐射工作人员和公众停留概率，并参照公式 11-2，即可得到各关注点处公众及辐射工作人员的年受照剂量，见表 11-11。

表 11-11 使用 ^{99m}Tc 显像扫描时工作场所公众及辐射工作人员年有效剂量估算

*

本项目 ^{99m}Tc 核素诊断过程中，工作人员主要受照射环节为注射过程及病人扫描诊断过程。一般情况下，注射过程约 1min，扫描过程约 20min。根据医院预测，项目运行后 ^{99m}Tc 核素诊断预计年门诊量约为 5000 人次，由表 11-10 计算结果可知，辐射工作人员在摆位时所受的年有效剂量较大，因项目在理论估算时是按照一名辐射工作人员进行摆位工作的工况进行的。

经理论计算，辐射工作人员及公众年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）剂量限值要求以及本项目管理目标剂量约束值要求（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、PET/CT 显像诊断 (^{18}F)

（1）关注点处的辐射水平

根据公式 11-3 可估算出项目周围各参考点处的辐射水平，各参考点位置见图 11-3，预测结果见表 11-12 至表 11-13。

表 11-12 理论估算结果汇总

*

从表 11-12 中的理论估算结果可以看出，分装注射室内配置 60mm 铅当量手套箱屏蔽， ^{18}F 药物取药过程中对取药操作人员的躯干辐射影响较小； ^{18}F 药物针剂外设有铅套、同时操作中工作人员穿戴铅防护服，药物操作过程中对注射室内环境辐射影响较小； ^{18}F 药物在操作过程中及病人在显像过程中对分装注射室、候诊区及 PET/CT 机房等场所外的环境影响较小，各场所防护设计均能够满足对于 PET/CT 核素诊断的辐射防护要求，项目对核医学科病人诊断区周围环境辐射影响较小，均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

（2）保护目标的有效剂量估算

根据表 11-12 的各关注点处辐射剂量率，结合工作时间，辐射工作人员和公众停留概率，并参照公式 11-2，即可得到各关注点处公众及辐射工作人员的年受照剂量，见表 11-13。

表 11-13 使用 ^{18}F 显像扫描时工作场所公众及辐射工作人员年有效剂量估算

*

本项目 ^{18}F 核素诊断过程中，工作人员主要受照射环节为注射过程及病人扫描诊断过程。一般情况下，注射过程约 1min，扫描过程约 20min。根据医院预测，项目运行后预计 ^{18}F 核素诊断年门诊量约为 5000 人次，由表 11-10 计算结果可知，辐射工作人员在摆位时所受的年有效剂量较大，因项目在理论估算时是按照一名辐射工作人员进行摆位工作的工况进行的。

经理论计算，辐射工作人员及公众年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）剂量限值要求以及本项目剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的限值要求及公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

3、钼铯发生器及锗镓发生器操作人员

（1）钼铯发生器操作人员保守均按照全部淋洗出来再分装标记，均在分装注射室内专用手套箱（60mmPb）进行操作，根据前述表 11-11 中操作人员受到的年有效剂量为手套箱外表面（ $2.99\text{E}-58$ ）mSv。

（2）锗镓发生器操作人员同样保守均按照全部淋洗出来再分装标记，均在分装注射室内专用手套箱（60mmPb）进行操作，淋洗、分装、标记过程日最大操作量为 50mCi，医院计划年购入 2 套，保守估计全过程约 10min， ^{68}Ga 周围剂量当量率常数为 $0.134\mu\text{Sv}\cdot\text{M}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ，根据前述计算方法，则手套箱外表面 5cm 剂量当量率最大为（ $1.59\text{E}-56$ ） $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，满足 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 剂量限值要求，操作人员操作人员受到的年有效剂量为手套箱外表面（ $2.64\text{E}-57$ ）mSv。综上，钼铯发生器及锗镓发生器操作人员年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的限值要求。

4、核医学科病人诊断场所辐射工作人员及公众所受年有效剂量汇总

根据上述理论计算表 11-11 及表 11-13 结果，并考虑到辐射工作人员及各关注点位年有效剂量叠加，故本项目核医学科病人诊断场所辐射工作人员及公众所受年有效剂量汇总见表 11-14。

表 11-14 核医学科病人诊断场所辐射工作人员及公众所受年有效剂量汇总表

*

由上述理论估算结果可知，核医学病人诊断区工作场所辐射工作人员年有效剂量最大为 2.624mSv/a，周围公众年有效剂量最大为 0.076mSv/a，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求（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）。

由于本项目 50m 范围内环境保护目标距各机房墙体相对较远（远大于表面 0.3m），故本项目敏感点处公众所受的辐射剂量将小于上述理论计算值。

5、射线装置环境影响分析

病人诊断区 SPECT/CT 机房及 PET/CT 机房辐射防护设计见表 11-15。

表 11-15 病人诊断区 SPECT/CT 机房及 PET/CT 机房辐射防护设计一览表

*

由上表可知病人诊断区 SPECT/CT 机房及 PET/CT 机房屏蔽防护措施能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

（五）放射性“三废”影响分析

1、放射性废气的影响分析

根据《粒子加速器辐射防护规定》GB5172-85 中 3.4.1 规定，排放有毒气体（如臭氧）和气载放射性物质，加速器设施内必须设有通风装置。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）：合成和操作放射性药物所用的手套箱，工作中应有足够风速（一般不小于 0.5m/s），排气口应高于本建筑屋脊，并安装专用过滤装置。

本项目核医学科工作场所排风管道分为 3 支，**第 1 支**：单独连接药物合成热室、生物安全柜及手套箱，放射性药物的各项操作均在药物合成热室、生物安全柜及手套箱内进行，生物安全柜及手套箱由专业厂商提供，根据《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手套箱，工作中应有足够风速（一般风速不小于 0.5m/s）”要求，医院购买的手套箱排风口处风速不得低于 0.5m/s；**第 2 支**：连接分装注射室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、注射后等候室、留观室等。**第 3 支**：单独连接回旋加速器机房（见图 10-17），回旋加速器机房容积均约为 225.42m³（高度约 4.25m），机房的有效排风风量设计均不低于约 902m³/h，能满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2002）加速器室通风换气次数应达到每小时

4 次的要求。核医学科工作场所内的送风系统送风量需大于排风系统的排风量，拟安装防回流装置，各排风管路拟设置止回阀，防止气体倒灌和逸散，保证非密封放射性物质工作为负压工作场所，通过压差控制气流方向，核医学科工作场所的风向为病人候诊区、医生办公区等功能区域向核医学科内的各功能区域。

核医学科拟配置的放射性药物合成分装柜和各手套箱均自带高效过滤装置，核医学科工作场所产生的废气经由 3 支排风管道经地下风管沟并入至肿瘤放疗中心南侧第一住院大楼风井，送至第一住院大楼楼顶（23 层，高度约 75m）汇总为 1 支总排风管道于楼顶排放，在楼顶汇总的总排风管道末端均配置高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施，屋顶总排风管道排风口均朝向天空，由于第一住院大楼均高于本项目 50m 评价范围内的其他院外建筑，空气流通通畅，含放射性核素的气溶胶经活性炭及高效过滤器过滤后对周边环境影响较小。

本项目核医学科工作场所各排风管道必须密封良好，不与第一住院大楼其他排风管道相通，过滤器及活性炭需根据压差监测定期更换，更换后的活性炭经贮存衰变 10 个半衰期后作为危废处置。

2、放射性废水

本项目核医学科放射性药物生产制备区工作场所产生的含放射性废水包括：工作场所台面及地坪如有污染会进行局部清洗去污，极少数情况下，因操作人员违规操作，未佩戴一次性橡胶手套或手套破裂，出现人员皮肤污染，则需要进入去污间清洗去污，会产生少量放射性废水；回旋加速器生产药物及需要抽取样品进行质量检验产生的废弃液体作为放射性废水；病人诊断区产生的含放射性废水包括：工作人员操作过程手部受到微量污染的清洗废水、清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水及患者冲洗排便用水等。

放射性废水通过预埋好的管道排至肿瘤放疗中心负三层东北角拟设置的 1 套地埋式放射性废水衰变系统内，待放射性废水经检测符合标准后直接排至医院的污水处理站进行处理，达标后排入市政管网，对周边环境影响较小。

3、放射性固废影响分析

本项目核医学科产生的带放射性药物固体废物、废敷贴器、回旋加速器废靶膜、废靶片、废活性炭、过滤器废过滤网、废离子交换柱、废纯化柱等放射性固体废物分类收集后，采用专用塑料袋收纳、密封，及时转运至放射性废物暂存间暂存衰变。

据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）要求，含半衰期小于 24h 核素（包括 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）的放射性固体废物暂存超过 30 天，含半衰期大于 24h 核素（包括 ^{124}I 、 ^{89}Zr 、 ^{99}Mo 和 ^{68}Ge ）的放射性固体废物暂存时间超过 10 个半衰期，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平、 β 表面污染水平小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后作为医疗废物转运至医疗垃圾暂存间暂存，交由有资质单位进行处置。

退役或报废的 ^{68}Ge 校准源、 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器、锗镓发生器及钼铈发生器交有资质单位收贮。

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。

（六）放疗中心

1、医用电子直线加速器项目

医院拟在肿瘤放疗中心负三层放疗中心新建 2 座医用电子直线加速器机房（为南北竖向并排排列），并 2 座医用直线加速器机房内各配备 1 台 10MV 医用电子直线加速器，其 X 射线最大能量为 10MV，10MV 时 1 米处最大输出剂量率为 $24\text{Gy}/\text{min}$ ，电子线最大能量为 18MeV，电子线等中心 1 米处最大剂量率为 $10\text{Gy}/\text{min}$ ，均带有图像引导系统。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）的要求，在本项目医用电子直线加速器机房外设定关注点。从保守角度出发，在医用电子直线加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定加速器最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。

本项目 2 座机房屏蔽防护一致且为南北竖向并排排列，考虑 1#医用电子直线加速器机房西北侧主射方向均为土层结构，2#医用电子直线加速器机房西南侧主射方向为合用前室，故以 2#医用电子直线加速器机房为例进行理论计算。

本项目医用电子直线加速器机房的关注点设定如图 11-4。

*

图 11-4-1 医用电子直线加速器机房关注点布置图（平面）

*

图 11-4-2 医用电子直线加速器机房关注点布置图（剖面）

(1) 医用电子直线加速器机房关注点剂量率参考水平

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中相关规定及本项目放疗机房周开机治疗时间，估算得到放疗机房外 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 。

*

根据公式并结合图 11-4，本项目医用电子直线加速器机房各关注点剂量率参考水平详见表 11-16。

表 11-16 2#医用电子直线加速器机房各关注点剂量率参考水平一览表

*

(2) 医用电子直线加速器机房有用线束主屏蔽区宽度核算

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度。

*

根据图 11-4，将各参数代入上述公式得出本项目的主屏蔽宽度核算结果并评价如下表：

表 11-17 主屏蔽区域宽度设计评价表

*

(3) 医用电子直线加速器对关注点产生的剂量估算

1) 主屏蔽墙体屏蔽效果预测

射线路径（射线类型）： $O2 \rightarrow A$ （主射线）， $O1 \rightarrow B$ （主射线）， $O3 \rightarrow L$ （主射线）。使用 GBZ/T201.2-2011 的相关公式计算有用线束主屏蔽核算，在给定的屏蔽物质厚度 X （cm）时，首先计算有效厚度 X_e （cm），估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率。

*

本项目中， A 点、 B 点、 L 点相应厚度主屏蔽的 B 值核算见表 11-16。

*

将各参数代入模式计算，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ），辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-18。

表 11-18 主屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

*

2) 侧屏蔽墙屏蔽效果预测

射线路径（射线类型）： $O \rightarrow F$ （泄漏射线）， $O_2 \rightarrow K$ （泄漏射线）， $O \rightarrow E$ （泄漏射线）。泄漏辐射：估算方法类似主屏蔽区。 TVL_l 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 $TVL_l=35\text{cm}$ ， $TVL=31\text{cm}$ 。 F 点、 K 点和 E 点辐射剂量率计算参数和结果见表 11-19。

表 11-19 侧屏蔽泄漏射线辐射率计算参数和计算结果

*

3) 与主屏蔽区相连的次屏蔽区的屏蔽效果预测

①射线路径（射线类型）： $O_2 \rightarrow O \rightarrow C1$ （散射射线）， $O_2 \rightarrow O \rightarrow C2$ （散射射线）， $O_1 \rightarrow O \rightarrow D1$ （散射射线）， $O_1 \rightarrow O \rightarrow D2$ （散射射线）， $O_3 \rightarrow O \rightarrow L1$ （散射射线）， $O_3 \rightarrow O \rightarrow L2$ （散射射线）。

$O \rightarrow C1$ （泄漏射线）， $O \rightarrow C2$ （泄漏射线）， $O \rightarrow D1$ （泄漏射线）， $O \rightarrow D2$ （泄漏射线）， $O \rightarrow L1$ （泄漏射线）， $O \rightarrow L2$ （泄漏射线）。

对于上述个点位考虑泄漏辐射和散射辐射复合作用。

②泄漏辐射计算

泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区。 TVL_l 和 TVL 保守取附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 $TVL_l=35\text{cm}$ ， $TVL=31\text{cm}$ 。

③散射辐射屏蔽计算

在给定的屏蔽物质厚度 X （cm）时，首先计算或直接在结构图中量出该屏蔽墙的有效厚度 X_e （cm），估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B_s （其中患者散射辐射在混凝土中的什值层，查表 B.4 知，对于 10MV 射线，当散射角 30° 时，患者散射辐射在混凝土中什值层为 28cm ），再按照公式计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率。

*

叠加次屏蔽墙外泄漏辐射与患者一次散射辐射的瞬时剂量率值，将其与本项目确定的剂量率参考控制水平 H_c 相比，判断机房屏蔽设计是否满足标准要求，计算结果见表 11-20。

表 11-20 与主屏蔽相连的次屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

*

4) 迷道内墙的屏蔽效果预测

①射线路径（射线类型）： $O_1 \rightarrow G'$ （泄漏射线）。

②计算模式及参数选择:

G' 点泄漏辐射剂量核算方法同 f 点。

O_I 至 G' 点的距离 $R=9.76\text{m}$ ，取泄漏因子 $f=0.001$ ， TVL_I 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 $TVL_I=35\text{cm}$ ， $TVL=31\text{cm}$ 。

③预测计算结果:

表 11-21 穿过迷路内墙在 G' 点的泄漏辐射剂量率估算值

*

5) 机房入口防护门屏蔽效果核算

①射线路径（射线类型）： $O_I \rightarrow O \rightarrow i_1 \rightarrow i_2 \rightarrow G$ （散射射线）。

②计算模式及参数选择:

G 点处的散射辐射剂量率计算， G 点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-22。

*

表 11-22 G 点处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果

*

入口门外的总辐射剂量率按公式 11-11 计算，入口门外辐射量率计算参数和计算结果见表 11-13。

*

表 11-23 防护门外的辐射剂量率核算值

*

(3) 预测计算结果汇总及评价

2#医用电子直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-24。

表 11-24 2#医用电子直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总

*

由表 11-23 可知，2#医用电子直线加速器机房屏蔽设计能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的限值要求，本项目 2 座机房屏蔽防护一致且为南北竖向并排排列，由此可以推断 1#及 2#机房的屏蔽设计均能满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的限值要求。

关注点人员的年有效剂量由《辐射防护导论》给出的公式进行估算，计算结果见表 11-23。

*

将表 11-22 中医用电子直线加速器机房外各典型关注点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-11，根据医院预测的诊疗需要，本项目医用电子直线加速器机房投入使用后，单台医用电子直线加速器预计日最大工作量 100 人次，平均每位病人出束治疗时间过 2min，年工作 250d，每年用于治疗出的束时间约为 833.3h，每周物理师将对医用直线加速器进行 1 次质控，每次质控出束时间约为 1h，则年质控出束时间为 50h，则单台设备总出束时间约为 883.3h/a，考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，估算公众及辐射工作人员的年有效剂量，计算结果列于表 11-25。

表 11-25 医用电子直线加速器机房周围人员年有效剂量

*

根据上述结果分析可知，本项目医院医用电子直线加速器投入运行后，1#、2# 医用电子直线加速器机房辐射工作人员技师年有效剂量最大为 $(3.90E-06)$ mSv/a；医生年有效剂量最大为 $(3.90E-07)$ mSv/a；物理师年有效剂量最大为 $(6.11E-07)$ mSv/a；正上方 PET/CT 机房摆位工作人员叠加过后年有效剂量最大为 $(2.33E-02)$ mSv/a，周围公众年有效剂量最大为 $(4.90E-02)$ ，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求（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）。

（4）医用电子直线加速器电子线辐射环境影响分析

本项目医用直线加速器在运行过程中产生的电离辐射包括有：电子、X 射线。

由于电子在物质中的射程是有限的，屏蔽比较容易，只要所选择的物质厚度大于带电粒子在该物质的射程，就可以将其完全吸收。根据《辐射防护手册 第三分册》（原子能出版社），其在 Z 较高的物质中的射程可用如下经验公式估算：

*

根据上述公式，可计算得出电子在混凝土中射程为 3.83cm，加速器机房墙体最小屏蔽厚度为 150cm，所以本项目加速器机房设计结构和屏蔽厚度足以屏蔽电子线，因此加速器在运行中电子线对周围辐射环境影响很少。

2、后装治疗机项目

本项目后装治疗机治疗时，假设放射源全部被输送至施源器，则辐射环境影响预测时保守将其视为点源来预测计算机房治疗室屏蔽防护能力。辐射屏蔽防护及估算点位示意图见图 11-5（预测点位取墙体或者防护门外 30cm 处）。

^{192}Ir 放射源虽有 β 、 γ 两种辐射，但 β 射线在空气中的射程较短，经放射源的内包鞘和治疗机的相关设施屏蔽后，在环境辐射方面已无影响，故本次环评中重点分析 ^{192}Ir 产生的 γ 射线的环境影响问题。

*

图 11-5 后装治疗机机房关注点布置图

(1) 后装治疗机房各关注点剂量率参考水平

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中相关规定及本项目放疗机房周开机治疗时间，估算得到放疗机房外 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 。

*

本项目后装治疗机机房各关注点剂量率参考水平，详见表 11-26。

表 11-26 后装治疗机机房各关注点剂量率参考水平一览表

*

(2) 后装治疗机房关注点产生的剂量估算

在给定的屏蔽物质厚度 X （mm）时，相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中的公式进行预测计算：

*

表 11-27 后装机房辐射屏蔽防护效果预测结果

*

(3) 后装机房迷路防护门辐射防护设计核算

本项目后装机房入口设有直迷路，迷路口用 10mmPb 防护当量的防护门屏蔽散射至迷路入口处的散射线。入口 G' 处的散射辐射剂量采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源 放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中公式计算：

*

表 11-28 后装机房入口 G' 点处辐射剂量率计算结果

*

根据上述结果分析知，经过机房入口防护门的屏蔽，迷道入口防护门处的辐射剂量率为 $0.484\mu\text{Sv/h}$ ，保守叠加穿过迷道内墙 G 点处辐射剂量率（ $8.13\text{E-}03$ ） $\mu\text{Sv/h}$ ，最终机房入口处辐射剂量率为（ $4.93\text{E-}01$ ） $\mu\text{Sv/h}$ 。

(4) 预测计算结果汇总及评价

综上所述，后装治疗机机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-29。

表 11-29 后装机房墙、顶、门外理论估算结果汇总

*

本项目后装机房内设有通风装置，本项目后装机房进风管道、排风管道穿墙处采用“S”型设计，管道经防护门上方由迷路到达机房内，射线经几次散射后，通风管道出口处辐射剂量将在控制范围内。电缆沟埋设在地下，电缆线布设采用地下“U”型穿墙管道，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

(5) 保护目标有效剂量评价

根据医院预测的诊疗需要，本项目后装治疗机投入使用后，预计日最大工作量 10 人次/d，平均每位病人单次出束治疗时间不超过 15min，年工作 250d，则后装治疗机年出束运行时间约 650h，物理师质量控制验证出束时间约为 25h/a，则设备总出束时间约为 675h/a。根据各参考点处辐射剂量率估算值，并考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，则后装治疗机机房外辐射剂量预测结果见表 11-30。

表 11-30 后装治疗机机房外辐射剂量预测结果

*

根据表 11-30 结果分析知，该后装治疗机投入运行后，后装治疗机机房外辐射剂量率均小于各关注点的剂量率参考控制水平，满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）的要求。

在进行放射治疗前，工作人员需进入机房对患者进行摆位，此时放射源处于贮存状态，工作人员进行摆位时距离设备约 1m，根据《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS 262-2017）中的相关要求：距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $5\mu\text{Sv/h}$ ，平均每位患者摆位约 1min，根据医院预测的诊疗需要，预计年门诊量最大 2500 人次，则医生年摆位时间约为 41.7h，则辐射工作人员摆位过程中年最大有效剂量为 $41.7\text{h/a} \times 5\mu\text{Sv/h} = 0.208\text{mSv/a}$ 。

根据理论计算结果并叠加辐射工作人员摆位时所受年有效剂量可知，本项目后装治疗机运行后辐射工作人员技师最大年有效剂量为 $(4.81\text{E}-03)\text{mSv/a}$ ；医生最大年有效剂量为 0.208mSv/a $(4.81\text{E}-04\text{mSv/a} + 0.208\text{mSv/a})$ ；物理师（叠加过后）最大年有效剂量为 $(6.59\text{E}-04)\text{mSv/a}$ ，周围公众年有效剂量最大值为 $(4.16\text{E}-02)\text{mSv}$ ，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要

求和本项目管理目标剂量约束值要求（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）。

3、模拟定位 CT 项目

本项目模拟定位 CT 机房实体屏蔽防护设计与《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中 X 射线设备机房屏蔽防护要求对照分析见下表。

表 11-31 模拟定位 CT 机房屏蔽防护设计一览表

*

由上表对照结果可知，本项目模拟定位 CT 机房实体屏蔽防护满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求，机房实体屏蔽设计合理。

（四）非辐射环境影响分析

1、废水处理措施依托可行性分析

1）本项目医用电子直线加速器冷却系统采用蒸馏水，内循环使用不外排，不会产生废水。

2）本项目工作人员工作中会产生少量的生活废水。

2、一般固体废物

医用电子直线加速器退役废靶交由有资质的单位收贮；随着核素的自然衰变， ^{192}Ir 放射源的活度不断降低，当 ^{192}Ir 放射源使用到一定年限后，会产生退役的 ^{192}Ir 放射源，退役 ^{192}Ir 放射源由原厂家回收处置。

工作人员工作中会产生少量的生活垃圾和办公垃圾依托医院已有的生活垃圾暂存间，产生的生活垃圾集中暂存，由环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。

3、废气

本项目医用电子直线加速器、后装治疗机及模拟定位 CT 在设备开机运行过程中产生少量臭氧和氮氧化物由通排风系统管道经地下风管沟并入至肿瘤放疗中心南侧第一住院大楼风井，最终通过至第一住院大楼楼顶（23 层，高度约 75m）排放，屋顶排风口均朝向天空，由于第一住院大楼均高于本项目 50m 评价范围内的其他院外建筑，空气流通通畅，对周边环境影响较小。

4、噪声

本项目噪声主要来源于机房内通排风系统的风机，工作场所使用的通排风系统为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值低于 60dB(A)，噪声对周围环

境影响较小。

5、射线装置报废

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”。本项目使用的射线装置在进行报废处理时，应将该射线装置的高压射线管进行拆卸并破碎处理等去功能化措施并按相应要求执行报废程序。

事故影响分析

一、事故分级

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）第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，详见下表。

表 11-32 辐射事故等级划分表

*

根据《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ 104-2017），急性放射病发生参考剂量见下表。

表 11-33 急性放射病初期临床反应及受照剂量范围参考值

*

二、辐射事故识别

（一）核医学科

1、事故类型

（1）PET/CT、SPECT/CT属于Ⅲ类医用射线装置，为低危险射线装置，发生事故时一般不会对受照者造成辐射损伤，事故等级属一般辐射事故。Ⅲ类医用射线装置主要事故是由于设备控制失灵或操作失误或质保不佳，使被检者受到不必要的照射。

（2）回旋加速器主要用于制备PET核素，回旋加速器只有在打靶制备期间时才会产生 γ 射线和中子等，一旦切断电源，便不会再有中子、 γ 射线产生。由于安全联锁系统失效，在防护门未关闭的情况即进行照射操作，对误入机房内的人员或在防护门附近活动人员造成不必要的照射；工作人员还未全部撤离机房，控制室内人员误操作启动设备，造成机房内滞留人员的误照射；机房开门延时联锁失效，停机后机房内为

进行足够时间的排风，或者通风系统失效，工作人员直接进入机房导致受到感生放射性废气的误照射；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。

(3) 由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因造成的工作是放射性药物撒漏，造成意外照射和辐射污染。

(4) 由于未锁好核医学科工作场所进出口的大门，或取用药物后未及时锁好防护门，或手套箱等药物保管工作不到位致使放射药物丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

2、事故后果计算

(1) 射线装置事故情况下环境影响分析

1) 本项目所使用的PET/CT和SPECT/CT中CT属于III类射线装置，其X射线能量不大，曝光时间都比较短，事故情况下，人员误入或误照射情况下，可能导致人员受到超过年剂量限值的照射。事故情况下，X射线直接照射到人员身上，保守考虑，误入人员或病人在距离射线头1m处被误照射，根据《医用X射线治疗卫生防护标准》(GBZ131-2002)，在治疗状态下，当X射线管额定电压 $\leq 150\text{kV}$ 时，距X射线管焦点1m处的X射线源组件泄露辐射不超过 1mGy/h 。若人员误入机房内，逗留时间较长，受照剂量可能超过公众5个连续年的年平均剂量限值(1mSv)，为一般辐射事故。

2) 回旋加速器在开机过程中，假设医用回旋加速器以最大运行工况(质子能量 20MeV 、束流强度 $100\mu\text{A}$)运行时，安全联锁装置失效，人员误入机房，人员在无其他屏蔽的情况下处于医用回旋加速器自屏蔽体外1m处，计算结果见下表。

表 11-34 事故工况下人员所受剂量估算

*

由上表结果可见，回旋加速器主机室若发生安全联锁装置失效，自屏蔽体防护良好的事故情况下，误入人员距自屏蔽体外壳1m处、即使停留时间长达一次生产打靶时间，其受照最大辐射剂量为 $1.62\text{E-}05\text{Sv/次}$ ，远低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中 20mSv/a 剂量限值和《职业性外照射急性放射病诊断》(GBZ104-2017)中能引起急性放射病的最低限值，表明该事故情景不构成辐射事故。

(2) 回旋加速器机房内射性物质泄漏事故后果影响分析

本项目涉及生产的液态放射性物质为 ^{18}F 及 ^{13}N ，本次以半衰期较长的 ^{18}F 作为代表

进行分析，单批次生产产额为500mCi，当 ^{18}F 发生泄漏时，体积量较小，主要造成机房及管路沿线 β 表面沾污超标，由于加速器大厅设计有防渗措施，泄漏的 ^{18}F 对土壤和地下水影响较小，同时 ^{18}F 半衰期相对较短，通过场所封闭衰变和后续去污措施，不会造成较大影响，其事故后果属于辐射事件。若存在工作人员误入情况，按单批次产额500mCi进行泄漏量考虑，0.5m处最大辐射剂量率为10.6mSv/h，若事故持续发生113min将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。

（3）放射性药物事故情况下环境影响分析

在操作放射性药物的过程中，因容器破碎、药物泼洒等，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染；放射性药物丢失或被盗，造成放射性事故；若处置不当，会对人员和环境造成危害；放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

本项目使用核素主要为 ^{18}F 及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，日最大生产使用量最大，事故情况假设放射性核素试剂瓶发生药物泄露，发生事故时放射性核 ^{18}F 及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的活度分别为 $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ 及 $2.96\text{E}+10\text{Bq}$ ，假设事故持续过程中按点源考虑，受照人员不考虑任何屏蔽措施，事故持续最长时间为120min。根据事故情景假设条件计算得出，距源0.1m~2m范围内，不同事故持续时段的个人有效剂量，计算结果见下表。

表 11-35 放射性核素泄漏事故下不同持续时间及不同距离处所致辐射剂量

*

在上述事故情景假设条件下，携带放射性药物人员或近距离公众在事故持续时间内已受到超过年剂量限值的照射，考虑的整个事故持续周期2h内，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，随着受误照人员受照时间的增加，其所受剂量将远超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的剂量限值，也可能造成更大的辐射事故。由于计算过程按照日最大生产使用量且未考虑核素衰变，计算结果偏保守。

3、辐射事故防范措施

（1）对所有操作场所进行严格的分区管理，设置控制区和监督区，控制区禁止无关人员进入，设置门禁系统、警示灯，悬挂电离辐射警示标识。

（2）使用、操作非密封放射性物质的人员应进行岗前培训合格后上岗，须熟练

掌握放射性药物操作技能和熟悉辐射防护基本知识，能正确处置意外情况，加强工作人员自身防护安全意识，使工作人员明确配备的防护用品（铅衣、铅手套、铅围裙、铅颈套、铅眼镜等）及存放位置。

（3）做好放射性药品操作过程中的风险防范措施：开瓶、转移、标记、分药等易产生放射性物质逸出或飞散的操作，其操作须在通风柜内进行；操作液体放射性物质应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；吸取液体的操作必须用合适的器具，严禁用口吸取；不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、清洗、去污。放射性药品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；如 β 表面污染水平超过GB18871-2002规定值，医院应立即暂停开展相关业务，划定警戒区，并设置放射性污染标识，限制无关人员靠近，由专业人员处理，经监测满足解控要求后再解除警戒。

（4）做好就诊病人的管理，特别是已服药和注射放射性药品的病人管理工作，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动。

（5）回旋加速器机房与防护门实现门机联锁保护装置，防护门打开时加速器自动停止出束。回旋加速器室防护门外设置了工作状态指示灯和悬挂电离辐射警示标识。相关场所的出入口均设置了门禁及视频监控系统。回旋加速器室、入口间及控制室均需设置应急停止按钮，张贴应急预案，放射防护注意事项、设备操作规程、紧急处理措施等。热室内部配备辐射剂量监控系统，可调节监控剂量，当热室内部剂量值大于设定值时，热室门将被联锁装置锁死，不允许打开；热室所在房间内安装固定式剂量率监测探头，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。

（6）建立放射性药物及发生器的安全管理制度，加强放射性药物安全管理，落实放射性物质安保措施，以防止放射性药物丢失。

（7）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。

（8）对放射性废物制定放射性三废的处理制度，设置放射性废物兼职管理员，对放射性废物单独收集，按照国家规定处理。

综上，本项目采取以上事故防范措施后，可减少或避免放射性事故的发生率，从

而保证项目的正常运营，也保障了工作人员和公众的健康与安全。

4、辐射事故应急措施

（1）回旋加速器控制台上安装紧急停机按钮，发生事故时及时按下停止开关，停止设备运行。人员受到不必要的照射或超计划外照射时，应评估其受照剂量，并进行必要的医学处理。

（2）发生辐射事故时，现场辐射工作人员应关闭回旋加速器机房和热室，置身于合成热室控制室外，直至气体被通风系统排净。

（3）一旦发生放射源或核素药物丢失或被盗，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和防护管理办法》中的有关要求，封闭场所应按规定启动本单位辐射事故应急方案，并及时报告当地生态环境主管部门、公安部门以及卫生部门。

（4）若发生放射性药品撒漏事故，按以下措施进行处理：

①由于操作不慎，有少量的液态药物溅洒。发生这种事故应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。最后用表面沾污仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到解控标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。

②因不慎造成放射性核素污染了地面或台面时，应先用吸收滤纸将其吸干，以防扩散，并立即标记污染范围，注明放射性核素名称、日期。根据污染程度及时报告上级领导和有关部门。人体溅污放射性核素时，应先用吸水纸吸干体表，避免污染面积扩大，之后根据不同核素分别去污。

（5）工作人员佩戴有个人剂量计，每3个月检测一次，可及时监控工作人员所受剂量，如发现超标现象应查明原因，改善防护条件或减少工作时间。

（6）人员受到不必要的照射或超计划外照射时，应评估其受照剂量，并进行必要的医学处理。

（二）放疗中心

1、直线加速器辐射事故影响分析

医用直线加速器主要用于肿瘤放射治疗，加速器只有在治疗期间时才会产生X射

线等,因此,该项目辐射事故多为人员误留或误入加速器治疗机房产生的误照射事故,放疗过程加速器运行时,辐射安全措施故障,无关人员误入治疗室,发生超剂量照射。

假设在对病人进行治疗时,10MV直线加速器主射束1m处剂量率为最大值24Gy/min,假设考虑安全联锁失效,有人员误入治疗室,人员在无其它屏蔽的情况下处于加速器照射头射束1m处的散射方向,X射线散射束的空气比释动能率取主射束方向的1%,每次误入照射时间为30秒。误入人员受到的辐射剂量为120mSv/次,超过(GB18871-2002)中特殊情况下职业人员5个连续年的年平均剂量限值(20mSv),公众5个连续年的年平均剂量限值(1mSv),属于一般辐射事故。

2、辐射事故应急方案与措施

医用加速器在正常运行过程由于采取相应的屏蔽防护和辐射安全措施,不会对其他人员造成照射,但遇特殊意外情况亦可能会发生误照射而造成人员损伤,故应对这种潜在照射危害采取应急措施。

为了防止误照射事故发生,对加速器治疗工作采取了门机联锁,照射现场电视监控,对讲传话以及工作人员进入照射室携带个人报警器等措施,对人员误入辐照现场接受不必要照射,提供了有效的预防。

此外,当发生以下意外照射事件,可采取相应应急措施。

(1) 工作人员进入加速器房进行摆位或其它照射前准备工作时,控制台前操作人员疏忽失职误将加速器开机出束,会发生工作人员误照射事件。工作人员发现加速器已经出束(照射红灯点亮),可就近在治疗床边、加速器立柱或迷道内入口等处,按红色标志的急停开关,切断电源,迫使加速器关机停止出束;

(2) 加速器维修调试过程,因检修人员误操作,导致加速器出束,发生人员误照射事件,室内人员发现加速器意外出束,可立即就近按红色急停开关,切断加速器电源;

(3) 治疗病人陪伴者或其它人员误留机房内,在加速器开机出束后,操作人员从监控器内发现,可立即在控制台上按急停开关,切断加速器电源;

(4) 加速器治疗过程发生意外停电,加速器停止出束,操作人员应将加速器处于关机状态,记录已照射剂量和已照射时间。以便加速器正常运行后继续完成应照射剂量。操作人员可用手动方式开启机房大门,将治疗病人按应急灯指引,引导离开机房;

(5) 当发生上述加速器意外出束，人员受照事件后，应迅速将受照人员撤离现场，并估算人员受照剂量。如受照人员未携带个人剂量计，则可根据人员所在部位，加速器照射条件，初步估算人员受照剂量。根据初步剂量估算结果确定受照人员是否要进行医学观察及治疗。

(6) 当发生或发现辐射事故后，当事人应立即向单位的辐射安全负责人和法定代表人报告。医院应立即启动本单位的辐射事故应急措施，采取必要防范措施，并在规定时间内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

3、后装机辐射事故影响分析

后装治疗主要用于肿瘤放射治疗，在出源治疗期间放射源处于裸源状态，会释放出较强的 γ 射线，主要事故类型有：后装机的放射源丢失或被盗；治疗过程中，发生卡源事故，需要人工处理时导致人员受到额外照射；安全联锁装置失效，人员误入治疗室而导致的误照射。

(1) 放射源丢失、被盗事件

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条，Ⅲ类放射源丢失、被盗、失控事件属较大辐射事故。

(2) 放射源误照射事件

装置在运行时，人员误入或滞留在治疗机房内而造成误照射；装置在维护、换源等过程中，操作人员误操作，造成有关人员误照射。

本项目后装治疗机内含 ^{192}Ir 放射源一枚，出厂活度为 $3.70\text{E}+11\text{Bq}$ 。本项目机房内设置有“紧急回源”按钮，只要按下此按钮就可以紧急回源，则事故情况下人员在机房内后装治疗机不同距离处受到的辐射剂量见下表。

表 11-36 事故工况下人员所受剂量估算

*

4、应急方案与措施

针对以上可能发生的事故风险，医院应根据发生辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围，制定辐射事故应急方案。医院应加强辐射安全管理，在项目运行前应制定相关操作规程和辐射安全管理制度，并在实际工作中不断对其完善；如果联锁、监控对讲、报警等系统失灵，应立即修理，恢复正常。医院应定期对后装机进行检查、

维护，发现问题应及时维修；医院还应在平时工作中加强工作人员的辐射防护知识的培训，尽可能避免辐射事故的发生。

当发生放射源丢失、被盗情况时后，医院应立即启动本单位的辐射事故应急措施，采取必要的防范措施，并在1小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

5、模拟定位机辐射事故影响分析

根据污染源分析，本项目主要环境风险因子为X射线，本项目可能发生的辐射事故如下：本项目模拟定位机属于Ⅲ类X射线装置，当设备关机时不会产生X射线，不存在影响辐射环境质量事故，只有当设备开机时才会产生X射线等危害因素。

事故情况下，X射线直接照射到人员身上，保守考虑，误入人员或病人在距离射线头1m处被误照射，根据《医用X射线治疗卫生防护标准》（GBZ131-2002），在治疗状态下，当X射线管额定电压 $\leq 150\text{kV}$ 时，距X射线管焦点1m处的X射线源组件泄露辐射不超过 1mGy/h 。若人员误入机房内，逗留时间较长，受照剂量可能超过公众5个连续年的年平均剂量限值（ 1mSv ），为一般辐射事故。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

一、关于辐射安全与环境保护管理机构

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用Ⅱ类射线装置的单位，应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，并以文件形式明确管理人员职责。

成都中医药大学附属医院已成立专门的辐射安全管理领导小组，并以文件形式明确管理人员职责（详见附件 5）。

二、辐射工作人员配置和能力分析

1、成都中医药大学附属医院目前登记有辐射工作人员 227 人，其中 225 人已参加辐射安全和防护知识培训并合格持证上岗。

2、根据 2020 年 3 月生态环境部发布的《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部 2021 年第 9 号公告），针对原仅有从事Ⅲ类射线装置使用工作的未持证辐射工作人员，医院已组织人员集中学习相关课件与视频课程，并从国家核技术利用辐射安全与防护培训平台题库中抽取对应科目考题编写试卷，组织未持证人员进行闭卷考核，并已对考核结果存档。

医院现有的，持上岗证辐射工作人员证书均在有效期内。根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年 第 57 号）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。

3、在辐射工作人员上岗前，医院应组织其进行岗前职业健康检查，并建立个人健康档案，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作。

4、医院应当建立并保存辐射工作人员的培训档案。

辐射安全管理规章制度

一、档案管理分类

医院对相关资料进行了分类归档放置，包括以下九大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“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”、“废物处置记录”，存放于相关办公室。

二、已建立主要规章制度

医院已制定了一系列辐射安全规章制度，具体见表 12-1。

表 12-1 项目单位辐射安全管理制度制定要求

*

根据原四川省环境保护厅关于印发《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》要求，《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》应悬挂于辐射工作场所。医院对于各项制度在日常工作中要加强检查督促，认真组织实施。上墙制度的内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸大小应不小于 400mm×600mm。

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。

辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人剂量监测。

一、工作场所监测

年度监测：委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年；年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

成都中医药大学附属医院已委托有资质的单位开展了 2024 年度的在用核技术利用项目的年度监测，监测结果均符合国家相关标准要求。

二、个人监测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量片，监测周期为 1 次/季。

(1) 当单个季度个人剂量超过 1.25mSv 时，建设单位要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过 5mSv 时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关。检测报告及有关调查报告应存档备查。

(2) 个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度监测报告一起作为《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) 根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019），就本项目而言，辐射主要来自前方，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般左胸前。

(4) 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。医院应当将个人剂量档案保存终身。

成都中医药大学附属医院已委托有资质的单位对医院辐射工作人员进行了个人剂量监测，监测结果均未超过医院制定的目标管理值。

医院应加强辐射管理工作，杜绝剂量计损坏或丢失的情况再次发生，对医院所有参与辐射工作的人员进行个人剂量检测，并建立剂量管理限值和剂量评价制度，优化实践行为，做好个人剂量档案及职业健康检查档案工作。

三、医院自我监测

医院定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行自行监测），制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案，监测周期为 1 次/月。

四、监测内容和要求

1、监测内容：X- γ 空气吸收剂量率，中子， β 表面污染水平。

2、监测布点及数据管理：本项目监测布点应参考监测计划表 12-2 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 12-2 辐射工作场所监测计划建议

*

3、监测范围：控制区和监督区域及周围环境

4、监测频次：每年 1~2 次

5、监测质量保证

*

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。

五、年度监测报告情况

医院已于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上年度的《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》的重要组成部分一并提交给发证机关。医院应按照《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400 号）规定的格式编写《安全和防护状况年度评估报告》。医院必须在“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>）中实施申报登记。延续、变更许可证，新增或注销射线装置以及单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。

辐射事故应急

一、辐射事故应急措施

若本项目发生了辐射事故，医院应迅速、有效采取以下应急措施：

- 1、一旦发现放射性药物被盗或者丢失，及时向公安部门、生态环境主管部门和卫健部门报告。
- 2、发现误照射事故时，工作人员应立即切断电源，将病人撤出机房，关闭机房门，同时向医院主管领导报告。
- 5、医院根据估算的超剂量值，尽快安排误照人员进行检查或在指定的医疗机构救治；对可能受放射损伤的人员，应立即采取暂时隔离和应急救援措施。
- 6、事故发生后的 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境和公安部门报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。
- 7、最后查清事故原因，分清责任，消除事故隐患。

二、其他要求

- 1、辐射事故风险评估和辐射事故应急预案，应报送所在地县级地方人民政府生态环境主管部门备案。

2、在预案的实施中，应根据国家发布新的相关法规内容，结合医院实际及时对预案作补充修改，使之更能符合实际需要。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

项目名称：成都中医药大学附属医院新增肿瘤放疗中心项目

建设单位：成都中医药大学附属医院

建设地点：四川省成都市金牛区十二桥路 39 号成都中医药大学附属医院肿瘤放疗中心

建设内容与规模：

成都中医药大学附属医院于医院院内中部预留空地(现在为临时停车场)新建肿瘤放疗中心，为地上 1 层（仅设置电梯厅）、地下 3 层（内设核医学科及放疗中心）及局部地下 4 层(局部设置污水提升间及放射性废水衰变系统)建筑，总建筑面积 6110m²（地上 385m²及地下 5725m²）。

肿瘤放疗中心负二层及负三层拟设置 2 处核医学科工作场所，包括放射性药物生产制备区及病人诊断区。于负三层东北角拟配套建设 1 套地埋式放射性废水衰变系统（整套衰变系统位于局部负四层），放射性废水衰变系统包括：两个容积均为 15m³的沉淀池（总容积为 30m³一用一备）及三个容积均为 27m³的并联衰变池（总容积为 81m³），均采用间歇式衰变的处理方式设计。

放射性药物生产制备区：1 处乙级非密封放射性物质工作场所，于场内拟新增使用 1 台自屏蔽式回旋加速器（属Ⅱ类射线装置）生产制备病人诊断区使用的放射性同位 ¹⁸F、¹¹C、¹³N、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr 及 ¹²⁴I，均根据病人诊断区患者预约按需生产，均为科病人诊断区显像诊断，不对外销售。

病人诊断区：1 处乙级非密封放射性物质工作场所，于场所内使用放射性同位 ¹⁸F、¹¹C、¹³N、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr、¹²⁴I 及 ⁶⁸Ga（由锗镓发生器淋洗而成，锗镓发生器拟向有资质的药物供货商进行购买）开展 PET/CT（属Ⅲ类射线装置）显像诊断；使用 ^{99m}Tc（由钼锝发生器淋洗而成，钼锝发生器拟向有资质的药物供货商进行购买）开展 SPECT/CT（属Ⅲ类射线装置）显像诊断；拟在敷贴治疗室内使用 1 枚 ⁹⁰Sr-⁹⁰Y 放射源（初始活度约 7.40E+07Bq，属于 V 类放射源）。

肿瘤放疗中心负三层拟设置放疗中心，主要包括新建 2 座医用电子直线加速器机

房（为南北竖向并排排列布置），各配备 1 台 10MV 医用电子直线加速器（属Ⅱ类射线装置），均带 CBCT 图像引导系统（属Ⅲ类射线装置）；新建 1 座后装治疗机机房，配备 1 台后装机治疗机，内含 1 枚 ^{192}Ir 放射源（初始装源活度为 $3.70\text{E}+11\text{Bq}$ ，属Ⅲ类密封源）；新建 1 座模拟定位 CT 机房，配备 1 台模拟定位 CT（属Ⅲ类射线装置）。

二、项目产业政策符合性

本项目系核技术应用项目在医学领域内的运用。根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，属于鼓励类中第三十七项“卫生健康”的第 1 条“医疗卫生服务设施建设”，本项目产生的电离辐射经屏蔽体防护及距离衰减后，其所致的周围职业人员和公众的年剂量符合本次评价所确定的剂量约束值要求。因此，本项目属于国家鼓励发展的新技术应用项目，符合国家有关法律法规和现行国家产业政策。

三、实践正当性

本项目通过建设肿瘤放疗中心目的在于提升医院肿瘤治疗的手段和能力，为当地人民群众提供更好的、更加全面的医疗服务，实践过程中采取了可能的辐射防护措施，在患者得到诊疗预期效果的同时，对周围环境、公众的辐射影响满足国家辐射防护安全标准的要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射防护“实践正当性”的要求。

四、项目选址及平面布局合理性

成都中医药大学附属医院位于成都市金牛区十二桥路 39 号，医院院界东侧为成都中医药大学（十二桥校区）；南侧为蜀都大道十二桥路；西侧为一环路西三段；北侧依次为青羊东一路 95 号院、47 号院、39 号院及青羊东一路。

成都中医药大学附属医院已获得了成都市生态环境局关于《成都中医药大学附属医院（四川省中医院）改扩建工程（一期）项目环境影响报告书的审查批复》（川环评审〔2020〕15 号），医院选址合理性已在相关环评报告中进行了论述，本项目仅为医院内部原停车场区域新建肿瘤放疗中心（地上 1 层仅设置电梯厅及地下 3 层，内设核医学科及放疗中心），本用地属于医疗卫生用地，不新增用地且拟建的辐射工作场所均位于地下负二及负三层，具有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射通过采取相应的治理措施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。

本项目肿瘤放疗中心位拟建于医院院内中部预留空地（现在为临时停车场）区域，

肿瘤放疗中心为地上1层（仅设置电梯厅）、地下3层（内设核医学科及放疗中心）及局部地下4层（局部设置污水提升间及放射性废水衰变系统）建筑。

本项目辐射工作场所均位于地下负二层及负三层，在设计阶段进行了合理的优化布局。**核医学科：**位置相对封闭且独立，且最大限度避开了人流量较大的门诊区或其它人流活动区，各机房及辅助机房相对集中且齐全，均按标准要求设计且防护屏蔽措施满足相关标准要求，设施布局顺序和生产制备及诊断治疗流程一一对应，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，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）相关要求。**放疗中心：**功能分区明确，既能有机联系又不互相干扰，且最大限度避开了人流量较大的门诊区或其它人流活动区，各机房及辅助机房均按标准要求设计且防护屏蔽措施满足相关标准要求，从辐射安全的角度考虑，平面布置合理，满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）相关要求。

五、区域环境质量现状

根据监测结果，项目所在区域X- γ 辐射剂量率监测值在（82.20~107.22）nSv/h之间；项目所在区域 β 表面污染为（0.33~0.51）Bq/cm²；项目所在区域的中子背景值未测出。据成都市生态环境局发布《2024 成都生态环境质量公报》中数据显示，成都市环境 γ 辐射剂量率年均值范围：（66.7~117）nGy/h，由此可知，本项目拟建址区域周围辐射环境监测值与成都市天然贯穿辐射水平相当，属于当地正常天然本底辐射水平。

六、环境影响分析结论

1、施工期环境影响分析

本项目施工期的环境影响是短暂的，施工结束后影响即可消除，对周围环境影响较小。

2、营运期正常工况下辐射环境影响

（1）辐射环境影响分析结论

在严格落实环评提出的要求后，本项目所致职业人员年剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的辐射剂量限值要求，同时也符合本报告提出的照射剂量约束值要求（职业照射 5mSv/a、公众照射 0.1mSv/a）。评价结果表明本项目辐射工作场所的防护性能符合要求。

(2) 废水环境影响分析

核医学科：放射性药物生产制备区及病人诊断区工作场所产生的含放射性废水通过预埋好的管道排至肿瘤放疗中心负三层东北角拟设置的1套地埋式放射性废水衰变系统内，待放射性废水经检测符合标准后直接排至医院的污水处理站进行处理，达标后排入市政管网，对周边环境影响较小。

放疗中心：医用电子直线加速器冷却系统采用蒸馏水，内循环使用不外排，不会产生废水。

本项目产生的非放射性废水主要为：工作人员在工作中产生的生活污水及医疗废水，均经医院拟建污水处理站处理达到相关标准后排入市政污水管网进入城市污水处理厂处理，对周围环境影响较小。

(3) 固体废物影响分析

核医学科：本项目核医学科产生的带放射性药物固体废物、废敷贴器、回旋加速器废靶膜、废靶片、废活性炭、过滤器废过滤网、废离子交换柱、废纯化柱等放射性固体废物分类收集后，采用专用塑料袋收纳、密封，及时转运至放射性废物暂存间暂存衰变。据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）要求，含半衰期小于24h核素放射性固体废物暂存超过30天，含半衰期大于24h核素放射性固体废物暂存时间超过10个半衰期，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平、 β 表面污染水平小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后作为医疗废物转运至医疗垃圾暂存间暂存，交由有资质单位进行处置，对周围环境影响较小。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。

产生的退役或报废的 ^{68}Ge 校准源、 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器、锗镓发生器及钼铈发生器退役或报废的密封源交由生产厂家收贮；更换后的过滤器及活性炭经贮存衰变超过30天后由厂家回收处理，对周围环境影响较小。

放疗中心：医用电子直线加速器退役废靶交由有资质的单位收贮；随着核素的自然衰变， ^{192}Ir 放射源的活度不断降低，当 ^{192}Ir 放射源使用到一定年限后，会产生退役的 ^{192}Ir 放射源，退役 ^{192}Ir 放射源由原厂家回收处置。

本项目产生的非放射性固体废物主要为：工作人员工作中会产生少量的生活垃圾和办公垃圾依托医院已有的生活垃圾暂存间，产生的生活垃圾集中暂存，由环卫部门

定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。

(4) 噪声

本项目噪声主要来源于机房内通排风系统的风机，工作场所使用的通排风系统为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值低于 60dB(A)，噪声对周围环境影响较小。

(5) 大气环境影响分析

核医学科：本项目核医学科工作场所排风管道分为 3 支，**第 1 支：**单独连接药物合成热室、生物安全柜及手套箱，放射性药物的各项操作均在药物合成热室、生物安全柜及各手套箱内进行，生物安全柜及手套箱由专业厂商提供，根据《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手套箱，工作中应有足够风速（一般风速不小于 0.5m/s）”要求，医院购买的手套箱排风口处风速不得低于 0.5m/s；**第 2 支：**连接分装注射室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、注射后等候室、留观室等。**第 3 支：**单独连接回旋加速器机房（见图 10-17），回旋加速器机房容积均约为 225.42m³（高度约 4.25m），机房的有效排风风量设计均不低于约 902m³/h，能满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2002）加速器室通风换气次数应达到每小时 4 次的要求。核医学科工作场所内的送风系统送风量需大于排风系统的排风量，拟安装防回流装置，各排风管路拟设置止回阀，防止气体倒灌和逸散，保证非密封放射性物质工作为负压工作场所，通过压差控制气流方向，核医学科工作场所的风向为病人候诊区、医生办公区等功能区域向核医学科内的各功能区域。

核医学科拟配置的放射性药物合成分装柜和各手套箱均自带高效过滤装置，核医学科工作场所产生的废气经由 3 支排风管道经地下风管沟并入至肿瘤放疗中心南侧第一住院大楼风井，送至第一住院大楼楼顶（23 层，高度约 75m）汇总为 1 支总排风管道于楼顶排放，在楼顶汇总的总排风管道末端均配置高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施，屋顶总排风管道排风口均朝向天空，由于第一住院大楼均高于本项目 50m 评价范围内的其他院外建筑，空气流通通畅，含放射性核素的气溶胶经活性炭及高效过滤器过滤后对周边环境影响较小。

放疗中心：医用电子直线加速器、后装治疗机及模拟定位 CT 在设备开机运行过程中产生少量臭氧和氮氧化物由通排风系统管道经地下风管沟并入至肿瘤放疗中心南侧第一住院大楼风井，最终通过至第一住院大楼楼顶（23 层，高度约 75m）排放，

屋顶排风口均朝向天空，由于第一住院大楼均高于本项目 50m 评价范围内的其他院外建筑，空气流通通畅，对周边环境的影响较小。

3、事故工况下环境影响

经分析，本项目可能发生的辐射事故等级为一般辐射事故。针对本项目可能发生的辐射事故，成都中医药大学附属医院按相关规定和本环评要求对已制定的《放射事件应急预案》进行补充完善后，能够有效控制并消除事故影响。

八、非密封放射性物质工作场所及射线装置使用与安全管理的能力

成都中医药大学附属医院拥有专业的放射性医护人员和安全管理机构，有符合国家环境保护标准、职业卫生标准和安全防护要求的场所、设施和设备；建立了较完善的辐射安全管理制度、辐射事故应急措施；在完善《辐射安全管理规定》《辐射工作设备操作规程》等相关管理制度并及时更新，认真落实并定期对辐射防护设施进行检查维护的前提下，具有对医用辐射设施的使用和安全管理能力。

九、项目环境可行性结论

综上所述，本项目符合国家产业政策，项目选址及平面布局合理。项目拟采取的辐射防护措施技术可行，措施有效；项目制定的管理制度、事故防范措施及应急方法等能够有效避免或减少工作人员和公众的辐射危害。在认真落实项目工艺设计及本报告表提出的相应防护对策和措施，严格执行“三同时”制度，严格执行辐射防护的有关规定，辐射工作人员和公众所受照射剂量可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的剂量限值和本环评提出的剂量管理约束值。放射性“三废”及非辐射环境影响均可满足国家标准的要求。评价认为，从辐射安全与防护以及环境影响角度分析，成都中医药大学附属医院新增肿瘤放疗中心项目建设是可行的。

建议和承诺

1、建设单位应加强与周边公众的沟通，做好解释协调工作。

2、落实本报告中的各项辐射防护措施和安全管理制度的。

3、医院应加强管理，安排辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习辐射安全和防护知识并进行考试，以取得辐射安全培训合格证，今后培训时间超过 5 年的辐射工作人员，需进行再培训，详见国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）。

4、医院应于每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上年度的《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》的重要组成部分一并上传。医院应按照《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)》（川环函[2016]1400 号）规定的格式编写《安全和防护状况年度评估报告》。医院必须在“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。延续、变更许可证，新增放射性同位素、射线装置或单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。

5、经常检查辐射工作场所的电离辐射标志和电离辐射警告标志，工作状态指示灯，若出现松动、脱落或损坏，应及时修复或更换。

6、医院须重视控制区和监督区的管理。

7、现有射线装置在报废处置时应当对射线装置内高压射线管进行拆解和去功能化。

8、医院今后在更换辐射安全许可证之前，需登录全国核技术利用辐射安全申报系统（网址 <http://rr.mee.gov.cn>），对相关信息进行修改。

9、本次环评放射性同位素及射线装置工作场所，日后如有变化，应另作环境影响评价。

10、本项目建成后，医院应严格按照《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范核技术利用》（HJ 1326-2023）文件要求，开展竣工环境保护验收工作。验收报告编制完成后 5 个工作日内，公开验收报告，公示的期限不得少于 20 个工作日。验收报告公示期满后 5 个工作日内，建设单位应当登录全国建设项目竣工环境保护验收信息平台，填报建设项目基本信息、环境保护设施验收情况等相关信息，生态环境主管部门对上述信息予以公开。

11、根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》（生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行）中“第 173 条 核技术利用项目退役”中“乙级非密封放射性物质工作场所”的相关规定，本项目核医学科今后暂停使用应做相应的退役环评，应编制环境影响报告表。包括：

（1）开展退役前的准备工作，包括源项调查及制定场所退役方案，分类规划整理退役设施和物品，封存放射性废物；

（2）对拟退役场所开展源项调查和辐射环境现状检测；

（3）委托有资质的单位开展退役环境影响评价工作，出具环境影响评价报告表；

（4）结合环境影响评价文件及批复文件的要求实施退役，包括按照退役计划，制定详细的搬运计划，拆除需要搬运的设施、设备，记录待搬运物品的数量，重点是污物容器，搬运完毕后，将核医学科及内部拟处理的遗留物品全部封存。

“三同时”验收一览表

“三同时”验收一览表

项目	设施（措施）	验收要求
辐射安全管理机构	建立辐射安全与环境保护管理机构，或配备不少于1名大学本科以上学历人员从事辐射防护和环境保护管理工作。医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》而等相关标准要求。
辐射安全与防护措施	核医学科放射性药物生产制备区、病人诊断区及放疗中心各工作场所四侧墙体、顶部及底部采用实心砖墙、混凝土及铅板等防护材料，各防护门均采用铅防护门进行辐射防护。具体防护参数见表10-2及表10-3。	按要求建设后满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目管理目标剂量约束值要求。
	核医学科放射性药物生产制备区及病人诊断区工作场所出入口处、放射性废物铅桶等表面设置电离辐射警告标志，回旋加速器机房、PET/CT机房及SPECT/CT机房防护门上方设置工作状态指示灯、闭门装置，急停按钮及对讲装置等，各机房防护门上粘贴当心电离辐射警告标志。核医学科分装注射室配备有手套箱、质控检测等用房配备有生物安全柜、合成热室内配套自屏蔽化学合成系统（包括自屏蔽自动合成柜及自屏蔽自动分装柜）；核医学科工作场所均设置有专用通排风装置和放射性废水衰变系统。配置情况见表10-5及10-6。	按要求配置后满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等相关标准要求。
	直线加速器机房、后装治疗机机房及模拟定位CT机机房设置机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态灯；设置门机联锁装置、固定式剂量监测报警装置、急停按钮、紧急开门装置视、频监控系统及对讲装置等，放疗中心各机房均设计有通排风系统。	
人员配备	辐射安全管理人员和辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，考核合格后上岗。同时本项目新聘工作人员需参加培训并考试合格后上岗。	按要求配置后满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关标准要求。
	辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检，加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。	
	辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于1次/2年），并建立放射工作人员职业健康档案。	
防护用品监测仪器	拟配置表面沾污仪、X-γ剂量率检测仪、个人剂量报警仪及固定式报警仪等，配置情况见表10-5及10-6。	按要求配置后配备后可满足《放射诊断放射防护》（GBZ130-2020）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的要求
	拟配置铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜，配置情况见表10-5及10-6。	
辐射安全制度	已建立各辐射安全规章制度，按照项目的实际情况补充及完善相关内容，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。	制订并完善后可满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等有关要求。

