

核技术利用建设项目

新增医用射线装置建设项目

环境影响报告表

（公示本）

宜宾市第二人民医院

二〇二〇年十一月

生态环境部监制

表 1 项目基本情况

建设项目名称		新增医用射线装置建设项目				
建设单位		宜宾市第二人民医院				
法人代表	姜 雄	联系人	杨 琦	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号妇女儿童院区门诊楼负一楼				
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)	200	投资比例(环保 投资/总投资)	
					6.25%	
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			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		
		其它	/			
		项目概述 一、建设单位简介 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。 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，省级专委会常委 40 余人、委员 100 余人等。				

二、项目由来

为提高医疗服务能力，更好惠及全市人民群众，宜宾市第二人民医院拟在妇女儿童院区门诊楼地下一层建设 PET/CT 中心，生产并使用 ^{18}F -FDG 进行显像诊断。本项目生产的同位素药物仅用于宜宾市第二人民医院妇女儿童院区门诊楼地下一层 PET/CT 中心，不对外销售。

本项目新增 1 台医用回旋加速器用于同位素药物 ^{18}F 的生产，新增 1 台 PET/CT 机用于放射诊断，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 号文），医用回旋加速器为 II 类射线装置，PET/CT 机为 III 类射线装置。项目新增 ^{68}Ge 放射源 1 枚，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 中心主要操作 ^{18}F ，日等效最大操作量为 $2.96 \times 10^9 \text{Bq}$ ，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《放射性同位素与射线装置安全许可证管理办法》（环保部 31 号令），医院应对现持有的《辐射安全许可证》进行增项，将本次新购的 1 台医用回旋加速器、1 台 PET/CT 机、1 枚 ^{68}Ge 放射源和新增的乙级非密封放射性物质工作场所纳入辐射安全许可证中。

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》和《中华人民共和国放射性污染防治法》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（修改）》（生态环境部令第 1 号）规定，本项目属于名录中“五十、核与辐射”中“191、核技术利用建设项目---生产、使用及销售 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新增医用射线装置建设项目环境影响报告表》。

三、项目概况

1、项目名称、建设单位、建设地点及性质

项目名称：新增医用射线装置建设项目

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 号妇女儿童院区门诊楼地下一层

建设性质：新建

投资金额：3200 万元

2、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号妇女儿童院区门诊楼(已建,地下一层、地上五层)地下一层建设 PET/CT 中心,总建筑面积 737m²,分为药物制备分装区(173m²)、注射检查区(259m²)、候诊及办公区(305m²)。

(1) 药物制备分装区

药物制备分装区主要辐射工作场所包括回旋加速器机房(面积 44.6m²,东北、西南、西北侧墙体为 50cm 混凝土、东南侧为泥土层、顶板为原 20cm 厚混凝土、防护门采用 2cm 厚铅+25cm 厚聚乙烯平移门)、合成间(面积 19.3m²,东北、西北侧墙为 30cm 混凝土、西南侧墙体为 50cm 混凝土、东南侧为泥土层、顶板为原 20cm 厚混凝土楼板、防护门采用 10mm 铅当量门)、高活间/注射间(面积 27.1m²,东北、西南、西北面墙体为 30cm 混凝土、东南侧为泥土层、顶板为原 20cm 厚混凝土楼板、防护门采用 5-10mm 铅当量门)、废物间(面积 3.9m²,东北、西南、西北面墙体为 30cm 混凝土、东南侧为泥土层、顶板为原 20cm 厚混凝土楼板、防护门采用 5mm 铅当量门)。

(2) 注射检查区

注射检查区主要辐射工作场所包括 PET/CT 机房(面积 42.3m²,四面墙体为 30cm 混凝土、顶板为 30cm 厚混凝土楼板、工作人员防护门为 10mm 铅当量、观察窗为 10mmPb 当量铅玻璃、受检者防护门为 5mm 铅当量)、注射候诊室(面积 36.8m²,除候诊室 3 东北面墙为 37cm 实心砖墙外,其余墙体均为 24cm 实心砖、顶板为 30cm 厚混凝土楼板、门为 3mm 铅当量)、抢救室(面积 9.4m²,西北面墙体为 37cm 实心砖、东北面墙体为原 25cm 混凝土、其余墙体为 24cm 实心砖、顶板为 30cm 厚混凝土楼板、门为 3mm 铅当量)、留观室(面积 9.4m²,东北面墙体为原 25cm 混凝土、其余三面墙体为 24cm 实心砖、顶板为 30cm 厚混凝土楼板、门为 3mm 铅当量)、病人通道(面积 94.7m²,与储油间和柴油发电机房间隔墙体为原 20cm 混凝土+2mmPb 当量硫酸钡、与候诊办公区隔墙采用 37cm 实心砖墙、与 PET/CT 机房间隔墙体为 30cm 混凝土、其余墙体为 24cm 实心砖墙、顶板为 30cm 厚混凝土楼板、门为 20mm 铅当量)、废水衰变间(东南侧为泥土层、其它三面墙体为 30cm 混凝土、顶板为原 20cm 厚混凝土楼板、防护门采用 10mm 铅当量门)。

PET/CT 中心生产及使用非密封放射性物质为 ¹⁸F,最大用量为 2.96×10¹⁰Bq/d、年最大用量 7.4×10¹²Bq、日等效最大操作量为 2.96×10⁹Bq,属于乙级非密封放射性物质工作场所。

回旋加速器机房使用 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；PET/CT 机房配套使用 1 台联影 uMI780 型 PET-CT 机，最大管电压 140kV，最大管电流为 833mA，属于 III 类射线装置。PET/CT 机房新增 ^{68}Ge 放射源 1 枚，活度为 $7.4\times 10^7\text{Bq}$ ，属于 V 类放射源。项目组成及主要的环境问题情况见表 1-1。

表 1-1 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	核医学 PET/CT 中心	辐射工作场所	药物制备分装区包括回旋加速器机房（44.6m ² ）、合成间（19.3m ² ）、高活间及注射室（27.1m ² ）、废物间（3.9m ² ）；注射检查区包括 PET/CT 机房（42.3m ² ）、注射候诊室（36.8m ² ，3 间候诊病房）、留观室（9.4m ² ，1 间病房）、抢救室（9.4m ² ，1 间病房）和病人通道（94.7m ² ）。			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
		辐射工作场所分级	核素名称	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）		
			¹⁸ F	2.96×10 ⁹	7.4×10 ¹²		
			级别	乙级			
		涉及的射线装置和放射源	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 90μA，属于 II 类射线装置，用途为生产 ¹⁸ F；1 台 PET/CT 机，型号为联影 uMI780 型，最大管电压 140kV，最大管电流 833mA，III 类射线装置，用途为核素显像；使用 ⁶⁸ Ge 放射源 1 枚，活度为 7.4×10 ⁷ Bq，属于 V 类放射源，用途为校准。			质子、中子 β、γ 射线 感生放射性	
辅助工程	回旋加速器设备用房 1 间，建筑面积 38.1m ² ；更衣淋浴间 1 间，建筑面积 19.7m ² ；PET/CT 控制室 1 间，建筑面积 13.9m 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	候诊及办公区（305m ² ）包括候诊大厅、医生办公室、会议室和诊断室等。					施工废气 施工噪声 施工废水 建筑垃圾 生活污水 生活垃圾	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住院楼楼顶并由高效排风过滤器+活性炭吸附装置净化后排放。						放射性废气 放射性固废
	废水：PET/CT 中心放射性废水泵入本项目新建放射性废水衰变池（三个池体并联设置，单个有效容积 5m ³ ），暂存 10 个半衰期，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 10 个半衰期且达到解控水平后，作为一般医疗废物处置；医疗废物依托医院现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：采用低噪声设备，通过设置减震措施、建筑隔声进行降噪处理。						噪声

3、非密封源工作场所分级

(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 1-2。

表 1-2 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 1-3、表 1-4。

表 1-3 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 1-4 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《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”；医疗机构使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{125}I 粒子源相关活动视为“很简单的操作”。

根据《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规定，放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商，计算公式如下：

日等效操作量 = 实际日操作量 × 核素毒性因子 ÷ 操作方式的修正因子

(2) 项目分级

PET/CT 中心生产及使用非密封放射性物质为 ^{18}F ，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 D， ^{18}F 属于低毒组。

本项目生产 ^{18}F 工艺过程包括靶材料的初级产物传递、吸附冲淋及初级产物自动合成终级产物 ^{18}F -FDG 试剂（液体）、 ^{18}F -FDG 试剂的质检与分装等过程，属于特别危险的操作。

PET/CT 中心重要进行 ^{18}F -FDG 试剂制备和 ^{18}F 显像诊断，制备阶段采用回旋加速器打靶半小时， ^{18}F 产能为 0.8Ci/次（ $2.96 \times 10^{10}\text{Bq/次}$ ）；合成时药物回收率为 60%，则可合成 ^{18}F -FDG 试剂 0.64 Ci/次（ $1.78 \times 10^{10}\text{Bq/次}$ ）；每个病人静脉注射量为 10mCi（ $3.7 \times 10^8\text{Bq}$ ）。

按照表 1-3、表 1-4 放射性同位素日等效操作量修正因子列入表 1-5 中。根据本项目开放性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 PET/CT 中心为乙级非密封放射性物质工作场所。具体见表 1-5。

表 1-5 PET/CT 中心分级表

工作场所	PET/CT 中心
核素名称	^{18}F
日最大操作量/ Bq	2.96×10^{10}
毒性分组	低毒
毒性组别修正因子	0.01
放射源状态	液体
操作方式	特别危险的操作
方式与状态修正因子	0.1
日等效最大操作量/ Bq	2.96×10^9
工作场所级别	乙级

由表 1-5 可知，PET/CT 中心日等效最大操作量为 $2.96 \times 10^9\text{Bq}$ 。根据《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）的规定，该工作场所为乙级非密封源工作场所。

4、射线装置及放射源

本项目涉及射线装置情况见下表

表 1-6 本项目涉及射线装置情况表

设备名称	数量	主要技术参数	类别	工作场所	单次最长出束时间	年治疗人数	用途
医用回旋加速器	1(套)	质子束能量为 11MeV 束流强度为 90 μA	II 类	妇女儿童院区门诊楼地下一层 PET/CT 中心回旋加速器机房	1800 秒	/	^{18}F 制备
PET-CT	1 台	额定管电压 140kV 额定管电流 833mA	III 类	妇女儿童院区门诊楼地下一层 PET/CT 中心 PET-CT 机房	0.5 秒	5000 人	显像诊断

本项目涉及放射源情况见下表

表 1-7 本项目涉及密封源情况表

核素	半衰期	衰变类型及分支比	总活度/活度 (Bq) ×枚	主要 γ 、X 射线能量 KeV	空气比释动能率常数 ($\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
^{68}Ge	270.8d	EC、100%	$7.4\times 10^7\text{Bq}\times 1$ 枚	10.3	0.011

5、主要原材料及能源消耗情况

项目主要原辅材料及能耗情况见表 1-8。

表 1-8 主要原辅材料及能耗情况表

名称	消耗情况	规格	来源	存放位置及最大存量	用途
^{18}O 富集水	30 瓶/年	20g/瓶	外购	控制间/10 瓶	靶材
PET 药物试剂盒	130 盒/年	2 次/盒	外购	药物分装质检区/15 盒	药物原料
H_2	1 瓶/年	40L/瓶	外购	气瓶室/1 瓶	离子来源
N_2	4 瓶/年	40L/瓶	外购	气瓶室/1 瓶	管道吹送
He	1 瓶/年	40L/瓶	外购	气瓶室/1 瓶	加速器靶区保护
电	21000 度	/	市政电网	/	/
水	350m^3	/	自来水管网	/	/

6、劳动定员和工作制度

劳动定员：本项目涉及新增11名工作人员，其中 PET 回旋加速器操作3人、分装注射2人、显像诊断医生2人、技师2人、护士2人，分两组轮班上岗。

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0.5小时，全年打靶125小时。 ^{18}F -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5000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。

环评要求：①新增辐射工作人员须及时登录 <http://fushe.mee.gov.cn> 进行上岗培训、考试合格并持证上岗；②建设单位应当建立并保存辐射工作人员的培训档案。

四、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。

五、实践正当性

按照《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“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

短寿命放射性药物 ^{18}F 制备及使用是为满足医院对 PET/CT 放射性同位素显像药品的及时性需求，对保障健康、拯救生命起到了十分重要的作用，具有明显的经济效益和社会效益。

通过采取必要的辐射防护措施后，项目对工作人员和公众的影响满足相关标准限值要求，对社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害。因此，项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”的原则与要求。

六、选址及平面布局合理性

1、外环境及选址合理性分析

（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号妇女儿童院区门诊楼地下一层。根据现场踏勘，医院东南侧紧邻长江北路、东南侧 33m 为佳乐·悠南山（在建居民区）和太阳岛（已建居民区）、西南侧为长江国际青年城（已建居民区）、西北侧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门诊楼（已建，地下一层、地上五层）地下一层，项目具体外环境关系见下表。

表 1-9 项目外环境关系表

名称	位置	距离	性质	规模
长江北路	东南	30m	道路	/
佳乐·悠南山（在建居民区）	东南	80m	住宅小区	约 2000 人
太阳岛（已建居民区）	南	130m	住宅小区	约 2000 人
长江国际青年城（已建居民区）	西南	240m	住宅小区	约 6000 人
地中海蓝湾凯越（已建居民区）	西北	160m	住宅小区	约 5000 人
妇女儿童院区住院楼	东北	紧邻	医院	约 500 人
临港院区停车场	西北	24m	医院	/
临港院区住院楼	西北	45m	医院	约 500 人
妇女儿童院区医技楼	西南	90m	医院	约 300 人

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：辐射工作场所实体屏蔽墙体外周边 50m 范围内。由表 1-8 可知，项目评价范围内环境保护目标主要分布有妇女儿童院区住院楼、临港院区停车场，不涉及非宜宾二医院的常住敏感目标。

（3）选址合理性分析

本项目所在门诊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。

2、平面布局及路径设置合理性分析

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门诊楼地下一层，由药物制备分装区、注射检查区和候诊及办公区组成，其中药物制备分装区位于东南侧，注射检查区位于东北侧，候诊及办公区位于西侧。

（1）平面布置合理性分析

本项目拟建 PET/CT 中心位于门诊楼（地上 4 层、地下 1 层）地下一层东侧。PET/CT 中心东南侧为泥土层、西南侧为放射科、北侧为冷冻机房和柴油发电机房、东北侧为地下室出口、楼上为门诊楼收费大厅及产前诊断科。

本项目拟建 PET/CT 中心相对独立且封闭，最大限度地避开了人员集中活动区域。PET/CT 中心分为药物制备分装区、注射检查区、候诊及办公区，药物制备分装区、注射检查区出入口均设有门禁，非工作人员引导不能进入。

回旋加速器机房需由设备用房进入，设备用房出入口设置门禁系统，非授权人员禁止入内。另外，为最大限度降低加速器机房运行对楼上产前诊断科工作人员和公众的不利影响，回旋加速器机房采用错峰运行方式，每天运行时间为 6:00~7:00、并在一层员工上班前停机。

综上所述，本项目 PET/CT 中心平面布置合理。

（2）路径设置合理性分析

① 患者路径

受检者按预约日期首先经由电梯达到地下一层的候诊大厅，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）后到达注射窗，接受给药后进入候诊室静卧候诊，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，而后从 PET/CT 中心东北侧单向门禁（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候诊大厅医护入口经办公区进入药物制备分装区，在控制室（与PET-CT机房共用）内远程操控生产 ^{18}F 初级产物，之后通过更衣淋浴间进入合成室进行药物合成，再进入高活间进行药物分装质检，进入注射间进行药物注射。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办公区进入控制室，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）吹送至合成间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间的屏蔽手套箱内进行分装、质检，之后进行注射。

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废物衰变间；一次性手套采用铅废物桶收集并暂存于废物衰变间。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，由注射室内脚踏式铅废物桶收集，之后转移至废物间进行贮存衰变，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、经注射检查区通道带离 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的铅箱内，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。

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、PET 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。

七、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，许可种类和范围是使用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、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、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；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、¹³¹I 核素治疗中心和 ⁸⁹Sr 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 月对既放射（辐射）安全管理工作领导小组进行了调整，组长由院长平担任，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和执行情况

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。另外，医院填写了《2019 年度放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评

估报告》，并报送给宜宾市生态环境局。

（3）辐射工作人员培训情况

医院现有放射工作人员 363 名，其中 187 人取得了辐射安全与防护培训合格证书。

评价要求：①尚未获证人员须及时登录 <http://fushe.mee.gov.cn> 进行上岗培训、考试合格并持证上岗；②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。

（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，2019 年度医院辐射工作人员中 9 人剂量存在异常，其中 2 人年度剂量超剂量约束值 5mSv，7 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佩戴个人剂量计扶持接受放射性检查的患者/病人；④手动分装 ^{131}I 药物。

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带管理；②合理分配工作量，分摊工作剂量；③优化 ^{131}I 药物分装设施，拟购置自动分装设施。

环评要求：①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。②按照《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》要求，对于单季度个人剂量检测数据超过 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情况调查报告上签字确认；对于年度内检测数值累计超过 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发证机关。③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带剂量计；建议采用双剂量监测法（在铅围裙内躯干上再佩带另一个剂量计），且在身体可能受到较大照射的部位佩带局部剂量计（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（2019 年度）》，并按要求上报给主管部门。医院现管理情况如下：

①辐射安全许可证变更情况：2019 年医院对《辐射安全许可证》进行了变更，目前辐射安全许可证编号为川环辐证（00217）。

②医院各射线装置运行及维护情况良好，辐射防护用品配备齐全，使用情况良好。辐射安全和防护制度、辐射应急处理制度和管理均满足相应规定要求。

③个人剂量检测情况：对 2019 年度内存在个人剂量监测数据异常情况进行调查、整改，并将调查结果总结上报相关主管部门。

综上，2019 年度医院辐射防护工作自查结果良好。

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门诊楼地下一层，现为停车场，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	$7.4 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$ 枚	V	使用	校准源	妇女儿童院区 门诊楼地下一层 PET/CT 机房	存放在专用铅容器中, 置于 PET-CT 机房内, PET-CT 校准时取出使用	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	2.96×10^{10}	2.96×10^9	7.40×10^{12}	PET/CT 检查显像	静脉注射	妇女儿童院区门诊楼地下一层 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	妇女儿童院区门诊楼地 下一层 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	833	放射诊断	妇女儿童院区门诊楼地 下一层 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		1.35×10^9 Bq	6.73×10^7 Bq	1.16×10^4 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	
	废活性炭	^{18}F	/	/	50kg	/	铅屏蔽箱 收集暂存	
	质检废物	^{18}F	/	/	10kg	/	铅屏蔽箱 收集暂存	
	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	

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 日颁布，2014 年 4 月 24 日修订，2015 年 1 月 1 日施行）； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2002 年 10 月 28 日颁布，2018 年 12 月 29 日修订）； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 6 月 28 日颁布，2003 年 10 月 1 日施行）； (4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2005 年 8 月 31 日颁布，2019 年 3 月 2 日修订）； (5) 《建设项目环境保护管理条例》（国务院第 682 号令）； (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）； (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）； (8) 《建设项目环境影响评价分类管理目录》（2017 年 6 月 29 日环境保护部令第 44 号公布，2018 年 4 月 28 日修正）； (9) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年 1 月 18 日国家环境保护总局令第 31 号公布，2017 年 12 月 12 日修正）； (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）； (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）。
技术标准	(1) 《辐射环境保护管理导则-核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）； (2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； (3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）； (4) 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）； (5) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； (6) 《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）； (7) 《医疗照射防护基本要求》（GB179-2006）；

	(8) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； (9) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）； (10) 《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）； (11) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）； (12) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GBZ11930-2010）。
其他	(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）； (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）； (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：辐射工作场所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	保护类别	位置	方位	距离辐射源最近距离（m）		人数	管理限值（mSv/a）
				水平	垂直		
PET/CT 中心内医护人员	职业	合成间、高活间及注射室、PET/CT 机房、诊断室、控制间	/	0.5	/	11	5
PET/CT 中心周围流动人员	公众	PET/CT 中心东南侧（门诊楼东南侧）地面通道	东	1.0	4.8	流动人群	0.1
		回旋加速器机房西南侧介入治疗办公区	西南	6.4	/	3	0.1
		回旋加速器机房西北侧候诊大厅	西	4.3	/	流动人群	0.1
		PET/CT 机房西北侧诊断室	西	3.0	/		0.1
		门诊楼一层产前诊断科	楼上	0	4.3	流动人群	0.1
		住院楼一层脑电图室	东北	3	4.3	流动人群	0.1

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

生活污水排入设置有二级污水处理厂的城镇排水系统的污水执行《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准；医疗废水执行《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表2中预处理标准。

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《一般工业固体废物储存、处置场污染物控制标准》（GB18599-2001）及其修改单相关标准；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

职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录B剂量限值：应对任何工作人员的职业水平进行控制，使之不超过下述限值：由审管部门决定的连续5年的平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

结合本项目所在地审管部门的要求，本项目职业照射年有效剂量管理约束值按《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）职业照射剂量限值20mSv的四分之一执行，即5mSv/a。对手部的年管理约束值取年当量剂量500mSv的四分之一执行，即

125mSv/a。

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

结合本项目所在地审管部门的要求，本项目职业照射年有效剂量管理约束值按《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）公众照射剂量限值的十分之一执行，即 0.1mSv/a。

2、场所防护要求

参照《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）第 3.1 条“距治疗机房墙和入口门外表面 30cm 处： $H_c \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ （人员全居留场所， $T > 1/2$ ）； $H_c \leq 10\mu\text{Sv/h}$ （人员部分和偶然留场所， $T \leq 1/2$ ）”。本次评价确定回旋加速器机房、合成间、高活间/注射室、废物衰变间、PET/CT 机房、注射候诊区等辐射工作场所墙体外表面 30cm 处剂量当量率 $\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

3、表面污染控制水平

表面污染控制水平执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中表 B11 中数值，具体见表 7-2。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平

单位：Bq/cm²

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

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 $2.3 \times 10^6 \text{Bq/a}$ 。

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 $1.2 \text{m}^3/\text{h}$ ，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/m^3 。

5、《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）

4.5 合成和操作放射性药物所用的通风橱，工作中应有足够的风速（一般风速不小于

1m/s)，排气口应高于本建筑屋脊，并酌情设有活性炭过滤或其他专用过滤装置，排出空气浓度不应超过有关法规标准规定的限值。

4.6 凡 I 类工作场所和开展放射性药物治疗的单位应设有放射性污水池，以存放放射性污水直至符合排放要求时方可排放。废原液和高污染的放射性废液应专门收集存放。

4.7 临床核医学工作场所应备有收集放射性废物的容器，容器上应有放射性标志。放射性废物应按长半衰期和短半衰期分别收集，并给予适当屏蔽。

5.6 工作人员操作后离开放射性工作室前应洗手和进行表面污染检测，如污染水平超过 GB18871 规定值，应采取相应去污措施。

5.7 从控制区取出任何物品都应进行表面污染水平监测，以杜绝超过 GB18871 规定的表面污染水平的物品被带出控制区。

5.9 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。

5.10 放射性物质的贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不得入内。

5.11 贮存和运输放射性物质时均应使用专门容器。取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的放射防护措施。

5.12 贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和运输时应有适当的放射防护措施。

6、《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）

5.1 放射性废液

5.1.1 使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于 $2 \times 10^7 \text{Bq}$ 的临床核医学单位和医学科研机构，应设置有放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放。放射性污水池应合理选址，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防泄漏措施。

5.1.2 产生放射性废液而可不设置放射性污水池的单位，应将仅含短半衰期核素的废液注入专门容器中通常存放 10 个半衰期后，经审管部门审核准许，可作普通废液处理。对含长半衰期核素的废液，应专门收集存放。

5.1.3 经审管部门确认的下列低放废液可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道：每月排放总活度或每一次排放活度不超过 GB18871-2002 中 8.6.2 规定的限制要求，且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗，每次排放应作记录并存档。

6.1 废物收集

6.1.1 按 4.2 放射性废物分类和废物的可燃与不可燃、可压实和不可压实、有无病原体

毒性，分开收集废物。

6.1.2 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。污物桶放置点应避开工作人员工作和经常走动的区域。

6.1.3 污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封、不破漏，并及时转送贮存室，并放入专用容器中贮存。

6.1.5 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。

6.2 废物临时贮存

6.2.1 产生少量放射性废物的非密封放射性核素应用单位，经审管部门批准可以将其废物临时贮存在许可的场所和专门容器中。贮存时间和总活度不得超过审管部门批准的限制要求。

6.2.2 贮存室建造结构应符合放射卫生防护要求，且具有自然通风或安装通风设备，出入口设电离辐射警示标志。

6.2.3 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器必须安全可靠，并应在显著位置标有废物类型、核素种类，比活度水平和存放日期等说明。

6.2.4 废物包装体外表面的污染控制水平： $\alpha < 0.04\text{Bq/m}^3$ ， $\beta < 0.4\text{Bq/m}^3$ 。

6.2.5 应在临时贮存期满前及时把废物送往城市废物贮存库或废物处置单位。

6.3 废物处理

6.3.2 对有病原体污染的固体废弃物，如可以焚烧的直接焚烧处理，不可以焚烧的应消毒灭菌后处理或处置。

6.3.3 未知核素的废物在其活度浓度小于或者等于 $2 \times 10^4\text{Bq/kg}$ 时，或废物中的核素已知且其活度浓度符合 4.4 或者 4.5 时，可作免管固体废物处理。

9.1 医疗机构应配备有专（或兼）职人员负责管理废物的分类、存放和处理。废物管理人员应熟悉国家有关放射性废物管理法律法规，具备掌握放射防护和剂量监测专业技术的安全文化素养。

9.2 应具有预防发生废物丢失、被盗、容器破损和灾害事故的安全措施。贮存室的显著位置应设电离辐射警示标志，并建立废物档案和出入贮存室登记与双人双锁管理制度。

9.3 设废物贮存登记卡，废物主要特性和处理过程应记录在卡片上，并存档备案。

9.5 接触放射性废物的工作人员必须使用个人防护用具或屏蔽防护设施，并佩戴个人剂量计。

7、《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）

4.1.2 县级及县级以上或 20 张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表 2 的规定。直接或间接排入地表水体和海域的污水执行排放标准，排入终端已建有正常运行城镇二级污水处理厂的下水道的污水，执行预处理标准（总 β 限值 10Bq/L）。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

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，四川省核工业辐射测试防护院（四川省核应急技术支持中心）监测人员于 2020 年 11 月 11 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。

本项目拟建场址周围环境 X- γ 辐射空气吸收剂量率换算为 γ 辐射剂量率约为 97~116nGy/h。与《2019 年四川省生态环境质量公报》中的 γ 辐射空气吸收剂量率（小时均值）范围 76.8 nGy/h~163nGy/h 比较，属正常环境本底水平。

拟建建场环境 β 表面污染检测结果在 0.19~0.21 Bq/cm² 之间，也低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 B11 给出的工作场所放射性表面污染控制水平 0.04Bq/m²（400 Bq/cm²），属正常环境本底水平。

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。

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：

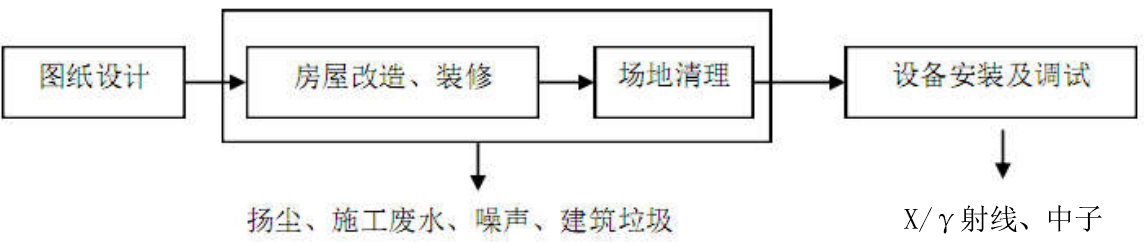


图 9-1 施工期工艺流程及产污环节图

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一定的遮盖措施，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，注意维护保养。

（3）废水

施工期产生的废水主要包括施工废水和施工人员的生活污水，施工废水循环使用，生活污水产量较小，可依托医院现有污水处理设施处理后纳入市政污水管网，不随意排放。

（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 机调试阶段会产生 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 PET/CT 机运输、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。

二、运营期

1、医用回旋加速器

(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 9-2 所示。

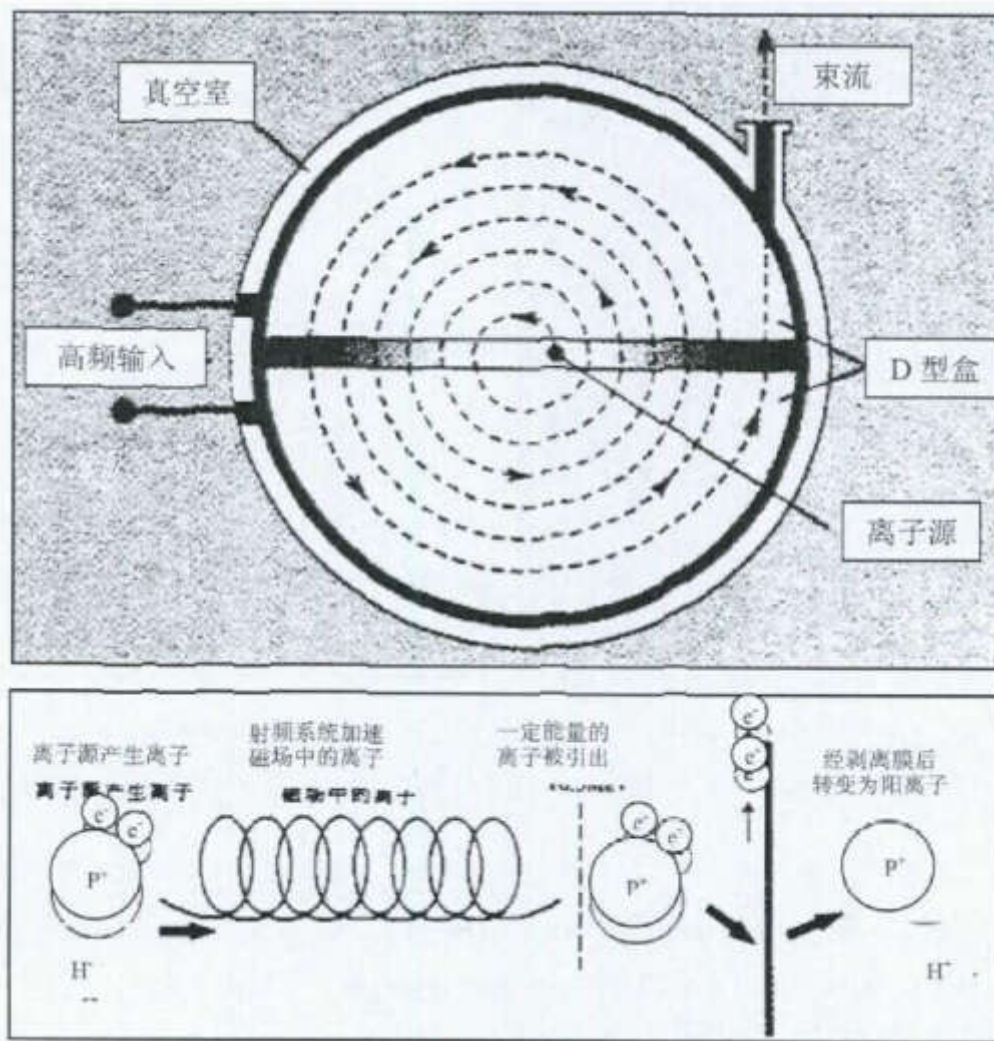


图 9-2 回旋加速器工作原理示意图

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类螺旋形。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	90 μ A
	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， $Q=18\text{m}^3/\text{h}$ 。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) 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，自屏蔽系统示意图如下

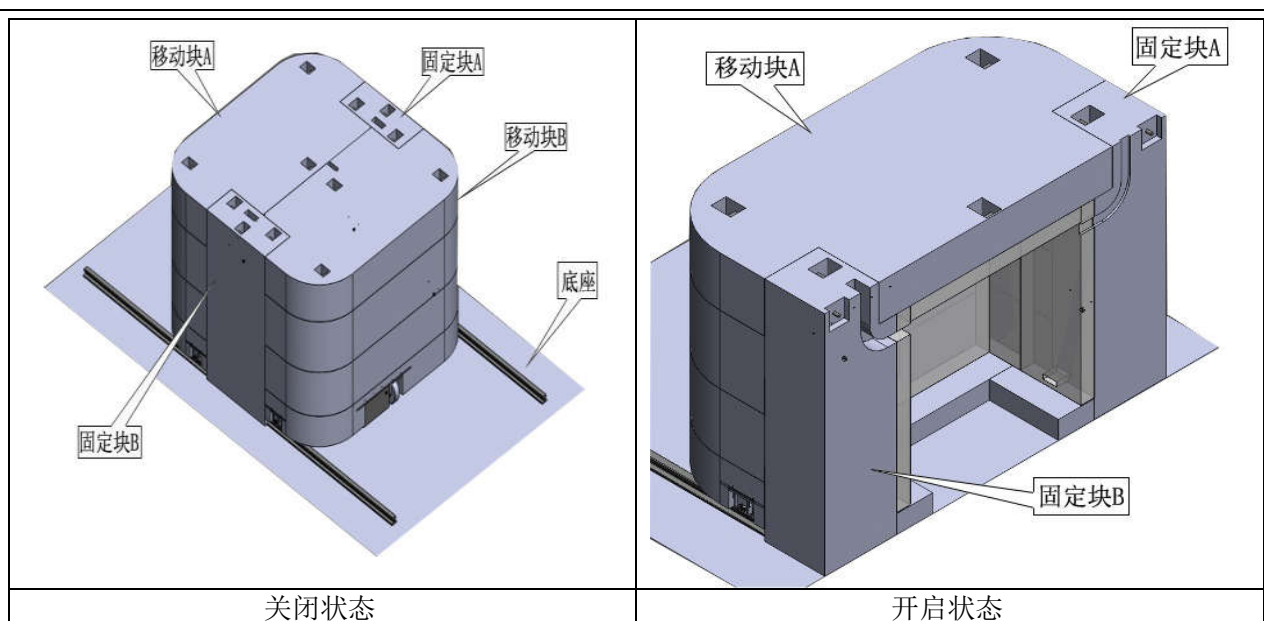


图 9-3 自屏蔽系统三维结构示意图

(4) 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	$^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$	^{18}F	110	30	29.6	β^+ (97%) ε (3%)	低毒

(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 0.1000~0.1080Pa 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 μA ，其中 40 μA 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。

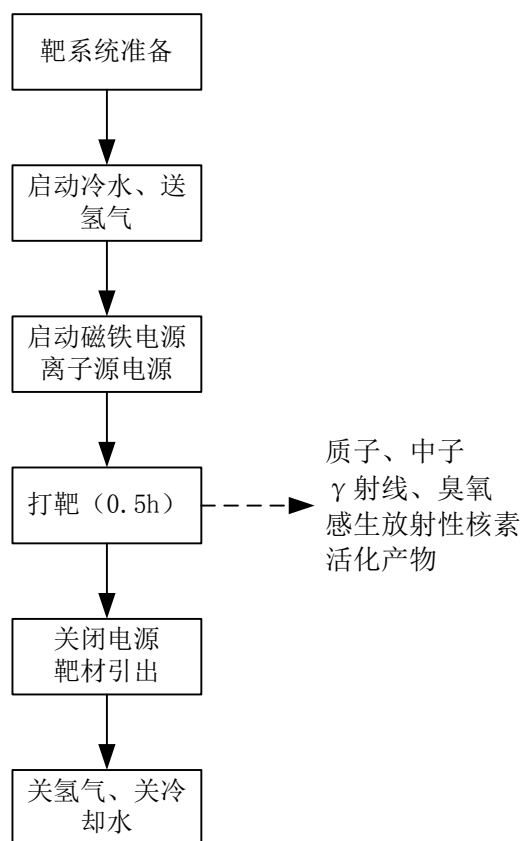


图 9-4 医用回旋加速器工艺流程及产污环节图

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；靶腔内靶材经氮气吹送，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。

（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 $90\mu\text{A}$ （其中损失 $50\mu\text{A}$ ，打靶输出 $40\mu\text{A}$ ）。每天打靶 1 次，单次打靶持续时间 0.5 小时，全年打靶 125 小时。

2、 ^{18}F -FDG 药物成分装质检

本项目 ^{18}F -FDG 药物成分装质检主要分为三个单元，即放射性药物合成单元、放射性药物分装单元和放射性药物质检单元，具体工艺流程如图 9-5 所示，主要包括靶材料的初级产物传递、吸附冲淋及初级产物自动合成终极产物 ^{18}F -FDG 试剂、 ^{18}F -FDG 试剂的质检与分装等过程。 ^{18}F -FDG 单次产量 0.8Ci，年产量 200Ci。具体工艺流程如下：

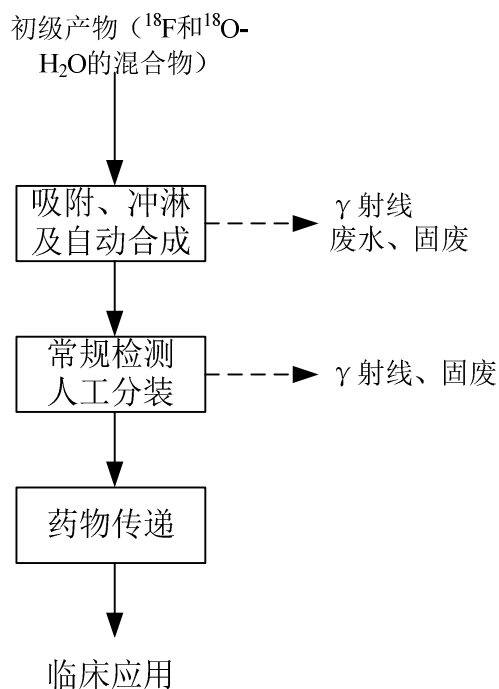


图 9-5 ^{18}F -FDG 药物合成分装质检工艺流程及产污环节图

(1) 放射性药物合成单元

①输送

经过约 0.5h 的打靶，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。

②吸附、冲淋、自动合成

核素在模块箱中的洁净合成模块中合成过程中，计算机自动设置的步骤如下：

捕获淋洗：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。经设备厂家提供资料分析，捕获淋洗过程 ^{18}F 回收率为 60%。

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。

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。

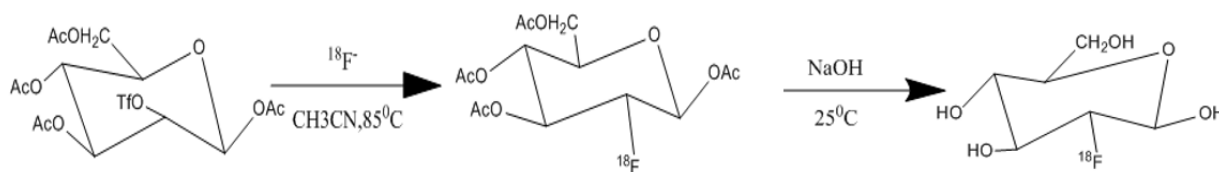


图 9-6 合成反应化学式

合成之后的 ^{18}F -FDG 药剂通过手套箱内部管线注入无菌瓶内，并将无菌瓶装入 50mm 厚铅罐内。

（2）放射性药物分装单元

装有无菌瓶的铅罐由传递窗送出合成间，经高活间送至注射间的分装手套箱内。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 药剂在屏蔽通风橱内分装时间为 25 秒/次，之后转移至注射窗需时 5 秒/次，日分装 10 次。

（3）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、注射检查区设备及工艺分析

（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。

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 833mA。 ^{18}F 每人每次最大使用量为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq/人次}$ (10mCi)，主要用于糖代谢、全身肿瘤显像。 ^{18}F 在高活注射间进行分装和静脉注射给药，分装在通风橱中完成，医生隔通风橱进行分装；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 40min 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。

表 9-3 放射性核素 ^{18}F 的相关性状

核素	半衰期	衰变类型及分支比 (%)	主要 β 辐射能量 (MeV)	主要 γ 、X 射线能量 (MeV)	空气比释动能率常数 ($\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)
^{18}F	109.8min	EC (3.27) β^+ (96.73)	0.64	0.511	0.143

(3) 工艺流程及污染因子

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 40min；
 - ⑤病人进入 PET-CY 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 系统诊断工艺流程及产污位置图如图 9-7 所示。

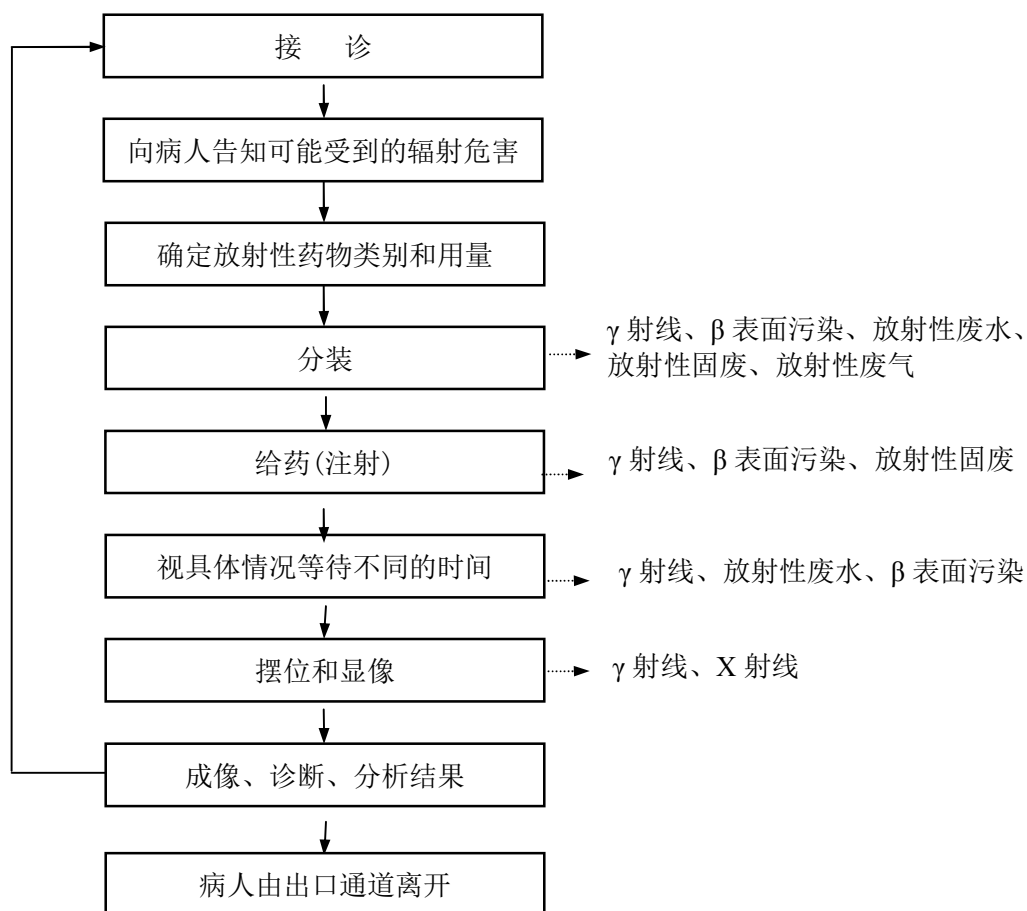


图 9-7 PET/CT 中心 PET/CT 诊断工艺流程及产污位置图

因此，用 ^{18}F 等核素标记 PET/CT 显像主要环境影响为分装、注射、摆位及扫描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。CT 扫描时产生的 X 射线。

污染源项描述

1、回旋加速器的污染源项

(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 $^{27}\text{Al}(\text{p}, \text{n})^{27}\text{Si}$ 核反应的中子；一部分为质子射束轰击轰击靶材料时发生 $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$ 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 9-4。

表 9-4 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	$^{27}\text{Al}(\text{p}, \text{n}) \rightarrow ^{27}\text{Si}$
^{24}Na	15.0h	β^- (100)	ε (γ) 1.369	$^{27}\text{Al}(\text{n}, \alpha) \rightarrow ^{24}\text{Na}$
^{54}Mn	312.1d	EC (100)	ε (γ) 0.835	$^{54}\text{Fe}(\text{n}, \text{p}) \rightarrow ^{54}\text{Mn}$
^{56}Mn	2.579h	β^- (100)	ε (γ) 0.847	$^{55}\text{Mn}(\text{n}, \gamma) \rightarrow ^{56}\text{Mn}$ $^{56}\text{Fe}(\text{n}, \text{p}) \rightarrow ^{56}\text{Mn}$
^{60}Co	5.271a	β^- (100)	ε (γ) 1.333	$^{60}\text{Ni}(\text{n}, \text{p}) \rightarrow ^{60}\text{Co}$
^{55}Fe	2.737a	EC (100)	ε (γ) 0.006	$^{54}\text{Fe}(\text{n}, \gamma) \rightarrow ^{55}\text{Fe}$
^{51}Cr	27.7d	EC (100)	ε (γ) 0.320	$^{54}\text{Fe}(\text{n}, \alpha) \rightarrow ^{51}\text{Cr}$

(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 (^{18}F) 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 ^{15}O (半衰期 2.1min)、 ^{13}N (半衰期 10min)、 ^{11}C (半衰期 20.4min)、 ^{41}Ar (半衰期 110min)等放射性气体。 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{11}C 等产生率相当低,关键核素是 ^{41}Ar ,其主要特性参数见表 9-5。

表 9-5 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	$^{40}\text{Ar}(n,\gamma) \rightarrow ^{41}\text{Ar}$

(7) 放射性废水

内循环冷却水(总量约 2m^3)在回旋加速器内受照射后产生放射性核素,主要是 ^{15}O ($T_{1/2}=2.03\text{min}$)、 ^{13}N ($T_{1/2}=9.96\text{min}$) 及 ^{11}C ($T_{1/2}=20.4\text{min}$),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、合成间的污染源项

(1) γ 射线

^{18}F 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 $^{18}\text{F}-\text{F}^-$ 在热室制备 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。

(3) 放射性固废

合成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，每半年对过废气净化装置的活性炭更换 1 次，更换下来的废活性炭（50kg/a）成为放射性固体废物；高活间非常规质检（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、注射及诊断的污染源项

（1） γ 射线

^{18}F -FDG 药剂在分装、注射等操作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

体内含有放射性核素的病人排泄物；工作人员及工作场所清洗废水等。

（5）放射性固体废物

分装、注射等操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量放射性同位素的医疗固体废弃物，污染途径为操作过程中及收集、贮存衰变时对医务人员产生的外照射。退役或报废的 ^{68}Ge 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 ^{68}Ge 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 11 人，年工作时间为 250 天，用水量按 100L/人·d 计算，生活用水量约 1.1m³/d（275m³/a），生活污水按用水量的 80%计，则生活污水排放量为 0.88m³/d（220m³/a）。

（2）生活垃圾

项目定员 11 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 1.4t/a。

(3) 废气

回旋加速器和 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、暖通机房风机和真空泵等，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 9-6

表 9-6 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	门诊楼地下一层设备用房 (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	住院楼楼顶	1 台	75dB(A)	采用低噪设备、基础减振	70dB(A)
真空泵	门诊楼地下一层设备用房 (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、工作区域管理

1.1 分区依据和原则

为便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）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，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。运用行政管理程序如进入控制区的工作许可证和实体屏蔽（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区，放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区，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制定区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标记；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。

1.2 本项目控制区和监督区划分

本次环评根据国际放射防护委员会对控制区和监督区的定义，结合项目辐射防护和周边环境情况等特点，辐射工作场所两区划分见表 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、合成间、高活间/注射间、废物间、PET/CT 机房、注射候诊室、留观室、抢救室、废水衰变间和病人通道。	设备用房、更衣淋浴间、控制间、诊断室
辐射防护措施要求	控制区内禁止外来人员进入，职业人员工作时非必要尽量不要在控制区内停留，以减少不必要的照射，回旋加速器机房和 PET/CT 机房出束时禁止职业人员入内。	在该区设置电离辐射标志，经常进行剂量监督，确认是否需要专门的防护措施，限制工作人员和公众在该区域长期滞留

二、辐射安全及防护措施

2.1 药物制备分装区

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、合成间、高活间/注射间、废物间采取的工程屏蔽措施见表10-2

表10-2 药物制备分装区工程屏蔽措施表

房间名称	名称	设计防护情况
回旋加速器机房	东南侧墙体	利用既有25cm厚混凝土（该混凝土墙以外为泥土层）
	东北、西南、西北侧墙体	50cm厚混凝土
	楼顶	20cm厚混凝土
	机房西南侧防护门	2cm厚铅+25cm聚乙烯
合成间	东南侧墙体	利用既有25cm厚混凝土（该混凝土墙以外为泥土层）
	东北、西北侧墙体	30cm厚混凝土
	西南侧墙体	50cm厚混凝土
	楼顶	20cm厚混凝土
	传递窗	10mm铅当量门
	防护门	10mm铅当量门
高活间/注射间	东南侧墙体	利用既有25cm厚混凝土（该混凝土墙以外为泥土层）
	东北、西南、西北侧墙体	30cm混凝土
	楼顶	20cm厚混凝土
	高活间防护门	10mm铅当量门
	注射间防护门	5mm铅当量门
	注射间防护窗	20mm铅当量
废物间	东南侧墙体	利用既有25cm厚混凝土（该混凝土墙以外为泥土层）
	东北、西南、西北侧墙体	30cm混凝土
	楼顶	20cm厚混凝土
	防护门	5mm铅当量门

3、防护设备与防护用品

(1) 回旋加速器自屏蔽体

项目拟购置回旋加速器自带屏蔽装置，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。

(2) 屏蔽工作箱

合成间内安装 3 台屏蔽工作箱,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。

(3) 初级产物输运管路防护

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)传送到合成间内,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。

(4) 其他防护用品

其他防护用品包括药物分装通风橱、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,具体防护量见下表

表 10-3 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	通风橱(手动分装装置)	注射间	1 个	40mmPb
2	脚踏式铅桶	注射间	1 个	10mmPb
3	铅衰变箱	污物间	1 个	10mmPb
4	注射器防护提盒	注射室	1 个	10mmPb
5	注射器防护套	注射间	2 个	5mmPb (2ml、5ml 各 1 个)
6	药物转运防护罐	注射间	1 个	50mmPb
7	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

4、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）视频监控装置

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。

5、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门外醒目位置设置固定的电离辐射警告标志和工作状态指示灯箱，出束时，出入门外指示灯箱应醒目显示“禁止入内”。更衣淋浴间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。

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、合成间、高活间/注射间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。

2.2 注射检查区

1、工程屏蔽措施

本项目注射检查区辐射防护屏蔽设计参数表见表 10-4。

表 10-4 注射检查区工程屏蔽设计参数

名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
PET/CT 机房	四面墙体	30cm 混凝土
	顶板	30cm 厚混凝土
	受检者防护门	5mm 铅板
	工作人员防护门	10mm 铅板
	观察窗	10mmPb 当量铅玻璃
候诊室（3 间）	四面墙体	与废水衰变间共有墙体为 30cm 混凝土，3#候诊室北墙为 37cm 实心砖墙，其余为 24cm 实心砖
	顶板	30cm 混凝土
	防护门	3mm 铅板
留观室（1 间）	东北侧墙体	既有 25cm 混凝土
	西北、东南、西南侧墙	24cm 页岩实心砖
	屋顶	30cm 混凝土
	防护门	3mm 铅当量门
抢救室（1 间）	东北侧墙体	既有 25cm 混凝土
	西北侧墙体	37cm 页岩实心砖
	东南、西南侧墙	24cm 页岩实心砖
	屋顶	30cm 混凝土
	防护门	3mm 铅当量门
患者通道	两侧墙体	与储油间和柴油发电机房间隔墙体为原 20cm 混凝土 +2mmPb 当量硫酸钡、与候诊办公区隔墙采用 37cm 实心砖墙、与 PET/CT 机房间隔墙体为 30cm 混凝土、其余墙体为 24cm 实心砖墙
	屋顶	30cm 混凝土
	出入口防护门	20mm 铅门
废水衰变间	东北、西南、西北面墙	30cm 混凝土
	东南侧墙	既有 25cm 混凝土+泥土层
	防护门	10mm 铅当量门

2、辐射安全措施

PET/CT机房防护门上方安装工作状态指示灯，设置门灯联锁装置，机房与控制室之间拟设置对讲装置与监视器。

3、防护设备与防护用品

注射检查区防护设备与防护用品设置情况详见表 10-5。

表 10-5 注射检查区防护设备及防护用品设置情况表

序号	种类名称	设置场所	数量	规格
1	移动铅屏风	PET/CT 机房	1 件	10mmPb
2	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	控制间	2 套	0.5mmPb
3	脚踏式铅桶	注射候诊室	5 件	10mmPb

4、其他

(1) PET-CT 机房防护门上方安装工作状态指示灯，设置门灯联锁装置，机房与控制室之间拟设置对讲装置与监视器。

(2) 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。

(3) 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。在控制间配备个人剂量报警仪 1 台，进入PET-CT机房需佩戴。

5、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。

6、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，通过手动分装装置将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操作台污染。通风橱底部设有 10mmPb 废物铅桶，用于暂时收集放射性废物。

^{18}F 放射性药物的注射是在 ^{18}F 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，注射操作台拟采用 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 病人注射后进入候诊室等候。

7、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，陪护人员不允许在注射后候诊室内驻留，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，留观无恙后方可由注射检查区北侧单向门禁离开。本项目设有 3 个候诊室，每个候诊室容纳 1 名病人；设有 1 个留观室和 1 个抢救室（兼做留观室），每个留观室容纳 1 人。本项目每日工作 8h，预计每天诊断 10 人，候诊时间约 40min，扫描时间约 15min，留观时间 10~15min。

2.3 管道穿越段辐射防护

（1）既有管道穿越墙体辐射防护

经调查，拟建 PET/CT 中心位于门诊楼地下一层，其上方已建有消防水管、下水管、空调风管等。由于既有通排风管道不能迁移，为确保辐射屏蔽效果，施工时应应对上述管道穿越本项目工作场所墙体段进行特殊防护施工，具体见下表

表 10-6 既有管道穿越辐射工作场所段辐射防护施工要求

辐射工作场所名称	辐射防护施工要求
回旋加速器机房	采用 2cm 铅+25cm 聚乙烯包裹（聚乙烯在外圈），包裹长度不低于既有排风管 2 倍直径。
合成间、高活注射间、废物衰变间、废水衰变间、PET-CT 机房	采用 10mm 铅包裹，包裹长度不低于既有排风管 2 倍直径。
候诊室、留观室、抢救室	采用 10mm 铅包裹，包裹长度不低于既有排风管 2 倍直径。

（2）本项目配套电缆、通排风管道辐射防护

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。合成间、高活注射间、废物衰变

间、废水衰变间、PET-CT 机房、候诊室、留观室、抢救室的通排风管道采用 10mm 铅包裹，包裹长度不低于既有排风管直径。

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 10-7。

表 10-7 辐射工作场所安防措施一览表

场所类别	措施类别	对应措施
非密封放射性物质工作场所	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 中心进行封闭管理，并设有门禁系统，非相关人员不能直接进入内。 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。
	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《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）中的 I、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。
射线装置	防盗、防抢和防破坏	①本项目射线装置机房纳入医院日常安保巡逻的重点工作范围，加强巡视管理以防遭到破坏； ②工作场均设置有红外线监控射线头实行 24h 实时监控； ③射线装置安排有专人进行管理和维护，并进行台账记录，一旦发生盗抢事件，立即关闭设备和防护门，并立即向公安机关报案； ④射线装置机房和邻近房间不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品等物品
	防泄漏	本项目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，机房是不存在辐射泄漏的情况，根据辐射影响分析，机房屏蔽体外 30cm 处剂量率能满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 标准要求

三废的治理

一、放射性废物

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，合成间、高活间/注射间产生的含 ^{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，引至楼顶排放，风量约 $1500\text{m}^3/\text{h}$ 。

（2）含 ^{18}F 废气

合成间设置1套排风系统，针对3套屏蔽手套箱和后区，收集的废气引至住院楼楼顶经高效排风过滤器+活性炭吸附装置处理后由33m高（对地高度，下同）排气筒排放，风量约2700m³/h。过滤器主要是用于去除含¹⁸F放射性气溶胶颗粒，过滤效率不低于99%。

高活间/注射间共配置两套通风橱，设计风量为200m³/h，设计负压为50Pa，通风橱内风速不小于1m/s，废气经配套的专用排风管道排入放射性废气排风系统，与合成间放射性废气一并经两级过滤装置处理后排放。

项目投运后每天打靶一次，产生¹⁸F离子800mCi，其中480mCi制成药物，30min合成分装阶段衰变约138mCi，则约182mCi形成放射性固废或废气。偏保守估算，182mCi¹⁸F离子全部形成放射性废气。项目拟在住院楼楼顶设置高效排风过滤器+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1.82mCi（6.73×10⁷Bq）。

环评要求：每半年对过滤器进行一次更换，以防止过滤器失效而造成放射性污染事故，且更换下的过滤器需作为放射性固废进行管理。

2、放射性废水

（1）废水源项

①回旋加速器机房冷却废水

内循环冷却水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

其他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使用水。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每次 1 次入厕，每次产生废水量约 10L。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，则放射性废水产生量为 50m³/a。

（2）治理措施

建设单位拟在废水衰变间内修建 3 个并联放射性废水衰变池，放射性废水衰变池容积3×5m³。放射性废水衰变池区域按照重点防渗（等效黏土防渗层 Mb≥6.0m，k≤1×10⁻⁷cm/s）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。

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 10 个半衰期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。同时为保障该衰变池的长效可靠运行还需采取如下管理措施：

①放射性废水衰变池设有废水取样口和检修口，首次排放前应委托有资质单位对放射性废水进行监测，监测结果符合排放标准（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；依据首次排放水样监测数据定制排水计划，之后按照排水计划排放。

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为防止衰变池过满溢出，要求在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取样监测。

(3) 衰变池容量可行性分析

放射性废水每年产生 50m³/a，平均每天产生 0.2m³（按 250 天计），按单个衰变池有效使用容量为 5m³ 计，则注满一池需要 35 个工作日（25 天）。本项目设置有 3 个并联衰变池，¹⁸F 的半衰期为 109.8min，放射性废水在衰变池衰变完全可以满足放射性废水在衰变池贮存 10 个半衰期（18h）以上的要求，经衰变池后废水中总 β 浓度远小于 10Bq/L。

表 10-8 衰变池放射性核素的相关参数一览表

核素名称	每日排入衰变池核素量 (Bq)	核素半衰期	注满一池核素量 (Bq)	排放时存放时间	衰变后核素排放量 (Bq)	排放废水中核素浓度 (Bq/L)
¹⁸ F	5.92×10 ⁹	109.8min	1.48×10 ¹¹	35 天	<0.01	<0.01

注：¹⁸F核素检查的患者需要候诊、扫描等操作，在给药后候诊区停留时间较长且需要上厕所，保守按核素使用量的 20%排入衰变池考虑。

3、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，更换下来的靶膜采用铅屏蔽箱（5cm 厚铅，10L）收集并暂存在回旋加速器机房内，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。

合成间产生的放射性固废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、废滤膜和过滤柱等产生量约5kg/a，在屏

蔽箱内用玻璃瓶或塑料箱收集并暂存3天，之后暂存于废物衰变间放射性衰变箱（10mm铅当量）内；一次性手套产生量约1kg/月，采用塑料桶收集并暂存于废物衰变间。

高活间/注射间将产生注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料等，产生量约50kg/a，设置1个10L的脚踏式铅桶（10mm铅当量）收集上述放射性固体废物，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，之后暂存于废物衰变间放射性衰变箱（10mm铅当量）内。

根据医院提供的资料，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。项目拟在每个候诊室、留观室设置1个10L的脚踏式铅桶（10mm铅当量）收集上述放射性固体废物，之后暂存于废物衰变间放射性衰变箱（10mm铅当量）内。

上述含 ^{18}F 放射性固废经长时间静置衰变至解控水平后按照医疗废物交由有资质单位进行处置。

此外PET-CT涉及的密封型校准源 ^{68}Ge 置于铅罐中，暂存于储源库，定期由供源厂家回收。

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；②存放废物的容器必须安全可靠，并在铅废物桶的显著位置处标有废物类型、核素种类、比活度范围和存放的日期等说明；③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令 第 612 号）的相关规定。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 10-9

表 10-9 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	门诊楼地下一层设备用房（回旋加速器机房南侧）	1 台	65dB(A)	采用低噪设备	50dB(A)
排风系统风机	住院楼楼顶	2 台	65dB(A)	采用低噪设备、基础减振	60dB(A)
真空泵	门诊楼地下一层设备用房（回旋加速器机房南侧）	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（东南侧）距离为 30m 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 $0.88\text{m}^3/\text{d}$ ($220\text{m}^3/\text{a}$)，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，再经白沙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。

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，废气引至住院楼楼顶排放。

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 11 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 1.4t/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200万元，占总投资的6.25%。本项目环保投资估算见表10-10。

表10-10 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+25cm 聚乙烯，合成间、高活间/注射间、废物间、PET/CT 机房、候诊室、留观室、废物衰变间、废水衰变间、注射检查区患者通道等区域设置 2-10mm 铅当量的防护铅门	16 扇	40	/
	合成间内安装 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 10mm 铅当量玻璃窗、注射间设置 20mm 铅当量玻璃窗。	2 套	3	
	注射室带通风效果的通风橱（40mm 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、药物转运防护罐（50mmPb）1 个	/	5	/
	PET/CT 机房内配置移动铅屏风（10mmPb）1 件	1 件	0.5	
	穿越墙体管道辐射防护	/	10	
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 22 个、个人剂量报警仪 3 台。	/	15	/
个人 防护	辐射工作人员铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜（均为 0.5mm 铅当量）	4 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 $3\times 5\text{m}^3$ ）	1 座	60	/
	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	拟在每个候诊室、留观室设置 1 个 10L 的脚踏式铅桶（10mm 铅当量），高活间/注射间设置 1 个 10L 的脚踏式铅桶（10mm 铅当量）、废物衰变间设置放射性衰变箱（10mm 铅当量）1 个	7 个	3.0	/
	放射性固废暂存间	1 间	/	纳入主体工程范围
放射性 废气 治理	合成间设置 1 套排风系统，针对 3 套屏蔽手套箱和后区，收集的废气引至楼顶经高效排风过滤器+活性炭吸附装置处置后由 20m 高（对地高度，下同）排气筒排放，风量约 $2700\text{m}^3/\text{h}$ 。过滤器主要是用于去除含 ^{18}F 放射性气溶胶颗粒，过滤效率不低于 99%。	1 套	12	/
	高活间/注射间共配置两套通风橱，设计风量为 $200\text{m}^3/\text{h}$ ，设计负压为 50Pa，通风橱内风速不小于 1m/s，废气经配套的专用排风管道排入放射性废气排风系统，与合成间放射性废气一并经两级过滤装置处理后排放。	1 套	2.7	/
安全 及应 急装	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	1 套	2.0	

置	光报警系统、视频监控装置等			
	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		/	200	/

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工作场所屏蔽墙体、防护门和观察窗屏蔽效果巡测和表面污染检测。**评价要求：**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

环评要求设备的安装、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。

环评要求：①射线装置的安装调试的技术服务单位必须是持有辐射安全许可证的单位。②在设备安装及调试阶段，应加强辐射防护管理，保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时各机房必须上锁并派人看守。设备安装调试阶段，不允许其它无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。

运营期环境影响分析

一、辐射环境影响分析

1、回旋加速器机房辐射影响分析

（1）中子所致剂量

经分析，回旋加速器机房运行期间辐射工作人员受中子照剂量最大值出现在机房西北侧办公室，为 $8.24\text{E-}02\text{mSv/a}$ ；公众受中子照剂量最大值出现在机房西南侧介入治疗办公区，为 $2.29\text{E-}02\text{mSv/a}$ 。

（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) 剂量叠加分析

综合估算回旋加速器机房运行期间职业人员和公众年有效剂量, 详见下表。

表 11-1 回旋加速器机房所致职业人员和公众最大值剂量预测结果

单位: mSv/a

过程		打靶制药	维护	合计
人员类别				
职业人员	手部	0	0.13	0.13
	身体	0.0824	0.01	0.0924
公众		0.0229	0	0.0229

由上分析可知, 回旋加速器机房运行期间辐射工作人员身体受照剂量最大值为 $9.24\text{E-}02\text{mSv/a}$; 手部所受剂量为 0.13mSv , 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 、手部 500mSv/a)和本报告执行的剂量约束值(职业人员身体 5mSv/a 、手部 125mSv/a)。公众受照剂量最大值为 $2.29\text{E-}02\text{mSv/a}$, 满足《电离辐射防护与放射源安全基本标准》(GB18871-2002)要求的剂量限值(1mSv/a)和本报告执行的剂量约束值(0.1mSv/a)。

2 合成间辐射环境影响分析

经计算, 药物合成期间工作人员受照剂量最大值为 $8.93 \times 10^{-5}\text{mSv/a}$, 低于剂量约束值 5mSv/a ; 公众受照剂量最大值为 $2.50 \times 10^{-3}\text{mSv/a}$, 低于剂量约束值 0.1mSv/a 。

2.2 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间中, 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 0.8Ci , 管道每米附着 1% 液体考虑, 依据公式11-13计算距离管道 1m 处剂量率为 $8.69 \times 10^{-5}\text{mSv/h}$, 可忽略不计。

3 其他工作场所周围辐射水平估算

3.1 工作场所辐射水平预测

保守计算，不考虑病人在候诊过程的药物衰减。经理论计算，辐射工作场所辐射剂量率计算结果见表 11-2。

表 11-2 辐射工作场所辐射剂量率计算结果

点位	关注点位置	受照者类型	源强 (MBq)	与源的距离 (m)	屏蔽材料及厚度	关注点辐射水平 ($\mu\text{Gy/h}$)
1#	注射间分装取药位	职业照射	17800	0.5	50mmPb铅罐 +40mmPb通风厨 +0.5mmPb铅衣	1.39×10^{-1}
		职业照射	370	0.5	10mmPb防护提盒 +5mm注射器防护套 +0.5mmPb铅衣	31.1
2#	注射间注射位	职业照射	370	0.5	0.5mmPb铅衣+5mm 注射器防护 +20mmPb注射窗	31.1
3#	注射间楼上 30cm 处	公众照射	370	4.3	5mm注射器防护 +20cm混凝土	1.77E-01
4#	高活间质检位	职业照射	1.92	0.3	0.5mmPb当量硫酸钡 防护涂料	2.87
5#	1#候诊室楼上 30cm处	公众照射	370	4.3	30cm混凝土	1.11E-01
6#	2#候诊室楼上 30cm处	公众照射	370	4.3	30cm混凝土	1.11E-01
7#	3#候诊室楼上 30cm处	公众照射	370	4.3	30cm混凝土	1.11E-01
8#	3#候诊室东北侧 墙外 30cm 处	公众照射	370	1.5	37cm 实心砖	1.86
9#	注射检查区北侧 防护门外	公众照射	370	1.5	20mmPb 门	1.98
10#	柴油发电机房 (注射检查区过 道北侧墙外 30cm 处)	公众照射	370	1.5	20 cm 混凝土 +2mmPb 当量硫酸 钡	2.10
11#	储油间 (留观室 北侧墙外 30cm 处)	公众照射	370	1.5	25cm 混凝土	1.57
12#	留观室楼上 30cm 处	公众照射	370	4.3	30cm混凝土	1.11E-01
13#	抢救室楼上 30cm 处	公众照射	370	4.3	30cm混凝土	1.11E-01

14#	抢救室西北侧墙 外 30cm 处	公众 照射	370	1.5	37cm 实心砖	1.86
15#	注射检查区西侧 防护门外	公众 照射	370	1.5	20mmPb 门	1.98
16#	诊断室（注射检 查区过道西侧墙 外 30cm 处）	职业 照射	370	1.5	37cm 实心砖	1.86
17#	PET/CT 机房西 北侧墙外 30cm 处	职业 照射	370	3.0	30cm 混凝土	0.23
18#	PET/CT 机房西 南侧控制间工作 人员防护门外 30cm 处	职业 照射	370	3.1	10mmPb 门	1.6
19#	PET/CT 机房西 南侧控制间观察 窗外 30cm 处	职业 照射	370	3.1	10mmPb 观察窗	1.6
20#	控制间（PET/CT 机房西南侧墙外 30cm 处）	职业 照射	370	3.1	30cm 混凝土	0.21

从表 11-2 可以看出，注射检查区各工作场所监督区墙体外 30cm 处辐射剂量率均小于 2.5 μ Gy/h，屏蔽设计满足要求。

实际病人在注射后候诊室等待过程中，因 ^{18}F 的半衰期较短，由于衰变的作用病人体内核素的活度不断减少，因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

3.2 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，离开医院经 8h 后距离患者 1m 处的剂量率降至 1.7 μ Gy/h，因此医院应对患者离院做出书面指导，短期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。

3.3 保护目标所受剂量评价

注射检查区拟设置4名放射工作人员，具体工作岗位设置如下：取药、分装和注射工作人员2人，控制间和摆位操作工作人员2人。

PET/CT： ^{18}F ，最大检查 10 人次/天，2500 人次/年，每人使用的核素平均活度为 370MBq(10mCi)。

根据上述估算的瞬时剂量率，以及医院提供的资料，在严格按照设计提供的屏蔽防护方案建设后，辐射工作人员和周边公众年有效剂量计算结果如下：

①取药环节所致年有效剂量

根据以上估算，分装取药过程工作人员通风橱前受照剂量为 $1.39 \times 10^{-1} \mu\text{Gy/h}$ ，取药走向注射台过程受照剂量 ^{18}F 为 $31.1 \mu\text{Gy/h}$ 。

^{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。分装取药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，则分装取药环节所致年有效剂量为 0.11mSv。

②注射环节所致年有效剂量

根据以上估算， ^{18}F 注射过程工作人员受照剂量为 $9.01 \mu\text{Gy/h}$ ，一次注射过程的时间按照 30s 考虑。 ^{18}F 按 2500 人次/年，注射过程年受照的总时间为 20.8h，居留因子 T 取 1，使用因子 U 取 1，则 ^{18}F 注射环节所致年有效剂量为 0.65mSv。

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+10mm 铅屏风，身体受照剂量为 $14.4 \mu\text{Gy/h}$ ，摆位人员在机房内指导受检者正确姿势，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。 ^{18}F 按 2500 人次/年，摆位过程年受照的总时间为 41.7h，居留因子 T 取 1，使用因子 U 取 1，则 ^{18}F 摆位环节所致年有效剂量为 0.6mSv。

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 $1.6 \mu\text{Gy/h}$ ， ^{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 1.0mSv。

综上，本项目配置有 4 人，分 2 组，轮班上岗，则各岗位工作人员年受照剂量预测结果如表 11-3 所示。

表 11-3 PET/CT 工作场所保护人员年受照剂量预测结果表

岗位	年总有效剂量（mSv）
分装	0.11
注射	0.65
摆位	0.60
阅片	1.00

考虑最不利情况，2 组人员可能存在连续上岗的情况，根据计算结果，即全部由 1 组人

员全部完成，个人年有效剂量为 2.36mSv/a，低于剂量约束值 5mSv/a。

⑤公众人员所受剂量

本工作场所所致公众人员最大年有效剂量为 7.75E-02mSv。由于随着距离增加，公众受照剂量将不断减少，因此本项目边界外 50m 范围内其他公众年有效剂量也能满足低于 0.1mSv 的剂量约束值要求，对评价范围内环境保护目标影响较小，对周围辐射环境影响是可以接受的。

3.4 PET/CT 机房 X 射线影响

PET/CT 扫描间设计使用面积、屏蔽材料与评价一览表如表 11-4 所示。

表 11-4 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	42.3m ² (8.4m×5.2m)	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	四周墙体：30cm 混凝土 (3.6 mmPb)	不小于 2.5mm 厚铅当量	符合
				顶棚：30cm 混凝土 (3.6 mmPb)		符合
				防护门：10mm 铅板		符合
				观察窗：10mmPb 当量铅玻璃		符合

由表 11-4 可知，本次项目 PET/CT 扫描间机房有效使用面积、单边长度及机房的屏蔽防护铅当量厚度均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2019）相关要求。

4 放射性废气影响分析

经分析，含 ¹⁸F 废气最大落地浓度为 7.12×10⁻²Bq/m³，低于根据《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WST613-2018）推导出的限值 219Bq/m³。正常运行工况下项目排放的含 ¹⁸F 废气所致 5km 范围内公众有效剂量范围为 6.32×10⁻⁷~2.39×10⁻⁵mSv/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（1mSv/a）和本报告执行的剂量约束值（0.1mSv/a）。

5、放射性废水影响分析

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。

其余放射性废水产生量约0.2m³/d，项目拟在PET/CT中心东北角设置废水衰变间，通过独立的管道收集来自工作场所的放射性废水，引入衰变池（3×5m³）进行衰变处理。根据

第10章关于衰变池容量可行性分析可知，衰变池最多可储存35天内产生的放射性废水， ^{18}F 的半衰期为109.8min，为保证废水满足排放要求，则至少需要在衰变池储存10个半衰期以上。因此医院应根据首次监测数据，结合废水在衰变池中的储存周期（35天），制定1月一次的排水计划，按照计划定期将废水排放至医院医疗废水处理站进一步处理后纳入市政管网。每次排放应做好废水排放台账，并存档保存。

上述放射性废水排放至废水衰变间，衰变10个以上半衰期后放射性废水浓度可以满足总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ，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。

6、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废过滤器芯；⑤非常规质检固废；⑤废 ^{68}Ge 放射源；⑤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11-5 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的铅箱内，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废物间，暂存至解控水平后作为医疗固废处置。
4	非常规质检固废	阳性对照和无菌监测	10kg/a	采用铅箱（10mm厚铅）暂存至废物间，暂存至解控水平后作为医疗固废处置。
5	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）暂存至废物间，暂存至解控水平后作为医疗固废处置。
6	生活垃圾	住院病人	125kg/a	采用铅箱（10mm厚铅）暂存至废物间，暂存至解控水平后作为医疗固废处置。
7	废活性炭	废气处理	50kg/a	采用铅箱（10mm厚铅）暂存至废物间，暂存至解控水平后作为医疗固废处置。
8	废放射源	PET-CT机房	/	由生产厂家回收

除废靶膜和废 ^{68}Ge 放射源外，其余放射性固废主要污染核素为 ^{18}F 。因 ^{18}F 半衰期较短（110min），采用放置1~3天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，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。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，废气排风系统引至住院楼楼顶排放，影响较小。

2、地表水环境影响分析

项目生活污水排放量为 $0.88\text{m}^3/\text{d}$ ($220\text{m}^3/\text{a}$)，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，再经白沙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 70dB(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 35.5dB(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 60dB(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 11 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 1.4t/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，退役场所验收合格后方可用于其他用途。

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 11-6。

表 11-6 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

二、风险识别

1、回旋加速器运行期间误照射：设备工程师在维修或调试过程中，加速器自屏蔽体未关闭或关闭不严就启动装置时受到误照射。

2、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， ^{18}F 离子可能扩散至整个回旋加速器机房，然后通过住院楼楼顶排气筒扩散至周围大气环境中。

3、放射性药物丢失或被盗，导致周边公众受到照射。

三、事故情况下的环境影响分析

1、回旋加速器运行期间误照射

维修期间工作人员携带有剂量报警仪且回旋加速器顶部设有声光报警仪，从报警至关闭加速器使离子源停止工作需时按 30 秒计，维修人员距离靶 0.5m。

采用公式 11-7 计算，可得出误照事故情景下的照射 0.89Gy/次，属于较大辐射事故。

2、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，

^{18}F 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 $0.8\text{Ci}^{18}\text{F}$ 离子全部泄漏并由排气筒扩散至周边大气环境。

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 60m 处公众吸入剂量达到最大值，为 $3.15 \times 10^{-5} \text{mSv}$ ，低于事故剂量限值为 1mSv 。

3、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 17760MBq ；

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 11-7。

表 11-7 ^{18}F 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	2.43E-01	3.57E-01	4.89E-01	5.80E-01
0.2	6.08E-02	8.93E-02	1.22E-01	1.45E-01
0.5	9.72E-03	1.43E-02	1.96E-02	2.32E-02
1.0	2.43E-03	3.57E-03	4.89E-03	5.80E-03

(3) 事故后果

由表 11-24 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 0.243Gy、0.357Gy、0.489Gy、0.58Gy。结合表 11-20 可知，事故持续时间达到 8h 时，急性放射病发病率仍在 1%之下，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。

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

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。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。

环评要求：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、辐射安全管理规则制度

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分装操作规程
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	/
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》、《辐射工作场所和环境辐射水平监测方案》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 363 名，其中 187 人取得了辐射安全与防护培训合格证书。环评要求：①尚未获证人员须及时登录 <http://fushe.mee.gov.cn> 进行上岗培训、考试合格并持证上岗；②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；③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。

环评要求：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。

评价要求：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，确定台账的管理人员和职责，建立台账的交接制度。

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。

环评要求：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”、“射线装置台账”、“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。

环评要求：①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；②医院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。

环评要求：①年度自查评估若发现安全隐患的，应当立即整改；②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。

环评要求：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。环评要求：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；年度检测报告应作为《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，监测周期至少 1 次/月。

（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	回旋加速器机房东北、西北、西南墙外 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
其他辐射工作场所	X- γ 辐射剂量率	辐射工作场所内： PET-CT 扫描间内医生摆位处、注射间、注射后候诊区、污物桶表面等。	1 次/月	1 次/年
		辐射工作场所外： 控制室、观察窗铅玻璃处、防护门处、四面墙体外、顶上等处。		
	β 表面放射性污染	工作台、注射窗、注射间通风橱外表面	每次核素操作结束	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监测范围：控制区和监督区域及周围环境

④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 10 个半衰期后，在首次排放前应进行监测，再确保首次出水中放射性总活度不超过《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）规定的限值（总 β 小于 10Bq/L）后，制定合理的排水计划，按照计划定期将废水排放至医院废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，应能够及时反映屏蔽设施的防护效能和放射废物排放达标情况。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。

环评要求：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：新增医用射线装置建设项目

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 号妇女儿童院区门诊楼负一楼

建设性质：新建

建设内容及规模：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 号妇女儿童院区门诊楼（已建，地下一层、地上五层）地下一层建设 PET/CT 中心，购置 PET 医用回旋加速器（II 类射线装置）和 PET/CT 机（III 类射线装置）各 1 台，生产并使用 ^{18}F 进行显像诊断，系乙级非密封放射性物质工作场所。

拟用射线装置和放射性同位素如下：①1 台 11MV 医用回旋加速器（质子束能量为 11MeV，束流强度为 $90\mu\text{A}$ ），属 II 类射线装置；②PET-CT 系统 1 套（额定管电压 140kV、额定管电流 833mA），属 III 类射线装置；③乙级非密封源工作场所使用显像剂 ^{18}F -FDG， ^{18}F 日最大操作量 $2.96 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $2.96 \times 10^9\text{Bq}$ ；④PET/CT 机房新增 ^{68}Ge 放射源 1 枚，活度为 $7.4 \times 10^7\text{Bq}$ ，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

本项目所在门诊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：项目所在地及周围的 X- γ 辐射剂量率处于当地天然本底水平涨落范围内。拟建建场环境 β 表面污染检测结果在 0.19~0.21 Bq/cm² 之间，远低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 B11 给出的工作场所放射性表面污染控制水平 0.04Bq/m²（400 Bq/cm²），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 10 个半衰期后，首次监测达标后，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、射线装置申请活动的种类和范围

表 13-1 申请活动的种类和范围

新增射线装置							
装置名称		射线装置类别	射线装置数量	活动种类	工作场所名称		备注
PET 医用回旋加速器		II 类	1 台	使用	妇女儿童院区门诊楼地下一层 PET/CT 中心回旋加速器机房		新增
PET/CT 机		III类	1 台	使用	妇女儿童院区门诊楼地下一层 PET/CT 中心 PET/CT 机房		新增
新增非密封放射性物质							
核素名称	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	场所级别	操作方式及用途	使用场所	贮存方式及地点
¹⁸ F	生产使用	2.96×10 ¹⁰	2.96×10 ⁹	乙级	静脉注射、显象	妇女儿童院区门诊楼地下一层 PET/CT 中心	日产日用不存储
新增密封放射源							
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 Ge	7.4×10 ⁷ Bq×1 枚	V	使用	校准源	妇女儿童院区门诊楼地下一层 PET/CT 机房	存放在专用铅容器中，置于 PET-CT 机房内，PET-CT 校准时取出使用	

10、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。

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。