核技术利用建设项目

江东院区新增核医学影像中心及介入诊疗设备应用场所项目环境影响报告表

(公示稿)

首都医科大学附属北京安贞医院南充医院

(南充市中心医院)

二〇二五年九月

生态环境部监制

目 录

表 1 项目概况	3
表 2 放射源	19
表 3 非密封放射性物质	20
表 4 射线装置	20
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	20
表 6 评价依据	20
表 7 保护目标与评价标准	26
表 8 环境质量和辐射现状	31
表 9 项目工程分析与源项	34
表 10 辐射安全与防护	56
表 11 环境影响分析	79
表 12 辐射安全管理	102
表 13 结论与建议	136

表 1 项目概况

建设项目名称	江东院区新增核医学影像中心及介入诊疗设备应用场所项目				
建设单位	首都医科大学附属北京安贞医院南充医院（南充市中心医院）				
法人代表	刘**	联系人	李**	联系电话	1568**
注册地址	南充市顺庆区人民南路 97 号				
项目建设地点	南充市高坪区安贞路 99 号南充市中心医院江东院区心血管疾病临床诊疗中心				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）	**	项目环保投资（万元）	**	投资比例（环保投资/总投资）	**%
项目性质	☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			占地面积（m ² ）	约 2065
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、建设单位简介及项目由来

首都医科大学附属北京安贞医院南充医院（统一社会信用代码：125**）原名南充市中心医院，是由原国家副主席张澜先生创建于 1937 年，现为集医疗急救、科研教学、康复保健为一体的国家三级甲等综合医院，是川北医学院第二临床医学院及西南医科大学等高校的临床教学医院，是国家卫健委临床药师培训基地、国际爱婴医院、中国航天员救治医院、全国脑卒中筛查基地、全国健康管理示范基地，现有 3 个院区（顺庆院区、江东院区、小龙院区）、1 个分院（嘉陵分院）、1 个社区卫生服务中心，设置床位 4000 张，开放床位 2700 张。

北京安贞医院是一家以治疗心肺血管疾病为重点的国家三级甲等综合医院，在全国心血管领域处于领军地位，其心血管内、外科手术例数均名列全国综合医院第一，南充市中心医院为国家区域医疗中心项目的承接单位，输出医院为首都医科大学附属北京安贞医院，根据国家区域医疗中心建设要求，南充市中心医院更名为首都医科大学附属北京安贞医院南充医院，同时保留南充市中心医院（后文简称“医院”）名称。医院凭借强劲的综合实力，在江东院区新建心血管疾病临床诊疗中心、心血管疾病科研与成果转化中心，取得了南充市生态环境局“首都医科大学附属北京安贞医院南充医院项目环境影响报告书”的批复（南市环审〔2023〕60号）。

医院拟在江东院区心血管疾病临床诊疗中心大楼负一层内新建核医学工作场所（设回旋加速器制药区和核医学影像中心），在 LF 层急诊中心、一层介入中心、三层中心手术室设介入诊疗设备应用场所，其中三层中心手术室的 2 间介入手术室为复合介入手术室。医院本期拟在负一层新建核医学影像中心，拟在核医学影像中心内使用 1 台 PET/MRI，1 台 SPECT-CT（III 类射线装置），使用 3 枚锝-68 放射源，活度为 $9.25 \times 10^7 \text{Bq} \times 1 \text{枚} + 4.625 \times 10^8 \text{Bq} \times 2 \text{枚}$ （均属于 V 类放射源），用于 PET/MRI 校准；拟在核医学影像中心内使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 两种放射性核素，用于心脏、大脑、肾图、膀胱、神经、淋巴系统等疾病及肿瘤的显像检查；拟在急诊中心使用 1 台数字减影血管造影装置（DSA）、介入中心使用 8 台 DSA、中心手术室内使用 2 台 DSA，均属于 II 类射线装置，用于心脑血管疾病介入手术。

按照《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 449 号）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（国家环保部令 18 号）规定和要求，本项目需进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部 部令 16 号）的相关规定，**本次仅对心血管疾病临床诊疗中心新建核医学影像中心、急诊中心使用 1 台数字减影血管造影装置（DSA）、介入中心使用 8 台 DSA、中心手术室内使用 2 台 DSA 进行评价**，本项目属于“第五十五项—172 条核技术利用建设项目——使用 II 类射线装置、乙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）”，应编制环境影响报告表，并报四川省生态环境厅审查批准。因此，建设单位委托四川省中栎环保科技有限公司编制该项目环境影响报告表（委托书见附件 1）。

四川省中栎环保科技有限公司接受本项目环境影响报告表编制工作的委托后，在进行现场踏勘、实地调查了解项目所在地环境条件和充分研读相关法律法规、规章制度、技术资料后，在项目区域环境质量现状评价的基础上，对项目的环境影响进行了预测，并按相应标准进行评价。同时，就项目对环境可能造成的影响、项目单位从事相应辐射活动的的能力、拟采取的辐射安全和防护措施及相关管理制度等进行了评价分析，在此基础上提出合理可行的对策和建议，编制完成本报告表。

本报告编制完成后，医院就本项目在医院官网上对报告进行了全文公示(附件 14)，截止本项目报送前，未收到单位和个人有关项目情况的反馈意见。

二、产业政策符合性

根据中华人民共和国国家发展和改革委员会制定的《产业结构调整指导目录(2024 年本)》(国家发展改革委令 第 7 号公布，2024 年 2 月 1 日起施行)，本项目建设内容属于鼓励类中第三十七项“卫生健康”的第 1 款“医疗卫生服务设施建设”，可更好的为南充市及周边患者提供放射治疗和核医学诊疗服务，属于国家鼓励类产业，符合现行的国家产业政策。

三、本项目实践的正当性分析

本项目开展目的是为了对患者进行医学诊断和治疗，可更好地满足患者多层次、多方位、高质量的诊疗需求，提升医院对心脑血管患者的诊治能力。核技术应用项目的开展，可达到一般非放射性诊治方法所不能及的诊断及治疗效果，是其它项目无法替代的，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。在采取了相应的辐射防护措施后，项目所致的辐射危害可得到有效控制，项目实施的利益大于代价，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)规定的辐射防护“实践的正当性”原则。

四、项目概况

(一) 项目名称、性质、地点

项目名称：江东院区新增核医学影像中心及介入诊疗设备应用场所项目

建设性质：新建

建设地点：南充市高坪区安贞路 99 号南充市中心医院江东院区心血管疾病临床诊疗中心

(二) 建设内容与规模

医院拟在江东院区心血管疾病临床诊疗中心（在建，地上最高 13 层、中间裙楼 4—7 层，地下 2 层）负一层西北侧设核医学工作场所、LF 层中部设急诊中心、一层东北侧设介入中心、三层西北侧设中心手术室。

1、核医学影像中心

医院拟在负一层核医学工作场所南侧设核医学影像中心，在影像中心内建设储源室、分装注射室、注射区、SPECT 检查候诊室、PET-MRI 候诊室、SPECT 检查室、PET/MRI 检查室、运动负荷/抢救室（兼运动室）、SPECT 检查留观室、PET-MRI 检查留观室、放废暂存室、去污间等。在核医学影像中心 PET-MRI 影像诊断拟使用放射性核素¹⁸F，SPECT-CT 影像诊断拟使用放射性核素^{99m}Tc（使用钼铈发生器淋洗制备）。拟在 PET/MRI 检查室内使用 1 台 PET/MRI，使用 3 枚锞-68 放射源对 PET/MRI 进行校准，额定活度为 $9.25 \times 10^7 \text{Bq} \times 1 \text{枚} + 4.625 \times 10^8 \text{Bq} \times 2 \text{枚}$ ，均属于 V 类放射源；拟在 SPECT 检查室内使用 1 台 SPECT-CT（III 类射线装置），最大管电压为 150kV、最大管电流为 1000mA。

SPECT-CT 影像诊断使用放射性同位素^{99m}Tc 计划年最大操作量为 $5.55 \times 10^{12} \text{Bq}$ ，计划日最大操作量为 $2.22 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $2.22 \times 10^8 \text{Bq}$ ；使用钼铈发生器计划年最大操作量为 $6.85 \times 10^{12} \text{Bq}$ ，计划日最大操作量为 $3.70 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $3.70 \times 10^7 \text{Bq}$ ；PET-MRI 诊断使用放射性核素¹⁸F 计划年最大操作量为 $5.55 \times 10^{12} \text{Bq}$ ，计划日最大操作量为 $2.22 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $8.88 \times 10^6 \text{Bq}$ （其中核素显像为 $7.40 \times 10^6 \text{Bq}$ 、核素暂存为 $1.48 \times 10^6 \text{Bq}$ ）。在核医学影像中心内，使用的放射性同位素日等效最大操作量为 $2.68 \times 10^8 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

核医学影像中心内分装注射室、储源室、放射性废物库四周墙体均为 240mm 厚混凝土，注射窗为 40mm 铅当量铅钢/铅玻璃；注射区南侧墙体为 450mm 厚混凝土或 240mm 厚实心砖+4mm 铅当量硫酸钡板，其余三侧均为 240mm 厚混凝土；PET-MRI 候诊室北侧墙体为 450mm 厚混凝土或 240mm 厚混凝土+6mm 铅当量硫酸钡板，西侧和东侧墙体均为 240mm 厚混凝土+6mm 铅当量硫酸钡板，南侧墙体为 240mm 厚混凝土+6mm 铅当量硫酸钡板或 240mm 厚混凝土，屋顶为 200mm 厚混凝土+6mm 铅板；SPECT 检查候诊室西侧墙体为 370mm 厚实心砖墙，其余三侧墙体均为 240mm 厚混凝土+4mm 铅当量硫酸钡板；SPECT 检查室北侧墙体为 450mm 厚混凝土，其余三侧均为 370mm 厚实心砖墙，医生进出门、观察窗均为 3mm 铅当量，屋顶为 200mm 厚混凝土+1mm

铅板；PET/MRI 检查室及患者准备间北侧墙体为 450mm 厚混凝土或 450mm 厚混凝土+240mm 厚实心砖墙或 240mm 厚实心砖墙+4mm 铅当量硫酸钡板，其余三侧均为 240mm 厚实心砖墙+4mm 铅当量硫酸钡板，屋顶为 200mm 厚混凝土+4mm 铅板；PET/MRI 注射后留观室西侧墙体为 400mm 厚混凝土，南侧为 450mm 厚混凝土，东侧为 240mm 厚混凝土，北侧为 200mm 厚实心砖墙；SPECT 检查留观室西侧、东侧墙体均为 240mm 厚混凝土，北侧为 240mm 厚混凝土或 200mm 厚实心砖，南侧为 200mm 厚实心砖墙。场所内的其余防护门、防护窗为 5mm 铅当量、10mm 铅当量或 15mm 铅当量，屋顶均为 200mm 厚混凝土。

2、介入诊疗设备应用场所

(1) 急诊中心

医院拟在江东院区心血管疾病临床诊疗中心 LF 层急诊中心设 DSA 手术间及配套用房（控制室、设备间、污物暂存间等）各 1 间，在 DSA 手术间内使用 1 台 DSA（型号待定），最大管电压为 150kV，最大管电流为 1000mA，属于 II 类射线装置，年最大曝光时间约 65h（拍片 6.5h、透视 58.5h），主射线束由下向上。

急诊中心内 DSA 手术间净空面积约 49.54m²（L×B=6.65m×7.45m）。DSA 手术间四面墙体拟采用 370mm 厚实心砖墙+15mm 厚硫酸钡涂层，屋顶为 120mm 厚混凝土+45mm 厚硫酸钡涂层，地面为 260mm 厚混凝土+15mm 厚硫酸钡涂层，3 扇铅钢结构防护门均为 4mm 铅当量、1 扇观察窗为 4mm 铅当量。

(2) 介入中心

医院拟在江东院区心血管疾病临床诊疗中心一层介入中心设 8 间介入手术间及配套用房（控制室、设备间等），在 8 间介入手术间内分别使用 1 台 DSA（型号待定），最大管电压为 150kV，最大管电流为 1000mA，属于 II 类射线装置，年最大曝光时间约 115.5h/台（拍片 10.5h、透视 105h），主射线束由下向上。

介入中心内 8 间介入手术间净空面积为 43.7m²~58.2m²。8 间介入手术间四面墙体拟均采用 370mm 厚实心砖墙+15mm 厚硫酸钡涂层，屋顶为 250mm 厚混凝土+15mm 厚硫酸钡涂层，地面为 250mm 厚混凝土+15mm 厚硫酸钡涂层，所有 DSA 手术间的所有铅钢结构防护门和观察窗均为 4mm 铅当量。

(3) 中心手术室

医院拟在江东院区心血管疾病临床诊疗中心三层中心手术室设 2 间复合 DSA 手术

间及配套用房（控制室、设备间等），在 2 间复合 DSA 手术间内分别使用 1 台 DSA（型号待定），最大管电压为 150kV，最大管电流为 1000mA，属于 II 类射线装置，年最大曝光时间约 120h/台（拍片 12h、透视 108h），主射线束由下向上。

中心手术室内 2 间复合 DSA 手术间(4 手术间、5 手术间)净空面积分别为 95.9m²、109.1m²。2 间 DSA 手术间四面墙体拟均采用 200mm 厚实心砖墙+37mm 厚硫酸钡涂层，屋顶为 250mm 厚混凝土+15mm 厚硫酸钡涂层，地面为 250mm 厚混凝土+15mm 厚硫酸钡涂层，所有 DSA 手术间的所有铅钢结构防护门和观察窗均为 4mm 铅当量。

表1-1 本项目DSA手术间尺寸相关参数

项目组成及主要环境问题见表 1-2。

表 1-2 建设项目组成及主要的环境问题表

名称	科室	场所	建设内容及规模		可能产生的环境问题			
					施工期	运营期		
主体工程	核医学影像中心	核素	^{99m} Tc	计划年最大操作量为 5.55×10 ¹² Bq，计划日最大操作量为 2.22×10 ¹⁰ Bq，日等效最大操作量为 2.22×10 ⁸ Bq	包含在《南充市中心医院首都医科大学附属北京安贞医院南充医院项目环境影响报告书》中	X 射线、β 射线、γ 射线、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物、废放射源		
			钼铯发生器	计划年最大操作量为 6.85×10 ¹² Bq，计划日最大操作量为 3.70×10 ¹⁰ Bq，日等效最大操作量为 3.70×10 ⁷ Bq				
			¹⁸ F	年最大操作量为 5.55×10 ¹² Bq，计划日最大操作量为 2.22×10 ¹⁰ Bq，日等效最大操作量为 8.88×10 ⁶ Bq				
		密封源	⁶⁸ Ge	对 PET/MRI 进行校准，活度为 9.25×10 ⁷ Bq×1 枚+4.625×10 ⁸ Bq×2 枚，均属于 V 类放射源				
		射线装置	设备、数量	1 台 SPECT-CT				
			设备型号	待定				
			管理类别	III 类射线装置				
			最大管电压/电流	150kV/1000mA				
		非密封放射性物质工作场所	储源室、分装注射室、放废暂存室、注射区、SPECT 检查候诊室、PET-MRI 候诊室、运动负荷/抢救室、SPECT 检查室、PET/MRI 检查室、PET-MRI 检查留观室、SPECT 检查候诊室、患者走道等					
		介入诊	急诊中心 DSA 手术间	设备、数量			1 台 DSA	
设备型号	待定							
管理类别	II 类							

	疗设备应用场所		使用场所	LF 层急诊中心 DSA 手术间		
			年曝光时间	65h/台 (拍片 6.5h、透视 58.5h)		
			最大管电压/电流	150kV/1000mA		
		介入中心介入手术间 1~介入手术间 8	设备、数量	8 台 DSA		
			设备型号	待定		
			管理类别	II类		
			使用场所	介入手术间 1~介入手术间 8		
			年曝光时间	115.5h/台 (拍片 10.5h、透视 105h)		
			最大管电压/电流	150kV/1000mA		
		中心手术室 4 手术间、5 手术间	设备、数量	2 台 DSA		
			设备型号	待定		
			管理类别	II类		
			使用场所	4 手术间、5 手术间		
			年曝光时间	120h/台 (拍片 12h、透视 108h)		
			最大管电压/电流	150kV/1000mA		
辅助工程	控制室、设备间、污物暂存间、空调机房、制冷机房、冷却水泵房、污泵间等配套辅助用房				废水、噪声、固废	
公用工程	市政水网、市政电网、配电系统、污水处理站、通排风系统				/	
办公及生活设施	医生办公室、卫生间、值班室、示教室、会议室、更衣室等				生活垃圾、生活污水	
环保设施	<p>废水：放射性废水经收集后在衰变池内衰变暂存超过 30 天，达到清洁解控水平后，与医院其他废水经污水管道一起排入医院污水处理站处理。</p> <p>固废：放射性放射性固体废物经收集后，储源室、分装注射室产生的放射性固体废物在放射性废物库，其他区域内产生的放射性废物暂存在放废暂存室，暂存超过 30 天，经监测达到清洁解控水平后，作为医疗废物进行处理；医疗废物依托医院医废暂存间及收集系统进行收运，交由有资质的单位收运处理；办公、生活垃圾依托医院既有收集系统收集后，交由环卫部门进行收运处理。</p> <p>废气：核医学科影像中心场所内废气经收集，通过高效过滤装置过滤后，经管道引至楼顶经排放；手套箱内废气经顶壁内侧活性炭过滤装置处理后，通过高效过滤装置过滤后，经管道引至屋顶排放；DSA 产生的臭氧经管道引出后在室外排放。</p>				废水、固废、废气	

(三) 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 1-3。

表 1-3 主要原辅材料及能耗情况表

类别	名称	使用量	来源	用途
主要原辅材料	^{99m} Tc	年使用量为 5.55×10 ¹² Bq	外购	影像诊断
	¹⁸ F	年使用量为 5.55×10 ¹² Bq	外购	影像诊断
	钼铊发生器	年使用量为 6.85×10 ¹² Bq	外购	淋洗制药
	造影剂	894L/a	外购	介入血管造影
	⁶⁸ Ge	9.25×10 ⁷ Bq×1 枚+4.625×10 ⁸ Bq×2 枚	外购	校准
能源	煤 (t)	-	-	-
	电(度)	5×10 ⁶	市政电网	-
	气 (nm ³)	-	-	-
水量	地表水 (m ³)	10000	-	-
	地下水	-	-	-

(四) 本项目所涉及的射线装置

表 1-4 本项目射线装置清单

序号	装置名称	数量	型号	设备参数	管理类别	使用场所	备注
1	SPECT-CT	1 台	待定	最大管电压 150kV, 最大管电流 1000mA	III类	江东院区心血管疾病临床诊疗中心负一层 SPECT 检查室	拟购
2	DSA	1 台	待定	最大管电压 150kV, 最大管电流 1000mA	II类	江东院区心血管疾病临床诊疗中心 LF 层急诊中心	拟购
3	DSA	8 台	待定	最大管电压 150kV, 最大管电流 1000mA	II类	江东院区心血管疾病临床诊疗中心一层介入中心	拟购
4	DSA	2 台	待定	最大管电压 150kV, 最大管电流 1000mA	II类	江东院区心血管疾病临床诊疗中心三层中心手术室	拟购

表 1-5 本项目 DSA 使用情况

设备	曝光方向	管理科室	常用拍片工况		常用透视工况	
			管电压	管电流	管电压	管电流
DSA	由下向上	急诊中心、介入中心、中心手术室	≤100kV	≤500mA	≤90kV	≤20mA

介入手术工作量分配

使用场所		单台手术最长曝光时间		单台 DSA 年手术量 (台)	单台 DSA 年最大出束时间		
		拍片 (min)	透视 (min)		拍片 (h)	透视 (h)	小计(h)
常规 DSA	急诊中心	1	9	390	6.5	58.5	65
介入手术	介入中心	1.5	15	420	10.5	105	115.5
复合 DSA 介入	中心手术室	2	18	360	12	108	120

(五) 本项目医用核素及使用情况一览表

表 1-6 本项目涉及核素特性

场所	使用核素	半衰期	状态	毒性分组	衰变方式	主要射线及能量	周围剂量当量率常数 (裸源) ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)
核医学科	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	液态	低毒	IT、 β^-	γ :0.1405(89.0)、0.1426、0.3224	0.0303
	^{99}Mo	2.75d	固态	中毒	β^-	β :1.214(84%)、0.450(14%) γ :0.7394(12.6%)、0.18107(49.9%)	0.088
	^{18}F	109.8min	液态	低毒	EC、 β^+	β :0.635(97%)、 γ :0.511 (194%)	0.143

注：上表中 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 数据来源于《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)， ^{99}Mo 数据来源于《辐射防护手册第一分册》。

表 1-7 本项目使用核素诊疗用药情况

场所	使用核素	年最大诊疗人数	日最大诊疗/治疗人数	单人次最大用量	年用量 (Bq)	最大日操作量 (Bq)
核医学影像中心	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	7500	30	740MBq (20mCi)	5.55E+12	2.22E+10
	^{18}F	5000	20	370MBq (10mCi)	1.85E+12	7.40E+09
		日最大备药量：14800MBq (400mCi)				3.70E+12

注：*— ^{18}F 半衰期较短，本次分析考虑 2 倍备药量。

表 1-8 放射源基本参数情况

放射源种类	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚	放射源类别	半衰期	辐射类型	辐射最大能量	备注
^{68}Ge	1.018×10^9 / $9.25\times 10^7\times 1$ 枚 $+4.625\times 10^8\times 2$ 枚	V类	270.8d	β^+ 、EC	β^+ : 1.89、 γ :1.08	放射源活度不能达到要求时，联系放射源厂家更换放射源

(六) 本项目使用核素及工作场所分级

根据医院提供资料，医院核医学影像中心 SPECT-CT 诊断投入使用后，每天使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行放射诊断的患者最多 30 人，每日实施注射时的最大有效活度为 $2.22\times 10^{10}\text{Bq}$ ，医院通过采购钼铈发生器进行淋洗得到；PET/MRI 诊断投入使用后，每天使用 ^{18}F 进行放射诊断的患者最多 20 人，每日使用的放射性药物最多为 $7.40\times 10^9\text{Bq}$ ，由于其半衰期较短，需考虑核素用药量和衰变量，保守按照日用量的 2 倍量备药，则日备药量为 $1.48\times 10^{10}\text{Bq}$ 。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 在淋洗制备得到后，医生需要进行质控，外购药物 ^{18}F 到货后医生需要进行质检，分别每次最多取用 0.1uCi ($3.7\times 10^6\text{Bq}$)，可忽略不计。

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 附录 C，非密封放射性物质工作场所的分级判据如表 1-9。

表 1-9 非密封放射性物质工作场所分级表

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等效最大操作量确定。毒性组别和操作方式与放射源状态修正因子见表 1-10、表 1-11。

表 1-10 放射性核素毒性组别修正因子表

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 1-11 放射性核素操作方式修正因子表

操作方式	放射性物质状态			
	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
简单的操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），非密封放射性物质工作场所应按放射性核素日等效最大操作量的大小分为甲、乙、丙三级，日等效操作量计算公式为：

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

因此，根据本项目核医学科使用放射性同位素的毒性组别、操作方式和日等效操作量，确定本项目核医学影像中心工作场所级别，具体见表 1-12。

表 1-12 本项目核医学影像中心工作场所分级表

使用核素名称	用途	计划年用量 (Bq)	计划日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	单项目等效最大操作量 (Bq)	场所内最大总日等效操作量 (Bq)	工作场所级别
^{99m}Tc	核素淋洗、显像	$5.55\text{E}+12$	$2.22\text{E}+10$	0.01	1	$2.22\text{E}+08$	$2.68\text{E}+08$	乙级非密封放射性物质工作场所
^{18}F	核素显像	$1.85\text{E}+12$	$7.40\text{E}+09$	0.01	10	$7.40\text{E}+06$		
^{18}F	核素暂存	$3.70\text{E}+12$	$1.48\text{E}+10$	0.01	100	$1.48\text{E}+06$		
^{99}Mo (钼铯发生器)	核素暂存	$6.85\text{E}+12$	$3.70\text{E}+10$	0.1	100	$3.70\text{E}+07$		

注：*— ^{18}F 半衰期较短，本次分析考虑 2 倍备药量。

根据表 1-12 可知，本项目非密封放射性物质工作场所内场所内最大总日等效操作

量为 2.68E+08Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。

（七）本项目外环境及选址合理性分析

1、外环境关系

本项目涉及的辐射工作场所均位于医院江东院区（原下中坝院区）在建心血管疾病临床诊疗中心内，在心血管疾病临床诊疗中心东侧约 38m~50m 为医院外鹤鸣路，南侧约 58m 为安贞路，西侧约 38m 处为第一住院大楼（已建），西北侧约 26m 处为第二住院大楼（已建），北侧约 18m~50m 处自西向东依次为服务中心（已建）、心血管疾病临床研究及成果转化中心（在建）。江东院区平面布局及外环境关系见附图 2。

2、选址合理性分析

本项目所在楼南侧、东侧紧邻交通要道，选址所在地交通便利，周围较空旷，无重大环境制约因素。根据南充市自然资源和规划局《关于出具首都医科大学附属北京安贞医院四川医院建设项目用地预审、选址意见的复函》，建设单位已于 2012 年取得了高坪区下中坝院区土地，根据医院提供的《国有土地使用证》（南充市国用〔2013〕第 018487 号），项目所在院区用途为**医疗慈善用地**，符合城乡规划要求。本项目所在医院已在“首都医科大学附属北京安贞医院南充医院项目环境影响报告书”中进行了环境影响评价并取得批复（南市环审〔2023〕60 号），批复中包含了心血管疾病临床诊疗中心、心血管疾病临床研究及成果转化中心等建设内容，选址合理性已在相关环评报告书中进行了论述。本项目为医院配套建设项目，不新增用地，且拟建的项目设有专门的辐射工作场所，建成后有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对周围环境影响较小，从辐射安全防护角度分析，本项目的选址是合理的。

医院新增核医学科工作场所选址于心血管疾病临床诊疗中心负一层西北侧，其余区域均为地下停车场，正上方为急诊中心，场所正下方无其他建筑，工作场所内设有专门的人员通道、物流通道，能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）中第 5.1.1 规定的“核医学工作场所宜建在医疗机构内集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道”的要求；在核医学影像中心，放射性物质工作场所和非放射性区域具有明显的物理隔离，周围无产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）中第 5.1.2 规定的“核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离”。新建核医学科工作场所内北侧高活区域

为预留回旋加速器制药区，南侧为核医学影像中心，充分考虑了其对周边环境以及院区公众的辐射影响，也实现了放射性药物通道尽可能短的原则，与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）中第 5.2.1 规定的“控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染”布局的要求。

综上，从辐射防护安全和环境保护角度分析，本项目核医学影像中心选址是合理的。

（八）劳动定员及工作制度

劳动定员：本项目拟配置辐射工作人员共计 79 人，均为医院新增辐射工作人员，具体如表 1-13 所示。

表 1-13 本项目工作人员构成表

场所		设备/项目	配备人数	人员构成	备注
核医学影像中心		PET 诊疗项目	4	医生 1 人、技师 1 人、护士 2 人	存在人员交叉
		SPECT 诊疗项目	4	医生 1 人、技师 1 人、护士 2 人	
介入诊疗设备应用场所	LF 层急诊中心	DSA 手术间	7	医生 3 人、技师 2 人、护士 2 人	1 名医生、1 名护士、1 名技师为一组，技师 2 人轮流上班
	一层介入中心	介入手术间 1~介入手术间 8	50	医生 26 人、技师 8 人、护士 16 人	1~2 名医生、1 名护士、1 名技师为一组
	三层中心手术室	4 手术间、5 手术间	14	医生 8 人、技师 2 人、护士 4 人	1 名医生、1 名护士、1 名技师为一组，技师 2 人轮流上班
合计			79	/	/

工作制度：实行 8 小时工作制，年工作日以 250 天计。

（九）本项目依托的环保工程设施

本项目所在南充市中心医院江东院区心血管疾病临床诊疗中心包含在《南充市生态环境局关于南充市中心医院首都医科大学附属北京安贞医院南充医院项目环境影响报告书的批复》（南市环审〔2023〕60 号，附件 6）。本项目依托的主要环保设施有：

（1）本项目运营期间产生的污水依托医院自建的污水处理站处理，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，再通过污水管网排入南充市嘉东污水处理厂进一步处理达标后，尾水排往嘉陵江；

（2）本项目产生的生活垃圾收集后交由市政环卫部门统一清运；

（3）本项目产生的医疗废物与医院其他项目产生的医疗废物分类收集后，统一交

由有资质的单位处置。

五、原有核技术利用情况

1、医院原有辐射安全许可情况

医院已取得辐射安全许可证（附件 5），其许可证证书编号为川环辐证[00227]号，有效期至 2029 年 06 月 01 日，许可的种类和范围为使用Ⅲ类、Ⅴ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。具体情况见表 1-14~表 1-16。

表 1-14 医院已获许可放射源

序号	核素名称	出厂活度 (贝可)	放射源编码	类别	工作场所名称	来源	备注
1	铯-192	3.7E+11	**	Ⅲ	**	**	上证 在用
2	铯-192	3.7E+11	**	Ⅲ	**	**	
3	Sr-90	1.48E+9	**	Ⅴ	**	**	
4	Ge-68	7.4E+7	**	Ⅴ	**	**	
5	Cs-137	5.55E+6	**	Ⅴ	**	**	
6	Co-57	1.11E+7	**	Ⅴ	**	**	
7	Sr-90	1.48E+9	**	Ⅴ	**	**	

表 1-15 医院已获许可非密封放射性物质

序号	核素名称	工作场所日等效最大操作量(Bq)	工作场所年最大用量(Bq)	工作场所等级	工作场所名称	备注
1	I-125 籽源	**	**	丙级	核医学楼 ECT 检查室等	上证 在用
2	Tc-99m	**	**	乙级	核医学楼 ECT 检查室等	
3	Sr-89	**	**			
4	I-131	**	**			
5	Ga-68	**	**	乙级	江东院区第二住院楼 1 层核医学科 PET-CT 中心	
6	F-18	**	**			
7	C-11	**	**			

表 1-16 医院已获许可使用射线装置

序号	设备名称	规格型号	类别	数量	使用场所	备注
1	医用直线加速器	**	**	**	江东院区第二住院楼 1 层放疗中心加速器治疗室 1	上证 在用
2	医用直线加速器	**	**	**	江东院区第二住院楼 1 层放疗中心加速器治疗室 2	
3	DSA	**	**	**	门诊医技大楼负一楼介入手术室 1	
4	DSA	**	**	**	门诊医技大楼负一楼介入手术室 2	
5	双源 CT 机	**	**	**	门诊医技大楼负一楼 CT 检查室 2	
6	CT 机	**	**	**	门诊医技大楼负一楼 CT 检查室 3	
7	CT 机	**	**	**	发热门诊 CT 检查室	

8	DR	**	**	**	门诊医技大楼负一楼放射科检查室 1	
9	口腔全景 X 射线机	**	**	**	门诊医技大楼负一楼放射科检查室 2	
10	乳腺 X 射线机	**	**	**	门诊医技大楼负一楼放射科检查室 3	
11	双能 X 射线骨密度仪	**	**	**	门诊医技大楼负一楼放射科检查室 4	
12	平板胃肠机	**	**	**	门诊医技大楼负一楼放射科检查室 5	
13	DR	**	**	**	门诊医技大楼负一楼放射科检查室 6	
14	DR	**	**	**	门诊医技大楼负一楼放射科检查室 7	
15	牙科 X 射线机	**	**	**	门诊医技大楼口腔科牙片室	
16	移动式 X 射线机	**	**	**	第一住院大楼 ICU 病房	
17	移动式 X 射线机	**	**	**	内科大楼呼吸内科病房	
18	体外冲击波碎石机	**	**	**	顺庆区人民南路 97 号老门诊大楼放射科碎石中心	
19	SPECT-CT	**	**	**	核医学科 ECT 机房	
20	CT 机	**	**	**	健康管理中心 CT 检查室	
21	DR	**	**	**	健康管理中心 DR 检查室 2	
22	DR	**	**	**	小龙院区 DR 检查室	
23	DSA	**	**	**	江东院区急诊楼 3 层介入手术室 1	上证 在用
24	移动式 C 形臂 X 射线机	**	**	**	江东院区第三住院楼消化内镜中心 ERCP 室	
25	CT 机	**	**	**	江东院区门诊大楼 1 层 CT 检查室 2	
26	DR	**	**	**	江东院区门诊大楼 1 层 DR 检查室 3	
27	移动 DR	**	**	**	江东院区第二住院楼骨科病房	
28	移动式 C 形臂 X 射线机	**	**	**	江东院区门诊大楼 4 层手术室 1、2、3、4、5 号手术间	
29	PET-CT	**	**	**	江东院区第二住院楼 1 层核医学科 PET-CT 检查室	
30	CT 机	**	**	**	江东院区第二住院楼 1 层肿瘤定位 CT 检查室	
31	移动式 C 型臂 X 射线机	**	**	**	江东院区门诊大楼 4 层手术室 1、2、3、4、5 号手术间	上证 在用
32	平板胃肠机	**	**	**	江东院区门诊大楼 1 层 X 线造影室	
33	口腔 CBCT	**	**	**	江东院区门诊大楼 3 层口腔科 CBCD 室	
34	牙科 X 射线机	**	**	**	江东院区门诊大楼 3 层口腔科牙片室	
35	DR	**	**	**	江东院区门诊大楼健康管理中心 DR 检查室	

36	CT机	**	**	**	江东院区门诊大楼健康管理中心CT检查室2	上证 在用
37	双能量X射线骨密度仪	**	**	**	江东院区门诊大楼健康管理中心骨密度检查室1	
38	双能量X射线骨密度仪	**	**	**	江东院区门诊大楼健康管理中心骨密度检查室2	
39	双能X射线骨密度仪	**	**	**	干部保健科骨密度检查室	
40	CT机	**	**	**	江东院区门诊大楼健康管理中心CT检查室1	
41	CT机	**	**	**	江东院区急诊楼3层介入手术室2	
42	移动式X射线机	**	**	**	第一住院大楼呼吸与危重症医学科病房	
43	DSA	**	**	**	顺庆院区门诊医技大楼负一楼介入手术间3	
44	螺旋CT机	**	**	**	门诊医技大楼负一楼CT检查室1	
45	CT机	**	**	**	江东院区门诊大楼1层CT检查室3	
46	CT机	**	**	**	小龙院区CT检查室	

(二) 辐射工作人员培训情况

医院严格按照国家相关规定执行辐射工作人员持证上岗制度，现有355名辐射工作人员，其中141名辐射工作人员、2名辐射安全管理人员通过了生态环境主管部门组织的考核（附件10），其余使用 III 类医用射线装置的辐射工作人员通过了医院组织的自主考核。

(三) 辐射工作场所年度监测情况

医院在 2024 年度，委托了四川鸿源环境检测技术咨询有限公司对全院所有在用医用诊断射线装置、放射治疗、核医学科工作场所及周边先后进行了监测，先后出具了编号为川鸿源环监字[2025]第 F088 号、川鸿源环监字[2025]第 F140 号、川鸿源环监字[2025]第 F141 号的监测报告。根据建设单位提供的 2024 年年度监测的说明(附件 8)，医院所有在用介入诊疗（DSA）设备工作场所和 III 类射线装置工作场所周围，各关注点处最大辐射剂量率为 1.999 μ Sv/h（已扣除环境本底），均能够满足 GBZ130-2020 中 6.3.1 的相关规定；放射治疗工作场所周围最大辐射剂量率为 0.203 μ Sv/h（已扣除环境本底），能够满足 HJ 1198 中 6.1.4“居留因子大于 1/2 的场所周围关注点处辐射剂量率水平不高于 2.5 μ Sv/h”“居留因子小于 1/2 的场所周围关注点处辐射剂量率水平不高于 10 μ Sv/h”的规定；核医学科工作场所内测得 X- γ 辐射剂量率最大为 2.131 μ Sv/h（已扣除环境本底），在核医学科工作场所控制区内测得 β 表面污染水平最大值为 4.856Bq/cm²、

监督区及其余区域 β 表面污染水平均低于 $0.342\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，各监测因子监测结果均能够满足 HJ1188 中关于“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$ ”的相关规定。

（四）个人剂量检测情况

医院现有辐射工作人员共 355 名，医院为每名辐射工作人员配备了个人剂量计，定期交由有资质的检测单位进行检测，建立了个人剂量档案。医院提供了 2024 年连续四个季度个人剂量统计表，年最大个人剂量为 1.76mSv ，未发现单季度个人有效剂量超过季度限值 1.25mSv 的情况，也未发现个人年剂量值超过 5mSv 的情况，符合管理要求。

（五）年度评估报告

医院在全国核技术利用辐射安全申报系统（rr.mee.gov.cn）中提交了“2024年度四川省核技术利用单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告”，医院对 2024 年度的辐射场所的安全和防护状况以及辐射管理情况进行了评估说明。由医院反馈得知，医院自取得辐射安全许可证以来，未发生过辐射安全事故（附件2）。

（六）辐射管理规章制度执行情况

根据相关文件的规定，结合医院实际情况，制定有相对完善的管理制度，包括《辐射工作场所安全管理要求》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射安全和防护设施维护维修制度》、《射线装置台账管理制度》、《辐射工作人员培训计划》、《辐射工作设备操作规程》、《辐射工作人员个人剂量管理制度》、《辐射事故应急预案》等。医院辐射安全管理机构健全，有领导分管，人员落实，责任明确，在落实各项辐射安全规章制度后，可满足原有辐射工作场所辐射防护需求。对医院现有场所而言，医院也已具备辐射安全管理的综合能力。医院应本次项目内容补充完善，并且应根据国家发布新的相关法规内容，结合医院实际及时对各项规章制度补充修改。

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	1.018×10 ⁹ /9.25×10 ⁷ ×1 枚+4.625×10 ⁸ ×2 枚	V	使用	PET/MRI 校准源	负一层核医学影像中心 PET/MRI 检查室	负一层核医学影像中心储源室	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	^{99m} Tc	液态, 半衰期为 6.02h	使用	2.22E+10	2.22E+08	5.55E+12	核素显像、淋洗	简单操作	心血管疾病临床诊疗中心核医学影像中心	负一层储源室
2	¹⁸ F	液态, 半衰期为 109.8min	使用	7.40E+09	7.40E+06	1.85E+12	核素显像	很简单操作	心血管疾病临床诊疗中心核医学影像中心	负一层储源室
3	¹⁸ F	液态, 半衰期为 109.8min	使用	1.48E+10	1.48E+06	3.70E+12	核素暂存	源的贮存	心血管疾病临床诊疗中心核医学影像中心	负一层储源室
4	⁹⁹ Mo(钼铯发生器)	固态, 半衰期为 2.75d	使用	3.70E+10	3.70E+07	6.85E+12	核素暂存	源的贮存	心血管疾病临床诊疗中心核医学影像中心	负一层储源室
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	最大电流 (mA) / 剂量率 (Gy/min)	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	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	SPECT-CT	III	1	待定	150	1000	影像检查与诊断	心血管疾病临床诊疗中心负一层 SPECT 检查室	本次拟购
2	DSA	II	1	待定	150	1000	心脑血管造影检查	心血管疾病临床诊疗中心 LF 层急诊中心 DSA 手术间	本次拟购
3	DSA	II	8	待定	150	1000	心脑血管造影检查	心血管疾病临床诊疗中心一层介入中心介入手术间 1~介入手术间 8	本次拟购
4	DSA	II	2	待定	150	1000	心脑血管造影检查	心血管疾病临床诊疗中心三层中心手术室 4 手术间、5 手术间	本次拟购
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

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	年排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
核医学影像中心去污时产生的清洁废水, 工作人员手部清洗废水, 受检者洗手、冲厕废水	液态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	175m ³	总 $\beta < 10\text{Bq/L}$	放射性废水通过专用管道排至衰变池中暂存	贮存超过 30 天后排入医院污水处理站
沾染放射性药物的注射器、注射针头及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、废	固态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	0.26t	3.1t	/	放废暂存室、放射性废物库暂存	暂存超过 30 天后, 经监测达到清洁解控后, 作为普通

活性炭等固体废物								医疗废物处置
核医学科产生的废 ^{68}Ge 校准源	固态	^{68}Ge	/	/	废 ^{68}Ge 校准源每 2 年更换 1 次	/	不暂存	更换时由生产厂家回收
核医学科产生的含气溶胶废气	气态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	微量	微量	微量	核医学影像中心场所内废气经收集,通过高效过滤装置过滤后,经管道引至楼顶经排放;手套箱内废气经顶壁内侧活性炭过滤装置处理后,通过高效过滤装置过滤后,经管道引至屋顶排放	环境大气
DSA 介入手术产生的医疗废物	固体	/	/	/	/	/	转移到医疗废物暂存间	交由有资质的单位收 运处置
DSA 产生的臭氧	气态	/	/	微量	微量	微量	经通排风系统排放	环境大气
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

2.含有放射性的废物要注明, 其排放浓度、年排放总量分别用比活度(Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³)和活度 (Bq)。

表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（2014 年 4 月 24 日修订）；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月 29 日修订）；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日实施）；</p> <p>(4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020年4月29日修订；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第 682 号，2017 年 7 月 16 日修订）；</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，生态环境部 部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(7) 《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，2016 年 6 月 1 日起实施）；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第 449 号令，2019 年 3 月 2 日第二次修订）；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部第 18 号令，2011 年 5 月 1 日实施）；</p> <p>(10) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日修订）；</p> <p>(11) 《关于发布<射线装置分类>的公告》（原环境保护部公告、国家卫生计生委 2017 年第 66 号）；</p> <p>(12) 《放射性废物安全管理条例》，中华人民共和国国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行；</p> <p>(13) 关于发布<放射性废物分类>的公告》（原环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告 2017 年公告第 65 号公布，自 2018 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(14) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》生态环境部公告2019年第9号，2019年11月1日起施行。</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与格式》（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) 《环境γ辐射剂量率测定技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(5) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>(6) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>(7) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GBZ11930-2010）；</p> <p>(8) 《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）；</p> <p>(9) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)；</p> <p>(10) 《医用放射性固废的卫生防护管理》（GBZ133-2009）；</p> <p>(11) 《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）；</p> <p>(12) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；</p> <p>(13) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）；</p> <p>(14) 《外照射放射防护剂里转换系数标准》（WS/T 830-2024）。</p>
其他	<p>(1) 环评委托书；</p> <p>(2) 《建设项目环境影响评价信息公开机制方案》（环发[2015]162号）；</p> <p>(3) 《辐射防护手册》（第一分册、第三分册），李德平、潘自强主编，原子能出版社；</p> <p>(4) 《辐射防护导论》（方杰主编，李世骏主审）；</p> <p>(5) 《核技术利用监督检查技术程序》（生态环境部（国家核安全局））；</p> <p>(6) 《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400号）；</p> <p>(7) 《关于建设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，原国家环境保护总局、公安部、卫生部文件，2006年9月26日）；</p> <p>(8) 《关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知》（环发〔2012〕77号，原环境保护部文件，2012年7月3日）；</p> <p>(9) 《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 公告2019年第57号）；</p> <p>(10) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 公告2021年第9号）。</p>

	(11) 南充市生态环境局《关于南充市中心医院首都医科大学附属北京安贞医院南充医院项目环境影响报告书的批复》(南市环审〔2023〕60号)； (12) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(HJ1326-2023)； (13) 南充市中心医院提供的工程设计图纸及相关技术参数资料。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据本项目的特点并参照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中“核技术利用建设项目环境影响评价报告表的评价范围和保护目标的选取原则：非密封放射性物质工作场所项目评价范围，乙级取半径 50m 的范围；射线装置应用项目评价范围通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”，确定本次评价范围为非密封放射性物质工作场所、医用射线装置使用场所实体屏蔽墙体外周边 50m 范围内作为评价范围。

保护目标

根据本项目确定的评价范围，环境保护目标主要是医院辐射工作人员和周围停留的公众，由于电离辐射水平随着距离的增加而衰减，因此选取离辐射工作场所较近、有代表性的环境保护目标进行分析，具体环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目相关环境保护目标

评价标准

一、环境质量标准

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

二、污染物排放标准

- (1) 大气污染物排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）二级标准；
- (2) 水污染物：本项目污水排入医院污水处理站处理后达到执行《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）中表 2（综合医疗机构和其他医疗机构）

的预处理排放标准；

(3) 噪声：①施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011) 中标准限值；②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) 固废：①一般固体废物执行《四川省固体废物污染环境防治条例》；②医疗废物执行《医疗废物处理处置污染控制标准》(GB 39707-2020)。

三、电离辐射限值

1、剂量限值

职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 第 4.3.2.1 条的规定，对任何工作人员，由来自各项获准实践的综合照射所致个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯平均）20mSv。

公众照射：第 B1.2.1 条的规定，实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过年有效剂量 1mSv。

2、剂量约束值

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中规定的“一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a，公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a”。

综上，本次评价确定本项目所在单位评价范围内，所有辐射工作人员职业照射的剂量约束值为 5mSv/a，公众照射的剂量约束值为 0.1mSv/a。

四、辐射工作场所周围剂量率控制水平

1、X 射线诊断装置

本项目 DSA 和 III 类医用射线装置使用场所按照《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 有关规定“具有透视功能的 X 射线设备在透视条件检测时，X 射线设备机房屏蔽体外周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h”。

2、核医学工作场所

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)，距工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10 μ Sv/h；放射性药物合成和分装的箱体、通风橱、注射窗等设备应设

有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25 μ Sv/h；固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h。

五、非密封放射性工作场所管控要求

1、放射性表面污染控制水平

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的有关规定，见表 7-2。

表 7-2 工作场所放射性表面污染控制水平表 (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	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4 $\times$ 10 ⁻¹

2、表面污染清洁解控

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 B2 表面污染控制水平：“工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 B11 中所列设备类的控制水平的五分之一以下时（即 β 表面污染水平低于 0.8Bq/cm²、 α 表面污染水平低于 0.08Bq/cm²），经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用”。

六、放射性废水排放标准

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188—2021)中“7.3.3 放射性废液排放”的以下规定：

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

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

3、对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB18871 附录 A 表 A1 的要求。

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

七、放射性固废排放标准

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）中“7.2.3 固体放射性废物处理”的以下规定：

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

①所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

②所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍。

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

八、放射性废气排放管理

1、根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）中“7.4 气态放射性废物的管理”的以下规定：

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

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

2、参照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）第 5.2.4 款，操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s ，排气口应高于本

建筑屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目位置、布局和周边环境

本项目选址于南充市高坪区安贞路99号在建心血管疾病临床诊疗中心,根据现场踏查,本项目的外环境关系如下:

本项目涉及的辐射工作场所均位于医院江东院区在建心血管疾病临床诊疗中心内,在心血管疾病临床诊疗中心东侧约 38m~50m 为医院外鹤鸣路,南侧约 58m 为安贞路,西侧约 38m 处为第一住院大楼(已建),西北侧约 26m 处为第二住院大楼(已建),北侧约 18m~50m 处自西向东依次为服务中心(已建)、心血管疾病临床研究及成果转化中心(在建)。

图 8-1 项目现场照片

二、本项目主要环境影响

本项目为使用非密封放射性物质和医用射线装置工作场所,主要的污染因子为 X- γ 电离辐射、 β 表面污染、放射性废水、放射性废气,因现阶段项目暂未实施,且运营期间产生的所有放射性废水能够得到妥善处置,放射性废气产生较少。因此本次评价不对区域地表水、地下水环境质量、环境空气中核素进行监测评价,重点对评价区域开展了 X- γ 电离辐射、 β 表面污染现状进行监测评价。

三、监测方法及仪器

为掌握项目所在地的辐射环境现状,委托了四川省永坤环境监测有限公司于 2025 年 4 月 27 日、6 月 27 日对项目拟建场所进行了现场布点监测,根据监测报告附件 11,其监测项目、分析方法及来源见表 8-1。

表 8-1 监测项目、方法及方法来源表

监测项目	监测方法	方法来源
环境 X- γ 辐射剂量率	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》	HJ1157-2021
	《辐射环境监测技术规范》	HJ61-2021
β 表面污染	《表面污染测定 第一部分 β 发射体(最大 β 能量大于 0.15MeV)和 α 发射体》	GB/T14056-1993

监测使用仪器及环境条件见表 8-2。

表 8-2 监测使用仪器表

监测项目	监测设备			使用环境
	名称及编号	测量范围	检定/校准情况	
环境 γ 辐射剂量率	RJ32-3602 型分体式多功能辐射剂量率仪 编号： YKJC/YQ-40	InGy/h~1.2mGy/h 20keV~3.0MeV	检定/校准单位： 中国测试技术研究院 证书编号：202412102810 检定/校准有效期： 2024.12.13~2025.12.12 校准因子：0.96（校准源： ^{137}Cs ）	日期： 2025.4.27 天气：晴 温度： 26.8~27.3℃ 湿度： 52.5~53.1%
β 表面污染	CoMo170 表面污染监测仪 编号： YKJC/YQ-06	表面发射率响应 $R_{\beta}=0.44$	检定/校准单位： 中国测试技术研究院 证书编号： 检定字第 202408100522 检定/校准有效期至： 2024.08.02~2025.08.01	日期： 2025.6.27 天气：晴 温度： 32.3~32.4℃ 湿度： 48.1~49.2%

四、质量保证

（一）、监测单位资质

四川省永坤环境监测有限公司通过了四川省市场监督管理局的组织的检验检测机构资质认定，具备完整、有效的质量控制体系。本次监测所用的仪器性能参数均符合国家标准方法的要求，均有有效的国家计量部门的检定合格证书，并有良好的日常质量控制程序。监测人员均参加并通过了培训考核，考核合格持证上岗。数据分析及处理采用国家标准中相关的数据处理方法，按国家标准和监测技术规范有关要求进行处理和填报，并按有关规定和要求进行三级审核。

四川省永坤环境监测有限公司质量管理体系：

1、计量认证

从事监测的单位，四川省永坤环境监测有限公司于 2024 年 3 月取得了四川省市场监督管理局颁发的计量认证，证书编号为：242312051074，有效期至 2030 年 3 月 12 日，具备检验检测能力。

2、仪器设备管理

①管理与标准化；②计量器具的标准化；③计量器具、仪器设备的检定。

3、记录与报告

①数据记录制度；②报告质量控制。监测人员均经具有相应资质的部门培训，考核合格持证上岗。

（二）、监测单位与现行法规的符合性

四川省永坤环境监测有限公司取得了检验检测机构计量认证资质，在资质附表中批准的能力范围包含了本项目相关的监测范围和监测方法。因此，该公司监测数据能够得到保证，委托该公司进行本底监测满足相关法律法规的要求。

五、监测布点及代表性分析

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中的方法布设监测点，本次新建项目拟建址及其周围环境现状，监测点位的选取涵盖新建项目拟建区域内、四周边界和周围 50m 公众人员的区域。根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律，以上监测布点能够科学的反映拟建场所及周围辐射环境现状水平，点位布设符合技术规范要求。

六、环境现状监测与评价

根据监测结果可知，项目所在区域的 X- γ 辐射空气吸收剂量率背景值为 81~106nGy/h。与四川省生态环境厅发布《2024 年四川省生态环境状况公报》（2025 年 5 月）中 2024 年全省辐射环境自动站环境 γ 辐射剂量率年均值分布示意范围（ ≤ 160 nGy/h）基本一致，属于当地正常天然本底辐射水平。

由表 8-4 监测结果可知，项目拟建辐射工作场所周围环境 β 表面污染检测结果均低于检测限值。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、施工期

(一) 施工期产污环节

本项目辐射工作场所主体工程施工属于“首都医科大学附属北京安贞医院南充医院项目”建设内容之一，其施工期环境影响包含在《首都医科大学附属北京安贞医院南充医院环境影响报告书》中，批复文号为南市环审〔2023〕60号。

本项目机房还需进行设备安装、管线敷设、铅玻璃窗、铅防护门及其他防护设施的安装，施工期将产生少量扬尘、噪声、生活污水及固体废物。施工期工艺流程及污染物主要产生环节见图9-1。

图 9-1 施工期工艺流程及污染物主要产生环节图

(二) 施工期主要污染源处理措施

1、扬尘

施工过程中产生的扬尘，主要是装修过程中产生的扬尘，属于无组织排放，在主体墙体粉刷装饰后，设备安装及管线敷设过程中几乎不产生扬尘。

2、噪声

由于主体工程施工期间已预留有管线沟槽，施工期噪声主要为装修产生的噪声，由于施工范围小，施工期较短，项目通过合理布局，合理安排施工时间，建筑隔声选用低噪设备等措施后，施工噪声对周围环境的影响较小。

3、固体废物

施工过程中，固体废物主要为主体施工、装修和设备安装过程中，产生的固体废物主要为建筑弃渣、废砂石、废木料、废纸皮等；施工过程中产生的生活垃圾。项目产生的建筑垃圾由施工单位集中分类收集，运送到指定的建筑垃圾堆放场；生活垃圾通过集中收集后，运送到环卫部门指定的临时转运点，由环卫部门转运处理；

包装垃圾通过集中分类收集，由废品回收站进行处理。因施工量较小，施工周期较短，对周围环境的影响较小。

4、废水

本项目施工期废水主要为施工人员的生活污水，生活污水经预处理池（化粪池）处理后排入城市污水管网。

5、设备安装调试期间

本项目所有射线装置和放射源的安装、调试请设备厂家专业人员进行，医院不得自行安装及调试设备。在射线装置安装调试阶段，主要污染因素为 X 射线、 γ 射线和臭氧。医院应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房必须上锁并派人看守。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入设备区域，防止辐射事故发生。由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响较小。

二、运营期

（一）核医学影像中心

医院拟在核医学影像中心内操作使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用于影像诊断，使用钼铯发生器淋洗制备放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 。在 PET/MRI 检查室拟使用1台 PET/MRI，配套使用3枚 ^{68}Ge 校准源，活度为 $4.625 \times 10^8 \text{Bq} \times 2$ 枚+ $9.25 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$ 枚，均属于 V 类放射源；在 SPECT 检查室内使用1台 SPECT-CT，属于 III 类射线装置。

1、PET 诊断工艺分析

（1）设备组成及工作原理

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

PET/MRI 是将 PET 和核磁共振成像 (Nuclear Magnetic Resonance Imaging, MRI)

组合而成的多模式成像系统，是目前全球最高端的医学影像设备，同时也是一种可以在分子水平成像的影像技术。PET/MRI 将 PET 与 MRI 融为一体，使两种成像技术优势互补，PET 图像提供功能和代谢等分子信息，工作时，扫描仪发射无线电波脉冲，瞬间使所有质子不在一条线上，当质子再次于磁场内呈线性排列时，他们释放能量信号，信号强度随组织不同而不同，通过计算机分析信号并生成图像。所显示的图像为两者图像融合的结果，即细胞的代谢显像和所处的解剖位置。

(2) PET/MRI 诊疗流程与产污环节

PET/MRI 诊断项目正式开展后，使用的放射性药品由供应商直接配送。本项目核医学影像中心拟使用的放射性药物 ^{18}F 用于开展影像诊断，其操作流程如下：医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，提前预定放射性药物，药物由供应商采用货包送达储源室内，医院指定专人负责药物的接收和登记，并当天用完。

1) PET 诊断具体工作流程

- ①接收患者，开具 PET 诊断单并告知患者诊断过程存在辐射危害；
- ②医生根据病情确定使用核素的类别和剂量，并预定放射性同位素药物；
- ③放射性药物供应商将放射性药物送到储源室；
- ④医护人员从储源室取出放射性同位素药物，转移到分装注射室进行分装、测活、质检等操作；
- ⑤病人接到通知，在护士站预埋针后，进入注射区通过注射将放射性药物摄入。在药品摄入过程中存在 γ 射线污染，同时会产生放射性废水、固废(注射器、棉球、药品盒)；
- ⑥病人注射药品后，在 PET-MRI 候诊室待药物代谢至靶器官，再进入 PET/MRI 检查室进行器官扫描显像，此过程病人带有 γ 射线；
- ⑦患者扫描结束后，留观一段时间后离开医院。

2) 产污环节

PET/MRI 影像诊断工艺流程及产污位置图如图 9-2 所示。

图 9-2 PET/MRI 影像诊断及产污流程图

因此，使用 ^{18}F 核素进行 PET/MRI 显像主要环境影响为分装、注射过程和注射

核素后患者对医护人员及周围公众产生的外照射；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等。

2、SPECT 诊断工艺分析

(1) 淋洗制药

本项目钼铯发生器为医院向有资质的药物供应商购买。拟购钼铯发生器最大规格为 1Ci，上班前由供应商负责配送至负一层核医学影像中心，经传递窗送入储源室内。

①钼铯发生器淋洗原理

钼铯发生器属于裂变色层发生器，基本部件是钼酸铯柱/活化氧化铝柱、淋洗系统和用于保护工作人员的辐射屏蔽套。 ^{99m}Tc 由钼酸铯柱内 ^{99}Mo 不断衰变产生，并被钼酸铯柱吸附，当加入适当的淋洗剂时， ^{99m}Tc 便以 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 的形式被淋洗出来，整个过程称为“挤奶”。为了使用方便，一套发生器除基本部件外，常附加子体核素溶液接收瓶（即负压瓶）和一定量的淋洗剂（生理盐水）。由于母体核素的不断衰变就不断地产生子体核素，因而核素发生器可以反复淋洗制得子体核素，本项目钼铯发生器一天淋洗 1 次/柱，发生器的内部结构及实景见图 9-3。

图 9-3 发生器的内部结构及实景图

②工作流程及产污环节

A、 ^{99m}Tc （淋洗）：淋洗操作在核医学科影像中心手套箱内进行操作。先把生理盐水瓶插入钼铯发生器的双针，一分钟后整体拔下外有防护罐的负压瓶，即制得淋洗液，制得的淋洗液贮存于外有防护罐的负压瓶之中。 ^{99}Mo 装在钼铯发生器内，在整个淋洗过程中 ^{99}Mo 都保持在发生器柱子里，使用后的柱子随铅罐包装一同回收至供应商， ^{99}Mo 也就随包装而被完全转移至供应商。整个制药过程均在手套箱内进行，经过铅罐及手套箱屏蔽后，钼铯发生器对职业辐射工作人员影响非常小。核医

学科影像中心内拟设门禁系统，公众无法进入。因此，在放射性药物淋洗制备期间，发生器内的 ^{99}Mo 对公众几乎没有影响。

B、测量活度： $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （淋洗）测量活度在分装注射室手套箱内进行，由负责标记的工作人员完成。工作人员用注射器吸取上一步制得的少量淋洗液，垂直放入活度计中，测量其放射性活度，得出该瓶淋洗液的比活度，同时可测量淋洗液的纯度。淋洗和活度测量需要 5min。

C、标记：标记在同一手套箱内进行，与测量活度的为同一人，用于标记的冻干药盒在标记操作前经完整性检查后传递至手套箱，进行手动标记，同位素标记过程约 30min；

D、质检：根据需要，在手套箱内将质检需要的放射性药物用注射器抽取少量滴在专用 PH 纸条上、或者层析条上进行质检、质控，质控结束后再送至注射窗。

淋洗制药工作流程及产污环节见图 9-4。

图 9-4 锝- $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗工作流程及产污环节示意图

（2）设备组成及工作原理

SPECT 即单光子发射计算机断层成像术（Single-Photon Emission Computed Tomography），本项目 SPECT 利用发射单光子的核素药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行检查。SPECT 的基本结构分三部分，即旋转探头装置、电子线路、数据处理和图像重建的计算机系统。SPECT 除显示肿瘤病灶外，尚可显示局部脏器功能的变化，如：化疗后左心功能、肾功能的改变等。本项目 SPECT 使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性核素，将放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 引入人体，经代谢后在脏器内外或病变部位和正常组织之间形成放射性浓度差异，通过计算机处理再成像。SPECT 的基本成像原理是 γ 照相机探头的每个灵敏点探测沿一条投影线进来的 γ 光子，其测量值代表人体在该投影线上的放射性之和。

SPECT-CT 的工作原理是把 SPECT 和 CT 放在一起，利用体外的 X 射线穿透人体而获得三位解剖图像的断层成像技术，通过 SPECT 扫描和 CT 扫描重边，联合扫描，使两者的硬件和软件有机地结合在一起。工作时，其 CT 球管发射 X 线穿透人体组织，其探测器获得的数据不仅用于重建 CT 图像，同时提供给 SPECT 作为衰减校正的参数，在此基础上再进行 SPECT 图像的重建。所显示的图像为两者图像的

融合的结果，即细胞的代谢显像和所处的解剖位置。SPECT-CT 核素显像是将放射性核素及其标记物注射进入到人体内。由于机体功能和代谢变化，因而可以通过放射性核素及其标记物在体内的分布和代谢来反映人体内的病理和生理变化。放射性药物进入人体后，特定的放射性药物按照自身的规律发生衰变，在此过程中可发射一定能量的 γ 射线，利用 SPECT-CT 可以在人体外探测到体内放射性核素的分布，从而能准确的观察到体内的病理和生理变化过程，为临床诊断提供可靠信息。

(3) 设备主要参数

本项目拟购 SPECT-CT 属于 III 类射线装置，主要参数见下表。

表 9-1 核医学影像中心 SPECT-CT 主要设备技术参数

指 标	技术参数
型 号	型号未定
位 置	核医学影像中心 SPECT-CT 检查室
额定管电压	$\leq 150\text{kV}$
额定管电流	$\leq 1000\text{mA}$
X 射线球管固有滤过	不低于 2.5mmAl
X 射线球管到等中心距离	$\geq 60\text{cm}$
用 途	显像

(4) 诊疗流程及产污环节

SPECT 诊断项目正式开展后，使用的放射性药物通过钼铈发生器淋洗制备，SPECT 诊断工作流程如下：

- ①医护人员根据患者预约情况，确定当天所需要的同位素药物剂量，在分装注射室手套箱内进行淋洗制备，并进行质控、标记、分装等操作；
- ②患者在接到通知后先进行静脉血管埋针操作，再进入注射区通过注射窗口将放射性药物注射进血管内；
- ③在 SPECT 检查候诊室内静坐或静躺片刻，待药物代谢至靶器官，再进入 SPECT-CT 检查室，经医护人员摆位后，接受 SPECT-CT 的扫描显像；
- ④扫描完成后，患者在 SPECT 检查留观室留观一段时间后，若无其他情况，沿患者专用通道经患者电梯离开医院。

SPECT 诊断项目工作流程与产污环节如图 9-5 所示。

图 9-5 SPECT 诊断项目的工作流程与产污环节图

(4) 核医学影像中心路径规划

1) 人流路径:核医学影像中心人流路径主要是工作人员(包括核素操作人员、设备操作及摆位人员)路径和患者路径。

① 工作人员路径:分装给药人员经医护电梯到达负一层后,沿走道向南在护士站旁右转进入更衣间更衣后,进入分装注射室内进行分装标记、质检/控、给药等操作;SPECT-CT 和 PET/MRI 操作人员及摆位护士经过医护电梯厅达到负一层后,沿走道向南经护士站直行到示教室/就餐休息室旁右转,经过更衣室更衣后进入操作间内操作设备,诊疗操作结束后沿原路径离开。

② 患者路径:PET/MRI 和 SPECT 就诊患者经医生诊断,按医嘱到等候区候诊,在听到广播通知后,在护士站预埋针后向南之行,到医生办公隔断门处右转,经缓冲间到注射区内注射窗口,接受 PET 或 SPECT 药物静脉注射,注射完毕后分别进入 PET/MRI 和 SPECT 检查候诊室候诊,听到医生叫号后分别进入 PET/MRI 检查室或 SPECT 检查室内进行扫描,扫描完毕,根据情况分别进入 PET/MRI 或 SPECT-CT 检查留观室留观,留观结束则直径沿患者通道经核医学专用电梯离开核医学影像中心。

2) 物流路径主要包括放射性核素进入核医学影像中心工作场所路径、放射性固体废物转运路径

①放射性核素进入核医学影像中心工作场所路径:根据提前用药预约安排,在上班之前,核素由药物供应商负责运送,地下停车场负一层经通道向北进入核医学影像中心护士站,经护士站向西到达储源室外,通过药物传递窗/门送入储源室内。分装给药人员从储源室取药,再经药物质控室质控检测/淋洗制备后,再进行分装标记才能为患者给药。

②放射性固体废物转运路径:在分装注射室放置有 1 个放射性废物桶收集放射性固体废物,在药物淋洗、质控/检、分装标记和注射等操作过程中,会产生一些放射性固体废物,收集的放射性固体废物在放射性固体废物暂存桶内暂存后,送入放射性废物库内打包后进行衰变处理。

图 9-6 负一层核医学影像中心人流、物流路径图

3) 放射性废水路径

医院核医学科影像中心拟设放射性废水专用管道，管道起于负一层核医学影像中心预留用房，采用斜坡自流设计，放射性废水分别依次经过沐浴室、SPECT 检查候诊室卫生间、PET-MRI 候诊室、检查候诊室、检查留观室后在污泵间内进行收集，经一体化污水提升设备提升至一定高度，经管道进入衰变池内进行处理。放射性废水排水管道应为防腐、管道内壁光滑的材质，在施工期间还应尽量减少“U 形”、“V 形”管道弯头的现象。

医院应在核医学科工作场所按照《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188 -2021) 的要求，在核医学上水处设置洗消装置，对控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、洁具间的清洗池等位置选用脚踏式或自动感应式的开关。

图 9-7 负一层核医学影像中心给排水管道路径示意图

4) 放射性废气路径

根据设计图，场所内拟设 3 根排风管道。其中 1 根用于 SPECT 和 PET/MRI 检查室排风，排风管道起于 SPECT 检查室，经更衣室后向西，与 PET/MRI 检查室内排风管道并管后，经活性炭过滤装置过滤后，向南进入管道井，最终在裙楼屋面（距离地面约 15m）排放；另 1 根管道用于场所其他区域的排风，排风管道起于放射性废物库→分装注射室→储源室→沐浴间后，与 SPECT 检查候诊室废气进行并合管后，先后经放射性废物库→分装注射室→储源室→SPECT 检查候诊室→抢救/运动负荷室→PET-MRI 候诊室，再与去污间→放废暂存室→SPECT 检查后等候室→PET/MRI 检查后等候室废气并管后，向北经活性炭过滤装置过滤后进入排风井，通过管道引至裙楼屋面（距离地面约 18m）排放；手套箱拟设 1 根专用排风管道，手套箱内产生的废气分别由壁顶过滤装置过滤后，向北在经患者走廊设置的活性炭过滤装置过滤后，进入场所外西北侧管道井，由管道引至屋顶排放。本项目排风管道路径为低活度区域流向高活度区域，建设单位拟在排风管道内设置止回阀，防止

放射性废气及气溶胶对工作场所造成交叉污染，产生的放射性废气经活性炭过滤装置过滤后排放。

图 9-8 负一层核医学影像中心通排风管道路径示意图

5) 小结

综上所述，本项目从功能分区来看，接诊等候、核素诊断、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；从路径规划来看，排风管道从低活度区域流向高活度区，密闭设备设专用排风管道，就诊患者路径不走回头路，药物和放射性废物运输路径尽量避免了保护目标多的区域，放射性废水管道呈斜坡走向设计；从辐射防护措施来看，拟建有专用的辐射工作场所，配备了辐射防护用品。因此，本项目核医学功能布局和路径规划合理，辐射防护措施可行。

医院应加强对核医学场所的管理，人员或语音广播引导患者就诊，地面粘贴引导标志，告诫注射药物的待检者在规定区域候诊，提醒陪护者和无关人员避免进入核医学诊疗区域；应监督工程质量，确保辐射防护设施设备和环保设施的防护效果。

（二）介入诊疗设备应用场所

1、DSA 设备组成及工作原理

DSA 是影像增强器技术、电视技术和计算机科学技术相结合的产物，是应用最多的数字化 X 射线透视设备。DSA 主要由带有影像增强器电视系统的 X 射线诊断机、高压注射器、电子计算机图像处理系统、治疗床、操作台、磁盘或磁带机和多幅照相机组成。

图 9-9 DSA 设备组成示意图

图 9-10 X 射线装置基本原理示意图

DSA（数字减影血管造影装置）是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，它是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同的信号，得到一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来。且对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示；由于造影剂用量少，浓度低，损伤小、较安全。通过医用血管造影 X 射线机处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

介入手术所使用的造影剂主要成分为碘制剂，分为无机碘化物、有机碘化物以及碘化油或脂肪酸碘化物三大类，均不属于放射性物质，使用过程不产生放射性污染。

2、设备主要信息及参数

表 9-2 本项目 DSA 主要技术参数

指 标	技术参数*
型 号	型号未定
额定管电压	≤150kV（单管头）
额定管电流	≤1000mA
滤过	不小于 2.5 mmAl
焦皮距	≥45mm
照射野	最小照射野：8cm×8cm；平板探测器范围：30cm×38cm

注：*根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“5.1.5 c)”要求：“除牙科摄影和乳腺摄影用 X 射线设备外，X 射线有用线束中的所有物质形成的等效总滤过，应不小于 2.5 mmAl”。

本项目使用的射线装置型号待定，最大管电压为 150kV，最大管电流为 1000mA，拍片时 DSA 的常用管电压 60~100kV，在 DSA 透视时常用管电压为 70~90kV。根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）“5.1 一般要求 c)除牙科摄影和乳腺摄影用 X 射线设备外，X 射线有用线束中的所有物质形成的等效总过滤，应不小于 2.5mmAl”可知，标准要求 X 射线管/准直器的最低固有过滤当量是 2.5mmAl，结合 ICRP33 号报告 P55 中图 2，该报告中无过滤材料为 2.5mmAl 的相关数据，为进行保守预测，本次分析按照过滤材料为 2mmAl 进行预测估算，可得本项目 DSA 在透视模式（90kV）下，距离靶 1m 处发射率约为 8mGy/(mA·min)，拍片模式（100kV）下，距离靶 1m 处发射率约为 9.5mGy/(mA·min)。

图 9-11 本项目射线装置不同模式下发射率取值

根据《医用电气设备第 1-3 部分:基本安全和基本性能的通用要求 并列标准:诊断 X 射线设备的辐射防护》(GB 9706.103-2020)中“X 射线管组件和 X 射线源组件在加载状态下的泄漏辐射,当其在相当于基准加载条件下以标称 X 射线管电压运行时,距焦点 1m 处,1 小时内任一 100cm²区域(主要线性尺寸不大于 20cm)的空气比释动能不应超过 1.0mGy。专用标准可对不同 X 射线设备的泄漏辐射规定不同的限值”。因此,本项目射线装置在 1m 处泄漏射线的空气比释动能率保守取 1.0mGy/h。

3、介入手术流程

(1) DSA 拍片检查

DSA 检查采用隔室操作方式,通过控制 DSA 的 X 线系统曝光,采集造影部位图像。具体方式是受检者位于检查床上,医护人员调整 X 线球管、人体、影像增强器三者之间的距离,然后进入控制室,关好防护门。医师、操作人员通过控制室的计算机系统控制 DSA 的 X 系统曝光,采集造影部位图像。医师根据该图像确诊患者病变的范围、程度,选择治疗方案。

(2) DSA 透视治疗

DSA 介入治疗采用近台同室操作方式。通过控制 DSA 的 X 线系统曝光,对患者的部位进行间歇式透视。具体方式是受检者位于手术床上,介入手术医师位于手术床一旁,距 DSA 的 X 线管 0.5~1m 处,在非主射束方向。医护人员在进入介入手术室前穿戴个人防护用品(如铅防护衣、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅内裤、介入防护手套等),手术床旁设有屏蔽挂帘和移动式防护帘,介入手术医生位于屏蔽铅帘和移动式防护帘后方。介入治疗中,手术医生根据操作需求,踩动手术床下的脚踏开关启动 DSA 的 X 线系统进行透视(DSA 的 X 线系统连续发射 X 射线),通过悬挂显示屏上显示的连续画面,完成介入手术操作。每台手术 DSA 系统的 X 线系统进行透视的次数及每次透视时间因患者的部位、手术的复杂程度而不同。介入手术完后关机,病人离开介入手术室。

(3) 治疗完毕关机

手术医师应及时书写手术记录，技师应及时处理图像、刻录光盘或照片，急症病人应尽快将胶片交给病人；对单纯接受介入造影检查的病人，手术医师应在 24 小时内将诊断报告写出由病人家属取回交病房病历保管。

本项目 DSA 介入诊疗流程如下图 9-12 所示。

图 9-12 DSA 介入治疗流程及产污环节示意图

5、人流、物流的路径规划

(1) 急诊中心

①工作人员路径：医护人员在更衣缓冲间更衣后，经缓冲间分别进入控制室和 DSA 手术间实施手术治疗，手术完成后沿原路径返回。

②患者路径：患者在医护人员陪护下从抢救区向东直行，在急诊中心手术缓冲间门口经洁净走道向北直行，在 DSA 手术间患者进出门门口向东进入 DSA 手术间接受手术，手术完成后沿原路径返回抢救区。

③物流路径：DSA 手术间产生的医疗废物收集后在污物暂存间暂存。

急诊中心 DSA 手术间人流、物流路径示意图如下。

图 9-13 LF 层急救中心介入手术室人流、物流路径图

(2) 介入中心

①工作人员路径：医护人员从介入中心北侧向西依次经缓冲/换鞋间、更衣间后，通过缓冲间向南经过洁净走道分别通过对应的控制室进入 DSA 手术间 1~介入手术间 8，医护人员分别进入 DSA 手术间实施手术治疗，手术完成后沿原路径返回。

②患者路径：患者经电梯厅患者电梯向南直行，在家属等候区向东直行，经医护人员换床间后，由医护人员将患者送入对应的 DSA 手术间接受手术治疗，手术治疗完成后沿原路径离开。

③物流路径：各 DSA 手术间产生的医疗废物收集后经污物进出门送出 DSA 手术间，再沿东侧污物走道直行，送入污物暂存间内进行暂存。

介入中心介入手术室人流、物流路径示意图如下。

图 9-14 一层介入中心 DSA 手术间人流、物流路径图

(3) 中心手术室

①工作人员路径：医护人员经医护电梯向南直行至换床间，再向西直行经控制室分别进入 4 手术间、5 手术间内开展手术治疗，手术完成后沿原路径返回。

②患者路径：患者换床间经医护人员换床后向西直行，在 4 手术间、5 手术间向北分别进入手术室内接受手术治疗，手术治疗结束后沿原路径离开。

③物流路径：4 手术间、5 手术间手术产生的医疗废物通过北侧污物门后向西直行，经过洁具间后右转，进入污物暂存间内暂存。

中心手术室复合手术室 DSA 人流、物流路径示意图如下。

图 9-15 一层介入中心 DSA 手术间人流、物流路径图

污染源项描述

(一) 建设期

1、污染源项

本项目施工期没有辐射污染源项，施工期主要环境影响为装修施工，但工程量小，施工时间短，非放射性物质产生量较小。

2、非放环境影响因子

施工期非放环境影响因子主要是：废气、废水、噪声和固体废物。

(二) 运行期

1、核医学影像中心

(1) X射线和 γ 射线

SPECT-CT扫描时产生的X射线；放射性核素暂存、分装、注射、等候及显像扫描、留观等过程产生的 γ 射线。

(2) β放射性表面污染

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

(3) 放射性废气

在放射性药物挥发产生的含放射性核素的废气。

(4) 放射性废水

含有放射性核素的病人排泄物、工作场所清洗废水等。

(5) 放射性固废

本项目放射性固废主要为工作人员操作过程产生含污染物的注射器、针头、手套、棉签、纱布、破碎杯皿、擦拭污染物地面的物品和更换的废活性炭等放射性废弃物；PET/MRI 校准源衰变后产生的废放射源。

2、介入诊疗设备应用场所

(1) 电离辐射

DSA、复合 CT 开机出束时，产生的 X 射线会对周围产生辐射影响，辐射途径为外照射。X 射线随射线装置的开而产生，关而消失。

(2) 废气

DSA 开机出束时，产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量臭氧(O₃)。

(3) 固体废物

固体废物主要为生活垃圾和医疗废物，其中生活垃圾主要为医护人员、患者产生，医疗废物主要为介入手术过程中产生的废一次性医用器具和废药棉、纱布、手套等。

(4) 废水

本项目产生的废水主要为医护人员及患者产生的生活污水。

(5) 造影剂

本项目使用的造影剂为碘克沙醇注射液或碘海醇。碘克沙醇注射液分子式为 C₃₅H₄₄I₆N₆O₁₅，分子量 1550.20，pH 值为 6.8-7.6。碘海醇注射液分子式为 C₁₉H₂₆-I₃N₃O₉，分子量 821.14，碘含量为 46.4%。两种造影剂均为无色或淡黄色的澄明液体，辅料为氯化钙、氯化钠、氨丁三醇、依地酸钙钠，包装为中性硼硅玻璃输液瓶，均由医院统一采购，常温储存，使用后的废包装物按医疗废物处置。

造影剂是介入放射学操作中最常使用的药物之一，医院将外购造影剂采用不锈钢药品柜作为普通药品单独密封保存；未使用完和过期的造影剂均作为医疗废物处理；在进行介入手术时，使用带托盘的不锈钢推车进行运送。在使用造影剂前由药剂师进行剂量核算后护士取药，医生用高压注射器按照血液流速注入病人血管内，在 X 射线的照射下达到血管造影的目的，最后由泌尿系统排除体外。医院未使用完和过期的造影剂作为医疗废物进行处理。造影剂不属于重金属和其他持久性有机物，不存在泄露风险。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、工作场所布局与分区

本项目涉及的辐射工作场所均位于医院江东院区在建心血管疾病临床诊疗中心内，在心血管疾病临床诊疗中心东侧约 38m~50m 为医院外鹤鸣路，南侧约 58m 为安贞路，西侧约 38m 处为第一住院大楼（已建），西北侧约 26m 处为第二住院大楼（已建），北侧约 18m~50m 处自西向东依次为服务中心（已建）、心血管疾病临床研究及成果转化中心（在建），医院所在院区外环境关系见附图 2。

根据医院提供的设计图，在心血管疾病临床诊疗中心负一层内，医院拟新增核医学工作场所位于负一层西北角，本次新增核医学影像中心位于该场所南侧。在新增核医学科工作场所周围，西侧为配套辅助机房区域，东侧约 20m 范围内为电梯厅及其他配套区域，其余均为地下停车场。在核医学影像中心内，储源/药物室、分装注射室、放射性废物库、注射区位于场所东北侧；PET-MRI 候诊室位于北侧中部，南侧自西向东依次为 PET/MRI 检查室、患者准备间及控制室、SPECT 检查室；西北角由南向北依次为 PET-MRI 检查留观室、SPECT 检查留观室、放废暂存室、患者电梯等；正上方为 LF 层急救中心抢救区，心血管疾病临床诊疗中心负一层平面布局见附图 3。

在心血管疾病临床诊疗中心 LF 层内，DSA 手术间位于 LF 层中部。在 DSA 手术间西侧由近及远为洁净走廊、运动负荷/抢救室病房区；西北侧抢救室病房区及 EICU 病房区及辅助功能用房等；北侧由近及远依次为 DSA 操作室、更衣室、手术室等；东北侧为电梯厅、库房等；东侧由近及远为污物走廊、库房和地下停车场；东南侧主要有急诊更衣区、会议室、门急诊药房、库房等；南侧主要为值班室、门急诊检验室等；西南侧主要为门急诊诊室、库房等；正上方为集中采血窗口、更衣室及库房等；正下方为地下停车位。心血管疾病临床诊疗中心 LF 层平面布局见附图 4。

在心血管疾病临床诊疗中心一层内，东西走向的医疗街和自南向北的问询大厅、电梯厅、住院大厅将心血管疾病临床诊疗中心一层分为 4 个部分，介入中心位于一层东北侧。其中，西北侧主要为放射科射线装置设备机房及办公区域；西南侧主要为门诊诊室、挂号收费及办公区域；东南侧主要为超声检查及办公区；东北侧主要为介入中心手术室、办公及辅助区域。在一层东北侧介入中心内，介入手术间 1~介入手术间

8 手术室区域西侧为患者进入通道及辅助区域，西北侧为医护人员更衣、库房区域；东北侧为办公及值班区域；东侧为污物走廊及暂存区域；南侧为医疗街；正上方为隔离病房、医生就餐休息、值班及库房等辅助区域；正下方为地下室停车场区域。心血管疾病临床诊疗中心一层平面布局见附图 5。

在心血管疾病临床诊疗中心三层内，东西走向的医疗街和自南向北的电动扶梯、电梯厅、住院大厅将心血管疾病临床诊疗中心一层分为 4 个部分，中心手术室位于一层东北部。在三层西北部、东北部主要为中心手术室及辅助区域；西南部、东南部主要为门诊诊室门诊治疗检查及配套用房区域。在三层西北部区域中部，5 手术间（复合手术室）、控制室、4 手术间（复合手术室）自西向东排列，北侧为污物暂存间及其他手术及配套用房；南侧为麻醉、手术室及库房等；正上方主要为净化机房；正下方为 ICU 大厅及病房等区域。心血管疾病临床诊疗中心三层平面布局见附图 7。

综上所述，本项目涉及的各辐射工作场所相对独立，使用的射线装置比较集中，评价范围内保护目标较少。因此，本项目辐射工作场所布局合理。

二、辐射工作场所两区划分

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

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

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

根据本项目特点，结合项目平面布局，本次评价控制区和监督区划分情况见表 10-1。

表 10-1 项目控制区和监督区划分情况

项目	控制区	监督区
核医学影像中心	储源室、分装注射室、放射性废物库、抢救/运动负荷室、VIP PET-MRI 候诊室、PET-MRI 候诊室、SPECT 检查候诊室（含卫生间）、SPECT 检查室、PET/MRI 检查室（含患者准备室）、注射区、患者走道、PET-MRI 检查留观室（含卫生间）、SPECT 检查留观室（含卫生间）、洁具间 2、放废暂存室、衰变池	更衣室、沐浴室、缓冲间、更衣室、操作间、设备间、去污间等
急诊中心	DSA 手术间	设备间、污物暂存间、控制室
介入中心	介入手术间 1、介入手术间 2、介入手术间 3、介入手术间 4、介入手术间 5、介入手术间 6、介入手术间 7、介入手术间 8	控制室（共 5 间）、设备间（共 5 间）
中心手术室	5 手术间、4 手术间	控制室、设备间（2 间）

本项目两区划分示意图见下图 10-1~图 10-4，医院应重视控制区和监督区的管理，进行分区管理。

图 10-1 负一层核医学影像中心两区划分示意图

图 10-2 LF 层急救中心介入手术室两区划分示意图

图 10-3 一层介入中心介入手术室区域两区划分示意图

图 10-4 三层中心手术室复合手术室两区划分示意图

三、辐射防护设施

（一）本项目核医学影像中心辐射防护屏蔽设计

1、核医学影像中心辐射防护设计情况

根据建设单位提供设计图，本项目核医学影像中心实体防护设计见下表：

表 10-2 核医学影像中心场所屏蔽防护设计

位置及防护设施	屏蔽厚度
---------	------

储源室	南侧墙体		240mm 厚混凝土
	西侧	墙体	240mm 厚混凝土
		防护门	5mm 铅当量防护门
	北侧墙体		240mm 厚混凝土
	东侧	传递窗	5mm 铅当量传递窗
		墙体	240mm 厚混凝土
屋顶		200mm 厚混凝土	
分装注射室	手套箱	PET 分装标记	50mm 铅当量手套箱
		SPECT 分装标记	10mm 铅当量手套箱
	南侧	墙体	240mm 厚混凝土
		药物注射窗	40mm 铅当量防护窗
	西侧	墙体	240mm 厚混凝土
		防护门	5mm 铅当量防护门
	北侧墙体		240mm 厚混凝土
屋顶		200mm 厚混凝土	
放射性废物库	四周墙体		240mm 厚混凝土
	东侧防护门		5mm 铅当量防护门
	屋顶		200mm 厚混凝土
注射区	医生注射位		40mm 铅当量防护窗
	南侧	墙体	450mm/240mm 厚混凝土+4mm 铅当量硫酸钡板
		防护门	5mm 铅当量防护门
	西侧	墙体	240mm 厚混凝土
		防护门	5mm 铅当量防护门
	北侧	墙体	240mm 厚混凝土
		药物注射窗	40mm 铅当量防护窗
	东侧	墙体	240mm 厚混凝土
防护门		5mm 铅当量防护门	
屋顶		200mm 厚混凝土	
抢救室/运动负荷室	南侧	墙体	240mm 厚混凝土
		防护门	5mm 铅当量防护门
	西侧墙体		240mm 厚混凝土+6mm 铅当量硫酸钡板
	北侧墙体		240mm 厚混凝土
	东侧	墙体	240mm 厚混凝土
		防护门	10mm 铅当量防护门
屋顶		200mm 厚混凝土	
PET-MR	南侧	墙体	240mm 厚混凝土+6mm 铅当量硫酸钡板

		防护门	15mm 铅当量防护门
	西侧	墙体	240mm 厚混凝土+6mm 铅当量硫酸钡板
		墙体	200mm 厚实心砖墙
	北侧墙体		450mm 厚混凝土
	东侧墙体		240mm 厚混凝土+6mm 铅当量硫酸钡板
	屋顶		200mm 厚混凝土+6mm 铅板
PET/MRI VIP 候诊 室	南侧	墙体	240mm 厚混凝土+6mm 铅当量硫酸钡板
		防护门	15mm 铅当量防护门
	西侧墙体		240mm 厚混凝土+6mm 铅当量硫酸钡板
	北侧墙体		450mm 厚混凝土/370mm 实心砖+6mm 铅当量硫酸钡板
	东侧	墙体	240mm 厚混凝土+6mm 铅当量硫酸钡板
		墙体	200mm 厚实心砖墙
屋顶		200mm 厚混凝土+6mm 铅板	
患者准 备间	控制室操作位		240mm 厚混凝土+4mm 铅当量硫酸钡板
	南侧	墙体	240mm 厚混凝土+4mm 铅当量硫酸钡板
		防护门	15mm 铅当量防护门
	北侧	墙体	450mm 厚混凝土/240mm 实心砖+4mm 铅当量硫酸钡板
		防护门	15mm 铅当量防护门
	东侧墙体		240mm 厚混凝土+4mm 铅当量硫酸钡板
屋顶		200mm 厚混凝土+4mm 铅当量硫酸钡板	
PET/MRI 检查室	南侧墙体		240mm 厚实心砖墙+4mm 铅当量硫酸钡板
	西侧墙体		240mm 厚实心砖墙+4mm 铅当量硫酸钡板
	北侧墙体		450mm 厚混凝土+240mm 厚实心砖墙/240mm 厚实心砖墙 +4mm 铅当量硫酸钡板
	东侧	墙体	240mm 厚实心砖墙+4mm 铅当量硫酸钡板
		防护窗	15mm 铅当量防护窗
	屋顶		200mm 厚混凝土+4mm 铅板
PET-MR I 检查留 观室	南侧墙体		450mm 厚混凝土
	西侧墙体		400mm 厚混凝土
	北侧墙体		200mm 厚实心砖墙+6mm 铅当量硫酸钡板
	东侧	墙体	240mm 厚混凝土+6mm 铅当量硫酸钡板
		防护门	15mm 铅当量防护门
	屋顶		200mm 厚混凝土+6mm 铅板
SPECT 检查候 诊室	南侧墙体		240mm 厚混凝土+4mm 铅当量硫酸钡板
	西侧	墙体	370mm 厚实心砖墙
		墙体	240mm 厚混凝土+4mm 铅当量硫酸钡板

	北侧	墙体	240mm 厚混凝土+4mm 铅当量硫酸钡板
		防护门	5mm 铅当量防护门
	东侧墙体		240mm 厚实心砖墙+4mm 铅当量硫酸钡板
	屋顶		200mm 厚混凝土
SPECT 检查室	南侧墙体		370mm 厚实心砖墙
	西侧	墙体	370mm 厚实心砖墙
		防护窗	3mm 铅当量防护窗
		防护门	3mm 铅当量防护门
	北侧	墙体	450mm 厚混凝土
		防护门	5mm 铅当量防护门
	东侧墙体		370mm 厚实心砖墙
屋顶		200mm 厚混凝土+1mm 铅板	
SPECT 检查留 观室	南侧墙体		200mm 厚实心砖墙
	西侧墙体		240mm 厚混凝土
	北侧墙体		200mm 厚实心砖/240mm 厚混凝土
	东侧	墙体	240mm 厚混凝土
		防护门	5mm 铅当量防护门
	屋顶		200mm 厚混凝土

3、III类医用射线装置机房设计与标准的符合性

表 10-3 III类医用射线装置机房屏蔽防护设计

机房	面积 (m ²)	四周墙体	屏蔽门	观察窗	楼顶
		结构及厚度			结构及厚度
SPECT 检查室	42.6	370mm 厚实心砖墙 (约 3mmPb)	3mmPb	3mmPb	200mm 厚混凝土 +1mm 铅板 (约 3mmPb)
放射诊断放射防护要求	最小有效使用面积30m ² , 最小单边长度4.5m	较大工作量2.5mmPb, 一般工作量2mmPb			
是否满足	满足	满足	满足	满足	满足

4、辐射安全防护措施

(1) 警示标志

医院拟在核医学科影像中心控制区各房间防护门外设置明显的电离辐射警告标志, 警示人员注意安全; 在 PET/MRI 检查室防护门上方设置工作状态指示灯, 并与防护门联锁, 防护门关闭时指示灯为红色, 防护门打开时, 指示灯灭; 在分装注射室、候诊室、检查留观室、内分别设置放射性废物暂存铅桶, 在铅桶表面张贴电离辐射警

示标识。

(2) 紧急止动装置

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

(3) 操作警示装置

SPECT-CT、PET/MRI 设备扫描时，控制台上的指示灯变亮，警示装置发出警示声音。

(4) 视频监控和对讲装置

在工作场所范围内设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、核医学影像中心进出/口情况；SPECT-CT、PET/MRI 检查室和操作间之间拟安装对讲装置，便于工作人员通过对讲装置与检查室内受检者联系。

(5) 门禁系统

在核医学科出入口处设置专用门禁系统，限制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动。

5、放射性药物的存放

本项目核医学科使用的放射性药物货包由供货单位派专人送至储源室内暂存。校准源放置在储源室的保险柜内。储源室防护门拟设铅防护门，采用双人双锁管理模式。日常期间由值班人员巡视检查，出入口安装摄像头，并入医院监控系统。

6、表面污染控制措施

为保证非密封放射性物质工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，环评提出以下管理措施和要求：

(1) 放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏；

(2) 操作放射性药物时，须在有负压的手套箱内进行，防止放射性物质飞散；

(3) 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。

(4) 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。

7、人员防护措施

人员主要指本项目辐射工作人员、受检者及本次评价范围内其他人员。

(1) 辐射工作人员的防护

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

①屏蔽防护：将辐射源安置在专用、固定的工作场所内，通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的有害辐射；为核素操作人员配备铅防护手套、铅橡胶围裙等个人防护用品，注射器配备注射防护套。

为保护放射性药物分装标记的工作人员，尽可能减少受到的照射剂量，拟在分装注射室内分别为SPECT诊断项目、PET诊断项目配备10mmPb、50mm铅当量手套箱各1台，手套箱屏蔽体为钢+铅+钢结构。

②时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

③距离防护：在不影响工作质量的前提下，保持与辐射源尽可能大的距离，使距离最大化。

(2) 受检者的防护

为减少受检者的照射剂量，主要采取屏蔽防护、时间防护和距离防护措施。

①屏蔽防护：医院拟为受检者配备个人防护用品，如铅防护围裙等。

②时间防护：在满足检查要求的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

③距离防护：尽可能增加受检者与射线源的距离，减少受检者的受照剂量。

(3) 其他人员防护

①屏蔽防护：辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚、门、窗等实体进行屏蔽防护。

②时间防护：设置明显的警示措施，提示其他人员尽可能减少在辐射工作场所周围的停留时间。

③距离防护：设置必要的防护、隔离、警示措施，尽可能增大人员与辐射场所之间的防护距离。

8、其它防护措施

①设置卫生通过间（淋浴室、更衣室），辐射工作人员操作结束后离开辐射工作

场所前，应洗手和进行表面污染监测，如污染水平超过规定值要求，采取相应的去污措施；

②药物注射窗的操作台上及托盘内，在操作过程中拟垫一次性、容易吸附溅洒液体的厚纸，每次完成注射工作后，将其放入放射性废物桶内，便于保持操作台免受放射性沾污；

③核医学影像中心产生的含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 废水均排入放射性废水衰变池内，检查候诊室及检查留观室均设有专用卫生间，专用卫生间下水道通往废水衰变池，所有卫生间均采用易于去污材料，避免污染源扩散和滞留；

④核医学影像中心工作人员及时检查手套箱的密闭负压通风效果，定期检查通风设施工作的有效性和稳定性。医院应定期更换高效过滤装置和活性炭过滤装置，不随意丢弃，更换后活性炭作为放射性废物暂存在放废暂存室内衰变超过30天后再作为医疗废物进行处置；

⑤放射性废物经过分类收集打包后，立即按照放射性废物转运路径转运至放废暂存室/放射性废物库内暂存，放射性废物暂存桶表面应张贴电离辐射警示标识、种类和放射性废物存入时间，待衰变超过30天后，作为普通医疗废物从放废暂存室/放射性废物库内运出；

⑥核医学影像中心设置电离辐射警告标志，划分控制区和监督区，同时在地面设置行走箭头标识，严格规定各类人员的活动路径；

⑦核医学科控制区受检者活动场所设置监控装置和对讲装置，便于指导受检者就诊；

⑧注射放射性药物的受检者分别在PET-MRI候诊室或SPECT检查候诊室等待扫描，PET/MRI和SPECT检查后患者在检查留观室内留观一定时间后自行离开，期间不随意“串门”；

⑨衰变池周围设置隔离，并设置电离辐射警示标志及中文说明，以提醒无关人员不要靠近和停留；

⑩PET/MRI和SPECT检查室的电缆穿墙后，拟采用铅皮进行辐射防护补偿，防止射线泄露。

6、辐射安全和防护设施对照分析

根据《核技术利用辐射安全和防护监督检查大纲》和《四川省核技术利用辐射安

全监督检查大纲（2016）》的相关要求，核医学影像中心辐射安全设施设计配置落实情况见下表。

表 10-4 本项目辐射安全防护设施对照分析表

项目	应具备的条件	落实情况	备注
场所设施	工作场所功能、设置及分区布局	已设计	/
	场所分区的管控措施及标识	已设计	拟设通道标志、门禁系统、禁止串门的标识
	电离辐射警示标志	计划配备	/
	卫生通过间	已设计	/
	通风系统完整性及效能	已设计	独立的通风、排风系统
	密封箱室	已设计	拟设手套箱
	屏蔽防护设施	已设计	工作场所墙体、观察窗、防护门等
	防止放射性液体操作造成污染的措施	已设计	设有易去污的工作台面和防污染覆盖材料
	火灾报警仪	计划配备	/
	放射性废水处理系统及标识	已设计	衰变池、放射性废水管道
	放射性物料与成品暂存场所或设施	已设计	储源室
	放射性固体废物暂存场所或设施	已设计	/
	安保设施	已设计	/
	病人专用卫生间	已设计	/
	对讲装置	计划配备	/
	放射性固体废物收集容器和放射性标识	计划配备	放射性废物铅桶/箱
监测设备	操作位屏蔽防护措施	已设计	注射窗
	人员出口污染监测仪	计划配备	表面污染监测仪
	便携式X-γ辐射监测仪	共用	已有
	个人剂量计	计划配备	/
	个人剂量报警仪	计划配备	/
	固定式剂量报警仪	计划配备	/
防护用品	放射性活度计	计划配备	/
	个人辐射防护用品	计划配备	铅衣、铅手套、铅围裙、铅眼镜、有机玻璃眼镜/面罩等
应急物资	放射性表面去污用品和试剂	计划配备	/
	合适的灭火器材	计划配备	灭火器
	放射性同位素应急容器	计划配备	/

7、核医学影像中心拟配防护用品

表 10-5 核医学影像中心内拟配防护用品一览表

序号	防护用品名称	配置场所	数量	铅当量厚度
2	注射铅窗	分装注射室与注射区之间	**	40mmPb
4	放射性废物暂存桶	分装注射室	**	10mmPb

		SPECT 检查候诊室	**	3mmPb
		PET-MRI (VIP) 候诊室	**	10mmPb
		PET-MRI 检查留观室	**	10mmPb
		SPECT 检查留观室	**	2mmPb
5	放射性废物衰变桶/箱	放废暂存室、放射性废物库	**	10mmPb
6	铅防护屏风	SPECT 检查候诊室、SPECT 检查留观室	**	2mmPb
		PET-MRI 候诊室、PET-MRI 检查留观室	**	10mmPb
7	去污工具组	洁具间	**	/
8	一次性工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	更衣室	**	/
9	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	更衣室、PET/MRI 检查室、SPECT 检查室	**	0.5mmPb
10	表面污染监测仪	缓冲间、患者出口	**	/
11	便携式 X-γ 辐射监测仪	/	**	/
12	个人剂量报警仪	SPECT 和 PET 核素操作、摆位工作人员随身佩戴	**	/
13	个人剂量计	辐射工作人员随身佩戴	**	/

综上所述，医院新增核医学影像中心按照上述辐射安全与防护措施落实后，能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。放射性废水能够得到及时有效的处理，放射性固体废物能够实现规范的管理，放射性废气能够得到有效的治理，放射性物质的安全能够得到一定的保障。

（二）介入诊疗设备应用场所辐射防护屏蔽方案

在利用 X 射线进行拍片检查和透视手术时，会对辐射源的周围环境及人员造成一定的危害。为了减少这种辐射危害，以及避免辐射事故的发生，医院针对 DSA 的特点，采取了相应的辐射安全防护措施。

1、辐射屏蔽措施

根据医院现有 DSA 使用情况得知，拍片时 DSA 的常用管电压 60~100kV，常用管电流为 100~500mA；在 DSA 透视时常用管电压为 70~90kV，常用管电流为 10~20mA。结合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），针对 DSA 主要考虑散射线和泄露射线影响，保守估计，在折合铅当量时，按照主射线辐射衰减拟合参数（100kV 有用

线束)进行铅当量折算,具体屏蔽防护折算见表 10-6。

表 10-6 射线装置机房屏蔽防护设计

名称	面积 (m ²)	四周墙体	屏蔽门	观察窗	屋顶	地板
DSA 手术间 (LF 层急诊中心)	49.5m ² (最小单边长度 6.65m)	370mm 厚实心砖墙+15mm 厚硫酸钡涂层 (约 4.5mmPb)	4mmPb 铅门	4mmPb 铅玻璃	120mm 厚混凝土+45mm 厚硫酸钡涂层 (约 5.5mmPb)	260mm 厚混凝土+15mm 厚硫酸钡涂层 (约 4.5mmPb)
介入手术间 1~介入手术间 8 (一层介入中心)	43.7m ² ~58.2m ² (最小单边长度 6.10m)	370mm 厚实心砖墙+15mm 厚硫酸钡涂层 (约 4.5mmPb)	4mmPb 铅门	4mmPb 铅玻璃	250mm 厚混凝土+15mm 厚硫酸钡涂层 (约 4.5mmPb)	250mm 厚混凝土+15mm 厚硫酸钡涂层 (约 4.5mmPb)
4 手术间、5 手术间 (三层中心手术室)	95.9m ² 、109.1m ² (最小单边长度 8.20m)	200mm 厚实心砖墙+37mm 厚硫酸钡涂层 (约 6mmPb)	4mmPb 铅门	4mmPb 铅玻璃	250mm 厚混凝土+15mm 厚硫酸钡涂层 (约 4.5mmPb)	250mm 厚混凝土+15mm 厚硫酸钡涂层 (约 4.5mmPb)
放射诊断放射防护要求	最小有效使用面积 20m ² , 最小边长度 3.5m	有用线束 2mmPb, 非有用线束 2mmPb				
是否满足	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求

注: ①根据施工总包单位提供资料, 本项目拟购硫酸钡水泥固化后密度为 3.0g/cm³, 水泥: 硫酸钡=1:3; ②根据施工总包单位提供硫酸钡样品检测报告 (附件 13), 20mm 厚硫酸钡样品在电压 120kV、电流 15mA 条件下, 屏蔽效能为 2.03mmPb, 据此折算 10mm 厚硫酸钡涂层约合 1mmPb; ③实心砖墙及混凝土铅当量折算参考《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中“表 C”。

2、DSA 的固有安全性

本项目拟配备的 DSA 具备以下固有技术措施:

①采用栅控技术: 在每次脉冲曝光间隔向旋转阳极加一负电压, 抵消曝光脉冲的启辉与余辉, 起到消除软 X 射线、提高有用射线品质并减小脉冲宽度作用。

②采用光谱过滤技术: 在 X 射线管头或影像增强器的窗口处放置合适铝滤过板, 以多消除软 X 射线以及减少二次散射, 优化有用 X 射线谱。设备提供适应不同应用时所选用的各种形状与规格的准直器隔板和铝滤过板。

③采用脉冲透视技术: 在透视图像数字化基础上实现脉冲透视 (如每秒 25 帧、12.5 帧、6 帧等可供选择), 改善图像清晰度; 并能明显地减少透视剂量。

④采用图像冻结技术: 每次透视的最后一帧图像被暂存并保留于监视器上显示, 即称之为图像冻结 (last image hold, LiH)。充分利用此方法可以明显缩短总透视时间, 达到减少不必要的照射。

⑤配备相应的表征剂量的指示装置：配备能在线监测表征输出剂量的指示装置，例如剂量面积乘积（DAP）仪等。

⑥配备辅助防护设施：DSA 配备床下铅帘（0.5mmPb）和悬吊铅帘(0.5mmPb)、铅屏风等辅助防护用品与设施，则在设备运行中可用于加强对有关人员采取放射防护与安全措施。

⑦正常情况下，必须按规定程序并经控制台确认验证设置无误时，才能由“启动”键启动照射；同时在操作台和介入手术床体旁上均设置“紧急止动”按钮，一旦发生异常情况，工作人员可立即按下此按钮来停止照射。

3、工作场所的安全措施

①工作状态指示灯及门灯连锁：本项目患者进出防护门顶部拟设门灯连锁系统，防护门外上方设置醒目的工作状态指示灯，灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，在防护门关闭时，指示灯亮红色，警示无关人员远离该区域。

② 紧急止动装置：控制台上、介入手术床旁拟分别设具有中文标识的紧急止动按钮（各按钮分别与X线系统连接）。DSA系统的X线系统出束过程中，一旦出现异常，按动任一个紧急止动按钮，均可停止X线系统出束。

③操作警示装置：DSA系统的X线系统出束时，控制台上的指示灯变色，同时蜂鸣器发出声音。

④闭门、防夹装置：本项目患者进出防护门拟采用电动平开式门，拟设置红外线防夹人设备（防止电动门在运行过程中发生挤伤人员）和自动闭门装置。

⑤对讲装置：拟在介入手术室（DSA手术间）与控制室之间拟安装对讲装置，控制室的工作人员通过对讲装置与介入手术室内的手术人员联系。

⑥警告标志：拟在介入手术室（DSA手术间）的防护门外醒目位置，分别设置明显的电离辐射警告标志。

4、人员的安全与防护

人员主要指本项目辐射工作人员、受检者或患者、本次评价范围内公众。

（1）辐射工作人员

为减少辐射工作人员的照射剂量，采取防护X射线的主要方法有屏蔽防护、时间防护和距离防护，三种防护联合运用、合理调节。

①距离防护

本项目工作区域严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，拟在介入手术间（DSA手术间）人员通道门的醒目位置将张贴固定的电离辐射警告标志并安装工作状态指示灯箱。限制无关人员进入，以免受到不必要的照射。

②时间防护

在满足诊断要求的前提下，在每次使用射线装置进行诊断之前，根据诊断要求和病人实际情况制定最优化的诊断方案，选择合理可行尽量低的射线照射参数，以及尽量短的曝光时间，减少工作人员和相关公众的受照射时间，也避免病人受到额外剂量的照射。根据医院的实际情况，医院的 DSA 主要用于介入手术、血管造影等。

③屏蔽防护

隔室操作：辐射工作人员采取隔室操作方式，通过控制室与介入手术间之间的墙体、铅门和铅玻璃窗屏蔽 X 射线，以减弱或消除射线对人体的危害。

个人防护用品和辅助防护设施：辐射工作人员配备个人防护用品（铅橡胶颈套、铅防护衣、铅防护眼镜、铅内裤、介入防护手套等），其中，铅橡胶颈套用于减小甲状腺受照剂量、铅防护衣用于减小人体躯干受照剂量、铅防护眼镜用于减小眼晶体受照剂量、铅内裤用于减小性腺受照剂量、介入防护手套用于减小手部皮肤受照剂量。

管线穿墙措施：本项目介入手术间涉及电线穿墙，建设单位采用线缆地沟从 D 介入手术间与设备间之间进行穿墙，在线缆沟上方采用铅板进行防护补偿，防止射线泄漏，设备间内平常无人员长期停留，管线穿墙对周围保护目标影响较小。

④个人剂量监测

辐射工作人员均应配备有个人剂量计，并要求上班期间必须佩带。医院定期（每季度一次）将个人剂量计送有资质单位进行检测，检测结果存入个人剂量档案。

（2）受检者或患者的安全防护

医院应配有三角巾、铅橡胶颈套，用于患者非照射部位进行防护，以避免病人受到不必要的照射。另外，在不影响工作质量的前提下，保持与射线装置尽可能大的距离。

（3）机房周边公众的安全防护

机房周围公众主要依托辐射工作场所的屏蔽墙体、防护门窗和楼板屏蔽射线。同时，辐射工作场所严格实行辐射防护“两区”管理，在机房门外张贴电离辐射警告标志和工作状态指示灯箱，禁止无关人员进入，以增加公众与射线装置之间的防护距离，

避免受到不必要的照射，定期对辐射安全设施的进行维护，确保实时有效。

5、介入手术对医生和患者的辐射防护要求

数字减影血管造影是一种解决临床疑难病的新方法，但 DSA 手术时 X 射线曝光量大，曝光时间长，距球管和散射体近，使介入手术操作者受到大剂量的 X 射线照射。为了减少介入手术时 X 射线对操作者和其他人员的影响，本评价提出以下几点要求：

介入治疗医生自身的辐射防护要求：①加强教育和培训工作，提高辐射安全文化素养，全面掌握辐射防护法规和技术知识；②结合诊疗项目实际情况，综合运用时间、距离与屏蔽防护措施；③在介入手术期间，必须穿戴个人防护用品，并佩戴个人剂量报警仪；④定期维护 DSA 系统设备，制定和执行介入治疗的质量保证计划。

患者的辐射防护要求：①根据 GB18871-2002 中表 G1.4 典型成年受检者 X 射线透视的剂量率指导水平“有影像增强器并有自动亮度控制系统的 X 射线机（介入放射学中使用）入射体表剂量率为 100mGy/min”；②选择最优化的检查参数，为保证影像质量可采用高电压、低电流、限制透视检查时间等措施；③采用剂量控制与分散措施，通过调整扫描架角度，移动扫描床等办法，分散患者的皮肤剂量，避免单一皮肤区域接受全部剂量；④作好患者非照射部位的保护工作。

6、工作场所辐射安全防护设施

根据《核技术利用辐射安全和防护监督检查大纲》（生态环境部（国家核安全局））和《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查大纲》（川环函[2016]1400 号）中对使用数字减影血管造影 X 射线装置（DSA）的要求，结合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的相关规定，对建设单位拟采取的辐射安全措施进行了对照分析，具体情况见表 10-7：

表 10-7 介入诊疗设备应用场所辐射安全防护设施对照分析表

序号	项目	规定的措施和制度	现有情况	应增加的措施
1	场所设施	单独机房	设置了专门的机房	/
		操作位局部屏蔽防护设施	拟配铅悬挂防护屏和床侧防护帘	/
		观察窗屏蔽	在控制室与 DSA 手术间之间设有观察铅窗	/
		机房防护门	拟配铅钢结构防护门	在防护门外侧张贴电离辐射警示标识
		通风设施	设计了专用排风系统	/
		紧急停机按钮	/	控制台上、介入手术床旁应配备中

				文标识的紧急停机按钮
		自动闭门、防夹装置	/	患者进出门应安装自动闭门、防夹装置
		门灯联锁	患者进出门 1 个	污物通道、患者进出门各 1 个
		对讲系统	/	应配备
		入口处电离辐射警告标志	/	应配备
		入口处机器工作状态指示灯箱	/	应配备
2	监测设备	便携式辐射剂量监测仪	/	应配备
		个人剂量报警仪	/	应配备
		个人剂量计	/	应配备
3	防护器材	医护人员个人防护（铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等）	/	应配备
		辅助防护设施（铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏等）	/	应配备
4		患者防护（铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、铅橡胶颈套等）	/	应配备

(三) SPECT-CT 工作场所

1、安全防护措施

①具有安全设备，当设备出现错误或故障时，能中断照射，并有相应故障显示。

②正常情况下，必须按规定程序并经控制台确认验证设置无误时，才能由"启动"键启动照射。

③紧急止动装置：控制台设置紧急止动按钮（各按钮分别与 X 射线系统连接）。X 射线系统出束过程中，一旦出现异常，按动紧急止动按钮，可停止 X 射线系统出束。

④工作状态指示灯及门灯联锁：机房防护门外顶部设置工作状态指示灯。指示灯为红色，以警示人员注意安全；当防护门打开时，指示灯灭。

⑤警告标志：机房的防护门外的醒目位置，设置明显的电离辐射警告标志。

2、其他防护措施

①机房操作室上张贴相应的岗位规章制度、操作规程。

②机房门外应有电离辐射警告标志、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句；装置应有“紧急止动”按钮，机房门应有闭门装置，工作状态指示灯与机房门联锁等安全设施。

③机房受检者出入口门外应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

④辐射工作人员必须配备个人剂量计。

3、辐射安全防护设施对照分析

表 10-8 III 类医用射线装置工作场所辐射安全防护设施对照分析表

项目	应具备的条件	落实情况	备注
实体防护	墙体、铅防护门、观察窗	已设计	/
警示装置	工作状态指示灯及门灯联锁	已设计	/
	电离辐射警告标志	已设计	/
	室内安装紧急止动装置	已设计	/
	对讲装置	已设计	/
防护设施	病人、陪护人员防护	计划配备	/
防护器材	火灾报警仪	计划配备	/
	灭火器材	计划配备	/
其他	通风系统	已设计	/

四、环保投资

本项目总投资**万元，环保投资**万元，占总投资的**%。本项目环保投资估算见下表。

表 10-9 环保设施及投资估算一览表

场所	项目	辐射安全防护设施	数量(套/个)	投资金额(万元)
核医学影像中心	放射性物质使用工作场所	防护墙体	**	**
		铅防护门	**	**
		观察窗	**	**
		易去污的工作台面和防污染覆盖材料、铅桶、废物桶	**	**
		活度计	**	**
		给药窗口	**	**
		手套箱	**	**
		放射性废物暂存桶	**	**
		放射性废物衰变桶/箱	**	**
		铅防护屏风	**	**
		对讲和视频监控系统	**	**
	通道门禁	**	**	
	场所门外电离辐射警示标志	**	**	
	SPECT-CT、PET/MRI使用场所	设备机房(墙体、铅防护门、观察窗)	**	**
		工作状态指示灯及门灯联锁	**	**
场所门外电离辐射警示标志		**	**	
对讲装置		**	**	

		含中文标识紧急停机按钮	**	**
		个人剂量计	**	**
		病人、陪护人员防护	**	**
	防护设施	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	**	**
	监测设备	个人剂量计	**	**
		个人剂量报警仪	**	**
		表面污染监测仪	**	**
		便携式X-γ辐射监测仪	**	**
	放射性废物和废液	放射性废水衰变池	**	**
		放射性废水排放管道	**	**
		放射性表面去污用品和试剂	**	**
	其他	独立通排风系统	**	**
		高效过滤装置	**	**
		活性炭过滤装置（手套箱内）	**	**
		灭火器材	**	**
火灾报警仪		**	**	
介入诊疗设备应用场所	场所设施	防护墙体	**	**
		防护门	**	**
		操作位局部屏蔽防护设施	**	**
		观察窗	**	**
		含中文标识紧急停机按钮	**	**
		门灯联锁装置	**	**
		对讲装置	**	**
	警示装置	入口处电离辐射警告标志	**	**
		入口处机器工作状态显示	**	**
		操作警示装置	**	**
	监测设备	便携式辐射监测仪	**	**
		个人剂量计	**	**
		个人剂量报警仪	**	**
	防护设施	医护人员个人防护	**	**
		患者防护	**	**
其他	通风系统	**	**	
	灭火器材	**	**	
	火灾报警仪	**	**	

今后医院在项目实践中，应根据国家发布的法规内容，结合医院实际情况对环保设施做补充，使之更能满足实际需要。同时医院应定期对环保设施、监测仪器等进行检查、维护。

三废的治理

一、核医学影像中心

1、废气治理措施

核医学影像中心产生的废气主要为放射性废气和 SPECT-CT 扫描过程中产生的臭氧,其中臭氧对周围环境的影响可以忽略不计。核医学影像中心放射性废气来源于 PET 和 SPECT 药物淋洗、分装标记、质控/检、注射、候诊及留观过程产生的放射性气溶胶。核医学影像中心设置有单独排风系统,不与其他非辐射工作区域通排风系统交叉,产生的放射性废气经高效过滤装置过滤后,通过管道引至楼顶排放。医院拟在手套箱顶壁安装活性炭/其他过滤装置,场所内排风管道气流走向由低活度区域向高活度区域,拟在排风管道内设置止回阀,防止放射性废气及气溶胶对工作场所造成交叉污染,拟在排风口前端设高效过滤装置。

核医学影像中心设计了独立的排风系统和新风系统,各功能用房内的新风系统新风量小于排风系统的排风量,保证了非密封放射性物质工作为负压工作场所。本项目放射性药物的各项操作均在手套箱/自动分装柜内进行,手套箱/自动分装柜由专业厂商提供,根据《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)中“合成和操作放射性药物所用的通风橱,工作中应有足够风速(一般风速不小于 0.5m/s)”要求,医院购买的手套箱排风口处风速不得低于 0.5m/s。

综上,本项目核医学影像中心通排风系统满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中关于“①保持工作场所负压和各区之间的压差,使得工作场所气流由清洁区流向监督区再流向控制区;②应在手套箱设计独立排风系统,在每一个密闭设备顶壁安装活性炭过滤装置,经过滤装置处理后的废气经管道在楼顶经过活性炭吸附+高效过滤装置处理后排放”等相关要求。

2、废水处理措施

(1) 放射性废水

医院在心血管疾病临床诊疗中心西北侧已建 1 组地埋槽式衰变池,用于核医学影像中心内产生的含核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性废水,本次利用衰变池中的 2 格(分别含 1 个化粪池)进行放射性废水的衰变,每格衰变池容积为 79m^3 。医院应对化粪池、衰变池池底和四周池壁采用重点防渗处理。

本项目产生的放射性废水经过收集后，通过倾斜的管道经提升泵进入衰变池，经过暂存超过30天后，可排入医院污水管网，进入污水处理站进行处理。医院应结合放射性废水在衰变池中的储存周期，制定排水计划，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。每次排放应做好详细记录所含核素、体积、废液产生的起始日期、责任人员和排放时间，设置专门的废水排放台账，台账应有专人管理，存档保存。

(2) 非放射性废水

核医学影像中心产生的非放射性废水主要为生活污水，生活污水经管道收集后，进入医院污水处理站处理。

3、固体废物处理措施

(1) 放射性固体废物处理措施

医院拟在核医学影像中心配置放射性废物暂存桶，用于收集PET和SPECT药物淋洗、分装标记、质控/检、注射、候诊及留观过程等过程产生的放射性固体废物。核医学影像中心产生的放射性固体废物经收集后，采用专用塑料袋收纳后，及时转送至废暂存室/放射性废物库放射性废物衰变桶/箱内暂存超过30天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， β 表面污染小于 0.8 Bq/cm^2 后，作为医疗废物进行处理。

(2) 废放射源

PET/MRI 使用的 ^{68}Ge 校准源，一般每 2 年更换 1 次，废源交由有资质单位回收，日常暂存在核医学影像中心储源室保险柜内。

(3) 一般固体废物处理措施

核医学影像中心产生的一般固体废物主要为医疗废物、办公生活垃圾等。医疗废物包括核医学科患者未服药、解控后的放射性固体废物等，均由具备医疗废物回收处理资质的单位回收集中处理；生活垃圾、办公垃圾依托医院收集设施收集后交由市政环卫统一清运。

二、介入诊疗设备应用场所

1、废水

本项目运行后，废水主要为辐射工作人员和患者产生的生活污水。生活污水和少量医疗废水先进入医院新建的污水处理站预处理达标后，再外排市政污水管网进入南

充市嘉东污水处理厂处理达标后排放。

2、废气

因DSA曝光时臭氧产生量很少，医院在各楼层DSA手术间已设计了专用排风系统，最小排风量为700m³/h，本项目产生的臭氧通过排风管道经排风井引出后，向室外排出。经自然分解和稀释，对周围环境的影响较小。

3、固体废物

固体废物主要为辐射工作人员产生的生活垃圾和介入手术时产生的医疗废弃物，如医疗包装物和容器和药棉、纱布、手套、废造影剂等。本项目辐射工作人员产生的生活垃圾和办公垃圾按照当地管理部门要求，进行统一收集后，由环卫部门统一定期清运；手术过程中产生一定量的医用器具和药棉、纱布、手套、废造影剂、废造影剂瓶、医用辅料及手术垃圾等医疗废物，采用专用容器统一收集、打包后，转送至医疗废物暂存间内暂存，与医院其他医疗废物一起交由有资质的单位收运处理。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

一、施工阶段的环境影响分析

本项目辐射工作场所土建工程属于“首都医科大学附属北京安贞医院南充医院项目”建设内容之一，其施工期环境影响包含在《南充市中心医院首都医科大学附属北京安贞医院南充医院项目环境影响报告书》中。施工期主要防护措施有：

1、大气污染防治措施

- (1) 及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；
- (2) 车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；
- (3) 施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

2、噪声防治措施

建筑施工阶段，混凝土搅拌机、卷扬机及载重车辆等在运行中，都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时需严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的要求，尽量使用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业，如需连续施工，在夜间施工而产生环境噪声污染时，按《中华人民共和国噪声污染防治法》的规定，需取得当地人民政府或有关主管部门的证明，并公告附近居民。

3、固废防治措施

项目施工期间，会产生一定量建筑垃圾为主的固体废弃物，由施工单位及时清运到指定的建筑垃圾收运点，收运过程中应做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落。

4、水污染防治措施

施工期机械冲洗废水循环使用，不外排；施工人员生活污水产量较小，利用附近市政厕所收集，不外排。

建设单位应强化施工期环境管理，严格落实施工期各项环保措施，采取有效措施，严格按照施工规范，尽可能减缓施工期对环境产生的影响，避免墙体

与铅防护门、铅窗衔接处存在缝隙，保证施工质量。

二、设备安装调试期间的环境影响分析

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

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

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

运行阶段对环境的影响

医院拟在江东院区心血管疾病临床诊疗中心负一层西南侧设核医学影像中心、LF 层中部设急诊中心、一层东北侧设介入中心、三层西北侧设中心手术室。

医院拟在核医学影像中心内使用 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 两种核素，使用钼铯发生器用于淋洗制备 ^{99m}Tc 。其中，在 SPECT 检查室内使用核素 ^{99m}Tc 、在 PET/MRI 检查室内使用核素 ^{18}F ，用于影像诊断，使用 3 枚 V 类放射源用于校准。医院拟在急诊中心 DSA 手术间、介入中心介入手术间 1~介入手术间 8、中心手术室 4 手术间和 5 手术间内分别各使用 1 台 DSA，用于心脑血管造影。

项目在运行阶段，核医学影像中心主要环境影响为 γ 射线、 β 表面污染、放射性固体废物、放射性废水、放射性废气、废放射源等；DSA 设主要对环境影响为 X 射线、臭氧。

一、核医学影像中心辐射环境影响分析

（一） β 射线的辐射影响分析

本项目涉及使用的 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 核素在衰变过程中会有 β 粒子，但由于 ^{18}F 产生

的是正电子，迅速发生湮灭反应，所以本次不考虑β射线影响，只考虑^{99m}Tc。根据《放射卫生学》（章仲侯主编，P171），β粒子在不同介质中的射程按下式计算：

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

式中：

d ——β射线在介质中的射程，cm；

ρ ——介质的密度，空气密度为 $1.29 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$ ；砖密度为 1.8g/cm^3 ；铅玻璃密度为 4.6g/cm^3 ；

E_{MAX} ——β射线的最大能量，MeV。

表 11-1 β射线在空气中理论最大射程

核素	β射线能量 (MeV)	空气密度 (g/cm ³)	空气中的射程 (cm)	砖墙密度 (g/cm ³)	砖墙中的射程 (cm)	铅玻璃密度 (g/cm ³)	铅玻璃中射程 (cm)
^{99m} Tc	0.140	1.29×10^{-3}	54.3	1.8	0.039	4.6	0.015

由上表可知，本项目使用核素产生的β射线在空气中射程较短，在实心砖和铅玻璃中的射程可以忽略不计，同时在整个使用过程中职业人员还穿戴铅防护服，因此β射线对职业人员和公众辐射影响是很小，可忽略不计。

（二）韧致辐射（X射线）影响分析

由于β粒子在遇到重质材料（如：铅、铁等原子序数大于56的材质）屏蔽时，才会产生韧致辐射，但是本项目使用的核素能量较小，韧致辐射对周围辐射剂量率贡献值很小，因此本次评价可以忽略。

（三）SPECT-CT的X射线外照射

对于SPECT-CT机房，还需考虑SPECT-CT运行时产生的X射线的辐射屏蔽。拟建SPECT-CT机房四面墙体、顶棚、防护门以及观察窗的建设均采取了辐射屏蔽，充分考虑了邻室（含楼上下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度满足核素屏蔽要求，均高于《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中有用线束和非有用线束铅防护厚度标准规定技术要求。因此，可进一步得知本次评价的射线装置在正常运行时可满足“周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的要求，X射线的影响可忽略不计。

(四) 校准用密封源的环境影响

PET/MRI 设备拟使用 3 枚 ^{68}Ge 校准源，一般情况下校准源储存在储源室的保险柜内，需要校准时再从储源室中取出。放射源处于贮存状态时，贮存容器和储源室的屏蔽设施能够完全屏蔽掉 γ 射线对周围环境的影响。校准状态时，使用场所在做了专门防护的检查室内，且校准时，校准源需放置在设备自带屏蔽体内部，对周围环境影响可忽略不计。

校准时间选择在非运营时间，故不会有非相关人员的进入。专门负责的校准工作人员穿着专门的铅衣在检查室对机器进行校准，且本项目使用的校准源活度较低，因此校准源使用过程中对周围环境影响很小，对工作人员的剂量贡献较低。

(五) 核医学影像中心 γ 辐射水平分析

本项目产生的 γ 射线主要为辐射工作人员在放射性药物的分装、质控和给病人注射过程中，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。根据《核医学科放射防护要求》（GBZ120-2020）附录I.1公式推导：

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

式中：

- H —关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；
- A —就诊患者所用药物的最大活度， MBq ；
- Γ —1m处的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot(\text{hMBq})^{-1}$ ；
- R —关注点到辐射源的距离， m ；
- X —拟采用的屏蔽厚度， mm ；
- TVL — γ 射线在相应屏蔽材料中的十值层， mm 。

1、源强分析

医院拟在核医学影像中心内使用放射性同位素 ^{18}F 用于 PET-MRI 显像，使用放射性同位素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用于 SPECT-CT 显像，各核素操作环节源强分析如下：

①储源室：主要用于核医学影像中心用药的暂存和质控，药物暂存保守按照源库内同时存在 2 个 PET-MRI 核素货包，2 个 SPECT 核素（钼铯发生器）货包，货包等级均保守按照 II 级黄货包进行考虑。

②分装、标记、质控：因不同的核素对应的单次操作活度（A）和周围剂量当量率常数（Γ）不一致，SPECT、PET患者不同时进行注射，但可能存在同时存在两种药物进行分装、备药情况。本次评价对分装操作过程，保守按照 PET/MRI诊断最大备药量的一半 $7.40 \times 10^{10} \text{Bq}$ (7400MBq)进行考虑，SPECT-CT分装保守按照最大用药量 $2.22 \times 10^{10} \text{Bq}$ (22200MBq)进行考虑；

③核素注射：注射过程中分别保守按照 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 单人次最大操作量进行考虑，其中PET-MRI病人注射核素 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (370MBq)，其中SPECT-CT病人注射核素 $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$ (740MBq)；

④PET/MRI诊断：PET-MRI核素按照单次操作一种核素，保守按照每人次最大用药 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (370MBq)进行考虑，药物注射、PET/MRI检查室、VIP PET-MRI 候诊室每次最多1个人，按照单人最大用药量 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (370MBq)进行考虑，PET-MRI候诊室最多同时3人，按 $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ ($370 \text{ MBq/人} \times 3 \text{人} = 1110 \text{MBq}$)，PET-MRI检查留观室内最多2人同时留观 $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$ (740MBq)。

⑤SPECT-CT诊断：SPECT药物注射、影像检查、运动负荷间每次仅可容纳1个人，故其屏蔽体外辐射剂量率由 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 单人次最大注射量 $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$ （740MBq）计算得到；检查候诊室内最多同时注射等待3人，故其屏蔽体外辐射剂量率则由 $2.22 \times 10^9 \text{Bq}$ （ $740 \text{ MBq/人} \times 3 \text{人} = 2220 \text{MBq}$ ）计算得到；SPECT-CT检查留观室一次最多2人留观，屏蔽墙体外最大辐射剂量率由 $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$ （ $740 \text{MBq/人} \times 2 \text{人} = 1480 \text{MBq}$ ）计算得到。

表11-2 使用放射性药物工作场所辐射屏蔽计算参数

核素	周围剂量当量率常数（裸源） ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$)	周围剂量当量率常数（患者体内） ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$)	TVL (mm)		
			铅 (11.3g/cm^3)	实心砖 (1.65g/cm^3)	混凝土 (2.35g/cm^3)
^{18}F	0.143	0.092	16.6	263	176
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.0303	0.0207	1	160	110

备注：① γ 射线什值层厚度参照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表L.1；②裸源周围1m处周围剂量当量率取自《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表H.1，患者体内单位放射性活度致体外1m处周围剂量当量率取自《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表L.1。

2、关注点处 γ 辐射剂量率水平

将相关参数代入公式11-2，各诊疗项目致关注点处最大辐射剂量率见下表。

表11-3 负一层各诊疗项目对关注点辐射剂量率预测结果

根据计算结果，核医学影像中心控制区外人员可到达处，距屏蔽体外表面0.3m处的周围剂量当量率最大为**1.3 μ Sv/h**，小于2.5 μ Sv/h；控制区内屏蔽墙外人员偶尔居留的区域周围剂量当量率最大为**5.0 μ Sv/h**，小于10 μ Sv/h；核医学影像中心手套箱外表面0.3m处人员操作位处的周围剂量当量率最大为**1.6 μ Sv/h**，小于2.5 μ Sv/h。因此，上述屏蔽体外关注点周围剂量当量率均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）的相关要求。

本项目核医学影像中心在实际运营过程中，患者在注射后候诊、扫描检查、留观等待等过程中，由于核素衰变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，关注点处辐射剂量率预测值较保守。

2、核医学影像中心辐射环境综合影响

因在心血管疾病临床诊疗中心负一层核医学影像中心内，存在同时开展SPECT诊断项目与PET/MRI诊断的可能，在患者就诊过程中，存在人流交叉。因此，在江东院区心血管疾病临床诊疗中心一层核医学影像中心及周围保护目标存在剂量的叠加。

表11-4 核医学影像中心使用放射性核素致各关注点处最大辐射剂量综合分析

（六）辐射工作人员及公众个人剂量估算

1、工作负荷及计算参数

（1）SPECT诊断

根据药物的使用方法和医护人员行走路径，医护人员一般不会长时间近距离接触SPECT诊断显影病人，但在扫描检查时医护人员会近距离接触服药患者并协助摆位，工作负荷及计算参数：

SPECT诊断药物为钼铈发生器淋洗制药，在分装注射室内淋洗、标记，每天最多2次，每次最多10min。放射性物质质控每天最多2次，每次最多近距离操作核素最多5min，分装操作时间按照单份1min计。护士注射药物是在40mmPb当量的屏蔽窗口进行，每次注射用时约30秒，身体与注射器的直线距离约0.5m。受检者在摆位技师的辅助下（直线距离约0.8m）进行扫描检查，摆位时间约30秒，摆位人员接触受检者的整个过程中均穿戴0.5mmPb个人防护用品，SPECT机房扫描，每人平均最多扫描约15min。

(2) PET诊断

根据药物的使用方法和医护人员行走路径，医护人员一般不会长时间接触PET诊断显影病人，但在扫描时医护人员会近距离接触服药患者并协助摆位，工作负荷及计算参数：医院购得的放射性药物每天PET诊断药物的分装在手套箱中进行，放射性物质质控每天最多2次，每次最多近距离操作核素最多5min，分装操作时间按照单份1min计。护士注射药物是在药物注射窗口进行，每次注射用时约30秒，身体与注射器的直线距离约0.5m。患者在接受药物注射后进入PET-MRI候诊室候诊，接到通知后进入PET/MRI机房扫描，每人平均最多扫描15min，并在摆位技师的辅助下进行扫描检查，这一过程摆位人员与受检者的直线距离取0.8m，摆位时间按30秒考虑，摆位人员接触受检者的整个过程中均穿戴0.5mmPb个人防护用品。

2、保护目标受照剂量预测

根据上述核医学科内屏蔽体外剂量率预测结果，个人年最大有效剂量估算公式如下：

$$H_r = H \cdot t \cdot T \cdot 10^3 \dots\dots\dots \text{式 (11-3)}$$

式中：

H_r —辐射外照射人均年有效剂量，mSv；

H —辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t —年工作时间，h；

T —居留因子，职业人员保守按照1考虑，公众人员根据NCRP144中的取值进行考虑。

(1) 核医学科影像中心内保护目标年有效剂量估算

表11-5 核医学影像中心所致场所内辐射工作人员个人年有效剂量估算

诊疗环节	工作负荷		年工作负荷(h)	辐射剂量率(μSv/h)	年有效剂量(mSv)	
	时间/次	次/年				
PET 分装	1min	5000	83.3	1.6E+00	1.3E-01	2.4E-01
PET 药物质控	5min	500	41.7	1.6E+00	6.7E-02	
PET 注射	30s	5000	41.7	8.2E-01	3.4E-02	
PET/MRI 摆位	30s	5000	41.7	5.0E+01	2.1E+00	2.1E+00
操作室扫描	8h	250	2000	4.3E-02	8.5E-02	8.5E-02
SPECT 淋洗、标记	10min	500	83.3	1.1E-07	8.8E-09	2.6E-08
SPECT 药物质控	5min	500	41.7	1.1E-07	4.4E-09	
SPECT 分装	1min	7500	125	1.1E-07	1.3E-08	
SPECT注射	30s	7500	62.5	6.1E-39	3.8E-40	
SPECT摆位	30s	7500	62.5	7.6E+00	4.7E-01	4.7E-01
抢救室	次抢救按 0.5 小时， 一年最多抢救 10 次		5	1.3E+02	6.4E-01	6.4E-01
核素操作场所剂量贡献*	每天 8h，年 250 天		2000	6.4E-01	1.3E+00	1.3E+00

注：核素操作场所贡献辐射剂量率由医护人员在淋洗、标记、分装操作过程时，周围场所及手套箱内同时操作核素致医护人员最大受照剂量叠加得到。

表11-6 核医学影像中心所致辐射工作人员综合年有效剂量 单位：mSv/a

保护目标	各环节剂量贡献					
	PET诊疗	SPECT诊疗	场所贡献	最大有效剂量	配置分组	年最大剂量贡献(mSv/a)
淋洗、分装标记、质控、给药等操作医护人员	2.4E-01	2.6E-08	1.3E+00	1.5E+00	2	7.5E-01
摆位、扫描医技人员	2.1E+00	4.7E-01	8.5E-02	2.6E+00	/	2.6E+00

由上表可知，本项目核医学影像中心辐射工作人员年最大有效剂量为2.6mSv/人，均能满足HJ1188中规定的辐射工作人员的年有效剂量小于剂量管理限值5mSv/a的要求。

(2) 核医学影像中心周围保护目标受照剂量估算

根据表11-4可知，各辐射工作场所最近的关注点的辐射剂量率，在不考虑其他墙体的屏蔽效果，根据辐射剂量率与距离的平方成反比的规律，可以代表项目周围最近保护目标的最大受照辐射剂量，此外，核医学影像中心距离LF层急救中心DSA手术手术室、一层介入中心均较远，对彼此的剂量贡献可忽略不

计，因此本项目周围公众最大年受照剂量见下表。

表11-7 核医学影像中心周围最近保护目标年最大有效剂量

最近的保护目标	最大剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	受照时间(h)	年最大有效剂量(mSv)	保护目标类型
东侧最近护士站、诊室等	5.2E-03	1	2000	1.0E-02	公众
南侧最近医生值班办公区	8.8E-04	1	2000	1.8E-03	公众
西侧最近制冷机房等辅助用房区域	1.4E-01	0.25	2000	7.1E-02	公众
北侧核医学预留区域	1.2E+00	1	2000	2.4E+00	职业人员
正上方 LF 层急救中心抢救区*	1.1E-01	1	240	2.6E-02	公众
北侧服务中心楼	5.1E-05	0.25	2000	2.5E-05	公众

注：*—抢救区患者最长抢救治疗按照10天进行考虑。

(3) 小结

综上所述，核医学影像中心职业人员年最大受照剂量为2.6mSv/a，周围最近公众年最大有效剂量为 7.1×10^{-2} mSv/a，能满足HJ1188-2021中规定的“一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过5 mSv/a，公众照射的剂量约束值不超过0.1mSv/a”的规定，也能够满足《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。由此可见，本项目正常运营后，对核医学影像中心的辐射工作人员和周围环境公众的辐射影响均能满足相关标准要求。

(六) β 表面沾污的防护措施

β 表面沾污的影响主要来源于医生操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对职业人员和公众造成辐射影响，因此，为了使本项目非密封放射性物质工作场所的 β 表面污染水平达到GB18871-2002规定的要求，环评要求建设方要做到以下防护措施：

①使用、操作放射性同位素的人员应经过培训，具备相应的技能与防护知识；

②开瓶、转移、标记、分离纯化等易产生放射性物质逸出或飞散的操作，其操作须在手套箱内进行；

③操作液体放射性物质应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料；

④吸取液体的操作必须用合适的器具，严禁用口吸取；

⑤不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；

⑥放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、清洗、去污，工作人员应进行淋浴；

⑦放射性药品用后应及时存放在专用柜内，需防盗、防水、防火、柜外应有电离辐射标志；

⑧做好就诊病人的管理，特别是已服药和注射放射性药品的病人管理工作，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动。

⑨如 β 表面污染水平超过GB18871-2002规定值，医院应暂停开展核医学活性区的相关业务，去污染经监测符合标准后方可重新开展业务，同时辐射工作人员出现手、皮肤、内衣、工作袜等出现污染情况（超过 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）需及时进行去污操作并暂停放射性物质操作，评估其受照射剂量，并根据评估结果采取下一步措施（调整工作或接受治疗等）。

（七）放射性“三废”影响分析

1、放射性废水

在核医学影像中心产生的放射性废水经专用内排水管道收集后，经坡度走向的污泵间，经一体化废水提升泵提升至地面，再自流进入心血管疾病临床诊疗中心西北侧新建衰变池内。核医学影像中心诊疗项目运营过程中均不需要进行住院观察，所以在注射或者服药后候诊过程中产生的废水主要来源于少量排泄废水、清洗废水。根据现场踏勘结合设计文件，医院已建衰变池1座，共4格（各设有1格沉淀池），每格衰变池有效容积均为 79m^3 ，本次拟使用2格（2格预留）衰变池，总有效容积为 $2\times 79=158\text{m}^3$ 。核医学影像中心产生的放射性废水在衰变池进行衰变处置，在衰变池内衰变至满足排放要求后排入医院污水处理站进一步处理。根据设计资料，衰变池作为重点防渗区，开挖基槽底为现浇钢筋混凝土结构，采取防水混凝土、防水砂浆保护层、不低于 2mm 厚防渗涂料等多层防渗措施。**建设单位应严格要求工程质量，衰变池池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀，放射性衰变池应加以密封，应有防雨、防渗和防漏的措施，确保放射性废水衰变池和放射性固体废物暂存间地面的达到等效黏土防渗层 $M_b\geq 6.0\text{m}$ ，渗透系数 $K\leq 1\times 10^{-7}\text{cm}/\text{s}$ 。**

根据《综合医院建筑设计规范》（GB51039-2014），门诊患者每人每次每天用水定额取10L，核医学影像中心每日最多50名患者，患者产生废水量约为0.4m³/d；每日对核医学影像中心去污共产生废水约0.2m³/d；核医学影像中心每日清洗废水约0.1m³/d，则核医学影像中心每天放射性废水产生量为0.7m³/d。本项目衰变池为两级并联，偏保守的角度，放射性废水待放满第1格衰变池起才计算衰变时间，直到放满第2格衰变池，再排放第1格衰变池废水，注满第1格衰变池需要113d，本项目衰变池容量放射性废水暂存远超30天的要求。

偏保守预测，患者体内核素100%排入了放射性废水中，不考虑废水注入过程中核素衰变的情况，则废水的排放情况见下表。

表11-8 核医学影像中心放射性废水中主要核素活度

核素名称	日最大用量 (Bq)	体内核素日排入废水比例 (%)	单日衰变池核素最大排入量(Bq)	注满1格衰变池核素活度 (Bq)
^{99m} Tc	2.22E+10	100	2.22E+10	2.51E+12
¹⁸ F	7.40E+09	100	7.40E+09	8.36E+11

表11-9 衰变池放射性废水中主要核素活度

核素名称	半衰期	注满1格衰变池核素活度 (Bq)	衰变时间 (d)	衰变后单次排放活度 (Bq)	衰变后单次排放浓度 (Bq/L)
^{99m} Tc	6.02h	2.51E+12	113	<1	<1×10 ⁻³
¹⁸ F	109.8min	8.35E+11	113	<1	<1×10 ⁻³

由上表可知，核医学影像中心衰变池内放射性废水暂存113天后，本项目产生的放射性核素已经衰变殆尽，放射性核素浓度远小于《医疗机构水污染物排放标准》规定总β<10Bq/L的规定，且根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）7.3.3.1中的规定，核医学区内核素最长半衰期为6.02h，半衰期小于24h，衰变池内的放射性废水暂存超过30天后，可以直接解控排放。

医院应结合废水在衰变池中的储存周期，结合医院的实际情况，制定衰变池废水的排放计划，并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污水管网。每次排放应做好排放时间、排放量等应详细记录，设置专门的废水排放台账，设专人管理，存档保存。建设单位在落实施工质量、按照要求配置放射性废水排放计划和做好管控登记后，本项目放射性废液收集、存储衰变、排放管控措施的有效可行。

2、放射性固废

核医学影像中心内拟设放废暂存室、放射性废物库各1间，总面积约16m²，用于暂存放射性固废，拟配容积为1m³的放射性废物暂存桶/箱各2个。本项目产生的放射性固体废物主要为工作人员操作过程产生的注射器、针头、棉棒、一次性卫生用品、垫料等，按照每人每天0.2kg产生量进行估算，正常情况下，核医学影像中心年放射性固体废物的产生量为2500kg，放射性废气过滤装置更换下来的活性炭等，产生量约50kg/a，则每月产生的放射性废物最大约258kg。放射性固体废物保守按照平均密度100kg/m³进行计算，每月产生的体积最大约2.58m³，因本项目使用的核素均为半衰期低于24小时的核素，根据HJ1188的规定，暂存30天后，经监测达到清洁解控水平后，可作为医疗废物进行处理。因此，本项目配置的放射性废物衰变桶/箱能够满足项目产生放射性废物暂存的需求。

医院应将上述放射性固体废物采用专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋及时转送至放废暂存室/放射性废物库。对放射性固体废物进行分类、分期收集装入塑料袋标明产生日期并系紧袋口，每天下班前将当天产生的放射性废物及时转移至放废暂存室/放射性废物库内，让放射性物质自行衰变。放射性固废收集后应进行监测，需满足每袋废物表面剂量率不超过0.1mSv/h，重量不超过20kg/袋的收集要求。每次收集后应做好固废存放台账，记录固废存放监测数据、收集时间及收集量，台账应有专人管理，存档保存。待暂存超过30天后，按照医疗废物交由有资质单位进行处置。

3、放射性废气

核医学影像中心产生的废气主要为放射性废气、臭氧。本项目核医学内臭氧产生量较小，经排风系统引出后在楼顶排放，经自然稀释分解后对环境的影响可以忽略不计。因此，本项目核医学科主要环境影响为放射性废气。

根据医院提供资料，医院在影像中心仅使用核素^{99m}Tc、¹⁸F和钼铈发生器，其中^{99m}Tc涉及钼铈发生器淋洗、质控、分装标记和注射等，¹⁸F涉及质检、分装、注射等操作，均在分装注射室内进行。本项目核医学影像中心场所内拟设新风管道2根（总最大新风量为6000m³/h），专用排风管道2根（总最大排风量为8000m³/h），1根密闭手套箱专用排风管道，场所内排风量大于新风量，为负压工作场所。核医学影像中心实现了负压通风，拟设3套排风系统，共3个排风口，

其中2根用于工作场所内的排风，排风口位于裙楼楼顶，另1根为2台密闭手套箱的排风管道，排风口位于塔楼楼顶。在核医学场所内的排风管道，从各功能用房引出后，经高效过滤装置过滤后，通过管道经排风井引至裙楼屋顶（距地面约18m）排放；密闭设备顶部内侧拟设专用高效过滤装置吸附+活性炭过滤装置（排风井前端）过滤后，通过管道经排风井引至塔楼屋顶（约57m）排放。

本项目核医学影像中心拟设专用排风管道，且密闭设备单独设置排风系统，排气口尽量远离了周边的高层建筑，符合《核医学辐射防护与安全要求》

（HJ1188-2021）中“6.3 密闭和通风要求”的相关规定。本项目产生的放射性废气经过过滤装置的净化后排放，且本项目使用的核素均为短半衰期核素，放射性废气能够得到有效的治理。因此，本项目核医学影像中心投入运营后，放射性废气对周围环境的影响较小。

活性炭过滤装置的过滤使用寿命一般为8~12个月，为确保本项目过滤装置的净化效率，医院应每半年对活性炭过滤装置过滤效率进行校核，如果有必要需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。

（八）非放射性污染物环境影响分析

1、水环境影响

本项目核医学影像中心运行期间产生的生活污水经医院现有的污水处理站处理达标后，经市政污水管网进入南充市嘉东污水处理厂处理，最终排往嘉陵江，对项目所在地水环境影响较小。

2、大气环境影响分析

SPECT-CT机X射线能量较小，每人扫描时间较短，运行过程产生的O₃量少，经检查室内排风系统引出排入大气环境稀释后，对工作人员和公众不会造成危害，不会对周围环境及公众造成明显影响。

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

本项目核医学影像中心运行期间产生的生活垃圾、医疗废物、解控后的固体废物经分类收集后，依托医院现有固体废物收运系统，分别交由当地环卫部

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。

二、介入诊疗设备应用场所环境影响分析

（一）辐射环境影响分析

本项目共涉及使用 11 台 DSA。其中，江东院区心血管疾病临床诊疗中心 LF 急诊中心使用 1 台、一层介入中心使用 8 台、三层中心手术室使用 2 台，出束方向由下而上。根据医院提供资料，急诊科 DSA 介入手术年工作量最多为 390 例，单台手术最长出束时间 10min（拍片 1min，透视 9min），年最大曝光时间为 65h（拍片 6.5h、透视 58.5h）；介入中心平均单台 DSA 介入手术年工作量最多为 420 例，单台手术最长出束时间 15.5min（拍片 1.5min，透视 15min），年最大曝光时间为 115.5h/台（拍片 10.5h、透视 105h）；中心手术室内，平均单台复合 DSA 介入手术年工作量最多为 360 例，单台手术最长出束时间 20min（拍片 2min，透视 18min），年最大曝光时间为 120h（拍片 12h、透视 108h）。

根据环境保护部公告 2017 年第 66 号《射线装置分类办法》，DSA、ERCP 属于 II 类射线装置，工作时不产生放射性废气、废水和固体废物。本机为数字成像设备，不使用显、定影液，其主要环境影响因素为工作时产生的 X 射线。

医用射线装置在进行曝光时分为两种情况：

①造影拍片过程：操作人员均采取隔室操作的方式，医生通过控制室铅玻璃观察窗机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。在拍片过程中，医生位于控制室内，经机房各屏蔽体屏蔽后，对机房外（包括机房楼上、楼下区域）的公众和工作人员基本没有影响。

②脉冲透视过程

为更清楚的了解病人情况，医生需进入机房进行治疗时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师身着铅衣、戴铅眼镜等在机房内对病人进行直接的手术操作。

本环评采用理论预测方法分析本项目 DSA 在正常运行期间对辐射工作人员及公众的辐射影响。

1、本项目关注点的辐射环境影响分析

(1) 参数取值

本项目拟使用的 11 台 DSA 最大管电压不超过 150kV、最大管电流不超过 1000mA。根据医院在用 DSA 使用情况得知，拍片时 DSA 的常用管电压 60~100kV，常用管电流为 100~500mA；在 DSA 透视时常用管电压为 70~90kV，常用管电流为 10~20mA，单台次手术最长出束时间为 18min。根据《医用电气设备第 1-3 部分:基本安全和基本性能的通用要求 并列标准:诊断 X 射线设备的辐射防护》(GB 9706.103-2020)中“X 射线管组件和 X 射线源组件在加载状态下的泄漏辐射，当其在相当于基准加载条件下以标称 X 射线管电压运行时，距焦点 1m 处，1 小时内在任一 100cm²区域(主要线性尺寸不大于 20cm)的空气比释动能不应超过 1.0mGy。专用标准可对不同 X 射线设备的泄漏辐射规定不同的限值”。因此，本项目射线装置在 1m 处泄漏射线的空气比释动能率保守取 1.0mGy/h。

本次预测分析，保守按照 DSA 透视时最大管电压为 90kV、最大管电流为 20mA，DSA 拍片时最大管电压 100kV、最大管电流为 500mA 进行分别分析。根据表 9 分析可知，本项目 DSA 在透视模式 (90kV) 下，距离靶 1m 处发射率约为 8mGy/(mA·min)，拍片模式 (100kV) 下，距离靶 1m 处发射率约为 9.5mGy/(mA·min)。

表11-10 本次评价介入诊疗设备主要参数

常用拍片工况			常用透视工况		
管电压	管电流	1m 处辐射剂量率	管电压	管电流	1m 处辐射剂量率
60~100kV	100~500mA	4750mGy·min ⁻¹	70~90kV	10~20mA	160mGy·min ⁻¹

在介入手术过程中，介入手术室 (DSA 手术间) 四周、下方的保护目标，均受到漏射线和散射射线的影响；介入手术室 (DSA 手术间) 上方的保护目标主要受主射辐射的影响；介入手术室 (DSA 手术间) 内的辐射工作人员主要受到散射和漏射的影响。在相邻介入手术室 (DSA 手术间) 同时开展 DSA 介入手术时，周围公众存在剂量叠加，本次采用关注点处辐射剂量率与距离的平方成反比的规律进行保守预测。

因护士主要负责介入手术术前准备、手术后清洁工作，以及根据手术情况术中配合跟台手术，本次预测保守按照每一台介入手术，护士跟台手术时间为各科室手术量总时间的 1/3 进行考虑；主刀医生参与复杂手术、技师、护士均

保守按照平均手术量的 1.2 倍进行考虑。本项目 DSA 周围保护目标受到年最大照射时间见下表。

表11-11 本项目DSA周围保护目标年最大受照时间一览表

应用	人员类别	手术医生透视时间 (h)		护士透 视 (h)	技师受照射 (h)		公众受照时间 (h)	
		主刀位	助手位		拍片	透视	拍片	透视
急诊中心		23.4	19.5	9.75	3.9	35.1	6.5	58.5
介入中心		38.8	32.3	21	12.6	126	10.5	105
中心手术室		32.4	27	21.6	7.2	129.6	12	108

(2) 预测机房及关注点位的选取

本次评价的 DSA 手术间涉及 LF 层急诊中心、一层介入中心、三层中心手术室，根据表 10-6 可知，各楼层层高、屏蔽防护做法、机房净空尺寸不同。因此，本次评价 LF 层急诊中心 DSA 手术间、一层介入中心介入手术间 2 和介入手术间 5、三层中心手术室 5 手术间进行预测，预测机房代表性分析见下表。

表11-12 本次预测代表性DSA手术间分析一览表

机房位置	选取预测机房名称	选取原因
LF 层急诊中心	DSA 手术间	仅有 1 个机房，预测机房唯一
一层介入中心	介入手术间 2	机房尺寸最小、面积最小
	介入手术间 5	机房周围 DSA 手术间数量最多
三层中心手术室	5 手术间	机房尺寸最小、面积最小

本次预测分析关注点位主要为介入手术室内手术位、控制室、机房四周墙体外 0.3m 处、机房正上方及正下方。根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律，距离 DSA 手术间最近关注点可以代表最大可能辐射影响。

(3) 各关注点位辐射剂量率预测分析

根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 公式 C.1 以及附录表 C.2 可知，屏蔽透射因子 B:

$$B = \left[\left(I + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \dots\dots\dots \text{式 (11-4)}$$

式中:

B—给定铅厚度的屏蔽透射因子;

β —铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数;

α —铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数;

γ —铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数;

X—铅厚度。

表11-13 对X射线的辐射衰减拟合参数取值

管电压90kV（透视）						
材料	α		β		γ	
铅	3.067		18.83		0.7726	
混凝土	0.04228		0.1137		0.4690	
砖	0.03750		0.08200		0.8920	
管电压100kV（拍片）						
材料	α		β		γ	
	主束	散射	主束	散射	主束	散射
铅	2.500	2.507	15.28	15.33	0.7557	0.9124
混凝土	0.03925	0.03950	0.08567	0.08440	0.4273	0.5191
砖	0.03520	0.02870	0.0880	0.06700	1.149	1.346

注：①表 11-3 中数据来自 GBZ130-2020 中表 C.2、C.3；②拍片模式下，没有砖在 100kV 下非有用线束拟合参数，X 射线的散射辐射衰减拟合参数保守按照 125kV 有用线束进行取值。

根据上表参数代入公式计算，各介入手术室（DSA 手术间）不同屏蔽体材料及厚度对应的屏蔽透射因子见表 11-14。

表11-14 本项目介入手术室屏蔽防护设计措施一览表

1) 主射线束方向保护目标的影响

①计算模式

主射束的屏蔽防根据下式进行计算：

$$D_r = D_l \cdot B / R^2 \dots \dots \dots \text{式 (11-5)}$$

式中：

D_r —预测点处辐射空气吸收剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

D_l —X 射线在 1m 处的辐射空气吸收剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

B —屏蔽材料对 X 射线束的减弱因子；

R —预测点距 X 射线源的距离，m。

②预测结果分析

根据NCRP147报告，患者和接收器对初始线束的减弱倍数为10到100倍，考虑最不利影响，患者和接收器对初始线束的减弱倍数取10倍，则主射方向照

射量率取主射线束的10%。将相关参数带入（式11-5）中，进行各关注点年有效剂量预测，预测点年剂量估算结果见表11-15。

表11-15 手术室内DSA主射方向预测点年有效剂量估算

2) 非主射方向保护目标的影响

①病人体表散射辐射剂量估算

$$H_s = \frac{H_0 \cdot \alpha \cdot B \cdot (s/400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \dots\dots\dots \text{式 (11-6)}$$

式中：

H_s —预测点处的散射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

H_0 —靶 1m 处的剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

α —患者对 X 射线的散射比；根据《辐射防护手册》（第一分册）表 10.1 查表取得， 1.3×10^{-3} （ 90° 散射）；

s —散射面积， cm^2 ，取 100cm^2 ；

d_0 —源与病人的距离，m，取 1m；

d_s —散射体（病人）与关注点的距离，m；

B —非有用（散射）减弱因子。

②泄露辐射剂量估算

各预测点的泄漏辐射剂量率可用下（式 11-7）进行计算。

$$H_{\text{漏}} = \frac{H_L \cdot B}{R^2} \dots\dots\dots \text{式 (11-7)}$$

式中：

$H_{\text{漏}}$ —预测点处的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

H_L —距靶点 1m 处的最大漏射剂量率，根据 GB 9706.103-2020 中“X 射线管组件和 X 射线源组件在加载状态下的泄漏辐射，当其在相当于基准加载条件下以标称 X 射线管电压运行时，距焦点 1m 处，1 小时内在任一 100cm^2 区域（主要线性尺寸不大于 20cm）的空气比释动能不应超过 1.0mGy ”。本项目射线装置在 1m 处泄漏射线的空气比释动能率保守取 $1000\mu\text{Gy/h}$ ；

R —靶点距关注点的距离，m；

B—保守按照有用（主射束）减弱因子进行取值。

将各参数带入上式后，得到各关注点处最大辐射剂量率见下表。

表11-16 本项目DSA在透视模式下各关注点处最大辐射剂量率

表11-17 本项目DSA在拍片模式下各关注点处最大辐射剂量率

根据上表计算可知，心血管疾病诊疗中心各单台 DSA 手术间周围关注点处透视和拍片模式下辐射剂量率最大值为 $3.3 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ 。

③多个场所辐射剂量率的叠加影响

医院在心血管疾病诊疗中心一层介入中心共使用8台DSA，在场所内存在多台DSA同时使用的情况，三层中心手术室4手术间、5手术间可能同时使用。因此，介入中心、中心手术室内的DSA手术间周围各关注点处存在剂量叠加。根据各代表性机房外预测得到的关注点处辐射剂量率，结合辐射剂量率与距离的平方成反比的规律，可得到DSA手术间外各关注点处最大辐射剂量率。本次介入中心DSA剂量率保守按照介入手术间5透视时，周围最近的5台介入手术间内的DSA同时处于连续拍片模式下，中心手术室4手术间和5手术间均处于拍片模式下，则各关注点处最大辐射剂量率详见下表。

表11-18 本项目DSA透视时场所周围各关注点处叠加辐射剂量率

表11-19 本项目DSA拍片时场所周围各关注点处叠加辐射剂量率

根据上表可知，本项目各 DSA 手术间内射线装置在透视和拍片模式下，各 DSA 手术间外关注点处最大辐射剂量率为 $9.8 \times 10^{-1} \mu\text{Gy/h}$ 。

④各关注点处辐射剂量率综合分析

表 11-20 本项目介入诊疗设备工作场所各关注点处综合辐射剂量率一览表

由上表换算可知，本项目各场所内 DSA 设备在透视和拍片模式下，心血管病诊疗中心 DSA 手术间内最大辐射剂量率为 $1.7 \times 10^2 \mu\text{Sv/h}$ 。各 DSA 手术间外关注点处最大辐射剂量率为 $1.6 \mu\text{Sv/h}$ ，均满足本次评价确定的屏蔽体外辐射剂量率不超过 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求。

(4) 各关注点处保护目标年最大辐射剂量预测分析

个人年最大有效剂量估算公式如下：

$$E = H \cdot t \cdot T \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots \text{式 (11-8)}$$

式中：

E —辐射外照射人均年有效剂量，mSv；

H —辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t —年工作时间，h；

T —居留因子。

本项目心血管病诊疗中心 DSA 工作场所内各关注点保护目标年最大辐射剂量预测结果见下表。

表 11-21 各关注点处保护目标年最大辐射剂量预测结果

机房位置	保护目标及位置		透视模式		拍片模式		居留因子	年最大受照剂量 (mSv)	保护目标类型	
			关注点处最大辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年最大照射时间(h)	关注点处最大辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年最大照射时间(h)				
LF层 急诊中心 DSA 手术间	DSA 手术间内的人员	主刀医生位	1.1E+02	23.4	/	/	1	2.66	职业人员	
		助手医生位	4.4E+01	19.5	/	/	1	0.87	职业人员	
		护士	1.7E+02	9.75	/	/	1	1.69	职业人员	
	四周墙体外的人员	南侧	2.7E-05	58.5	1.0E-02	6.5	0.25	1.7E-05	公众	
		西侧	2.8E-05	58.5	1.1E-02	6.5	0.25	1.8E-05	公众	
		北侧	2.6E-05	58.5	1.0E-02	6.5	0.25	1.7E-05	公众	
		东侧	2.9E-05	58.5	1.2E-02	6.5	0.25	2.0E-05	公众	
	机房正上方的人员 (一层)			2.6E-04	58.5	1.6E-01	6.5	0.25	2.7E-04	公众
		机房正下方的人员 (负一层)		5.5E-05	58.5	2.6E-02	6.5	0.25	4.2E-05	公众
		控制室内工作人员	防护窗	8.0E-05	35.1	3.0E-02	3.9	1	1.2E-04	职业人员
医生进出门	9.5E-05		35.1	3.6E-02	3.9	1	1.4E-04	职业人员		
防护门	患者进出门	8.0E-05	58.5	2.9E-02	6.5	0.25	4.9E-05	公众		

	外的人员	污物进出门	1.2E-04	58.5	3.6E-02	6.5	0.25	6.0E-05	公众
一层介入中心介入手术室	DSA 手术间内的人员	主刀医生位	1.1E+02	38.8	/	/	1	4.41	职业人员
		助手医生位	4.4E+01	32.3	/	/	1	1.44	职业人员
		护士	1.7E+02	21	/	/	1	3.64	职业人员
	四周墙体外的人员	南侧	2.7E-04	105	1.3E-02	10.5	0.25	4.1E-05	公众
		西侧	4.3E-04	105	9.3E-03	10.5	0.25	3.6E-05	公众
		北侧	9.5E-04	105	1.2E-02	10.5	0.25	5.7E-05	公众
		东侧	1.1E-03	105	1.7E-02	10.5	0.25	7.3E-05	公众
	介入中心正上方的人员（二层）		4.8E-03	105	1.6E+00	10.5	0.25	4.2E-03	公众
	介入中心正下方的人员（LF层）		1.2E-03	105	1.7E-02	10.5	0.25	7.7E-05	公众
	控制室内工作人员	防护窗	8.8E-04	126	4.0E-02	12.6	1	6.1E-04	职业人员
		医生进出门	3.8E-04	126	3.8E-02	12.6	1	5.2E-04	职业人员
	防护门外的人员	患者进出门	1.1E-03	105	4.0E-02	10.5	0.25	1.3E-04	公众
		污物进出门	7.8E-04	105	5.5E-02	10.5	0.25	1.6E-04	公众
三层中心手术室复合 DSA 手术间	DSA 手术间内的人员	主刀医生位	1.1E+02	32.4	/	/	1	3.69	职业人员
		助手医生位	4.4E+01	27	/	/	1	1.20	职业人员
		护士	1.7E+02	21.6	/	/	1	3.75	职业人员
	四周墙体外的人员	南侧	7.9E-05	108	1.5E-04	12	0.25	2.6E-06	公众
		西侧	9.1E-05	108	1.7E-04	12	0.25	3.0E-06	公众
		北侧	1.8E-05	108	2.6E-05	12	0.25	5.6E-07	公众
		东侧	1.4E-05	108	2.2E-05	12	0.25	4.6E-07	公众
	复合 DSA 手术间正上方的人员（四层）		1.3E-03	108	5.7E-01	12	0.25	1.7E-03	公众
	复合 DSA 手术间正下方的人员（二层）		1.4E-04	108	2.6E-04	12	0.25	4.5E-06	公众
	控制室内工作人员	防护窗	2.1E-04	129.6	3.2E-04	7.2	1	2.9E-05	职业人员
		医生进出门	2.2E-04	129.6	2.7E-04	7.2	1	3.0E-05	职业人员
	防护门外的人员	患者进出门	1.3E-04	108	1.3E-04	12	0.25	3.8E-06	公众
		污物进出门	1.9E-04	108	2.7E-04	12	0.25	5.9E-06	公众
<p>由上表计算可知，本项目 DSA 手术间内手术医生所受年剂量最大为 4.41mSv/a，护士年最大受照剂量为 3.75mSv/a，技师年最大受照剂量为 6.1×10^{-4}</p>									

mSv/a；机房周围公众最大受照剂量为 4.2×10^{-3} mSv/a。在 DSA 拍片过程中，DSA 手术室内手术医生、护士位于 DSA 操作室内，受到设备拍片时的剂量叠加，职业人员最大受照剂量按照手术医生叠加控制室内技师最大受照剂量进行保守考虑，则介入诊疗设备应用场所内，辐射工作人员年最大受照剂量为 4.41mSv/a，机房周围公众最大受照剂量为 4.2×10^{-3} mSv/a。

本项目职业人员和公众最大受照剂量均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的职业人员 20mSv/a 和公众 1mSv/a 剂量限值，也均低于职业人员 5mSv/a，公众 0.1mSv/a 的管理约束值。根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律，距离 DSA 手术间最近的关注点可以代表最大可能辐射有效剂量。在本项目各 DSA 介入手术室内 DSA 投入使用后，DSA 曝光产生的 X 射线经墙体、门窗屏蔽、距离衰减后，对 DSA 手术间周围保护目标受照剂量远低于预测剂量，对周围公众影响更小。

2、医生腕部皮肤受照剂量

医生介入手术操作时，会穿连体铅衣、戴介入防护手套、铅防护眼镜、铅橡胶颈套等防护用品，通常站立于介入治疗病床侧面，面对病患，受到散射和漏射线束照射，由于手术过程中手术医生随时在活动，其腕部不会一直处于受照射位置不动，分以下两种情况进行保守预测：①在透视时，有 1/5 时间手术医生在受照位置进行插入导管等操作，此时医生腕部受铅防护手套（0.025mmPb）保护，未受到铅悬挂防护屏的保护；②在透视时，4/5 时间内手术医生在手术床侧的其他位置，此时腕部未处于受照位置，腕部受到铅防护手套（0.025mmPb）和铅悬挂防护屏（0.5mmPb）的保护。

本项目采用理论预测分析介入手术医生腕部所受到的皮肤剂量，减弱因子参照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）公式 C.1 以及附录表 C.2，则手术时医生腕部所受的最大辐射剂量率见下表：

表11-22 本项目介入手术医生腕部最大辐射剂量率

关注点部位	射线源距关注点的距离 (m)	屏蔽材料及厚度	屏蔽材料折合铅当量 (mmPb)	减弱因子	散射辐射剂量率 (μGy/h)	漏射辐射剂量率 (μGy/h)	综合剂量率 (μGy/h)
医生腕部	0.5	0.025mmPb 铅手套	0.025	6.3E-01	7.81E+03	2.50E+03	1.03E+04
		0.025mmPb 铅手套+0.5mmPb 铅悬挂防护屏	0.525	2.3E-02	2.83E+02	9.08E+01	3.74E+02

手术医生在介入手术间（DSA 手术间）内进行手术时，手术医生腕部距离辐射源（非主射束方向）最近，因 X 射线随着距离的增加呈现衰减趋势，故以手术医生腕部剂量估算结果进行核算医护人员皮肤照射年剂量，根据《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）中的公式估算介入手术人员最大年皮肤吸收剂量：

$$D_s = C_{ks} (\dot{k} \cdot t) \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots \text{（式 6）}$$

$$\dot{k} = \frac{\dot{H}_{(10)}^*}{C_{KH}} \dots\dots\dots \text{（式 7）}$$

式中： D_s —皮肤吸收剂量，mGy；

$\dot{k}$ —X 辐射场的空气比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

C_{ks} —空气比释动能到皮肤吸收剂量的转化系数（Gy/Gy）；

t —人员累积受照时间，h；

$\dot{H}_{(10)}^*$ —X 辐射场的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

C_{KH} —空气比释动能到周围剂量当量的转化系数（Sv/Gy）。

理论计算：根据各科室介入手术工作量分配情况，手术医生人均受照时间最长，按照人均受照时间的 1.2 倍考虑为 38.8h，根据上述分析有如下两种情况：①手术医生在透视时预计有 1/5 时间在受照位置进行插入导管等操作，此时受照时间为 7.76h（38.8h×1/5），根据表 11-22 分析，腕部位置处的剂量当量率为 $1.03 \times 10^4 \mu\text{Gy/h}$ ；②手术医生在透视时预计有 4/5 时间在非受照位置进行手术操作时，此时受照时间为 31.04h（38.8h×4/5），根据表 11-22 分析，腕部位置处的剂量当量率为 $3.74 \times 10^2 \mu\text{Gy/h}$ 。

本项目 DSA 可近似地视为垂直入射，而且是 AP 入射方式。从表 A.9 可查得 X 辐射场空气比释动能到周围剂量当量的转化系数 $C_{KH} = 1.72 \text{Sv/Gy}$ ，由（公式 7）计算出手术医生在上述两种受照情况下辐射场的空气比释动能分别为 $6.23 \times 10^3 \mu\text{Gy/h}$ 、 $2.27 \times 10^2 \mu\text{Gy/h}$ 。从表 A.4 可查出空气比释动能到皮肤吸收剂量

的转换系数 $C_{KS}=1.134\text{mGy/mGy}$ 。根据式 6，手术医生在受照位置进行插入导管等操作时，医生手术位腕部皮肤受照当量剂量为 54.5mGy/a ，手术医生在非受照位置进行手术操作时，医生手术位腕部皮肤受照当量剂量为 7.9mGy/a ，则手术医生腕部皮肤受照当量剂量叠加后为 62.4mGy/a ，未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 4.3.2.1 条“对任何工作人员，四肢（手/足）或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv ”，满足本项目对于放射工作人员四肢（手和足）或皮肤当量剂量通常管理限值，即不超过 150mSv 的要求。

医院应严格落实各项辐射安全管理制度，所有在手术过程中进入介入手术间（DSA 手术间）的医护人员均应按辐射工作人员进行管理，医护人员应正确穿戴防护用品并严格遵守操作规程。对病人病灶进行照射时，应将病人病灶以外部位用铅橡胶布进行遮盖或穿着铅服，以避免病人受到不必要的照射。

3、介入诊疗对医生和患者的辐射防护要求

介入诊疗是一种解决临床疑难病的新方法，但介入诊疗时 X 射线曝光量大，曝光时间长，距球管和散射体近，使介入诊疗操作者受到大剂量的 X 射线照射。为了减少介入治疗时 X 射线对操作者和其他人员的影响，本评价提出以下几点要求：

介入诊疗医生自身的辐射防护要求：①加强教育和培训工作，提高辐射安全文化素养，全面掌握辐射防护法规和技术知识；②结合诊疗项目实际情况，综合运用时间、距离与屏蔽防护措施；③在介入手术期间，必须穿戴个人防护用品，并佩戴个人剂量报警仪；④定期维护 DSA 系统设备，制定和执行介入诊疗的质量保证计划。

患者的辐射防护要求：①严格执行 GB18871-2002 中规定的介入诊疗指导水平，保证患者的入射体表剂量率不超过 100mGy/min ；②选择最优化的检查参数，为保证影像质量可采用高电压、低电流、限制透视检查时间等措施；③采用剂量控制与分散措施，通过调整扫描架角度，移动扫描床等办法，分散患者的皮肤剂量，避免单一皮肤区域接受全部剂量；④作好患者非照射部位的保护工作。

4、射线装置报废

射线装置在报废前，应采取去功能化的措施（如拆除电源和拆解加高压射

线管），确保装置无法再次组装通电使用，并按照生态环境保护主管部门的要求，履行相关报废手续。

（三）大气环境影响分析

本项目在运行过程中，主要大气污染因子为机房内 DSA 产生的 X 射线电离空气中氧而产生的臭氧，产生臭氧量较少。医院在各介入手术室内均设计了通排风系统，射线装置产生的 X 射线电离空气产生的臭氧由专用排风管道引出 DSA 手术间后，在室外排放，经自然分解和稀释，对机房周围的环境影响较小。

（四）水环境影响分析

本项目介入诊疗工作场所内产生废水主要为地面清洁废水、手术医护人员产生的清洗废水和少量生活污水。废水进入医院生活污水处理站处理达到《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南充市嘉东污水处理厂处理，最终排往嘉陵江，本项目的下水道应进行地面硬化处理等防渗措施，防止污染地下水。

（五）声环境影响分析

本项目介入诊疗工作场所噪声源主要为空调噪声，所有设备选用低噪声设备，均处于室内，通过建筑墙体隔声及距离衰减后，运行期间厂界噪声可达到《工业企业厂界噪声标准》（GB12348-2008）2 类标准要求。

（六）固废境影响分析

本项目介入诊疗设备工作场所一台手术约产生医疗废物药棉 0.1kg，纱布 0.1kg，手套 0.2kg，一年最多 4470 台手术，则一年约产生医疗废物药棉 0.447t，纱布 0.447t，手套 0.894t，总共每年约产生医疗废物 1.788t，采用专门的收集容器集中回收后，转移至医疗废物暂存库，按照医疗废物执行转移联单制度，交由有资质的医疗废物处理机构收运处理。

工作人员产生的生活垃圾和办公垃圾医院进行统一集中回收并交由环卫部门统一处理。本项目介入诊疗工作场所不会产生放射性固废，对周围环境基本无影响。

事故影响分析

一、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，以及项目在建设、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。

二、风险识别

1、核医学影像中心可能发生的事故

①放射性药物丢失、被盗、撒漏或工作场所失火，均可能使放射性药物释放到环境中，这样就会使室内的设备、地面等受到放射性污染；

②校准源丢失、被盗、失控。

2、DSA 可能发生的事故

本项目使用的 DSA 属于II类射线装置，属中危险射线装置，事故时可使受照人员产生较严重的放射损伤，大剂量照射甚至可导致死亡。DSA 不运行时不可能发生放射性事故，也不存在影响辐射环境质量事故，只有当机器运行期间才会产生 X 射线等危害因素，而且最大可能的事故主要有两种：

①在介入手术操作中，DSA 控制系统失灵；

②DSA 射线装置 X 射线源处于“曝光”状态，介入手术人员在距 X 射线管非主射束方向进行介入手术操作。

3、III类医用射线装置可能发生的辐射事故

本项目涉及1台SPECT-CT，属于III类射线装置，其主要危害为设备工作时产生X射线。III类射线装置属于低危险射线装置，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。

三、源项分析及事故等级分析

核医学影像中心所用的放射性核素，将产生 β 和 γ 射线，由于 β 辐射在空气中射程较短，易于防护，故核医学科可能发生的风险事件中，其风险因子为 γ 射线。

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 11-23 中。

表 11-23 本项目的风险因子辐射伤害程度与事故分级

事故等级	事故类型
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	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 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

根据《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017），急性放射病发生参考剂量见表 11-24。

表 11-24 急性放射病初期临床反应及受照剂量范围参考值

急性放射病	分度	受照剂量范围参考值
骨髓型急性放射病	轻度	1.0Gy~2.0Gy
	中度	2.0Gy~4.0Gy
	重度	4.0Gy~6.0Gy
	极重度	6.0Gy~10.0Gy
肠型急性放射病	轻度	10.0Gy~20.0Gy
	重度	20.0Gy~50.0Gy
脑型急性放射病	/	50.0Gy~100.0Gy
	死亡	>100Gy

四、后果计算

（一）核医学影像中心事故后果计算

1、放射性药物意外泄漏事故

在核素淋洗、分装等操作过程中，放射性溶液撒漏一般不会直接沾染工作人员手部皮肤，因而对人体的影响不大。但在给病人给药时容易因误操作导致撒漏对工作人员造成辐射影响，假设发生事故时溅洒活度为单次给药的最大操作活度，溅洒溶液在手部均匀分布，沾染面积取成人平均手部表面积 280cm²，假设事故处理时间持续 10min。根据《RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK 2002》（Published by Nuclear Technology

Publishing) 查得, 不同放射性核素溅洒到手部时, 每 $1\text{kBq}\cdot\text{cm}^{-2}$ 对皮肤造成的剂量率, 据此核算事故状态下受照剂量见表 11-25。

表 11-25 放射性溶液溅洒对手部照成的剂量计算表

经计算, 单次事故状态下职业人员手部最大受照剂量为 832.5mSv , 超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中对四肢(手和足)或皮肤的年当量剂量 500mSv 的限值, 对应全身最大受照剂量为 8.3mSv , 低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 规定的职业人员 20mSv/a 的剂量限值, **不构成辐射事故。**

②发生地面撒漏或丢失情况下的影响分析

工作人员误操作、转运、火灾或因管理不善而丢失被盗, 造成放射性物质撒漏在地面, 本次以单种核素单日最大操作量, 未采取任何辐射防护措施的情景下, 受到辐射影响按 10h 进行考虑。根据式 11-2, 本次分别使用核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 在不同距离下的剂量率和保护目标最大受照剂量进行分析, 分析结果见表 11-26。

表 11-26 放射性药物丢失和泄漏时不同距离下保护目标最大受照剂量

根据表 11-26 可知, 当 ^{18}F 核素发生泄漏或丢失, 在持续 10h 内, 场所周围 2.6m 范围内的保护目标受照剂量将超过 1mSv ; 当 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素全部泄漏或丢失, 事故持续 10h 后, 周围 2.1m 半径范围内的保护目标受照剂量将超过 1mSv , 当保护目标受照剂量超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中公众 1mSv/a 剂量限值时, 构成一般辐射事故。

综上, 本项目非密封放射性物质使用过程中发生辐射事故时, 最大可能发生的辐射事故等级为一般辐射事故, 但随着事故时间的推移, 可能造成事故等级升级。

2、校准源丢失、被盗、失控

(1) 事故情景假设

根据表 11-23, V类放射源丢失、被盗、失控情况, **构成一般辐射事故。**

(二) DSA 可能发生的事

(1) 事故假设

①射线装置在运行时，辐射工作人员位于非主射方向，未采取任何防护的情况下与射线束最近距离 0.5m 进行介入手术操作，最长受照时间 18min；

②手术过程中，射线装置在运行时，公众未采取任何防护的情况下，误入射线装置机房，位于射线装置非主射方向，与射线束最近距离 1.5m，公众误入或滞留在介入手术间（DSA 手术间）内最长受照时间 18min。

(2) 剂量估算

介入手术医生在未采取任何防护的情况下位于非主射方向进行介入手术操作，公众误入机房在不同距离处受到非主射方向的剂量照射，事故后果计算结果如下表所示。

表 11-27 事故状态下非主射方向不同停留时间和距离人员受照剂量表

关注点与射线装置的距离 (m)	时间 (秒)	散射所致剂量 (mGy)	漏射所致剂量 (mGy)	总剂量 (mGy)
0.5	30	1.04E-01	3.33E-02	1.37E-01
	60	2.08E-01	6.67E-02	2.75E-01
	300	4.16E-01	1.33E-01	5.49E-01
	600	2.08E+00	6.67E-01	2.75E+00
	1080	3.74E+00	1.20E+00	4.94E+00
1	30	2.60E-02	8.33E-03	3.43E-02
	60	5.20E-02	1.67E-02	6.87E-02
	300	1.04E-01	3.33E-02	1.37E-01
	600	5.20E-01	1.67E-01	6.87E-01
	1080	9.36E-01	3.00E-01	1.24E+00
1.5	30	1.16E-02	3.70E-03	1.53E-02
	60	2.31E-02	7.41E-03	3.05E-02
	300	4.62E-02	1.48E-02	6.10E-02
	600	2.31E-01	7.41E-02	3.05E-01
	1080	4.16E-01	1.33E-01	5.49E-01
2	30	6.50E-03	2.08E-03	8.58E-03
	60	1.30E-02	4.17E-03	1.72E-02
	300	2.60E-02	8.33E-03	3.43E-02
	600	1.30E-01	4.17E-02	1.72E-01
	1080	2.34E-01	7.50E-02	3.09E-01

(3) 事故后果

根据表 11-27 可知，随着不同位置和时间的推移，介入手术医生非主射方向上最大可能受照剂量为 4.94mGy/次，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本

标准》（GB18871-2002）规定的职业人员 20mSv/a 的剂量限值，低于表 11-25 中轻度骨髓型急性放射病受照剂量参考范围。因此，手术医生位于非主射方向未穿戴防护用品的情况下实施介入手术，不会构成急性重度放射病、局部器官残疾的情况，**不构成辐射事故。**

公众人员误入介入手术间（DSA 手术间）非主射方向最大可能受照射剂量为 0.549mGy/次，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的公众 1mSv/a 的剂量限值，**不构成辐射事故，但在极端情况下，随着时间的推移，可能造成一般辐射事故。**

本项目射线装置一旦发生辐射事故，应立即切断电源，停止射线装置出束。建设单位在管理中必须认真执行安全操作规程和各项规章制度，强化安全管理，杜绝此类事故发生。

（三）III类医用射线装置的后果计算

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《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表E.4典型成年受检者X射线透视的诊断参考水平入射体表剂量率100mGy/min。人员误入受照射时间按检查1个患者的最长扫描时间（10min）计算，则机房内误入人员所受的X射线辐射剂量率最大为1.0Gy/次，急性放射病发率为20%，人员受到超年剂量照射，为一般辐射事故。

（四）事故后果总结

经上述事故情景分析得知，本项目最大可能发生的事故为一般辐射事故。

五、事故防范措施

1、核医学影像中心可能发生的事故及应对措施

本项目涉及的核医学影像中心属于乙级非密封放射性物质工作场所，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，应参照II类密封型放射源工作场所的相关要求，实施辐射安全管理。由于核素的操作量较大，一旦发生事故有可能导致环境的放射污染。核医学科诊治过程中较常见

的事故有：

①无关人员误入核医学影像中心，造成人员误照射事故；

应对措施：核医学影像中心工作场所进出门外设置工作状态指示灯和悬挂电离辐射警示标识，相关场所的出入口均设置了门禁及视频监控系统，在机房控制室设置应急停止按钮，机房防护门设置门灯门机联锁、张贴应急预案，放射防护注意事项、设备操作规程、紧急处理措施等。

②放射性药物或放射源丢失、被盗、撒漏或工作场所失火，均可能使放射性药物释放到环境中，这样就会使室内的设备、地面等受到放射性污染；

应对措施：医院应在放射源和放射性药物的签收、储存和发放等环节有详细的程序和记录，实行专人专锁专管，切实做好防火防盗，以此避免此类事故的发生；对大剂量的治疗用量必须格外小心，要严格按照操作规程进行，尽量避免污染事故的发生，操作台面应有防治污染用的塑料覆面，在操作放射性核素和药物后应进行表面污染监测；在核医学工作中，遇到放射性药品抛洒的意外情况时尽快进行处理，争取在最短的时间内将事故排除，事故处理时应穿戴防护用品，以避免不必要的污染。

③在放射性药物的给药过程中，因为多种原因导致工作人员获得高剂量照射。

应对措施：医院应制定针对放射性核素紧急情况的应急程序，放射性职业人员应进行辐射防护的培训，并且对辐射工作人员进行个人剂量的监测。

2、DSA 的事故与应对措施

DSA 属于II类射线装置，为中危险射线装置，事故时可使受照人员产生较严重的放射损伤，但由于 DSA 的特殊性，事故时使受照人员受大剂量照射甚至导致死亡的几率很小。DSA 开机曝光时，医生与病人同处一室，且距 X 射线机的管头组装体约 1m 左右，距病人很近，介入机主要事故是因曝光时间较长，防护条件欠佳对医生和病人引起的超剂量照射，其级别最高为较大辐射事故。

为了防止事故的发生，应做好以下工作：

①购置工作性能和防护条件均较好的介入诊疗设备；②实施介入诊疗的质量保证；③做好医生的个人防护；④做好病人非投照部位的防护工作；⑤按照

《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，当 DSA 导致辐射事故时，应立即上报当地生态环境主管部门。

3、III类医用射线装置事故分析与防范应对措施

本项目涉及III类医用射线装置 1 台，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，最大可能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。因此，在诊断过程中应注意对被检者的防护，合理使用 X 射线，实施医疗照射防护最优化的原则，实际操作中可采用“高电压、低电流、重过滤、小视野”的办法，使被检者所受的剂量，达到合理的尽可能的低水平。同时，按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，当导致一般辐射事故时，医院即时上报当地生态环境局。

4、事故综合防范应对措施

医院在管理中必须认真执行安全操作规程和各项规章制度，强化安全管理，避免各辐射工作场所出现人员滞留事故发生；定期检查各辐射工作场所的门机联锁等辐射安全环保设施是否有效，同时应当加强控制区和监督区的管理，避免人员误入事故的发生。

当事故发生时应当立即启动事故应急程序，对于可能发生的各种事故，医院方面除在硬件上配齐、完善各种防范措施外，在软件设施上也注意了建设、补充和完善，使之在安全工作中发挥约束和规范作用，其主要内容有：

- ①建立安全管理领导小组，组织管理医院的安全工作。
- ②加强人员的培训，考试（核）合格、持证上岗。
- ③建立岗位的安全操作规程和安全规章制度，注意检查考核，认真贯彻实施。
- ④制定医院重大事故处理预案、完善组织、落实经费、准备物资、加强演练、时刻准备应对可能发生的各种事故和突发事件。

以上各种事故的防范与对策措施，可减少或避免放射性事故的发生，从而保证项目正常运营，也保障工作人员、公众的健康与安全。

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

医院成立了放射诊疗与辐射安全管理委员会，并于 2025 年 6 月对放射诊疗与辐射安全管理委员会进行了调整（医行发[2025]94 号），委员会负责对全院的辐射安全管理工作进行管理（见附件 7），文件明确了领导小组的职责要求，领导小组文件已包含以下内容：

（1）人员组成

主任委员：伍**

副主任委员：母**

委员：张**、赵**、唐**、陈**、蒋**、白**、周**、夏**、帅**、王**

• • • • •

办公室主任：张**

办公室副主任：赵**

办公室秘书：邓**、李**、黄**、唐**、郭**

（2）辐射安全领导小组办公地点及职责

放射诊疗管理委员会下设办公室，负责处理放射诊疗与放射防护日常管理工作，办公地点设在医务科。

（3）领导小组的主要职责分工

①贯彻执行《职业病防治法》、《放射诊疗管理规定》等相关规定，指导和督导医院各涉放科室加强放射诊疗工作的管理，保证医疗质量和医疗安全。

②全面负责医院放射诊疗管理工作，定期召开委员会会议，审议工作总结并决定工作计划，解决放射防护与质量控制相关问题。

③组织会议修订放射诊疗相关职责、制度、应急预案等，完善管理制度及协调机制，提高管理效率。

④充分发挥监督管理职能，至少每季度对全院各涉放科室进行放射防护与安全检查，根据存在的问题提出整改建议，并督促整改情况，持续改进。⑤负责全院放射工作人员放射防护培训、职业健康体检工作，并依规处置结果异常及不合

格人员。

⑥负责为全体从放人员配备并定期检测个人剂量,对异常情况进行调查分析处置。

⑦负责全院放射及相关工作场所、射线装置和核医学设备、场所职业病危害放射防护评价、评审、竣工验收等工作。

⑧负责全院II类射线装置日常稳定性监测,射线装置及核医学场所年度放射诊疗设备性能及防护检测工作。

⑨负责突发放射应急事件/事故的应急处置及定期演练工作。

⑩接受国家、省、市、区卫生等相关管理部门的检查指导,并对提出的问题、建议督促整改。

二、辐射工作人员配置和能力要求

①医院为本项目拟配备辐射工作人员79人,医院后期可根据设备数量,承担诊疗、科研任务,开展的项目和工作量等实际情况适当增加人员编制;

②射线操作人员均需取得射线装置相关操作证书,熟悉专业技术;

③本项目辐射工作人员需参加生态环境部辐射培训平台中辐射安全与防护知识的学习,定期参加考核,考核通过后方能上岗;

④医院应定期委托有资质的单位对辐射工作人员个人剂量进行检测,且应建立辐射工作人员个人剂量档案管理。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定,辐射工作人员和辐射防护负责人均应通过辐射安全与防护的考核,医院应尽快其他相关人员在国家核技术利用辐射安全与防护学习平台(网址:<http://fushe.mee.gov.cn>)学习辐射安全与防护知识并通过考核;已取得辐射安全培训合格证的,合格证到期前,需进行再次考核,辐射安全与防护成绩报告单有效期为五年。

三、射线装置处理报废

医院报废的射线装置在报废前必须做去功能化处理,应采取去功能化的措施(如拆除电源或拆除高压零部件),确保装置无法再次通电使用,并上报到生态环境主管部门作备案登记。

辐射安全档案资料管理和规章管理制度

一、档案管理分类

医院应将相关资料进行分类归档并妥善保存，包括以下九大类：“制度文件”“环评资料”“许可证资料”“放射源及射线装置台账”“监测和检查记录”“个人剂量档案”“培训档案”“辐射应急资料”“废物处置记录”，存放在医院相关办公室。

二、建立主要规章制度

医院可根据《核技术利用辐射安全和防护监督检查大纲》（生态环境部（国家核安全局））《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》等要求制定一系列辐射安全规章制度，具体见表 12-1。

表 12-1 项目单位辐射安全管理制度制定要求

序号	国家生态环境部要求		省生态环境厅要求		具体要求	对照分析
	分类	制度名称	制度名称	制度名称		
1	A 综合	辐射安全与环境保护管理机构和岗位职责	辐射安全与环境保护管理机构和岗位职责	辐射安全与环境保护管理机构和岗位职责	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	已制定，需将本项目相关负责人纳入管理机构，并明确人员职责
2		辐射工作场所安全管理规定	辐射工作场所安全管理规定	辐射工作场所安全管理规定	应悬挂于辐射工作场所。内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸应不小于 400×600mm	本次新增工作场所应新增管理制度上墙
3		放疗设备的安全性能检查维护记录	辐射安全防护设施维护维修制度	辐射安全防护设施维护维修制度	应定期检查辐射安全防护设施的有效性	已制定
4		辐射安全防护设施维护维修制度				
5	B 场所	场所分区管理制度	场所分区管理制度	场所分区管理制度	按要求划分控制区和监督区，实行分区管理，应有明确的标识	即有场所已划定，需按要求划定新增场所的两区
6		设备操作规程	辐射工作设备操作规程	辐射工作设备操作规程	应悬挂于辐射工作场所。内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸应不小于 400×600mm	应在本项目相关设备、核医学工作场所进行上墙
7		核医学去污操作规程	/	/		
8	C 监测	场所及环境监测方案	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	每年委托有资质的单位进行 1 次场所年度监测；平时应定期开展自我监测，并做好记录；取得《许可	应补充本项目相关场所的监测方案，并按要求实施

				证》后 3 个月内完成验收监测	
9		监测仪表使用与校验管理制度	监测仪表使用与校验管理制度	需制定并落实监测仪表使用与校验管理制度	已制定
10		校验源管理制度	/	/	已制定并落实
11		辐射工作人员培训/再培训制度	辐射工作人员培训制度	辐射工作人员和辐射防护负责人均应登录国家核技术利用辐射安全与防护学习平台(网址: http:// fushe.mee.gov.cn)学习辐射安全与防护知识并通过考核;已取得辐射安全培训合格证满五年需再培训并考核合格	已制定并落实
12	D 人员	辐射工作人员个人剂量管理制度	辐射工作人员个人剂量管理制度	个人剂量监测周期为 1 次/季。当单个季度个人剂量超过 1.25mSv 时,建设单位要对该辐射工作人员进行干预,要进一步调查明确原因,并由当事人在情况调查报告上签字确认;当全年个人剂量超过 5mSv 时,建设单位需进行原因调查,并最终形成正式调查报告,经本人签字确认后,上报发证机关。	已制定并落实
13		工作人员岗位职责	辐射工作人员岗位职责	应悬挂于辐射工作场所。内容应体现现场操作性和实用性,字体醒目,尺寸应不小于 400×600mm	本次新增诊疗项目应补充制定工作人员岗位职责并上墙
14	E 应急	辐射事故/事件应急预案	辐射事故预防措施及应急处理预案	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。应悬挂于辐射工作场所。内容应体现现场操作性和实用性,字体醒目,尺寸应不小于 400×600mm	已制定并落实,需根据本次新增诊疗项目补充完善应急预案内容,并在新增工作场所墙上悬挂应急响应程序

15	F 三废	放射性“三废”管理规定	“三废”处理	放射性“三废”应分类收集。放射性废水应在衰变池内暂存满足要求后排放；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、防射线泄漏）措施，贮存容器应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。放射性废气应由专门的排风管道经活性炭过滤后排放。	结合本项目特点，编制具有针对性的“三废”管理制度并落实
16	G 放射源	放射源台账管理	放射性同位素和射线装置台账管理制度	放射源台账和国家辐射安全管理系统档案是否一致；放射性同位素的购买须在四川省人民政府政务服务中心环保窗口办理备案手续；台账的内容应该包括：放射性同位素名称、初始活度、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、报废时间等。	既有射线装置已建立动态管理台账，本项目新增放射性同位素和射线装置应按要求建立动态台账，做到帐物相符，并及时更新。
17		更换放射源管理制度			
18	H 其他	X 射线诊断中受检者防护规定	/	对核医学科诊断患者采取铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套等防护	本次需新增核医学影像中心患者防护设施
19		/	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须制定质量保证大纲和质量控制检测计划，利用更精确的诊疗计划减少病患受到不必要的照射	已制定，需补充新增诊疗项目的质量保证大纲和质量控制检测计划

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

医院应根据规章制度内容认真组织实施，并且应根据国家发布新的相关法规内容，结合医院实际及时对各项规章制度补充修改，使之更能符合实际需要。

辐射监测

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

1、工作场所监测

自主验收监测：医院在取得《辐射安全许可证》后三个月内，应委托有资质的单位开展 1 次辐射工作场所验收监测，编制自主验收监测（调查）报告。

年度监测：委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年；年度监测报告应作为《放射性同位素与射线装置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。

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，监测频次根据医院的实际工作量自行确定，一般 1 月/次。

2、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 1 次/季。

医院应按以下要求做好个人剂量档案的管理：

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

（2）个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度监测报告一起作为《放射性同位素与射线装置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；

（3）根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019），就本项目而言，辐射主要来自前方，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般左胸前；对于工作中穿戴铅衣的情况，通常应根据佩带在铅衣里面躯干上的剂量计估算工

作人员的实际有效剂量；

(4) 辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。医院应当将个人剂量档案终身保存。

3、医院自我监测

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

4、监测内容和要求

(1) 监测内容：X-γ辐射剂量率、β表面沾污、总β。

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

表 12-2 本项目监测布点建议一览表

场所或设备	监测内容	监测周期	监测布点位置
核医学影像中心	X-γ空气吸收剂量率	验收监测1次，委托有资质的单位监测，频率为1次/年；	储源室、分装注射室、注射区、放废暂存室、更衣室、运动负荷/抢救室、SPECT检查候诊室、SPECT检查室、SPECT检查留观室、PET-MRI候诊室（含卫生间）、控制室、患者准备间、PET-MRI检查留观室、PET/MRI检查室、去污间、病人电梯、制冷机房、急救中心抢救区（正上方）、衰变池上方等
	β表面放射性污染	自行开展辐射监测1次/月	储源室、分装注射室、注射区、放废暂存室、更衣室、运动负荷/抢救室、SPECT检查候诊室、SPECT检查室、SPECT检查留观室、PET-MRI候诊室（含卫生间）、控制室、患者准备间、PET-MRI检查留观室、PET/MRI检查室、去污间、病人电梯、医护通道、患者通道的墙壁、地面、防护门，辐射工作人员工作服、手套、工作鞋、皮肤等
	放射性废水中总β	验收监测1次	衰变池排放口
急救中心介入手术室 介入中心介入手术室1~介入手术室8 中心手术室4手术室、5手术室	X-γ空气吸收剂量率	验收监测1次，委托有资质的单位监测，频率为1次/年；自行开展辐射监测	机房四周、操作室、设备间、各防护门外、各管线穿墙位置、机房正上方和正下方等

(3) 监测范围：控制区和监督区域及周围环境

(4) 监测质量保证

①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医院监

测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核；

②采用国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法；

③制定辐射环境监测管理制度。

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

5、年度评估报告情况

医院应于每年 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》，近一年（四个季度）个人剂量检测报告和辐射工作场所年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。医院应按照《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400 号）规定的格式编写《安全和防护状况年度评估报告》。医院必须在全国核技术利用辐射安全申报系统中实施申报登记。延续、变更许可证，新增或注销射线装置以及单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。

辐射事故应急

1、事故应急预案内容

为了应对放射诊疗中的事故和突发事件，医院应制订辐射事故应急预案，应包含以下内容：

（1）应急机构和职责分工，应急和救助的装备、资金、物资准备，辐射事故应急处理程序，辐射事故分级与应急响应措施，辐射事故调查、报告和处理程序，辐射事故的调查、预案管理；

（2）应急组织体系和职责、应急处理程序、上报电话；

（3）应急人员的培训；

（4）环境风险因子、潜在危害、事故等级等内容；

（5）辐射事故调查、报告和处理程序中相关负责人员及联系电话；

（6）发生辐射事故时，应当立即启动应急预案，采取应急措施，并按规定

向所在地县级地方人民政府及其生态环境、公安、卫生等部门报告。

2、应急措施

若本项目发生了辐射事故，医院应迅速、有效采取以下应急措施：

(1) 一旦发现放射性药物、放射源被盗或者丢失，及时向公安部门、生态环境主管部门和卫生主管部门报告。

(2) 放射源工作或者贮存过程中发生火灾、爆炸等可能影响放射源的安全，在现场允许情况下，应优先对放射源进行灭火并抢离火灾现场，防止放射源屏蔽体破坏。

(3) 发现误照射事故时，工作人员应立即切断电源，将病人撤出机房，关闭机房门，同时向医院主管领导报告。

(4) 医院根据估算的超剂量值，尽快安排误照人员进行检查或在指定的医疗机构救治；对可能受放射损伤的人员，应立即采取暂时隔离和应急救援措施。

(5) 事故发生后的 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境和公安部门报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

(6) 最后查清事故原因，分清责任，消除事故隐患。

3、其他要求

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

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

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

项目名称：江东院区新增核医学影像中心及介入诊疗设备应用场所项目

建设单位：首都医科大学附属北京安贞医院南充医院（南充市中心医院）

建设性质：新建

建设地点：南充市高坪区安贞路 99 号南充市中心医院江东院区心血管疾病临床诊疗中心

本项目建设内容与规模为：医院拟在江东院区心血管疾病临床诊疗中心负一层新建核医学影像中心，在 LF 层急救中心、一层介入中心、三层中心手术室内新建介入诊疗设备应用场所。医院在核医学影像中心 PET-MRI 影像诊断拟使用放射性核素¹⁸F，SPECT-CT 影像诊断拟使用放射性核素^{99m}Tc（使用钼铯发生器淋洗制备），最大日等效操作量为 $2.68 \times 10^8 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。拟在 PET/MRI 检查室内使用 1 台 PET/MRI，使用 3 枚锞-68 放射源对 PET/MRI 进行校准，额定活度为 $9.25 \times 10^7 \text{Bq} \times 1 \text{枚} + 4.625 \times 10^8 \text{Bq} \times 2 \text{枚}$ ，均属于 V 类放射源；拟在 SPECT-CT 检查室内使用 1 台 SPECT-CT（III 类射线装置），最大管电压均为 150kV，最大管电流为 1000mA。医院拟在 LF 层急诊中心 DSA 手术室内使用 1 台 DSA（型号待定），年最大曝光时间约 65h（拍片 6.5h、透视 58.5h）；在一层介入中心 8 间介入手术室内分别使用 1 台 DSA（型号待定），年最大曝光时间约 115.5h/台（拍片 10.5h、透视 105h）；三层中心手术室 2 间复合手术室内分别使用 1 台 DSA（型号待定），年最大曝光时间约 120h/台（拍片 12h、透视 108h）。医院拟使用的 DSA 主射线束方向均由下向上，最大管电压均为 150kV，最大管电流为 1000mA，均属于 II 类射线装置，用于心脑血管疾病的介入手术。

二、本项目产业政策符合性分析

根据中华人民共和国国家发展和改革委员会修订发布《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第 7 号）的相关规定，本项目拟使用非密封放射性物质、数字减影血管造影装置（DSA）、III 类射线装置等为医院医疗基础建设内容，属该指导目录中第三十七项“卫生健康”

中第 1 款“医疗卫生服务设施建设”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

三、本项目选址合理性分析

本项目位于医院江东院区心血管疾病临床诊疗中心内，项目运营对环境基本无影响，本评价认为其选址是合理的。

四、所在地区环境质量现状

根据四川省永坤环境监测有限公司的监测报告，项目所在地的 γ 辐射空气吸收剂量率背景值属于正常天然本底辐射水平，拟建核医学影像中心工作场所周围环境 β 表面污染检测结果均低于检测限值。

五、环境影响评价分析结论

（一）施工期环境影响分析

本项目土建工程已在《南充市中心医院首都医科大学附属北京安贞医院南充医院项目环境影响报告书》中进行评价分析，医院在落实报告书提出的各项污染防治措施后，对周围环境影响较小。

（二）营运期环境影响分析

1、辐射环境影响分析

（1）核医学影像中心

本项目投入运营后，所致核医学影像中心内职业人员所受年最大有效剂量为 2.6mSv/a，周围公众年最大有效剂量为 7.1×10^{-2} mSv/a，分别低于 5.0mSv 和 0.1mSv 的剂量约束值。

（2）介入诊疗设备工作场所

在江东院区心血管疾病临床诊疗中心急诊中心、介入中心、中心手术室内介入诊疗设备工作场所相关的职业人员受年附加有效剂量最大为 4.41mSv/a，公众受年附加有效剂量最大为 4.2×10^{-3} mSv/a，分别低于本次评价确定的职业人员 5.0mSv/a，公众 0.1mSv/a 的剂量约束值。

（3）辐射环境影响综合分析

综上所述，本项目投入运营后，所致辐射工作人员年最大有效剂量为 4.41mSv/a；公众年最大有效剂量为 7.1×10^{-2} mSv/a，满足本次评价确定的职业照射个人年有效剂量 5mSv 和公众人员个人年有效剂量 0.1mSv 的剂量约束值，也

满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的职业人员 20mSv/a 和公众 1mSv/a 的剂量限值的规定。

2、大气的环境影响分析

（1）核医学影像中心对大气的影响分析

本项目核医学影像中心产生的废气主要为含放射性核素废气，医院拟在工作场所内设置专用排风管道，放射性废气经收集后通过高效过滤装置处理后，通过排风管道经风井引至裙楼楼顶排放，对周围环境影响较小；拟在 2 台手套箱顶部内侧分别设活性炭过滤装置，放射性废气经收集后通过高效过滤装置处理后，通过排风管道经风井引至楼顶排放，对周围环境影响较小。

（2）介入诊疗场所使用的 DSA 对大气的影响分析

急诊中心、介入中心、中心手术室内的 DSA 主要环境影响为 X 射线电离空气产生的臭氧。医院拟设置排风管道，DSA 曝光过程中产生的臭氧经过排风管道引出后在室外排放，对周围环境的影响较小。

3、声环境影响分析

本项目噪声源主要为风机、空调噪声，所有设备选用低噪声设备，均处于室内，通过建筑墙体隔声及距离衰减后，运行期间厂界噪声可达到《工业企业厂界噪声标准》（GB12348-2008）2 类标准要求。

4、水环境影响分析

本项目投入运营后，废水主要为放射性废水和医院工作人员、患者产生的生活污水及医疗废水。本项目产生的放射性废水通过管道排入衰变池中暂存超过 30 天后，排入医院污水处理站处理；医院工作人员、患者产生的生活污水及医疗废水经过院内的污水处理站处理后排入市政污水管网。

5、固体废物影响分析

本项目产生的医疗废物，按照危废管理相关要求，进行分类收集；核医学影像中心产生的放射性废物分类暂存于放废暂存室/放射性废物库内，暂存超过 30 天后，经过监测辐射剂量率处于环境本底水平， β 表面污染小于 0.8 Bq/cm^2 后，作为医疗废物进行处理；最终与医院其他医疗废物统一交由有资质的单位处理；本项目工作人员和患者会产生少量的办公垃圾和生活垃圾，经统一收集后交由环卫部门定期清运。

六、环保设施与保护目标

按照环评报告落实后，医院环保设施配置较全，总体效能良好，可使保护目标所受年剂量低于本次确定的剂量约束值。

七、事故风险与防范

医院制订的辐射事故应急预案和安全规章制度内容较全面、措施可行，应认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

八、辐射安全管理的综合能力

医院按照环评要求完善相关内容后，对本项目辐射设备和场所而言，其具备辐射安全管理的综合能力。

九、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，本评价认为从环境保护和辐射防护角度看，本项目在医院江东院区心血管疾病临床诊疗中心内建设是可行的。

十、项目环保竣工验收检查内容

表 13-1 项目环保竣工验收检查一览表

场所	项目	辐射安全防护设施	数量（套/个）
核医学影像中心	放射性物质使用工作场所	防护墙体	**
		铅防护门	**
		观察窗	**
		易去污的工作台面和防污染覆盖材料、铅桶、废物桶	**
		活度计	**
		给药窗口	**
		手套箱	**
		放射性废物暂存桶	**
		放射性废物衰变桶/箱	**
		铅防护屏风	**
		对讲和视频监控系統	**
		通道门禁	**
		场所门外电离辐射警示标志	**
	SPECT-CT、PET/MRI	设备机房（墙体、铅防护门、观察窗）	**
	工作状态指示灯及门灯联锁	**	

	使用场所	场所门外电离辐射警示标志	**	
		对讲装置	**	
		含中文标识紧急停机按钮	**	
		个人剂量计	**	
		病人、陪护人员防护	**	
	防护设施	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	**	
	监测设备	个人剂量计	**	
		个人剂量报警仪	**	
		表面污染监测仪	**	
		便携式X-γ辐射监测仪	**	
	放射性废物和废液	放射性废水衰变池	**	
		放射性废水排放管道	**	
		放射性表面去污用品和试剂	**	
	其他	独立通排风系统	**	
		高效过滤装置	**	
		活性炭过滤装置（手套箱内）	**	
		灭火器材	**	
		火灾报警仪	**	
	介入诊疗设备应用场所	场所设施	防护墙体	**
			防护门	**
操作位局部屏蔽防护设施			**	
观察窗			**	
含中文标识紧急停机按钮			**	
门灯联锁装置			**	
对讲装置			**	
警示装置		入口处电离辐射警告标志	**	
		入口处机器工作状态显示	**	
		操作警示装置	**	
监测设备		便携式辐射监测仪	**	
		个人剂量计	**	
		个人剂量报警仪	**	
防护设施	医护人员个人防护	**		
	患者防护	**		
其他	通风系统	**		
	灭火器材	**		
	火灾报警仪	**		

建议和要求

- 1、建设单位应加强与周边公众的沟通，做好解释协调工作。
- 2、落实本报告中的各项辐射防护措施和安全管理制度的。
- 3、定期组织辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的学习与考核，成绩合格单到期，应再次考核。
- 4、每年要对射线装置使用情况进行年度评估，年度评估报告要按照《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》固定的格式进行编制；年度评估报告应签章后上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。
- 5、定期检查辐射工作场所的电离辐射标志和电离辐射警告标志，工作状态指示灯，若出现松动、脱落或损坏，应及时修复或更换。
- 6、医院须重视控制区和监督区的管理。
- 7、射线装置在报废处置时，应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化。
- 8、医院在更换辐射安全许可证之前，需登录全国核技术利用辐射安全申报系统，对相关信息进行修改。
- 9、若日后核医学影像中心不再使用，医院须办理相关退役手续后，方可另行他用。
- 10、根据原环保部《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）规定：
 - （1）建设单位可登陆生态环境部网站查询建设项目竣工环境保护验收相关技术规范（<http://www.mee.gov.cn>）。
 - （2）项目竣工后，建设单位应当如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收（调查）报告。
 - （3）本项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，方可投入使用，未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。
 - （4）除按照国家需要保密的情形外，建设单位应当通过其网站或其他便于公众知晓的方式，向社会公开下列信息：
 - ①本项目配套建设的环境保护设施竣工后，公开竣工日期；

②对项目配套建设的环境保护设施进行调试前，公开调试的起止日期；

③验收报告编制完成后 5 个工作日内，公开验收报告，公示的期限不得少于 20 个工作日。

建设单位公开上述信息的同时，应当在建设项目环境影响评价信息平台（<https://cepc.lem.org.cn/#/login>）中备案，且向项目所在地生态环境主管部门报送相关信息，并接受监督检查。