

编号：ZFHK-FB21220089

核技术利用建设项目

江油市人民医院

新增核医学科建设项目

环境影响报告表

(公示稿)

江油市人民医院

2021年8月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

江油市人民医院
新增核医学科建设项目
环境影响报告表

建设单位名称：江油市人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：江油市中坝镇纪念碑街中段 30 号

邮政编码：621799

联系人：施淋巍

电子邮箱：583018900@qq.com 联系电话：18283616826

目录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	14
表 3 非密封放射性物质	14
表 4 射线装置	15
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	16
表 6 评价依据	17
表 7 保护目标与评价标准	19
表 8 环境质量和辐射现状	22
表 9 项目工程与源项分析	27
表 10 辐射安全与防护	35
表 11 环境影响分析.....	51
表 12 辐射安全管理	74
表 13 结论与建议	84
表 14 审批	91

表 1 项目基本情况

建设项目名称		江油市人民医院新增核医学科建设项目			
建设单位		江油市人民医院 (统一社会信用代码: 12510681451258051K)			
法人代表	王志	联系人	施淋巍	联系电话	18283616826
注册地址		江油市中坝镇纪念碑街中段 30 号			
项目建设地点		江油市中坝镇纪念碑街中段 30 号江油市人民医院外产科大楼负一层			
建设项目总投资 (万元)		3300	项目环保投资 (万元)	166	投资比例(环保投资/总投资) 5.03%
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		建筑面积(m ²)	/
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 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 type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input checked="" 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 type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类		
	其他	/			

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位情况

江油市人民医院（统一社会信用代码：12510681451258051K）始建于 1940 年 10 月的，坐落在素有“李白故里·诗歌之乡”之称的四川省江油市昌明河畔。医院依水而建，环境优美，交通便利。经过 80 年的发展建设，已成为一所集医疗、科研、教学、预防、保健、康复等为一体的国家三级甲等综合医院。医院占地面积 76 亩，建筑面积 8 万多平方米，开放床位 1130 张，年门诊量 90 万余人次，年住院病人达 4 万余人次，现有职工 1217 人。

近年来，门急诊、住院病人大幅度增加，医院服务用房严重不足，现开设的床位已经远远不能满足病人的救医需求，为进一步改善医院就医环境，医院拟投资 24756 万元，在现有用地范围内新建外产科大楼，总建筑面积 36520 平方米，其中地上建筑面积 32735 平方米，地下建筑面积 3785 平方米。主楼地上 15 层（含设备层），地下 1 层，

裙楼地上 4 层，新增床位数 497 张。医院已委托编制《江油市人民医院新建外产科大楼建设项目环境影响评价报告表》，批复号为：江环审批[2020]15 号（详见附件 2）。

医院于 2017 年 8 月 29 日取得了原四川省环境保护厅颁发的《辐射安全许可证》(川环辐证[00314])，有效期至 2022 年 8 月 28 日。许可的种类和范围：使用 II 类、III 类射线装置。

1.1.2 项目由来

为推动全市优质医疗资源共享，提高全市医疗服务能力，更好惠及全市人民群众，并提高医疗机构的医学影像诊断技术能力和服务水平，满足患者的诊疗需要。江油市人民医院拟在外产科大楼负一层建设核医学科，包括新增 1 台 PET/CT（最大电压 140kV，最大电流 1000mA，为 III 类射线装置），使用 ^{18}F 放射性核素用于显像诊断， ^{18}F 日等效操作量为 $5.18 \times 10^6 \text{Bq}$ ；新增 1 台 SPECT/CT（最大电压 140kV，最大电流 1000mA，为 III 类射线装置），使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性核素用于显像诊断， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 日等效操作量为 1.3875×10^7 。整个核医学科工作场所经计算日等效最大操作量为 $1.9055 \times 10^7 \text{Bq}$ ，为丙级非密封放射性物质工作场所。根据现场踏勘，外产科大楼现尚未建设。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目一乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）”，环境影响评价文件形式应为编制环境影响报告表，并在环评批复后及时向发证机关重新申领辐射安全许可证。

为保护环境，保障公众健康，江油市人民医院委托中辐环境科技有限公司对该项目进行辐射环境影响评价。评价单位在现场踏勘和收集有关资料的基础上，并结合项目特点，按照《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）等规定要求编制了本环评报告表，供生态环境审批部门审查。

1.2 项目概况

1.2.1 项目名称、性质、建设地点

项目名称：江油市人民医院新增核医学科建设项目；

建设单位：江油市人民医院；

建设性质：新建；

建设地点：江油市中坝镇纪念碑街中段 30 号江油市人民医院外产科大楼负一层。

1.2.2 项目建设内容与建设规模

江油市人民医院拟在外产科大楼负一层建设核医学工作场所。核医学科工作场所建

筑面积约为 310m²，核医学科新建 1 间 PET/CT 机房（有效面积约为 37.4m²，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 250mm 混凝土，工作人员防护门为 9mmPb、观察窗为 9mmPb、患者防护门为 9mmPb），1 间 SPECT/CT 机房（有效面积约为 38.0m²，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 250mm 混凝土，工作人员防护门为 4mmPb、观察窗为 4mmPb、患者防护门为 4mmPb），1 间分装注射室（有效面积约为 15.0m²，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，¹⁸F 通风橱为 50mmPb，^{99m}Tc 通风橱为 20mmPb，PET/CT 注射窗 40 mmPb，SPECT/CT 注射窗为 10mmPb，防护门为 4mmPb）、1 间储源室（有效面积约为 7.56m²，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，防护门为 4mmPb）、1 间废物间（有效面积约为 5.6m²，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，防护门为 4mmPb）、1 间卫生通过间（有效面积约为 9.2m²，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，防护门为 4mmPb）、1 间洁具室（有效面积约为 6.8m²，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，防护门为 4mmPb）、1 间运动负荷室（有效面积约为 10.4m²，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，防护门为 4mmPb）、1 间 PET/CT 候诊室（有效面积约为 11.4m²，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 300mm 混凝土，防护门为 9mmPb）、1 间 SPECT/CT 候诊室（有效面积约为 10.2m²，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 300mm 混凝土，防护门为 4mmPb）、1 间 PET/CT 留观室（有效面积约为 16.5m²，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，防护门为 5mmPb）、1 间 SPECT/CT 留观室兼抢救室（有效面积约为 15.8m²，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，防护门为 4mmPb）、患者通道（防护门为 8mmPb，并设置单向出入门禁）以及控制廊、设备间、库房、医生办公室、阅片室、留置针室、问诊室、注射前等候区、衰变池等配套房间。

本项目核医学科的建设内容不涉及放射性核素 ¹⁸F 和 ^{99m}Tc 生产，放射性核素均由专业单位进行供药和运输。放射性核素 ¹⁸F 和 ^{99m}Tc 由医院分装注射室核素操作人员在通风橱内使用自动分装仪自动分装，并在通风橱内经活度计测活后即可注射。

本项目 SPECT/CT 机房拟新增 1 台 SPECT/CT，型号待定，其最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA，属 III 类射线装置。SPECT/CT 使用放射性核素 ^{99m}Tc 用于显像诊断，单人最大用量为 9.25×10⁸Bq（25mCi），日最大诊疗人数为 15 人，年工作 250 天，则 ^{99m}Tc 日实际最大操作量为 1.3875×10¹⁰Bq，日等效最大操作量为 1.3875×10⁷Bq。

本项目 PET/CT 机房拟新增 1 台 PET/CT，型号待定，其最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA，属 III 类射线装置（PET/CT 配备校准源由于其数量和具体活度未定，

由建设单位另行办理环境影响登记备案手续，不作为本报告评价对象)。PET/CT 使用放射性核素 ^{18}F 用于显像诊断，单人最大用量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，日最大诊疗人数为 10 人，年工作 250 天。考虑到 ^{18}F 半衰期较短，为保证每批次最后一位患者注射 ^{18}F 药物量为 10mCi，拟采取增加放射性药物出厂活度的方式确保活度满足使用要求，即要考虑放射性药物的使用量和备用量。本项目拟暂定一天送一次药（送药时间为早上开展核医学科诊疗工作前，无病人时进行），因此按照 ^{18}F 放射性药物使用量的 4 倍进行备药，考虑备药量后，则 ^{18}F 日实际最大操作量为 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ ，备药量为 $1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$ ， ^{18}F 日等效最大操作量为 $5.18 \times 10^6 \text{Bq}$ 。整个核医学科工作场所经计算日等效最大操作量为 $1.9055 \times 10^7 \text{Bq}$ ，为丙级非密封放射性物质工作场所。

项目总投资 3300 万元，其中环保投资 166 万元，约占总投资的 5.03%。本项目主要组成内容及可能产生的环境问题见表 1-1。

表 1-1 项目组成及主要的环境问题表

名称	建设内容及规模	可能产生的环境问题	
		施工期	运营期
主体工程	<p>江油市人民医院拟在外产科大楼负一层建设核医学工作场所。核医学科工作场所建筑面积约为 310m^2，核医学科新建 1 间 PET/CT 机房（有效面积约为 37.4m^2，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 250mm 混凝土，工作人员防护门为 9mmPb、观察窗为 9mmPb、患者防护门为 9mmPb），1 间 SPECT/CT 机房（有效面积约为 38.0m^2，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 250mm 混凝土，工作人员防护门为 4mmPb、观察窗为 4mmPb、患者防护门为 4mmPb），1 间分装注射室（有效面积约为 15.0m^2，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，^{18}F 通风橱为 50mmPb，$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 通风橱为 20mmPb，PET/CT 注射窗 40 mmPb，SPECT/CT 注射窗为 10mmPb，防护门为 4mmPb）、1 间储源室（有效面积约为 7.56m^2，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，防护门为 4mmPb）、1 间废物间（有效面积约为 5.6m^2，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，防护门为 4mmPb）、1 间卫生通过间（有效面积约为 9.2m^2，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，防护门为 4mmPb）、1 间洁具室（有效面积约为 6.8m^2，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，防护门为 4mmPb）、1 间运动负荷室（有效面积约为 10.4m^2，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，防护门为 4mmPb）、1 间 PET/CT 候诊室（有效面积约为 11.4m^2，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 300mm 混凝土，防护门为 9mmPb）、1 间 SPECT/CT 候诊室（有效面积约为 10.2m^2，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 300mm 混凝土，防护门为 4mmPb）、1 间 PET/CT 留观室（有效面积约为 16.5m^2，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，防护门为 5mmPb）、1 间 SPECT/CT 留观室兼抢救室（有效面积约为 15.8m^2，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，防护门为 4mmPb）、患者通道（防护门为 8mmPb，并设置单向出入门禁）以及控制廊、设备间、医生办公室、阅片室、缓冲</p>	扬尘、建筑垃圾、噪声、废水、装修废气、生活垃圾、设备包装固废及射线装置安装调试阶段产生 X 射线等	X 射线、 γ 射线、放射性废水、放射性固废、放射性废气、 β 表面污染

	<p>间、留置针室、问诊室、注射前等候区等配套房间。</p> <p>PET/CT 机房拟新增 1 台 PET/CT, 型号待定, 其最大管电压 140kV, 最大管电流 1000mA, 属Ⅲ类射线装置; SPECT/CT 机房拟新增 1 台 SPECT/CT, 型号待定, 其最大管电压 140kV, 最大管电流 1000mA, 属Ⅲ类射线装置; 本项目使用 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性同位素用于显像诊断, ^{18}F 日等效操作量为 $5.18 \times 10^6 \text{Bq}$, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 日等效操作量为 1.3875×10^7, 整个核医学科工作场所经计算日等效最大操作量为 $1.9055 \times 10^7 \text{Bq}$, 为丙级非密封放射性物质工作场所。</p>		
辅助工程	控制廊、设备间、医生办公室、阅片室、留置针室、问诊室、注射前等候区、衰变池等辅助工作场所。		
环保设施	<p>固废处理设施: 本项目产生的放射性废物暂存于废物间, 经衰变 10 个半衰期以上后达到清洁解控水平, 作为医疗废物处理。医疗废物采用专门的收集容器收集后, 转移至医院现有医疗废物暂存间。配备放射性废物桶: 20mmPb 当量, 3 个; 5mmPb 当量, 3 个。放射性废物衰变箱: 30mmPb 当量, 2 个。本项目工作人员产生的生活垃圾集中收集后交由环卫部门统一清运。更换的活性炭应暂存于废物间衰变 10 个半衰期后按一般医疗固废进行处置。</p> <p>废气处理设施: 核医学科设有 3 条排风管道, 1 号排风管道单独连接分装注射室的通风橱(^{18}F专用), 设计总排风量为 $1500 \text{m}^3/\text{h}$ 的排风机, 排放风速不低于 0.5m/s; 2 号排风管道单独连接分装注射室的通风橱($^{99\text{m}}\text{Tc}$专用), 设计总排风量为 $1500 \text{m}^3/\text{h}$ 的排风机, 排放风速不低于 0.5m/s; 3 号排风管道单独连接储源室、分装注射室、注射等待室、废物间、洁具室、消耗品库房、卫生通过间、走道、运动负荷室、PET/CT 候诊室、SPECT/CT 候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、PET/CT 留观室、SPECT/CT 留观室兼抢救室、污洗间、患者走廊等房间。设计总排风量为 $5000 \text{m}^3/\text{h}$ 的排风机, 各排风管内保持负压, 拟安装防回流装置。核医学科产生的废气经由排风系统排至外产科大楼楼顶, 排气口高于屋脊 3m, 同时在排风口配置高效过滤器+活性炭过滤器二级处理设施(净化效率 99%) 并做防雨防风倒灌措施。</p> <p>废水处理设施: 本项目核医学科放射性废水处理间设置在地下室外围东侧, 由 300mm 厚混凝土浇筑。放射性废水处理间内放置三个并联的相同体积的埋式衰变池, 每个衰变池容积约为 10m^3 ($1.7 \text{m} \times 1.7 \text{m} \times 3.5 \text{m}$)。衰变池池壁和池底满足坚固、耐酸碱和防泄露的要求, 放射性废水经衰变池衰变后排入医院新建废水处理站, 进一步处理后纳入市政污水管网。</p>		γ 射线、放射性废水、放射性固废、放射性废气
依托工程	非放射性废水排入医院新建污水处理站处理; 医疗废物依托医院已有收集系统进行回收处理, 办公、生活垃圾依托医院已有收集系统进行回收处理。	/	生活废水、医疗废物、生活垃圾
公用工程	配电、供电和通讯系统等依托医院现有设施	/	/
办公生活设施	医生办公室、护士站等	/	生活垃圾和生活废水

1.2.3 本项目依托设施的可行性

本项目配电、供电和通讯系统等依托医院现有设施。本项目产生的放射性废水经衰变池组衰变 10 个半衰期后, 进入医院新建污水处理站预处理达到《医疗机构水污染物

排放标准》(GB18466-2005)表2中预处理标准后,经市政污水管网进入市政污水处理厂处理。本项目产生的废水较少,医院新建污水处理站设计处理量为700 m³/d,完全能满足本项目废水处理需要。

本项目产生的放射性废物暂存于废物间,经衰变10个半衰期以上后达到清洁解控水平,转移至医院现有医疗废物暂存间,作为医疗废物处理。本项目产生的放射性废物较少,医疗废物暂存间能满足本项目医疗废物处理需要。

工作人员产生的生活垃圾集中收集后交由环卫部门统一清运。

1.2.4 本项目主要原辅材料及能耗情况

本项目主要原辅材料及能耗情况见表1-2。

表1-2 主要原辅材料及耗能情况

类别	名称	使用量	来源
主要原辅材料	¹⁸ F-FDG	年用量为3.70×10 ¹² Bq	由专业单位进行供药和运输
	^{99m} Tc	年用量为3.47×10 ¹² Bq	由专业单位进行供药和运输
能源	煤(T)	-	-
	电(kW)	50000度	市政网络
	气(Nm ³)	-	-
水量	自来水	400m ³ /a	市政管网

1.2.5 本项目所涉及的医用射线装置

本项目涉及医用射线装置的情况见表1-3。

表1-3 本项目射线装置清单

序号	装置名称	型号	设备参数	类别	使用场所	备注
1	PET/CT	待定	140kV/1000mA	Ⅲ类	PET/CT 机房	拟购
2	SPECT/CT	待定	140kV/1000mA	Ⅲ类	SPECT/CT 机房	拟购

1.2.6 本项目医用核素及使用一览表

本项目使用医用核素及其特性见表1-4和表1-5。

表1-4 本项目涉及核素特性

使用核素	半衰期	衰变方式	毒性分组	β最大能量 MeV	光子能量 MeV
¹⁸ F	109.8min	β+, EC	低毒	0.63 (+)	0.511
^{99m} Tc	6.02h	同质异能跃迁	低毒	-	0.140

注:以上数据来源于《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)附录H

表 1-5 本项目使用核素诊疗用药情况

使用核素	物理状态	日最大诊断人数	年最大诊断人数	单人次最大使用量	给药方式	诊断治疗项目
^{18}F	液体	10 人	2500 人	$3.70 \times 10^8 \text{Bq}$	静脉注射	显像标记
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液体	15 人	3750 人	$9.25 \times 10^8 \text{Bq}$	静脉注射	显像标记

1.2.7 核医学科使用核素及工作场所分级

江油市人民医院拟在外产科大楼负一层建设核医学工作场所，并配置 1 台 PET/CT 和 1 台 SPECT/CT，分别使用 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性同位素用于显像诊断。核医学科工作场所用房相对独立，整个诊断流程连续完整，有相对独立的辐射防护措施，有明确的监督区和控制区划分，且本层内人流及物流具有自己的独立通道，不与其他楼层交叉。因此，可认为核医学科工作场所为一个独立的非密封放射性物质工作场所。

SPECT/CT 使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行扫描显像检查，日最大诊疗人数为 15 人，医院全年工作 250 天，因此 SPECT/CT 每年诊断人数为 3750 人，每人每次核素最大使用量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)。

PET/CT 使用核素 ^{18}F 进行扫描显像检查。日最大诊疗人数为 10 人，医院全年工作 250 天，因此 PET/CT 每年诊断人数为 2500 人，每人每次核素最大使用量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)。考虑到 ^{18}F 半衰期较短，为保证每批次最后一位患者注射 ^{18}F 药物量为 10mCi，拟采取增加放射性药物出厂活度的方式确保活度满足使用要求，即要考虑放射性药物的使用量和备用量。按照 ^{18}F 放射性药物使用量的 4 倍进行备药。

根据环办辐射函[2016]430 号规定：医疗机构使用 ^{18}F 相关活动视为“很简单的操作”，本项目 ^{18}F 备药视为“源的贮存”。经过毒性组别及核素的操作方式双重修正后，本项目核医学科放射性药物日最大等效操作量计算见下表。

表 1-6 本项目核医学科放射性药物日最大等效操作量计算表

项目名称	SPECT/CT 显像诊断项目	PET/CT 显像诊断项目	
核素名称	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ (用药)	^{18}F (用药)	^{18}F (备药)
日最大操作量/Bq	1.3875×10^{10}	3.70×10^9	1.48×10^{10}
毒性分组	低毒	低毒	低毒
毒性组别修正	0.01	0.01	0.01
性状	溶液	溶液	溶液
操作方式	很简单操作	很简单操作	源的贮存
方式与状态修正因子	10	10	100
日等效最大操作量/Bq	1.3875×10^7	3.70×10^6	1.48×10^6
		5.18×10^6	

合计	1.9055×10^7
----	----------------------

整个核医学科工作场所经计算日等效最大操作量为 $1.9055 \times 10^7 \text{Bq}$, 属于豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7 \text{Bq}$ 的范围。故本项目核医学科工作场所属于丙级非密封放射性物质工作场所。

1.2.8 工作人员配置情况

工作制度：年工作日 250d，每天工作 8h。

人员配置：本项目拟新增 10 名辐射工作人员，包括 2 名医师，4 名技师，4 名护士。核医学科辐射工作人员具体分工为：医生负责核医学科接诊、阅片；护士负责患者登记和核素的分装、注射；技师负责设备操作及摆位。本项目工作人员相对固定，不存在兼岗和操作其他射线装置情况。

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号）和《关于进一步优化辐射安全考核公告》（生态环境部公告第 2021 年第 9 号），新增辐射工作人员应报名参加生态环境部培训平台考核，并取得核技术利用辐射安全与防护考核成绩报告单后方可上岗。

表 1-7 本项目辐射工作人员配置情况表

序号	工作内容	人数	人员类型	工作场所
1	核医学科接诊	2 人轮岗	医生	问诊室
2	阅片			阅片室
3	患者登记	4 人轮岗	护士	护士站
4	核素分装、注射			分装注射室、储源室、废物室
5	PET/CT、SPECT/CT 设备的操作及病人摆位	4 人轮岗	技师	控制室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房

1.3 本项目产业政策与实践正当性分析

本项目为核与辐射技术用于医学领域，属高新技术。本项目不属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》中规定的限制或淘汰类项目，为允许类，因此本项目的建设符合国家的产业政策。

本项目实施的目的在于开展放射诊断工作，最终是为了治病救人，实践过程中采取了可能的辐射防护措施，在受检者得到预期诊疗效果的同时，对周围环境、公众的辐射危害满足国家辐射防护安全标准的要求，其获得的利益远大于辐射所造成的损害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

1.4 本项目选址、外环境关系、布局合理性分析

1.4.1 外环境关系分析

(1) 医院地理位置

江油市人民医院位于江油市中坝镇纪念碑街中段 30 号，东侧为昌明河西街，隔路为居民区和商业区；南侧为纪念碑街中段，隔路为居民区和商业区；西侧为梁园路，隔路为居民区；医院北侧为居民区。地理位置见附图 1。

(2) 项目外环境关系

本项目核医学科位于外产科大楼负一层，外产科大楼东侧为医院道路，隔路为医院边界；外产科大楼南侧为供应辅助楼和第三住院楼；外产科大楼西侧为第一住院楼；第一住院楼北侧为医院道路，隔路为医院边界，医院边界外为居民区和商业区。

本项目核医学科东侧为土层，距离约 60m 处为居民区和商业区；核医学科南侧为送风机房、缓冲走道、前室，距离约 35m 处为第三住院楼，距离约 125m 处为居民区和商业区；核医学科西侧为地下车库，距离约 90m 处为居民区；核医学科北侧为过道，距离约 40m 处为居民区。

项目周边环境示意图见附图 2 和附图 3。

(3) 项目选址合理性及规划符合性

根据《江油市人民医院新建外产科大楼建设项目环境影响评价报告表》中内容，可知：根据《建设项目选址意见书》（选字第 2020001 号）和《建设用地规划许可证》（地字第 2020001 号），本项目用地性质为医疗用地，符合江油市土地规划的相关要求；医院周围主要以居民、商户、学校和市政基础配套设施为主，交通便利、环境质量良好，供水、供电、排水等基础设施已建成，本项目在现有用地范围内进行，无较大污染源存在，无名胜古迹和重点文物保护单位，也无自然保护区、风景名胜区等特殊需要保护的對象，评价范围内无明显的环境制约因素，能够做到与周围环境相容，项目选址合理。

另外，本项目机房和场所已进行了相应的辐射屏蔽防护设计，本项目的开展通过辐射屏蔽措施后对周围环境影响较小。

1.4.2 项目布局合理性分析

本项目核医学科工作场所医护通道、患者通道、药物通道、污物通道出入口均设置独立门禁，无关人员不能直接进入。整个工作场所相对独立且封闭，接诊等候、核素给药、扫描检查、工作人员办公区域划分明确，相对隔离，可以尽量避免公众和医护人员不必要的照射，平面布置较为合理。

本项目核医学科放射性废水处理间设置在地下室外围东侧，放射性废水管线地埋设

置且避开周边公众区域，上方设置检修入口，周边人流量较小，降低了医生及公众受照射的可能性，其设置合理。

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

1.5 原有核技术利用许可情况

(1) 目前，江油市人民医院于 2017 年 8 月 29 日取得了原四川省环境保护厅核发的《辐射安全许可证》(川环辐证[00314])，许可的种类和范围：使用 II 类、III 类射线装置，有效期至 2022 年 8 月 28 日。

(2) 江油市人民医院辐射安全许可证已登记的射线装置情况见表 1-8。该医院现有核技术利用项目环保措施和设施均运行正常；经现场踏勘，未发现有环境遗留问题。同时，经建设单位证实，江油市人民医院开展放射性诊疗多年，目前未发生过辐射安全事故。

表1-8医院原有放射性设备情况

序号	设备名称	型号	数量	类别	场所	环评情况	验收情况
1	DR	DEFINIUM	1	III类	X光1室：门诊楼2楼放射科	川环审批 [2014]589号	川环核验 [2016]46号
2	DR	NeuStar DR	1	III类	X光2室：门诊楼2楼放射科	川环审批 [2010]6号	川环核验 [2015]28号
3	DR	Neupioneer DRMD	1	III类	胸部正侧位片检查室：第三住院楼2楼健康管理中心	川环审批 [2010]6号	川环核验 [2015]28号
4	16排CT	BrightSpeed Elite Select	1	III类	CT3室：门诊楼2楼放射科	登记备案，备案号为： 202151078100000005	
5	64排CT	LightSpeed VCT	1	III类	CT2室：门诊楼2楼放射科	川环审批 [2010]6号	川环核验 [2015]28号
6	数字胃肠机	OPERA	1	III类	X光8室：门诊楼2楼放射科	川环审批 [2010]6号	川环核验 [2015]28号
7	数字乳腺机	PLAMMED NUANCE	1	III类	X光3室：门诊楼2楼放射科	川环审批 [2014]589号	/
8	DSA	Innova	1	II类	介入手术室：门诊	川环审批	川环核验

		3100-IQ			楼2楼放射科	[2010]6号	[2015]28号
9	口腔全景/ 头颅X射线 机	OC200D	1	Ⅲ类	全景机房：门诊楼 2楼放射科	川环审批 [2010]6号	川环核验 [2015]28号
10	医用直线 加速器	Elekta Compact	1	Ⅱ类	加速器机房：第三 住院楼负1楼放疗 科	川环审批 [2014]589号	川环核验 [2016]46号
11	放射治疗 模拟机	BMD-2	1	Ⅲ类	模拟机机房：第三 住院楼负1楼放疗 科	川环审批 [2014]589号	川环核验 [2016]46号
12	牙科X射线 机	FT-H1	1	Ⅲ类	牙片室：第三住院 楼1楼口腔科	登记备案，备案号为： 201751078100001034	
13	双能X线骨 密度仪	XR-600	1	Ⅲ类	骨密度检查室：第 三住院楼2楼健康 管理中心	川环审批 [2014]589号	川环核验 [2016]46号
14	移动式C形 臂X射线机	Brivo OEC 850	1	Ⅲ类	4、5号手术间：第 二住院楼11楼手 术室	川环审批 [2010]6号	川环核验 [2015]28号
15	移动C臂	Brivo OEC 785	1	Ⅲ类	4、5号手术间	登记备案，备案号为： 201951078100000021	
16	X射线计算 机体层摄 影设备	uCT 550	1	Ⅲ类	CT检查室：第三 住院楼2楼健康管 理中心	登记备案，备案号为： 202151078100000038	
17	牙科X射线 机	CS2100	1	Ⅲ类	牙片室：第三住院 楼1楼口腔科	登记备案，备案号为： 202151078100000037	
18	移动式X射 线机	MobiEye 700T	1	Ⅲ类	X光3室：门诊楼2 楼放射科	登记备案，备案号为： 202151078100000004	

1.5.2 原有核技术利用项目辐射安全管理

(1) 江油市人民医院现共有辐射工作人员 156 人，所有人员均配备了个人剂量计，且个人剂量计定期送检，并建立了个人剂量档案，根据四川泰安生科技咨询有限公司出具的辐射工作人员最近一年度的个人剂量检测结果表明，江油市人民医院辐射工作人员个人剂量计监测结果最大为 0.56mSv，满足职业人员年剂量不高于 5mSv 的剂量约束值的要求。

医院应强化管理，加强辐射工作人员的培训学习，个人剂量计应严格按照规定正确佩戴。

(2) 根据《放射工作人员职业健康管理办法》规定“放射工作单位应当组织上岗后的放射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查”。

江油市人民医院现有辐射工作人员共 156 名，均建有职业健康档案，辐射工作人员岗前、在岗期间和离岗前均进行职业健康体检，在岗期间体检周期不超过 2 年。根据医院提供的职业健康体检报告，在岗辐射工作人员均可继续从事放射岗位工作。

(3) 江油市人民医院现有辐射工作人员共 156 名，其中 55 人参加了由四川省生态环境厅组织的辐射安全与防护培训并取得合格证书（有 23 名工作人员证书已过期），有 18 人参加了由四川省环境科学学会组织的辐射安全与防护培训并取得合格证书且均在有效期内。

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号）和《关于进一步优化辐射安全考核公告》（生态环境部公告第 2021 年第 9 号），医院应尽快组织新增辐射工作人员和从事使用 II 类射线装置的辐射工作人员到生态环境部培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。从事使用 III 类射线装置的辐射工作人员应参加医院自行组织的辐射安全与防护考核，并取得合格成绩，并建立成绩档案。

(4) 目前医院已成立了辐射安全和防护管理领导小组，制定了一系列的辐射工作管理制度，其中包括《辐射防护和安全保卫制度》、《设备检修维护制度》、《辐射工作人员培训计划》、《辐射工作人员岗位职责》、《台账管理制度》、《射线装置操作规程》、《辐射监测方案》、《放射科受检者的防护原则》、和《放射科辐射事故应急预案制度》等管理制度。医院各项规章制度内容较全面，操作性强，可满足医院目前核技术利用项目运行的需要。

本项目建成后，可依托医院现有比较健全的管理组织机构和辐射制度。医院目前配置的领导小组人员学历大部分为本科学历，都具有一定的管理能力，本项目开展后，辐射管理成员为同一套班子成员，目前医院的管理人员也能满足配置要求。

(5) 医院现有辐射工作场所设置有电离辐射警示牌、报警装置和工作状态指示灯等。根据不同项目实际情况划分辐射防护控制区和监督区，采取分区管理，进行积极、有效的管控。

(6) 医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，根据建设单位提供的监测报告，各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求，医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。

(7) 辐射应急演练和年度评估

医院已制定有《辐射事故应急预案》，医院每年均定期开展辐射事故应急演练，并对演练结果进行总结，及时对辐射事故应急预案进行完善和修订。经医院核实，自辐射活动开展以来，未发生过辐射事故。

医院执行有年度评估制度，编制有《辐射安全和防护状况年度评估报告》，对现有射线装置辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况等进行年度总结和评估，并及时提交至发证机关。

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	生产或使用场所	贮存方式与地点
1	^{99m} Tc	液态/低毒 半衰期 6.02h	使用	1.3875×10 ¹⁰	1.3875×10 ⁷	3.47×10 ¹²	SPECT/CT 显像检查	很简单 操作	外产科大楼负一 层核医学科	按需订购，不贮存， 核医学科使用
2	¹⁸ F	液态低毒半 衰期 109.8min	使用	3.70×10 ⁹	3.70×10 ⁶	3.7×10 ¹²	PET/CT 显像诊断	很简单 操作		
3	¹⁸ F	液态低毒半 衰期 109.8min	使用	1.48×10 ¹⁰	1.48×10 ⁶		备药	源的贮存		

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》（GB 18871-2002）

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	装置名称	类别	数量	型号	加速粒籽	最大能量 (MeV)	活动种类	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	装置名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	PET/CT	III	1	待定	140	1000	影像诊断	PET/CT 机房	拟购
2	SPECT/CT	III	1	待定	140	1000	影像诊断	SPECT/CT 机房	拟购

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性废水	液态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	95.25m ³	总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$	核医学科衰变池组拟建于地下室外围东侧，共设3个相同体积的埋地式衰变池，每个有效容积约为8m ³	衰变后的放射性废水低于GB18871-2002中规定的放射性废水排放导出限值和GB18466-2005规定的总 β 限值后送至院内污水处理站进一步处理
放射性固废	固态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	175kg	$< 1 \times 10^1 \text{Bq/g}$	设6个放射性废物桶进行收集，收集后置于废物间暂存	经衰变10个半衰期以上后达到清洁解控水平，作为医疗废物处理
放射性废气	气态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	/	/	核医学科设有3条排风管道，1号排风管道单独连接分装注射室的通风橱（ ^{18}F 专用），2号排风管道单独连接分装注射室的通风橱（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 专用），3号排风管道单独连接储源室、分装注射室、注射等待室、废物间、洁具室、消耗品库房、卫生通过间、走道、运动负荷室、PET/CT候诊室、SPECT/CT候诊室、PET/CT机房、SPECT/CT机房、PET/CT留观室、SPECT/CT留观室兼抢救室、污洗间、患者走廊等房间。废气经由排风系统排至外产科大楼楼顶，排气口高于屋脊3m，同时在排风口配置高效过滤器+活性炭过滤器二级处理设施（净化效率99%）并做防风防雨倒灌措施	

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 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	<p>(1)《中华人民共和国环境保护法》(中华人民共和国主席令第 9 号, 2014 年), 自 2015 年 1 月 1 日起施行;</p> <p>(2)《中华人民共和国环境影响评价法》(中华人民共和国主席令第 48 号 2016 年修订, 2016 年 9 月 1 日起施行)及《关于修改〈中华人民共和国劳动法〉等七部法律的决定》(第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议, 2018 年 12 月 29 日);</p> <p>(3)《中华人民共和国放射性污染防治法》(中华人民共和国主席令第 6 号, 2003 年), 自 2003 年 10 月 1 日起实施;</p> <p>(4)《建设项目环境保护管理条例》(中华人民共和国国务院令第 682 号, 2017 年), 自 2017 年 10 月 1 日起施行;</p> <p>(5)《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》(中华人民共和国生态环境部令第 16 号), 自 2021 年 1 月 1 日起施行;</p> <p>(6)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第 709 号修订, 2019 年 3 月 2 日起施行);</p> <p>(7)《放射性废物安全管理条例》(国务院令第 612 号, 2012 年), 自 2012 年 3 月 1 日起施行;</p> <p>(8)《关于发布<放射性废物分类>的公告》(环境保护部工业和信息化部国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号, 2017 年), 2018 年 1 月 1 日起施行;</p> <p>(9)《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);</p> <p>(10)《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环境保护部令第 18 号), 2011 年 5 月 1 日起施行;</p> <p>(11)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(国家环保总局第 31 号令; 根据 2017 年 12 月 20 日环境保护部部务会议通过《环境保护部关于修改部分规章的决定》修正; 根据 2019 年 7 月 11 日生态环境部部务会议审议通过《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》修正; 根据 2021 年 1 月 4 日生态环境部部务会议审议通过《生态环境部关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定》修正);</p>
------	---

	<p>(12) 《关于发布《射线装置分类》的公告》(环境保护部国家卫生计生委公告2017年第66号, 2017年), 自2017年12月5日起施行;</p> <p>(13) 《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, 原国家环保总局、公安部、卫生部文件), 自2006年9月26日起施行;</p> <p>(14) 《四川省辐射污染防治条例》(四川省十二届人大常委会第二十四次会议第二次全体会议审议通过), 自2016年6月1日起施行。</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》(HJ 61-2021);</p> <p>(4) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021);</p> <p>(5) 《表面污染测定第1部分β发射体($E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$和$\alpha$发射体)》(GB/T14056.1-2008)</p> <p>(6) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019);</p> <p>(7) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020);</p> <p>(8) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020);</p> <p>(9) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005);</p> <p>(10) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GBZ11930-2010)。</p>
<p>其 他</p>	<p>(1) 《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)》(川环函[2016]);</p> <p>(2) 《2020四川省生态环境状况公报》;</p> <p>(3) 医院提供的其它与本项目有关的技术资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目主要涉及非密封放射性物质工作场所和Ⅲ类射线装置，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，具体范围见附图 2。

7.2 环境保护目标

根据《四川省生态保护红线方案》，本项目不涉及四川省生态保护红线。本项目环境保护目标为医院内的辐射工作人员、周围其他非辐射工作人员和以及四周公众。具体详见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标一览表

工作场所	关注区域或人员	方位	与本项目场所边界的距离 (m)		规模	受照类型	人员类别	年剂量管理限值
			水平	垂直				
外产科大楼负一层核医学科	本项目辐射工作人员	内部	内部	0	10 人	γ 射线、β 射线	职业	5mSv
	居民区	北侧	40	8	200 人	γ 射线	公众	0.1mSv
	供应辅助楼	西南侧	33	8	100 人	γ 射线	公众	0.1mSv
	第三住院楼	南侧	35	8	300 人	γ 射线	公众	0.1mSv
	消耗品库房公众	北侧	0	0	10 人	γ 射线	公众	0.1mSv
	医生办公室	北侧	0	0	2 人/d	γ 射线	公众	0.1mSv
	设备间公众	东侧	0	0	10 人	γ 射线	公众	0.1mSv
	走廊	西侧	0	0	10 人	γ 射线	公众	0.1mSv
	注射前等候区公众	西侧	1	0	30 人/d	γ 射线	公众	0.1mSv
	护士站	西侧	0	0	2 人	γ 射线	公众	0.1mSv
	送风机房公众	南侧	0	0	5 人/d	γ 射线	公众	0.1mSv
	合用前室公众	南侧	0	0	30 人/d	γ 射线	公众	0.1mSv
	办公室公众	上方	0	8	20 人	γ 射线	公众	0.1mSv
	放射科机房公众	上方	0	8	50 人/d	γ 射线	公众	0.1mSv
	50m 范围内其他公众	上方	0	0	1500 人/d	γ 射线	公众	0.1mSv

7.3 评价标准

本项目执行标准如下：

7.3.1 环境质量标准

- (1) 环境空气质量执行国家《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中二级标准;
- (2) 地表水环境质量执行国家《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中Ⅲ类标准;
- (3) 声环境质量执行国家《声环境质量标准》(GB3096-2008)中2类标准。

7.3.2 污染物排放标准

(1) 废水: 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, 即衰变池排放口总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ 。

(2) 噪声: 施工期噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)中标准限值; 运营期执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)2类标准。

(4) 大气: 执行《四川省施工场地扬尘排放标准》(DB512682-2020)表1要求以及《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)表3要求。

(5) 固体废物: 参考执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB18599-2020); 如有危险废物产生, 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。

7.3.3 电离辐射标准

辐射标准执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中规定的工作人员接受年剂量不超过20mSv, 公众接受的年剂量不超过1mSv。

项目单位根据该标准规定, 制定本项目管理剂量约束值, 见表7-2。核医学科工作场所 β 放射性表面污染控制水平见表7-3。

表7-2 本项目辐射环境影响评价标准mSv/a

分类	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)基本限值标准	剂量约束值/评价标准
职业照射	20	5
公众照射	1	0.1

表7-3 核医学科工作场所 β 放射性表面污染控制水平Bq/cm²

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⁾	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	

手、皮肤、内衣、工作袜	4×10^{-1}
D 该区内的高污染子区除外	

7.3.4 剂量控制水平

(1) 核医学科 PET/CT 和 SPECT/CT 机房边界周围剂量率控制水平参照《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 有关规定, 本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 场所在距离机房屏蔽体外表面 30cm 外, 周围辐射剂量率应满足控制目标值不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

PET/CT 和 SPECT/CT 机房有效使用面积及最小单边长应满足下表要求。

表7-4 X射线设备机房(照射室)使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 m^2	机房内最小单边长度 m
CT 机	30	4.5

(2) 在核医学科工作场所控制区外人员可达处, 距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率参照《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 有关规定, 在核医学科控制区外人员可达处, 距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$, 控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25 \mu\text{Sv/h}$, 宜不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

(3) 核医学科工作场所的通风橱外表面 5cm 处的周围剂量当量率《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 有关规定, 通风橱外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值不大于 $25 \mu\text{Sv/h}$ 。

7.3.5 清洁解控水平

已知或已获准实践中的源(包括物质、材料和物品), 如果符合审管部门规定的清洁解控水平, 则经审管部门认可, 可以不在遵循本标准的要求, 即可以将其解控。

除非审管部门另有规定, 否则清洁解控水平的确定应考虑本标准附录 A(标准的附录)所规定的豁免准则, 并且所定出的清洁解控水平不应高于本标准附录 A(标准的附录)中规定的或审管部门根据该附录规定的准则所建立的豁免水平。

表 7-5 本项目涉及放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度

核素	活度浓度 (Bq/g)	活度(Bq)
^{18}F	1E+01	1E+06
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1E+02	1E+07

备注: 摘自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 附录 A 中表 A1。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

江油市人民医院位于江油市中坝镇纪念碑街中段 30 号，东侧为昌明河西街，隔路为居民区和商业区；南侧为纪念碑街中段，隔路为居民区和商业区；西侧为梁园路，隔路为居民区；医院北侧为居民区。本项目核医学科位于外产科大楼负一层，外产科大楼东侧为医院道路，隔路为医院边界；外产科大楼南侧为供应辅助楼和第三住院楼；外产科大楼西侧为第一住院楼；第一住院楼北侧为医院道路，隔路为医院边界。



图 8-1 周围环境现状图

8.2 环境质量和辐射现状

8.2.1 本项目所在地 γ 辐射剂量现状监测

为了解本项目评价范围内的辐射环境质量现状，受中辐环境科技有限公司的委托，浙江建安检测研究院有限公司监测人员于 2021 年 7 月 15 日对本项目拟建场址进行了 X- γ 辐射剂量率和 β 表面污染环境监测，监测报告见附件 4。

8.2.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

(一) 环境现状评价对象

辐射工作场所周围环境贯穿辐射水平和所 β 放射性表面污染控制水平。

(二) 监测因子

X- γ 辐射剂量率, β 表面污染

(三) 监测点位

本项目核医学科位于外产科大楼负一层, 由于外产科大楼现尚未建设, 拟建区域内环境状况较为单一。考虑兼顾点位现状可到达性的条件下, 根据《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021) 有关布点原则, 在项目拟建场所布设监测点, 并且在医院边界及周围环境状况不一致的区域布设监测点, 共计布点 11 个, 分别布置在拟建核医学科工作场所及四周。

8.1.3 监测方案和结果、质量保证措施

(一) 监测方案

①监测单位: 浙江建安检测研究院有限公司

②监测日期: 2021 年 7 月 15 日

③监测方式: 现场监测

④监测依据: 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)、《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)、《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/T 14056.1-2008)

⑤监测频次: 依据 HJ1157-2021、HJ61-2021 和 GB/T 14056.1-2008 标准予以确定

⑥监测工况: 辐射环境本底

⑦天气环境条件: 天气: 阴; 温度: 24°C ; 相对湿度: 60%。

⑧监测设备: AT1123 型 X、 γ 射线巡测仪; CoMo 170 型 α 、 β 表面污染仪。

表 8-1 监测方法及方法来源

项目	监测方法	方法来源
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	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/T 14056.1-2008

表 8-2 X- γ 辐射剂量率监测仪器相关信息

仪器名称	X、 γ 射线巡测仪
仪器型号	AT1123
生产厂家	ATOMTEX
仪器编号	05035593

能量范围	15keV~10MeV (±15%)
量程	50nSv/h~10Sv/h
检定单位	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心
检定证书	2021H21-20-2976183002
检定有效期	2021年01月18日~2022年01月17日

表 8-3 β 表面污染监测仪器相关信息

仪器名称	α、β 表面污染仪
仪器型号	CoMo 170
生产厂家	S.E.A
仪器编号	05034714
探测器灵敏窗面积	20cm ² ~200cm ²
检定单位	上海市计量测试技术研究院华东国家计量测试中心
检定证书	2021H21-20-3059579001
检定有效期	2021年02月26日~2022年02月25日

(二) 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。

(三) 监测结果

表 8-4X-γ 辐射剂量率环境现状监测结果一览表

监测点编号	监测点位置	监测结果 (nGy/h)	
		测量值	标准差
1	拟建外产科大楼中心	85	7
2	拟建外产科大楼北侧	68	6
3	拟建外产科大楼东侧	82	6
4	拟建外产科大楼南侧	106	7
5	拟建外产科大楼西侧	78	4
6	北侧居民区	91	4
7	西侧拟建停车场	78	3
8	西侧供应辅助楼	87	3
9	南侧第三住院楼	88	2

10	东侧拟建衰变池上方	72	3
11	东侧拟建停车场	77	3

注：1、测量时探头距离地面约 1m；
 2、每个监测点测量 10 个数据取平均值，所有测量值均已扣除宇宙射线响应值 42 nGy/h；
 3、测量值经校准因子修正，辐射剂量率和周围剂量当量率的换算系数取 1.20Sv/Gy。

表 8-5 β 表面污染环境现状监测结果一览表

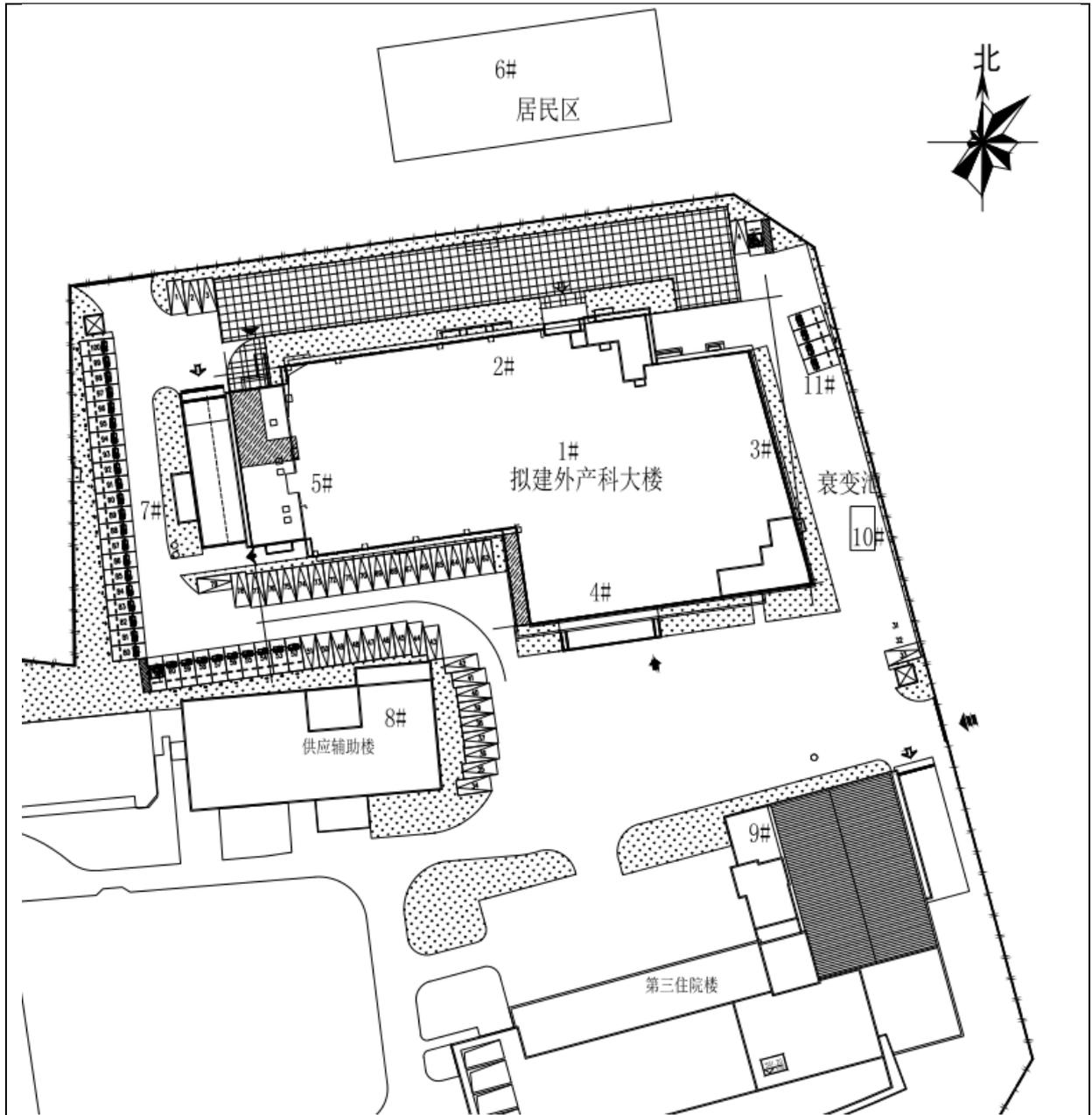
序号	监测点位置	监测结果 (Bq/cm ²)
1	拟建外产科大楼中心	<0.13
2	拟建外产科大楼北侧	<0.13
3	拟建外产科大楼东侧	<0.13
4	拟建外产科大楼南侧	<0.13
5	拟建外产科大楼西侧	<0.13
6	北侧居民区	<0.13
7	西侧拟建停车场	<0.13
8	西侧供应辅助楼	<0.13
9	南侧第三住院楼	<0.13
10	东侧拟建衰变池上方	<0.13
11	东侧拟建停车场	<0.13

注：1、上述监测结果均已扣除本底，每个监测点测量 10 个数据取平均值；
 2、CoMo 170 型 α、β 表面污染仪/05034714 的 β 探测下限为 0.13 Bq/cm²；

8.2 环境现状调查结果的评价

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

根据现场监测报告，本项目所在区域 β 表面污染水平低于检测限，X-γ 辐射剂量率为 68nGy/h~106nGy/h，由《2020 四川省生态环境状况公报》可知，四川省辐射环境自动监测站实时连续监测空气吸收剂量率范围为≤130 nGy/h，属于当地正常天然本底辐射水平。



8-1 本项目核医学科场所辐射质量现状监测点位图

表 9 项目工程与源项分析

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 施工期工艺分析

本项目辐射工作场所位于外产科大楼负一层，有关主体工程施工期环境影响内容详见《江油市人民医院新建外产科大楼建设项目环境影响评价报告表》有关章节，本次评价不再做相关的环境影响评价。

另外，本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 射线装置的安装调试阶段，会产生 X 射线（调试阶段不涉及非密封放射性物质的使用），造成一定的辐射影响。本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 射线装置运输、安装和调试均由设备厂家专业人员进行操作。在射线装置运输、安装、调试过程中，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，在运输设备和机房门外设立辐射警示标志，禁止无关人员靠近；在设备的调试过程中，射线源开关钥匙应安排专人看管，并在机房入口等关键处设置醒目的警示牌，人员离开时装运设备和机房上锁并派人看守。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。

9.1.3 运营期工艺设备及工艺分析

（1）放射性核素使用情况

SPECT/CT 使用显像剂 ^{99m}Tc ，日最大诊疗人数为 15 人，人均最大注射量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)，则 ^{99m}Tc 日最大操作量为 $1.3875 \times 10^{10} \text{Bq}$ (375mCi)。

PET/CT 使用显像剂 ^{18}F ， ^{18}F 预计最大诊断量为 10 人/天，人均最大注射量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，则 ^{18}F 日最大操作量为 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ (200mCi)。考虑到 ^{18}F 半衰期较短，为保证每批次最后一位患者注射 ^{18}F 药物量为 10mCi，拟采取增加放射性药物出厂活度的方式确保活度满足使用要求，即要考虑放射性药物的使用量和备用量，本项目拟暂定一天送一次药，按照 ^{18}F 放射性药物使用量的 4 倍进行备药。

（2）设备组成和原理

① PET/CT

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

活体分子水平完成生物学显示的影像技术。

PET/CT (Positron Emission Tomography and Computer TOMO graphy), 全称正电子发射断层与计算机断层诊断技术, 是在 PET (Positron Emission TOMO graphy) 和 CT(Computer TOMO graphy) 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或其标记的示踪剂, 示踪人体内特定生物物质的生物活动, 采用多层、环形排列于发射体周围的探头, 由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子, 然后将获得的信息, 通过计算机处理, 以解剖影像的形式及其相应的生理参数, 显示靶器官或病变组织的状况, 藉此诊断疾病, 又称为生化显像或功能分子显像, 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。

PET/CT 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。本项目医院核医学科拟配置的 PET/CT, 型号尚未确定, 仅确定其中使用的 CT 最大管电压不超过 140kV, 电流不超过 1000mA。

②SPECT/CT

单光子发射计算机断层摄影(简称“SPECT”)基本原理是放射性核素的示踪作用: 不同的显像剂在体内有其特殊的分布和代谢规律, 能够选择性的聚集在特定脏器、组织或病变部位, 使其与临近组织之间的放射性分布形成一定程度浓度差, 而显像剂中的放射性核素可发射出具有一定穿透力的 γ 射线, 利用探头对这些光子进行探测和记录, 通过计算机处理从而获得脏器、组织或者病变部位的形态、位置、大小以及脏器功能图像数据。

SPECT/CT 是将 SPECT 和多排螺旋 CT 结合成一体化的设备, 不仅提供 SPECT 功能信息, 而且提供诊断 CT 的解剖信息。SPECT 本身不产生射线, 仅作为光子接收和成像设备, 服药后的病人作为辐射源项; CT 扫描过程中, CT 设备发射的 X 射线作为辐射源项。本项目医院核医学科拟配置的 SPECT/CT, 型号尚未确定, 仅确定其中使用的 CT 最大管电压不超过 140kV, 电流不超过 1000mA。

(3) 工艺流程及产污环节分析

本项目使用的 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 使用前根据需要提前订购, 药物由医院自动分装, 经测

活后即可注射。注射时，医生与患者分别位于铅玻璃的两侧。注射后的患者根据需要在注射后休息室等候约 30min 后，再进入 PET/CT 或 SPECT/CT 机房进行核素显像。核医学科 PET/CT 或 SPECT/CT 诊断工艺流程及产污环节基本一致，主要工作流程见下图：

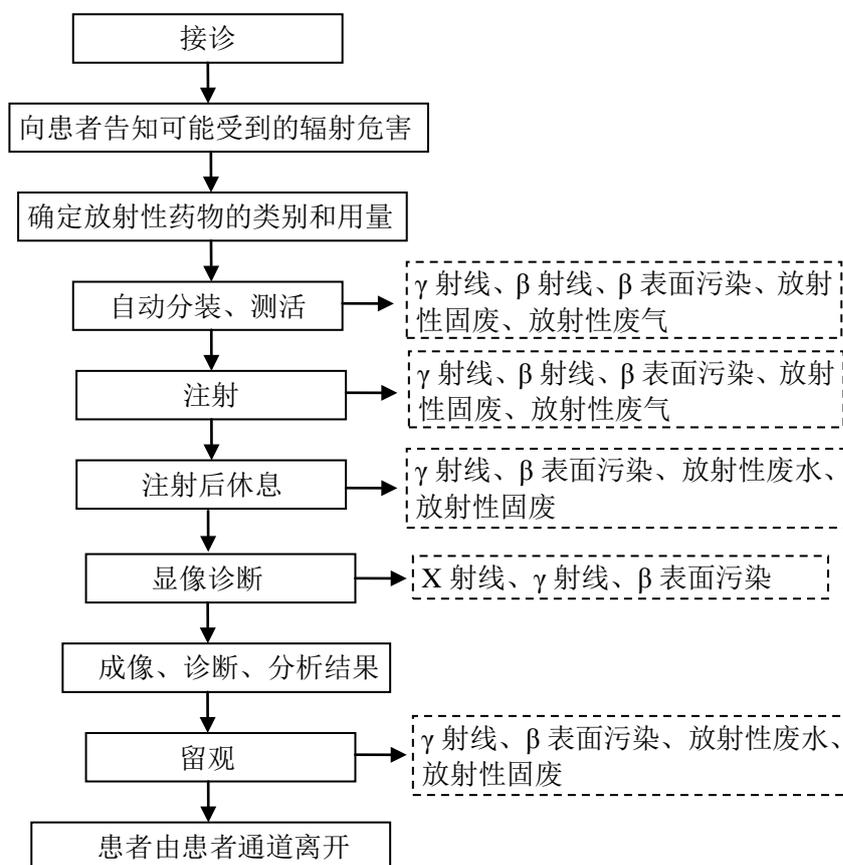


图 9-1 核医学科 PET/CT 或 SPECT/CT 诊断工艺流程及产污环节图

- ①放射性药物由核医学科专职工作人员接收，暂存在核医学科储源室内；
- ②工作人员将药物从储源室取出放置在通风橱的自动分装仪内进行分装，分装后为患者注射；
- ③注射后患者在注射后休息室静躺候诊约 30min；
- ④到 PET/CT 或 SPECT/CT 机房开始扫描，扫描约 15min；
- ⑤检查完后，患者在留观室留观约 15min，无碍后离开。

(4) 工作人员配备和工作负荷

根据医院提供的资料，项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h。核医学科各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见下表 9-1。

表 9-1 各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

工作场所	工艺	操作内容	操作时间	人员数量
分装注射室	分装	药品自动分装	1 分钟/次	6 人轮岗
	注射	给患者注射药剂	30 秒/次	
PET/CT 和 SPECT/CT 机房	摆位	指导患者躺至正确的位置	1 分钟/次	4 人轮岗
控制室	扫描	控制室操纵设备进行扫描	15 分钟/次	
阅片室	阅片	控制室内阅片	15 分钟/次	4 人轮岗

(5) 人流和物流路径规划

①人流路径

本项目核医学科路径主要是工作人员（包括核素操作工作人员、设备操作人员等）路径、患者路径及物流路径。

工作人员路径：核素操作工作人员进入卫生通过间，向南通过医护走道进入分装注射室，在分装注射室完成药物分装，通过注射窗对受检者进行隔室注射，工作结束后经卫生通过间淋浴更衣、表面污染监测确认无污染后原路返回从而离开核医学科，卫生通过间包含更衣、淋浴、去污工具及放射性表面污染检测功能。设备操作人员进入控制廊对 PET/CT 或 SPECT/CT 进行操作，工作结束后原路返回。

患者路径：患者根据预约安排的时间进入注射前等候区，通过缓冲间进入核医学科。在注射窗外完成注射后，显像诊断患者在候诊室进行候诊，然后进入对应的机房进行扫描检查，经检查完后进入留观室留观，无异常后由南侧病人出口离开核医学科，核医学科出口设置单向门禁，只出不进。

②物流路径

^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物根据病人预约，向供应商提前预定，供应商送药人员在上班前进入卫生通过间，向南通过走道进入储源室，并由专人进行交接，交接过程均在监控下进行，医院拟制定放射性药物管理制度，做好放射性药物的台账管理。使用时，工作人员药物连同铅罐从储源室取出，放置于分装注射室通风橱中。药物的分装在通风橱中完成，注射时护士手持带注射器防护套的注射器，在注射防护窗的屏蔽下为受检者注射。

衰变后的放射性废物流出路径：放射性同位素操作过程中产生的如一次性注射器、手套、棉签、药瓶、吸水纸等带微量放射性同位素的固体废弃物，由分装注射室、PET/CT 候诊室、SPECT/CT 候诊室、PET/CT 留观室、SPECT/CT 留观室兼抢救室内的放射性废物桶收集后，转移至废物间进行贮存衰变，经监测达标经审管部门确认或批准后可作

为医疗废物处理。每天下班后废物经运动负荷室、患者走廊由患者出口运至医院医疗废物暂存间。放射性药物均根据诊断计划按需订购，一般不会产生剩余放射性药物，如出现放射性药物购买过量用不完的情况，可将¹⁸F、^{99m}Tc 药物连同铅罐放置于废物间，放置衰变的方式贮存 10 个以上半衰期后，最终排入衰变池衰变处理。

患者在就诊过程中由于排便、冲厕产生的含少量放射性核素的废水、工作人员清洗废水、工作场所清洗废水等均由专用污水管道汇入衰变池，衰变 10 个以上半衰期，经监测达标后抽排至医院污水处理站进一步处理。

③ “三废” 排放路径

本项目设有三个独立的排风管道，1号排风管道单独连接分装注射室的通风橱（¹⁸F 专用），排放风速不低于0.5m/s；2号排风管道单独连接分装注射室的通风橱（^{99m}Tc 专用），排放风速不低于0.5m/s；3号排风管道单独连接储源室、分装注射室、注射等待室、废物间、洁具室、消耗品库房、卫生通过间、走道、运动负荷室、PET/CT候诊室、SPECT/CT候诊室、PET/CT机房、SPECT/CT机房、PET/CT留观室、SPECT/CT留观室兼抢救室、污洗间、患者走廊等房间。各排风管内保持负压，拟安装防回流装置。核医学科产生的废气经由排风系统排至外产科大楼楼顶，排气口高于屋脊3m，同时在排风口配置高效过滤器+活性炭过滤器二级处理设施（净化效率99%）并做防雨防风倒灌措施。排风口和送风口均设置风量调节阀，通过调节风量保证控制区内为负压，空气流动由低浓度向高浓度区的流向。因此，本项目放射性废气单独处理的方式是合理可行的。

活性区域管路排风口设置在外产科大楼楼顶，且设置高效过滤器+活性炭过滤器处理后排放。活性炭装置填装量 25kg，平均每半年更换一次。环评要求医院应根据核医学科工作量、季节及气候不同适时增加活性炭更换频次，以维持活性炭的干燥性，保证其吸附能力。更换的活性炭应暂存于废物间衰变 10 个半衰期后按一般医疗固废进行处置。

核医学科各房间的放射性废物收集在废物间后，经自然衰变且监测符合要求后，经运动负荷室由患者走廊经患者出口外运，不涉及周边公众区域，该路线是合理可行的。另外，核医学科各排放点位的放射性废水经管道收集通过排至地下室外围东侧的衰变池中暂存，经衰变池衰变 10 个半衰期后经监测符合排放标准后排入医院污水处理站进一步处理。放射性废水管线避开周边公众区域，其路径设置也是合理可行的。

项目排风管线示意图和放射性废水管线示意图详见附图 7 和附图 8。

9.2 污染源项描述

9.2.1 污染源项分析

(1) β 射线和 γ 射线

本项目 PET 显像使用 ^{18}F 核素标记, SPECT/CT 显像使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素标记。

^{18}F 的衰变方式是 β^+ 衰变, 最大粒子能量为 0.63MeV, 同时在衰变时伴随发射 0.511MeV 的 γ 射线。 β 射线穿透力很弱, 在组织内辐射距离很短, 不会对环境产生明显影响。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 在衰变过程中释放 γ 射线, γ 射线穿透能力很强, 会对周围环境造成一定的辐射影响。

因此 γ 射线是 SPECT/CT、PET 显像过程中的主要污染因子。

以服药病人视为点源, 在距源 1m 处周围剂量当量率详见表 9-2。

表 9-2 放射性核素源强一览表

源项	核素	活度	距离	周围剂量当量率常数* $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
PET/CT 显像 (裸源)	^{18}F	10mCi	1m	0.143	52.91
PET/CT 显像 (病人体内)	^{18}F	10mCi	1m	0.092	34.04
SPECT/CT 显像 (裸源)	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	25mCi	1m	0.0303	28.03
SPECT/CT 显像 (病人体内)	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	25mCi	1m	0.0207	19.15

注: “*”数据来源于《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)表 H.1 和表 L.1。

(2) β 放射性表面污染

医生在对含有放射性核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 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。

(3) 放射性废气

放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 存放于核医学科储源室, 待患者注射前放置于通风橱中, 注射时药物在针筒内, 在正确正常操作过程中无开放液面, 空气中挥发散逸的放射性同位素几乎没有, 因此放射性气溶胶极少。

本项目 ^{18}F 诊断日最大操作量为 $3.70\times 10^9\text{Bq}$, ^{18}F 为非挥发性核素, 使用过程介质均为液体, 操作比较简单, 不需加热、振荡等步骤, 因此保守考虑 ^{18}F 核素的挥发率为 0.1%。则本项目 ^{18}F 放射废气气载核素量日产生量为 $3.70\times 10^6\text{Bq}$, 每天累积操作核素时间 2h, 即在 2h 内有约 $3.70\times 10^6\text{Bq}$ 排入外环境, 排放口风机风量为 $1500\text{m}^3/\text{h}$, 本项目采用高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施, 净化效率 99%, 则排风井排放口 ^{18}F 排放浓度为 $12.33\text{Bq}/\text{m}^3$ 。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 诊断日最大操作量为 $1.3875\times 10^{10}\text{Bq}$, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为非挥发性核素, 使用过程介质均

为液体，操作比较简单，不需加热、振荡等步骤，因此保守考虑^{99m}Tc核素的挥发率为0.1%；则本项目放射废气气载核素量日产生量为 $1.3875 \times 10^7 \text{Bq}$ ，每天累积操作核素时间2h，即在2h内有约 $1.3875 \times 10^7 \text{Bq}$ 排入外环境，排放口风机风量为 $1500 \text{m}^3/\text{h}$ ，本项目采用高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施，净化效率99%，则排风井排放口¹⁸F排放浓度为 $46.25 \text{Bq}/\text{m}^3$ 。

(4) 放射性废水

放射性废水主要为含有放射性核素的病人排泄物和工作场所清洗废水等。

参考《综合医院建筑设计规范》(GB51039-2014)，门诊患者每人每次用水定额取10L，核医学科每日最多诊断患者25人，患者废水产生量为 $0.25 \text{m}^3/\text{d}$ ；辐射工作人员每日去污共产生废水 $0.1 \text{m}^3/\text{d}$ ；核医学科工作场所每天工作结束后工作人员对场地进行清洁，清洗用水按 $0.1 \text{L}/\text{m}^2$ 计，核医学科工作场所面积约 310m^2 ，清洗废水产生量为 $0.031 \text{m}^3/\text{d}$ 。则核医学科废水产生量为 $0.381 \text{m}^3/\text{d}$ ， $95.25 \text{m}^3/\text{a}$ 。

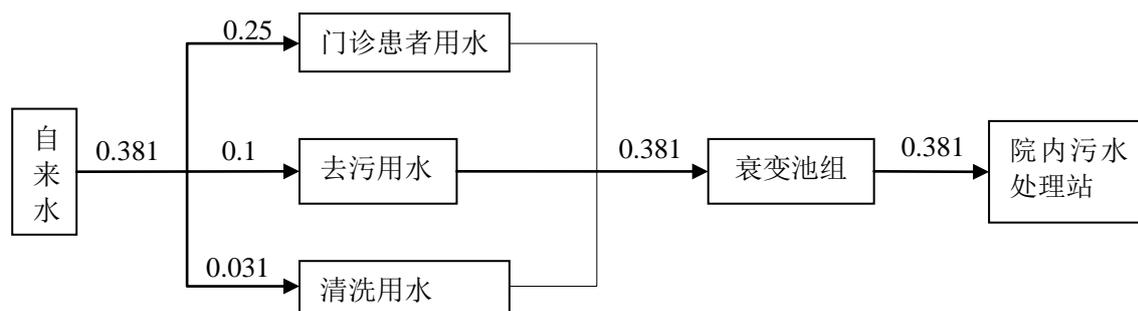


图 9-2 核医学科工作场所水平衡图 (单位 m^3/d)

(5) 放射性固体废物

本项目核医学科放射性固体废物主要为 PET/CT 和 SPECT/CT 显像诊断过程中产生的注射器、针头、手套、药棉、药瓶、破损杯皿、擦拭污染地面的物品。按照每人 0.02kg 产生量进行估算，正常情况下，核医学科工作场所放射性固体废物的产生量为 $0.5 \text{kg}/\text{d}$ ， $125 \text{kg}/\text{a}$ 。排风管道更换的下的废活性炭含有放射性核素也属于放射性废物，活性炭装置填装量 25kg ，平均每半年更换一次，产生量为 $50 \text{kg}/\text{a}$ 。

9.2.2 PET 和 SPECT 配套 CT 污染源项

本项目 PET 和 SPECT 配套 CT 为 III 类射线装置。由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。医院使用的 X 射线装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，PET 和 SPECT 配套 CT 污染因子主要为 X 射线。

9.2.3 运行期非放射性污染物

(1) 废水

本项目非放射性废水主要为工作人员生活污水，生活污水以每人100L/d计，本项目新增工作人员为10人，年工作250天，则生活污水产生量为250m³/a。

(2) 固废

非放射性固废主要为工作人员办公产生的生活垃圾，产生量以每人0.5kg/d计，本项目新增工作人员为14人，年工作250天，则生活垃圾产生量为1750kg/a。

(3) 噪声

噪声主要风机噪声，噪声源强约65dB(A)。

(4) 废气

本项目 PEC/CT 和 SPECT/CT 运行期产生的 X 射线与空气中的氧气发生作用，产生少量的臭氧和氮氧化物。

9.2.4 非正常工况污染源项描述

主要考虑电离辐射损伤和药物失控对环境的影响。

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

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

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

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目辐射安全防护设施

10.1.1 工作场所平面布局

本项目核医学科位于外产科大楼负一层，新增使用 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性同位素用于显像诊断。核医学科放射性区域包括储源室、分装注射室、注射等待室、废物间、洁具室、消耗品库房、卫生通过间、走道、运动负荷室、PET/CT 候诊室、SPECT/CT 候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、PET/CT 留观室、SPECT/CT 留观室兼抢救室、污洗间、患者走廊等，非放射性区域包括配套控制廊、设备间、医生办公室、阅片室、留置针室、问诊室、缓冲间、注射前等候区、医护走廊 1、医护走廊 2 等。

核医学科工作场所六面情况（东、南、西、北、上、下）如表 10-1 所示。

表 10-1 本项目工作场所周边布局一览表

所在区域	辐射场所	方位	周边房间及场所
外产科大楼负一层	核医学科工作场所	东	土层
		南	送风机房、缓冲走道、合用前室
		西	地下车库
		北	过道
		楼上	办公室、放射科机房
		楼下	土层

本项目核医学科位于外产科大楼负一层。本项目核医学科工作场所医护通道、患者通道、药物通道、污物通道出入口均设置独立门禁，无关人员不能直接进入。患者需通过电梯进入负一层，并在注射前等候区候诊，等待叫号后方能进入核医学科进行核素注射和显像诊断，注射后候诊室和留观室设置有患者专用厕所。核素操作工作人员通过卫生通过间进入分装注射室，卫生通过间包含更衣、淋浴功能并配备放射性 β 表面污染监测仪。整个工作场所相对独立且封闭，接诊等候、核素给药、扫描检查、工作人员办公区域划分明确，相对隔离，可以尽量避免公众和医护人员不必要的照射。本项目所在建筑有效避开了人员集中活动区，并同时兼顾了病员就诊的方便性，周围制约因素较小，本项目机房和场所已进行了相应的辐射屏蔽防护设计，本项目的开展通过辐射屏蔽措施后对周围环境影响较小。患者检查完成后，通过核医学科南侧患者出口进入楼梯离开核医学科至地面一层，地面一层出口处周边为院内道路，不设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。地理式衰变池组位于地下室外围东侧，放射性废水管线地理设置且避开周边公众区域，其路径设置也是合理可行的，满足《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)

中关于工作场所对于选址和布局的要求。

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

10.1.2 非密封放射性物质工作场所分级、分类

(1) 工作场所分级

项目核医学科设置于外产科大楼负一层。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 C 非密封放射性物质工作场所的分级规定，本项目核医学科使用的放射性核素日等效最大操作量计算结果见下表。

表 10-2 本项目核医学科放射性药物日最大等效操作量计算表

项目名称	SPECT/CT 显像诊断项目	PET/CT 显像诊断项目	
核素名称	^{99m} Tc (用药)	¹⁸ F (用药)	¹⁸ F (备药)
日最大操作量/Bq	1.3875×10 ¹⁰	3.70×10 ⁹	1.48×10 ¹⁰
毒性分组	低毒	低毒	低毒
毒性组别修正	0.01	0.01	0.01
性状	溶液	溶液	溶液
操作方式	很简单操作	很简单操作	源的贮存
方式与状态修正因子	10	10	100
日等效最大操作量/Bq	1.3875×10 ⁷	3.70×10 ⁶	1.48×10 ⁶
		5.18×10 ⁶	
合计	1.9055×10 ⁷		

整个核医学科工作场所经计算日等效最大操作量为 1.9055×10⁷Bq，属于豁免活度值以上~2×10⁷Bq 的范围。故本项目核医学科工作场所属于丙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)附录 G 核医学的工作场所分类，根据日操作最大量放射性核素的加权活度将场所分为三级，见表 10-3。

表 10-3 核医学工作场所分类一览表

分类	日操作最大量放射性核素发的加权活度，MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50

注：加权活度=(计划的日最大操作活度×核素毒性权重因子)/操作性质修正因子

本项目放射性核素毒性权重因子和操作性质修正因子见表 10-4 和 10-5。

表 10-4 核医学科常用放射性核素毒性权重因子

类别	放射性核素	权重系数
A	⁷⁵ Se、 ⁸⁹ Sr、 ¹²⁵ I、 ¹³¹ I、 ²³ P、 ⁹⁰ Y、 ⁹⁹ Mo、 ¹⁵³ Sm	100
B	¹¹ C、 ¹³ N、 ¹³ O、 ¹⁸ F、 ⁵¹ Cr、 ⁶⁸ Ga、 ^{99m} Tc、 ¹¹¹ In、 ¹¹³ In ^m 、 ¹²³ I、 ²⁰¹ Tl	1
C	¹⁴ C、 ³ H、 ⁸¹ Kr ^m 、 ¹²⁷ Xe、 ¹³³ Xe	0.01

表 10-5 不同操作性质的修正因子

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

按照表 10-4 和 10-5，本项目核医学科核素权重活度计算结果见表 10-6。

表 10-6 非密封放射性物质（核素）加权活度

工作场所	核素	毒性权重因子	操作性质修正因子	日操作最大活度 (Bq)	放射性核素加权活度 (Bq)	总加权活度 (Bq)	场所分类
储源室	¹⁸ F	1	100	1.48×10 ¹⁰	1.48×10 ⁸	2.8675×10 ⁸	II类
	^{99m} Tc	1	100	1.3875×10 ¹⁰	1.3875×10 ⁸		
废物间	¹⁸ F	1	10	3.70×10 ⁸	3.70×10 ⁷	5.0875×10 ⁷	II类
	^{99m} Tc	1	10	1.3875×10 ⁸	1.3875×10 ⁷		
分装注射室	¹⁸ F	1	1	3.70×10 ⁹	3.70×10 ⁹	1.7575×10 ¹⁰	II类
	^{99m} Tc	1	1	1.3875×10 ¹⁰	1.3875×10 ¹⁰		
PET/CT 机房	¹⁸ F	1	10	3.70×10 ⁹	3.70×10 ⁸	3.70×10 ⁸	II类
PET/CT 候诊室	¹⁸ F	1	10	3.70×10 ⁹	3.70×10 ⁸	3.70×10 ⁸	II类
SPECT/CT 机房	^{99m} Tc	1	10	1.3875×10 ¹⁰	1.3875×10 ⁹	1.3875×10 ⁹	II类
SPECT/CT 候诊室	^{99m} Tc	1	10	1.3875×10 ¹⁰	1.3875×10 ⁹	1.3875×10 ⁹	II类
PET/CT 留观室	¹⁸ F	1	10	3.70×10 ⁹	3.70×10 ⁸	3.70×10 ⁸	II类
SPECT/CT 留观室兼抢救室	^{99m} Tc	1	10	1.3875×10 ¹⁰	1.3875×10 ⁹	1.3875×10 ⁹	II类

对照《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)中关于“不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求”，各类工作场所要求见下表。

表 10-7 不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要

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

综上所述，通过计算分析，核医学科工作场所

储源室、分装注射室、废物间、PET/CT 候诊室、SPECT/CT 候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、PET/CT 留观室、SPECT/CT 留观室兼抢救室均为 II 类场所。

医院应按表 10-7 的要求，在辐射工作区的地面采取易清洁、不易渗透的材料，如 PVC 胶；墙面采取易清洁不易渗透的瓷砖，地板和墙壁接缝采用无缝隙设计；工作台表面采用易清洗的不锈钢材料；含放射性废液的排水管道在满足需要的情况下，尽量缩短管道长度，并做有标记。

10.1.3 工作场所分区原则和区域划分情况

（一）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。

（二）本项目控制区和监督区划分

控制区：将储源室、分装注射室、注射等待室、废物间、洁具室、消耗品库房、卫生通过间、走道、运动负荷室、PET/CT 候诊室、SPECT/CT 候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、PET/CT 留观室、SPECT/CT 留观室兼抢救室、污洗间、患者走廊等

划为控制区。在控制区的进出口及适当位置处设置醒目的电离辐射警告标志和工作状态指示灯。制定辐射安全防护管理制度，严格限制无关人员进出控制区，在正常工作过程中，区内不得有无关人员进入。

监督区：将控制廊、设备间、医生办公室、阅片室、留置针室、问诊室、缓冲间、注射前等候区、医护走廊 1、医护走廊 2、送风机房、缓冲走道、合用前室等划为监督区。对该区不采取专门防护手段安全措施，但要定期检测其辐射剂量率。在正常工作过程中，区内不得有无关人员滞留。具体划分情况见附图 5。

表 10-8 本项目控制区和监督区划分情况

场所	控制区	监督区
核医学科工作场所	储源室、分装注射室、注射等待室、废物间、洁具室、消耗品库房、卫生通过间、走道、运动负荷室、PET/CT候诊室、SPECT/CT候诊室、PET/CT机房、SPECT/CT机房、PET/CT留观室、SPECT/CT留观室兼抢救室、污洗间、患者走廊	控制廊、设备间、医生办公室、阅片室、留置针室、问诊室、缓冲间、注射前等候区、医护走廊 1、医护走廊 2、送风机房、缓冲走道、合用前室

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，项目建设单位应做到：

A、控制区防护手段与安全措施

- i) 控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志；
- ii) 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；
- iii) 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；

iv) 在进入注射室前卫生通过间应有个人防护用品、工作服、表面污染监测仪、消洗设施和被污染防护衣具的贮存柜等；

v) 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。

B、监督区防护手段与安全措施

- i) 以黄线警示监督区的边界；
- ii) 在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；
- iii) 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。

10.1.5 核医学科工作场所屏蔽设计

本项目核医学科工作场所辐射防护屏蔽设计参数表见表 10-9。

表 10-9 核医学科工作场所屏蔽设计参数

名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
分装注射室	四侧墙体	300mm 混凝土
	顶棚	160mm 混凝土
	防护门	4mmPb 铅板
	SPECT/CT 注射窗	10mmPb 铅玻璃
	PET/CT 注射窗	40mmPb 铅玻璃
储源室、废物间、 洁具室、卫生通 过间、消耗品库 房	四侧墙体	300mm 混凝土
	顶棚	160mm 混凝土
	防护门	4mmPb 铅板
运动负荷室	四侧墙体	300mm 混凝土
	顶棚	160mm 混凝土
	防护门	4mmPb 铅板
PET/CT 候诊室 (含卫生间)	四侧墙体	300mm 混凝土
	顶棚	300mm 混凝土
	防护门	9mmPb 铅板
SPECT/CT 候诊 室 (含卫生间)	四侧墙体	300mm 混凝土
	顶棚	300mm 混凝土
	防护门	4mmPb 铅板
PET/CT 机房	四面墙体	300mm 混凝土
	顶棚	250mm 混凝土
	防护门	9mmPb 铅板
	观察窗	9mmPb 铅玻璃
SPECT/CT 机房	四周墙体	300mm 混凝土
	顶棚	250mm 混凝土
	防护门	4mmPb 铅板
	观察窗	4mmPb 铅玻璃
污洗间	四侧墙体	300mm 混凝土
	顶棚	160mm 混凝土
	防护门	4mmPb 铅板
SPECT/CT 留观 室兼抢救室	四侧墙体	300mm 混凝土
	顶棚	160mm 混凝土
	防护门	4mmPb 铅板
PET/CT 留观室 (含卫生间)	四侧墙体	300mm 混凝土
	顶棚	160mm 混凝土
	防护门	5mmPb 铅板
患者通道	四侧墙体	300mm 混凝土
	顶棚	160mm 混凝土
	防护门	8mmPb 铅板

注：混凝土密度不低于 2.35g/cm³。

10.1.6 核医学科辐射安全和防护、环保相关设施

(1) 注射室内安全防护措施

分装注射室防护门均设置电离辐射警告标志，分装注射室内通风橱、废物桶等辐射设施同样设置电离辐射警告标志；放射性药物 ¹⁸F 和 ^{99m}Tc 在通风橱内进行自动分装，测活后即可在分装注射室铅屏蔽窗（PET/CT 注射防护窗 40mmPb，SPECT/CT 注射防护窗 10mmPb）的屏蔽下为病人静脉注射。PET/CT 通风橱采取 50mmPb 当量的防护厚度，SPECT/CT 通风橱采取 20mmPb 当量的防护厚度，通风橱通风速率不小于 0.5m/s；操作台下面设置脚踏式放射性废物桶，用于收集含放射性药物的固废；分装注射室与候诊区之间设置叫号系统；注射室配置注射防护窗、注射器防护套等防护用品；辐射工作人员进入注射室前设置卫生通过间，卫生通过间设置有去污工具组和淋浴设施；设置个人防护用品，防护铅当量不低于 0.5mmPb；储源室保险柜实行视频监控和双人双锁管理，并做好防火、防盗措施。对于核素种类、生产单位、活度、出入库使用及注销等，严格登记建档。

(2) 放射性药物操作过程防护

在进行放射性药物的测活和注射时首先做好个人防护，包括穿铅橡胶防护衣，铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅橡胶帽子等，由护士将药物从储源室转入注射室通风橱内。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。病人注射时，护士位于注射室内，病人位于注射窗另一侧，PET/CT 注射防护窗 40mmPb，SPECT/CT 注射防护窗 10mmPb。

(3) 机房、候诊室和留观室内安全防护措施

PET/CT 和 SPECT/CT 机房门外均应设置电离辐射警告标志、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句。防护门设置有曝光时关闭机房门的管理措施，包括工作状态指示灯与机房门联锁等安全设施。设备处于工作状态时，工作人员防护门和患者防护门外顶部的工作状态指示灯亮，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，警示非工作人员不得入内；防护门外设置有黄色警戒线，警告无关人员请勿靠近。

PET/CT、SPECT/CT 机房与控制廊之间均设置观察窗和对讲装置；控制廊与注射后候诊室、留观室均设置视频监控系统 and 双向对讲装置；注射后候诊室设置 2 个座位，留观室设置 1 张床位，严禁病患随意活动，严禁在通道内穿行，以避免与其他受检者之间的交叉照射；注射后候诊室与留观室设置专用厕所，并设置感应式水龙头和节水坐便

器，废水收集至衰变池衰变处理。

(4) 工作场所表面污染控制与防护

①工作场所分区管理

本项目按照开展临床核医学项目非密封性放射性同位素的种类及用量，对工作场所进行了划分，从非活性区进出活性工作区需经卫生通过间，并在卫生通过间内设置检测区和消洗设施，检测区内配备表面污染监测仪等检测设备。

②工作场所表面污染防治

涉及放射性药物操作的工作场所墙面与地面交接作圆角处理，地面全部敷设易去污并可以拆除更换的材料，其边缘应高出地面 15~25cm，且地面光滑，并具有易去污，受辐照后不易老化，防水等特点。

放射性药物的操作均在注射室通风橱内进行，通风橱内操作台面光滑、平整、易于清洗去污。所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。

(5) 工作人员的防护措施

辐射工作人员进入分装注射室需经卫生通过间更换服装，并穿戴铅橡胶防护衣，铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅橡胶帽子等个人防护用品。本项目在分装注射室为核素操作工作人员配备 2 台个人剂量报警仪，当场所辐射剂量超过报警仪设定阈值后自动报警。工作人员离开注射室，需经卫生通过间，清洗、更衣、并对手部等体表部位进行污染测定，确认未受放射污染，方可离开。如果发现污染，工作服需进行清洗、处理，经清洗消除污染后，需再次监测，直至污染达到标准限值以下后方可使用；皮肤、手部等体表部位污染，需至卫生通过间内进行清洗、处理，经清洗消除污染后，需再次监测，直至污染达到标准限值以下后方可离开。

(6) 对受检者的防护

受检者根据预约按时来院，在分装注射室接受注射药物，到指定地点候诊、检查，不应随意走动，并在受检者专用厕所如厕。检查完毕由专门出口处离开，尽量减少对其他人员的影响。

为防止无关人员进入控制区，核医学科内部控制区患者走廊入口的防护门、检查出口防护门设置为带门禁系统的单向门，实现“入口受检者只入不出、出口受检者只出不入”，避免无关人员进入控制区。同时患者进口和出口设置视频监控装置。

(7) 内照射防护措施

操作非密封型放射性药物时，液体洒落、挥发泄漏造成地面、工作台面、操作人员

衣服、手套和空气等污染，污染的表面一方面成为外照射的辐射源，一方面通过皮肤渗透、呼吸、进食使放射性物质进入体内形成内照射。

为降低内照射对工作场所内辐射工作人员的影响，本项目要求放射性药物暂存、分装、测活均在通风橱中进行，通风橱通风速率不低于 0.5m/s。分装注射室设有 PET/CT 和 SPECT/CT 通风橱，可以有效降低分装注射室内空气中的放射性物质浓度。严格规范辐射工作人员工作和生活习惯，禁止在核医学科场所饮食、饮水、化妆等；辐射工作人员定期进行培训，严格按照操作规程操作，尽量避免放射性药物撒漏，并经常用湿法清洁台面、地面及设备表面。严格遵守个人卫生制度和操作规程，穿戴铅橡胶防护服，铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅橡胶帽子等个人防护用品，防止放射性核素沾染手和体表。辐射工作人员离开核医学科在卫生通过间进行必要的表污监测和污染洗消后才能离开。

(8) 放射性药物的存放

本项目核医学科使用的放射性药物 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分别置于药商提供的防护罐 ($\geq 40\text{mmPb}$) 中，由供应单位派专人直接送至储源室暂存。

储源室门锁和保险柜实行双人双锁管理，并做好防火、防盗措施。放射性药物需要使用时，由专职人员进行登记出入库；日常期间由值班人员巡视检查；出入口安装摄像头，并入科室监控系统。

(9) 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，患者要与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在病人注射后休息室内驻留，医院需要划定专门的陪护人员等候区并尽量远离非密封源工作场所，同时要求患者在注射后在注射后休息室静候。

(10) 监测仪器及防护用品/设施配置

根据建设单位提供资料，本项目核医学科拟新增防护用品详见表 10-10。

表 10-10 核医学科拟配置的防护用品/设施一览表

序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
1	通风橱	分装注射室	2 台	^{18}F : 50mmPb; $^{99\text{m}}\text{Tc}$: 20mmPb
2	铅防护罐	储源室	2 个	40mmPb
3	PET/CT 注射防护窗	分装注射室	1 台	40mmPb
4	SPECT/CT 注射防护窗	分装注射室	1 台	10mmPb
5	放射性废物桶	分装注射室、PET/CT 候诊室、SPECT/CT 候诊	6 个	^{18}F : 20mmPb; $^{99\text{m}}\text{Tc}$: 5mmPb

		室、PET/CT 留观室、SPECT/CT 留观室兼抢救室		
6	放射性废物衰变箱	废物间	2 个	30mmPb
7	注射器防护套	分装注射室	2 个	¹⁸ F: 15mmPb; ^{99m} Tc: 5mmPb
8	正电子药物注射器转运罐	分装注射室	2 个	15mmPb
9	^{99m} Tc 注射器转运罐	分装注射室	2 个	9mmPb
10	放射性药物注射车	分装注射室	1 个	3mmPb
11	移动式防护铅屏风	PET/CT 机房、SPECT/CT 机房	2 个	¹⁸ F: 10mmPb; ^{99m} Tc: 6mmPb
12	移动式防护铅屏风	PET 候诊室	1 个	6mmPb
13	移动式防护铅屏风	SPECT/CT 候诊室	1 个	2mmPb
14	自动分装仪	分装注射室	2 个	/
15	个人剂量报警仪	分装注射室	2 台	/
16	表面污染仪、X-γ 辐射剂量率仪	卫生通过间	1 套	/
17	去污工具组	污洗间、洁具室	2 套	/
18	活度计	分装注射室	2 个	/
19	铅橡胶防护衣, 铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅橡胶帽子	分装注射室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房	4 套	0.5mmPb
20	工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	/	按需购买	/
21	个人剂量计	/	10 枚	/

本项目核医学科运行期间主要污染物为 X 射线、γ 射线、β 表面污染等。根据项目特点, 医院拟配置 β 表面污染仪、X-γ 辐射剂量率仪, 项目配备的监测仪器符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对监测仪器的配置要求。

10.2 辐射安全防护措施的可行性

结合《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序(第三版)》和《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)》(川环函[2016]1400 号)中的相关检查内容, 将本项目在设计阶段拟采取的上述防护措施汇总列入表 10-11。

表 10-11 本项目设计阶段拟采取的安全防护措施汇总表

一、PET/CT 和 SPECT/CT 工作场所			
项目	检查内容	设计内容	符合情况
场所设施	隔室操作	已设计	符合
	观察窗防护	已设计	符合
	门防护	已设计	符合
	候诊位设置	已设计	符合

	辅助防护用品	拟配备	符合
	通风设施	已设计	符合
	入口处电离辐射警告标志	拟配备	符合
	入口处工作状态显示	拟配备	符合
其它	个人剂量计	拟配备	符合
二、非密封放射性物质			
场所设施	分区管理	拟执行	符合
	场所门外电离辐射警示标志	已设计	符合
	通风设施	已设计	符合
	注射用屏蔽设施	已设计	符合
	病人专用卫生间	已设计	符合
	患者进出口单向门禁	已设计	符合
其它	门外电离辐射警示标志	拟配备	符合
	储源场所防火、防水、防盗、防丢失、防破坏措施	拟配备	符合
	通风橱	拟配备	符合
三、其它			
监测设备	便携式辐射剂量仪 (污染、辐射水平等)	拟配置	符合
	个人剂量计	拟配置	符合
放射性废液和放射性废物	放射性下水及标识(衰变池)	已设计	符合
	放射性废物暂存间, 防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄露措施	已设计	符合
	放射性固体废物收集容器、标识、标签	拟配备	符合
防护器材	个人防护用品	拟配备	符合
	放射性表面去污用品和试剂	拟配备	符合

从表 10-11 可见, 本次环评涉及的辐射设备、工作场所及其人员拟采取的辐射安全措施符合《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序(第三版)》、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 等相关文件的要求。根据“表 11”中的预测结果, 本项目在正常运行工况下, 产生的辐射经按设计方案建设的屏蔽实体以及个人防护用品屏蔽后, 所致工作人员的职业照射剂量和公众照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 和本次评价标准的要求, 说明各辐射工作场所拟用的屏蔽材料和防护厚度是满足屏蔽防护要求的。综上所述, 按设计方案建设的各辐射工作场所, 其拟采

用的防护措施能够有效屏蔽各自辐射源产生的射线，符合相关标准要求。环评认为，本项目拟建的各辐射工作场所及其拟采取辐射安全防护措施是合理可行的。

10.3 放射性“三废”的治理

本项目运行期产生的主要放射性三废为核医学工作场所使用非密封性同位素过程中产生的含放射性固废、放射性废水和放射性废气，医院拟采取以下“三废”治理措施。

10.3.1 放射性废气

本项目设有三个独立的排风管道，1号排风管道单独连接分装注射室的通风橱（ ^{18}F 专用），排放风速不低于0.5m/s；2号排风管道单独连接分装注射室的通风橱（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 专用），排放风速不低于0.5m/s；3号排风管道单独连接储源室、分装注射室、注射等待室、废物间、洁具室、消耗品库房、卫生通过间、走道、运动负荷室、PET/CT候诊室、SPECT/CT候诊室、PET/CT机房、SPECT/CT机房、PET/CT留观室、SPECT/CT留观室兼抢救室、污洗间、患者走廊等房间。

各排风管内保持负压，拟安装防回流装置。核医学科产生的废气经由排风系统排至外产科大楼楼顶，排气口高于屋脊3m，同时在排风口配置高效过滤器+活性炭过滤器二级处理设施（净化效率99%）并做防雨防风倒灌措施。排风口和送风口均设置风量调节阀，通过调节风量保证控制区内为负压，空气流动由低浓度向高浓度区的流向。通风管道布置如附图7所示。

本项目放射性废气经活性炭装置吸附处理后对周围环境影响是可以接受的，因此项目排风设计满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）关于通风的要求。

表 10-12 本项目核医学科核素诊断治疗场所排风设计表

排风管编号		排风房间	净化装置	排放位置
核医学科	1号排风管道	单独连接分装注射室的通风橱（ ^{18}F 专用）	配置高效过滤器+活性炭过滤器二级处理设施，净化效率99%	废气经由排风系统排至外产科大楼楼顶，排气口高于屋脊3m，高度约62m
	2号排风管道	单独连接分装注射室的通风橱（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 专用）		
	3号排风管道	单独连接储源室、分装注射室、注射等待室、废物间、洁具室、消耗品库房、卫生通过间、走道、运动负荷室、PET/CT候诊室、SPECT/CT候诊室、PET/CT机房、SPECT/CT机房、PET/CT留观室、SPECT/CT留观室兼抢救室、污洗间、患者走廊等房间		

10.3.2 放射性废水

本项目核医学科产生的放射废水包括：含放射性核素的清洗废水和注射药物后的患者候诊、留观期间产生的含放射性核素排泄的卫生间下水。

本项目核医学科放射性废水处理间设置在地下室外围东侧，由 300mm 厚混凝土浇筑。放射性废水处理间内放置三个并联的相同体积的地理式衰变池，每个衰变池容积约为 10m^3 ($1.7\text{m}\times 1.7\text{m}\times 3.5\text{m}$)。衰变池池底、池壁和顶盖采用 300mm 厚混凝土，池壁和池底满足坚固、耐酸碱和防泄露的要求，放射性废水经衰变池衰变后排入医院废水处理站，进一步处理后纳入市政污水管网。

衰变池通过放射性废水管线收集放射性废水，放射性废水管线地埋设置且避开周边公众区域。衰变池采用并联排放，通过控制系统切换并联运行。放射性废水先进入一号衰变池，当一号衰变池的液位到达控制液位，控制柜控制一号衰变池的进池污水管电磁阀关闭，开启二号衰变池的进池污水管电磁阀，污水排入二号衰变池内。当二号衰变池的液位到达控制液位时，控制柜控制二号衰变池的进池污水管电磁阀关闭，开启三号衰变池的进池污水管电磁阀，污水排入三号衰变池内。当三号衰变池的液位到达控制液位时，控制柜开启一号衰变池的排污泵，排出一号衰变池的污水。经过衰变后的废水排入医院废水处理站，进一步处理后纳入市政污水管网。放射性废水管道拟采用镀锌钢管并用 1.5mmPb 防护涂料包裹进行屏蔽防护，衰变池与核医学科距离较近，可以最大程度上缩短放射性废水收集管线距离，有利于辐射防护与安全。

10.3.3 放射性固废

本项目核医学科新增放射性固体废物主要为PET/CT和SPECT/CT显像诊断过程中产生的注射器、针头、手套、药棉、药瓶、破损杯皿、擦拭污染地面的物品。放射性药物根据诊断计划按需订购，不会产生剩余放射性药物。针对该部分污染物，建设单位拟采取以下处理方案：

①在分装注射室设置 2 个放射性废物桶，在 PET/CT 候诊室、SPECT/CT 候诊室、PET/CT 留观室、SPECT/CT 留观室兼抢救室各设置 1 个放射性废物桶，用于收集核素放射性固废。放射性废物桶内放置塑料袋，其位置应避开工作人员和经常走动的区域；对注射器和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。每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h ，重量不超过 20kg。

②每日工作结束后，将当日产生的废物分类转移至废物间 30mmPb 放射性废物衰

变箱内，每袋放射性固废须注明核素种类、转入时间，做好台账记录。

③待储存 10 个以上半衰期，经监测满足清洁解控水平经审管部门确认或批准后，作为一般医疗废物进行处理。

④放射性药物均根据诊断计划按需订购，一般不会产生剩余放射性药物，如出现放射性药物购买过量用不完的情况，可将药物连同铅罐放置于废物间，放置衰变的方式贮存 10 个以上半衰期后，最终排入衰变池衰变处理。

医院应做到：

①严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，应力求控制和减少放射性废物产生量。

②对所有放射性固体废物采用先分类收集在各自相关工作场所的专用废物桶内，再将放射性废物桶内的固体废弃物连同垃圾袋分期存放到废物间放射性废物衰变箱内，集中收储一段时间后再分类处理。

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“放射性固体废物贮存单位应当建立放射性固体废物贮存情况记录档案，如实完整地记录贮存的放射性固体废物的来源、数量、特征、贮存位置、清洁解控、送交处置等与贮存活动有关的事项”等相关规定。

10.4 非放射性污染防治措施

（1）废水

本项目新增工作人员会产生少量生活污水，生活污水经新建污水处理站处理达标后排入周边市政污水管网。

（2）废气

本项目非放射性废气主要为 PET/CT 和 SPECT/CT 在运行过程中会产生少量的臭氧和氮氧化物。本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 机房设计采用机械通风换气，通风次数均不低于 4 次/h。

（3）固废

非放射性固废主要为生活垃圾。固废实行分类收集和处理，生活垃圾依托医院已有生活垃圾收集措施收集后经环卫部门定期清运。

（4）噪声

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机，各机房所使用的通排风系统均为低噪声

节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值一般低于65dB(A)，噪声较小，且所有风机均设置在楼顶或风机房室内，考虑到噪声的远距离衰减作用，无需采用专门的降噪措施，对周围环境影响甚微。

(5) 射线装置报废处理

根据《四川省辐射污染防治条例》，“射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化”。环评要求：本项目使用的 PET/CT 和 SPECT/CT 在进行报废处理时，将射线装置高压射线管进行拆卸并去功能化，同时将射线装置主机的电源线绞断，使射线装置不能正常通电，防止二次通电使用，造成误照射。

10.5 环保投资估算

本项目总投资约 3300 万元，估算环保投资 166 万元，占总投资额的5.03%。项目环保投资估算见表 10-13。

表 10-13 环保设施及投资估算一览表

环保设施		数量	投资（万元）	
核医学科 工作场所	辐射屏蔽措施	防护墙体屏蔽施工（含铅防护门、观察窗）	/	80
	防护设备	通风橱	2 台	25
		防护注射窗	2 台	8
		活度计	2 个	1
		自动分装仪	2 个	5
		注射器防护套	2 个	4
		放射性废物桶	6 个	3
		放射性废物衰变箱	2 个	3
		移动式防护铅屏风	4 个	2
		铅橡胶防护衣，铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅橡胶帽子	6 套	1.5
		个人剂量计	10 枚	0.5
		工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	若干	0.5
	去污工具组	2 套	1	
	监测仪器及警示装置	表面污染监测仪	1 台	2
		个人剂量报警仪	2 台	1
		电离辐射警告标志、监督区、控制区标识	若干	0.5
		对讲和视频监控系统	2 套	4
		门禁系统	1 套	5
	废水	设置 1 套放射性废水衰变池组及配套收集放射性废水管线；衰变池组拟建于地下室外围东侧，共设 3 个相同体积的地理式衰变池，每个有效容积为 8m ³ 。衰变池池底、池壁和	1 套	15

		顶盖采用 300mm 厚混凝土，衰变池池壁和池底均做防渗防腐处理。		
废气		核医学科设有3条排风管道，1号排风管道单独连接分装注射室的通风橱（ ¹⁸ F专用），排放风速不低于0.5m/s；2号排风管道单独连接分装注射室的通风橱（ ^{99m} Tc专用），排放风速不低于0.5m/s；3号排风管道单独连接储源室、分装注射室、注射等待室、废物间、洁具室、消耗品库房、卫生通过间、走道、运动负荷室、PET/CT候诊室、SPECT/CT候诊室、PET/CT机房、SPECT/CT机房、PET/CT留观室、SPECT/CT留观室兼抢救室、污洗间、患者走廊等房间。 各排风管内保持负压，拟安装防回流装置。 核医学科产生的废气经由排风系统排至外产科大楼楼顶，排气口高于屋脊3m，同时在排风口配置高效过滤器+活性炭过滤器二级处理设施（净化效率99%）并做防雨防风倒灌措施。	1 套	12
固废		本项目产生的放射性废物暂存于废物间，经衰变 10 个半衰期以上后达到清洁解控水平，作为医疗废物处理。医疗废物采用专门的收集容器收集后，转移至医院现有医疗废物暂存间，作为医疗废物处理。配备放射性废物桶：20mmPb 当量，3 个；5mmPb 当量，3 个。放射性废物衰变箱：30mmPb 当量，2 个。本项目工作人员产生的生活垃圾集中收集后交由环卫部门统一清运。更换的活性炭应暂存于废物间衰变 10 个半衰期后按一般医疗固废进行处置。		
合计				166

今后在实践中，医院应根据国家发布的法规内容，结合自身实际情况对环保设施做相应补充，使之更能满足实际需要和法规要求。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 施工期环境影响分析

江油市人民医院委托编制了《江油市人民医院新建外产科大楼建设项目环境影响评价报告表》，该报告表的批复号为江环审批[2020]15号。有关主体工程施工期环境影响内容详见《江油市人民医院新建外产科大楼建设项目环境影响评价报告表》有关章节，本次评价不再做相关的环境影响评价。

11.1.2 设备安装调试期间的环境影响分析

环评要求设备的安装、调试应请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。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。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 β 射线辐射影响分析

(1) β 射线影响分析

本项目涉及使用的 ^{18}F 核素在衰变过程中会有 β 射线，根据《放射防护实用手册》(主编：赵兰才、张丹枫)， β 射线在介质中的射程可采用下式计算：

$$(式 11-1) \quad d = \frac{1}{2\rho} E_{MAX}$$

式中：

d—最大射程，cm；

ρ —屏蔽材料密度， g/cm^3 ；

E_{MAX} — β 粒子的最大能量，MeV。

表 11-1 各核素 β 射线在屏蔽材料中理论最大射程

核素	^{18}F
β 射线能量 (MeV)	0.63
空气密度 (g/cm^3)	1.29×10^{-3}

空气中的射程 (cm)	244.19
铅密度 (g/cm ³)	11.34
铅中的射程 (cm)	0.03
铅玻璃密度 (g/cm ³)	4.6
铅玻璃中射程 (cm)	0.07

本项目涉及使用的 ¹⁸F 核素在整个过程中均采取了有效的屏蔽措施屏蔽 β 射线，同时在整个使用过程中职业人员还穿戴有 0.5mmPb 的铅橡胶防护衣，且公众与放射性核素之间采取距离隔离措施，因此 β 射线对职业人员和公众辐射影响是很小的。

(2) β 表面污染

β 表面沾污的影响主要来源于核素操作工作人员操作时，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、转移等易产生放射性物质逸出或飞散的操作，其操作须在通风橱内进行；
- 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。

11.2.2 γ 射线辐射影响分析

(1) 诊断人数及使用量

SPECT/CT 显像诊断：^{99m}Tc，日最大诊疗人数为 15 人，医院全年工作 250 天，因此 SPECT/CT 每年诊断人数为 3750 人，每人每次核素最大使用量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)。

PET/CT显像诊断：¹⁸F，日最大诊疗人数为 10 人，医院全年工作 250 天，因此PET/CT 每年诊断人数为 2500 人，每人每次核素最大使用量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}(10\text{mCi})$ 。考虑到 ¹⁸F 半衰期较短，为保证每批次最后一位患者注射 ¹⁸F 药物量为 10mCi，拟采取增加放射性药物出厂活度的方式确保活度满足使用要求，即要考虑放射性药物的使用量和备用量。按照 ¹⁸F 放射性药物使用量的 4 倍进行备药。

(2) 关注点处 γ 剂量率计算参数选取及计算公式

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

核素操作场所屏蔽计算公式参考《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)，辐射剂量率估算公式为：

$$H=10^{-X/TVL} \cdot A \cdot \Gamma / R^2 \quad (\text{式 11-2})$$

式中：

H ——屏蔽体外关注点剂量率，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ；

X ——屏蔽厚度，单位为 mm；

A ——单个患者或受检者所用放射源的最大活度，单位为 MBq；

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

R ——参考点与放射源间的距离，m。

表 11-2 本项目涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	¹⁸ F	^{99m} Tc
铅什值层厚度 TVL ($\rho=11.3\text{t/m}^3$)	16.6mm	1mm
混凝土什值层厚度 TVL ($\rho=2.35\text{t/m}^3$)	176mm	110mm
周围剂量当量率常数 (裸源) $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$	0.143	0.0303
患者体外 1m 处的周围剂量当量率 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$	0.092	0.0207

注：以上数据来源于《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 附录 H。

居留因子参照《放射治疗放射防护要求》(GBZ121—2020) 选取，具体数值见表 11-3。

表 11-3 停留因子的选取

场所	居留因子 (T)		停留位置
	典型值	范围	
全停留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区

部分停留	1/4	1/2-1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然停留	1/16	1/8-1/40	1/8: 各治疗室房门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场, 车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

(3) 工作场所辐射水平分析及预测

①储源室及废物间

项目使用的放射性药物 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 由医院根据与病人预约情况向药物供应商订货, 由药物供应商将药物放置于 40mmPb 铅罐, 送至储源室暂存待用。储源室四侧墙体为 300mm 混凝土, 顶棚为 160mm 混凝土, 防护门为 4mmPb。

本项目工作场所放射性固体废物所沾染的放射性核素量保守按照操作核素总活度的 1% 考虑, 放射性固废暂存于废物间, 废物间四侧墙体为 300mm 混凝土, 顶棚为 160mm 混凝土, 防护门为 4mmPb。

②分装注射室

放射性药物 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 给药前的相关操作均在通风橱内进行, 距离通风橱 0.5m 处操作, 药物由医院自动分装, 经测活后即可注射。

放射性药物 ^{18}F 注射时, 药物置于 15mmPb 注射器防护套内, 在 40mmPb 的注射窗后进行, 距离注射窗约 0.5m, 并穿戴有 0.5mmPb 防护衣。放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射时, 药物置于 5mmPb 注射器防护套内, 在 10mmPb 的注射窗后进行, 距离注射窗约 0.5m, 并穿戴有 0.5mmPb 防护衣。

③扫描机房、注射后候诊室及留观室

根据医院提供的资料, 本项目 PET/CT 候诊室内设置 2 个座位, SPECT/CT 候诊室内设置 2 个座位, SPECT/CT 留观室兼抢救室内设置 1 张床位, PET/CT 留观室内设置 1 张床位。

PET/CT 每次仅能扫描一个病人, ^{18}F 扫描病人注射药物经过一段时间的等待, 药物活度已经小于 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi) ^{18}F , 偏保守的角度仍按单个病人 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi) ^{18}F 点源计算。则 PET/CT 机房源强总活度为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)。

PET/CT 候诊室内最多同时容纳 2 个病人, 则 PET/CT 候诊室源强总活度为 $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ (20mCi)。PET/CT 留观室内最多同时容纳 1 个病人, 则 PET/CT 留观室源强总活度为 $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ (20mCi)。

SPECT/CT每次仅能扫描一个病人，^{99m}Tc扫描病人注射药物经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)，偏保守的角度仍按单个患者 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi) ^{99m}Tc的点源计算。则SPECT/CT机房源强总活度为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)。

SPECT/CT候诊室内最多同时容纳 2 个病人，则PET/CT候诊室源强总活度为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ (50mCi)。SPECT/CT留观室内最多同时容纳 1 个病人，则SPECT/CT留观室源强总活度为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)。

④SPECT/CT留观室兼抢救室

如发生紧急情况，可在SPECT/CT留观室兼抢救室对病人进行抢救，抢救时间按照 30 分钟考虑，1 年内抢救事件不超过 10 次，医生接触受检者的整个过程中均穿戴 0.5mmPb个人防护用具。

⑤机房摆位人员

PET/CT 和 SPECT/CT 摆位过程工作人员穿着 0.5mmPb 当量的铅橡胶防护衣，在防护屏风 (PET/CT 机房为 10mm 铅当量，SPECT/CT 机房 6mm 铅当量) 后进行摆位工作，按身体距离患者约 100cm 进行估算。

⑥患者通道

患者走廊可能存在使用 ^{99m}Tc、¹⁸F 的患者，以照射量常数及什值层厚度最大的核素 ¹⁸F 进行估算。注射 ¹⁸F 的患者患者注射药物经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，偏保守的角度仍按单个患者 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi) 点源计算。

本项目核医学科计算关注点位图详见图 11-1。

表 11-4 核医学科工作场所 γ 辐射剂量率计算结果

序号	位置		距离 (m)	源强	屏蔽厚度	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	分装注射室	通风橱、取药位	0.05	¹⁸ F: $1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$	40mmPb铅罐 +50mmPb通风橱 +0.5mmPb铅橡胶围裙	2.99E+00
2			0.05	^{99m} Tc : $1.3875 \times 10^{10} \text{Bq}$	40mmPb铅罐 +20mmPb通风橱 +0.5mmPb铅橡胶围裙	5.32E-56
3		¹⁸ F 注射位	0.50	¹⁸ F: $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	0.5mmPb防护衣+40mmPb注射窗	7.69E-01
4		^{99m} Tc	0.50	^{99m} Tc : $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$	0.5mmPb防护	3.55E-09

		注射位			衣+10mmPb 注射窗		
5		北侧墙体外 30cm处	1.87	^{18}F : $1.48 \times 10^{10}\text{Bq}$	40mmPb铅罐 +50mmPb通 风橱+300mm 混凝土	1.13E-06	
6	注射等待室	顶棚 30cm处	7.20	^{18}F : $3.7 \times 10^8\text{Bq}$	160mm混凝土	1.26E-01	
7		西侧墙体外 30cm处	4.20	^{18}F : $3.7 \times 10^8\text{Bq}$	300mm混凝土	5.92E-02	
8	运动负荷室	顶棚 30cm处	7.20	$^{99\text{m}}\text{Tc}$: $9.25 \times 10^8\text{Bq}$	160mm混凝土	1.90E-02	
9	废物间	顶棚 30cm处	7.20	^{18}F : $3.70 \times 10^7\text{Bq}$	30mmPb衰变 箱+160mm混 凝土	1.96E-04	1.96E-04
				$^{99\text{m}}\text{Tc}$: $1.3875 \times 10^8\text{Bq}$		2.85E-33	
10	储源室	顶棚 30cm处	7.20	^{18}F : $1.48 \times 10^{10}\text{Bq}$	40mmPb铅罐 +160mm混 凝土	1.96E-02	1.96E-02
				$^{99\text{m}}\text{Tc}$: $1.3875 \times 10^{10}\text{Bq}$	40mmPb铅罐 +160mm混 凝土	2.85E-41	
11		西侧墙体外 30cm处	1.55	^{18}F : $1.48 \times 10^{10}\text{Bq}$	40mmPb铅罐 +300mm混 凝土	6.77E-02	6.77E-02
				$^{99\text{m}}\text{Tc}$: $1.3875 \times 10^{10}\text{Bq}$	40mmPb铅罐 +300mm混 凝土	3.28E-41	
12	SPECT/CT 留观室兼 抢救室	顶棚 30cm处	7.20	$^{99\text{m}}\text{Tc}$: $9.25 \times 10^8\text{Bq}$	160mm混凝土	1.30E-02	
13		西侧墙体外 30cm处	3.10	$^{99\text{m}}\text{Tc}$: $9.25 \times 10^8\text{Bq}$	300mm混凝土	3.73E-03	
14		抢救位	0.5	^{18}F : $3.7 \times 10^8\text{Bq}$	0.5mmPb铅橡 胶围裙	1.27E+02	
15	PET 候诊室	顶棚 30cm处	7.20	^{18}F : $7.4 \times 10^8\text{Bq}$	300mm混凝土	2.59E-02	
16		东侧墙体外	6.55	^{18}F : $7.4 \times 10^8\text{Bq}$	300mm混凝土	3.13E-02	

		30cm处				
17	SPECT/CT 候诊室	顶棚 30cm处	7.20	$^{99m}\text{Tc} : 9.25 \times 10^8 \text{Bq}$	300mm混凝土	1.38E-03
18		西侧墙体 外 30cm处	2.22	$^{99m}\text{Tc} : 9.25 \times 10^8 \text{Bq}$	300mm混凝土	1.46E-02
19	SPECT/CT 机房	顶棚 30cm处	7.20	$^{99m}\text{Tc} : 9.25 \times 10^8 \text{Bq}$	250mm混凝土	1.97E-03
20		医生 摆位 处	1.0	$^{99m}\text{Tc} : 9.25 \times 10^8 \text{Bq}$	6mm铅屏风 +0.5mmPb铅 橡胶围裙	6.05E-06
21		操作 位	6.55	$^{99m}\text{Tc} : 9.25 \times 10^8 \text{Bq}$	4mmPb当量 铅玻璃	4.46E-05
22	PET/CT 机 房	顶棚 30cm处	7.20	$^{18}\text{F} : 3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	250mm混凝土	2.49E-02
23		医生 摆位 处	1.0	$^{18}\text{F} : 3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	10mm铅屏风 +0.5mmPb铅 橡胶围裙	7.93E+00
24		操作 位	7.15	$^{18}\text{F} : 3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	9mmPb当量 铅玻璃	1.91E-01
25		东侧 墙体 外 30cm处	7.15	$^{18}\text{F} : 3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	300mm混凝土	1.31E-02
26		南侧 墙体 外 30cm处	3.8	$^{18}\text{F} : 3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	300mm混凝土	4.65E-02
27	PET/CT 留 观室	顶棚 30cm处	7.20	$^{18}\text{F} : 3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	160mm混凝土	2.31E-02
28		南侧 墙体 外 30cm处	2.27	$^{18}\text{F} : 3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	300mm混凝土	1.24E-02
29	患者走廊	顶棚 30cm处	7.20	$^{18}\text{F} : 3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	160mm混凝土	1.62E-01
30		西侧 墙体 外 30cm处	1.95	$^{18}\text{F} : 3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	300mm混凝土	3.54E-01

		处			
--	--	---	--	--	--

注：1-10 号点位剂量按照核素裸源周围剂量当量率考虑，其余点位剂量按照核素病人体外 1m 处的周围剂量当量率考虑。

由上表估算结果可知，核医学科工作场所通风橱外表面 5cm 处的周围剂量当量率为 2.99 μ Sv/h，小于 25 μ Sv/h；控制区外实体屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率最大为 0.354 μ Sv/h，小于 2.5 μ Sv/h；控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处周围剂量当量率最大为 7.93 μ Sv/h，小于 25 μ Sv/h，屏蔽设计满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的要求。项目对周围环境的辐射影响是可以接受的。

实际上，病人在注射后候诊室等待过程中，由于衰变作用导致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。

11.2.3 核医学 PET/CT 和 SPECT/CT 扫描间 CT 部分 X 射线影响

对于 PET/CT 和 SPECT/CT 机房，还需考虑 PET/CT 和 SPECT/CT 运行时产生的 X 射线的辐射屏蔽。依据建设单位提供机房防护设计方案，将机房各屏蔽体的主要技术参数列表分析，并根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对 X 射线机房防护设计的技术要求、最小有效使用面积及最小单边长度的要求，对本项目屏蔽措施进行对照分析，结果见表 11-5。

表 11-5 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	41.92m ² (6.55m×6.4m)	机房内最小有效使用面积 37.4m ² ，机房内最小单边长度 5.85m	符合	四侧墙体：300mm 混凝土 (3.8)	不小于 2.5mm 厚铅当量	符合
				顶棚：250mm 混凝土 (3.0)		符合
				防护门：9mmPb 铅板 (9.0)		符合
				观察窗：9mmPb 当量铅玻璃 (9.0)		符合
SPECT/CT 机房	46.2m ² (6.55m×5.95m)	机房内最小有效使用面积 38m ² ，机房内最小单边长度 5.35m	符合	四侧墙体：300mm 混凝土 (3.8)	不小于 2.5mm 厚铅当量	符合
				顶棚：250mm 混凝土 (3.0)		符合
				防护门：4mmPb 铅板 (4.0)		符合
				观察窗：4mmPb 当量铅玻璃 (4.0)		符合

注：混凝土密度 2.35 t/m³，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C，300mm 混凝土等效 3.8mmPb 进行铅当量折算，250mm 混凝土等效 3.0mmPb 进行铅当量折算。

通过表 11-5 可知，本项目的 PET/CT 和 SPECT/CT 机房面积、最小单边长度均大于标准要求，其四面墙体、顶棚、防护门以及观察窗均采取了辐射屏蔽措施，充分考虑了邻室（含楼上下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于有用线束和非有

用线束铅当量防护厚度标准规定值。从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关防护设施的技术要求。

因此可推断机房周围环境辐射水平能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“CT 机机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

11.2.4 个人有效剂量

(1) 本项目所致个人有效剂量

关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算，计算公式如下：

$$D_{Eff} = Dr \times t \times T \times U \quad (\text{式11-3})$$

式中：

D_{Eff} ——辐射外照射人均年有效剂量，Sv；

Dr ——辐射剂量率，Sv/h；

t ——年工作时间，h；

T ——居留因子；

U ——使用因子，放射性核素以点源考虑， U 取1。

(2) 辐射工作人员受照剂量估算

根据表11-4关注点处辐射剂量率，结合医院预估工作量，关注点处人员居留因子等参数，由上式计算即可得到核医学科建成后对职业人员所致的年有效剂量，见表11-6。

表11-6核医学科职业人员年有效剂量估算结果

工作场所类型	操作	核素	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv)	
护士	分装	^{18}F	2.99E+00 (1#)	1	41.7h (1min/次×10次 /d×250d)	1.25E-01	0.184/人
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	5.32E-56 (2#)	1	62.5h (1min/次×15次 /d×250d)	3.32E-57	
	注射	^{18}F	7.69E-01 (3#)	1	20.84h (30s/次×10次 /d×250d)	1.60E-02	
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$	3.55E-09 (4#)	1	31.25h (30s/次×15次 /d×250d)	1.11E-10	
	扫描		2.5 (CT)	1	17.4h(每年6250 位受检者，每人 CT扫描约10s)	4.35E-02	
技师	摆位	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.05E-06 (20#)	1	62.5h (1min/次×15次 /d×250d)	3.78E-07	0.123/人
	扫描	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	4.46E-05 (21#)	1	937.5h (15min/次×15 次/d×250d)	4.18E-05	

	摆位	^{18}F	7.93E+00 (23#)	1	41.7h (1min/次×10次/d×250d)	3.31E-01	
	扫描	^{18}F	1.91E-01 (24#)	1	625h (15min/次×10次/d×250d)	1.19E-01	
	扫描		2.5 (CT)	1	17.4h(每年6250位受检者, 每人CT扫描约10s)	4.35E-02	
医生	抢救	^{18}F	1.27E+02 (14#)	1	5h (30min/次×10次)	6.35E-01	0.693/人
	阅片	^{18}F	3.54E-01 (30#)	1	2000h (8h/d×250d)	7.07E-01	
	办公	^{18}F	1.13E-06 (5#)	1	2000h (8h/d×250d)	2.26E-06	
	扫描		2.5 (CT)	1	17.4h(每年6250位受检者, 每人CT扫描约10s)	4.35E-02	

注：根据表11-5，PET/CT和SPECT/CT机房屏蔽防护大于标准要求。保守考虑，机房外CT造成的X射线周围剂量当量率为2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。

根据上述估算结果可知：本项目核医学科建成后，本项目所致辐射工作人员年有效剂量最大为0.693mSv，由于各类型辐射工作人员内部进行轮岗，辐射工作人员实际受照射剂量低于该值，可满足本项目职业人员年剂量约束值不超过5mSv的要求。

(3) 公众受照剂量估算

根据表11-4各关注点处辐射剂量率，结合医院预估工作量，关注点处人员居留因子等参数，由上式计算即可得到核医学科建成后对公众所致的年有效剂量，见表11-7。

表11-7核医学科公众年有效剂量估算结果

关注区域	受照射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	与关注点距离 (m)	居留因子	年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
北侧居民区	1.13E-06 (5#点位)	40	1	2000h (每天8h, 年工作250d)	1.41E-09
西南侧供应辅助楼	3.54E-01 (30#点位)	33	1	2000h (每天8h, 年工作250d)	6.49E-04
南侧第三住院楼	3.54E-01 (30#点位)	35	1	2000h (每天8h, 年工作250d)	5.77E-04
北侧消耗品库房	1.13E-06 (5#点位)	/	1/16	2000h (每天8h, 年工作250d)	1.41E-07
东侧设备间	1.31E-02 (25#点位)	/	1/16	2000h (每天8h, 年工作250d)	1.64E-03
西侧走廊	6.77E-02 (11#点位)	/	1/5	2000h (每天8h, 年工作250d)	2.71E-02
西侧注	7.28E-03	/	1	1875h	1.37E-02

射前等候区公众	(18#点位)			(SPECT/CT注射后候诊30min/次×15次/d×250d)	
南侧送风机房公众	0.26 (28#点位)	/	1/16	625h (PET留观15min/人×10人/d×250d)	4.48E-03
南侧合用前室公众	0.037 (26#点位)	/	1	625h (PET扫描15min/次×10次/d×250d)	2.91E-02
上方办公室、放射科机房公众	1.62E-01 (29#点位)	/	1	521h(每年6250位受检者,每人在患者走廊最多停留5min)	8.44E-02

根据上述估算结果可知：本项目核医学科建成后，公众最大年有效剂量为 $8.44 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，满足本项目公众年剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。由于随距离增加公众受照剂量将不断减小，因此在本项目 50m 范围内其他公众年有效剂量也满足 0.1mSv 的剂量约束值要求。

综上所述，因此核医学科投入运行后，对评价范围内环境保护目标（周围工作人员、公众）环境影响较小，对周围辐射环境影响较小。

11.3 放射性废物影响分析

(1) 放射性废水影响分析

查 GB18871-2002 附录表 B3，根据放射性核素 ^{18}F 工作人员吸入 $e(g)_{1\mu\text{m}}$ 、吸入 $e(g)_{5\mu\text{m}}$ 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} ：
 $ALI_{\text{min}} = 20 \text{mSv} / E_j$ ，计算结果见表 11-8。

表 11-8 废水中核素排放导出限值

核素	E_j (Sv/Bq)	月排放限值 (Bq)	一次排放限值 (Bq)
^{18}F	9.3×10^{-11}	2.15×10^9	2.15×10^8
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.9×10^{-11}	6.90×10^9	6.90×10^8

根据医院提供的放射性废水处理方案，本项目核医学产生的放射性废水均排放至地下室外围东侧放射性废水处理间设置的地理式衰变池组（由 3 个衰变池并联组成，每个衰变池有效容积为 8m^3 ）进行衰变处置。废水进行衰变满足排放要求经审管部门确认或批准后排入医院污水处理站进一步处理。

根据源项分析，核医学科废水产生量为 $0.371 \text{m}^3/\text{d}$ 。衰变池组单个衰变池有效容积为 8m^3 ，衰变池组为三级并联，注满 1 个衰变池需要 $8/0.371 \approx 21$ 个工作日（即 29 天）。第一个衰变池最后进入的废水存储时间为： $8 \text{m}^3 \times 2/0.371 \text{m}^3 \approx 43$ 个工作日（即 59 天）（即

为第三个衰变池注满的时间)。本项目的放射性废水可以在衰变池内暂存 59 天,放射性废水主要含有 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 半衰期最长为 6.02h, 废水可以在衰变池中贮存达 235 个半衰期, 因此本项目衰变池的容积满足放射性废水在衰变池贮存至少 10 个半衰期以上的要求, 经衰变池组衰变后后废水中总 β 浓度远小于 10Bq/L。

废水的排放情况见表 11-9 和 11-10。

表 11-9 核医学科工作场所放射性废水核素活度

核素名称	日最大用量 (Bq)	体内核素排入废水比例*	单日衰变池核素最大排入量 (Bq)	注满一池核素活度 (Bq)
^{18}F	3.70×10^9	20%	7.4×10^8	1.554×10^{10}
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1.3875×10^{10}	20%	2.775×10^9	5.8275×10^{10}

注: *参考相关文献 (AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements), 显像诊断核素随人体排出的活度约为使用量的 15%, 本项目保守考虑, 取 20%。另外, 根据上文计算可知, 注满一衰变池需要 21 个工作日。

表 11-10 衰变池组废水排放情况表

核素名称	半衰期	注满一池核素活度 (Bq)	衰变时间 (d)	衰变后单次排放活度 (Bq)	ALI _{min} (Bq)	排放浓度 (Bq/L)
^{18}F	109.7min	1.554×10^{10}	59	≈ 0	2.15×10^8	≈ 0
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	5.8275×10^{10}	59	≈ 0	6.90×10^8	≈ 0

放射性废水衰变池组拟设废水取样口和检修口, 首次排放前应对放射性废水进行取样监测, 监测结果符合排放标准后方可排放。结合废水在衰变池组中的储存周期, 制定八周一排的排水计划, 按照计划定期将废水排放至院内污水处理站进一步处理达标后纳入市政管网。每次排放应做好排放时间、监测数据、排放量等应详细记录, 设置专门的废水排放台账, 台账应有专人管理, 存档保存。

放射性废水经各自的衰变池组衰变后, 废水中各放射性核素活度满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中放射性废液排放活度均小于单次排放的活度 1ALI_{min} 和单月排放活度 $10\text{ALI}_{\text{min}}$, 同时满足《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005) 中总 β 小于 10Bq/L 的要求。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, 由于衰变池内废水与医院其他医疗污水一并排放, 其他医疗废水水量远大于衰变池内废水量 (大于 10 倍排放流量), 因此本项目废水对周边水环境影响是可以接受的。

(2) 放射性固废影响分析

本项目核医学科放射性固体废物主要为 PET/CT 显像诊断过程中产生的注射器、针

头、手套、药棉、药瓶、破损杯皿、擦拭污染地面的物品。按照每人 0.02kg 产生量进行估算，正常情况下，核医学科工作场所放射性固体废物的产生量为 0.5kg/d，125kg/a。排风管道更换的下的废活性炭含有放射性核素也属于放射性废物，活性炭装置填装量 25kg，平均每半年更换一次，产生量为 50kg/a。

放射性药物均根据诊断计划按需订购，一般不会产生剩余放射性药物，如出现放射性药物购买过量用不完的情况，可将 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物连同铅罐放置于废物间，放置衰变的方式贮存 10 个以上半衰期后，最终排入衰变池衰变处理。

在分装注射室设置 2 个放射性废物桶，在 PET/CT 候诊室、SPECT/CT 候诊室、PET/CT 留观室、SPECT/CT 留观室兼抢救室各设置 1 个放射性废物桶，用于收集核素放射性固废。

医院拟将上述放射性固体废物收集于工作场所放射性废物桶内专用塑料包装袋，包装袋要标明收贮时间、种类及数量等内容。每袋废物的表面剂量率控制在 0.1mSv/h 以下，重量不超过 20kg。装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于废物间的放射性废物桶内，让放射性物质自行衰变，待十个以上半衰期后衰变至符合清洁解控水平后，经审管部门确认或批准后按照一般医疗废物处置。

排风管道更换下的废活性炭含有放射性核素也属于放射性废物，医院将更换下的活性炭先统一存放于废物间，标注活性炭名称、存放日期、存放量等，待 10 个半衰期后，经监测符合清洁解控水平并经审管部门确认或批准后作为一般医疗固废处置。

本项目放射性核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的豁免活度浓度与豁免活度见表 11-11。

表 11-11 本项目放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度

核素	活度浓度 (Bq/g)	活度(Bq)
^{18}F	1E+01	1E+06
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1E+02	1E+07

本项目工作场所放射性固体废物所沾染的放射性核素量保守按照操作核素总活度的 1‰考虑，所有放射性固废均收集在废物间内暂存 10 个以上半衰期，待 10 个半衰期后，固体废物中放射性核素活度见下表。

表 11-12 本项目放射性固体废物经衰变后所含核素活度

核素名称	最大日操作量 (Bq)	10 个半衰期后固体废物中核素活度浓度 (Bq/g)	10 个半衰期后固体废物中核素活度 (Bq)
^{18}F	3.70×10^9	7.23	3.61×10^3
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1.3875×10^{10}	27.10	1.35×10^4

由上表可知，本项目所有放射性固废收集在废物间内暂存 10 个以上半衰期后，均能

达到清洁解控水平。

(3) 放射性废气影响分析

本项目工作场所含¹⁸F和^{99m}Tc放射性废气的产生量保守按照操作核素总活度的1‰考虑。本项目采用高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施，净化效率99%，每天累积操作核素时间2h。本项目核医学科全年工作250d，假设人呼吸量为1.2m³/h。

各场所的计算结果见表11-13。

表 11-13 排气筒核素所致公众年吸入量预测结果

操作场所	核素名称	废气中含核素量 (Bq)	操作期间排风量 (m ³ /h)	排气口气溶胶浓度 (Bq/m ³)	排放速率 (Bq/s)
分装注射室通风橱	¹⁸ F	3.70×10 ⁶	1500	12.33	5.14
分装注射室通风橱	^{99m} Tc	1.3875×10 ⁷	1500	46.25	19.27

由表11-13可知，排放口¹⁸F和^{99m}Tc核素所致公众年吸入量小于《公众成员的放射性核素年摄入量限值》(WST613-2018)规定的公众成员吸入放射性气溶胶年摄入量限值。

最大落地浓度根据《环境影响评价技术导则大气环境》(HJ2.2-2018)中推荐模型AERSCREEN估算得出，估算结果见下表。

表 11-14 关注点落地浓度预测结果

操作场所	分装注射室通风橱 (¹⁸ F)	分装注射室通风橱 (^{99m} Tc)
预测模式	点源、烟熏模式	点源、烟熏模式
预测参数	排气筒高度：62m，排气筒出口内径：0.5m	
排放强度 (Bq/s)	5.14	19.27
浓度 (Bq/m ³) 距离 (m)	¹⁸ F	^{99m} Tc
33 (西南侧供应辅助楼)	0.22	0.83
35 (南侧第三住院楼)	0.23	0.86
40 (北侧居民区)	0.23	0.88
60 (东侧商业区)	0.18	0.68
90 (西侧居民区)	0.12	0.45
125 (南侧居民区)	0.09	0.32

公众受照射有效剂量估算公式如下：

$$Hr = H \times T \dots \dots \text{(式 11-4)}$$

式中：

Hr—受照射剂量，mSv/a;

H—公众年吸入量，Bq;

T—外照射剂量转换因子，Sv/Bq。

表 11-15 排放口 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素所致公众受照预测结果

公众	核素名称	落地浓度 (Bq/m ³)	公众年吸入量 (Bq)	外照射剂量转换因子 (Sv/Bq)	受照剂量 (mSv/a)
西南侧供应辅助楼	^{18}F	0.22	132	5.9×10^{-11}	7.79E-06
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.83	498	2.0×10^{-11}	9.96E-06
南侧第三住院楼	^{18}F	0.23	138	5.9×10^{-11}	8.14E-06
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.86	516	2.0×10^{-11}	1.03E-05
北侧居民区	^{18}F	0.23	138	5.9×10^{-11}	8.14E-06
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.88	528	2.0×10^{-11}	1.06E-05
东侧商业区	^{18}F	0.18	108	5.9×10^{-11}	6.37E-06
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.68	408	2.0×10^{-11}	8.16E-06
西侧居民区	^{18}F	0.12	72	5.9×10^{-11}	4.25E-06
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.45	270	2.0×10^{-11}	5.40E-06
南侧居民区	^{18}F	0.09	54	5.9×10^{-11}	3.19E-06
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.32	192	2.0×10^{-11}	3.84E-06

备注：外照射剂量转换因子根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》表 B7 得到

由上表可知，排放口 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素所致本项目公众年受照射剂量低于对公众照射剂量约束值 0.1mSv/a。

排放口活性炭吸附装置的过滤使用寿命一般为 8~12 个月，建议医院每三个月对过滤效率进行校核，每半年进行一次更换，以防止过滤装置失效，造成放射性污染事故。

11.4 非放射性“三废”影响分析

(1) PET/CT 和 SPECT/CT 系统 CT 扫描产生的臭氧

CT 机能量小，扫描时间短，运行过程产生的臭氧量少。经机房排风系统排入大气环境稀释后，对工作人员和公众不会造成危害，对周围大气环境中臭氧浓度影响甚微。

(2) 水环境影响分析

本项目运行期间产生的生活污水依托医院污水处理站预处理达到《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)表 2 中预处理标准后，经市政污水管网进入市政污水处理厂处理。根据源强计算，生活污水产生量为 250m³/a，医院新建污水处理站完全能满足本项目废水处理需要。生活污水经市政污水管网进入区域污水处理厂处理后排放，

对项目所在地水环境影响较小。

(3) 声环境影响分析

本项目运行过程中产生的噪声，经房间隔声、距离衰减措施后，对项目区域外的声环境影响很小。

(4) 固体废弃物影响分析

本项目运行期间产生的生活垃圾和医疗废物经分类收集后，纳入现有的处理系统，由当地环卫部门和具有医疗废物处理资质的单位及时处理，不直接排入环境，对当地环境影响程度较小。

11.5 环境影响风险分析

11.5.1 环境风险评价的目的

环境风险评价的目的是分析和预测建设项目存在的潜在危害和有害因素，以及项目在运营期间可能发生的事故（一般不包括自然灾害与人为破坏），引起有毒、有害（本项目为电离辐射）物质泄漏，所造成的环境影响程度和人身安全损害程度，并提出合理可行的防范、应急与减缓措施，以使项目事故发生率、损失和环境影响达到可以接受的水平。

11.5.2 事故等级分析

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》，辐射事故从重到轻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11-16。

根据国家环保总局2006年145号《辐射事故分级》规定，“一般辐射事故：是指IV类、V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人员受到超过年剂量限值的照射。”假若本项目发生此种事故，事故等级应为一般辐射事故。“较大辐射事故是指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。”假若本项目发生此种事故，事故等级应为较大辐射事故。

表11-16 辐射事故等级划分表

事故等级	危害结果
特别重大辐射事故	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	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	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	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，见表11-17。

表 11-17 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

11.5.3核医学科工作场所辐射事故影响分析

11.5.3.1 事故类型

主要考虑电离辐射损伤和药物失控对环境的影响。

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

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

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

11.5.3.2 事故后果计算

(1) 射线装置事故情况下环境影响分析

PET/CT 和 SPECT/CT 属于 III 类射线装置，其 X 射线能量不大，曝光时间都比较短，事故情况下，人员误入或误照射情况下，可能导致人员受到超过年剂量限值的照射。事故情况下，X 射线直接照射到人员身上，保守考虑，误入人员或病人在距离射线头 1m 处被误照射，根据《医用 X 射线治疗卫生防护标准》（GBZ131-2002），在治疗状态下，当 X 射线管额定电压≤150kV 时，距 X 射线管焦点 1m 处的 X 射线源组件泄露辐射不超过 1mGy/h。人员误入受照射时间按检查 1 个患者的扫描时间（15min）计算，则机

房内误入人员所受的 X 射线辐射剂量率最大为 0.18mSv/次，为一般辐射事故。

(2) 放射性药物事故情况下环境影响分析

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

①事故情景假设

本项目使用核素为放射性核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，事故情况假设放射性核素试剂瓶发生药物泄露，发生事故时放射性核素的活度为 $^{18}\text{F}(1.48 \times 10^{10} \text{Bq})$ 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}(1.3875 \times 10^{10} \text{Bq})$ 。假设事故持续过程中按点源考虑，受照人员不考虑任何屏蔽措施，事故持续最长时间为 2h。

②计算结果

根据事故情景假设条件计算得出，距源 0.1m-2m 范围内，不同事故持续时段的个人有效剂量，计算结果见表 11-18。

表 11-18 放射性核素 ^{18}F 泄漏事故下不同持续时间不同距离处个人有效剂量分布

核素	时间与源距离	各事故持续时间段 γ 射线所致辐射有效剂量分布 (mSv)				
		10min	30min	60min	90min	120min
^{18}F	0.1m	35.27	105.82	211.64	317.46	423.28
	0.5m	1.41	4.23	8.47	12.70	16.93
	1m	0.35	1.06	2.12	3.17	4.23
	2m	0.09	0.26	0.53	0.79	1.06
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.1m	7.01	21.02	42.04	63.06	84.08
	0.5m	0.28	0.84	1.68	2.52	3.36
	1m	0.07	0.21	0.42	0.63	0.84
	2m	0.02	0.05	0.11	0.16	0.21

③事故后果

表11-19项目的环境风险因子、潜在危害及事故等级

名称	环境风险因子	潜在危害	事故等级
核医学科	γ 射线	核医学科、X 线机失控导致人员受超年剂量限值的照射。	一般辐射事故
	X 射线		

在上述事故情景假设条件下，携带放射性核素人员或近距离公众在事故持续时间内已受到超过年剂量限值。考虑的整个事故持续周期 2h 内，急性放射病发病率均在 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。由于计算过程未考虑 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等放射性核素衰变，计算结果偏保守。

11.5.3.3 辐射事故防范措施

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

(2) 加强工作人员自身防护安全意识，定期组织培训，使工作人员明确配备的防护用品（铅橡胶防护衣，铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅橡胶帽子等）及存放位置。

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

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

(5) 对工作人员进行岗前培训合格后上岗，工作人员须熟练掌握放射性药物操作技能和熟悉辐射防护基本知识，能正确处置意外情况。

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

综上，本项目采取以上事故防范措施后，可减少或避免放射性事故的发生率，从而保证项目的正常运营，也保障了工作人员和公众的健康与安全。

11.5.3.4 辐射事故应急措施

(1) 一旦发生核素药物丢失或被盗，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的有关要求，封闭场所应按规定启动本单位辐射事故应急预案，并及时报告当地生态环境主管部门、公安部门以及卫生部门。

(2) 配备去污清洁用品，发生核素泄漏应控制人员进入。选择合理的去污方法，防止交叉污染。去污时佩戴有效的个人防护用品。核素药物为液态，若发生撒漏，可用滤纸擦拭清除，擦拭后的滤纸作为放射性固体废物。然后用温水仔细清洗。为防止污染的扩散，去污程序应先从污染轻的周围渐向污染重的部位。如经反复清洗效果不明显时，可根据放射性核素的化学性质和污染表面的性质，选用有效的去污剂进一步去污。严重污染事故时，应立即通知在场的其他人员，同时迅速标出污染范围，防止其他人员进入

污染区。

污染区的人员经采取减少危害和防止污染扩散的必要措施后,要脱去污染的衣服并将其留在污染区,立即离开此区。

事故发生后,应尽快通知防护负责人和主管人员,并立即向有关监督管理部门报告。防护人员应迅速提出全面处理事故的方案,并协助主管人员组织实施。污染区经去污、监测后,经防护人员批准方可重新工作。

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

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

11.6 事故应急预案

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条的规定,医院成立了王志为组长的辐射事故应急处理领导小组,其负责组织、开展辐射事故的应急处理救援工作。

本项目建设单位已编制了《辐射事故应急预案》,并根据实际情况进行修订。应急预案中设立了辐射事故应急处理领导小组,并落实该小组的组长、副组长和组成人员,明确了处理小组的主要职责。预案内容主要包括:(一)辐射事故应急处理领导小组组成;(二)应急处置措施;(三)辐射事件的报告;(四)上报部门与电话。

建设单位应做到:项目单位应按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第六章第四十三条规定,结合本项目实际情况,对原有辐射事故应急预案予以补充、完善。

医院现有辐射事故应急预案内容包括了应急组织体系和职责、应急处理程序、上报电话等,仍需补充完善以下内容:

- ①根据本项目特点,增加核医学科应急辐射事故类型及应急措施等内容;
- ②补充辐射事故分级、应急和救助装备、物资准备等内容;
- ③补充人员培训和演习计划等内容
- ④在预案的实施中,应根据国家发布新的相关法规内容,结合医院实际及时对预案作补充修改,使之更能符合实际需要。

安全医疗,重在防范,医院必须严格遵守《放射性同位素与射线装置安全和防护管

理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关规定，严格按照医院的相关规章制度执行，将安全和防范措施落实到工作中的各个细节，防患于未然。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据医院提供的资料，医院已按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等有关法律法规，结合卫生、生态环境等行政主管部门的规章制度，成立了放射防护领导小组，落实安全责任制，并明确了相关成员名单及职责（详见附件 6）。

（1）组成人员

组长：王志

副组长：冉斌、蔡岷、陈卫

成员：林拥军、吕宏、李昌坤、蒲清华、钱亚利、张来安、刘春岭、杨先武、田洪刚、衡孝伶、李天文、高鹏

（2）放射防护领导小组职责

①负责全院放射、放疗等防护工作监督与检查，检查各项制度、防护措施落实情况。对违反放射安全管理规定的科室或个人给予处罚，配合上级行政部门检查；

②个人健康档案由疾病预防控制科统一保管。定期督促相关人员体检、培训、更换个人剂量计，并根据体检结果提出处理意见；

③督导相关科室人员每年防护知识培训的组织实施，对个人辐射剂量超标情况进行调查分析，并督导整改；

④组织实施放射防护法律法规的培训和放射防护知识的宣传，组织有关人员学习；

⑤会同上级有关部门按规定调查和处理辐射事故，并对有关人员提出处理意见。

12.2 辐射工作岗位人员配置和能力分析

本项目拟新增辐射工作人员 10 人，医院为本项目辐射工作人员拟配备个人剂量计，个人剂量计拟到有资质单位检测一次（检测周期：一般一个月，最长不超三个月），并建立个人剂量档案；医院拟组织本项目辐射工作人员进行上岗前职业健康检查，符合要求的方可上岗，在日后项目运行过程中安排辐射工作人员进行在岗期间职业健康检查，两次体检时间间隔不得超过 2 年，辐射工作离岗时，应进行离岗职业健康检查；根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号）和《关于进一步优化辐射安全考核公告》（生态环境部公告第 2021 年第 9 号），医院应尽快组织核医学科新增辐射工作人员到生态环境部培训平台

(<http://fushe.mee.gov.cn>) 报名并参加考核。

12.3 辐射安全管理规章制度

(1) 档案管理分类

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

(2) 已建立主要规章制度

根据《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)》(川环函[2016]1400号)要求, 辐射安全管理规章制度落实情况见下表。

表 12-1 本项目辐射管理制度汇总对照分析表

序号	项目	规定的制度	落实情况	备注
1	综合	辐射安全与环境保护管理机构文件	已制订	/
2		辐射工作场所安全管理规定	已制订	/
3		辐射工作设备操作规程	已制订	需完善
4		辐射安全和防护设施维护维修制度	已制订	需完善
5		质量保证大纲和质量控制检测计划	未制度	需补充
6		放射性同位素与射线装置台账管理制度	已制订	/
7	监测	辐射工作场所监测方案	已制订	/
8		监测仪表使用与校验管理制度	未制度	需补充
9	人员	辐射工作人员培训/再培训管理制度	已制订	/
10		辐射工作人员个人剂量管理制度	已制订	/
11		辐射工作人员岗位职责	已制订	需完善
12	应急	辐射事故/事件应急预案	已制订	需完善

根据四川省生态环境厅关于印发《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)》要求, 《辐射工作场所安全管理要求》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作设备操作规程》和《辐射事故应急响应程序》应悬挂于辐射工作场所。医院对于各项制度在日常工作中要加强检查督促, 认真组织实施。上墙制度的内容应体现现场操作性和实用性, 字体醒目, 尺寸大小应不小于 400mm×600mm。

目前建设单位已制定的规章制度包括: 《辐射防护和安全保卫制度》、《设备检修维护制度》、《辐射工作人员培训计划》、《辐射工作人员岗位职责》、《台账管理制度》、《射线装置操作规程》、《辐射监测方案》、《放射科受检者的防护原则》、和《放射科辐射事

故应急预案制度》等管理制度。

综上，医院制定的各种安全管理制度较全面，具有可行性。在医院辐射安全管理领导小组领导下，明确各科室人员责任，按照制定的辐射安全管理规章制度各科室人员严格落实，定期对辐射安全控制效果进行评议，制度执行情况较好。

医院需补充制定场所分区管理规定（含人流、物流路线图）、去污操作规程、质量保证大纲和质量控制检测计划、监测仪表使用与校验管理规定、核医学专项应急预案等制度，进一步完善各项规章制度，并落实专人负责，加强对病人的管理；从事辐射诊疗的工作人员必须严格按照制定的规章制度和应急处理措施进行辐射诊疗工作；对于操作规程、岗位职责和辐射事故应急预案响应程序等制度应张贴于工作场所墙面醒目处。

12.4 辐射监测

12.4.1 监测仪器和防护设备

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使用放射性同位素、射线装置的单位应该配置与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。根据以上要求，建议本项目辐射工作场所辐射仪器配置情况详见表 12-2。

表 12-2 本项目辐射工作场所辐射监测仪器拟配置情况

工作场所	监测仪器	配置情况说明	备注
核医学科	X-γ 辐射剂量率仪	配置 1 台	/
	表面污染监测仪	配置 1 台	/
	个人剂量报警仪	配置 2 台	/
	个人剂量计	每个辐射工作人员配备的个人剂量计	/

12.4.2 监测计划

(1) 个人剂量监测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量计，监测周期为一般为一个月，最长不超三个月（每季度将个人剂量片送往有资质的检测单位进行检测）。

如果在单个季度出现个人剂量超过 1.25mSv 时需进行干预，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并本人签字。年剂量超过 5mSv 的管理限制时，暂停该辐射工作人员继续从事放射性作业，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并本人签字，并上报当地生态环境主管部门。单年剂量超过 20mSv 标准时，构成辐射

事故，按事故应急预案处理，立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，由辐射事故应急处理领导小组上报当地生态环境主管部门及省级生态环境主管部门。同时上报公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。并及时组织专业技术人员排除事故。配合各相关部门做好辐射事故调查工作。医院须建立个人剂量档案，辐射工作人员调离辐射工作岗位，个人剂量档案要终生保存。

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

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

（2）辐射工作场所及周围环境监测

①年度监测

委托有资质的单位对辐射工作场所的周围剂量当量率进行监测，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》的重要组成内容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，监测周期根据《操作非密封源的辐射防护规定》（GBZ11930-2010）的要求进行。

③监测内容和要求

A、监测内容：周围剂量当量率； β 表面放射性污染等。

B、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 12-3）或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

表 12-3 辐射工作场所监测计划建议

辐射工作场所	监测类别	监测项目	监测频度	监测设备	监测范围
核医学科	自主监测	周围剂量当量率	1次/月	X- γ 辐射剂量率仪	控制区外：控制区四面墙体外、控制区顶棚上方、各机房防护门缝隙和中央、控制室操作位、控制室观察窗外、管线洞口处及周
	年度监测		1次/年	X- γ 辐射剂量率仪（需	

验收监测		竣工验收	按国家规定进行剂量检定)	围需要关注的监督区。控制区内：通风橱外表面、储源铅罐外表面、注射位。
自主监测	β表面放射性污染	1次/2月	表面污染仪	控制区地面、座椅、台面、洗手池、床面、工作服、手套、工作鞋等
年度监测		1次/年	表面污染仪（需按国家规定进行剂量检定）	
验收监测		竣工验收		
废水监测	总β	1次/年	委托有资质单位监测	衰变池专用检测口
个人剂量检测	个人剂量当量	1次/三个月	个人剂量计	所有辐射工作人员

④监测质量保证

A、制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测部门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；

B、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；

C、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，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 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$)。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 (8 天)，制定排水计划 (本环评建议为两周排水一次)，按照计划定期将废水排放至医院污水处理站进一步处理达标后纳入市政管网。每次排放应做好废水排放台账，并记录存档。

(4) 放射性废物处理前监测

放射性固废在废物暂存间放置 10 个半衰期，环评建议含 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的放射性固废在废物间贮存衰变 3 天后可作为一般医疗废物进行处理。

医院应建立固废排放台账，每次固废排放应详细记录固废排放量、固废种类、核素种类、贮存时间等参数，并存档备查。

(5) 验收监测

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

（6）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是符合《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。

12.5 年度评估报告情况

医院应按照《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400号）规定的格式编写《辐射安全和防护状况年度评估报告》。医院应于每年1月31日前登录全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn/rsmsreq/login.jsp>）申报上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，近一年（四个季度）个人剂量检测报告和辐射工作场所年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

12.6 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条的规定，医院成立了王志为组长的辐射事故应急处理领导小组，其负责组织、开展辐射事故的应急处理救援工作。

本项目建设单位已编制了《辐射事故应急预案》，并根据实际情况进行修订。应急预案中设立了辐射事故应急处理领导小组，并落实该小组的组长、副组长和组成人员，明确了处理小组的主要职责。预案内容主要包括：（一）辐射事故应急处理领导小组组成；（二）应急处置措施；（三）辐射事件的报告；（四）上报部门与电话。

建设单位应做到：项目单位应按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法

》第六章第四十三条规定，结合本项目实际情况，对原有辐射事故应急预案予以补充、完善。

医院现有辐射事故应急预案内容包括了应急组织体系和职责、应急处理程序、上报电话等，仍需补充完善以下内容：

- ①根据本项目特点，增加核医学科应急辐射事故类型及应急措施等内容；
- ②补充辐射事故分级、应急和救助装备、物资准备等内容；
- ③补充人员培训和演习计划等内容

④在预案的实施中，应根据国家发布新的相关法规内容，结合医院实际及时对预案作补充修改，使之更能符合实际需要。

安全医疗，重在防范，医院必须严格遵守《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关规定，严格按照医院的相关规章制度执行，将安全和防范措施落实到工作中的各个细节，防患于未然。

12.7 本项目射线装置使用能力综合评价

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），建设单位需具备的辐射安全管理基本要求对比分析如下表：

表 12-4 建设单位辐射安全管理基本要求汇总对照分析表

序号	《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）	实际情况	环评要求
1	（一）许可证有效性 1. 核技术利用单位应持有效的《辐射安全许可证》，所从事的活动须与许可的种类和范围一致。 2. 新（改、扩）建核技术利用项目应及时开展环评和执行“三同时”制度。 3. 放射源与射线装置、工作场所以及单位法人与地址等变更后应在《辐射安全许可证》上及时变更。	医院持有效的《辐射安全许可证》，所从事的活动须与许可的种类和范围一致	本次环评后，医院应及时重新申领辐射安全许可证
2	（二）机构和人员 1. 核技术利用单位应建立辐射安全管理机构或配备专（兼）职管理人员，落实了部门和人员全面负责辐射安全管理的具体工作。 2. 辐射工作人员（包括管理和操作人员）应参加与其从事活动等级相适应的辐射安全与防护培训并考核合格持证上岗，严禁无证人员从事辐射工作活动。培训合格证书的有效期为4年，有效期届满应参加复训。	机构已设置；医院承诺组织新增辐射工作人员到生态环境部培训平台（ http://fushe.mee.gov.cn ）报名并参加考核	医院应尽快组织新增辐射工作人员与原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员到生态环境部培训平台（ http://fushe.mee.gov.cn ）报名并参加考核
3	（三）放射性同位素和射线装置的台账 1. 应建立动态的台账，放射性同位素与射线装置应做到帐物相符，并及时更新。 台账的内容应该包括：放射性同位素名称、初始活	已有射线装置台账和放射性同位素台账	/

	<p>度、放射源编码,购买时间,收贮时间;射线装置型号、管电压、管电流,购买时间,报废时间;放射性同位素与射线装置使用或保管的部门、责任人员、目前的状况(使用、检修、闲置、暂存、收贮或销售);放射性同位素与射线装置转让单位名称及《辐射安全许可证》持证情况、有效日期等内容。</p> <p>2. 放射性同位素的转让(购买)、销售、收贮以及跨省转移等活动,必须在四川省人民政府政务服务医院环保窗口办理备案手续。</p> <p>野外(室外)跨市(州)使用放射性同位素和II类以上射线装置的活动,应到使用地市(州)环保局办理备案手续。</p>		
4	<p>(四) 管理制度和档案资料</p> <p>核技术利用单位应根据使用放射性同位素和射线装置的情况,及时修订和完善规章制度,并按照档案管理的要求分类归档放置。</p> <p>1. 档案分类</p> <p>辐射安全档案资料可分以下十大类:“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“放射源和射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“辐射应急资料”、“野外探伤一事一档”和“废物处置记录”。</p> <p>2. 需建立的主要规章制度</p> <p>1) 辐射安全与环境保护管理机构文件</p> <p>2) 辐射安全管理规定(综合性文件)</p> <p>3) 辐射工作设备操作规程</p> <p>4) 辐射安全和防护设施维护维修制度</p> <p>5) 辐射工作人员岗位职责</p> <p>6) 放射源与射线装置台账管理制度</p> <p>7) 辐射工作场所和环境辐射水平监测方案</p> <p>8) 监测仪表使用与校验管理制度</p> <p>9) 辐射工作人员培训制度(或培训计划)</p> <p>10) 辐射工作人员个人剂量管理制度</p> <p>11) 辐射事故应急预案</p> <p>12) 质量保证大纲和质量控制检测计划(使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位)</p> <p>3. 需上墙的规章制度</p> <p>1) 《辐射工作场所安全管理要求》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作设备操作规程》和《辐射事故应急响应程序》应悬挂于辐射工作场所。</p> <p>2) 上墙制度的内容应字体醒目,简单清楚,体现现场操作性和实用性,尺寸大小应不小于400mm×600mm。</p>	<p>1、建设单位已建立并执行完善的档案分类制度;</p> <p>2、拟将按要求建立完善的规章制度;</p> <p>3、拟将严格执行规章制度上墙</p>	<p>根据本项目特点,及时修订和完善相关规章制度</p>
5	<p>(五) 辐射安全与防护措施</p> <p>1. 通过查阅年度监测报告和核技术利用单位自我监测结果,核实辐射工作场所辐射屏蔽防护措施的有效性。</p> <p>2. 辐射工作场所应设置醒目的电离辐射警示标志,出入口应具有工作状态显示、声音、光电等警示措施。</p> <p>3. 辐射工作场所应合理分区,并设置相应适时有效的安全连锁、视频监控和报警装置。</p>	<p>已设计完善的辐射安全与防护措施</p>	<p>定期检查辐射安全措施,以确保辐射安全系统运行良好</p>
6	<p>(六) “三废”处理</p> <p>1. 核技术利用单位应对其在辐射作业活动中产生的放射性废气实施相应处理后达标排放。</p> <p>2. 辐射工作产生的含短寿命放射性核素的废水,应采取衰变池或衰变桶等方式存放。放射性废水须经</p>	<p>放射性废水:设置1套放射性废水衰变池组及配套收集放射性废水管线;衰变池组拟建</p>	<p>严格按照要求处理“三废”,并定期检查。</p>

	<p>有资质单位监测，确认达标后方可排放。放射性废水衰变及排放设施应设置相应的放射性警示标识。</p> <p>3. 放射性固体废物贮存场所（设施）应具备“六防”（防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄露）措施。短寿命半衰期医用放射性废物在专用贮存容器内分类贮存并有放射性标识和放射性核素名称、批号、物理形态、出厂活度及存放日期等相关信息。</p> <p>4. 妥善处置放射性废物。对废弃不用三个月以上的放射源,应按有关规定退回原生产厂家或送四川省城市放射性废物库贮存。短半衰期医用放射性废物存放衰变经监测合格后作为医疗废物处置。</p> <p>5. 废显（定）影液（危险废物）暂存场所应防渗漏、防雨水和防倾倒等措施，存放容器上应有危废标识和危废类别、存放时间、责任人及处置单位等相关信息。危险废物应送交有相应资质的单位处置并有危险废物转移联单。</p> <p>6. 射线装置在报废前，应采取去功能化的措施（如拆除电源或拆除加高压零部件），确保装置无法再次通电使用。</p>	<p>于地下室外围东侧，共设3个相同体积的地理式衰变池，每个有效容积为8m³。</p> <p>放射性废气： 核医学科设有3条排风管道，废气排风管经由排风系统排至排至外产科大楼楼顶，排气口高于屋脊3m，同时在排风口配置高效过滤器+活性炭过滤器二级处理设施（净化效率99%）并做防风防雨倒灌措施。</p>	
7	<p>（七）监测设备和防护用品 核技术利用单位应配备与其从事活动相适应的辐射剂量监测仪、个人剂量仪、个人剂量报警仪以及防护用品（如铅衣、铅帽和铅眼镜、移动铅屏风等）。核技术利用单位自行配备的辐射监测仪器应每年进行比对或刻度。</p>	<p>拟配备表面污染监测仪1台、个人剂量报警仪2台和X-γ辐射剂量率仪1台</p>	/
8	<p>（八）监测和年度评估</p> <p>1. 日常自我监测</p> <p>1) 按照环评文件要求制定监测方案，开展辐射工作场所和环境的辐射水平监测，并记录备查。</p> <p>2) 短寿命放射性医疗固体废物经存放10个半衰期后，应监测后方可作为一般医疗垃圾进行处置。</p> <p>3) 核技术利用单位也可以委托有资质的单位定期开展场所的日常辐射监测。</p> <p>2. 委托监测</p> <p>1) 核技术利用单位应于每季度将个人剂量片送交有资质的检测部门进行检测。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。</p> <p>2) 每年委托有资质的机构对辐射作业场所及周围环境至少进行1次辐射监测。该辐射监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。</p> <p>3) 放射性废水排放前应委托有资质的单位开展监测。</p> <p>3. 安全和防护状况年度评估报告 核技术利用单位应于每年1月31日前向发证机关提交上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》。</p>	<p>需完善相关监测制度</p>	<p>需制订辐射监测计划,严格进行日常自我监测及委托监测工作,及时上报安全和防护状况年度评估报告</p>
9	<p>（九）辐射事故应急管理</p> <p>1. 辐射单位应针对可能发生的辐射事故风险，制定相应辐射事故应急预案报所在地人民政府环境保护主管部门备案，并及时予以修订。</p> <p>辐射事故应急预案的主要内容应包括：应急组织结构，应急职责分工，辐射事故应急处置（最大可信事故场景，应急报告，应急措施和步骤，应急联络电话），应急保障措施，应急演练计划。</p> <p>2. 辐射事故应急应纳入本单位安全生产事故应急管</p>	<p>已制定辐射事故应急预案</p>	<p>建设单位应及时修订和完善辐射事故应急预案</p>

	理体系，定期组织演练。 3. 核技术利用单位应做好与从事活动相匹配的辐射事故应急物资（装备）的准备，如使用放射源应急处理工具（如长柄夹具等）、放射源应急屏蔽材料或容器、灭火器材等。		
10	<p>(十) 辐射信息网络</p> <p>1. 核技术利用单位必须在“全国核技术利用辐射安全申报系统”(网址 http://rr.mee.gov.cn/)中实施申报登记。申领、延续、变更许可证，新增或注销放射源和射线装置以及单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。</p> <p>2. 野外（室外）使用 I 类、II 类、III 类放射源，应当建立放射源在线监控系统。</p>	/	医院将及时在“全国核技术利用辐射安全申报系统”实施申领工作

综上所述，通过完善环评要求的各项措施后，评价认为建设单位从事辐射活动的技术能力符合相关法律法规的要求。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

项目名称：江油市人民医院新增核医学科建设项目；

建设单位：江油市人民医院；

建设性质：新建；

建设地点：江油市中坝镇纪念碑街中段30号江油市人民医院外产科大楼负一层；

建设内容：江油市人民医院拟在外产科大楼负一层建设核医学工作场所，新增1台PET/CT和1台SPECT/CT，新增使用放射性核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用于显像诊断。

拟用射线装置和放射性同位素如下：

(1) PET/CT 机房拟新增 1 台 PET/CT，型号待定，其最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA，属III类射线装置。SPECT/CT 机房拟新增 1 台 SPECT/CT，型号待定，其最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA，属III类射线装置。

(2) 本项目 PET/CT 使用放射性核素 ^{18}F 进行显像诊断，单人最大用量为 10mCi，日最大诊疗人数为 10 人，年工作 250 天；本项目 SPECT/CT 使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行显像诊断，单人最大用量为 25mCi，日最大诊疗人数为 15 人，年工作 250 天；经计算可知，整个核医学科工作场所经计算日等效最大操作量为 $1.9055 \times 10^7 \text{Bq}$ ，为丙级非密封放射性物质工作场所。

13.1.2 产业政策符合性与实践正当性分析

本项目为核技术用于医学领域，不属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》中规定的限制或淘汰类项目，为允许类，因此本项目的建设符合国家的产业政策。

本项目实施的目的在于开展放射诊断工作，最终是为了治病救人，实践过程中采取了可能的辐射防护措施，在受检者得到预期诊疗效果的同时，对周围环境、公众的辐射危害满足国家辐射防护安全标准的要求，其获得的利益远大于辐射所造成的损害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

13.1.3 选址合理性分析

根据《江油市人民医院新建外产科大楼建设项目环境影响评价报告表》中内容，可知：根据《建设项目选址意见书》（选字第 2020001 号）和《建设用地规划许可证》（地

字第 2020001 号), 本项目用地性质为医疗用地, 符合江油市土地规划的相关要求; 医院周围主要以居民、商户、学校和市政基础配套设施为主, 交通便利、环境质量良好, 供水、供电、排水等基础设施已建成, 本项目在现有用地范围内进行, 无较大污染源存在, 无名胜古迹和重点文物保护单位, 也无自然保护区、风景名胜区等特殊需要保护的對象, 评价范围内无明显的环境制约因素, 能够做到与周围环境相容, 项目选址合理。

另外, 本项目机房和场所已进行了相应的辐射屏蔽防护设计, 本项目的开展通过辐射屏蔽措施后对周围环境影响较小。

13.1.5 辐射环境质量现状

根据现场监测报告, 本项目所在区域 β 表面污染水平低于检测限, X- γ 辐射剂量率为 68nGy/h~106nGy/h, 由《2020 四川省生态环境状况公报》可知, 四川省辐射环境自动监测站实时连续监测空气吸收剂量率范围为 ≤ 130 nGy/h, 属于当地正常天然本底辐射水平。

13.1.6 环境影响评价结论

(1) 辐射环境影响分析

按照建设单位给出的屏蔽设计方案和预测结果, 核医学科工作场所的通风橱外表面 5cm 处的周围剂量当量率均小于 25 μ Sv/h, 控制区实体屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率均小于 2.5 μ Sv/h, 控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处周围剂量当量率均小于 25 μ Sv/h, 屏蔽设计满足《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020) 要求。

本项目各辐射工作场所工作人员和公众所受辐射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中关于“剂量限值”的要求, 也低于本评价提出的 5.0mSv 和 0.1mSv 的年管理剂量约束值。

(2) 水环境影响分析

本项目产生的放射性废水在衰变池组停留 10 个半衰期后, 首次监测达标后, 按照排水计划定期排入新建污水处理站, 对周围水环境影响轻微。生活污水依托新建污水处理站处理达标后排放, 对周围水环境影响是可以接受的。

(3) 固体废物影响分析

放射性固废采用专门的放射性废物桶收集后, 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, 对周围环境影响是可以接受的。

(4) 大气环境影响分析

本项目核医学科非密封放射性物质工作场所控制区设置有独立的通排风系统，本项目分装注射室设置有通风橱，放射性废气经活性炭吸附装置处理后排放，则本项目产生的放射性废气对周围的大气环境影响是可以接受的。

(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，对项目所在区域声学环境影响是可以接受的。

13.1.7 辐射防护措施有效性结论

(1) 本项目核医学科工作场所均设计了满足防护要求的实体屏蔽，能够有效屏蔽 X 射线， β 射线和 γ 射线等的辐射影响。

(2) 本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 机房门外设置电离辐射警告标志、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句。防护门设置有曝光时关闭机房门的管理措施，包括工作状态指示灯与机房门联锁等安全设施。设备处于工作状态时，工作人员防护门和患者防护门外顶部的工作状态指示灯亮，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，警示非工作人员不得入内；防护门外设置有黄色警戒线，警告无关人员请勿靠近。PET/CT 机房与控制室之间设置观察窗和对讲装置；PET/CT 机房控制室与注射后休息室、留观室设置视频监控系统和双向对讲装置。

(3) 本项目核医学科拟设置自动分装仪、铅注射窗、专用通风橱、移动式防护铅屏风、放射性废物桶、表面污染监测仪、X- γ 辐射剂量率仪、个人剂量报警仪等辐射防护用具，拟配备铅橡胶防护衣，铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅橡胶帽子等个人防护用品，在满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护，减少不必要的照射。

(4) 本项目核医学储源室防护门设计为铅防盗门，钥匙由专人负责保管；日常期间由值班人员 24 小时监控；出入口安装摄像头及红外报警系统并入科室监控系统。

(5) 本项目核医学科工作场所拟设置放射性废水的专用管线及衰变池组、放射性废气专用管线及活性炭高效过滤器、放射性废物的专用铅收集桶等，工作用房的通排风均能满足相关标准规范的要求。

(6) 辐射工作人员均拟配备个人剂量计。

(7) 控制区边界拟设置相应的警示标志与门禁系统，限制无关人员进入。

综上所述，本项目拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。

13.1.8 事故风险与防范

建设单位将按本报告提出的要求制订辐射事故应急预案和安全规章制度，项目建成投运后，应认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

13.1.9 环保设施与保护目标

建设单位需按环评要求配备较全、效能良好的环保设施，使本次环评中确定的绝大多数保护目标，所受的辐射剂量，保持在合理的、可达到的尽可能低的水平。

13.1.10 辐射安全管理的综合能力

医院已成立辐射事故应急处理领导小组，并指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作；该院应根据实际情况及本报告要求，制定和完善相关辐射安全管理制度，以适应当前环保的管理要求；本项目建成后新增辐射工作人员须进行上岗培训，并辐射工作人员进行职业健康监护和个人剂量监测，建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

13.2 项目环保可行性结论

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

13.3 建议与承诺

13.3.1 工作场所建设

墙体和衰变池施工时应请专门的施工单位进行施工，保证防护厚度符合要求；使用的屏蔽防护材料应向专业厂家购置；防护门、窗安装时注意搭接处的防护，防护门与墙、窗与墙、墙体之间搭接处重叠宽度应不小于空隙的 10 倍。

13.3.2 人员培训和健康检查

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号）和《关于进一步优化辐射安全考核公告》（生态环境部公告第 2021 年第 9 号），医院应尽快组织新增辐射工作人员和从事使用 II 类射线装置的辐射工作人员到生态环境部培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。从事使用 III 类射线装置的辐射工作人员应参加医院自行组织的辐射安全与防护考核，并取得合格成绩，并建立成绩档案。

根据《放射工作人员职业健康管理办法》规定“放射工作单位应当组织上岗后的放

射工作人员定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查”。医院需尽快安排辐射工作人员进行在岗期间职业健康检查。

13.3.3 管理制度

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

(2) 严格执行本项目放射性核素送入、存储和使用过程的管理措施，控制人流、物流通道，落实分区管理措施。

(3) 完善辐射辐射事故应急处理预案。

13.3.4 其它建议和要求

(1) 医院应进一步加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。

(2) 加强对辐射工作人员个人剂量的管理，若发现季度监测数据超过 1.25mSv，应及时进行调查、查找原因，并采取相应的干预管理措施；定期将辐射监测设备送至有检定资质的单位进行检定，保证监测设备监测数据的有效性；个人防护用品使用达到五年期限时，应及时更新。

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

(5) 医院应告知受检者检查完后，在 10 个半衰期内应避免出入公共场所，并控制与家庭成员及公众的接触距离。

(6) 医院应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

(7) 本项目环评审批后，医院应及时到发证机关重新申领《辐射安全许可证》，办理前应登录“全国核技术利用辐射安全申报系统(网址 <http://rr.mee.gov.cn/>)”中实施申报登记。

(8) 根据《建设项目环境保护管理条例》，工程建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。建设项目正式投产运行前，建设单位应按规范进行项目竣工环保验收。本工程竣工环境保护验收一览表见表 13-1。

表 13-1 项目环保竣工验收检查一览表

类别	环保设施（措施）
	本次新增

建设内容	江油市人民医院拟在外产科大楼负一层建设核医学工作场所。核医学科工作场所建筑面积约为 310m ² ，核医学科新建 1 间 PET/CT 机房（有效面积约为 37.4m ² ，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 250mm 混凝土，工作人员防护门为 9mmPb、观察窗为 9mmPb、患者防护门为 9mmPb），1 间 SPECT/CT 机房（有效面积约为 38.0m ² ，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 250mm 混凝土，工作人员防护门为 4mmPb、观察窗为 4mmPb、患者防护门为 4mmPb），1 间分装注射室（有效面积约为 15.0m ² ，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土， ¹⁸ F 通风橱为 50mmPb， ^{99m} Tc 通风橱为 20mmPb，PET/CT 注射窗 40 mmPb，SPECT/CT 注射窗为 10mmPb，防护门为 4mmPb）、1 间储源室（有效面积约为 7.56m ² ，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，防护门为 4mmPb）、1 间废物间（有效面积约为 5.6m ² ，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，防护门为 4mmPb）、1 间卫生通过间（有效面积约为 9.2m ² ，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，防护门为 4mmPb）、1 间洁具室（有效面积约为 6.8m ² ，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，防护门为 4mmPb）、1 间运动负荷室（有效面积约为 10.4m ² ，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，防护门为 4mmPb）、1 间 PET/CT 候诊室（有效面积约为 11.4m ² ，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 300mm 混凝土，防护门为 9mmPb）、1 间 SPECT/CT 候诊室（有效面积约为 10.2m ² ，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 300mm 混凝土，防护门为 4mmPb）、1 间 PET/CT 留观室（有效面积约为 16.5m ² ，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，防护门为 5mmPb）、1 间 SPECT/CT 留观室兼抢救室（有效面积约为 15.8m ² ，四侧墙体为 300mm 混凝土，顶棚为 160mm 混凝土，防护门为 4mmPb）、患者通道（防护门为 8mmPb，并设置单向出入门禁）以及控制廊、设备间、医生办公室、阅片室、缓冲间、留置针室、问诊室、注射前等候区等配套房间。
环评手续履行情况	项目环评批复、辐射安全许可证
废气处理	核医学科设有 3 条排风管道，1 号排风管道单独连接分装注射室的通风橱（ ¹⁸ F 专用），设计总排风量为 1500m ³ /h 的排风机，排放风速不低于 0.5m/s；2 号排风管道单独连接分装注射室的通风橱（ ^{99m} Tc 专用），设计总排风量为 1500m ³ /h 的排风机，排放风速不低于 0.5m/s；3 号排风管道单独连接储源室、分装注射室、注射等待室、废物间、洁具室、消耗品库房、卫生通过间、走道、运动负荷室、PET/CT 候诊室、SPECT/CT 候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、PET/CT 留观室、SPECT/CT 留观室兼抢救室、污洗间、患者走廊等房间。设计总排风量为 5000m ³ /h 的排风机，各排风管内保持负压，拟安装防回流装置。核医学科产生的废气经由排风系统排至外产科大楼楼顶，排气口高于屋脊 3m，同时在排风口配置高效过滤器+活性炭过滤器二级处理设施（净化效率 99%）并做防风防雨倒灌措施。
废水处理	本项目核医学科放射性废水处理间设置在地下室外围东侧，由 300mm 厚混凝土浇筑。放射性废水处理间内放置三个并联的相同体积的地理式衰变池，每个衰变池容积约为 10m ³ （1.7m×1.7m×3.5m）。衰变池池壁和池底满足坚固、耐酸碱和防泄露的要求，放射性废水经衰变池衰变后排入医院新建废水处理站，进一步处理后纳入市政污水管网。
放射性固废	在分装注射室设置 2 个放射性废物桶，在 PET/CT 候诊室、SPECT/CT 候诊室、PET/CT 留观室、SPECT/CT 留观室兼抢救室各设置 1 个放射性废物桶。
安全装置	储源室设置双人双锁，并设置视频监控；监督区设置电离辐射警示标志
辐射屏蔽措施	各辐射工作用房墙体屏蔽材料和屏蔽厚度与环评一致。 通风橱(¹⁸ F)防护当量不低于 50 mmPb，通风橱(^{99m} Tc)防护当量不低于 20 mmPb；PET/CT 注射防护窗防护当量不低于 40 mmPb，SPECT/CT 注射防护窗防护当量不低于 10 mmPb。 自动分装仪 2 台
个人	PET/CT 机房设置 1 块 10mmPb 的移动式防护铅屏风，SPECT/CT 机房设置 1 块 6mmPb

防护用品	的移动式防护铅屏风，PET 候诊室设置 1 块 6mmPb 的移动式防护铅屏风，SPECT/CT 候诊室设置 1 块 2mmPb 的移动式防护铅屏风。
	铅橡胶防护衣，铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅橡胶帽子（0.5mPb 当量）等各 4 套
	辐射工作人员个人剂量计 10 个
	污洗间、洁具室各设置去污工具组 1 套
	注射器防护套（ ¹⁸ F）1 个，防护当量不低于 15mmPb；注射器防护套（ ^{99m} Tc）1 个，防护当量不低于 5mmPb
台账	放射性固废收集处理台账
	放射性废水排放记录台账
	放射性药物购买及使用管理台账
监测	1 台表面污染仪、1 台 X-γ 辐射剂量率仪和 2 只个人剂量报警仪
综合管理	具有完善的操作规程、应急预案、辐射安全管理制度等
	辐射工作人员需参加辐射安全与防护培训，并持证上岗
	辐射工作人员建立个人剂量档案和职业健康体检档案

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人：公章

年月日

审批意见：

经办人：公章

年月日