

核技术利用建设项目

PET/CT 及回旋加速器核技术利用项目

环境影响报告表

(公示本)

宜宾市第二人民医院

二〇二一年十一月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

PET/CT 及回旋加速器核技术利用项目

环境影响报告表

建设单位名称：宜宾市第二人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：宜宾市翠屏区北大街 96 号

邮政编码：644099

联系人：杨**

电子邮箱：343949681@qq.com

联系电话：***

表 1 项目基本情况

建设项目名称		PET/CT 及回旋加速器核技术利用项目			
建设单位		宜宾市第二人民医院			
法人代表	***	联系人	***	联系电话	18090968785
注册地址		宜宾市翠屏区北大街 96 号			
项目建设地点		宜宾市临港经济技术开发区长江北路西段附一段 27 号妇女儿童院区全科楼一层			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	3200	项目保护投资 (万元)	188.8	投资比例(环保 投资/总投资)	5.9%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积 (m ²)	390
应用 类 型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input checked="" type="checkbox"/> V 类		
	非密封放 射性物质	<input checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类		
	其它	/			
	项目概述				
一、建设单位简介					
<p>宜宾市第二人民医院（组织机构代码编号 12511200452066975W）位于四川省宜宾市，2002 年被卫生部评定为国家三级甲等综合医院，是四川省产前诊断中心宜宾分中心、国家卫计委脑卒中筛查与防治基地、国家药物临床试验机构、中国胸痛中心成员单位。医院占地面积 9.8 万 m²，医疗业务用房面积 12.3 万 m²，现有编制床位 2100 张，开放床位 3100 余张。医院由总院院区、南岸院区、妇女儿童院区、临港院区、肿瘤院区、康复院区、文化广场院区七个院区组成，设有 67 个临床科室、12 个医技科室、24 个行政职能科室。</p> <p>医院现有在岗职工 3500 余人，正高级职称员工 97 人，副高级职称员工 212 人，中级职称 608 人，专业技术人员占职工总数的 94%。省级专委会副主委及以上 8 人，省级专委</p>					

会常委 40 余人、委员 100 余人等。

二、项目由来

宜宾市第二人民医院拟在妇女儿童院区全科楼（已建）一层预留房间建设 PET/CT 中心，使用 1 台医用回旋加速器生产 ^{18}F 并使用 ^{18}F -FDG 进行显像诊断，使用 1 台正电子断层扫描仪（PET/CT）进行检测，使用 1 枚锞-68 用于 PET/CT 校准。本项目生产的同位素药物（ ^{18}F -FDG）仅用于宜宾市第二人民医院妇女儿童院区全科楼一层 PET/CT 中心，不对外销售。本项目依托的主体工程（全科楼）已在《宜宾市第二人民医院儿童病区建设项目环境影响报告书》中进行了评价，并在 2012 年 12 月取得了四川省生态环境厅（原四川省环境保护厅）批复，编号川环审批（2012）771 号。

本项目新增 1 台医用回旋加速器用于制备正电子发射计算机断层显像装置（PET）放射性药物 ^{18}F 的生产，新增 1 台 PET/CT 用于显像诊断，根据《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会 2017 年 66 号），医用回旋加速器为 II 类射线装置、PET/CT 为 III 类射线装置。项目新增 ^{68}Ge 放射源 1 枚用于 PET/CT 校准，活度为 $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$ ，根据《关于发布射线装置分类办法的公告》（国家环境保护总局公告 2006 年第 26 号），属于 V 类放射源。项目建成投运后，PET/CT 中心主要生产并使用 ^{18}F -FDG，日等效最大操作量为 $2.22 \times 10^8 \text{Bq}$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C，PET/CT 中心属于乙级非密封放射性物质工作场所。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》和《建设项目环境保护管理条例》（国务院令 第 682 号）的规定和要求，本项目需进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年本）》（生态环境部令 第 16 号）规定，本项目属于名录中“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目---生产、使用 II 类射线装置；乙级非密封放射性物质工作场所”，应编制环境影响报告表。

为此，宜宾市第二人民医院委托四川久远环保安全咨询有限公司承担该项目的环境影响评价工作。环评单位接受委托后，随即组织专业人员开展现场踏勘、资料收集及整理分析等工作，结合工程的具体情况以及辐射危害特征，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ/T10.1-2016）的要求，编制完成了《宜宾市第二人民医院 PET/CT 及回旋加速器核技术利用项目环境影响报告表》。

三、环境影响评价信息公开

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环境保护主管部门环境影响评价信息，加大环境影响评价公开力度。依据国家环境保护部颁布的《建设项目环境影响评价政府信息公开指南》（试行）的规定：建设单位在向环境主管部门提交建设项目环境影响评价报告书、表以前，应依法、主动公开建设项目环境影响评价报告书、表的全本信息；各级环境保护主管部门在受理建设项目环境影响报告表后应将主动公开的环境影响评价政府信息，通过本部门政府网站向社会公开受理情况，征求公众意见。

四、项目概况

1、项目名称、建设单位、建设地点及性质

项目名称：PET/CT 及回旋加速器核技术利用项目

建设单位：宜宾市第二人民医院

建设地点：宜宾市临港经济技术开发区长江北路西段附一段 27 号妇女儿童院区全科楼一层

建设性质：新建

投资金额：3200 万元

2、建设内容及规模

（1）项目建设内容

本项目拟在宜宾市临港经济技术开发区长江北路西段附一段 27 号妇女儿童院区全科楼（已建，地上四层）一层预留房间建设 PET/CT 中心，总建筑面积约 390m²。主要辐射工作场所包括 1 间回旋加速器机房、1 间合成操作室、1 间高活质检室、1 间注射准备室、1 间注射室、2 间注射后等候室、1 间 PET/CT 机房、2 间放射性废物暂存间、1 间留观室等。

PET/CT 中心生产并使用 ¹⁸F-FDG，年最大操作量为 5.55×10¹²Bq、日最大操作量为 2.22×10¹⁰Bq、日等效最大操作量为 2.22×10⁸Bq。根据《电离辐射防护与辐射源安全标准》（GB18871-2002）规定，PET/CT 中心属于乙级非密封放射性物质工作场所。回旋加速器机房拟配置 1 台医用回旋加速器用于 ¹⁸F 生产，质子束额定能量为 11MeV、束流额定强度为 90μA，属于 II 类射线装置。PET/CT 机房拟配置使用 1 台额定管电压为 140kV、额定管电流为 800mA 的 PET/CT 进行显像诊断，属于 III 类射线装置。另外，PET/CT 使用 1 枚 ⁶⁸Ge 校准源，活度为 7.4×10⁷Bq，为 V 类放射源。

核医学科各场所实体防护如下所述：

回旋加速器机房（面积 43m²，四周墙体为 30cm 混凝土、顶板为 12cm 厚混凝土、防护门采用 2cm 厚铅平移门；回旋加速器自屏蔽体组成为侧面屏蔽体 3cm 钢+32cm 水+12cm 钢+15cm

水+3cm 钢+10cm 水+2.5cm 钢+20cm 聚乙烯，顶部为 3cm 钢+22cm 水+12.5cm 钢+15cm 水+3cm 钢+8cm 水+2.5cm 钢+25cm 聚乙烯，靶区周围安装有 20cm 厚聚乙烯材料的局部屏蔽体）；

合成操作室（面积 25.7m²，东北、东南和西北面侧墙为 30cm 实心砖，西南面侧墙为 30cm 混凝土，顶板为 12cm 厚混凝土、门为 2mm 铅当量、传递窗为 2mm 铅当量）；

高活/质检室（面积 10m²，东北和东南面侧墙为 24cm 实心砖，西南面侧墙为 30cm 混凝土，西北面侧墙为 30cm 实心砖，顶板为 12cm 厚混凝土、门为 5mm 铅当量）；

注射准备室（面积 7m²，东北、东南和西南面侧墙为 24cm 实心砖，西北面侧墙为 30cm 实心砖，顶板为 12cm 厚混凝土、屏蔽门为 10mm 铅当量、西南侧门和东南侧门为 5mm 铅当量，注射窗为 20mm 铅当量）；

1#放射性废物暂存间（面积 2.6m²，西周侧墙为 24cm 实心砖，顶板为 12cm 厚混凝土、西北侧门为 5mm 铅当量）；

注射室（面积 4.4m²，西周侧墙为 24cm 实心砖，顶板为 12cm 厚混凝土、西北侧门为 5mm 铅当量、注射窗为 20mm 铅当量）；

1#注射后等候室（面积 14m²，东北和西南侧墙为 30cm 混凝土+5mm 铅板，西南和西北面侧墙为 24cm 实心砖，顶板为 12cm 厚混凝土+10mm 铅板、门为 8mm 铅当量）；

2#注射后等候室（面积 14m²，东南和西南侧墙为 24cm 实心砖+5mm 铅板，东北和西北面侧墙为 24cm 实心砖，顶板为 12cm 厚混凝土+5mm 铅板、门为 2mm 铅当量）；

PET/CT 机房（面积 44.6m²，东北、东南和西南侧墙为 24cm 实心砖+5mm 铅板，西北面侧墙为 24cm 实心砖+2mm 铅板，顶板为 12cm 厚混凝土+8mm 铅板、门均为 3mm 铅当量、观察窗为 3mm 铅当量）；

2#放射性废物暂存间（面积 6.6m²，四周侧墙为 24cm 实心砖，顶板为 12cm 厚混凝土、西北侧门为 3mm 铅当量）；

留观室（面积 16.8m²，四周侧墙为 24cm 实心砖，顶板为 12cm 厚混凝土、门为 2mm 铅当量）；

病人通道（面积 55.5m²，四周侧墙为 24cm 实心砖，顶板为 12cm 厚混凝土、门均为 5mm 铅当量）。

（2）PET/CT 中心非密封放射性物质使用情况

PET/CT 中心主要进行 ¹⁸F-FDG 试剂制备和 ¹⁸F 显像诊断，制备阶段回旋加速器每天打靶 1 次，¹⁸F 产能为 0.6Ci/次(2.22×10¹⁰Bq/次)；合成时药物回收率为 60%，则可合成 ¹⁸F-FDG 试剂 0.36 Ci/次（1.332×10¹⁰Bq/次）；分装时单次操作量为 10 mCi（3.7×10⁸Bq），日分装

10 次；每个病人静脉注射量为 10mCi/次（ $3.7 \times 10^8 \text{Bq/次}$ ），每天注射 10 次。

本项目涉及使用的放射性核素特性、就诊病人量及用药情况见表 1-1、1-2。

表 1-1 本项目所涉及的医用核素特性

使用核素	半衰期	衰变方式 (分支比%)	粒子能量/ (强度%)	主要 γ 射线能量 /MeV (强度)
^{18}F	109.7min	β^+ (97)	0.635	0.511(200%)
		EC (3)	/	

表 1-2 PET/CT 中心就诊病人量及非密封放射性物质用量情况表

放射性核素	用途	单个病人 最大用量	日最大诊 断病人量	年最大诊 断病人量	日最大操作 量	年最大操作 量	适用场所
^{18}F	现象诊断	10mCi	10 人	2500 人	$2.22 \times 10^{10} \text{Bq}$	$5.55 \times 10^{12} \text{Bq}$	PET/CT 中心

(3) 工作场所分级

① 分级依据

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C，非密封源工作场所的分级判据如表 1-3。

表 1-3 非密封源工作场所的分级

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

放射性同位素的日等效最大操作量根据其毒性组别、操作方式、放射源状态和实际日最大操作量确定。毒性组别和操作方式与放射源状态修正因子见表 1-4、表 1-5。

表 1-4 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 1-5 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较低的 固体	液体，溶液悬 浮液	表面有污染的 固体	气体，蒸汽，粉末，压力很高 的液体，固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 A 表 A.1¹⁸F 属于低毒，毒性修正因子为 0.01；表 A.2 放射性药品生产-分装、标记（液态）属于简单操作，操作方式修正因子为 1。

②场所等级

根据本项目 PET/CT 中心使用放射性同位素的毒性组别、操作方式和日等效操作量，确定非密封放射性工作场所级别，具体见表 1-6。

表 1-6 本项目使用核素及工作场所分级表

工作场所	使用核素名称	日实际最大操作量 (Bq)	毒性组别及其修正因子	操作方式及其修正因子	日等效最大操作量 (Bq)
PET/CT 中心	¹⁸ F	2.22×10 ¹⁰	低毒	简单操作	2.22×10 ⁸
			0.01	1	

由表 1-6 可知，PET/CT 中心的日等效最大操作量为 2.22×10⁸Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

(4) 本项目拟申请辐射安全许可证扩项的内容

综合以上项目建设内容，本项目拟申请扩项的辐射项目内容见表 1-7。

表 1-7 本次申请扩项的辐射项目内容情况

新增射线装置							
设备名称	型号	数量 (台)	主要技术参数	射线装置种类	工作场所	用途	
医用回旋加速器	玖源-11	1	质子束额定能量为 11MeV、束流额定强度为 90μA	II 类	宜宾市第二人民医院妇女儿童院区全科楼一层 PET/CT 中心回旋加速器机房	使用	
PET/CT	待定	1	额定管电压为 140kV、额定管电流为 800mA	III 类	宜宾市第二人民医院妇女儿童院区全科楼一层 PET/CT 中心 PET/CT 机房	使用	
新增放射源							
核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	
⁶⁸ Ce	7.4E+8 / (7.4E+8) × 1	V 类	使用	PET/CT 校准	PET/CT 机房	全科楼一层核医学科源库	
新增非密封放射性物质							
核素名称	活动种	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	操作方式及用途	使用场所	贮存方式及地点
¹⁸ F	使用	2.22E+10	2.22E+08	5.55E+12	液态药物，静脉注射，影像诊断	宜宾市第二人民医院妇女儿童院区全科楼一层 PET/CT 中心	即产即用，剩余部分存放于分装手套箱内

3、项目组成及主要环境问题

项目组成及主要环境问题见表 1-8。

表 1-8 项目组成及主要的环境问题表

名称	建设内容		主要环境问题	
			施工期	营运期
主体工程	PET/CT 中心	拟在妇女儿童院区全科楼一层预留房间建设 PET/CT 中心，总建筑面积约 390m ² 。主要辐射工作场所包括回旋加速器机房、合成操作室、高活质检室、注射准备室、注射室、注射后等候室、PET/CT 机房、放射性废物暂存间、留观室等。PET/CT 中心生产并使用 ¹⁸ F，年最大操作量为 5.55×10 ¹² Bq、日最大操作量为 2.22×10 ¹⁰ Bq、日等效最大操作量为 2.22×10 ⁸ Bq，根据《电离辐射防护与辐射源安全标准》(GB18871-2002)规定，PET/CT 中心属于乙级非密封放射性物质工作场所。	施工噪声 施工废水 建筑垃圾 生活污水 生活垃圾	质子、中子 β、γ射线 放射性废水 放射性废气 放射性固废 β表面沾污 X 射线 臭氧 生活污水 生活垃圾 废放射源
		涉及的射线装置和放射源	质子、中子 X 射线 β、γ射线 感生放射性	
辅助工程	回旋加速器设备用房 (15.6m ²)、气瓶间 (4.5m ²)、回旋加速器控制室 (5.7m ²)、更衣淋浴缓冲间 (24.2m ²) 家属等候区 (11.9m ²)。		施工噪声 施工废水 建筑垃圾等	噪声 生活污水 生活垃圾
公用工程	依托医院既有给水、供电等配套设施。		/	/
办公及生活设施	医生办公室、卫生间等			生活污水 生活垃圾
环保设施	废气：PET/CT 中心气载流出物经通排风系统引至全科楼楼顶并由活性炭吸附过滤装置+高效离子过滤器净化后排放。		施工废气 施工噪声 施工废水 建筑垃圾 生活污水 生活垃圾	放射性废气 放射性固废
	废水：PET/CT 中心放射性废水排入全科楼西侧拟建放射性废水衰变池（三个池体并联设置，单个有效容积 65m ³ ），监测达标后排放入医院既有医疗废水处理站；其他生活污水及医疗废水均依托医院既有医疗废水处理站，处理达标后排入宜宾市市政污水管网。			废水
	固废：PET/CT 中心放射性固废收集后暂存于本项目新建的废物衰变间，暂存达到解控水平后，作为医疗废物处置；医疗废物依托医院既有医疗废物处置体系，集中收集后送当地医疗废物处理机构处置；生活垃圾集中收集后由环卫部门定期清运。			固废
	噪声：采用低噪设备，通过设置减震措施、建筑隔声进行降噪处理。			噪声

4、主要原辅材料及能耗情况

本项目主要原辅材料及能耗情况见表 1-9。

表 1-9 主要原辅材料及能耗情况表

类别	名称	使用量	来源
主要原辅材料	¹⁸ F	年用量 5.55×10 ¹² Bq	自制
	⁶⁸ Ge 校正源	桶源 1 枚，活度为 7.4×10 ⁷ Bq（V 类放射源）	PET/CT 设备自带
能源	电(度)	50000 度	市政电网
水量	自来水	1000m ³	

5、劳动定员和工作制度

劳动定员：本项目涉及新增8名辐射工作人员，其中2人负责人回旋加速器操作、2人负责药物合成、分装和质检，2人负责药物及注射，2名技师负责 PET-CT 机房内病人摆位及机器操作。上述工作人员分两组，轮岗值班，各工种不交叉作业且不参与医院其他辐射工作场所工作。

表1-10 工作人员职责及分组情况

工作内容	回旋加速器操作	药物合成、分装和质检	药物注射	病人摆位及 PET-CT 机操作
人员安排	2人（两组，每组1人）	2人（两组，每组1人）	2人（两组，每组1人）	2人（两组，每组1人）

工作制度：实行8小时工作制，年工作日以250天计。医用回旋加速器每天打靶1次，单次打靶持续时间20分钟，全年打靶83.3小时。¹⁸F-FDG 药物合成时间为30分钟/次，年合成250次；分装（含 PH 值和外观等常规质检）时间为30秒/次，年分装2500次；无菌度、内毒素和杂质等非常规质检每月一次，每次工作人员近距离操作累计持续时间约3分钟。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护总局令第 31 号），从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。

6、现有公辅设施依托情况

办公：本项目辐射工作人员均利用既有办公室作为辐射工作人员办公室。

供水供电：本项目给水、供电等配套设施均由医院既有给水、供电管路接入。

污水：项目所产生的生活废水及医疗废水均依托妇女儿童院区已建的污水处理站进行处理，处理达标后排入宜宾市市政污水管网。

固体废物：PET/CT 中心产生的放射性废物在放射性废物暂存间暂存足够时间，达到清洁解控水平后转移至医疗废物暂存间，作为医疗废物处理。院区医疗废物按《医疗废物管理条例》要求，定期委托有资质单位处置并严格落实危险废物转运联单制度。项目所产生的生活垃圾由环卫部门清运处理。

本项目所依托的环保设施均已通过环境影响评价，现有环保设施处理能力可以满足本项目产生的生活废水、医疗废水、生活垃圾、医疗废物处置需求。

五、产业政策符合性分析与实践正当性

本项目系核技术应用项目在医学领域内的运用。根据国家发展和改革委员会 2019 年第 29 号令《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，属于鼓励类中第三十七项“卫生健康”的第 5 条“医疗卫生服务设施建设”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目。本项目的运营可为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，本项目具有放射实践的正当性，符合现行的国家产业政策。

建设单位在放射性诊断和治疗过程中，对射线装置、非密封放射性物质的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，并建立相应的规章制度和辐射事故应急预案。因此，在正确使用和管理射线装置、非密封放射性物质的情况下，可以将本项目产生的辐射影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给医务人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术利用的实践具有正当性。

七、选址合理性

1、医院外环境关系

本项目选址位于宜宾市临港经济技术开发区长江北路西段附一段 27 号妇女儿童院区全科楼一层。根据现场踏勘，医院东南侧紧邻长江北路、东南侧 110m 为佳乐·悠南山（在建居民区）和太阳岛（已建居民区）、西南侧 35m 为长江国际青年城（已建居民区）、西北侧 170m 为地中海蓝湾凯越城（已建居民区）、东北侧为宜宾临港客运站。

（2）项目外环境关系

本项目拟建 PET/CT 中心位于妇女儿童院区全科楼（已建，地上四层）一层，项目外环境关系见表 1-11。

表 1-11 项目外环境关系表

名称	位置	距离	性质	规模
长江北路	东南	40m	道路	/
太阳岛（已建居民区）	南	110m	住宅小区	约 2000 人
长江国际青年城（已建居民区）	西南	35m	住宅小区	约 6000 人
地中海蓝湾凯越（已建居民区）	西北	170m	住宅小区	约 5000 人
妇女儿童院区门诊楼	东北	35m	医院	约 200 人
全科楼二层输血科技办公室	楼上	5m	医院	约 20 人

本项目评价范围为辐射工作场所实体屏蔽墙体外周边 50m 范围，由表 1-11 可知，项目

评价范围内环境保护目标主要分布有长江国际青年城、医院全科楼二层及以上楼层工作人员等。

(3) 选址合理性分析

本项目依托的主体工程（全科楼）已在《宜宾市第二人民医院儿童病区建设项目环境影响报告书》中进行了评价，并在 2012 年 12 月取得了四川省生态环境厅（原四川省环境保护厅）批复（批复文号为：川环审批〔2012〕771 号）。项目选址合理性已在《宜宾市第二人民医院儿童病区建设项目环境影响报告书》中进行了论述，本项目仅为整体项目的配套建设项目，不新增用地。

①与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求符合性分析

本项目与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关选址要求符合性分析见下表

表 1-12 项目与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）选址要求符合性分析

标准要求	项目实际情况	对比结果
核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。	本项目位于全科楼一层（该层在建核医学科位于本项目北侧），为独立的非密封放射性物质工作场所。根据平面布置，该非密封放射性物质工作场所设置了独立的人员、物流通道。	符合
核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。	本项目不毗邻产科、儿科和食堂等部门，同时避开了医院内人流量较大的住院区域、门诊大厅区域，同时与周围非辐射工作场所有明确的分界隔离，并有实体屏蔽措施。	符合
核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。	本项目控制区内设置有独立排风系统，且排风管道引至全科楼楼顶进行排放，距离最近高楼约 80m。	符合

②与周边环境相容性

项目产生的生活废水、医疗废水依托医院现有的污水处理站处理后排入市政污水管网，核医学科产生的放射性废水利用衰变池衰变处理后排入医院污水处理站处理后排入市政污水管网，不会对当地水质产生明显影响；项目产生的医疗废物收集暂存于医疗废物暂存间后，定期交由有资质的医疗废物处置单位收集；项目产生的生活垃圾暂存于垃圾收集间后交由市政环卫清运；本项目产噪设备为风机，声级约为 65dB（A）左右，经采取降噪措施后噪声影响不大，不会改变区域声环境功能区规划；本项目运行阶段产生的电离辐射经有效屏蔽后对周围环境影响较小；同时本项目建设不占用医院消防通道和内部公共设施，与

医院内部原有布置及周围环境相容。

③小结

本项目位置相对独立，设置有单独的出入口，与周围非辐射工作场所有明确的分界隔离，不邻接产科、儿科、食堂等部门，避开了人群较集中的门诊大楼、收费处等人群稠密区域，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中选址的要求。项目拟建辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的电离辐射经屏蔽和防护后对辐射工作人员和公众的照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求并满足报告表确定的剂量管理约束值的要求。从辐射安全防护角度分析，本项目选址合理。

八、核技术应用现状

1、辐射安全许可证的许可种类和范围

宜宾市第二人民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（00217）），有效期至2024年5月18日，许可种类和范围为使用III、IV类放射源；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。

2、近年来履行环保手续情况

宜宾市第二人民医院儿童病区于2012年取得了四川省环境保护厅《关于宜宾市第二人民医院儿童病区建设项目环境影响报告书的批复》（川环审批〔2012〕771号），主要建设内容包括儿童门急诊楼、全科楼、儿科住院大楼及配套的供水、供电空调系统等。

2014年3月，医院取得了四川省环境保护厅《关于宜宾市第二人民医院新增医用放射性同位素及射线装置应用项目环境影响报告表的批复》（川环审批〔2014〕122号），主要建设内容为：①在总院核医学科建设乙级非密封放射源工作场所（涉及核素包括 ^{125}I 、 ^{18}F 、 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{89}Sr ）、新增1台SPECT/CT射线装置（III类）和1台SPECT（III类）；②在肿瘤分院建设乙级非密封放射源工作场所（涉及核素包括 ^{125}I ）；③在南区放射介入科新增1台数字减影血管造影机（II类）和1台X射线摄片机（III类）；④在南区CT磁共振科新增1台CT机（III类）。

2019年7月，医院取得了四川省生态环境厅《关于宜宾市第二人民医院核医学科迁建项目环境影响报告表的批复》（川环审批〔2019〕76号），主要建设内容为将总院核医学科整体搬迁至临港院区医技大楼（全科楼）一楼，拟在搬迁后的核医学科新建3个非密封放射性物质工作场所，分别为SPECT-CT诊断中心、 ^{131}I 核素治疗中心和 ^{89}Sr 治疗中心。

3、辐射安全管理现状情况

(1) 辐射防护管理机构

为了加强对辐射安全和防护管理工作，医院于 2019 年 6 月对放射（辐射）安全管理工作领导小组进行了调整，组长由党委书记韩平担任、副组长由姜雄等担任，成员由医院各科室领导担任。放射（辐射）安全管理工作领导小组办公室设在医疗质量管理办公室，由周浩任办公室主任。同时，对领导小组组长、成员、办公室和各科室职责进行了明确。

(2) 辐射安全管理制度建立情况

宜宾市第二人民医院已制定有一套相对完善的管理制度和操作规程，包括各射线装置的操作规程、《辐射设备维护维修制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射人员健康及个人剂量管理制度》、《放射人员培训制度》、《辐射工作场所监测制度》，以及《医院辐射事故应急处理预案》。其中，各射线装置操作规程、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射事故应急响应程序》、《辐射工作场所安全管理要求》已按要求悬挂于相应的辐射工作场所。

(3) 辐射工作人员培训情况

医院现有放射工作人员均取得了辐射安全与防护培训合格证书。

(4) 个人剂量监测情况

医院所有辐射工作人员均配有个人剂量计，要求上班期间必须佩戴。医院每季度组织对个人剂量计进行检测，并将检测结果记录存档，建立个人剂量档案。经统计分析，2020 年度医院辐射工作人员中 13 人剂量存在异常，其中 5 人年度剂量超剂量约束值 5mSv，8 人的季度剂量超 1.25mSv。超标原因包括：①个人剂量计曾遗留于工作场所；②工作量增加；③放射防护设施陈旧、防护效果差。对此，医院采取整改措施：①加强放射从业人员个人剂量计佩戴管理；②合理分配工作量，分摊工作剂量；③优化个人防护措施。

医院应进一步加强个人剂量管理，加强人员培训指导，完善人员的配备，优化工作量的安排，并随时对个人剂量进行监控，离岗期间个人剂量计应统一保管。医院应按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）要求，对于介入放射学、核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计；建议采用双剂量监测法（在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计），且在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部剂量计（如头箍剂量计、腕部剂量计、指环剂量计等）。

(5) 年度评估情况

医院按照要求进行了年度评估，编制了《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告（2020 年度）》，并在网络系统中向生态环境主管部门进行了提交。

4、与项目有关原有环境问题

本项目拟建 PET/CT 中心位于宜宾市第二人民医院妇女儿童院区全科楼一层，现为闲置房间，不涉及环境遗留问题。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度(Bq)/ 活度(Bq)×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	⁶⁸ Ge	7.4×10 ⁷ Bq×1 枚	V	使用	校准源	妇女儿童院区 全科楼一层 PET/CT 机房	存放在专用铅容器 中，置于全科楼一层 核医学科源库	本次新增
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	液体	使用	2.22×10 ¹⁰	2.22×10 ⁸	5.55×10 ¹²	PET/CT 检 查显像	静脉注射	妇女儿童院 区全科楼一 层 PET/CT 中 心	通风橱暂存

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (μA) 或剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
2	医用回旋加速器	II类	1台	玖源-11	质子	11	90μA	制备 ¹⁸ F	妇女儿童院区全科楼一层 PET/CT 中心	本次新增
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) 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 (mA)	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	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 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	CT机	III	1	待定	140	800	放射诊断	妇女儿童院区全科楼一层 PET/CT 中心	本次新增

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
放射性气体	气态	^{41}Ar	/	/	/	/	/	大气环境
	气态	^{18}F		1.11×10^9 Bq	1.26×10^{10} Bq	8.0×10^3 Bq/m ³	/	
放射性固废	靶膜	^{18}F 等	/	/	10g	/	铅屏蔽箱收集暂存	委托有资质放射性废物处置单位处置
	合成模块的废液、滤膜和过滤柱、分装模块的废试纸	^{18}F	/	/	5kg	/	铅屏蔽箱收集暂存	暂存至其放射性活度浓度低于相应的清洁解控水平后按医疗固体废物处置
	劳保用品	^{18}F	/	/	12kg	/	塑料桶收集	
	注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料等	^{18}F	/	/	50kg	/	铅屏蔽箱收集暂存	
	病患产生的垃圾	^{18}F	/	/	125kg	/	铅屏蔽箱收集暂存	
	废过滤器	^{18}F	/	/	50kg	/	全科楼楼顶暂存	
	废放射源	^{68}Ge	/	/	/	/	铅箱暂存	

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

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订本），2015年1月1日起实施；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（修订本），2018年12月29日起实施；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003年10月1日施行）；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019年3月2日修订）；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》（国务院第682号令）；</p> <p>(6) 《四川省辐射污染防治条例》（2016年3月29日四川省十二届人大常委会第63号公告公布实施）；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（2011年4月18日环境保护部18号令公布实施）；</p> <p>(8) 《建设项目环境影响评价分类管理目录》（生态环境部令第16号）；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环境保护总局令第31号）；</p> <p>(10) 《关于发布<射线装置分类>的公告》（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会2017年第66号公告公布实施）；</p> <p>(11) 《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环境保护总局公告2005年第62号）。</p>
<p>技术标准</p>	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则-核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；</p> <p>(4) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>(5) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；</p> <p>(6) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>(7) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；</p> <p>(8) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）；</p> <p>(9) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145号）；</p> <p>(2) 《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）；</p>

- (3) 《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）；
- (4) 《环保部辐射安全与防护监督检查技术程序》（第三版）；
- (5) 《关于加强辐射工作人员剂量管理的通知》（川环办〔2010〕49号）；
- (6) 《辐射防护手册》（第一分册-辐射源与屏蔽，原子能出版社，1987）；
- (7) NCRP51《0.1~100MeV 粒子加速器设施辐射防护设计指南》（刘志林 编译）；
- (8) 《放射性同位素手册》（中国原子能出版传媒有限公司）；
- (9) 《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）。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

本项目主要涉及乙级非密封放射性物质工作场所、使用 II、III 类射线装置和使用 V 类放射源，根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的规定，结合本项目特点，确定本项目评价范围为：PET/CT 中心实体屏蔽墙体外周边 50m 范围内。

保护目标

本项目的�主要环境影响因素为电离辐射，根据医院辐射工作场所布局、总平面布置及外环境特征，项目重点关注的环境保护目标见表 7-1 所示。

表 7-1 项目环境保护目标一览表

保护目标	相对位置	与辐射源最近距离 (m)	人数	备注
PET/CT 中心内医护人员	核医学科内区域	0.5	8 人	职业照射
医院其他职工	PET/CT 中心上层输血科、资料室、学习室、值班室	5.7	20 人	公众
流动人员	PET/CT 中心东南侧室外通道	8.5	流动人员	公众
	PET/CT 中心西南侧室外通道	1.0		
青年城居民	PET/CT 中心西南侧	35	200 人	公众

评价标准

一、环境质量标准

- 1、地表水环境执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III类水域标准；
- 2、大气环境执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准；
- 3、声学环境执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）2 类标准。

二、污染物排放标准

1、废水

放射性废水经衰变池衰变后可满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 中总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ 的要求和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ118-2021）中总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ 、碘-131 活度浓度 $\leq 10\text{Bq/L}$ 的要求，生活污水依托医院污水处理设施处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 中的预处理标准后排入市政污水管网。

2、废气

执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)中二级标准。

3、噪声

施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)；营期医院东南侧厂界执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中4类标准，其余厂界执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中2类标准。

4、固体废物

一般固废执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB 18599-2020)；危险废物执行《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2001)及其修改单相关标准。

三、辐射防护标准

1、职业照射和公众照射

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录B剂量限值：

职业剂量限值：应对任何工作人员的职业水平进行控制，使之不超过下述限值：①由审管部门决定的连续5年的平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；②任何一年中的有效剂量，50mSv。

公众剂量限值：实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：①年有效剂量，1mSv；②特殊情况下，如果5个连续年的年平均剂量不超过1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv。

综上，本次评价结合项目诊疗计划，按照辐射防护最优化的原则，确定本项目剂量管理约束值如下表。

表 7-2 项目剂量管理约束值

管理类别		剂量管理约束值
辐射剂量 控制水平	职业	年有效剂量 $\leq 5\text{mSv/a}$ 。
	公众	年有效剂量 $\leq 0.1\text{mSv/a}$ 。

注：辐射工作人员年有效剂量按 GB18871 中规定限值的 1/4 执行；参考 GB18871 中“11.4.3.2 剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%的范围之内”的规定，结合本项目特点及辐射防护最优化原则，项目公众年有效剂量按 GB18871 中规定限值的 10%执行。

2、场所防护要求

(1) 根据《放射诊断放射防护要求》GBZ130-2020)具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

(2) 根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)，6.1 条“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 μ 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 μ Sv/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 2.5 μ 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 μ Sv/h；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 μ Sv/h”。

3、表面污染控制水平

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）5.3.2 条款“应根据使用核素的特点、操作方式以及潜在的照射的可能性和严重程度，做好工作场所监测，包括场所周围剂量当量率水平、表面污染水平或空气中放射性核素浓度等内容，工作场所放射防护检测方法见附件 J。开展核医学工作的医疗机构应定期对放射性药物操作后剂量率水平和表面污染水平进行自主监测，每年应委托有相应资质的技术服务机构进行检测。”该标准给出的核医学科工作场所的放射性表面污染的控制水平见表 7-3。

表 7-3 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		β 放射性物质 (Bq/cm ²)
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	40
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		0.4

1) 该区内的高污染子区除外。

4、《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WST613-2018）

本项目主要放射性废气源项为 ¹⁸F 气载流出物，公众主要摄入受照途径为吸入内照射。根据《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WST613-2018）表 A.2，对于 ¹⁸F 气溶胶，各年龄组、各吸收途径公众最严格限值为 2.3 $\times 10^6$ Bq/a。根据《辐射防护规定》（GB8703-88），成人在轻体力活动条件下呼吸率取值为 1.2m³/h，由此可得项目排放的含 ¹⁸F 气载流出物最大落地浓度限值为 219Bq/m³。

5、放射性液态流出物排放标准

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）7.3.3.1 款，对于槽式衰变池贮存方式：a)所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；b)所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核

素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 β 不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）8.6.2 条款要求“不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放注量的普通下水道，并应对每次排放做好记录：a）每月排放的纵火度不超过 $10ALI_{min}$ （ ALI_{min} 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中较小者，其具体数值按 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定获得）；b）每一次排放的活度不超过 $1ALI_{min}$ ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。”

经测算，对于核素 ^{18}F ，其 ALI_{min} 为 $2.15E+08Bq$ 。

6、放射性废物清洁解控水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）7.2.3.1 款，固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08 Bq/cm^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8Bq/cm^2$ 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 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；c)含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

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

宜宾市位于四川省南部，处于川、滇、黔三省结合部。金沙江、岷江、长江 汇流地带。地跨北纬 27° 50′ ~29° 16′，东经 103° 36′ ~105° 20′ 之间。市境东邻泸州市，南接云南昭通地区，西接凉山彝族自治州和乐山市，北靠自贡市。宜宾自古以来就是川、滇、黔交界地区的交通要冲，贸易咽喉，素有“川南重镇”之称，是金沙江下游规划区、川南规划地区、攀西-六盘水开发区及长江经济带的重要组成部分。

本项目选址位于宜宾市临港经济技术开发区长江北路西段附一段27号妇女儿童院区全科楼一层预留房间，项目中心坐标为经度：E104.666592、纬度 N28.781068。

二、辐射环境监测

为了解本项目评价范围内的辐射环境质量现状，受四川久远环保安全咨询有限公司的委托，四川久测环境技术有限公司监测人员于 2021 年 9 月 22 日对本项目拟建场址进行了中子剂量当量率、X-γ辐射空气吸收剂量率和β表面污染水平进行了监测。

1、监测项目

环境 X-γ辐射剂量率、中子剂量当量率和β表面沾污水平

2、监测使用仪器

使用的监测仪器情况见表 8-1。

表 8-1 监测仪器设备一览表

仪器名称及编号	检定校准日期	校准证书号	校准单位	仪器参数
FH40G-X 型多功能辐射测量仪 编号：SCJC-JL-0221 探头型号：FHZ672E-10	2021.6.30 (检定)	检定字 第 2021-71 号	四川省核工业 辐射测试防护 院设备计量检 定站	测量范围： 1nSv/h~100μSv/h 校准因子：0.97
FH40G-X 型多功能辐射测量仪 编号：41342 探头型号：FHT762H*10	2021.8.13 (检定)	检定字 第 [2021]-N1055 号		测量范围： 1nSv/h~100mSv/h 校准因子：1.22
Como170 型 便携式α、β表面沾污仪 编号：SCJC-JL-0065	2021.4.12 (检定)	检定字 第 202104003480 号	中国计量科学 研究院	B 表面发射率响 应：0.52

3、监测方法

项目监测方法及方法来源见表 8-2。

表 8-2 监测方法及方法来源表

项目	监测方法
环境 X、 γ 辐射剂量率	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）
	《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）
β 表面污染活度	《表面污染测定 第 1 部分： β 发射体（ $E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/14056.1-2008）
中子剂量当量率	《辐射防护仪器中子周围剂量当量（率）仪》（GB/T14318-2019）

4、监测结果

本项目监测结果见表 8-3。

表 8-3 拟建场地周围环境 X- γ 辐射剂量率监测结果（nSv/h）

点位	监测位置	监测值	标准差
1	全科楼一层拟建场所位置	82.6	1.3
2	全科楼二层血库（拟建场所上方）	69.9	0.9
3	长江北路西段附一段（全科楼东南侧）	88.1	0.9
4	青年城（全科西南侧）	72.4	0.5

注：以上监测数据均未扣除监测仪器宇宙射线响应值。

表 8-4 拟建场地周围中子剂量率监测结果（nSv/h）

点位	监测位置	监测值
1	全科楼一层拟建场所位置	未检出
2	全科楼二层血库（拟建场所上方）	未检出
3	长江北路西段附一段（全科楼东南侧）	未检出
4	青年城（全科西南侧）	未检出

表 8-5 拟建场地 β 表面污染检测结果（Bq/cm²）

点位	监测位置	β 表面污染水平
1	全科楼一层拟建场所位置中央 1#	0.09
2	全科楼一层拟建场所位置中央 2#	0.19
3	全科楼一层拟建场所位置中央 3#	0.10

5、质量保证措施

(1) 在拟建项目场地内及评价范围内工作人员活动区域、公众人员相对密集区域布设监测点位，充分考虑监测点位的代表性，以保证监测结果的科学性和可比性；

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

(3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用；

(4) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常，并用检验源对仪器进行校验；

(5) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

(6) 监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。

6、监测结果分析与评价

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)，环境 γ 辐射剂量率测量结果按照下式计算：

$$\dot{D}_\gamma = K_1 \times K_2 \times R_\gamma - K_3 \times \dot{D}_c \quad \dots\dots\dots \text{(式 8-1)}$$

式中： \dot{D}_γ ——测点处环境 γ 辐射空气吸收剂量率值，Gy/h；

k_1 ——仪器检定/校准因子，取 0.97；

k_2 ——仪器无检验源，该值取 1；

R_γ ——仪器测量读数值均值，使用 ^{137}Cs 作为检定参考辐射源，换算系数取 1.20 Sv/Gy；

k_3 ——建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，楼房取 0.8，平房取 0.9，原野、道路取 1；

\dot{D}_c ——测点处宇宙射线响应值，Gy/h。

由表 8-3 可知，项目拟建场址周围辐射环境 X- γ 辐射剂量率监测值为 69.9~88.1nSv/h，经修正后辐射环境 X- γ 辐射剂量率为 56.5~71.2nGy/h，与四川省生态环境厅《2020 年四川省生态环境状况公报》中全省环境电离辐射水平（ $\leq 130\text{nGy/h}$ ）基本一致，属于当地正常天然本底辐射水平。

由表 8-4 分析可知，项目区域中子剂量率低于仪器检测下限，属正常环境本底水平。由表 8-5 分析可知，项目拟建厂址周围 β 表面污染监测值为 0.09~0.19Bq/cm²，属于当地正常水平。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、施工期

本项目施工期主要是对已有建筑物内部进行防护改造和装饰施工、设备安装，最后进行竣工验收，施工期工艺流程及产污环节如下：

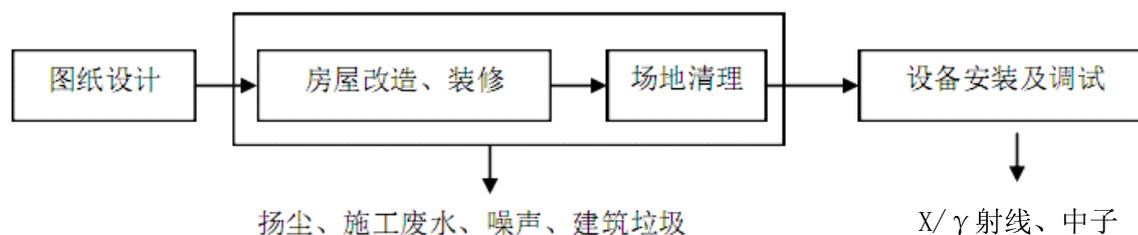


图 9-1 施工期工艺流程及产污环节图

1、土建、装饰施工产污环节分析

(1) 扬尘

由于本项目施工期工程量较小，主要为防护改造和装修装饰，故产生扬尘量较小。建设单位应加强施工场地管理，施工采取湿法作业，尽量降低建筑粉尘对周围环境的影响，现场堆积建筑原料或建筑垃圾应采取遮盖措施，避免风力扬尘。

(2) 噪声

施工期噪声包括各类机械、运输车辆的噪声以及土建施工产生的噪声，由于施工范围小，施工噪声对周围环境的影响较小。施工设备应考虑选择低噪音设备，夜间和午休时段停止施工等措施。

(3) 废水

施工期产生的废水主要为施工人员的生活污水，生活污水产量较小，依托医院现有污水处理设施处理后纳入市政污水管网。

(4) 固体废物

装修过程中产生的装修垃圾和施工人员产生的生活垃圾可依托市政垃圾收运系统收集处理。施工产生的废弃物应妥善保管，及时回收处理。

2、设备安装调试产污环节分析

本项目医用回旋加速器调试阶段会产生质子、中子和 γ 射线，PET/CT调试阶段会产生X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。

医用回旋加速器和 PCT/CT 运输、安装和调试均由设备厂家专业人员进行操作。在射线装置调试过程中，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，在机房外设立辐射警示标志，禁止无关人员靠近。在设备的调试过程中，射线源开关钥匙应安排专人保管或由操作人员随身携带；人员离开时机房应上锁。

另外，PET/CT 中心辐射工作场所地面、墙裙、涉及放射性药物操作的台面应采用易于去污的材质。根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），回旋加速器机房的建造应避免采用富含铁矿物质的混凝土，避免混凝土中采用重晶石或铁作为骨料。

二、运营期

本项目主要进行 ^{18}F -FDG 的生产和病患的 PET/CT 显像诊断，主要工艺流程包括 ^{18}F 初级产物的打靶制备、 ^{18}F -FDG 药物的合成、 ^{18}F -FDG 药物分装质检和注射、病患的候诊、PET/CT 显像诊断等，具体工艺流程如下。

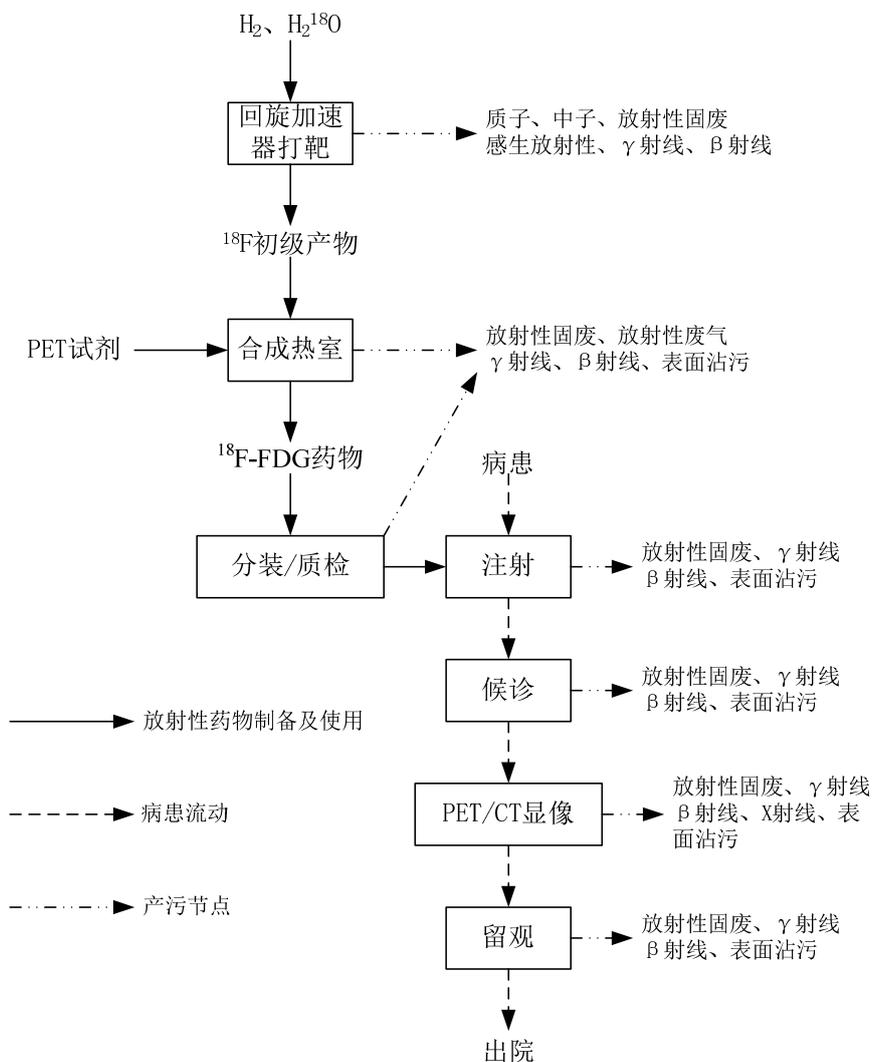


图 9-2 项目总体工艺流程及产污环节图

1、 ^{18}F 初级产物的打靶制备

(1) 回旋加速器工作原理

回旋加速器是粒子（质子）加速器，其工作原理示意如图 9-3 所示。

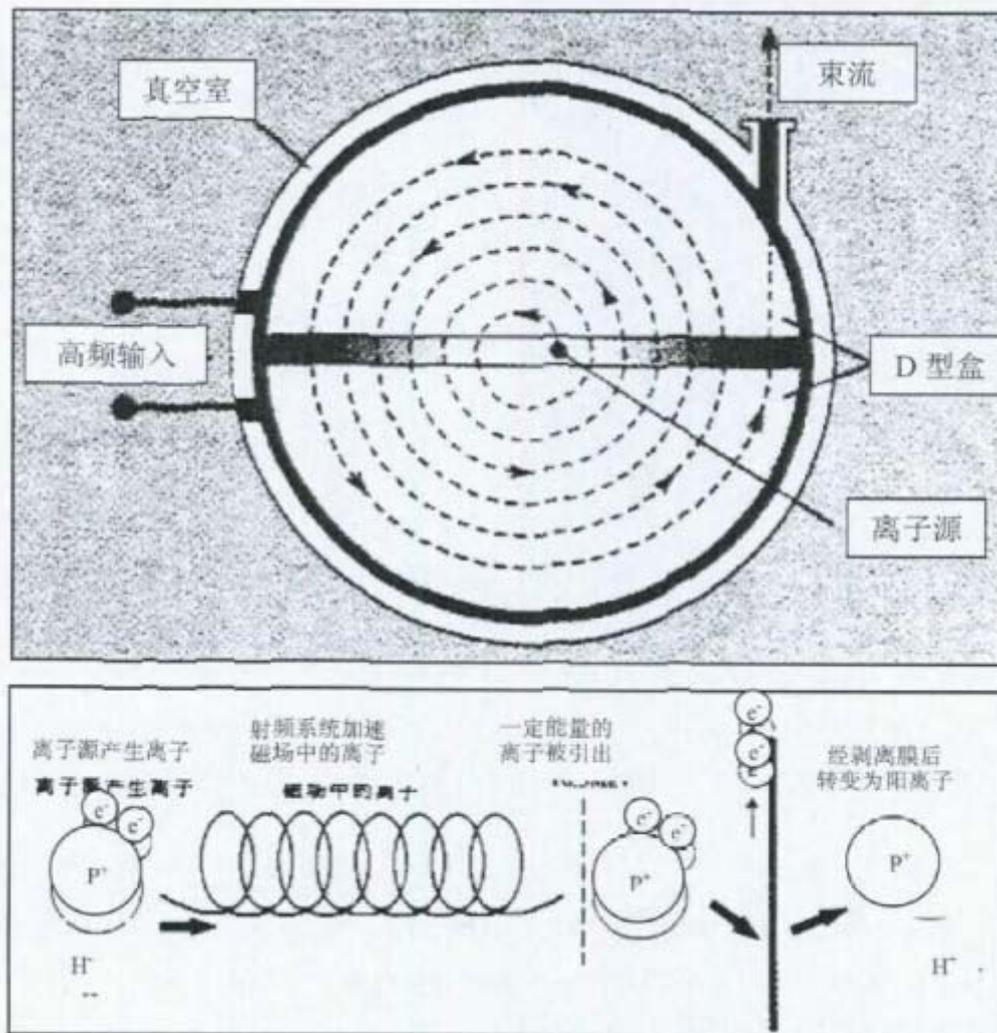


图 9-3 回旋加速器工作原理示意图

将离子源系统产生的氢负离子（离子源）在离子源偏压或高频电压作用下推至离子源通道并进入加速区域。在加速区域，负离子束流在磁场（D 型盒）的作用下做回旋运动，在高频电场多次作用下不断获得能量。在能量增加后，其运动半径也随之增大，故而束流的运动轨迹就变成了一种螺旋形。获得加速的负离子束流通过碳膜（提取膜）时，其与氢结合松散的两个电子被剥离，导致束流从负电性变成正电性，它所受磁场的作用力的方向也发生改变，带正电荷的束流转向出口通过准直器后飞行并轰击靶，产生放射性核素。

加速器制备放射性同位素是利用加速器将带电粒子加速到一定的能量，轰击特定的靶材料，引起核反应而实现的。生产出来的放射性核素主要为缺中子核素，以发射 β^+ 或电子

俘获形式进行衰变，能量适中、半衰期短、辐射危害小，适合 PET 显象。

(2) 回旋加速器系统组成

回旋加速器由以下几个系统组成：磁场系统、真空系统、射频系统、离子源系统、束流提取系统、靶系统和冷却系统。回旋加速器相关设计参数情况见表 9-1。

表 9-1 PET 医用回旋加速器相关参数表

项目	参数	
磁铁	扇块	4
	磁极半径 Cm	45
	平均磁感应强度 T	1.18
射频系统	电压 kV	42
	频率 MHz	72
	电源功率 kW	8
离子源	种类	H ⁻
	插入方式	横向
	工作气流量 sccm	不大于 2
靶	靶种类	单靶（非旋转靶）
	靶数目	1 个/靶站
真空系统	对 H ₂ 抽速 L/s	不小于 4000
水冷系统	制冷功率 kW	不小于 50
	恒温范围	20 至 26 度
	流量 L/min	不小于 65
出束能量	束流强度	90μA
	能量	11MeV

① 磁场系统

主要由磁铁、磁场线圈和磁场电源组成，提供被加速的带电粒子做圆周运动所需要的磁场。

② 真空系统

该系统包括真空腔、真空泵和真空计。通过保持真空腔内的真空度，以降低束流的丢失，减少加速器内部的活化，同时对高频电场提供绝缘保护。

③ 射频系统

射频系统为加速器提供高频振荡电压，是回旋加速器中最关键也是最复杂的系统。它主要有两个功能：一是从离子源中提取离子进行加速；二是对离子运行一周提供加速电压。该系统主要包括 RF 谐振腔、RF 功率发生器以及相应的控制和检测电路，调整因温度变化而引起的频率漂移。

④ 离子源系统

由离子源、离子源电源配给器和气体控制系统组成，主要功能是产生需要加速的带电粒子。

⑤束流提取系统

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

⑥靶系统

靶系统是完成特定核反应而产生正电子核素的装置，主要由准直器、靶室及靶膜(haver和钛)等组成。

⑦冷却系统

包括水冷却系统和氦冷却系统。水冷却系统分为内循环冷却水系统和外循环冷却水系统。内循环冷却水系统位于屏蔽体内，通过板式换热器与外循环水冷机进行热交换，内循环水总流量为 150L/min，整个循环水量不超过 2 立方米；外循环冷却水系统选用的冷水机组型号为 20STB-30A12，Q=18m³/h。氦冷却系统主要在轰击期间对靶室和靶窗的 haver 膜与钛膜之间进行冷却，主要由氦气、压缩机和流量计等组成。

(3) 加速器生产核素及参数

表 9-2 回旋加速器制备放射性同位素的参数表

靶材料	靶体积 (mL)	核反应	产物	半衰期 (min)	照射时间 (min)	产额 (GBq)	衰变类型	毒性分组
富集 H ₂ ¹⁸ O	2	¹⁸ O(p, n) ¹⁸ F	¹⁸ F	109.7	20	22.2	β ⁺ (97%) ε (3%)	低毒

(4) 自屏蔽系统组成

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

(5) 工艺流程及产污环节分析

①加速器运行安全检查。在回旋加速器启动之前，工作人员须进入加速器室进行巡视，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，然后关闭加速器室防护门，进入控制室开启回旋加速器。

②靶系统准备。打开靶系统模块将模式切换到自动模式，启动氦气管路启动、切换到手动模式开关阀将氦气压力补充到 0.100~0.108Pa 之间、将模式切换到自动模式、启动初始化注射器、启动靶腔通气、启动装填 ^{18}O 水、启动靶的保压、完成。

③启动冷却水系统、氢气。首先启动电磁阀，再启动内外水冷，设置氢气流量 6sccm。

④启动磁铁电源、离子源电源。启动磁铁电源，设置磁铁电流为 199.2A，等待磁铁稳定。启动离子源电源，离子源电源电流设定为 0.8A。

⑤打靶。项目拟购置的回旋加速器将 H_2 气体电离形成 H^+ ，对电离后的氢原子（质子）进行加速，质子束流约为 $90\mu\text{A}$ ，其中约 $40\mu\text{A}$ 用于轰击 H_2^{18}O 。 ^{18}O 被质子轰击后，以 $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$ 反应的方式，生成 ^{18}F 和中子。生成的 ^{18}F 会发生正电子衰变，衰变半衰期为 110min。

⑥关闭电源、靶材引出。打靶结束后关闭离子源电源和磁铁电源；靶腔内靶材经氦气吹送，通过屏蔽管道进入合成间（利用定制具有一定铅当量的回形管的方式进行屏蔽，管道内管为 $\Phi 0.25\text{mm}$ 的聚四氟乙烯管，管道防护层为 50mm 铅当量的铅制屏蔽层）。

⑦关氢气、关冷水系统。将氢气流量设置为 0ml/min，关闭内外水冷。

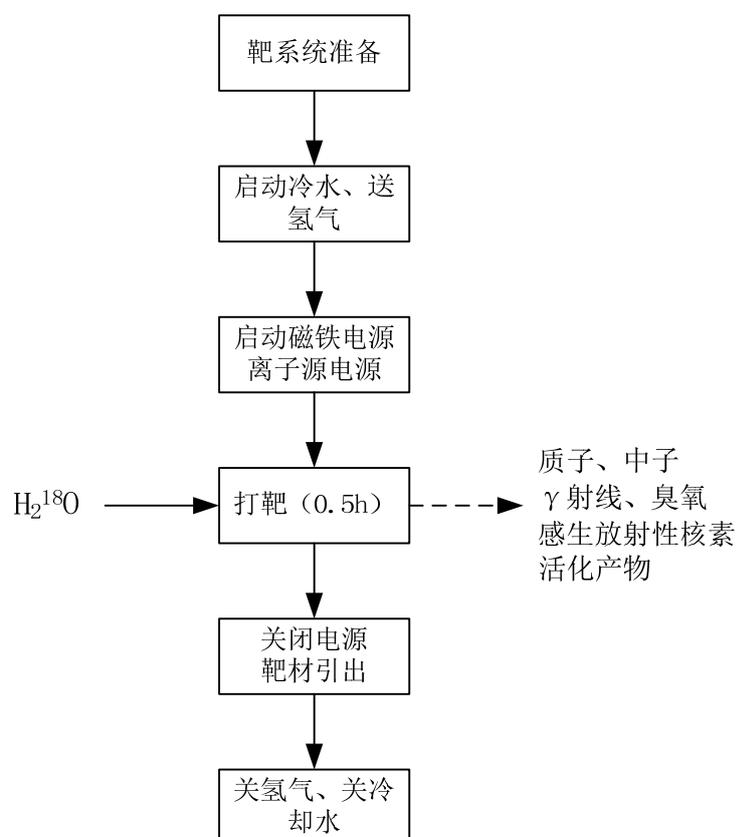


图 9-4 医用回旋加速器工艺流程及产污环节图

(6) 工况分析

医用回旋加速器的质子束能量为 11 MeV，束流强度为 90 μ A（其中损失 50 μ A，打靶输出 40 μ A）。每天打靶 1 次，单次打靶持续时间 20 分钟， ^{18}F 初级产物产量为 0.6Ci（ $2.22\times 10^{10}\text{Bq}$ ），全年打靶 83.3 小时。

2、 ^{18}F -FDG 药物合成分装及质检

(1) ^{18}F -FDG 药物合成

^{18}F -FDG 药物合成主要在合成分装室的屏蔽手套箱内完成，采用远程操控自动合成方式进行，回收率为 60%。合成期间，操作人员位于控制室内进行控制。具体工艺流程如下：

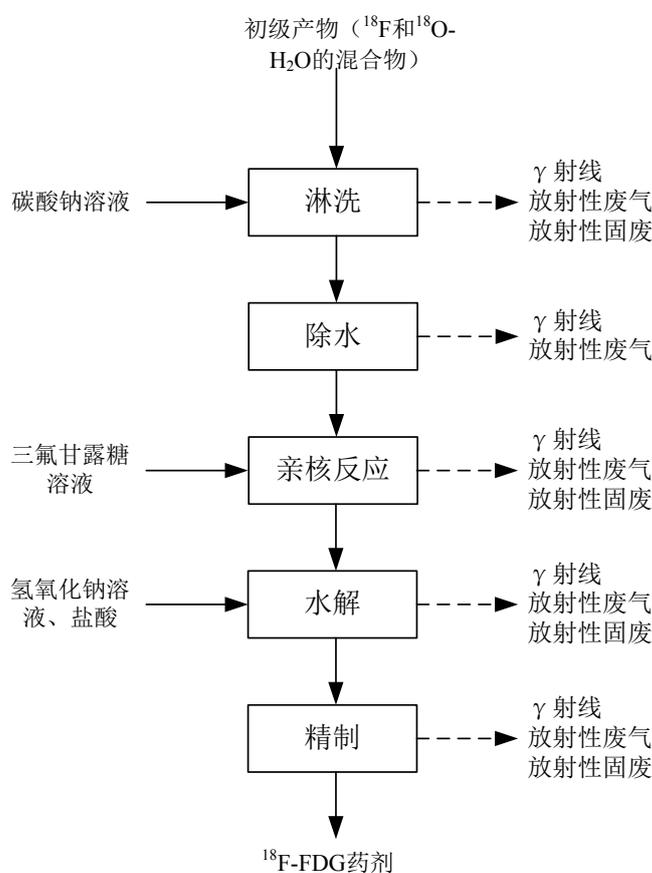


图 9-5 ^{18}F -FDG 药物合成工艺流程及产污环节图

① 工艺流程简述

➤ 输送

经过约 20min 的打靶，靶腔内产生的初级产物（ ^{18}F 和 ^{18}O - H_2O 的混合物）经氮气吹送，通过屏蔽管道传递至合成间的合成模块内。合成模块共三套，分别安装于合成间的 3 个屏蔽手套箱（正面 7cm 厚铅当量、其余五面 6 cm 厚铅当量）内。之后核素在模块箱中的洁净合成模块中自动合成，工作人员远程操控。

➤ 淋洗

从加速器传输过来的核素离子经过 QMA 柱，其中核素离子被附着在 QMA 柱上，废水及其中的杂质离子流到废液瓶（配置有 2cm 铅防护套）中收集，单次产生量约 2.0mL/次。用溶液（0.5mol/L 碳酸氢钠溶液冲洗 10ml+10ml 高纯水）淋洗 QMA 柱，将上面的核素离子带入反应管。

➤ 除水

淋洗结束后加热反应管使乙腈与水共沸进行除水。

➤ 亲核反应

待冷却完毕后向反应管中加入三氟甘露糖溶液进行亲核反应， ^{18}F 取代三氟甘露糖上的一个羟基。

➤ 水解

向反应管中加氢氧化钠溶液进行水解后，加入酸中和。

➤ 精制

粗产品经过树脂柱中和过量的盐酸，分类提纯，经过无菌滤膜过滤获得最终产品。

② 工况分析

上述过程在合成模块内完成，工作人员通过工作站(计算机操作系统)进而控制合成器，单次合成时间约 30min，正常情况下，人员不会接触产物。在该过程前期准备阶段，操作人员需要打开合成热室进行 PET 试剂盒的连接，此时还未导入 ^{18}F ，该过程人员不会接触放射性核素。合成之后的 ^{18}F -FDG 药剂通过手套箱内部管线注入无菌瓶（总活度最大为 0.64Ci）内，并将无菌瓶装入 50mm 厚铅罐内。

（3）放射性药物分装

装有无菌瓶的铅罐由传递窗送出合成操作室，在高活质检室分装手套箱内进行分装。首先，工作人员通过活度计读取 ^{18}F -FDG 药剂的放射性活度值并计算合成效率，之后工作人员利用屏蔽手套箱的手套进行浑浊度检查和 PH 检测（试纸点样），常规检测合格的药剂由人工逐次（0.5mL/次）分装入屏蔽注射器中。 ^{18}F -FDG 药剂在分装手套箱内分装时间为 25 秒/次，之后转移至注射窗需时 5 秒/次，日分装 10 次。

（4）放射性药物质检单元

放射性药物质检内容包括常规检查（活度检测、外观形状检测和 PH 值测量）和非常规检查（无菌度、肉毒素），常规检查由工作人员在分装药物时同步进行。无菌度、内毒

素和杂质等非常规质检每月一次，需等样品放置 10 个半衰期后再进行检测，每次工作人员近距离操作持续时间约 3 分钟。

3、PET/CT 诊断

具体工作流程如下：

- ①预约检查，PET/CT 中心接收患者，并告知患者诊断过程存在的辐射危害；
- ②医生根据病情确定使用核素的剂量；
- ③病人通过注射将放射性药物 ^{18}F -FDG 药剂摄入。在药品摄入过程中存在 γ 射线，同时会产生放射性固废(注射器、棉球、一次性手套等)；
- ④病人在候诊室内候诊 20min；
- ⑤病人进入 PET-CT 机房通过仪器进行器官显像和病情检查。整个检查过程大约要 15min，检查完毕后无异常情况前往留观室。
- ⑥病人在留观室停留 10~15min，之后从患者出口离开 PET/CT 中心。

PET/CT 诊断工艺流程及产污位置图如图 9-6 所示。

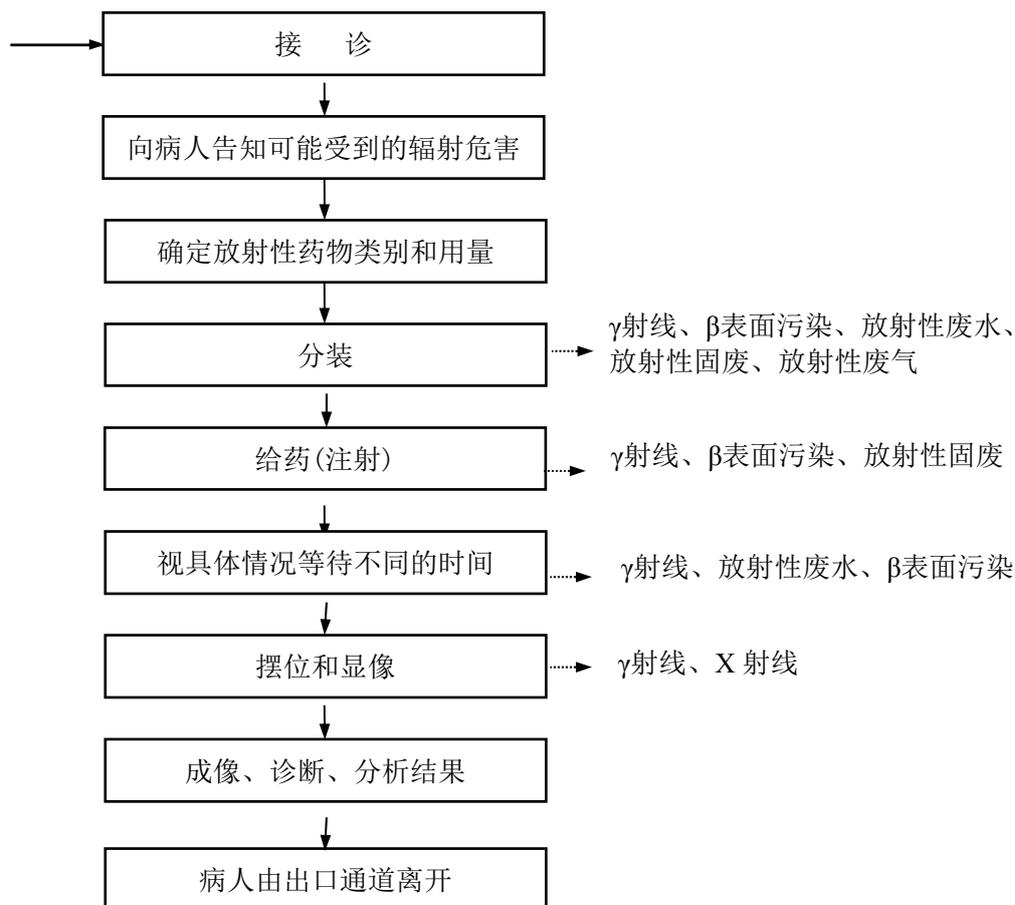


图 9-6 PET/CT 诊断工艺流程及产污位置图

(1) PET/CT设备组成

PET/CT 扫描仪由 PET 扫描仪和 CT 扫描仪组成。PET 扫描系统主要由扫描仪、显像床、电子柜、操作工作站、分析工作站和影像硬拷贝等组成，它是决定图像质量的基础。CT 扫描仪位于 PET 扫描仪的前方，两者组合在一个机架内，后配 PET、CT 融合对位工作站，一次成像同时完成 CT 及 PET 扫描。

(2) PET/CT 诊断工作原理

PET/CT (Positron Emission Tomography and Computer Tomography)，全称正电子发射断层与计算机断层诊断技术，是在 PET 和 CT 的基础上发展起来的新设备，充分结合了 PET 高灵敏度和 CT 高分辨率的优势。其原理是通过正电子核素其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，藉此诊断疾病，又称为生化显像或功能因子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术；同时结合应用高档多排 CT 技术进行精确定位，可以精确地提供靶器官的解剖和功能双重信息，并能够独立完成多排螺旋 CT 的临床显像，大大提高临床使用价值。

(3) PET/CT 诊断运行工况

项目拟配置 1 台 PET/CT，使用的 CT 部分最大管电压不超过 140kV，最大管电流不超过 800mA，每个病人检查时出束时间为 0.5 秒。¹⁸F 每人每次最大使用量为 3.70×10⁸Bq/人次 (10mCi)，主要用于糖代谢、全身肿瘤显像。¹⁸F 在注射室进行静脉注射给药，注射时，医生与病人分别位于注射窗的两侧，距患者约 50cm。给药后的病人根据需要在注射后休息室候诊 20min 后，在 PET-CT 机房进行核素显像，一般扫描时间为 15min，扫描结束后在留观室留观 10~15min 即可从患者出口离开 PET/CT 中心。

4、人流物流路径及合理性分析

PET/CT 中心“人、物、污”流动路径介绍及合理性分析如下。

(1) 患者路径

受检者按预约日期达到一层候诊大厅，在候诊大厅内接受宣讲和告知，之后通过患者入口单向门禁（只进不出）后到达注射室，接受注射药物后进入注射后候诊室静卧候诊，按叫号顺序前往 PET-CT 机房内接受检查，检查结束后进入留观室内留观，之后从 PET/CT 中心西南侧单向门禁（只出不进）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，注射后候诊室均设有独立的卫生间，患者在注射后候诊室内静卧候诊，在专用卫生间内入厕，不随意走动。

(2) 辐射工作人员路径

药物生产、分装和注射工作人员从前室医护人员入口经卫生通过间、更衣间进入回旋加速器控制室、合成操作室、注射室或高活/质检室，进行药物合成、分装和注射。该路径上更衣淋浴间包含更衣、淋浴及放射性表面污染检测功能，配置有表面污染监测设备及去污工具组，设置有感应式洗手池和淋浴设施。PET/CT操作工作人员从候诊大厅医护入口经生活学习示教区、缓冲间控制室，进行扫描检查。

(3) 放射性药物路径

靶腔内产生的初级产物（ ^{18}F 和 $^{18}\text{O}\text{-H}_2\text{O}$ 的混合物）经氮气吹送，通过屏蔽管道（管道内管为 $\Phi 0.25\text{mm}$ 的聚四氟乙烯管，管道防护层为 50mmPb 的铅制屏蔽层）吹送至合成操作室的合成模块内进行药物合成。合成后的药物装入铅屏蔽箱（ 50mm 铅厚）由人工通过传递窗送入高活质检室的屏蔽手套箱内进行分装、质检，之后针剂转入注射准备室进行注射。

(4) 放射性废物流出路径

合成分装产生的放射性废物主要为合成模块的废液、滤膜和过滤柱、分装模块的废试纸和工作人员的一次性手套，其中废液、废试纸、废滤膜和过滤柱在屏蔽箱内用玻璃瓶或塑料箱收集并暂存 3 天，之后利用铅屏蔽箱暂存在 1#废物衰变间；一次性手套采用铅废物桶收集并暂存于 1#废物衰变间。药物注射过程产生的如一次性注射器、手套、棉签、吸水纸等固体废弃，由注射准备室内脚踏式铅废物桶收集，之后转移至 1#废物衰变间进行贮存衰变，经衰变 10 个以上半衰期达到清洁解控水平后由注射室防护门、通道带离 PET/CT 中心。另外，放射性废物外运均安排在下班以后进行，避免与患者之间的交叉影响。

回旋加速器运行期间每年需要更换靶腔两侧的靶膜（钛膜和 HAVER 膜）一次，更换下来的靶膜采用铅屏蔽箱收集并暂存在机房西南侧 2#废物间，待场所退役时经 2#废物间防护门带离 PET/CT 中心并委托有资质放射性废物处置单位处置，退役前不外运。

⑤ 小结

综上所述，通过合理设置辐射工作人员路径、病患路径、放射性药物路径及放射性废物流出路径，可有效避免交叉影响，路径设置合理可行。

污染源项描述

1、 ^{18}F 初级产物的打靶制备的污染源项

(1) 质子

回旋加速器将 H 离子加速至 11MeV，H 离子通过碳箔脱离电子后成为质子。质子的穿透性很弱（在物质中的射程很短，仅为同等能量电子射程的几十分之一到百分之一），很容易被物质阻挡。

(2) 中子

中子是回旋加速器的主要污染因子之一，主要由两部分组成：一部分为质子加速过程和通过准直器时损失打在铝质真空管壁和铝质准直器上发生 $^{27}\text{Al}(p, n)^{27}\text{Si}$ 核反应的中子；一部分为质子射束轰击靶材料时发生 $^{18}\text{O}(p, n)^{18}\text{F}$ 核反应，在生成 ^{18}F 的同时产生中子。

(3) γ 射线

回旋加速器生产放射性核素 (p, n) 反应所释放的大量中子与靶周围部件、准直器、自屏蔽体等物质相互作用将释放出平均能量为 8MeV 的 γ 射线。俘获反应有 (n, γ)、(n, α)、(n, p) 等，但以释放 γ 射线为主。

(4) 感生放射性核素

项目使用的回旋加速器加速质子最大能量为 11MeV，质子及次生中子与加速器部件如准直器、真空管壁、靶膜、磁极等相互作用使部件活化，且感生放射性核素活度随运行时间的增长而增加。因此，在打开加速器自屏蔽时，将对工作人员造成外照射。加速器运行产生的放射性核素见表 9-3。

表 9-3 加速器运行产生的感生放射性核素

核素	半衰期	衰变方式 (分支比, %)	γ 射线能量(MeV)	来源
^{27}Si	4.17s	β^+ (100)	ε (β^+) 3.85 ε (γ) 0.511	$^{27}\text{Al}(p, n)\rightarrow^{27}\text{Si}$
^{24}Na	15.0h	β^- (100)	ε (γ) 1.369	$^{27}\text{Al}(n, \alpha)\rightarrow^{24}\text{Na}$
^{54}Mn	312.1d	EC (100)	ε (γ) 0.835	$^{54}\text{Fe}(n, p)\rightarrow^{54}\text{Mn}$
^{56}Mn	2.579h	β^- (100)	ε (γ) 0.847	$^{55}\text{Mn}(n, \gamma)\rightarrow^{56}\text{Mn}$ $^{56}\text{Fe}(n, p)\rightarrow^{56}\text{Mn}$
^{60}Co	5.271a	β^- (100)	ε (γ) 1.333	$^{60}\text{Ni}(n, p)\rightarrow^{60}\text{Co}$
^{55}Fe	2.737a	EC (100)	ε (γ) 0.006	$^{54}\text{Fe}(n, \gamma)\rightarrow^{55}\text{Fe}$
^{51}Cr	27.7d	EC (100)	ε (γ) 0.320	$^{54}\text{Fe}(n, \alpha)\rightarrow^{51}\text{Cr}$

(5) β射线

如上所述，回旋加速器运行过程中产生的感生放射性核素多为β或(β⁺)衰变，由于β或(β⁺)穿透能力较弱，影响范围仅限于回旋加速器自屏蔽体内，对外环境不会产生明显的影响。本评价项目的回旋加速器生产的药物(¹⁸F)为β⁺衰变，β⁺射线在水中和人体组织之中的射程很短，较容易防护，不会对环境产生明显影响。

(6) 放射性废气

当加速器室内空气受到达到或超过产生(γ, n)反应阈能量的γ射线照射时，将产生¹⁵O(半衰期 2.1min)、¹³N(半衰期 10min)、¹¹C(半衰期 20.4min)、⁴¹Ar(半衰期 110min)等放射性气体。¹⁵O、¹³N、¹¹C 等产生率相当低，关键核素是 ⁴¹Ar，其主要特性参数见表 9-4。

表 9-4 自屏蔽体内的空气活化核素

核素	半衰期 (比活度, Ci/g)	衰变方式 (分支比, %)	粒子和γ辐射总能量 MeV/衰变	来源
⁴¹ Ar	1.83 h, 4.18×10 ⁷	β ⁻ (100)	ε (β ⁻) 0.464 ε (γ) 1.28	⁴⁰ Ar(n,γ)→ ⁴¹ Ar

(7) 放射性废水

内循环冷却水(总量约 2m³) 在回旋加速器内受照射后产生放射性核素，主要是 ¹⁵O (T_{1/2}=2.03min)、¹³N (T_{1/2}=9.96 min) 及 ¹¹C (T_{1/2}=20.4 min)，其半衰期都很短，并且冷却水沿闭合回路在自屏蔽体内循环使用，不会污染附近环境场所。

(8) 放射性固废

回旋加速器运行期间，每年需要更换靶腔两侧的靶膜(钛膜和 HAVER 膜)一次，每次产生量约 10g。

2、¹⁸F-FDG 药物合成分装及质检的污染源项

(1) γ射线

¹⁸F 发生β⁺衰变经湮灭反应后产生γ射线能量为 0.511MeV，对工作人员和公众造成外照射。由于湮灭反应十分迅速，因此不考虑β射线。

(2) 放射性废气

靶产物 ¹⁸F-F 在合成热室制备 FDG 时，极少部分可能会被载带至极小的颗粒，并进入大气环境，形成放射性废气。项目投运后每天打靶一次，产生 ¹⁸F 离子 600mCi，其中 360mCi 制成药物，30min 合成阶段衰变约 104mCi，则约 136mCi 形成放射性固废或废气。偏保守估算，136mCi¹⁸F 离子全部形成放射性废气。同时，放射性废气过滤装置的压差大于终阻力

值时需对过滤器进行更换，单次产生量约 50kg。

(3) β 放射性表面污染

医生在对含有放射性同位素 ^{18}F 的操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的 β 放射性表面污染。

(4) 放射性固废

合成质检及分装药物过程中产生极少量的废液、废试纸、少量的沾污放射性核素的滤膜及过滤柱等，产生量约 20g/次，每年更换 250 次，则年产生量约 5kg；工作人员进入合成间均佩戴一次性手套，废手套产生量约 1kg/月；此外，空气净化装置的废过滤器产生量为 50kg/次；注射准备室将产生注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料等，产生量约 50kg/a。高活质检间非常规质检（阳性对照和无菌监测）将产生少量检测后的医疗固废，产生量约 10kg/a。

3、PET/CT 诊断的污染源项

(1) γ 射线

^{18}F -FDG 药剂在注射过程和患者注射后候诊、扫描及留观等过程中产生的 γ 射线， ^{68}Ge 密封源校准过程中释放 γ 射线，以上射线会造成医务人员和公众的外照射。

(2) X 射线

PET/CT 机为III类射线装置，射线装置在开机状态下主要辐射为 X 射线，在不开机状态下不产生 X 射线。

(3) β 放射性表面污染

医生在对含有放射性同位素 ^{18}F 的操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的 β 放射性表面污染。

(4) 放射性废水

放射性废水包括工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废液以及患者冲洗排便用水。注射检查区针对受检人员设置有专用卫生间，按照所有受检者每人次 1 次入厕，每次产生废水量约 10L，每天约产生废水 100L。另外，工作人员在完成一天的制药和注射工作后需进行污染检测，并进行去污清洗而产生放射性废水，每天放射性废水产生量约为 100L。综上，项目年运行 250 天，则放射性废水产生量为 25m³/a。

(5) 放射性固体废物

患者诊断过程放射性固废产生量约 0.05kg/人，¹⁸F 核素诊断每天诊断 10 人次，则每天产生固废量约 0.5kg（125kg/a）。退役或报废的 ⁶⁸Ge 密封源由放置于专用铅盒内，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的相关要求，退役或报废的 ⁶⁸Ge 密封源交给生产厂家回收。

4、非电离辐射污染源项

(1) 生活污水

项目共有新增工作人员 8 人，年工作时间为 250 天，用水量按 100L/人·d 计算，生活用水量约 0.8m³/d（200m³/a），生活污水按用水量的 80%计，则生活污水排放量为 0.64m³/d（160m³/a）。

(2) 生活垃圾

项目定员 8 人，年工作时间为 250 天，按每人每天产生生活垃圾 0.5kg 计算，项目建成营运后生活垃圾产生量约 1.0t/a。

(3) 废气

回旋加速器和 PET/CT 机工作时室内空气中的氧和氮在辐射的作用下电离而生成的臭氧和氮氧化物。

(4) 噪声

本项目营运期间噪声源包括水冷机组外机、排风系统风机和真空泵等，噪声源强在 65~75dB（A）之间，项目主要产噪设备声级值及治理措施见表 9-5

表 9-5 项目噪声产生及治理情况 单位：dB(A)

噪声源	位置	数量	源强	污染源降噪防治措施	降噪后
水冷机组外机	全科楼一层设备用房（回旋加速器机房西南侧）	1 台	65dB(A)	采用低噪设备、基础减振	50dB(A)
排风系统风机	全科楼楼顶	6 台	65dB(A)	采用低噪设备、基础减振	65dB(A)
真空泵	全科楼一层设备用房（回旋加速器机房西南侧）	1 台	70dB(A)	采用低噪设备、建筑隔声	55dB(A)

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、工作场所平面布置合理性分析

PET/CT中心位于妇女儿童院区全科楼一层西侧，与医院在建核医学科同布置于全科楼一层。PET/CT中心涉及的回旋加速器机房、合成操作室、高活质检室、注射准备室等布置于北部、2间注射后等待室和PET/CT机房布置于南部，病人出口位于东侧、出口位于西侧，均为独立门禁出入口，非工作人员引导不能直接进入。整个PET/CT中心相对独立且封闭，除本中心医护人员及病人外，无关人员不得入内。

本项目位置相对封闭且独立，各组成部分功能分区明确，满足诊治工作要求，既能有机联系，又不相互干扰。核医学科各辐射工作场所用房之间采用墙体分隔，墙体、防护门、窗的屏蔽防护厚度充分考虑了电离辐射效应，能够有效降低电离辐射对工作人员和周边公众的辐射影响，从辐射安全防护的角度分析，本项目核医学科的总平布置是合理的。

二、工作区域管理

2.1 分区依据和原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范和管理工作，项目应当按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）6.4条要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区。

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

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标识；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

2.2 本项目控制区和监督区划分

本项目辐射分区划分，见表 10-1。

表 10-1 本项目辐射工作场所两区划分情况

	控制区	监督区
两区划分	回旋加速器机房、合成操作室、高活质检室、注射准备室、注射间、1#废物间、2#废物间、PET/CT 机房、1#注射后候诊室、2#注射后候诊室、留观教室和病人通道、废水衰变池区域。	设备间、气瓶间、更衣淋浴间、控制室、医生值班室、体外检测室、生活学习示教室、体外检测报告室、冷藏室
辐射防护措施要求	控制区内禁止外来人员进入，职业工作人员在进行日常工作时候尽量不要在控制区内停留，以减少不必要的照射。	监督区范围内应限制无关人员进入。

1.3 环评要求

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，建设单位应做到：

(1) 控制区防护手段与安全措施

- ①控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的电离辐射警告标志；
- 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；

⑤在更衣淋浴间配备个人防护用品、工作服、表面污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜。

(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

2.1 回旋加速器机房

1、回旋加速器固有安全性

(1) 回旋加速器使用质子加速技术，水平加速面和非聚集靶及其快速连接系统，使操作和维护人员受到的辐射剂量和设备受到的照射影响降到最低。

(2) 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。

(3)从原料到最后的放射性物质输送全程均采用自动化操作,减少职业人员受照剂量;

(4)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。

(5)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、工程屏蔽措施

回旋加速器机房四周墙体为30cm混凝土、顶板为12cm厚混凝土、防护门采用2cm厚铅平移门,回旋加速器自屏蔽体组成:侧面屏蔽体3cm钢+32cm水+12cm钢+15cm水+3cm钢+10cm水+2.5cm钢+20cm聚乙烯,顶部为3cm钢+22cm水+12.5cm钢+15cm水+3cm钢+8cm水+2.5cm钢+25cm聚乙烯,靶区周围安装有20cm厚聚乙烯材料的局部屏蔽体。

另外,打靶产生的初级产物¹⁸F溶液,经过特殊管道(管道内管为Φ0.25mm的聚四氟乙烯管)传送到合成操作室的合成手套箱内,会有少量液体附着在管道壁上,形成放射源,项目采取50mm铅当量的铅制管道对其进行屏蔽。

3、回旋加速器机房辐射安全防护措施

(1) 门机联锁

①自屏蔽体与回旋加速器联锁:医用回旋加速器自屏蔽体由2个固体块和2个移动块组成,在移动块上各设置2个限位开关,检测自屏蔽体的开闭状态;将限位开关与回旋加速器离子源系统进行联锁,当屏蔽体处于开启状态时,加速器离子源系统无法开启;屏蔽体意外打开的时候,加速器离子源系统停止工作。

②机房进出门与回旋加速器联锁:机房进出门设置限位开关,将限位开关与回旋加速器离子源系统进行联锁,当进出门处于开启状态时,加速器离子源系统无法开启;进出门意外打开时,加速器离子源系统停止工作。

(2) 门灯联锁

机房进出门外侧和控制台上分别安装工作状态指示灯,并与门联锁。状态指示灯显示正在进行出束打靶作业时,门不能被打开,防止出束期间人员误入发生辐射事故。

(3) 控制台锁定开关

控制台有防止非工作人员操作的锁定开关,钥匙(控制台与入口门同一把钥匙)由辐

射操作人员携带保管，换班、检修时检查钥匙交接情况，防止非工作人员误操作。

(4) 紧急停机

在机房四侧墙体内侧 1.5m 高处各安装 1 个“紧急停机按钮”（按钮旁设置明显的文字提示），该开关与控制台上的“紧急止动”联动，按下该按钮则回旋加速器离子源系统自动断电。出束期间，当人员误留在机房内时，可按紧急逃逸开关，一旦按下按钮，回旋加速器离子源系统自动断电，人员通过打开进出门紧急逃逸。

(5) 声光报警系统

医用回旋加速器装置顶部设置声光报警装置，出束前警铃发声、警灯闪烁 2 分钟以提醒装置即将出束，之后警灯显示为红色表示装置正在出束。

(6) 视频监控

机房内设置视频监控装置 1 套，2 个探头位于对角墙角上，可保证机房内无死角观察。在出束工作开展前，对回旋加速器机房内情况进行实时监控，防止出束时人员误入、人员滞留等辐射事故发生。

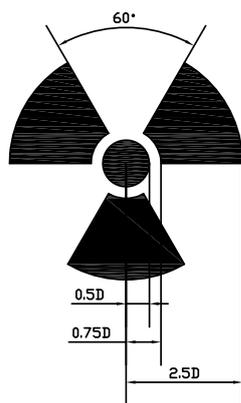
(7) 应急通讯设施

回旋加速器机房内装备通讯设施（电话），用于应急对外通讯。

4、其他

(1) 警示标志

在回旋加速器自屏蔽体外表面设置明显可见的电离辐射标志；回旋加速器机房出入口外醒目位置设置固定的电离辐射警告标志。



a. 电离辐射标志



b. 电离辐射警告标志

(2) 剂量监测设施

辐射工作人员需配置个人热释光剂量计，人均 2 个（1 用 1 备），工作期间必须佩戴个

人热释光剂量计。

拟配置固定式 X- γ 剂量率仪和固定式中子剂量率仪各 1 台，固定式监测仪的探头安装于机房进出门内侧墙壁处；配置便携式 X- γ 剂量率仪和便携式中子剂量率仪各 1 台，表面污染监测仪 1 台，用于回旋加速器机房及周边环境辐射的自行监测。配置个人剂量报警仪 2 个，辐射工作人员进入回旋加速器机房时需佩戴，若发现问题可迅速撤离。

2.2PET/CT 中心

1、防护要求

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），核医学工作场所根据操作放射性核素的权重活度分为三类，见下表。

表 10-2 核医学工作场所分类一览表

分级	权重活度, MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50

注：权重活度=（计划的日最大操作活度×核素毒性权重系数）/操作性质修正系数。

本项目放射性核素毒性权重系数和操作性质修正系数见下表。

表 10-3 核医学常用放射性核素的毒性权重系数

类别	放射性核素	权重系数
A	^{18}F	1

表 10-4 不同操作性质的修正系数

操作方式和地区	修正系数
贮存	100
废物处理；闪烁法计数和显像；候诊区及诊断病床区	10
配药、分装以及施给药；简单放射性药物制备；治疗病床区	1
复杂放射性药物配置	0.1

按照上表 10-3 和 10-4，本项目各个核素权重活度计算结果见表 10-5；工作场所室内防护要求见表 10-6。

表 10-5 本项目使用核素权重活度计算结果

场所	工作场所	核素	日最大操作量 (Bq)	操作性质的修正系数	毒性权重系数	计算结果 (MBq)	防护分级
PET/CT中心	合成操作室	¹⁸ F	2.22E+10	1	1	22200	II
	高活质检室	¹⁸ F	1.33E+10	1	1	13300	II
	注射准备室	¹⁸ F	3.70E+08	1	1	370	II
	注射室	¹⁸ F	3.70E+08	1	1	370	II
	注射后等候室	¹⁸ F	3.70E+08	1	1	370	II
	PET/CT 机房	¹⁸ F	3.26E+08	1	1	326	II
	留观室	¹⁸ F	2.97E+08	1	1	297	II

表 10-6 按不同级别工作场所室内表面和装备的要求

防护分级	工作场所	地面	表面	分装柜	通风	管道	盥洗与去污
II	合成操作室、高活质检室、注射准备室、注射室、注射后等候室、PET/C 机房、留观室	与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	良好通风	普通管道	洗手盆 ^① 和去污设备

①洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

通过计算分析，合成操作室、高活质检室、注射准备室、注射室、注射后等候室、PET/CT 机房、留观室需达到 II 级场所防护要求。

2、工程屏蔽措施

PET/CT 中心辐射防护屏蔽设计参数表见表 10-7。

表 10-7 PET/CT 中心工程屏蔽设计参数

名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
合成操作室	东北、东南和西北面侧墙	30cm 实心砖
	西南面侧墙	30cm 混凝土
	顶板	12cm 厚混凝土
	防护门窗	2mm 铅当量
高活/质检室	东北和东南面侧墙	24cm 实心砖
	西南面侧墙	30cm 混凝土
	西北面侧墙	30cm 实心砖
	顶板	12cm 厚混凝土
	防护门	5mm 铅当量
注射准备室	东北、东南和西南面侧墙	24cm 实心砖
	西北面侧墙	30cm 实心砖
	顶板	12cm 厚混凝土
	东北侧门	10mm 铅当量
	其余屏蔽门	5mm 铅当量
注射室	西北侧门	5mm 铅当量

	注射窗	20mm 铅当量
1#放射性废物暂存间	西周侧墙	24cm 实心砖
	顶板	12cm 厚混凝土
	西北侧门	5mm 铅当量
1#注射后等候室	东北和西南侧墙	30cm 混凝土+5mm 铅板
	西南和西北面侧墙	24cm 实心砖
	顶板	12cm 厚混凝土+10mm 铅板
	防护门	8mm 铅当量
2#注射后等候室	东南和西南侧墙	24cm 实心砖+5mm 铅板
	东北和西北面侧墙	24cm 实心砖
	顶板	12cm 厚混凝土+5mm 铅板
	防护门	2mm 铅当量
PET/CT 机房	东北、东南和西南侧墙	24cm 实心砖+5mm 铅板
	西北面侧墙	24cm 实心砖+2mm 铅板
	顶板	12cm 厚混凝土+8mm 铅板
	防护门窗	3mm 铅当量
2#放射性废物暂存间	四周侧墙	24cm 实心砖
	顶板	12cm 厚混凝土
	西北侧门	3mm 铅当量
留观室	四周侧墙	24cm 实心砖
	顶板	12cm 厚混凝土
	防护门	2mm 铅当量
患者通道	两侧墙体	24cm 实心砖墙
	顶板	12cm 混凝土
	出入口防护门	5mm 铅当量

2、辐射安全措施

PET/CT机房防护门安装门机联锁装置，防护门上方安装工作状态指示灯并设置门灯联锁装置，机房与控制室之间拟设置对讲装置。

3、防护设备与防护用品

(1) 屏蔽工作箱

合成操作室内安装 1 套屏蔽工作箱，正面 7cm 厚铅当量、其余五面 6cm 厚铅当量，屏蔽工作箱内安装自动合成模块各一套用于药物自动合成。高活质检室内安装 1 套屏蔽工作箱，屏蔽铅当量为 40mm，用于药物分装和质检。

(2) 其他防护用品

其他防护用品包括脚踏式铅桶、铅衰变箱、注射器防护提盒、注射器防护套、药物转运防护罐、铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等，具体防护量见表 10-8。

表 10-8 药物制备分装区防护用品设置情况表

序号	种类名称	设置场所	数量	规格
1	脚踏式铅桶	注射准备间、注射后候诊室和留观室	4 个	10mmPb
2	铅衰变箱	放射性废物暂存间	2 个	10mmPb
3	注射器防护套	注射准备室	2 个	5mmPb (2ml、5ml 各 1 个)
4	注射器防护提盒	高活质检室	1 个	10mmPb
5	药物转运防护罐	注射间	1 个	50mmPb
6	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	更衣淋浴间	2 套	0.5mmPb
7	移动铅屏风	PET/CT 机房 1 件、1# 注射后候诊室 2 件	3 件	10mmPb

4、其他

(1) 在 PET-CT 机房防护门、注射检查区出入门外醒目位置设置固定的电离辐射警告标志。

(2) 剂量监测设施

辐射工作人员需配置个人热释光剂量计，人均 2 个（1 用 1 备），工作期间必须佩戴个人热释光剂量计。在 PET-CT 机房控制室配备个人剂量报警仪 1 台，进入 PET-CT 机房需佩戴。

(3) 病人通道进出口均设置门禁系统，该门为常闭状态，非工作人员引导无法从内或外开启。

5、气流组织

通风系统独立设置，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉感染，保证工作场所的空气质量。且高活质检室密闭手套箱也需独立排风（设计风速 0.5m/s），均设有放射性过滤装置，专用管道和风机，经风管排至建筑物的屋顶排出，排风机设置在屋顶，并在排风管路末端，保持整个管路负压。

回旋加速器机房、PET/CT 机房、合成操作室、高活质检室、注射准备间、卫生通过走道、废物室与外部区域成低负压，控制压差在 -12~-15pa，排风经活性炭过滤吸附高空排放；回旋加速器控制间、缓冲间、注射区域与外部其他区域成低负压，压差在 -6pa 左右，排风经活性炭过滤吸附高空排放。负压差控制区域宜设置微压差显示装置。

6、表面污染控制措施

为保证非密封源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，环评提出以下管理措施和要求：

①操作放射性药物时，须在有负压的通风橱或手套箱内进行，并防止放射性物质撒漏；

②放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品；

③操作台、地面及墙裙应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

7、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，戴铅眼睛、铅手套、口罩、工作帽等，均具备 0.5mmPb 当量。分装时，在分装手套箱内手动分装定量的药物移至注射器，将其置于注射器防护提盒（10mmPb）内后，经测量核定药物活度后给病人注射。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污染。

^{18}F 放射性药物的注射是在注射窗口，在注射过程中医生均要做好个人防护措施，包括穿戴铅衣、铅帽、铅手套和铅围脖等（均具备 0.5mmPb 当量），注射器外套 5mmPb 铅套，注射窗采用 20mmPb 当量的铅玻璃防护。注射操作时，医生（采取相应防护措施）与病人及药物分别位于铅玻璃的两侧。 ^{18}F 病人注射后进入注射后等候室。

8、对注射后病人防护措施

首先告知病人及家属辐射可能带来的危害性， ^{18}F 注射病人要与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许进入控制区，同时需要求病人在注射后在候诊室静候，禁止随意走动，呕吐物和排泄物要排入候诊室内专用厕所。病人扫描结束后，需在留观室留观，留观无恙后方可由西侧单向门禁离开。本项目设有 2 个候诊室，1#候诊室可容纳 4 名病人、2#候诊室安排 1 名病人；设有 1 个抢救室（兼做留观室）。本项目每日工作 8h，预计每天诊断 10 人，候诊时间约 20min，扫描时间约 15min，留观时间 10~15min。

2.3 管道穿越段辐射防护

回旋加速器机房的电缆、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；PET-CT 机房电缆采用 U 型地沟穿越墙体。

三、辐射工作场所安全保卫措施

为确保本项目所使用的乙级非密封放射性物质工作场所和射线装置的辐射安全，本项目采取的安全保卫措施见表 10-9。

表 10-9 PET/CT 中心安防措施一览表

措施类别	对应措施
防火	PET/CT 中心安装有烟气报警装置和消防栓，且各个房间功能单位需满足《建筑设计防火规范》（GB50016-2006），禁止储存易燃、易爆、腐蚀性等其他一切与本项目无关的物品。同时人员易接触的地方均配备干粉式灭火器
防水	PET/CT 中心距离地表水体距离较远，不受地表水体影响。PET/CT 中心地面均做了防水设计且设计有排水系统，项目区域不受地下水影响。
防盗、防抢和防破坏	①PET/CT 中心辐射工作场所共 4 道门，其中 2 道门为病患出入口、2 道门为工作人员出入口。病人通道进出口均设置门禁系统，该门为常闭状态，非工作人员操作无法从内或外开启。在医护人员入口设置门禁系统，采用人脸识别装置，非本场所工作人员或其陪同，其他人员不能进入。 ②PET/CT 中心控制区设置严密的监控系统，实行 24h 实施监控，并作为保安人员重点巡查范围，一旦发生盗抢事件，立即关闭进出门，并立即向公安机关报案；
防泄漏	①非密封放射性物质工作场所均采取有效的实体屏蔽措施，能够达到《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中的 II 级工作场所的要求； ②建设单位自行配备便携式 γ 辐射监测仪及 β 表面沾污仪，并进行定期或不定期场所监测，发现异常及时查明原因并进行处置。 ③射线装置工作场所均已按照有关规范要求进行了辐射防护设计，按照设计和环评要求进行落实，根据辐射影响分析，机房屏蔽体外 30cm 处剂量率能满足 2.5 μ Sv/h 标准要求。

三废的治理

一、放射性废物

1.1 放射性废气

项目营运期间产生的放射性废气主要为回旋加速器机房产生的含 ^{41}Ar 废气，合成操作室、高活质检室产生的含 ^{18}F 废气。

（1）含 ^{41}Ar 废气

回旋加速器机房单独设置一套排风系统，由 U 型地沟引出机房，之后延伸至全科楼楼顶排放，排气口对地高度 21m（对地高度，下同），风机安装于全科楼楼顶，风量约 1000 m^3/h 。

（2）含 ^{18}F 废气

①局排

合成手套箱设 1 套排风系统，针对 3 套屏蔽手套箱和后区，收集的废气引至全科楼楼顶经两级过滤装置净化后由 21m 高排气筒排放，风量约 4600 m^3/h 。高活质检室的密闭手套箱设 1 套排风系统，收集的废气引至全科楼楼顶经两级过滤装置净化后由 21m 高排气筒排放，风量约 1500 m^3/h 。

②全排

留观室、注射后等候室、注射室、注射准备室、病患通道等设1套全排系统，收集的废气引至全科楼楼顶经两级过滤装置净化后由21m高排气筒排放，风量约5300m³/h。合成操作室和高活质检室等设1套全排系统，收集的废气引至全科楼楼顶经两级过滤装置净化后由21m高排气筒排放，风量约4000m³/h。废物暂存间、注射后等候室卫生间、留观室卫生间等设1套全排系统，收集的废气引至全科楼楼顶经两级过滤装置净化后由21m高排气筒排放，风量约1000m³/h。

两级过滤装置由高效过滤器（HEPA）和活性炭吸附装置组成，主要用于去除含¹⁸F放射性气溶胶颗粒。高效空气过滤器用于捕集颗粒灰尘及各种悬浮物，外框材料为镀锌铁框，过滤材料为超细玻璃纤维，过滤器终阻力值为600Pa。活性炭吸附装置主要用于吸附含¹⁸F的气体物质，总体净化效率为99%。

项目投运后每天打靶一次，产生¹⁸F离子600mCi，其中360mCi制成药物，30min合成分装阶段衰变约104mCi，则约136mCi形成放射性固废或废气。偏保守估算，136mCi¹⁸F离子全部形成放射性废气。含¹⁸F废气楼顶设置高效过滤器+活性炭吸附装置（过滤效率99%）对放射性废气进行净化处理，则每天外排含¹⁸F放射性废气量为1.36mCi（5.03×10⁷Bq）。

高效过滤器阻力值大于 600Pa，应更换高效过滤器和活性炭吸附装置，更换的废高效过滤器和废活性炭吸附装置应作为放射性固废管理。

项目核医学科放射性废气处理措施详见下表。

表10-10 PET/CT中心放射性废气处理措施表

序号	场所	排风量(m ³ /h)	废气处理设施	排放方式及去向
1	回旋加速器机房	1000	独立排风管道+高效过滤器+活性炭，过滤效率大于 99%	屋顶 21m 高排气筒排放
2	合成手套箱	4600	独立排风管道+高效过滤器+活性炭，过滤效率大于 99%	
3	高活质检室的密闭分装质检手套箱	1500	独立排风管道+高效过滤器+活性炭，过滤效率大于 99%	
4	留观室、注射后等候室、注射室、注射准备室、病患通道	5300	独立排风管道+高效过滤器+活性炭，过滤效率大于 99%	
5	合成操作室和高活质检室	4000	独立排风管道+高效过滤器+活性炭，过滤效率大于 99%	
6	废物暂存间、注射后等候室卫生间、留观室卫生间	1000	独立排风管道+高效过滤器+活性炭，过滤效率大于 99%	

1.2 放射性废水

(1) 治理措施

①回旋加速器机房冷却废水

内循环冷却水（总量约 2m³）在回旋加速器内受照射后产生放射性核素，主要是 ¹⁵O（T_{1/2}=2.03 min）、¹³N（T_{1/2}=9.96 min）及 ¹¹C（T_{1/2}=20.4 min），其半衰期都很短，并且冷却水沿闭合回路在自屏蔽体内循环使用，不会污染相关环境场所。内循环系统冷却水每年补水 1 次，排出尾水 2m³/a，通过采取静置一定时间（1 天）后可排入医院污水管网。

②其他放射性废水

本项目拟在全科楼西侧修建 3 个埋地式并联放射性废水衰变池，单个衰变池容积 65m³。放射性废水衰变池区域按照重点防渗进行设置，池壁采用防渗混凝土，抗渗等级为 P8，内壁均匀涂抹不小于 20mm 厚聚合物水泥砂浆+20mm 厚铁屑砂浆。本项目产生的放射性废水和宜宾市第二人民医院核医学科迁建项目产生的放射性废水均由该衰变池处理达标并经监测合格后排入医院污水管网。

(2) 衰变池运行流程

埋地式放射性废水衰变池每个池子进水口和出水口均有阀门控制，运行时当 1#池体内废水装满时关闭出水阀门和进水阀门进行封闭衰变，然后将废水接着排入 2#池体，当 2#池废水装满时采取同样的操作方式进行封闭衰变然后将废水接着排入 3#池体内，三个衰变池如此循环操作。当各个池内废水衰变 180 天（宜宾市第二人民医院核医学科迁建项目废水含 ¹³¹I）后通过预留监测口进行取样监测，监测达标后通过抽水泵将废水排入医院污水管网最后通过医院污水处理站处理后达标排放市政污水管网。

(2) 衰变池容积合规性分析

本项目产生的放射性废水和宜宾市第二人民医院核医学科迁建项目产生的放射性废水均由该衰变池处理达标并经监测合格后排入医院污水管网。根据《宜宾市第二人民医院核医学科迁建项目环境影响报告表》（川环审批〔2019〕76 号），SPECT 诊断中心平均每天产生 0.18m³，涉及核素包括 ¹⁸F 和 ^{99m}Tc，¹³¹I 治疗中心平均每天产生 0.5m³，涉及核素为 ¹³¹I。本项目每天放射性废水产生量约为 0.1m³，涉及核素为 ¹⁸F。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。

经统计，全科楼一层 PET/CT 中心（本项目）和核医学科迁建项目每周产生放射性废水量最大为 4.9m³，则 180 天的废水量约 127.4m³。本项目拟在全科楼西侧修建 3 个埋地式并联放射性废水衰变池，单个衰变池容积 65m³。则 1 个衰变池封闭衰变时，另外 2 个衰变池可容纳 130m³>127.4m³ 的放射性废水。因此，本项目拟建衰变池容积满足要求。

(4) 排放达标可行性分析

① 废水排放导出限值

查 GB18871-2002 附录表 B3，根据工作人员吸入 $e(g)_{1\mu m}$ 、吸入 $e(g)_{5\mu m}$ 和食入 $e(g)$ ，取工作人员吸入或食入的待积有效剂量的最大值 E_j 计算 ALI_{min} ： $ALI_{min}=20mSv/E_j$ ，计算结果见下表。

表 10-11 废水中排放导出限值

核素	E_j (Sv/Bq)	一次排放限值 (Bq)
¹³¹ I	2.2E-08	9.10E+05
¹⁸ F	9.3E-11	2.15E+08
^{99m} Tc	2.9E-11	6.90E+08

② 核素排放量

本项目每天放射性废水产生量约为 0.1m³，涉及核素为 ¹⁸F。根据《宜宾市第二人民医院核医学科迁建项目环境影响报告表》（川环审批〔2019〕76 号），SPECT 诊断中心平均每天产生 0.18m³，涉及核素包括 ¹⁸F 和 ^{99m}Tc，¹³¹I 治疗中心平均每天产生 0.5m³，涉及核素为 ¹³¹I。核素排放量见表 10-12

表 10-12 本项目和核医学科迁建项目废水核素排放量统计表

分类	核素	核素排放量 (Bq/天)	废水量 (m ³ /周)
本项目	¹⁸ F	3.70E+09	0.5
核医学科迁建项目	¹⁸ F	3.70E+08	4.4
	^{99m} Tc	2.22E+10	
	¹³¹ I	1.55E+10	

注：①本项目 ¹⁸F 核素检查的患者按照最保守的情形估算，按照日最大操作量的 100% 排入衰变池进行核算；②核医学科迁建项目涉及核素排放量引至《宜宾市第二人民医院核医学科迁建项目环境影响报告表》（川环审批〔2019〕76 号）。

注满单格衰变池时，门诊区核素核素的排放量计算公式如下

$$M_0 = \sum_{1}^{147} A_i 0.5^{\frac{147-(n-1)}{T}}$$

式中： A_i —单日核素最大排放量，Bq；

T —半衰期，d；

n —衰变天数。

计算结果见表 10-13。

表 10-13 第 1 个衰变池中排入核素的相关参数估算一览表

核素名称	衰变池每天核素最大排入量 (Bq)	注满单格时核素排放量 (Bq)	核素半衰期	存放天数 d	排放时该部分核素衰变时间 (d)	单格衰变池不同核素一次最大排放量 (Bq)	活度浓度 (Bq/L)	ALI _{min} (Bq)
¹⁸ F	4.07E+09	4.07E+09	109.7min	180	2363	<0.01	0.7	2.15E+08
^{99m} Tc	2.22E+10	2.37E+10	6.02h	180	718	<0.01		6.90E+08
¹³¹ I	1.55E+10	1.88E+11	8.04d	180	22	4.47E+05		9.10E+05

由上表可见，经衰变池衰变后每次排出的 ¹³¹I 总活度为 4.47E+05Bq，小于 1ALI_{min}，符合国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871-2002 低放废液向环境排放每次排放的活度不超过 1 ALI_{min} 的要求；总β浓度低于 GB18871-2002 中规定的放射性废水排放限值（总β≤10Bq/L）；衰变池组内废水排入医院污水处理站进一步处理后纳入市政污水管网排放，因此本项目废水对周边水环境影响是可以接受的。

同时，为保障本项目衰变池的长效可靠运行，应采取如下管理措施：

①衰变后的废水需监测达标（需经过有监测资质单位监测，总β排放标准 10Bq/L）并经审批部门核准后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；

②医院需建立衰变池排放台账，记录每次排放时间、排放量及监测结果情况并由专人负责管理记录；

③衰变池需设立明显的电离辐射警告标志，同时衰变池四周应设立拦挡；

④为防止衰变池过满溢出，每个衰变池应设置液位计，随时监控衰变池内水位，到达预定位置时即可报警并提示取样监测。

⑤医院应规定核医学科病人治疗期间使用专用厕所，不得使用其他厕所。

为避免本项目在运行期间可能造成的地下水污染，本项目控制区及放射性废水衰变池按照重点防渗进行设置；监督区按照一般防渗进行设置。具体地下水污染防治措施如下：

表 10-14 项目地下水分区防渗表

序号	项目名称	分区类别	防渗要求
1	核医学科控制区、衰变池区域	重点防渗区	等效黏土防渗层 Mb≥6.0m，k≤1×10 ⁻⁷ cm/s
2	核医学科监督区	一般防渗区	等效黏土防渗层 Mb≥1.5m，k≤1×10 ⁻⁷ cm/s

1.3 放射性固废

(1) 放射性固废源项

①废靶膜

回旋加速器运行期间，每年需要更换靶腔两侧的靶膜（钛膜和 HAVER 膜）一次，每次产生量约 10g。

②含 ^{18}F 放射性固废

合成操作室产生的放射性固废主要为合成模块的废液、滤膜和过滤柱的废试纸和工作人员的一次性手套。其中，废液、废试纸、废滤膜和过滤柱等产生量约 5kg/a，一次性手套产生量约 1kg/月（12kg/a）。

高活质检室和注射准备室将产生注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料等，产生量约 50kg/a。

患者诊断过程放射性固废产生量约 0.05kg/人， ^{18}F 核素诊断每天诊断 10 人次，则每天产生固废量约 0.5kg。

③废 ^{68}Ge 放射源

PET-CT 机房的校准源- ^{68}Ge 放射源使用一段时间后需更换，将产生废放射源，每次产生 1 枚。

④废过滤器

项目放射性废气过滤装置的压差大于终阻力值时需对过滤器进行更换，单次产生量约 50kg。

(2) 放射性固废收集暂存处置措施

①废靶膜

回旋加速器机房更换下来的靶膜采用铅屏蔽箱（50mm 厚铅，容积 10L，可存放 8kg）收集并暂存在回旋加速器机房西侧 2#放射性固废暂存间内，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含 ^{18}F 放射性固废

合成操作室产生的废液、废试纸、废滤膜和过滤柱等在屏蔽箱内用玻璃瓶或塑料箱收集并暂存3天，之后暂存于1#废物衰变间放射性衰变箱（10mm铅当量，2个，每个容量20L）内，一次性手套采用塑料桶收集并暂存于1#废物衰变间。

注射准备室设置1个10L的脚踏式铅桶（10mm铅当量），收集废注射器、棉棒、一次性

卫生用品、垫料等，铅桶内放置塑料袋，对注射器和破碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入塑料袋内，之后暂存于1#废物衰变间放射性衰变箱（10mm铅当量）内。

项目拟在每个注射后等候室、留观室设置1个10L的脚踏式铅桶（10mm铅当量）收集患者诊断过程放射性固废，之后暂存于1#废物衰变间放射性衰变箱（10mm铅当量）内。

上述含¹⁸F放射性固废在废物间暂存一个月衰变至解控水平后，运至医院医疗废物暂存间，最终交有资质单位进行处置。

③废⁶⁸Ge放射源

PET-CT涉及的密封型校准源⁶⁸Ge平常置于铅罐中，报废时由供源厂家回收并更换新源。

④废过滤器

废过滤器更换后在原安装位置（全科楼楼顶）放置1个月，待其达到清洁解控水平后交生产厂家回收。

表10-15 项目放射性固废收集、暂存及处置情况表

序号	放射性固废种类	来源	产生量	处置措施
1	废靶膜	回旋加速器	10g/a	采用铅屏蔽箱收集并暂存在回旋加速器机房西侧2#放射性固废暂存间内，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	废液、废试纸、滤膜及过滤柱	药物合成及分装	5kg/a	在屏蔽箱内用玻璃瓶或塑料箱收集并暂存3天，之后利用铅屏蔽箱（1cm厚铅）暂存在1#废物间，暂存至解控水平后作为医疗固废处置。
3	劳保用品	工作人员	12kg/a	采用塑料桶收集并暂存于1#废物间，暂存至解控水平后作为医疗固废处置。
4	注射固废	注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料	50kg/a	采用铅箱（10mm厚铅）暂存至1#废物间，暂存至解控水平后作为医疗固废处置。
5	生活垃圾	住院病人	125kg/a	采用铅箱（10mm厚铅）暂存至1#废物间，暂存至解控水平后作为医疗固废处置。
6	废过滤器	废气处理	50kg/次	更换后在原安装位置（全科楼楼顶）放置1个月，待其达到清洁解控水平后交生产厂家回收。
7	废放射源	PET-CT机房	/	由生产厂家回收

（3）处置措施可行性分析

①废靶膜处置措施可行性

废靶膜因活化而带有放射性，含有半衰期较长的⁵⁵Fe和⁶⁰Co等核素，因年产生量小（仅10g），不便于外运处置。故采取收集并存在回旋加速器机房西侧2#放射性固废暂存间内，待场所退役时统一委托有资质放射性废物处置单位处置。

②含¹⁸F放射性固废处置措施可行性

¹⁸F半衰期短，仅109min，含¹⁸F放射性固废在废物间暂存一个月后，其¹⁸F活度约等于零，可达到清洁解控水平。另外，废物间设有2个容积为20L的屏蔽式衰变桶，单个衰变桶最大可存放固废20kg。本项目PET/CT中心产生含¹⁸F放射性固废约5.6kg/月，单个衰变桶可满足存放要求。

③废⁶⁸Ge放射源处置措施可行性

PET-CT涉及的密封型校准源⁶⁸Ge平常置于铅罐中，报废时由供源厂家回收并更换新源，处置措施可行。

④废过滤器处置措施可行性

废过滤器更换后在原安装位置（全科楼楼顶）放置1个月，待其达到清洁解控水平后交生产厂家回收。废过滤器主要污染核素为¹⁸F，暂存一个月后，其¹⁸F活度约等于零，可达到清洁解控水平。另外，废过滤器产生于全科楼楼顶，若运至PET/CT中心废物间不利于安全。

评价要求：采取全科楼楼顶大门上锁，非授权人员限制入内。

综上所述，本项目针对放射性固废采取的收集、暂存及处置措施合理可行。

环评要求：

①放射性废物应收集在具有防护外层和电离辐射警告标志的固体废物桶中，放射性固废收集桶应避开工作人员和经常走动的区域，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，放入专用容器中贮存；

②应加强放射性废物暂存间的通风，在放射性废物暂存间出入口设电离辐射警告标志，供废物收集的污物桶应具有外防护层和电离辐射警告标志；

③对破碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入硬纸盒或其它包装材料中，然后在装入专用塑料袋内；

④每袋废物的表面剂量不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。

二、非放废物

1、噪声

本项目营运期间噪声源包括水冷机组外机、排风系统风机和真空泵等，噪声源强在 60~75dB（A）之间，项目主要产噪设备声级值及治理措施见表 10-12。

表 10-16 项目噪声产生及治理情况 单位: dB(A)

噪声源	位置	数量	源强	污染源降噪防治措施	降噪后
水冷机组外机	全科楼一层设备用房（回旋加速器机房西南侧）	1 台	65dB(A)	采用低噪设备	50dB(A)
排风系统风机	全科楼楼顶（距地面 20m）	3 台	65dB(A)	采用低噪设备、基础减振	65dB(A)
真空泵	全科楼一层设备用房（回旋加速器机房西南侧）	1 台	70dB(A)	采用低噪设备、建筑隔声	55dB(A)

项目拟建 PET/CT 中心距医院最近边界（西南侧）距离为 35m 且仅昼间运行，噪声经采取选用低噪设备、安装减振装置、建筑隔声和距离衰减后可确保厂界达标。

2、废水

项目生活污水排放量为 0.64m³/d（160m³/a），经医院污水处理站处理达《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）相关限值后排入市政污水管网，再经城市污水处理厂处理达《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级 A 标准后排放。

3、废气

回旋加速器运行期间产生的中子、γ 射线等会使屏蔽体内空气中的氧气电离产生臭氧，通过屏蔽体的缝隙逸散至机房内。回旋加速器机房单独设置一套排风系统，废气引至全科楼楼顶排放。

4、固体废弃物

非放固体废物主要是工作人员产生的生活垃圾。项目定员 8 人，年工作时间为 250 天，按每人每天产生生活垃圾 0.5kg 计算，项目建成营运后生活垃圾产生量为 1.0t/a。生活垃圾集中收集后由环卫部门清运处理。

三、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去功能化”。环评要求：本项目使用的射线装置在进行报废处理时，将该射线装置的高压射线管进行拆卸，同时将射线装置的主机电源线绞断，使射线装置不能正常通电，防止二次通电使用，造成误照射。

四、环保投资估算

本项目总投资3200万元，环保投资188.8万元，占总投资的5.9%。本项目环保投资估算见表10-17。

表10-17 辐射防护设施（措施）及投资估算一览表

项目	设施（措施）	数量	金额 (万元)	备注
场所 辐射 屏蔽 措施	PET/CT 中心工程屏蔽措施，如混凝土墙和实心砖等。	/	/	纳入主体工程范围
	回旋加速器机房设置 2cm 厚铅门，合成操作室、高活质检室、注射准备室、废物暂存间、PET/CT 机房、注射后候诊室、留观室、患者通道等区域设置 2-10mm 铅当量的防护铅门	14 扇	40	/
	合成操作室内安装 3 台屏蔽工作箱，其正面 7cm 厚铅当量、其余五面 6 cm 厚铅当量。	1 套	30	
	PET/CT 机房设置 3mm 铅当量玻璃窗、注射准备室设置 20mm 铅当量玻璃窗。	2 套	3	
	高活质检室带通风效果的密闭式通风橱（50mm 铅当量）	1 套	10	/
	采用 50mm 铅当量的管道输送打靶产生的初级产物 ¹⁸ F-溶液至合成间。	1 套	1	
	注射器防护提盒（10mmPb）1 个、注射器防护套（5mmPb）2 个	/	0.5	/
	PET/CT 机房内配置移动铅屏风（10mmPb）1 件，1#注射后等候室配铅屏风（10mmPb）2 件	3 件	1.5	
监测设备	购置便携式 X-γ 剂量率仪和中子剂量率仪各 1 台、固定式中子剂量率仪和 X-γ 剂量率仪各 1 台、表面污染监测仪 2 台、个人热释光剂量计 16 个、个人剂量报警仪 3 台。	/	15	/
个人防护	辐射工作人员铅防护服、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜（均为 0.5mm 铅当量）	2 套	2.0	/
	污染表面清洁剂	/	0.5	/
放射性 废水	3 格并联式衰变池（容积 3×65m ³ ）	1 座	25	/
	控制区独立下水系统及排水管道屏蔽措施	1 套		
放射性 固废	拟在每个注射后候诊室、留观室设置 1 个 10L 的脚踏式铅桶（10mm 铅当量），注射准备室设置 1 个 10L 的脚踏式铅桶（10mm 铅当量）、1#废物衰变间设置放射性衰变箱（10mm 铅当量）2 个，2#废物衰变尖设置 1 个 50mm 厚铅箱。	6 个	5.0	/
	放射性固废暂存间	2 间	/	纳入主体工程范围
放射性 废气治 理	局排：合成手套箱设 1 套排风系统，针对 3 套屏蔽手套箱和后区，收集的废气引至全科楼楼顶经两级过滤装置净化后由 21m 高排气筒排放，风量约 4600m ³ /h。高活质检室的密闭手套箱设 1 套排风系统，收集的废气引至全科楼楼顶经两级过滤装置净化后由 21m 高排气筒排放，风量约 1500m ³ /h。 全排：留观室、注射后等候室、注射室、注射准备室、病患通道等设 1 套全排系统，收集的废气引至全科楼楼顶经两级过滤装置净化后由 21m 高排气筒排放，风量约 5300m ³ /h。合成操作室和高活质检室等设 1 套全排系统，收集的废气引至全科楼楼顶经两级过滤装置净化后由 21m 高排气筒排放，风量约 4000m ³ /h。废物暂存间、注射	1 套	50	/

	后等候室卫生间、留观室卫生间等设 1 套全排系统，收集的废气引至全科楼楼顶经两级过滤装置净化后由 21m 高排气筒排放，风量约 1000m ³ /h。			
安全及应急装置	回旋加速器自带安全联锁装置	1 套	/	纳入主体工程范围
	回旋加速器机房门灯联锁、警示标志、紧急停机按钮、声光报警系统、视频监控装置等	1 套	2.0	
	PET/CT 机房门机联锁、门灯联锁、警示标志等	1 套	0.3	
制度	规章制度上墙、放射性药品及废物台账	/	1	/
人员培训	辐射工作人员上岗培训及再培训	/	2	/
合计		/	188.8	/

便携式 X- γ 剂量率仪和中子剂量率仪、固定式中子剂量率仪和 X- γ 剂量率仪各、表面污染监测仪购置后主要用于医院辐射环境水平检测。为确保建设单位自行监测数据的准确有效，建设单位可选择以下两种措施之一：①在接受有资质单位监测时，建设单位在同一地点比对自配的辐射剂量监测仪监测结果；②委托有资质单位对辐射剂量监测仪进行检定校准。

表 11 环境影响分析

施工期环境影响分析

1、建设阶段对环境的影响

本项目施工期主要为防护设施安装和装修装饰，施工期短，施工范围小，通过对施工时段的控制以及施工现场严格管理等手段，可使本项目施工期环境影响的范围和强度进一步减小。施工结束后，项目施工期环境影响随之消除。因此，本次评价不对施工期的环境影响进行具体分析。

2、设备安装调试期间的环境影响分析

设备的安装、调试应由设备厂家专业人员进行，医院方不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在各个机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时各机房必须上锁并派人看守。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。由于各设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

综上所述，只要工程施工期严格做到以上要求，就可以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。

运营期环境影响分析

一、辐射环境影响分析

1.1 回旋加速器机房辐射影响分析

(1) 墙外剂量估算

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I.3，回旋加速器屏蔽室外的剂量率可采用生产厂家提供的泄漏辐射剂量等高线，采用近似方法估算，计算公式如下。

$$H_R = \left(\frac{r_0}{R}\right)^2 \cdot \left(H_n \times 10^{-x/TVL_n} + H_\gamma \times 10^{-x/TVL_\gamma} \right) \dots\dots\dots \text{(式 11-1)}$$

式中：H_R--回旋加速器室外关注点剂量率，单位μSv/h；
r₀--参考点距靶心的距离，单位 m；
R--屏蔽墙外关注点距靶心的距离，单位 m；

H_n --参考点 r_0 处的中子剂量率, 单位 $\mu\text{Sv/h}$;

x --屏蔽墙厚度, 单位为 cm ;

TVL_n --中子射线的十分之一减弱层厚度, 单位为厘米;

H --参考点 r_0 处的 γ 射线剂量率, 单位 $\mu\text{Sv/h}$;

TVL_γ -- γ 射线的十分之一减弱层厚度, 单位为厘米。对 11MeV 回旋加速器泄漏辐射 γ 射线的能量约为 8MeV, 中子的能量约为 5MeV。

依据设备厂商-四川玖谊源粒子科技有限公司提供的资料, 设备表面不同距离处 γ 射线和中子剂量分布见下表。

表 11-1 回旋加速器自屏蔽外 1m 距离处剂量率

点位		左侧	右侧	前侧	后侧	顶部
类型	距离 (cm)					
中子	100	12.80	1.00	11.90	15.1	3.81
γ	100	5.05	2.43	3.96	6.19	25.2
合计	/	17.85	3.43	15.86	21.29	29.01

根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)表 I.3, γ 射线能量为 8MeV 时, 混凝土值层为 38cm、聚乙烯值层为 80cm、铅值层为 5cm; 中子能量为 5MeV 时, 混凝土值层为 43cm、聚乙烯值层为 24cm、铅值层为 47.8cm。

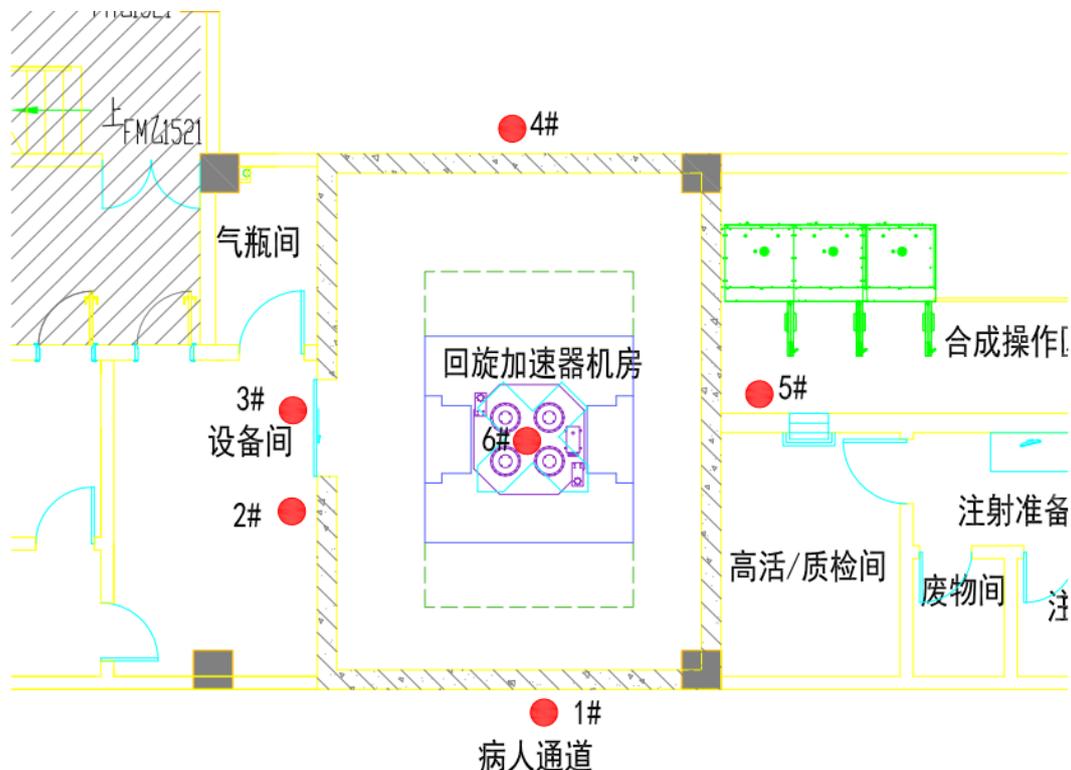


图 11-1 回旋加速器机房预测点位图

采用上述公式预测结果如下。

表 11-2 回旋加速器机房预测结果表

编号	预测点位位置	预测点与辐射源距离(m)	屏蔽材质及厚度	剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年运行时间 (h)	居留因子	年剂量率 (mSv/a)
1	南墙外 30cm 处(病人通道)	2.5	30cm 混凝土	0.48	83.3	1/16	2.53E-03
2	西墙外 30cm 处(设备间)	1.9	30cm 混凝土	0.94		1/16	4.89E-03
3	西侧屏蔽门外 30cm 处(设备间)	1.9	20cm 铅	1.35		1/16	7.05E-03
4	北侧墙外 30cm 处	3.1	30cm 混凝土	0.42		1/16	2.19E-03
5	东侧墙外 30cm 处	1.6	30cm 混凝土	0.23		1/16	1.21E-03
6	楼上(男女医生值班室)	4.3	10cm 混凝土	0.86		1	7.20E-02

注：1#点对应表 11-1 中的前侧、2#点对应表 11-1 中的左侧、3#点对应表 11-1 中的前侧、4#点对应表 11-1 中的后侧、5#点对应表 11-1 中的右侧。

(2) 换靶膜时工作人员剂量

回旋加速器每年需更换 1 次靶膜，每次用时 20min。在停机 2~3 天后卸靶，根据设备厂商提供的资料，靶前（即卸靶人手部）剂量率约为 $400\mu\text{Sv/h}$ ，距靶 50cm（即卸靶人身体）剂量率约为 $30\mu\text{Sv/h}$ 。则卸下靶盒和过滤膜过程工作人员手部的年剂量为 $400 \times 20 / 60 / 1000 = 0.13\text{mSv/年}$ ，身体的年剂量为 $30 \times 20 / 60 / 1000 = 0.01\text{mSv}$ 。

(3) 回旋加速器的空气活化核素的辐射分析

回旋加速器运行时，自屏蔽体内空气被中子活化产生活化气体，其中半衰期小于 1min 的放射性核素很快衰减。一些半衰期较长的核素，如 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{11}C 和 ^{41}Ar 的产率很低，其中的关键核素是 ^{41}Ar 。

由于回旋加速器产生的中子在自屏蔽体内慢化为热中子被吸收，在入射到自屏蔽体前只与自屏蔽体内 4m^3 的空气发生作用，其中可以生成 ^{41}Ar 的 ^{40}Ar 只占该空气体积的 1.3%，即 0.052m^3 。所以，低的活化截面和小的活化空气体积，使得 ^{41}Ar 生成率很低，对环境影响很小。

(4) 输送管道（初级产物 ^{18}F 溶液）辐射环境影响分析

初级产物 ^{18}F 溶液经过特殊管道传送到合成操作室中，会有少量液体附着在管道壁上，形成放射源，项目采取 50mm 铅当量的铅制管道对其进行屏蔽，衰减量为 3 个量级以上。由于附着的液体十分稀少，按初级产物活度 0.6Ci，管道每米附着 1% 液体考虑，依据公式 11-2 计算距离管道 1m 处剂量率为 $0.03\mu\text{Sv/h}$ 。初级产物 ^{18}F 溶液传输至合成操作室期间，加速器机

房内无人停留，故本次评价不再估算受照剂量。

1.2 β射线和表面沾污

由于氟-18 衰变产生的是正电子，迅速发生湮灭反应所以本次不考虑β射线影响。β表面沾污的影响主要来源于医生操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对职业人员和公众造成辐射影响。因此，为了使本项目非密封放射性物质工作场所的β表面污染水平达到 GB18871-2002 规定的要求，建设方要做到以下防护措施：

- ①使用、操作放射性同位素的人员应经过培训，具备相应的技能与防护知识；
- ②开瓶、转移、标记、分离纯化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；
- ③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；
- ④吸取液体的操作必须用合适的器具，严禁用口吸取；
- ⑤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；
- ⑥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。工作人员应进行淋浴；
- ⑦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；
- ⑧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。

⑨如β表面污染水平超过 GB18871-2002 规定值，医院应暂停开展核医学活性区的相关业务，去污染经监测符合标准后方可重新开展业务，同时辐射工作人员出现手、皮肤、内衣、工作袜等出现污染情况（超过 0.4Bq/cm²）需及时进行去污操作并暂停放射性物质操作评估其受照射剂量，并根据评估结果采取下一步措施（调整工作或接受治疗等）。

1.3 韧致辐射（X 射线）影响分析

由于β粒子在遇到重质材料（如：铅、铁等原子序数大于 56 的材质）屏蔽时，才会产生韧致辐射，因此本次评价主要考虑分装/操作过程中有铅屏蔽时的韧致辐射影响，根据《辐射防护导论》（P133），韧致辐射在空气中的吸收剂量率计算公式如下：

$$D=4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z \cdot (\mu_{\text{en}}/\rho) \cdot (E_b/r)^2 \dots\dots\dots \text{（式 11-2）}$$

式中：D—屏蔽层中β粒子产生的韧致辐射在 r(0.5m)处空气中的吸收剂量率，Gy/h；

μ_{en}/ρ —是平均能量为 E_b ($E_b=0.33E_{max}$) 的韧致辐射在屏蔽材料中质量能量吸收系数, $m^2.kg^{-1}$, 由《辐射防护导论》附表 1 查得;

A —放射源活度, Bq;

Z —电子屏蔽材料的有效原子序数, 根据《辐射防护导论》表 4.4 查得铅有效原子序数为 82。

根据《辐射防护导论》(P134) 经屏蔽体衰减后, 屏蔽体外剂量当量率由下式计算:

$$E=D*0.1^{(d/TVL)} \dots\dots\dots (式 11-3)$$

式中: D —屏蔽层中 β 粒子产生的韧致辐射在 $r(0.5m)$ 处空气中的吸收剂量率, Gy/h;

d —屏蔽层厚度;

TVL —屏蔽层在 β 粒子平均能量下的什值层厚度, cm, 由《辐射防护导论》表 3.5 查得。

β 粒子所致韧致辐射空气吸收剂量率及屏蔽体外辐射剂量当量率计算结果见表 11-3。

表 11-3 韧致辐射空气吸收剂量率及屏蔽体外剂量率计算表

核素	F-18
β 粒子能量 (MeV)	0.64
β 粒子平均能量 (MeV)	0.21
操作活度 (Bq)	2.22×10^{10}
空气质量能量吸收系数 ($m^2.kg^{-1}$)	1.17E-02
屏蔽前空气吸收剂量率 ($\mu Gy/h$)	1.72
屏蔽层铅当量厚度 (cm)	6
铅什值层厚度* (cm)	0.14
屏蔽体外剂量当量率 ($\mu Sv/h$)	2.39E-43

*注: 对照《辐射防护导论》表 3.5, 保守按较高能量查得什值层厚度。

经计算, 屏蔽体外剂量当量率为 $2.39 \times 10^{-43} \mu Sv/h$, 因此韧致辐射为周围辐射剂量率贡献值很小, 本次评价可以忽略。

1.4 γ 射线辐射影响分析

(1) 预测模式

因预测点位与放射性同位素操作位置间的距离比装药瓶的几何尺寸大 5 倍以上, 故可视为点源。应用《核医学科放射防护要求》(GBZ120-2020) 附录 I 中屏蔽计算方法公式进行预测。屏蔽体外关注点剂量率公式如下:

$$H_p = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} \cdot 10^{-(x/TVL)} \quad (式 11-4)$$

式中： H_p —屏蔽体外关注点剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A —放射源的活度， MBq ；

Γ —距源 1m 处的周围剂量当量率常数， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；

r —预测点与操作位置的距离， m 。

TVL — γ 射线的什值层厚度。

(2) 预测计算所依据参数

①项目涉及放射性核素相关参数

本项目涉及的放射性核素的主要预测参数见表 11-4。

表 11-4 放射性核素计算参数表

核素	对于裸源单位放射性活度所致 1m 处的周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{h} \cdot \text{MBq})^{-1}$)	患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/(\text{h} \cdot \text{MBq})^{-1}$)	什值层厚度 (mm)		
			铅	混凝土	砖
F-18	0.143	0.092	16.6	176	263

②原则上水平面上考查点在屏蔽体外 0.3m 处，顶棚取楼上 0.3m 处；核素/患者离地约 1.0m，全科楼一层内空高约 5m。

③运行工况参数选取见表 11-5。

表 11-5 预测参数表

核素	操作方式	受照射时间 (min)	年接诊人次 (人)	年操作时间 (h)
^{18}F	分药	0.5	2500	20.83
	注射	0.5	2500	20.83
	候检	20	2500	833
	摆位、显像	15	2500	625
	留观	15	250	62.5

(3) 核医学科各功能房间核算条件见表 11-6。

表 11-6 各房间屏蔽计算参数条件

房间名称	计算参数条件
合成操作室	合成操作室内设置密封手套箱（正面 7cm 铅、其余面 6cm 铅），药物合成均在密封手套箱内进行，单次最大操作量为 0.6Ci(22200MBq)。
高活质检室	高活质检室内设置密封手套箱（5cm 铅），药物分装盒质检均在密封手套箱内进行，0.36Ci(13320MBq)放药存放于 5cm 厚铅罐内，单次分装量约 0.01Ci。
注射准备室	单次注射 ^{18}F 不超过 10mCi (370MBq)，注射器使用 5mmPb 注射器防护套进行防护，另注射窗台具有 20mmPb 防护。
1#注射后候诊室	注射后候诊室可同时候诊 4 名患者，放射性药物总活度按 1480MBq 的 ^{18}F （4 名患者）核算。
2#注射后候诊室	注射后候诊室供 1 名患者候诊，放射性药物活度按 370MBq 的 ^{18}F 核算。
PET/CT 机房	PET/CT 机房 1 次只能接纳 1 名患者，放射性药物活度按 326MBq 的 ^{18}F 进行核算。
留观室	留观室供 1 名患者留观，放射性药物活度按 297MBq 的 ^{18}F 核算。

(4) 屏蔽设施效能评估

①合成、分装手套箱外剂量

合成、分装手套箱外剂量预测结果见表 11-7

表 11-7 合成间预测点位表

编号	预测点位位置	箱体内辐射源活度 (MBq)	预测点与辐射源距离(m)	剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量当量率限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	合成屏蔽工作箱正面 0.3m 处	2.22E+04	0.6	0.19	2.5
2	合成屏蔽工作箱侧面 0.3m 处	2.22E+04	0.6	0.77	25
3	分装手套箱屏蔽体外 0.3m 处	1.33E+04	0.6	1.85	2.5

根据上表可知，按照合成、分装手套箱现有屏蔽防护设计方案进行建设后，距①合成、分装手套箱外表面 30cm 处的周围剂量当量率满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 6.1 条“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 $25\mu\text{Sv/h}$ ”。

②控制区外 0.3m 处剂量

PET/CT 中心控制内各场所屏蔽设施效能评估计算见下表

表 11-8 核医学科控制区各房间屏蔽体屏蔽效能核算结果一览表

房间名称	屏蔽体名称	预测距离 (m)	屏蔽体厚度		设计厚度下屏蔽体外剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	屏蔽体外剂量当量率限值 ($\mu\text{Sv/h}$)
			设备屏蔽	墙体或门窗屏蔽		
合成操作室	东北墙	4.7	正面 7cm、侧面 6cm 手套箱	30cm 实心砖	2.53E-03	10
	东南墙	3.3		30cm 实心砖	1.28E-03	10
	西北墙	1.8		30cm 实心砖	1.72E-02	2.5
	西南墙	1.1		30cm 混凝土	1.26E-02	10
	防护门	4.8		2mm 铅	2.54E-02	10
	顶板	4.3		12cm 混凝土	8.68E-03	2.5
高活质检室	东北墙	1.3	5cm 铅手套箱	24cm 实心砖	1.34E-01	10
	东南墙	1.3		24cm 实心砖	1.34E-01	10
	西南墙	1.3		30cm 混凝土	2.16E-02	10
	西北墙	1.3		30cm 实心砖	7.93E-02	10
	顶板	4.3		12cm 厚混凝土	2.08E-02	2.5
	防护门	1.3		5mm 铅当量	8.31E-01	10
注射准备室	东北墙	1.3	5mmPb 注射器防护套	24cm 实心砖	1.91	10
	东南墙	1.3		24cm 实心砖	1.91	10
	西南墙	1.3		24cm 实心砖	1.91	10
	西北墙	1.3		30cm 实心砖	1.13	10

	顶板	4.3		12cm 厚混凝土	2.98E-01	2.5
	东北门	1.3		10mm 铅当量	3.91	10
	西南门	1.3		5mm 铅当量	7.82	10
	注射窗	1.3		20mm 铅当量	9.76E-01	10
1#注射后候 诊室	东北墙	2.3	10mm 厚铅 屏风	30cm 混凝土+5mm 铅	1.39E-01	2.5
	东南墙	1.5		30cm 混凝土+5mm 铅	3.28E-01	2.5
	西南墙	2.2		24cm 实心砖	1.86	10
	西北墙	1.5		24cm 实心砖	4.06	10
	顶板	4.3		12cm 混凝土+5mm 铅	7.66E-01	2.5
	防护门	1.6		8mm 铅当量	9.48	10
2#注射后候 诊室	东南墙	1.9	/	24cm 实心砖+5mm 铅	5.76E-01	2.5
	西南墙	2.5		24cm 实心砖+5mm 铅	3.33E-01	2.5
	东北墙	2.1		24cm 实心砖	9.44E-01	10
	西北墙	2.0		24cm 实心砖	1.04	10
	顶板	4.3		12cm 混凝土+5mm 铅	1.91E-01	2.5
	防护门	2.0		2mm 铅当量	6.45	10
PET/CT 机房	东北墙	3.7	/	24cm 实心砖+5mm 铅	1.34E-01	2.5
	东南墙	3.7		24cm 实心砖+5mm 铅	1.34E-01	2.5
	西南墙	3.7		24cm 实心砖+5mm 铅	1.34E-01	2.5
	西北墙	3.7		24cm 实心砖+2mm 铅	2.04E-01	10
	顶板	4.3		12cm 混凝土+5mm 铅	1.70E-01	2.5
	防护门窗	4.3		3mm 铅当量	1.08	10
留观室	东北墙	1.3	/	24cm 实心砖	1.98	10
	其余侧墙	1.3		24cm 实心砖	1.98	2.5
	顶板	4.3		12cm 厚混凝土	3.07E-01	2.5
	防护门	2.8		2mm 铅当量	2.64	10

根据上表可知，按照 PET/CT 中心屏蔽防护设计方案进行建设后，距 PET/CT 中心所各控制区房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）6.1 条“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 μ 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 μ Sv/h。

（5）职业人员受照剂量分析

①分装环节所致年有效剂量

^{18}F 按 2500 人次/年，分装取药过程约 30s 完成，其中 25s 在通风橱前，5 秒在走向注射窗。分装过程年受照的总时间为 20.8h（其中 17.4h 在通风橱前），居留因子 T 取 1，使用因子 U 取 1。

根据以上公式估算，分装取药过程工作人员密闭通风橱（铅当量 50mm）前受照剂量

为 1.85 μ Gy/h，取药走向注射台（注射器外套有 5mm 铅防护套）过程受照剂量 ^{18}F 为 98.7 μ Gy/h。因此，分装环节所致年有效剂量为 0.37mSv。

②注射环节所致年有效剂量

^{18}F 按 2500 人次/年，注射过程约 30s 完成，医生穿戴 0.5mm 铅当量厚防护服，与病患间隔 20mm 铅当量厚注射窗。根据以上公式估算， ^{18}F 注射过程工作人员受照剂量为 12.32 μ Gy/h，则 ^{18}F 注射环节所致年有效剂量为 0.26mSv。

③摆位环节所致年有效剂量

摆位过程，工作人员穿戴 0.5mmPb 当量防护衣服，在 10mm 铅屏风后指导或辅助患者摆位，与患者距离约 1m，身体受照剂量为 7.93 μ Gy/h。偏安全考虑，不考虑注射后药物的衰减，按摆位一个病人大约需要 1min，则 ^{18}F 摆位环节所致年有效剂量为 0.33mSv。

④阅片环节所致年有效剂量

根据以上估算， ^{18}F 控制室工作人员受照最大剂量为 1.42 μ Gy/h， ^{18}F 控制室工作人员年受照的总时间为 625h（每人在机房内停留时间 15min，每年扫描 2500 人次），居留因子 T 取 1，使用因子 U 取 1，则阅片环节所致年有效剂量为 0.88mSv。

1.5 PET/CT 机房 X 射线影响

PET/CT 机房设计使用面积、屏蔽材料与评价一览表如表 11-9 所示。

表 11-9 PET/CT 机房设计使用面积、屏蔽材料与评价一览表

场所类型	机房设计使用面积	标准要求	评价	屏蔽设计材料及厚度 (mmPb)	标准要求	评价
PET/CT 机房	47.9m ² (7.6m×6.3m)	机房内最小有效使用面积 30m ² ，机房内最小单边长度 4.5m	符合	东北、东南和西南侧墙：24cm 实心砖 (1.0mmPb) +5mm 铅板	不小于 2.5mm 厚铅当量	符合
				西北面侧墙：24cm 实心砖 (1.0mmPb) +2mm 铅板		符合
				顶棚：12cm 混凝土 (1.2mmPb) +5mm 铅		符合
				防护门：3mm 铅板		符合
				观察窗：3mmPb 当量铅玻璃		符合

由表 11-9 可知，本次项目 PET/CT 机房有效使用面积、单边长度及屏蔽防护铅当量厚度均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关要求。

1.6 职业人员受照剂量分析

本项目涉及新增 8 名辐射工作人员，其中 2 人负责人回旋加速器操作，2 人负责药物合

成、分装及质检，2人负责药物注射，2名技师负责 PET-CT 机房内病人摆位及机器操作。上述工作人员分两组，轮岗值班，各工种不交叉作业。职业人员受照剂量分析见下表

表 11-10 职业人员受照剂量统计表

类别	阶段	受照剂量 (mSv/a)		
		分项	合计	单人剂量
回旋加速器运行维护	维护	0.01	0.01	5.0E-03
药物分装、质检	制药	2.38E-02	0.65	0.33
	分装	0.37		
药物分装注射	注射环节	0.26		
PET/CT 显像	摆位环节	0.33	1.21	0.61
	阅片环节	0.88		

由表 11-10 可知，项目运行期间职业人员最大受照剂量为 0.61mSv/a，为负责病人摆位及 PET-CT 机操作的技师，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中规定的工作人员（职业人员身体 20mSv/a）和本报告执行的剂量约束值（职业人员身体 5mSv/a）。

1.7 公众受照剂量分析

考虑操作时间和居留因子等情况下，公众可能接受的年有效剂量估算详见表 11-11。

表 11-11 分装、注射及检查时所致公众年有效剂量估算结果

关注区域		受照剂量率 (μGy/h)	居留因子	年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv)	
合成操作室西北侧过道		1.72E-02	1/16	125	1.35E-04	
急诊区	合成操作室上方 0.3m	8.68E-03	1	125	1.08E-03	合计： 1.25E-02
	高活质检室上方 0.3m	2.08E-02		250	5.21E-03	
	注射准备室上方 0.3m	2.98E-01		20.83	6.20E-03	
输血科	1#注射后等候室上方 0.3m	3.83E-01	1	187.5	7.18E-02	合计： 8.77E-02
	2#注射后等候室上方 0.3m	1.91E-01		83.3	1.59E-02	
组长办公室 (PET/CT 机房上方 0.3m)		1.11E-01	1	625	6.95E-02	
主任办公室 (留观室上方 0.3m)		3.07E-01	1	62.5	1.92E-02	
值班室 (1#注射后等候室东北侧 0.3m)		1.39E-01	1	187.5	2.38E-02	
生活学习示教区 (注射后等候室东南侧 0.3m)		3.28E-01	1	187.5	5.60E-02	
体外检测室 (PET/CT 机房东南侧 0.3m)		1.34E-01	1	625	8.37E-02	
储藏室 (PET/CT 机房西南侧 0.3m)		1.34E-01	1/16	625	5.23E-03	
留观室西南侧过道		6.32E-01	1/16	62.5	2.47E-03	

由表 11-11 可知，项目周边公众受照剂量在 1.35E-04mSv/a~8.77E-02mSv/a 之间，满足低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中规定的工作人员剂量限值（1mSv/a）和本报告执行的剂量约束值（0.1mSv/a）。

1.8 诊断患者离开医院对环境的影响

目前对于使用核素 ^{18}F 的患者，允许其离开医院的体内最大活度，国家相关标准中没有明确规定。本项目 ^{18}F 注射量为 10mCi ，患者经候诊和诊断离开医院至少需要 1h ，则患者离开医院时带药量约 6.8mCi ，离开医院时距离患者 1m 处的剂量率未 $36.1\mu\text{Gy/h}$ ，离开医院 8 小时后距离患者 1m 处的剂量率为 $2.5\mu\text{Gy/h}$ 。因此医院应对患者离院做出书面指导，注射药物后 8 小时内禁止到公共场活动，避免与家人亲密接触，则患者离院后对周围环境影响不大。

1.9 放射性废气影响分析

(1) 源项分析

项目投运后每天打靶一次，产生 ^{18}F 离子 600mCi ，其中 360mCi 制成药物， 30min 合成分装阶段衰变约 104mCi ，则约 136mCi 形成放射性固废或废气。偏保守估算， 136mCi ^{18}F 离子全部形成放射性废气。

本项目拟在回旋加速器楼顶设置两级过滤器吸附装置（过滤效率 99% ）对放射性废气进行净化处理，则每天外排含 ^{18}F 放射性废气量为 1.36mCi ($5.03 \times 10^7 \text{Bq}$)。合成分装手套箱每天开启排风 1 小时，则含 ^{18}F 放射性废气排放速率为 $1.4 \times 10^4 \text{Bq/s}$ 。

(2) 预测模式

本次大气环境影响预测采用《环境影响评价技术导则-大气环境》（HJ2.2-2018）推荐模式清单中的 AERSCREEN 模型，采用生态环境部认可的 EIAProA2018 大气预测软件进行预测，计算各预测因子最大地面浓度值。经预测，最大落地浓度为 1.1Bq/m^3 ，低于《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WST613-2018）要求的导出限值 219Bq/m^3 。

(3) 预测结果

气载流出物照射途径包括空气浸没外照射、地面沉积外照射、吸入内照射和食入内照射。由于 ^{18}F 的半衰期为 110min ，时间较短，故可忽略食入内照射。另外，空气浸没外照射、地面沉积外照射的剂量远低于吸入内照射，因此本项目只考虑吸入内照射。

吸入放射性核素 i 产生的内照射有效剂量与计算点处地面空气中放射性浓度成正比：

$$H=250 \times C_i \times V \times g_i \dots\dots\dots \text{(式 11-5)}$$

式中： H —核素 i 产生的吸入内照射有效剂量， $\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$ ；

250 —年排放时间， h 。

C_i —核素 i 在空气中的浓度， $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ ；

V —公众个人正常情况下的呼吸率， $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ 。取成人的呼吸率为 $V=0.96 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ，少年为 $0.63 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ，幼儿为 $0.16 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ；

g_i —吸入放射性核素 i 产生的内照射有效剂量转换因子， $\text{Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$ 。并保守地取肺快速、中速和慢速吸收中的大者。

^{18}F 的剂量转换因子见表 11-12。

表 11-12 ^{18}F 的吸入剂量转换因子

核素	吸入剂量(Sv/Bq)	
	^{18}F	婴幼儿
少年		1.0×10^{-10}
成人		5.9×10^{-11}

根据气载流出物的源强，计算以排气筒为中心 5km 范围的年个人有效剂量分布，其结果见表 11-13。

表 11-13 5km 范围年平均个人有效剂量

照射途径 评价区域	落地浓度 (Bq/m^3)	吸入内照射(mSv/a)		
		婴幼儿	少年	成人
10	6.97E-03	2.34E-07	2.20E-07	1.99E-07
25	5.71E-01	1.92E-05	1.80E-05	1.63E-05
34	1.1	3.71E-05	3.47E-05	3.14E-05
50	5.96E-01	2.00E-05	1.88E-05	1.70E-05
100	3.47E-01	1.17E-05	1.09E-05	9.89E-06
200	5.19E-01	1.74E-05	1.63E-05	1.48E-05
300	5.26E-01	1.77E-05	1.66E-05	1.50E-05
500	3.81E-01	1.28E-05	1.20E-05	1.09E-05
1000	1.84E-01	6.18E-06	5.80E-06	5.25E-06
2000	9.19E-02	3.09E-06	2.89E-06	2.62E-06
3000	5.66E-02	1.90E-06	1.78E-06	1.61E-06
4000	3.93E-02	1.32E-06	1.24E-06	1.12E-06
5000	2.93E-02	9.84E-07	9.23E-07	8.35E-07

由表 11-13 可知，正常运行工况下项目排放的含 ^{18}F 废气所致 5km 范围内公众有效剂量范围为 $1.99\times 10^{-7}\sim 3.71\times 10^{-5}\text{mSv}/\text{a}$ ，远低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中的公众限值 ($1\text{mSv}/\text{a}$) 和本报告执行的剂量约束值 ($0.1\text{mSv}/\text{a}$)。

1.10 放射性废水影响分析

本项目营运期产生放射性废水主要包括回旋加速器机房冷却废水、工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废

液以及患者冲洗排便用水。

回旋加速器机房冷却废水每年排放1次，主要放射性核素包括¹⁵O (T_{1/2}=2.03 min)、¹³N (T_{1/2}=9.96 min) 及¹¹C (T_{1/2}=20.4 min)，其半衰期都很短，通过采取静置一定时间（1天）后可排入医院污水管网。

非密封工作场所放射性废水产生量约0.1m³/d。本项目拟在全科楼西侧修建3个埋地式并联放射性废水衰变池，单个衰变池容积65m³。放射性废水衰变池区域按照重点防渗进行设置，池壁采用防渗混凝土，抗渗等级为P8，内壁均匀涂抹不小于20mm厚聚合物水泥砂浆+20mm厚铁屑砂浆。本项目产生的放射性废水和宜宾市第二人民医院核医学科迁建项目产生的放射性废水均由该衰变池处理达标并经监测合格后排入医院污水管网。

上述放射性废水排放至废水衰变间，衰变180天后放射性废水浓度可以满足总β≤10Bq/L，排入医院医疗废水处理站进一步处理，则放射性废水对周围环境影响很小。

1.11 放射性固废的环境影响分析

本项目产生的放射性固废包括：①回旋加速器更换的靶膜；②合成药物及分装过程中产生极少量的废液、废试纸、滤膜及过滤柱等；③劳保用品；④废过滤器；⑤废⁶⁸Ge放射源；⑥注射过程产生的废物以及病人住院产生的生活垃圾等。具体处置措施见下表。

表11-14 项目放射性固废治理及处置去向表

序号	放射性固废种类	来源	产生量	处置措施
1	废靶膜	回旋加速器	10g/a	采用铅屏蔽箱收集并暂存在机房南侧2#废物暂存间内，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	废液、废试纸、滤膜及过滤柱	药物合成及分装	5kg/a	在屏蔽箱内用玻璃瓶或塑料箱收集并暂存3天，之后利用铅屏蔽箱（1cm厚铅）暂存在1#废物间，暂存至解控水平后作为医疗固废处置。
3	劳保用品	工作人员	12kg/a	采用塑料桶收集并暂存于1#废物间，暂存至解控水平后作为医疗固废处置。
4	注射固废	注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料	50kg/a	采用铅箱（10mm厚铅）暂存至1#废物间，暂存至解控水平后作为医疗固废处置。
5	生活垃圾	住院病人	125kg/a	采用铅箱（10mm厚铅）暂存至1#废物间，暂存至解控水平后作为医疗固废处置。
6	废过滤器	废气处理	50kg/次	更换后在原安装位置（全科楼楼顶）放置1个月，待其达到清洁解控水平后交生产厂家回收。
7	废放射源	PET-CT机房	/	由生产厂家回收

除废靶膜和废⁶⁸Ge放射源外，其余放射性固废主要污染核素为¹⁸F。因¹⁸F半衰期较短（110min），采用放置1个月后可使其放射性核素比活度降低至解控水平。废靶膜采用铅

屏蔽箱收集暂存在回旋加速器机房南侧 2#废物暂存间，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。废 ^{68}Ge 放射源由生产厂家回收。废过滤器更换后在原安装位置（全科楼楼顶）放置 1 个月，待其达到清洁解控水平后交生产厂家回收。

采取上述处置措施后，项目营运期间产生的放射性固废可得到有效处置，不会造成不利影响。

二、非放环境影响分析

1、大气环境影响分析

项目涉及的医用回旋加速器自带屏蔽装置，经该自屏蔽体衰减后，射出的粒子能量和数量均大量降低或减少。电离产生的臭氧主要集中在自屏蔽体内约 4m^3 空腔内，并通过缝隙流动到回旋加速器机房。回旋加速器机房单独设置一套排风系统，废气排风系统引至全科楼楼顶排放，影响较小。

2、地表水环境影响分析

项目生活污水排放量为 $0.64\text{m}^3/\text{d}$ ($160\text{m}^3/\text{a}$)，经医院污水处理站处理达《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）相关限值后排入市政污水管网，再经城镇污水处理厂处理达《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级 A 标准后排放，对地表水水环境影响轻微。

3、声环境影响分析

项目仅昼间运行，噪声源为水冷机组外机、排风系统风机和真空泵等，噪声源强最大值为 $70\text{dB}(\text{A})$ ，距最近场界为 30m 。经预测，采取建筑隔声和减震措施后可降噪 $5\sim 15\text{dB}$ ，再经距离衰减厂界噪声最大贡献值约为 $43.2\text{dB}(\text{A})$ ，满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中 2 类标准（昼间 $60\text{dB}(\text{A})$ ）。噪声源距最近场外保护目标（青年城居民住宅）约 35m ，经距离衰减后，所致噪声贡献值为 $41.9\text{dB}(\text{A})$ ，低于《声环境质量标准》（GB3096-2008）2 类标准（昼间 $60\text{dB}(\text{A})$ ）。

4、固废影响分析

非放固体废物主要是工作人员产生的生活垃圾。项目定员 8 人，年工作时间为 250 天，按每人每天产生生活垃圾 0.5kg 计算，项目建成营运后生活垃圾产生量为 $1.0\text{t}/\text{a}$ 。生活垃圾集中收集后由环卫部门清运处理。

三、辐射工作场所退役

本项目退役时，应委托有资质单位对辐射工作场所的 X- γ 辐射剂量率、表面污染水平

进行监测，存在污染的应在退役前编制环境影响报告表。做好退役过程中的安全防护和辐射环境监测，严格落实退役方案和应急预案各项要求，确保退役过程中的辐射环境安全。退役工作完成后，应当按相关程序申请退役终态验收，退役场所验收合格方可用于其他用途。

另外，回旋加速器退役前应对其各组成部件进行感生放射性检测，属于放射性固废的应单独收集并交城市放射性废物处置中心处置，不得随意弃置。

事故影响分析

一、事故分级

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第 449 号）第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，详见表 11-15。

表 11-15 辐射事故等级划分表

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

根据《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系（表 11-16）：

表 11-16 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

辐射剂量/Gy	急性放射病发生率/%	辐射剂量/Gy	死亡率/%
0.70	1	2.00	1
0.90	10	2.50	10
1.00	20	2.80	20
1.05	30	3.00	30
1.10	40	3.20	40
1.20	50	3.50	50
1.25	60	3.60	60

1.35	70	3.75	70
1.40	80	4.00	80
1.60	90	4.50	90
2.00	99	5.50	99

二、风险识别

1、靶膜(Havar 膜)破裂事故:打靶时,离子轰击顺序依次为真空腔-钛膜-氦冷却气-Havar 膜-靶材-靶支撑。其中钛膜承压为 1.1MPa, Havar 膜承压为 5MPa, 正常情况下氦冷却气气压为 0.9MPa, 靶材压力为 2.5MPa (压力极限小于 5MPa)。仅压力过大时,会出现钛膜和 Havar 膜同时破裂情况,此时加速器自动停止运行,¹⁸F-离子可能扩散至整个回旋加速器机房,然后通过全科楼楼顶排气筒扩散至周围大气环境中。

2、放射性药物丢失或被盜,导致周边公众受到照射。

3、⁶⁸Ge 放射源丢失或被盜,导致周边公众受到照射。

三、事故情况下的环境影响分析

1、靶膜破裂

靶腔压力过大时,会出现钛膜和 Havar 膜同时破裂情况,此时加速器自动停止运行,¹⁸F-离子可能泄漏至回旋加速器机房,然后通过排风系统由排气筒排至周边大气环境。偏保守估算,单次打靶产生的 0.6Ci¹⁸F-离子全部泄漏并由排气筒扩散至周边大气环境。

(1) 预测模式

采用瞬时点源排放高斯扩散模式计算各类稳定度条件下的短期扩散因子,以选择最不利的大气扩散系数作为剂量估算的参数。

$$(X/Q) = \frac{1}{\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(\frac{-h^2}{2\sigma_z^2}\right) \dots\dots\dots (式 11-8)$$

式中: X/Q 为扩散因子, s/m³;

σ_y, σ_z 分别为侧向和垂向扩散系数, m;

u 为排气筒排放口处风速, m/s;

h 为排气筒高度, m。

(2) 扩散因子

扩散因子采用 Briggs 扩散系数,其计算公式见表 11-17。

表 11-17 Briggs 扩散公式

大气稳定度	σ_y	σ_z
A/B	$0.32X (1+0.0004X)^{-0.5}$	$0.24X (1+0.001X)^{-0.5}$
C	$0.22X (1+0.0004X)^{-0.5}$	0.2X
D	$0.16X (1+0.0004X)^{-0.5}$	$0.14X (1+0.0003X)^{-0.5}$
E/F	$0.11X (1+0.0004X)^{-0.5}$	$0.08X (1+0.0015X)^{-0.5}$

(3) 剂量估算模式

人体受到的待积有效剂量计算公式如下：

$$H_T = (X/Q) \cdot Q \cdot Ra \cdot Dg \dots \dots \dots \text{(式 11-8)}$$

式中：H_T 为待积有效剂量，Sv；

X/Q 为扩散因子，s/m³；

Ra 为呼吸率，m³/s；

Dg 为剂量转换因子，根据 GB18871。

表 11-18 各年龄阶段人群呼吸率及 ¹⁸F 吸入剂量转换因子

类别	婴幼儿	少年	成人
呼吸率 (m ³ /s)	4.44×10 ⁻⁵	1.75×10 ⁻⁴	2.67×10 ⁻⁴
¹⁸ F 吸入剂量转换因子 (Sv/Bq)	4.2×10 ⁻¹⁰	1.0×10 ⁻¹⁰	5.9×10 ⁻¹¹

(4) 预测结果

考虑最不利扩散因子条件下，靶膜破裂事故时公众受照剂量预测结果见下表。

表 11-19 靶膜破裂时公众受照剂量预测结果表

下风向距离 (m)	最不利扩散条件下对应扩散因子 (s/m ³)	吸入剂量 (mSv)		
		婴幼儿	少年	成人
50	7.66E-05	3.17E-05	1.75E-05	9.68E-06
100	1.27E-04	5.28E-05	2.91E-05	1.61E-05
150	1.02E-04	4.22E-05	2.33E-05	1.29E-05
200	7.23E-05	2.99E-05	1.65E-05	9.15E-06
300	3.94E-05	1.64E-05	9.00E-06	4.97E-06
400	2.47E-05	1.02E-05	5.65E-06	3.12E-06
500	1.71E-05	7.08E-06	3.91E-06	2.16E-06
1000	5.54E-06	2.30E-06	1.27E-06	6.98E-07
2000	1.94E-06	8.03E-07	4.45E-07	2.45E-07
3000	1.11E-06	4.58E-07	2.53E-07	1.40E-07
4000	7.57E-07	3.14E-07	1.73E-07	9.53E-08
5000	5.71E-07	2.36E-07	1.31E-07	7.20E-08

计算结果表明，靶膜破裂事故并导致 ^{18}F -离子事故排放时，下风向 100m 处公众吸入剂量达到最大值，为 $5.28\text{E-}5\text{mSv}$ ，远低于事故剂量限值为 1mSv 。

2、放射性药物丢失或被盜

(1) 事故情景

①项目使用核素为 ^{18}F ，事故情况假设 ^{18}F 试剂瓶发生丢失，丢失时内装放射性 ^{18}F 的活度为 13320MBq ；

②假设丢失后在整个事故持续时间内放射性药物未发生洒漏，事故持续过程中按点源考虑；

③受照人员不考虑任何屏蔽措施；

④事故持续最长时间为 8h，即药品丢失后在 8h 内找回。

(2) 计算结果

根据事故情景假设条件计算得出不同事故持续时段的个人有效剂量，计算结果见表 11-20。

表 11-20 ^{18}F 药物丢失事故下不同持续时间不同距离处个人有效剂量分布

距源距离 (m)	各事故持续时间段 γ 射线所致辐射有效剂量分布 (Gy)			
	0~60min	0~120min	0~240min	0~480min
0.1	1.85E-01	3.12E-01	6.71E-01	1.33
0.2	4.63E-02	7.80E-02	1.68E-01	3.33E-01
0.5	7.41E-03	1.25E-02	2.68E-02	5.32E-02
1.0	1.85E-03	3.12E-03	6.71E-03	1.33E-02

(3) 事故后果

由表 11-20 可以看出，在事故持续时间为 60min、120min、240min 和 480min 的情况下，距放射源 0.1m 处的 γ 射线外照射辐射剂量分别为 0.185Gy、0.312Gy、0.584Gy、1.12Gy。结合表 11-21 可知，事故持续时间达到 8h 时，急性放射病发病率为 70%，事故持续周期内可造成人员超剂量照射而导致较大辐射事故。

3、 ^{68}Ge 放射源丢失或被盜

本项目使用的 ^{68}Ge 放射源活度为 $7.4\times 10^7\text{Bq}$ ，属于 V 类放射源。若发生放射源丢失或被盜事件将导致近距离接触人员受到超过年剂量限值的照射，属于一般辐射事故。

四、事故防范措施

1、风险防范措施

①使用、操作非密封放射性物质的人员应经过培训，具备相应的技能与防护知识；

②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。

③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；

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。

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。

若发生放射性药品和 V 类放射源丢失或被盗事故，按以下措施进行处理：第一时间将事故情况通报有关（环保、公安、卫生等）主管部门；分析确定丢失、被盗事故的具体时间及原因，向相关部门提供信息，根据有关线索，组织人员协同相关部门查找丢失、被盗放射性同位素，在查找过程中携带辐射监测仪器，防止事故处理人员受到照射；对放射性

同位素丢失前存放场所进行监测，根据现场辐射剂量率的大小确定是否受污染。如现场受到污染出现辐射剂量率异常情况，根据辐射剂量率大小划定警戒线，撤离警戒区域内的所有人员，事故处理人员应穿戴防护用品，佩戴个人剂量计进入事故现场。

2、回旋加速器机房风险防范措施

(1) 回旋加速器运行前均需进行巡查避免人员滞留；

(2) 在紧急情况下，按动设置在四周墙体或控制台上的紧急停机按钮，切断电源，迫使加速器关机停止出束。

(3) 回旋加速器机房设计有门机安全联锁，机房门关闭后机器才能启动，出束打靶期间机房门不能从外部开启，有效防止人员误入。

(4) 制定和完善现有射线装置安全管理制度，强化安全管理，避免出现人员滞留事故，同时定期检查加速器机房的门机联锁等辐射安全环保设施是否有效。

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》，向当地生态环境主管部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向公安部门 and 当地卫生行政部门报告。

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、辐射防护与安全管理机构

1、组织机构

医院成立有放射（辐射）防护安全管理工作领导小组（宜二医办〔2019〕51号），具体负责全院辐射安全管理工作，机构成员由院长、院党委书记、各放射科室负责人和多年从事放射性诊断治疗的骨干医师组成（详见附件）。

组 长：韩平

副组长：姜雄、何山、袁志平

成 员：贾渝屏、翁庆忠、刘盛君、陶连德、王从双、徐海、朱建军、曹跃勇、曹春晓、胡明宗、刁显明、邱丽华、杨琦、段宗强、朱军

专职管理机构：放射防护由放射科负责、辐射防护由核医学科负责

专职管理人员：周浩、房洪

放射（辐射）防护安全管理办公室设在医疗质量管理办公室，周浩为办公室主任。

2、职责

（1）放射（辐射）防护安全管理工作领导小组负责全院放射防护安全的监督管理、放射事故应急处理工作；

（2）组长负责全院放射（辐射）防护安全管理的组织领导工作，副组长具体分管全院各科放射（辐射）防护安全管理工作；

（3）专职管理机构和人员负责全院放射（辐射）防护各项管理的协调、监督，资料收集、整理、归档、报送，年度总结和计划等工作；

（4）院办公室负责《放射诊疗许可证》和《辐射安全许可证》校验管理；

（5）预防保健科负责全院从放人员基础档案、监护档案、健康体检、人员培训、个人剂量检测等管理；

（6）设备科负责全院放射（辐射）设备档案及设备使用安全管理；

（7）后勤部协助相关部门完成新建放射（辐射）工作场所建设的建设项目职业病危害放射防护评价、竣工验收等工作；

（8）成员中各放射（辐射）相关科室负责人负责各科放射（辐射）防护安全质量保证、日常安全监督检查等管理，新进和离岗人员报送等组织协调工作；

(9) 兼职工作人员负责协助专职人员和各科负责人放射（辐射）防护管理工作。

放射（辐射）防护安全管理工作领导小组应定期开会，总结医院辐射防护管理方面的经验，并根据国家相关法规、标准，改进管理规章制度。

二、辐射安全管理规章制度

1、规章制度

根据《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）的相关要求中的相关规定，医院相关管理制度落实情况如下：

表 12-1 主要规章制度建立对照分析表

序号	四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）要求的主要规章制度	医院规章制度建设情况	环评要求
1	辐射安全与环境保护管理机构文件	已制定	/
2	辐射安全管理规定（综合性文件）	已制定	结合本项目情况完善
3	辐射工作设备操作规程	/	补充回旋加速器操作规程、放射性药物生产合成成分装操作规程、PET-CT 检查操作规程
4	辐射安全和防护设施维护维修制度	已制定	/
5	辐射工作人员岗位职责	已制定	/
6	放射源与射线装置台账管理制度	已制定	针对本项目完善放射性同位素与射线装置台账管理制度。
7	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	已制定	医院按本环评报告提出的环境监测方案完善现有的监测方案，并做好监测记录和档案保存工作。
8	监测仪表使用与校验管理制度	/	需制定
9	辐射工作人员培训制度（或培训计划）	已制定	/
10	辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定	/
11	辐射事故应急预案	已制定	结合本项目情况完善
12	质量保证大纲和质量控制检测计划	/	需制定

由表 12-1 可知，医院需补充《监测仪表使用与校验管理制度》和《质量保证大纲和质量控制检测计划》，完善《辐射安全管理规定（综合性文件）》、《辐射工作设备操作规程》（包括回旋加速器操作规程、放射性药物生产合成成分装操作规程、PET-CT 检查操作规程）、《辐射工作场所和环境辐射水平监测方案》、《放射性同位素与射线装置台账管理制度》和《辐射事故应急预案》。在运营中，医院应根据使用射线装置、放射源和非密封放射性物质的情况，及时修订和完善规章制度，使其具有较强的针对性和可操作性。

评价要求：《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》等应悬挂于辐射工作场所，字体醒目，尺

寸大小应不小于 400mm×600mm。

2、辐射工作人员

(1) 辐射安全培训

医院现有放射工作人员均取得了辐射安全与防护培训合格证书。

辐射安全与防护培训合格证书有效期为 5 年，医院应定期组织已取得证书的辐射工作人员参加复训；医院应当建立并保存辐射工作人员的培训档案。

(2) 职业人员的个人剂量管理

医院为每名辐射工作人员配置有个人热释光剂量计，要求工作期间必须佩戴个人剂量计。另外，医院按每季度 1 次（一年 4 次）的频率安排辐射工作人员进行个人剂量检测，并按《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2020）和《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》（环保部 18 号令）的要求，建立了辐射工作人员个人剂量档案，将检测结果记录到个人剂量档案中。

根据《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）：

①安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。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。②个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满 75 周岁或停止辐射工作 30 年。③对于某一季度个人剂量检测数据超过 1.25mSv 的辐射工作人员，要进一步开展调查，查明原因，撰写调查报告并由当事人在情况调查报告上签字确认。对于年度内个人剂量检测数据累计超过 5mSv 的，要开展调查，撰写调查报告，并要求采取暂停开展放射性工作等进一步干预手段，同时上报辐射安全许可证发证机关。④在每年的 1 月 31 日前上报的辐射安全和防护状况评估报告中，应包含辐射工作人员剂量监测数据及安全评估的内容。

(3) 职业健康检查

医院在辐射工作人员上岗前，组织其进行岗前职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的辐射工作。从事辐射工作期间，定期组织辐射工作人员进行职业健康检查，必要时可增加临时性检查。对不适宜继续从事辐射工作的，应脱离辐射工作岗位，并进行离岗前的职业健康检查。

3、台账管理

医院建立有台帐制度，包括射线装置、放射源和非密封放射性物质等。

医院应结合本项目对既有台账制度进行完善，对非密封放射性物质应记载名称、活度、

来源、去向等，确定台帐的管理人员和职责，建立台帐的交接制度。

4、档案资料

医院的相关资料应按照档案管理的基本规律和要求进行分类归档放置。

根据《四川省环境保护厅关于印发〈四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）〉的通知》（川环函〔2016〕1400号），档案资料应按以下八大类分类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“射线装置台帐”、“监测和检查纪录”、“个人剂量档案”、“培训档案”和“辐射应急资料”。

5、个人防护设备及剂量监测仪器

辐射工作人员配有铅衣、铅围裙等防护用品和个人热释光剂量计（见环保投资一览表），便携式 X- γ 剂量率仪、便携式中子剂量率仪和表面污染监测仪等监测设备，要求辐射工作人员工作期间必须按照规定佩戴个人剂量计，未佩戴个人剂量计的工作人员不得上岗。

医院应加强辐射工作人员的辐射防护安全管理和教育，提高员工辐射安全防护意识；应加强对辐射工作人员个人防护用品的管理，上岗期间辐射工作人员必须按规定正确佩戴个人剂量计，离岗期间个人剂量计应统一保管。

6、监测和年度评估

医院已建立放射工作场所的辐射环境监测制度，可参照本报告“辐射监测”章节中的内容完善现有监测制度。

医院建立有年度辐射安全评估制度，并根据《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格式》的要求进行年度评估报告的编写和上报。

年度自查评估若发现安全隐患的，应当立即整改；辐射工作人员年度剂量监测报告和辐射工作场所辐射环境质量监测报告应作为评估报告的附件。

7、辐射事故应急管理

医院制定了辐射事故预防措施及应急处理预案，包括应急机构的设置与职责、应急响应程序、紧急响应措施、条件保障。

建设单位应针对本项目特点，补充回旋加速器机房误照射、靶膜破裂等事故、 ^{18}F 药物丢失事故等的应急预案。

8、核技术利用辐射安全申报系统要求

根据环保部信息化管理要求，辐射工作单位办理辐射安全许可证审批环保手续时需在全国核技术利用辐射安全申报系统（以下简称“申报系统”）进行网上申报（申报系统网

址：<http://rr.mee.gov.cn>），凡是不进行网上申报的，纸质材料一律不予受理。

用户可在该申报系统中办理如下事项：

- (1) 许可证相关申请：许可证申请（及重新申请）、延续、变更、注销；
- (2) 放射源相关申请：转让、异地使用、进口、出口；
- (3) 非密封放射性物质相关申请：转让、异地使用、进口、出口；
- (4) 射线装置相关申请：转让、异地使用、进口、出口

辐射工作单位网上申请提交成功后，应通过网上在线打印业务表单，并盖章确认，再按相关程序提交到环保部门办理。

9、射线装置使用能力综合评价

本报告认为在医院按照评价要求，补充、完善、更新相应管理制度，并对辐射防护设施定期检查维护的前提下，具有对乙级非密封放射性物质工作场所和Ⅱ、Ⅲ类射线装置的使用和管理能力。

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，建设单位需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测、环境监测和个人剂量监测。

1、个人剂量监测

为测量本项目辐射工作人员在一段时间的受照剂量，借以限制辐射工作人员的剂量当量和评价工作场所的安全情况，建设单位为本项目辐射工作人员均配备个人剂量计并进行个人剂量监测（外照射个人剂量监测）。项目建设单位应安排专人负责个人剂量监测管理（每季度委托有资质的放射工作人员个人剂量监测技术服务机构检测一次），并建立辐射工作人员个人剂量档案。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。个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或停止辐射工作三十年。

根据 GB18871-2002 要求，辐射工作人员在开展放射性工作期间，必须佩带个人剂量计。对于每季度检测数值超过 1.25mSv 的，要进一步开展调查，查明原因，撰写调查报告并由当事人在调查报告上签字确认。对于每季度检测数值超过 5mSv 的，要采取暂停开展放射性工作等进一步干预手段，并上报辐射安全许可证主管部门。

2、辐射工作场所及周围环境监测

(1) 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。

(2) 日常自我监测

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，X- γ 辐射剂量率和中子剂量率监测周期至少1次/月，表面污染水平检测安排在每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）。

(3) 监测内容和要求

①监测内容：X- γ 辐射剂量率、中子剂量率、 β 表面污染水平等。

②监测布点及数据管理：监测布点应参考环评提出的监测计划（表12-2）。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

项目	监测内容	监测点位	监测周期	
			自行监测	委托监测
回旋加速器机房	X- γ 辐射剂量率、中子剂量率	回旋加速器机房侧墙外0.3m处，机房防护门外及门缝处，机房上方活动场所、排风管道穿墙处。	1次/月	1次/年
非密封辐射工作场所	X- γ 辐射剂量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	1次/月	1次/年
	β 表面放射性污染	工作台、注射窗、注射间通风橱外表面	每次操作结束	1次/年
工作服、手套、工作鞋、手、皮肤、设备表面、注射后候诊区、墙壁、地面卫生通过间等可能污染的位置		每天工作结束后		

③监测质量保证

i 制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用有资质监测单位的监测数据与本单位监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核；

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

iii 制定辐射环境监测管理制度和方案。

此外，建设单位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。

3、放射性废水首次排放前监测

放射性废水在衰变池内放置 22 周后，在每次排放前应进行监测。每次排放应做好废水排放台账，并记录存档。

4、放射性废物处理前监测

放射性废物在放射性废物暂存间放置 10 个半衰期后，经对其外照射水平及表面污染水平监测合格后，可作为医疗废物委托有资质的单位进行处置。

5、辐射监测的可行性

环评认为，按本次环评要求完善后的监测方案，能够及时反映屏蔽设施的防护效能和放射废物排放达标情况。按这样监测方案开展的辐射监测符合《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）等相关规定要求。

辐射事故应急

1、辐射事故应急响应机构

宜宾市第二人民医院成立有放射事件应急处理小组，负责监督检查放射安全工作及组织协调、安排辐射事故处理等方面的管理。

2、辐射事故应急预案

医院已制定有《辐射事故应急预案》，内容包括应急组织机构和职责，应急处置程序和事故应急响应程序。环评对应急预案的内容分析如下：

表 12-3 本项目辐射事故应急预案内容分析

预案内容基本要求	医院已制定的《辐射安全事故应急预案》	评价要求
有效的组织机构	成立有放射事件应急处理小组，统一指挥和组织辐射事故的应急处理工作。	/
通畅的通讯联络系统	设置有合理的通讯联络系统	增加放射管理领导小组成员的联系电话。 增加应急电话和相关部门联系电话： ◆ 宜宾市生态环境局：0831-2328736 ◆ 四川省生态环境厅： ◆ 028-80589003（白天）、028-80589100（夜间、假期） ◆ 医疗 120 ◆ 公安 110
事故报告程序有效可行	设置有合理的事故报告程序	根据《关于建立辐射同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，在事故发生后 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，立即向使用地生态环境主管部门报告。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。

事故处理及监测	事故发生后,当事人应立即通知同工作场所的工作人员撤离,并及时上报院领导;应急处理领导小组召集专业人员制定事故处理方案。	增加事故处理及监测要求,包括:应急人员排除事故时,应配备相应的防护措施和必要的剂量监测设备。
应急监测仪器、个人防护用品等应急物资储备	给出了应急个人防护用品的储备介绍。	在应急预案中应将应急监测仪器、个人防护用品配备数量、位置、应急发放形式等情况予以进一步说明,并增补应急经费保障等内容。
应急演练	缺失	增加事故应急演练频次、程序、内容、奖惩等部分内容,并在实际演练中切实执行。

宜宾市第二人民医院需按照辐射防护及本报告表的要求进一步完善事故应急救援预案,做好事故应急准备。今后在预案的实施中应根据国家发布的法规内容,结合医院实际情况及时对预案做补充修改,使之更能符合实际需要。

表 13 结论与建议

结论

1、项目概况

项目名称：PET/CT 及回旋加速器核技术利用项目

建设单位：宜宾市第二人民医院

建设地点：宜宾市临港经济技术开发区长江北路西段附一段 27 号妇女儿童院区全科楼一层

建设性质：新建

建设内容及规模：宜宾市第二人民医院拟在宜宾市临港经济技术开发区长江北路西段附一段 27 号妇女儿童院区全科楼（已建，地上四层）一层预留房间建设 PET/CT 中心，建筑面积 390m²。拟建 PET/CT 中心主要进行 ¹⁸F-FDG 试剂生产和病人的显像诊断，接诊病患数量为 10 人/天（2500 人/年）。

PET/CT中心生产并使用非密封放射性物质为¹⁸F，日最大操作量为 2.22×10^{10} Bq、年最大操作量为 5.55×10^{12} Bq、日等效最大操作量为 2.22×10^9 Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所；使用1台医用回旋加速器，质子束额定能量为11MeV、束流额定强度为90 μ A，属于II类射线装置；使用1台联影uMI780型PET-CT机，最大管电压140kV，最大管电流为800mA，属于III类射线装置；使用⁶⁸Ge放射源1枚用于设备校准，活度为 7.4×10^7 Bq，属于V类放射源。

2、产业政策符合性分析

本项目系核与辐射技术用于医学领域，属于国家发展和改革委员会制订的《产业结构调整指导目录（2019 年本）》中第六项核能中第六条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”项目，属于国家鼓励类产业，符合国家现行产业政策。

3、选址及总平面布置合理性

本项目所在全科楼已取得了四川省生态环境厅批复（川环审批（2012）771 号），医院整体项目选址合理性已在相关环评报告中进行了论述，本项目仅为其中部分建设内容，不新增用地，且拟建的辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的电离辐射经屏蔽和防护后对辐射工作人员和公众的照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求并满足报告表确定的剂量管理约束值的要求，从辐射安全防护角度分析，本项目选址合理。

本项目各辐射工作场所两区划分明确，平面布局既满足放射诊疗工作要求，有利于辐射防护。评价认为，本项目平面和空间布局合理。

4、区域环境质量现状评价结论

现场监测数据表明：项目拟建场址周围辐射环境 X- γ 辐射剂量率监测值为 69.9~88.1nSv/h，经修正后辐射环境 X- γ 辐射剂量率为 56.5~71.2nGy/h，与四川省生态环境厅《2020 年四川省生态环境状况公报》中全省环境电离辐射水平（ $\leq 130\text{nGy/h}$ ）基本一致，属于当地正常天然本底辐射水平。拟建建场环境 β 表面污染检测结果在 0.09~0.19 Bq/cm² 之间，属正常环境本底水平。拟建场所各监测点中子剂量率低于仪器检测下限，属正常环境本底水平。

5、环境影响评价结论

（1）辐射环境影响分析

经模式预测，在正常工况下，本项目对辐射工作人员造成的附加有效剂量低于 5mSv/a 的职业人员剂量管理限值；对公众造成的附加有效剂量低于 0.1mSv/a 的公众人员剂量管理限值。

（2）水环境影响分析

放射性废水在三个并联衰变池停留 180 天且监测达标后，按照排水计划定期排入医院污水处理系统，对周围水环境影响很小。生活污水依托医院已有的污水处理系统处理达标后排放，对周围水环境影响很小。

（3）固体废物影响分析

放射性固废采用专门的固废收集桶收集后，暂存于废物间衰变 10 个半衰期经监测达标后按照普通医疗废物由当地有资质单位定期处置，不会对周围环境产生影响。生活垃圾不属于医疗废物，医院进行统一集中收集并交由环卫部门统一清运，对周围环境影响较小。

（4）大气环境影响分析

本项目射线装置在运行过程中产生的臭氧经排风系统排出后浓度低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中规定的二级标准限值要求；非密封放射性物质工作场所产生的放射性废气经过滤排放后对周围辐射环境影响较小。

（5）声环境影响分析

本项目产生的噪声较小，对医院边界噪声的贡献较小，对项目所在区域声环境影响较小。

6、辐射事故影响评价分析

经预测，假若本项目发生辐射事故，则最大的事故等级为较大辐射事故。环评认为，项目单位按相关规定和本环评要求，制定具有可操作性和可行性的《辐射事故应急预案》

之后，可适用于本项目单位发生的辐射事故的应急处置。

7、辐射安全管理的综合能力

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；具有对乙级非密封放射性物质工作场所，II、III类射线装置和V类放射源的使用和管理能力。

8、项目环保可行性结论

本项目符合国家产业政策，项目选址及平面布置合理，采取辐射防护措施技术可行，措施有效。在严格执行辐射防护的有关规定，辐射工作人员和公众照射剂量满足国家规定的年有效剂量限值和本评价采用的剂量约束值。评价认为，**本项目从辐射防护以及环境保护角度分析是可行的。**

9、项目竣工验收检查内容

本项目建成后，应严格按照环境保护部“关于发布《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的公告”（国环规环评〔2017〕4号）文件要求，开展竣工环境保护验收工作。

建设单位宜宾市第二人民医院是本项目竣工环境保护验收的责任主体，应当按照相关文件规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施和辐射防护措施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用，并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

建设单位应在项目竣工后3个月内组织竣工环保验收，委托有资质单位进行现场监测，并编制竣工验收监测报告。验收监测应当在确保主体工程调试工况稳定、辐射防护措施安全到位的情况下进行，并如实记录监测时的实际工况。验收监测报告编制完成后，建设单位应当根据验收监测报告结论，逐一检查是否存在不合格的情形，提出验收意见。存在问题的，建设单位应当进行整改，整改完成后方可提出验收意见。建设项目配套建设的环境保护设施和辐射防护措施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。危险废物相关竣工环保验收参照四川省生态环境厅其他规范要求实施。

“全国建设项目竣工环境保护验收信息平台”已于2017年12月1日上线试运行，网址为<http://47.94.79.251>。建设单位可以登陆环境保护部网站查询建设项目竣工环境保护验收

相关技术规范（kjs.mpe.gov.cn/hjbhzbz/bzwb/other），并在项目建成后，及时开展竣工环境保护验收工作。

要求

1、要求

（1）认真学习贯彻国家相关的环保法律、法规，不断提高遵守法律的自觉性和安全文化素养，切实做好各项环保工作。

（2）一旦发生辐射安全事故，立即启动应急预案并及时报告上级主管单位和四川省环保厅。

（3）建设单位应设置独立的辐射安全管理人员，制定针对性的射线装置操作规程、辐射安全管理制度，严格执行辐射防护的有关规定，落实各项辐射安全措施，将该区域对工作人员、公众及周边环境的辐射影响降至最低水平。

2、建议

①不断提高工作人员素质，增强辐射防护意识，尽量避免发生意外事故。

②定期进行事故应急演练，检验应急预案的可行性、可靠性、可操作性，不断的完善事故应急预案；

③根据国家及地方最新出台的法律法规，对公司辐射相关制度进行更新完善。