

RDSH202507

核技术利用建设项目
四川省肿瘤医院
新增钷-90 微球介入治疗项目
环境影响报告表
(公示本)

四川省肿瘤医院

2025年5月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

四川省肿瘤医院

新增钷-90 微球介入治疗项目

环境影响报告表



建设单位名称：四川省肿瘤医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：四川省成都市人民南路四段 55 号

邮政编码：

联系人：

电子邮箱：

联系电话：

打印编号：1747278919000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	t441m8		
建设项目名称	四川省肿瘤医院新增钇-90微球介入治疗项目		
建设项目类别	55--172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	四川省肿瘤医院		
统一社会信用代码	12510000450723900G		
法定代表人（签章）			
主要负责人（签字）			
直接负责的主管人员（签字）			
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	四川瑞迪森检测技术有限公司		
统一社会信用代码	91510107MA61RNG437		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
	20220503551000000020	BH025547	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
	表9~表13	BH025547	
	表1~表8	BH060449	

目 录

表 1 项目基本情况	- 1 -
表 2 放射源	- 17 -
表 3 非密封放射性物质	- 17 -
表 4 射线装置	- 18 -
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	- 19 -
表 6 评价依据	- 20 -
表 7 保护目标与评价标准	- 23 -
表 8 环境质量和辐射现状	- 29 -
表 9 项目工程分析与源项	- 37 -
表 10 辐射安全与防护	- 51 -
表 11 环境影响分析	- 65 -
表 12 辐射安全管理	- 97 -
表 13 结论与建议	- 104 -

表 1 项目基本情况

建设项目名称		四川省肿瘤医院新增钇-90 微球介入治疗项目			
建设单位		四川省肿瘤医院			
法人代表		联系人		联系电话	
注册地址		四川省成都市人民南路四段 55 号			
项目建设地点		四川省成都市人民南路四段 55 号武侯院区			
立项审批部门		/	批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)		项目环保总投资 (万元)		投资比例 (环保投资/总投资)	
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积 (m ²)	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类		
	其他	/			
	<p>项目概述</p> <p>一、建设单位简介</p> <p>四川省肿瘤医院 (研究所) · 四川省癌症防治中心 · 电子科技大学医学院附属肿瘤医院 (统一社会信用代码: 12510000450723900G, 以下简称“四川省肿瘤医院”或“医院”) 始建于 1979 年, 是三级甲等肿瘤专科医院和科学研究所。</p> <p>四川省肿瘤医院现设立 2 个院区, 分别为“武侯院区”和“天府院区 (四川省肿瘤医院肿瘤诊疗中心)”, 四川省肿瘤医院武侯院区位于成都市人民南路四段 55 号, 武侯院区占地 114 亩, 编制床位 1500 张, 设有外科、放疗科、肿瘤内科等 40 个临床科室 (病区)、9 个医技科室、2 个肿瘤研究部。</p> <p>四川省肿瘤医院肿瘤诊疗中心 (即“四川省肿瘤医院天府院区”) 选址于四川省</p>				

成成都市天府新区万安街道茂业路 666 号，天府院区占地 135 亩，规划床位 1300 张，于 2023 年 12 月 21 日正式开诊运行，门诊全部开放，中西医结合科、普通内科、胸部肿瘤内科、放疗科入驻收治住院病人，超声、CT、MRI、检验、直线加速器等检查治疗设备投入使用。

二、项目由来

为更好地满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求，四川省肿瘤医院拟在武侯院区内第一住院楼 1 层 DSA 室内开展 ^{90}Y 微球介入治疗项目，借助 DSA 的血管造影技术将 ^{90}Y 微球注射液（抗癌药）通过肝动脉插管直接输注至肿瘤病灶，达到治疗肝癌的目的。

^{90}Y 微球介入治疗项目分为 2 个阶段，第一阶段需使用钨标记聚合白蛋白（ $^{99\text{m}}\text{TcMAA}$ ）注入肝动脉，以评估患者是否适合此项治疗，该阶段需依托医院武侯院区现有第一住院楼内 DSA 室开展介入输注，同时需依托武侯院区核医学科 B 区现有 SPECT/CT 扫描间进行显像扫描；项目使用的钨标记聚合白蛋白（ $^{99\text{m}}\text{TcMAA}$ ）及 ^{90}Y 微球注射液的贮存与分装拟于核医学科 B 区高活性室内已有手套箱内进行，分装后的药物由辐射工作人员转运至第一住院楼 1 层 DSA 室内开展介入输注。

本项目拟开展的钇-90 微球介入治疗项目的工作场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。

三、编制目的

为加强核技术应用项目的辐射环境管理，防止辐射污染和意外事故的发生，确保其使用过程不对周围环境和工作人员及公众产生不良影响，根据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关法律法规要求，建设方四川省肿瘤医院需对该项目进行环境影响评价。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》（生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行）的规定，本项目属于“第 172 条 核技术利用建设项目”中“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。

为此，四川省肿瘤医院委托四川瑞迪森检测技术有限公司对该项目开展环境影响评价工作（委托书见附件 1）。四川瑞迪森检测技术有限公司接受委托后，通过现场

勘察、收集资料并结合现场监测等工作的基础上，结合本项目的特点，按照国家有关技术规范要求，编制了该项目环境影响报告表。

为进一步保障公众对环境保护的参与权、知情权和监督权，加强环境影响评价工作的公开、透明，建设单位已在向生态环境主管部门提交建设项目环境影响报告表前，依法主动公开建设项目环境影响报告表全本信息（详见附件 13）。

四、项目概况

项目名称：四川省肿瘤医院新增钇-90 微球介入治疗项目

项目性质：扩建

建设单位：四川省肿瘤医院

建设地点：四川省成都市成都市人民南路四段 55 号

（一）建设内容与规模：

四川省肿瘤医院拟于武侯院区第一住院楼 1 层内 DSA 室内开展 ^{90}Y 微球介入治疗项目，该项目依托 DSA 室开展 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 术前评估阶段及 ^{90}Y 肝癌治疗阶段的介入输注，介入输注后的显像扫描均依托医院核医学科 B 区已有 SPECT/CT 扫描间进行， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装和 ^{90}Y 微球注射液贮存分装均依托核医学科 B 区高活性室已有手套箱进行。

1、第一住院楼内 DSA 室

（1）工作场所

本项目 DSA 室室内有效使用面积为 65m^2 ，机房净空尺寸为长 8.7m ×宽 7.5m ×高 4.0m ，机房四周墙体为 240mm 实心砖，屋顶为 180mm 厚混凝土，观察窗为 3mm 铅当量厚的铅玻璃，防护门均为 3mm 厚铅当量。操作间位于机房西侧，面积约 22.2m^2 ，拟新增设置放射性废物暂存铅桶用于项目产生的放射性废物暂存，手术后转移至东侧放射性废物暂存间内。

（2）放射性核素使用

本项目拟使用放射性核素 ^{90}Y 开展介入微球治疗，年接诊约 50 人次（每日最大接诊 1 人次），第一阶段放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 单人次使用量最大约为 $1.50\times 10^8\text{Bq}$ ，医院购买的 ^{90}Y 微球每瓶活度为 $3.00\times 10^9\text{Bq}$ ，平均每位患者仅需注射 $1.5\sim 2.5\text{GBq}$ 的 ^{90}Y 微球即可满足治疗需求，本项目保守取单瓶最大活度进行核算。

本项目第一住院楼内 DSA 室内拟使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用于术前评估介入输注，日最大操作量 $1.50\times 10^8\text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $1.50\times 10^6\text{Bq}$ ，年最大使用量 $7.50\times 10^9\text{Bq}$ ；拟使用 ^{90}Y

微球用于肝癌治疗介入输注， ^{90}Y 日最大操作量 $2.50\times 10^9\text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $2.50\times 10^8\text{Bq}$ ，年最大使用量 $1.25\times 10^{11}\text{Bq}$ ；放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{90}Y 不会在同一天使用，故核算 DSA 室工作场所等级时仅考虑单个核素最大用量情况。

综上所述，本项目第一住院楼内 DSA 室工作场所总日等效最大操作量为 $2.50\times 10^8\text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

(3) 射线装置

本项目 DSA 室内现有 1 台 DSA，该设备型号为 Artis Qceiling，其额定管电压为 125kV，额定管电流为 1000mA，属 II 类射线装置，主束方向朝上。

2、核医学科 B 区

(1) 工作场所

核医学科 B 区现有的辐射工作场所包括：放射性储物间、高活性室、注射室、注射后等待区、卫生间、肾图测试室、医生准备室和放射性废物暂存间（四周墙体为（240mm~370mm）实心砖、楼板为（100mm~180mm）混凝土、屏蔽门为（3mm~4mm）铅当量防护门）及 SPECT/CT 扫描间和预留机房（四周墙体为 370mm 厚实心砖+20mm 硫酸钡水泥（3mmPb）、楼板和地板为 100mm 厚混凝土+2mmPb 铅板（3mmPb）、观察窗为 3mm 铅当量铅玻璃、屏蔽门为 3mm 铅当量铅钢防护门）。

(2) 放射性核素使用

本项目第一阶段放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 单人次使用量最大约为 $1.50\times 10^8\text{Bq}$ ，年最大用量为 $7.50\times 10^9\text{Bq}$ ，其使用量远小于核素显像诊断患者，医院现有核医学科 B 区 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核显像诊断患者每天约 25~35 人，单人最大用量为 $1.11\times 10^9\text{Bq}$ （30mCi），单日最大操作量为 $3.89\times 10^{10}\text{Bq}$ ，本项目投入运行后，该核医学科 B 区 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素日最大操作量为 $3.90\times 10^{10}\text{Bq}$ ，仍低于该场所已许可的日最大操作量 $5.55\times 10^{10}\text{Bq}$ 。综上所述，医院现有核医学科 B 区已许可 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性核素能够满足本项目第一阶段的核素用量需求，无需额外增加核素操作量。

根据医院提供资料，医院购买的 ^{90}Y 微球每瓶活度为 $3.00\times 10^9\text{Bq}$ ，故本项目放射性核素 ^{90}Y 日最大操作量为 $3.00\times 10^9\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $3.00\times 10^8\text{Bq}$ ，年最大使用量为 $1.50\times 10^{11}\text{Bq}$ 。

综上所述，核医学科 B 区已许可的乙级非密封放射性物质工作场所总日等效最大操作量为 $9.25\times 10^8\text{Bq}$ ，本次新增使用放射性核素 ^{90}Y 后，核医学科 B 区工作场所总日

等效最大操作量为 $1.23 \times 10^9 \text{Bq}$ ，仍属于乙级非密封放射性物质工作场所。

(3) 射线装置

本项目拟使用核医学科 B 区 SPECT/CT 扫描间内现有 1 台 SPECT/CT 开展 ^{90}Y 微球介入治疗项目的显像扫描检查，该设备型号为 Symbia intevo16，其额定管电压为 130kV，额定管电流为 345mA，属 III 类射线装置。

本次拟申请新增辐射项目内容见表 1-1 及表 1-2。

表 1-1 四川省肿瘤医院扩建项目情况一览表

非密封放射性物质							
序号	工作场所名称	核素	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)		场所等级	备注
				核素	合计		
1	DSA 室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1.50×10^8	1.50×10^6	2.50×10^8	乙级	本次新增
		^{90}Y 微球注射液 (抗癌药)	2.50×10^9	2.50×10^8			
2	核医学科 B 区高活性室	^{90}Y 微球注射液 (抗癌药)	3.00×10^9	3.00×10^8	1.23×10^9 ^①	乙级	本次新增
		原已许可		9.25×10^8			已许可

注：①现有核医学科 B 区高活性室已许可 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素用量能够满足第一阶段需求，本次不新增该场所内 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素用量。

表 1-2 四川省肿瘤医院扩建项目情况一览表

射线装置									
序号	射线装置名称	装置型号	数量	最大管电压	最大管电流	类别	活动种类	使用场所	备注
1	DSA	Artis Qceiling	1	125kV	1000mA	II	使用	DSA 室	已许可
2	SPECT/CT	Symbia intevo 16	1	130kV	345mA	III	使用	核医学科 B 区	

(二) 项目组成内容及环境问题

本项目主要组成内容及可能产生的环境问题见表 1-3。

表 1-3 项目组成内容及主要环境问题

名称	建设内容及规模		可能产生的环境问题			
			施工期	运营期		
主体工程	DSA室	核素	本项目拟于 DSA 室内新增使用放射性核素 ^{99m}Tc (日最大操作量 $1.50 \times 10^8 \text{Bq}$, 日等效最大操作量 $1.50 \times 10^6 \text{Bq}$, 年最大使用量 $7.50 \times 10^9 \text{Bq}$) 及 ^{90}Y (日最大操作量 $2.50 \times 10^9 \text{Bq}$, 日等效最大操作量 $2.50 \times 10^8 \text{Bq}$, 年最大使用量 $1.25 \times 10^{11} \text{Bq}$) 开展介入微球治疗, 故该场所日等效最大操作量为 $2.50 \times 10^8 \text{Bq}$, 属于乙级非密封放射性物质工作场所。	/	X 射线、表面污染、 γ 射线、韧致辐射、噪声、臭氧、少量氮氧化物、医疗废物、生活污水、生活垃圾等	
		射线装置	本项目 DSA 室内现有 1 台 DSA, 该设备型号为 Artis Qceiling, 其额定管电压为 125kV, 额定管电流为 1000mA, 属 II 类射线装置, 常用主束方向朝上, ^{90}Y 介入微球治疗病人约 50 例/年, 设备用于 ^{90}Y 介入微球治疗年工作负荷约 35h (其中透视约 33.33h, 摄影约 1.67h)。			
		场所	本项目 DSA 室室内有效使用面积为 65m^2 , 机房净空尺寸为长 $8.7\text{m} \times$ 宽 $7.5\text{m} \times$ 高 4.0m , 机房四周墙体为 240mm 实心砖, 屋顶为 180mm 厚混凝土, 观察窗为 3mm 铅当量厚的铅玻璃, 防护门均为 3mm 厚铅当量。操作间位于机房西侧, 面积约 22.2m^2 , 拟新增设置放射性废物暂存铅桶用于项目产生的放射性废物暂存, 手术后转移至东侧放射性废物暂存间内。			
	核医学科	核素	原已许可工作场所总日等效最大操作量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$, 属于乙级非密封放射性物质工作场所, 本次拟新增使用放射性核素 ^{90}Y 日最大操作量 $3.00 \times 10^9 \text{Bq}$, 日等效最大操作量 $3.00 \times 10^8 \text{Bq}$, 年最大使用量 $1.50 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。本项目新增使用放射性核素后, 工作场所总日等效最大操作量为 $1.23 \times 10^9 \text{Bq}$, 仍属于乙级非密封放射性物质工作场所。			
		射线装置	1 台 SPECT/CT 开展 ^{90}Y 微球介入治疗的评估检查, 该设备型号为 Symbia intevo16, 其额定管电压为 130kV, 额定管电流为 345mA, 属 III 类射线装置。			
		场所	核医学科 B 区包含放射性储物间、高活性室、注射室、注射后等待区、卫生间、肾图测试室、医生准备室、SPECT/CT 扫描间及其控制室、预留机房、放射性废物暂存间及患者通道等			
	环保工程	依托已有工作场所及其环保设施, DSA 室新增放射性废物暂存间				
	公用工程	依托医院已有给水、供电、通风等配套设施。				
	办公生活设施	已有护士站及医生办公室等。				生活垃圾及生活污水

（三）项目依托设施

①依托办公设施：医生办公室依托已有的医生办公室。

②依托环保设施：本项目产生的生活污水、医疗废水和生活垃圾依托已有的污水处理设施和生活垃圾收集设施处理。本项目产生的医疗废物，医院拟委托有资质单位进行统一收集、清运和处置。

武侯院区已有污水处理站一座，该采用污水处理站一级强化处理+消毒处理工艺，医院废水经污水处理站处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）中的表 2 预处理标准后排入市政污水管网，最终进入城市污水处理厂处理。

院区内均已有设生活垃圾暂存间，产生的生活垃圾集中暂存，由环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。医院设有医疗废物暂存间，产生的医疗废物在此集中暂存，医院委托有资质单位进行统一收集、清运和处置。

本项目 DSA 室工作场所已于 2009 年 1 月进行环境影响评价（四川省肿瘤医院新建核技术应用场所建设项目），同年 2 月 27 日取得四川省生态环境厅批复（川环审批〔2009〕97 号，详见附件 2），并于 2009 年完成相应的竣工环境保护验收（详见附件 2）。本项目产生的放射性废物暂存至铅废物桶内，待手术结束后统一转运至 DSA 室东侧的放射性废物暂存间内暂存，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，按照医疗废物处理，交由有资质单位进行统一收集、清运和处理。

核医学科 B 区已于 2019 年 1 月对其进行环境影响评价（四川省肿瘤医院新增核医学科辐射工作场所项目），同年 2 月 28 日取得四川省生态环境厅批复（川环审批〔2019〕30 号，详见附件 3），并于 2021 年完成相应的竣工环境保护验收（详见附件 3）。本项目产生的放射性废物依托原有环保处理措施进行处理。本项目产生放射性废水依托原有衰变池暂存，监测合格后排放至医院污水处理站处理。

（四）主要原辅材料及能耗

本项目主要原辅材料及能耗情况见表 1-4。

表 1-4 主要能耗情况表

类别	名称	年最大消耗量（Bq）	来源	用途
主要原辅材料	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	7.50×10^9 （依托原已许可用量）	有资质单位供货	核素诊断（介入微球治疗第一阶段术前评估）
	^{90}Y	1.50×10^{11}	有资质单位供货	核素治疗（介入微球治疗第二阶段）

能源	电	/	城市电网	/
水	生活用水	/	市政管网	/

(五) 人员配置及工作负荷

(1) 人员配置

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

人员配置：本项目拟配置辐射工作人员 17 人，均为医院原有辐射工作人员，配置至本项目后，仍从事原有辐射工作。

表 1-5 本项目人员配置情况

项目类型	岗位及数量	工作人员数量总计
核医学科	分装、注射工作人员 2 名	9 名
	技师 4 名	
	药物转运人员 1 名	
	患者转运人员 2 名	
DSA 室	医生 4 名，护士 2 名	8 名
	技师 2 名	

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

(2) 工作负荷

本项目 DSA 设备现已投入运行，根据医院提供资料可知，该设备用于常规介入手术工作负荷约 390h（其中透视约 360h，摄影约 30h）。

根据医院规划，⁹⁰Y 介入微球治疗项目约 50 例/年，^{99m}Tc 及 ⁹⁰Y 核素药物输注均需依托 DSA 进行，则共计开展介入输注 100 台，平均每台介入手术透视模式运行时间约 5min~20min/台，平均摄影模式（即拍片模式）运行时间均不超过 1min，故本项目保守考虑单台介入手术平均透视模式运行 20min，摄影模式运行 1min。

本项目 DSA 设备年工作负荷见表 1-6。

表 1-6 DSA 工作负荷

工作场所	手术类型	工作模式	单台出束时间 (min/台)	年开展工作量 (台)	年累计出束时间 (h/a)	
DSA 室	⁹⁰ Y 介入微球治疗项目	透视	20	50+50	33.33	425
		摄影	1		1.67	
	常规介入	透视	13	/	390	
		摄影				

注：常规介入手术的年出束时间来自医院提供资料，详见附件 12。

本项目 DSA 室拟配置 8 名辐射工作人员开展 ⁹⁰Y 介入微球治疗项目，其中医生 4

名，护士及技师各 2 名，配备置本项目后仍从事原有辐射工作。DSA 每台手术最少由 2 名医生和 1 名护士配合，手术医生及护士透视模式运行时位于 DSA 室内，摄影模式运行时位于控制室内，技师位于控制室内进行隔室操作。

五、项目周边保护目标以及场址选址情况

1、医院外环境关系

四川省肿瘤医院武侯院区位于四川省成都市人民南路四段 55 号（项目地理位置见附图 1），从周边外环境关系可知，医院周边规划为居民区和市政道路，本项目均依托已许可的辐射工作场所进行，不新增用地，无其他环境敏感点，周边无自然保护区等生态环境保护目标，无大的环境制约因素。

2、辐射工作场所外环境关系

第一住院楼 1 层共有 2 座 DSA 机房（详见附图 3），2 座机房呈南北分布，DSA 室（本项目依托）和 DSA 室（2）。根据 ^{90}Y 微球介入治疗特性，DSA 设备须具有 CBCT 三维成像及灌注容积计算功能，DSA 室内设备具备上述功能，故本项目选取 DSA 室开展 ^{90}Y 微球介入治疗项目。

本项目核医学科 B 区及 DSA 室为已纳入辐射安全许可的场所，场所选址合理性已在相关评价报告内进行评价，本项目仅依托其已有工作场所开展 ^{90}Y 微球介入治疗项目，不涉及原场所的屏蔽体及平面布局变动。

综上所述，本项目依托已许可工作场所进行，辐射工作场所具有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射通过采取相应的治理措施后对周围环境影响较小，从辐射安全防护的角度分析，本项目选址是合理的。

六、项目产业政策符合性

本项目系核技术应用项目在医学领域内的运用。根据国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，属于鼓励类中第三十七项“卫生健康”的第 1 条“医疗服务设施建设：预防保健、卫生应急、卫生监督服务设施建设，医疗卫生服务设施建设，传染病、儿童、精神卫生专科医院和康复医院（中心）、护理院（中心）、安宁疗护中心、全科医疗设施与服务，医养结合设施与服务”，是目前国家鼓励发展的项目。本项目的运营可为成都市及周边病人提供诊疗服务，是提高人民群众生活质量，提高全区医疗卫生水平和建设小康社会的重要内容，本项目具有放射实践的正当性，符合现行的国家产业政策。

七、实践正当性

本项目的建设和运行，可满足医院对病人进行医学诊断和核素放射治疗，提升医院医疗水平。经辐射防护屏蔽和放射性三废处理、辐射安全管理后，对辐射工作人员和公众的影响在剂量约束值和剂量限值范围内，其建设和运行对受照患者和社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)“实践正当性”的原则。

八、项目单位核技术应用现状

(一) 辐射安全许可证的许可种类和范围

四川省肿瘤医院现持有生态环境部颁发的《辐射安全许可证》(证书编号国环辐证(00558)，有效期至2030年2月14日，许可种类和范围为：使用I类、II类、III类、V类放射源；使用I类、II类、III类射线装置；生产、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，其许可情况见表1-7，辐射安全许可证正副本详见附件4。

表 1-7 四川省肿瘤医院现有核技术利用情况一览表

放射源						
序号	核素	类别	总活度(贝克)/活度(贝克)× 枚数	活动 种类	地点	许可情况/环 保验收情况
1	⁶⁰ Co	I		使用	武侯院区 ⁶⁰ Co 机治疗室	已许可，已验 收
2	⁶⁰ Co	I		使用	武侯院区头部 γ刀治疗室	
3	⁶⁰ Co	II		使用		
4	⁶⁰ Co	II		使用		
5	⁶⁰ Co	II		使用		
6	⁶⁰ Co	II		使用		
7	⁶⁰ Co	II		使用		
8	⁶⁰ Co	II		使用		
9	⁶⁰ Co	II		使用		
10	⁶⁰ Co	II		使用		
11	⁶⁰ Co	II		使用		
12	⁶⁰ Co	II		使用		
13	⁶⁰ Co	II		使用		
14	⁶⁰ Co	II		使用		
15	⁶⁰ Co	II		使用		
16	⁶⁰ Co	II		使用		
17	⁶⁰ Co	II		使用		

18	^{60}Co	II		使用						
19	^{60}Co	II		使用						
20	^{60}Co	II		使用						
21	^{60}Co	II		使用						
22	^{60}Co	II		使用						
23	^{60}Co	II		使用						
24	^{60}Co	II		使用						
25	^{60}Co	II		使用	武侯院区头部 γ 刀治疗室	已许可, 已验收				
26	^{60}Co	II		使用						
27	^{60}Co	II		使用						
28	^{60}Co	II		使用						
29	^{60}Co	II		使用						
30	^{60}Co	II		使用						
31	^{60}Co	II		使用						
32	^{60}Co	II		使用						
33	^{60}Co	III		使用				武侯院区2号 后装治疗室		
34	^{60}Co	III		使用						
35	^{60}Co	III		使用						
36	^{192}Ir	III		使用	武侯院区1号 后装治疗室					
37	^{192}Ir	III		使用	武侯院区3号 后装治疗室					
38	^{90}Sr	V		使用	武侯院区 精密仪器室	已许可, 已检测				
39	^{68}Ge	V		使用	武侯院区 PET/CT 检查室					
40	^{68}Ge	V		使用						
41	^{68}Ge	V		使用						
42	^{68}Ge	V		使用	武侯院区 PET-MR 检查 室					
43	^{57}Co	V		使用	武侯院区 SPECT 检查室					
44	^{57}Co	V		使用						
45	^{153}Gd	V		使用						
非密封放射性物质										
序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	活动种类	环保验收情况			
1	放射源储存室	乙				使用	已许可, 已验收			
2	武侯院区高活性室	乙				使用				
3						使用				
4						使用				
5						使用				

6						使用	
7	武侯院区					使用	
8	核医学 PET 检查中心					使用	
9						使用	
10	武侯院区	乙				使用	
11	核医学病房*					使用	
12						使用	
13						使用	
14						使用	
15						使用	
16	武侯院区核医学科 B 区	乙				使用	
17	高活性室					使用	
18						使用	
19						使用	
20						使用	
21	武侯院区核医学科 B 区	丙				使用	
22	放免测定室					使用	
23	武侯院区	丙				使用	已许可， 已验收
24	2 号模拟定位室					使用	
25	武侯院区 3 住院部 6、	丙				使用	
26	8、9、10、11、12 层					使用	
27	武侯院区插植操作室	丙				使用	
28						使用	
29	武侯院区核医学科 B 区	丙				使用	
30	放射性储物间					使用	
31	武侯院区核医学科 B 区	丙				使用	
32	粒籽源分装室					使用	
33	武侯院区核医学科 B 区	丙				使用	
33	肾图室					使用	
射线装置							
序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	备注	
1	移动电子束术中放疗系统		II	治疗	武侯院区 4 号手术室	已许可， 已验收	
2	医用直线电子加速器		II	治疗	武侯院区 1 号加速器治疗室		
3	医用直线电子加速器		II	治疗	武侯院区 2 号加速器治疗室		
4	医用直线电子加速器		II	治疗	武侯院区 3 号加速器治疗室		
5	磁共振直线加速器		II	治疗	武侯院区		

					4号加速器治疗室	
6	医用直线电子加速器		II	治疗	武侯院区 5号加速器治疗室	
7	射波刀		II	治疗	武侯院区 6号加速器治疗室	
8	医用直线电子加速器		II	治疗	武侯院区 7号加速器治疗室	
9	医用直线电子加速器		II	治疗	武侯院区 8号加速器治疗室	
10	医用直线电子加速器		II	治疗	武侯院区 9号加速器治疗室	
11	数字减影血管造影仪		II	诊断	武侯院区 DSA室	
12	血管造影用X线装置		II	诊断	武侯院区 DSA室(2)	
13	血管造影用X线装置		II	诊断	武侯院区 数字胃肠检查室	
14	血管造影用X线装置		II	诊断	武侯院区 1号手术间	
15	生物学X射线辐照仪		II	诊断	武侯院区 实验动物辐照室	
16	回旋加速器系统		II	制备 药物	武侯院区 加速器室	
17	医用直线电子加速器		II	治疗	天府院区 15号医用电子直线 加速器治疗室	
18	质子治疗系统		I	治疗	天府院区 质子治疗中心	已许 可， 未验 收
19	医用诊断X射线装置		III	诊断	1号固定束治疗室	已许 可
20	医用诊断X射线装置		III	诊断		
21	医用诊断X射线装置		III	诊断		
22	医用诊断X射线装置		III	诊断	2号旋转束治疗室	
23	医用诊断X射线装置		III	诊断		
24	医用诊断X射线装置		III	诊断	3号旋转束治疗室	
25	医用诊断X射线装置		III	诊断		
26	医用诊断X射线装置		III	诊断		
27	医用诊断X射线装置		III	诊断	4号旋转束治疗室	
28	车载移动CT		III	诊断	车载移动CT	已许 可
29	X射线计算机体层摄影机		III	诊断	天府院区1号模拟 定位室	

30	X 射线计算机体层摄影机		III	诊断	天府院区 CT 室
31	数字化摄影 X 射线机		III	诊断	天府院区 DR 室
32	数字化医用 X 射线机		III	诊断	天府院区数字 胃肠机房
33	移动式数字化医用 X 射线摄影系统		III	诊断	天府院区移动 DR
34	CT 模拟定位机		III	诊断	武侯院区 1 号模拟定位室
35	CT 模拟定位机		III	诊断	武侯院区 2 号模拟定位室
36	CT 模拟定位机		III	诊断	武侯院区 3 号模拟定位室
37	X 射线计算机体层摄影机		III	诊断	武侯院区 CT6 室
38	64 排螺旋 CT		III	诊断	武侯院区 CT 室 (1)
39	计算机断层扫描系统		III	诊断	武侯院区 CT 室 (3)
40	CT		III	诊断	武侯院区健康体检 中心 CT5
41	SPECT/CT		III	诊断	武侯院区核医学 SPECT/CT 扫描间
42	DR		III	诊断	武侯院区体检中心 DR 检查室
43	口腔 X 射线数字化体层摄影设备		III	诊断	武侯院区口腔 CBCT 室
44	数字 X 线机		III	诊断	武侯院区 DR 1
45	医用 X 线摄影系统		III	诊断	武侯院区 DR 照片室(2)
46	牙科 X 射线机		III	诊断	武侯院区牙片室
47	数字乳腺 X 射线摄影机		III	诊断	武侯院区体检中心 乳腺钼靶检查室
48	数字乳腺 X 射线摄影机		III	诊断	武侯院区乳腺 X 线摄影室
49	移动式 X 射线机		III	诊断	武侯院区 X 光机
50	正电子发射及 X 射线计算机断层成像系统		III	诊断	武侯院区核医学 PET 检查中心
51	双能 X 射线骨密度仪		III	诊断	武侯院区骨密度室

(二) 关于辐射安全与环境保护管理

医院开展核技术利用项目以来，严格遵守《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关法规的要求，积极配合各级生态环境部门的监督和指导，各项辐射防护

设施运行、维护良好，辐射安全与防护相关管理制度健全，并有效落实。

1、医院院级管理常设办公室在医务处(院感办)，统一管理资质、防护、监督和培训等方面工作。院科两级均有专人负责辐射安全工作，科级管理成员由相关科室负责人、技术骨干组成，协助管委会主任及副主任做好日常工作。管理委员会定期召开会议，对工作中发现的不足及时改正；

2、医院现有辐射工作人员 407 人，其中Ⅱ类辐射工作人员通过了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，持证上岗，其余Ⅲ类辐射工作人员均为院内自主培训；

3、建设单位开展核技术利用项目以来，严格落实辐射监测方案内容，定期委托有资质的单位进行工作场所防护监测（1 次/年）和个人剂量监测（4 次/年），并建立个人剂量档案，确保了运行期辐射监测工作的要求。建设单位射线装置及放射性核素工作场所屏蔽防护措施满足要求，并委托第三方检测机构对已有辐射工作场所进行年度检测，检测结果表明医院已有辐射工作场所中射线装置正常运行时的辐射剂量率在（0.10~2.05） $\mu\text{Sv/h}$ ，放疗设备工作场所正常运行时的辐射剂量率不大于 0.36 $\mu\text{Sv/h}$ ，非密封放射性物质工作场所正常运行时的辐射剂量率在（0.12~1.52） $\mu\text{Sv/h}$ ，均满足现行相关标准要求；

建设单位为每位辐射工作人员配备了个人剂量计，辐射工作期间，辐射工作人员均佩戴了个人剂量计，每季度送检一次，建立了完善的职业健康档案。建设单位委托有资质单位开展辐射工作人员个人剂量检测工作。根据建设单位提供的本项目辐射工作人员的最新连续 4 个季度的个人剂量监测结果可知，医院现有辐射工作人员年有效剂量最大值为 3.68mSv，本项目辐射工作人员的个人剂量均未出现异常，年有效剂量均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）对工作人员要求的剂量限值 20mSv 和剂量约束值 5mSv 的要求；

4、医院定期向相关生态环境部门提交辐射安全与防护状况年度评估报告，环保手续履行良好，辐射安全管理制度相对较完善。经建设单位证实，自开展核技术利用项目以来未发生过辐射事故；

5、医院配备了与辐射类型相适应的便携式 X/ γ 辐射监测仪和个人剂量报警仪等，确保了辐射工作人员及区域环境安全；

6、医院 2024 年度针对辐射管理开展了放射事故应急演练，并总结了演练中的经

验。总结经验教训，加强安全日常管理，并做好设备定期及日常保养工作，维护正常和谐的放射诊疗秩序，杜绝类似事故发生。

7、本年度医院均按要求办理放射性同位素转让审批、进出口备案等手续，并及时更新了台账。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	活度种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	⁹⁰ Y 微球注射液 (抗癌药)	液态/低毒 T _{1/2} =2.67d	使用	3.00×10 ⁹	3.00×10 ⁸	1.25×10 ¹¹	⁹⁰ Y 微球药物	简单操作	核医学科 B 区高活性室	暂存在核医学科 B 区高活性室
2	^{99m} Tc	液态/低毒 T _{1/2} =6.01h	使用	1.50×10 ⁸	1.50×10 ⁶	7.50×10 ⁹	核素诊断 (⁹⁰ Y 微球介入治疗术前评估)	简单操作	第一住院楼 1 层 DSA 室	
3	⁹⁰ Y 微球注射液 (抗癌药)	液态/低毒 T _{1/2} =2.67d	使用	2.50×10 ⁹	2.50×10 ⁸	1.25×10 ¹¹	核素治疗 (⁹⁰ Y 微球介入治疗第二阶段)	简单操作		

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	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	DSA	II	1	Artis Qceiling	125kV	1000mA	介入治疗	武侯院区第一住院楼 1层 DSA 室	已许可
2	SPECT/CT	III	1	Symbia intevo16	130kV	345mA	核素显像	武侯院区 核医学科 B 区	已许可

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
沾有放射性核素的注射器、手套、擦拭废纸等	固体	^{99m} Tc	/	/	/	β 表面污染小于 0.8 Bq/cm ²	存放于专用放射性废物铅桶及放射性废物暂存间	含 ^{99m} Tc 核素废物暂存时间超过 30 天，含 ⁹⁰ Y 核素超过其半衰期的 10 倍后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β 表面污染小于 0.8Bq/cm ² 后，按照医疗废物执行转移联单制度，最终交由有资质单位进行统一收集、清运和处理
介入手术时产生的一次性手套、医用器具、药棉、纱布、输液管、患者体内管、注射器、含剩余药物的西林瓶等		⁹⁰ Y	/	/	/			
患者尿液	液体	⁹⁰ Y	/	/	/	总 β 不大于 10 Bq/L	已有衰变池	排入核医学科衰变池暂存，经监测合格后排放至医院污水处理站进一步处理
介入手术时产生的废造影剂及废造影剂瓶等医用辅料及手术垃圾	固体	/	/	/	约 100kg	/	暂存在机房内的废物桶	手术结束后集中收集暂存，作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置
臭氧和氮氧化物	气体	/	/	/	微量	微量	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温条件下可自动分解为氧气

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》，1989 年 12 月 26 日发布施行；2014 年 4 月 24 日修订，2015 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修正版），2018 年 12 月 29 日发布施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起实施；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 449 号，2005 年 12 月 1 日起施行；2019 年修正，国务院令 709 号，2019 年 3 月 2 日施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，（2017 年修订版），国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日发布施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》，生态环境部第 16 号令，自 2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(9) 《射线装置分类》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告，2017 年 第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行；</p> <p>(10) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》（环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告，2017 年公告第 65 号公布，2018 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(11) 《放射性废物安全管理条例》，中华人民共和国国务院令第 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行；</p> <p>(12) 《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>(13) 《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部，公告 2019 年第 38 号，2019 年 11 月 1 日起施行；</p>
------------------	--

	<p>(14) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部，公告 2019 年第 57 号，2020 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(15) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第 7 号）2024 年 2 月 1 日起施行；</p> <p>(16) 《四川省辐射污染防治条例》，2016 年 6 月 1 日起实施。</p>
技术标准	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(5) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>(6) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）；</p> <p>(7) 《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）；</p> <p>(8) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）；</p> <p>(9) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；</p> <p>(10) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）。</p>
其他	<p>(1) 《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》国家环保总局，环发[2006]145 号，2006 年 9 月 26 日起施行；</p> <p>(2) 生态环境部辐射源安全监管司关于核医学标准相关条款咨询的复函，辐射函〔2023〕20 号，2023 年 9 月 11 日；</p> <p>(3) 生态环境部核技术利用监督检查技术程序（2020 版）；</p> <p>(4) 四川省生态环境厅关于印发《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》的通知，川环函[2016]1400 号。</p> <p>(5) 《辐射防护手册》（第一分册—辐射源与屏蔽，原子能出版社，1987）；</p> <p>(6) 《辐射防护手册》（第三分册—辐射安全，原子能出版社，1987）；</p> <p>(7) 《辐射防护导论》（原子能出版社，1988）；</p> <p>(8) 《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》（生态环境部核与辐射安全中心，2021 年 8 月 23 日）；</p> <p>(9) 《Posttherapy Radiation Safety Considerations in Radiomicrosphere</p>

Treatment with ⁹⁰Y-Microspheres》（见附件 10）；

（10）图纸及相关技术资料。

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》(HJ 10.1-2016)中“核技术利用建设项目环境影响评价报告书的评价范围和保护目标的选取原则：放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”。本项目均依托已有工作场所进行，本次评价范围选取各工作场所实体屏蔽墙体外周边 50m 范围内作为评价范围，详见附图 2。

保护目标

本项目 50m 评价范围除东侧位于医院院界外（长寿南路）其余方向均位于院区范围内，50m 评价范围内无其他居民区、无学校等其他环境敏感点。因此，本项目辐射环境保护目标为医院辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患、陪同家属及院内外公众，详见表 7-1。

表 7-1 本项目评价范围内辐射环境保护目标一览表

保护目标名称		方位	与屏蔽体最近距离	规模
DSA 室	辐射工作人员	控制室及机房内	/	22 人
	其他医护工作人员、患者、患者家属及院内周边公众	东侧设备间、污物暂存间及病人等候区	5m	约 20 人
		南侧 DSA 室（2）、操作室及走廊	0~8m	约 50 人
		西侧操作室、设备机房/洗手区、换鞋更衣及办公区域等	0~32m	约 50 人
		北侧 CT 室/楼梯间、走廊及办公区域等	0~13m	约 20 人
		上方仪器室	紧邻	10 人
		东侧及东南侧第二住院楼部分区域	11~50m	约 500 人
		西北侧门诊大楼部分区域	30~50m	约 300 人
		50m 评价范围内室外道路等行人		
核医学科 B 区	辐射工作人员	SPECT/CT 扫描间及控制室、高活性室、放射性储物间、放射性废物暂存间、药物及患者转运等	/	9 人
	其他医护工作人员、患者、患者家属及院内周边公众	东侧阅片室	约 3m	约 5 人
		南侧预留机房、材料库房、污染区/半污染区/清洁区及院内道路	0~50m	约 100 人
		西侧排烟机房及院内道路	0~8m	约 100 人

		北侧院内道路及篮球场	0~50m	约 200 人
		上方医生办公室、阅片室、等候大厅、骨密度室及检测区域	紧邻	约 100 人
		东侧长寿南路	22~50m	约 100 人
		西侧第二住院楼及院内道路	26~50m	约 100 人
		50m 评价范围内室外道路等行人		
核医学病房	辐射工作人员	核医学病房、走廊及患者转运等	/	2 人
	其他医护人员、患者、患者家属及院内周边公众	东侧走廊及院内道路	0~12m	约 100 人
		南侧储物间、核医学发药室、院内道路及集中绿地	0~50m	约 300 人
		西侧走廊、CT 机房及院内道路等	邻近	约 200 人
		北侧机房区及院内道路	0~50m	约 200 人
		上方病房	紧邻	约 10 人
		东侧核医学楼	0~12m	约 200 人
		西北侧第一住院楼	38~50m	约 500 人
		50m 评价范围内室外道路等行人		

评价标准

一、执行标准

本项目执行标准如下：

1、环境质量标准

地表水：执行《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）中的III类水域标准；

大气环境：执行《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）及其修改单中的二级标准；

声环境：执行《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中的 2 类标准。

2、污染物排放标准

废水：医疗废水执行《医疗机构水污染排放标准》（GB 18466-2005）中表 2 排放标准。

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

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

固体废物：执行《医疗废物处理处置污染控制标准》（GB 39707-2020）。

3、辐射防护标准

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

二、辐射环境评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	要求
职业照射 剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量，20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv； ③眼晶体的年当量剂量，150mSv； ④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。
公众照射 剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果5个连续年的年平均剂量不超过1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv。

辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：

注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

监督区：

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

2、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

6.1 屏蔽要求

6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 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。

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

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

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

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

c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

7.3.3.2 对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB 18871 附录 A 表 A1 的要求。

3、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和改建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2 的规定。

表 2 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

机房类型	机房内最小有效使用面积, m ²	机房内最小单边长度, m
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5
双管头或多 X 射线设备 ^a （含 C 形臂）	30	4.5
单管头 X 射线设备 ^b （含 C 形臂，乳腺 CBCT）	20	3.5

6.2 X 射线设备机房屏蔽

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

6.2.2 医用诊断 X 射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录 C 中表 C.4~表 C.7。

表 3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
标称 125kV 以上的摄影机房	3.0	2.0
标称 125kV 及以下的摄影机房	2.0	1.0
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	

.....

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表 4 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
CT 体层扫描 （隔室）	-	-	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	-

介入放射操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	—
--------	--------------------------------------	---------------------------------------	------------------------------------	---

三、辐射环境评价标准限值

1、个人剂量约束值

①职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）第4.3.2.1条的规定，对任何工作人员，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯平均）20mSv。结合医院已有的核技术利用项目综合按上述标准中规定的职业照射年有效剂量限值的1/4执行，即辐射工作人员职业照射年有效剂量约束值为5mSv/a。

②公众照射：第B1.2.1条的规定，实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过年有效剂量1mSv。结合医院已有的核技术利用项目综合按上述标准中规定的公众照射年有效剂量限值的1/10执行，即0.1mSv/a。

2、放射性表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）表B11工作场所的放射性表面污染的控制水平见表7-2。

表7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒	其他	
工作台、设备、墙壁、 地面	控制区	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 ⁻¹	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4×10 ⁻¹	4×10 ⁻¹	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻²	4×10 ⁻²	4×10 ⁻¹

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）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，经审管部门或审管部门授权的部门确认后，可当作普通物品使用”。

3、工作场所内外控制剂量率

(1) 核医学场所工作场所

核医学场所工作场所边界周围剂量率控制水平参照《核医学辐射防护与安全要

求》（HJ 1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（国家核安全局，辐射函〔2023〕20号）：

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

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

（2）DSA 工作场所

DSA 机房边界周围剂量率控制水平参照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）等相关标准要求，DSA 机房外周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理和场所位置

(一) 医院外环境关系

四川省肿瘤医院武侯院区位于四川省成都市人民南路四段 55 号，其东侧院界外紧邻长寿南路，南侧院界外紧邻中环路火车南站东路段，西侧院界外为人民南路四段；西北侧院界外为嘉云台大厦，北侧为医院宿舍楼。武侯院区周围环境示意图见附图 2。

(二) 辐射工作场所外环境关系

1、第一住院楼内 DSA 室

本项目 DSA 室位于院内第一住院楼 1 层，共有 2 座 DSA 机房，2 座机房南北并列，为 DSA 室及 DSA 室（2），本次仅涉及其中的 DSA 室，其东侧依次为设备间、污物暂存间及病人等候区等，南侧为 DSA 室（2）、操作室（2）及走廊，西侧依次为操作室（1）、设备机房/洗手区、换鞋更衣及办公区域等，北侧依次为 CT 室/楼梯间、走廊及办公区域等，上方为仪器室，下方为土层。平面布局示意图见附图 5。

本项目 DSA 室现状如图 8-1~8-4 所示。

图 8-1 DSA 室

图 8-2 DSA 室西侧操作室

图 8-3 DSA 室南侧操作室（2）

图 8-4 DSA 室北侧 CT 室

2、核医学科 B 区

本项目依托的核医学科 B 区非密封放射性物质工作场所位于核医学楼 1 层，其东侧为控制室及阅片室，南侧为预留机房、材料库房、污染区/半污染区/清洁区及院内道路，西侧为排烟机房及院内道路，北侧为院内道路及篮球场，上方为医生办公室、阅片室、等候大厅、骨密度室及检测区域，下方为土层。核医学科 B 区平面布局示意图

详见附图 6~附图 7。本项目核医学科 B 区现状如图 8-5~8-8 所示。

图 8-5 SPECT/CT 扫描间 (ECT 室)

图 8-6 SPECT/CT 控制室

图 8-7 放射性废物间

图 8-8 高活性室内手套箱

3、核医学病房

本项目依托的核医学病房位于第二住院楼 1 层，其东侧为走廊、院内道路及核医学楼，南侧为储物间、核医学发药室、院内道路及集中绿地，西侧为走廊、CT 机房及院内道路等，北侧为机房区及院内道路，上方为病房，下方为土层。第二住院楼平面布局示意图详见附图 8~附图 9。

二、辐射环境现状评价

为掌握项目所在地的辐射环境现状，四川瑞迪森检测技术有限公司于 2025 年 4 月 17 日按照标准规范对本次拟建址及周边环境进行了 γ 辐射剂量率和表面污染水平的布点监测，监测报告见附件 5。

1、监测因子

本项目拟于原有 DSA 室工作场所内新增使用放射性核素 ^{99m}Tc 及 ^{90}Y ，根据工程分析项目主要污染因子为运行时产生的 X 射线、 γ 射线、 β 射线及 β 表面污染等，根据医院提供的 2024 年度辐射工作场所监测报告显示（详见附件 6）：“DSA 室内设备正常运行时，其机房周围 X- γ 辐射剂量率为 $(0.10\sim 0.13)\mu\text{Sv/h}$ ，满足标准要求”。该场所新增使用放射性核素后，新增的污染因子主要为输注过程中核素产生的 γ 射线、 β 射线（及其韧致辐射）及 β 表面污染，故本项目选取 DSA 室 γ 辐射空气吸收剂量率和 β 表面污染水平作为监测因子。

本项目拟于原有核医学科 B 区内新增使用放射性核素 ^{90}Y ，根据工程分析项目主要污染因子为运行时产生的 X 射线、 γ 射线、 β 射线（及其韧致辐射）及 β 表面污染等，根据医院提供的 2024 年度辐射工作场所监测报告显示（详见附件 6）：“SPECT/CT 内设备正常运行时，其机房周围 X- γ 辐射剂量率为 $(0.12\sim 0.16)\mu\text{Sv/h}$ ，核医学科工作场所各监测点 β 表面污染水平小于 0.08Bq/cm^2 （LLD= 0.08Bq/cm^2 ），均满足标准要求”。该场所新增使用放射性核素后，产生的污染因子主要为分装及扫描过程中核素产生的 γ 射线、 β 射线（及其韧致辐射）及 β 表面污染，故本项目选取 SPECT/CT 扫描间及高活性室 γ 辐射空气吸收剂量率和 β 表面污染水平作为监测因子。

2、 监测内容

对拟建项目周围环境水平进行现状调查。

3、 监测方案

(1) 监测项目、方法及方法来源表

表 8-1 监测项目、方法及方法来源表

监测项目	监测方法	备注
γ 辐射空气吸收剂量率	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）	探测限为本次测量使用方法和仪器综合技术指标
表面污染水平	《表面污染测定第一部分： β 发射体（ $E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/T 14056.1-2008）	

(2) 监测布点

参照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中的方法布设监测点，根据本次扩建项目拟建址及其周围环境现状，监测点位的选取覆盖扩建项目拟建区域及周围 50m 公众人员区域。根据上述布点原则与方法，本项目监测点位布置如图 8-11~图 8-14 所示。

图 8-11 拟建址监测点位示意图

图 8-12 拟建址监测点位示意图

图 8-13 拟建址监测点位示意图

图 8-14 拟建址监测点位示意图

(3) 监测仪器

监测使用仪器见表 8-2。

表 8-2 监测使用仪器表

监测项目	监测设备		
	仪器名称	仪器编号	设备参数及检定情况
γ 辐射空气吸收剂量率	BG9511 型 X- γ 辐射检测仪	SCRDS-067	能量范围：35keV~3MeV 剂量率范围：0.01~600 $\mu\text{Gy/h}$ 检定单位：上海市计量测试技术研究院 校准有效期：2025.04.10-2026.04.09
表面污染水平	COMO170 型 表面污染仪	SCRDS-007	测量范围：0cps~20000cps 检定单位：中国测试技术研究院 校准有效期：2024.11.4-2025.11.3

4、 质量保证措施

人员培训：监测人员经考核并持有合格证书上岗。

仪器刻度：监测仪器定期经计量部门检定，每次监测必须在有效期内。

自检：每次测量前、后均检查仪器的工作状态。

数据记录及处理：开机预热，手持仪器。一般保持仪器探头中心距离地面（基础面）为 1m。仪器读数稳定后，每个点位读取 6~10 个数据，读取间隔不小于 10s。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差。

表面污染水平：选取直接测量，在探测器灵敏窗和待检表面避免接触的情况下，将探测器在表面上方慢慢地移动，读取测量值，每个点位读取 6 个数据，读取间隔不小 5s。

数据复核：监测报告实行三级审核制度，经校对审核后由授权签字人审定签发。

5、比较标准

项目所在地环境天然贯穿辐射水平参考成都市生态环境局发布《2023 成都生态环境质量公报》中成都市环境 γ 辐射剂量率连续自动监测年均值范围（67.0~119）nGy/h。

6、环境现状监测与评价

监测所用仪器已由计量部门年检，且在有效期内；测量方法按国家标准方法实施；测量数据处理符合统计学要求；布点合理，结果可信，能够反映出辐射工作场所的客观辐射水平，可以作为本次评价的科学依据。具体监测结果如下：

表 8-3 DSA 室 γ 辐射剂量率监测结果

测点编号	点位描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	DSA 室	92±2	室内
2	DSA 室上方	98±2	室内
3	第一住院楼东侧连廊	106±2	室外
4	第一住院楼南侧连廊	100±5	室外
5	第一住院楼西侧连廊	105±3	室外
6	第一住院楼西北侧门口	99±2	室外
7	第二住院楼北侧污水处理站	104±5	室外
8	第二住院楼南侧院内道路	101±4	室外
9	核医学楼南侧院内道路	100±3	室外
10	院外东侧长寿南路	103±4	室外
11	核医学楼北侧院内道路	102±4	室外

注：1. 检测结果未扣除宇宙响应值；

2. 检测时，DSA 未开机出束，周围机房内设备未开机出束。

表 8-4 DSA 室 β 表面水平检测结果

测点编号	点位描述	检测结果 (Bq/cm ²)	备注
1	DSA 室地面	<LLD	/
2	DSA 室墙面	<LLD	/

3	治疗床表面	<LLD	/
4	操作台表面	<LLD	/
5	操作室地面	<LLD	/
6	污物暂存间地面	<LLD	/
7	污物暂存间墙面	<LLD	/
8	第一住院楼东侧连廊地面	<LLD	/
9	第一住院楼南侧连廊地面	<LLD	/
10	核医学楼北侧路面	<LLD	/
11	第二住院楼北侧连廊地面	<LLD	/
12	核医学楼东侧门口地面	<LLD	/

注：仪器探测下限 LLD 为 0.09Bq/cm²。

表 8-5 核医学科 B 区 γ 辐射剂量率现状监测结果

测点编号	点位描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	SPECT/CT 扫描间	91±2	室内
2	SPECT/CT 扫描间上方	98±2	室内
3	SPECT/CT 扫描间东侧控制室	105±2	室内
4	高活性室	102±3	室内

注：1. 检测结果未扣除宇宙响应值；

2. 检测时，SPECT/CT 未开机出束，手套箱内无药物储存。

表 8-6 核医学科 B 区 β 表面污染水平检测结果

测点编号	点位描述	检测结果 (Bq/cm ²)	备注
1	SPECT/CT 扫描间地面	<LLD	/
2	SPECT/CT 扫描间墙面	<LLD	/
3	控制台表面	<LLD	/
4	控制室地面	<LLD	/
5	高活性室地面	<LLD	/

注：仪器探测下限 LLD 为 0.09Bq/cm²。

由表 8-3~表 8-6 可知，本项目 DSA 室周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测值在 (92~106) nGy/h 之间，与成都市生态环境局发布《2023 成都生态环境质量公报》中成都市环境 γ 辐射剂量率连续自动监测年均值范围 (67.0~119) nGy/h 相较，本项目 DSA 室周围辐射环境监测值与成都市天然贯穿辐射水平相当，属于正常本底范围；核医学科 B 区 γ 辐射剂量率现状监测结果为 (91~105) nSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 标准要求。

项目拟建位置周围 β 表面污染水平为低于仪器探测下限。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、施工期工艺分析

本项目依托医院原已许可工作场所进行，项目涉及的工作场所均已进行环境影响评价，本次不涉及工作场所的改动。

二、营运期工艺分析

(一) 工程设备

1、非密封放射性物质工作场所

四川省肿瘤医院拟在院内开展 ^{90}Y 微球介入治疗项目，该治疗项目将依托医院现有核医学科 B 区 SPECT/CT 扫描间进行评估检查，并拟于该场所内储存及分装所需核素药物；依托第一住院楼内 DSA 室开展药物的介入输注。

本次拟新增辐射项目见表 9-1。

表 9-1 四川省肿瘤医院扩建项目情况一览表

非密封放射性物质							
序号	核素	用途	单个病人最大用量/用药方式 (Bq)	日最大病人量 (人)	年最大病人量 (人)	日最大操作量 (Bq)	备注
1	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	介入微球治疗第一阶段评估	1.50×10^8 (介入输注)	1	50	1.50×10^8	依托已许可
2	^{90}Y	介入微球治疗第二阶段	$1.50 \times 10^9 \sim 2.5 \times 10^9$ (介入输注)	1	50	2.50×10^9	本次新增

参照《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号）中：

- ①有相对独立、明确的监督区和控制区划分；
- ②工艺流程连续完整；
- ③有相对独立的辐射防护措施的特点，工作场所人流及物流具有自己的独立通道，不与其他楼层交叉等条件。

四川省肿瘤医院核医学科 B 区现有工作场所为已许可的一处非密封放射性物质工作场所，本次新增的非密封放射性物质工作场所包含 DSA 室等区域。本次扩建项目主要为放射性同位素的介入治疗，两处工作场所具有相对独立的监督区和控制区划

分，场所具有明显的界限。工作场所的工艺流程连续完整。且工作场所具有独立的辐射防护措施，工作场所人流及物流具有独立通道互不交叉。

因此，四川省肿瘤医院本次利旧及新增的非密封放射性物质工作场所应作为 2 个独立的非密封放射性物质工作场所，场所具有独立的监督区、控制区划分。

(1) 非密封放射性物质

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 C 提供的放射性同位素工作场所放射性核素日等效最大操作计算方法和放射性同位素日最大操作量，可以计算出核素的日等效最大操作量。非密封放射性物质工作场所的分级判据如表 9-2。

表 9-2 非密封放射性物质工作场所的分级

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

放射性同位素的日等效最大操作量根据其毒性组别、操作方式、物理状态和实际日最大操作量确定。毒性组别和操作方式与放射源状态修正因子见表 9-3、表 9-4。

表 9-3 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 9-4 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	物理状态			
	表面污染水平 较低的固体	液体，溶液， 悬浮液	表面有污染 的固体	气体、蒸汽、粉末、压 力很高的液体、固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

$$\text{日等效最大操作量} = \frac{\text{日最大操作量} \times \text{毒性修正因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \dots\dots \text{公式 9-1}$$

根据本项目非密封放射性物质工作场所使用放射性同位素的毒性组别、操作方式和日等效操作量，确定出本项目各非密封放射性物质工作场所级别，详见表 9-5。

表 9-5 本项目使用的放射性核素日等效最大操作量核算

序号	核素	日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)
1	^{99m} Tc	1.50×10 ⁸	低毒 0.01	液态/简单操作 1	1.50×10 ⁶
2	⁹⁰ Y	3.00×10 ⁹	中毒 0.1	悬浮液/简单操作 1	3.00×10 ⁸
3	⁹⁰ Y	2.50×10 ⁹	中毒 0.1	悬浮液/简单操作 1	2.50×10 ⁸

表 9-5 本项目使用的放射性核素日等效最大操作量核算 (续表)

非密封放射性物质							
序号	工作场所名称	核素	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)		场所等级	备注
				核素	合计		
1	DSA 室	^{99m} Tc	1.50×10 ⁸	1.50×10 ⁶	2.50×10 ⁸	乙级	本次新增
		⁹⁰ Y 微球注射液 (抗癌药)	2.50×10 ⁹	2.50×10 ⁸			
2	核医学科 B 区高活性室	⁹⁰ Y 微球注射液 (抗癌药)	3.00×10 ⁹	3.00×10 ⁸	1.23×10 ⁹ ①	乙级	本次新增
		原已许可		9.25×10 ⁸			已许可

注:①现有核医学科 B 区已许可 ^{99m}Tc 核素用量能够满足第一阶段需求,本次不新增该场所内 ^{99m}Tc 核素。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)非密封源工作场所的分级原则,结合表 9-5 计算结果可知本次新增使用核素后,第一住院楼内 DSA 室总日等效最大操作量为 2.50×10⁸Bq,核医学科 B 区总日等效最大操作量为 1.23×10⁹Bq 均为乙级非密封放射性物质工作场所。

2、⁹⁰Y 微球药物

本项目涉及使用的 ⁹⁰Y 微球产品具有释放纯 β 射线、射线能量高、半衰期短(2.67 天)、射程短(人体组织中平均穿透距离为 2.5mm,最长穿透距离 11mm)、污染小、高聚集性等特点。

人体对 ⁹⁰Y 不具有特殊摄取的功能,游离的 ⁹⁰Y 会透过毛细血管网随血液分布于全身,因而不能直接用于靶向治疗恶性肿瘤。为解决上述问题,将 ⁹⁰Y 放射性核素结合到特殊的载体上并制成微小颗粒,通过选择性动脉插管的方法将载有 ⁹⁰Y 放射性核素的颗粒注入肿瘤血管,使 ⁹⁰Y 滞留于肿瘤组织内达到足够的剂量杀死肿瘤细胞。常见的 ⁹⁰Y 树脂微球产品示意图见图 9-1。



图 9-1 ⁹⁰Y 微球产品示意图

以 ⁹⁰Y 树脂微球为例，⁹⁰Y 树脂微球使用具有生物相容性且不可降解的树脂微球，粒径 20 μ m~60 μ m，小到可到达肿瘤动脉血管末端，但不足以通过毛细血管进入循环系统。微球比重为 1.1（血红蛋白 1.097），在血管悬浮，可随血流栓塞到肿瘤血管末端。常见的几种 ⁹⁰Y 微球特性见表 9-6。

表 9-6 常见 ⁹⁰Y 微球药物特性

项目	⁹⁰ Y 玻璃微球	⁹⁰ Y 炭微球	⁹⁰ Y 树脂微球
半衰期	2.67d	2.67d	2.67d
形态	悬浮液	悬浮液	悬浮液
直径	20 μ m~30 μ m	20 μ m~45 μ m	20 μ m~60 μ m
微球密度	3.6g/cm ³	1.8g/cm ³	1.6g/cm ³
微球数量/3GBq 剂量瓶	1.2 \times 10 ⁶	2.7 \times 10 ⁶	4 \times 10 ⁸ ~8 \times 10 ⁸
产品规格	3GBq~13GBq	3GBq~13GBq	3GBq
剂量可调整性	医院确定所需用量，再向药物生产厂家进行订购（不进行二次分装）		根据患者需求进行抽取确定活度剂量（需进行二次分装）

3、射线装置

(1) DSA

本项目拟使用 DSA 室内现有 1 台 DSA 开展 ⁹⁰Y 微球介入治疗项目，该台 Artis Qceiling 型 DSA 设备，其主射方向朝上。本项目 DSA 外观图如图 9-2 所示。

图 9-2 本项目 DSA 室内 DSA 设备

本项目 DSA 主要设备技术参数见表 9-7。

表 9-7 第一住院楼内 DSA 室主要设备技术参数

指标	技术参数
型号	Artis Qceiling
位置	第一住院楼 1 层 DSA 室
额定管电压	125kV
额定管电流	1000mA
用途	介入治疗

(2) SPECT/CT

本项目拟使用核医学科 B 区 SPECT/CT 扫描间内现有 1 台 SPECT/CT 开展 ^{90}Y 微球介入治疗的评估检查, 该设备型号为 Symbia intevo 16。本项目 SPECT/CT 外观图见图 9-3。

图 9-3 本项目 SPECT/CT

本项目 SPECT/CT 主要设备技术参数见表 9-8。

表 9-8 核医学科 B 区 SPECT/CT 扫描间主要设备技术参数

指 标	技术参数
型 号	Symbia intevo 16
位 置	核医学科 B 区 SPECT/CT 扫描间
额定管电压	130kV
额定管电流	345mA
用 途	核素显像

(二) ^{90}Y 微球介入治疗工作原理

^{90}Y 发出的 β 射线最大能量为 2.284MeV, 平均能量为 0.935MeV, 在人体组织中的最大射程为 11mm, 其半衰期为 2.67 天, 是通过化学方法从铯-90 中提取, 将其离子键结合在微球上制成的微小颗粒, 药物为悬浮液形式, 通过选择性动脉插管的方法将载有 ^{90}Y 放射性核素的颗粒注入肿瘤血管, 使 ^{90}Y 滞留于肿瘤组织内达到足够剂量杀死肿瘤细胞, 此微球具有不能通过毛细血管网, 且不被巨噬细胞所吞噬, 生物相容性好、无毒、核素衰变基本完成后, 微球开始生物降解而不再栓塞的特点。

以 ^{90}Y 树脂微球为例, ^{90}Y 树脂微球是一款靶向放射治疗产品, 由含有 ^{90}Y 的生物相容性树脂微球组成, 直径为 20-60 μm , 密度约为 1.6g/cm³, 比重 1.6 (血液 1.097), 可随血液滞留于肿瘤末梢血管, 持续照射以达到治疗的目的。该产品被广泛应用于肝癌的选择性体内放射治疗 (SIRT) 中, 即在肝脏病灶处, 通过靶向的大剂量高能量 β 辐射起到杀死癌细胞的目的, 同时不伤害健康肝脏组织, 被广泛用于手术治疗不可切除的肝癌。

放射性核素特性见表 9-9。

表 9-9 放射性核素 ^{90}Y 特性一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	α/β 最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	周围剂量率当量率常数 (裸源) ① ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)
^{90}Y	2.67d	β^-	2.284	—	—

注: ①该数据来源于《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)。

(三) 工作流程及产污环节

1、⁹⁰Y 微球介入治疗项目

⁹⁰Y 微球以 DSA 介入的形式开展治疗，微球通过导管经由肝总动脉、右肝动脉或左肝动脉注射引导到肝脏肿瘤中，在输送到肝动脉后，微球被选择性输送并停留在肿瘤的微血管中，发挥局部放射治疗。

⁹⁰Y 微球介入治疗分为 2 个阶段，工作流程如下：

(1) 第一阶段：^{99m}Tc 放射性药物的前期检查

在治疗前 7~14 天需使用锝标记聚合白蛋白（^{99m}TcMAA）注入肝动脉，以评估患者是否适合此项治疗。该阶段锝标记聚合白蛋白（^{99m}TcMAA）注射过程在第一住院楼内 DSA 室内完成，其原理为：锝标记聚合白蛋白（^{99m}Tc-MAA）为一种对人体无害的诊断用蛋白，分子大小近似 ⁹⁰Y 微球，可模拟 ⁹⁰Y 微球于体内分布的状态，确保 ⁹⁰Y 微球会停驻在肝脏，而非其他器官，不会造成其他器官的放射性伤害。该阶段拟使用的锝标记聚合白蛋白（^{99m}TcMAA）为需用的注射针剂。

本次新增 ⁹⁰Y 微球治疗项目该阶段 ^{99m}Tc 放射性核素单人次使用量最大约为 $1.50 \times 10^8 \text{Bq}$ ，且年诊断次数较少，医院现有核医学科 B 区已许可 ^{99m}Tc 放射性核素能够满足本项目第一阶段的核素用量需求，无需额外增加核素操作量。

第一阶段具体工作流程如下：

①提前 1 天填写血管造影同意书，并通知禁食 6~8 小时，送检前排空尿液；

②患者至第一住院楼 1 层 DSA 室进行血管造影，确定肿瘤供血血管、必要时栓塞胃肠侧枝血管，微导管到达靶血管，由介入医生进行 ^{99m}Tc-MAA 的缓慢注射，手术期间需要不间断的进行透视和拍片观察导管和药物的位置；

③注射完成后，生理盐水冲洗导管，撤出导管（需借助 DSA 出束照射），完成后续手术，评估患者状态；

③2h 内将患者转移至 SPECT/CT 扫描间，进入机房内接受 SPECT/CT 扫描。扫描完成后，若无其他情况，患者即可从患者专用通道离开。

④医生根据显像结果，了解锝标记聚合白蛋白（^{99m}TcMAA）在人体分布情况，确定患者是否适合 ⁹⁰Y 微球治疗。

(2) 第二阶段：⁹⁰Y 微球介入注射治疗

在第一阶段，若确定患者适合 ⁹⁰Y 微球治疗，则需在 7~10 天内完成 ⁹⁰Y 微球输

注，医院根据患者具体情况医院将根据病人实际情况制定治疗方案，并向放射性药物生产厂家订购 ^{90}Y 微球，单个病人订购 1 瓶 ^{90}Y 微球，订购的 ^{90}Y 微球最早在手术前 1 天送达医院，经质检人员核对放射性药物名称、活度，检查药品包装和外观质量，与供药公司办理交接手续并进行台账登记后，转入核医学科 B 区高活性室手套箱内（ ^{90}Y 微球剂量瓶外含 1 个透明的有机玻璃瓶防护罩，被放置在 1 个 6.4mmPb 铅罐内）。

本项目使用的 ^{90}Y 微球单支活度为 3GBq，工作人员应提前根据患者情况确定需要的放射性药物活度（平均每位患者仅需注射 1.5~2.5GBq 的 ^{90}Y 微球，即可满足治疗需求），该阶段涉及到的 ^{90}Y 微球操作过程包括放射性药物活度测量和分装等上述过程均在核医学科 B 区高活性室已有的手套箱内进行。

第二阶段具体工作流程如下：

①提前 1 天填写血管造影同意书，并通知禁食 6~8 小时，送检前排空尿液。

②术前准备工作：在 DSA 室手术床面铺设一次性防水垫巾，地面铺设一次性防水铺巾，并覆盖易洒落药品的所有区域，避免药物洒落区域污染；在 DSA 手术台和放置 ^{90}Y 微球推车之间的地板上放置一次性铺巾，导管接头下方需放置双层铺巾，以防术中发生放射性污染；同时在手术室内放置放射性废物桶及其他相关物资，手术医生穿戴好相应个人防护用品及一次性防污染服；

③患者至第一住院楼 1 层 DSA 室进行血管造影，放置导管并栓塞胃肠侧枝血管；

④给药装置准备：术中需保持输送系统的密闭性和无菌操作。若组装过程中出现任何故障，应及时更换给药装置。严禁在给药装置和微导管之间使用任何装置。输注前介入医师与物理师共同核对 ^{90}Y 微球产品和剂量是否准确，所有装置是否连接正确。确认后方可将微导管连接到 ^{90}Y 微球容器的输出管。

⑤将 ^{90}Y 微球药品分批次缓慢输注，并且在输注过程中注入造影剂以确认血管内液体流动情况，避免返流和血管堵塞情况的发生。期间操作医师的躯干部位距离盒子应超过 80cm，本步骤持续时间约为 20min，期间需交替进行 DSA 透视操作 2 到 3 次，观察药品注入情况。

⑥注入结束后，使用无菌注射用水或 5%右旋糖苷冲洗导管，确认导管内无微球残留后，抽离患者体内的导管，使用无菌布包裹导管，断开导管与输液管之间的连接，直接将所有管线及 V 瓶弃置于专用的放射性废物桶内。拔管过程最多持续 5min，

期间医护人员将受到来自患者体内放射性核素所致韧致辐射的照射。从药品注入前准备到注入后拔管，持续时间约 30min。

⑦完成 ^{90}Y 微球注入后，辐射工作人将再次进行透视和摄影工作，查看微球注入部位是否达到预期部位，防治微球错位对病人造成风险，同时要取出放置的注入导管。

⑧患者转运：在病人身上遮盖 0.5mm 铅当量的铅方巾，将病人转入留观室内留观。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 B，表 B.1 放射治疗患者出院时体内放射性核素活度的要求， ^{90}Y 植入患者出院时体内放射性活度应 \leq 2500MBq，本项目对单个患者的 ^{90}Y 最大植入量为 2.5GBq（2500MBq），低于出院活度限值要求，患者术后留观为医学留观。

⑨术后监测及解控：手术结束后对所有辐射工作人员体表、手术床、工作台面、工作椅及地面等区域进行表面污染水平监测，根据 GB18871-2002：“工作台、设备、墙壁、地面的 β 表面污染应小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，辐射工作人员工作服、手套、工作鞋的 β 表面污染应小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，手、皮肤、内衣、工作袜的 β 表面污染应小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ”。若表面污染水平超过控制水平，应采取相应的去污措施，并将相关非解控物品作为放射性固体废物收集至放射性废物桶内。待表面污染水平监测合格且污物转运完毕后，对 DSA 室 进行解控。

⑩治疗 24h 内安排给药后患者至 SPECT/CT 扫描间进行扫描，扫描时间约为 20min，确定 ^{90}Y 微球在患者体内的滞留位置。

^{90}Y 微球介入治疗工作流程及产污环节分析如图 9-4 所示。

图 9-4 ^{90}Y 微球介入治疗工作流程及产污环节

9、项目人流和物流的路径规划

（1）工作人员路径规划

核医学科辐射工作人员经医护入口从医护通道进入高活性室，在手套箱内完成放射性核素药物分装、用活度计测量活度等操作，操作结束后原路返回。

DSA 设备操作人员经医护通道从更衣洗手区进入控制室内进行设备隔室操作；手术医生在更衣室穿戴防护服和一次性防污染服等，经控制室进入 DSA 室接收药物和进行注射操作，操作完成后脱掉一次性防污染服、乳胶手套等一次性用品作为放射性固体废物，经表污监测合格后离开手术室（若有污染则采用一次性清洁用品进行去

污)，原路返回。

(2) 患者路径规划

患者从东侧病人等候区进入第一住院楼 1 层，经患者通道进入 DSA 室，第一阶段患者在 DSA 室完成药物输注后由医护人员转运至核医学科 B 区高活性室核医学科进行 SPECT/CT 扫描；第二阶段患者在 DSA 室完成药物输注后由医护人员转移至核医学病房 3 进行留观 6h。

为避免治疗患者对其他公众或医护人员产生辐射影响，医院拟对治疗期间的患者流动线路进行临时管控，患者由专人护送，患者转运路线由专人引导，避免公众靠近。

(3) 药物路径规划

^{99m}Tc 及 ^{90}Y 药物供给方按约定时间将放射性药物送至医院，由核医学科辐射工作人员接收、测定活度与分装， ^{90}Y 贮药瓶经检测无表面污染后放入专用有机玻璃箱内（ ^{99m}Tc 药瓶放入铅罐内），分装好的药物由专人转运，经医护入口运送至核医学科 B 区高活性室，通过室外道路及连廊运送至第一住院楼 1 层，随后经病人等候区运送至 DSA 室内开展介入输注。

为了避免药物通道与其他人员通道交叉情况，且手术量较少，医院拟将手术安排在客流量较少时间，并对药物转运线路进行临时管控，转运路线由专人引导，避免公众靠近，以减少其他人员与药物接触的几率。

(4) 放射性废物路径规划

核医学科产生的放射性固体废物依托已有环保设施处理；DSA 室在输注手术过程中产生的放射性废物统一收集（与手术错峰）至东侧放射性废物暂存间内的放射性废物桶暂存。

本项目产生的放射性固废经统一收集后转移至相应放射性废物暂存间内暂存，含 ^{99m}Tc 核素废物暂存时间超过 30 天，含 ^{90}Y 核素超过其半衰期的 10 倍后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，按照医疗废物执行转移联单制度，最终交由有资质单位进行统一收集、清运和处理。

本项目放射性废水主要为进行 ^{90}Y 微球治疗患者产生的排泄物（尿液），排泄物中含有 ^{90}Y 核素，本项目注入 ^{90}Y 后患者排泄物排入核医学科病房已有衰变池暂存，经监测合格后排放至医院污水处理站处理。

本项目 ^{90}Y 微球介入治疗项目人流及物流路径规划如图 9-5~图 9-7 所示。

图 9-7 本项目 DSA 室人流物流路径示意图

污染源项描述

一、电离辐射

^{90}Y 微球介入治疗项目运行过程中,需要使用 SPECT/CT 进行显像扫描,需要 DSA 进行介入手术, SPECT/CT 及 DSA 开机过程会产生 X 射线, SPECT/CT 及 DSA 产生的 X 射线是随着机器的开、关而产生和消失。因此在设备开机出束期间,会产生 X 射线。

本项目使用的核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 主要放出 γ 射线,在核素操作过程会产生 γ 射线。核素 ^{90}Y 主要放出 β 射线,在核素操作过程及输注进入患者体内后, β 射线会与物质相互作用产生韧致辐射,核素特性详见表 9-9。

二、 β 放射性表面污染

医生在对含有放射性同位素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 及 ^{90}Y 等的各种操作中,可能会引起工作台、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。

三、放射性废气

本项目核素使用前均存放于密封容器内,药物均在带有通风装置的手套箱内进行分装,游离的 ^{90}Y 核素以氯化钇 $^{90}\text{YCl}_3$ 形式存在,其挥发性极低。

四、放射性废水

本项目患者产生的含 ^{90}Y 核素排泄物排入核医学科已有衰变池暂存,经监测合格后排放至医院污水处理站处理,经监测合格后排放至医院污水处理站处理;核医学科放射性废水依托已有环保设施进行处理。

事故状况下发生药物洒落事故时,采用干法去污,首先用吸水纸擦拭,然后用布反复擦拭直至检测数据合格,擦拭用的吸水纸、布作为放射性固体废物处理。

五、放射性固体废物

项目使用 ^{90}Y 微球治疗过程中产生的放射性固体废物包括:注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物产生的一次性手套、输液管、患者体内管等; ^{90}Y 微球抽取过程中产生的转移用的一次性手套、注射器、含剩余药物的西林瓶等;注射 ^{90}Y 放射性药物产生的一次性手套、输液管、患者体内导管、V 瓶及有机玻璃防护罐等。若手术中出现 ^{90}Y 微球洒漏,则还可能产生吸水纸、去污用纸、医护人员手套、手术服、口罩、眼罩、有机玻璃盒

子等放射性固体废物。

六、非放射性三废

1、废水

本项目辐射工作人员在工作中会产生生活污水及医疗废水。

2、废气

在 SPECT/CT 及 DSA 开机并曝光时，会产生臭氧和氮氧化物。

3、废物

本项目介入手术时会产生的废造影剂等医疗废物；辐射工作人员工作中会产生少量的生活垃圾和办公垃圾，患者及家属候诊过程中产生少量的生活垃圾。

4、噪声

本项目噪声源为机房通排风系统的风机，本项目所使用的通排风装置为低噪设备，经建筑物墙体隔声及医院场址内的距离衰减后，运行期间厂界噪声可达到相关标准要求。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作场所布局与分区

(一) 工作场所布局合理性

本项目仅在原有工作场所内新增使用放射性核素，不涉及原工作场所屏蔽体及平面布局等改动，依托的 DSA 室及核医学科 B 区，均已进行环境影响评价，并完成相应的竣工环境保护验收，已对工作场所布局合理性做了详细论述，本次不再赘述。

(二) 两区划分

1、分区原则

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)要求，将本项目辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区—把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

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

根据《核医学辐射安全与防护要求》(HJ 1188-2021)的规定：核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。

2、区域划分

(1) 第一住院楼内 DSA 室

本项目依托原有 DSA 室工作场所进行，根据原环评及验收内容，医院已将 DSA 室内划为控制区，将操作室、设备间、病人等候区、污物暂存间及走道划为监督区。

本项目涉及在该场所内新增使用核素 ^{90}Y ，根据 ^{90}Y 微球介入治疗流程可知，介入输注后的患者需在核医学病房 3 内进行留观，故本项目 DSA 室工作场所较原环评及验收增加放射性废物间作为控制区。

(2) 核医学科 B 区

本项目依托原有核医学科工作场所进行，根据原环评及验收内容，医院已将核医学科 B 区 SPECT/CT 扫描间 1、预留机房、高活性室、注射室、放射性储物间、放射废物暂存间、注射后等待区、卫生间、区域间的走廊及衰变池等划为控制区，已将 SPECT/CT 控制室及病员入口大厅等划为监督区。

本项目仅在该场所内新增使用核素 ^{90}Y ，仅涉及使用 SPECT/CT 扫描间和高活性室内手套箱分装等操作，不涉及原工作场所平面布局改动，故本项目核医学科工作场所辐射防护两区划分较原环评及验收未发生变化。

本项目控制区和监督区划分情况见表 10-1，并在图 10-1~图 10-3 上进行了标识。

表 10-1 项目控制区和监督区划分情况

场所名称	控制区	监督区
DSA 室	DSA 室及放射性废物间	操作室、设备间、病人等候区、污物暂存间及走道
核医学科 B 区	SPECT/CT 扫描间 1、预留机房、高活性室、注射室、放射性储物间、放射废物暂存间、注射后等待区、卫生间、区域间的走廊	SPECT/CT 控制室、病员入口大厅
核医学病房	核医学病房及核医学发药室	走廊及储存室

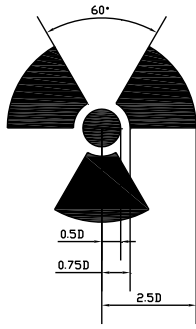
图 10-1 第一住院楼内 DSA 室工作场所-分区示意图

图 10-2 核医学科 B 区-分区示意图

图 10-3 核医学病房-分区示意图

3、控制区的防护手段与安全措施：

- ①控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志（如图 10-4）。
- ②制定辐射防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；
- ③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；
- ④在淋浴/更衣室备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；
- ⑤定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。



a. 电离辐射标志



b. 当心电离辐射警告标志

图 10-4 电离辐射标志和电离辐射警告标志

4、监督区防护手段与安全措施

- ①以黄线警示监督区的边界；
- ②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；
- ③定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

二、辐射安全及防护措施

(一) 各工作场所的屏蔽措施

本项目工作场所屏蔽参数见表 10-2~表 10-3，各工作场所详图详见附图 3~附图 4。

表 10-2 DSA 室防护屏蔽一览表

名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
DSA 室	四周墙体	240mm 实心砖
	屋顶	180mm 厚混凝土
	防护门	3mmPb
	观察窗	3mmPb

注：本项目使用的混凝土密度不低于 2.35g/cm^3 ，铅板的密度不低于 11.3g/cm^3 ，实心砖的密度不低于 1.65g/cm^3 。

表 10-3 核医学科 B 区防护屏蔽一览表

名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
高活性室	四面墙体	370mm 实心砖
	顶棚	180mm 厚混凝土
	防护门	3.5mmPb
	手套箱	12mmPb
放射性储物间 放射性废物暂存间	四面墙体	240mm 实心砖
	顶棚	100mm 厚混凝土
	防护门	3mmPb
核医学病房 3	南/西/北侧墙体	300mm 厚混凝土

	东侧	250mm 厚混凝土
	顶棚	320mm 厚混凝土
	防护门	3mmPb
SPECT/CT 扫描间	四面墙体	370mm 厚实心砖+20mm 硫酸钡水泥
	顶棚	100mm 厚混凝土+2mm 铅板
	观察窗	3.5mmPb
	防护门	3.5mmPb

注：本项目使用的混凝土密度不低于 2.35g/cm³，铅板的密度不低于 11.3g/cm³。

(二) 辐射安全装置

本项目 DSA 室及核医学科 B 区均已进行竣工环境保护验收，各工作场所辐射安全装置均已按照环评及其批复进行落实，本项目依托其已有的辐射安全装置进行：

1、工作状态指示灯

DSA 室及 SPECT/CT 扫描间病人出入防护门顶部已设工作状态指示灯，并与防护门连锁。防护门关闭时，工作状态指示灯亮，以警示人员注意安全；当防护门打开时，指示灯熄灭，如图 10-5~图 10-6 所示。

图 10-5 DSA 室工作状态指示灯

图 10-6 SPECT/CT 扫描间工作状态指示灯

2、急停按钮

DSA 室已设置 1 处急停按钮（按钮与 X 射线系统连接）；SPECT/CT 扫描间设备机身及控制室内均设置有急停按钮，如图 10-7~图 10-8 所示。在射线装置出束过程中，一旦发现紧急情况，按下急停开关可停止 X 射线系统出束。

图 10-7 DSA 室急停按钮

图 10-8 SPECT/CT 扫描间急停按钮

3、警告标识

DSA 室及 SPECT/CT 扫描间各防护门外醒目的位置均已设置“当心电离辐射警告”标志。

4、视频监控、对讲装置及观察窗

DSA 室及核医学科 B 区内均已设置视频监控系统；DSA 室、SPECT/CT 扫描间及其控制室与之间分别设置有对讲装置及观察窗，便于工作人员通过对讲装置与患者联系，便于通过观察窗，观察患者和受检者状态防护门开闭情况。

5、操作过程中的防护措施

本项目 DSA 室已配备有铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套、剂量报警仪、个人剂量计等，各类防护用品除介入防护手套防护能力不低于 0.025mm

铅当量外，其余防护用品防护能力均不低于 0.5mm 铅当量。本项目个人防护用品如图 10-9 所示。

图 10-9 DSA 室个人防护用品

本项目核医学科 B 区已配备铅衣，戴铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽等，均具备 0.5mmPb 当量。医生在进行放射性药品的分药操作时首先做好个人防护，分药操作均在手套箱内进行，手套箱底部设有废物铅桶，用于暂时收集放射性废物。

图 10-10 核医学科 B 区个人防护用品及手套箱

(二) 辐射安全防护措施

1、⁹⁰Y 微球介入手术的时空管控

本项目 ⁹⁰Y 微球注射液采用订单制生产，患者通过评估后，医院向药物供应商下订单，由制药厂家在每周六进行生产，并于周二下午送达医院，药品有效期为自校准时间（周五早上 7 点，校准活度为 $3GBq \pm 10\%$ ）起 24 小时，即该药品在周六早上 7 点失效。

本项目患者给药量将根据肝癌患者评估的情况，通过计算模型计算患者处方剂量，分装不同活度的 ⁹⁰Y 微球注射液。对于小肝癌、乏血供的患者，需要输注数量少、活度高的微球；对于大肝癌、富血供、多病灶的患者，需要输注大量的微球覆盖，即对于同等活度的 ⁹⁰Y 微球注射液，部分患者适合输注数量少但比活度高的 ⁹⁰Y 微球，部分患者适合输注数量多但比活度低的 ⁹⁰Y 微球。

综上所述，医院将根据患者实际情况合理选择手术时间，以达到最佳的治疗效果，医院拟安排需接受高比活度微球患者于每周三下午在 DSA 室内接受药物输注，安排需接受低比活度微球患者于每周四或周五下午在 DSA 室内接受药物输注，每台介入输注手术均安排至该场所当天最后一台手术进行，介入输注手术结束后当天该 DSA 室不再进行其他常规介入手术。

介入输注完成后的患者转运期间，将暂停 DSA 室（2）的人流及物流转运，禁止无关人员进入该手术区域，避免人员与 ⁹⁰Y 微球患者产生交叉，受到不必要的照射。

2、药物转运的管控

本项目分装好的药物由专人转运，经各建筑物内室内连廊运送至 DSA 室内开展介入输注。

为了避免药物转运与其他人员产生交叉情况，医院拟将手术安排在人流量较少的时间段进行，转运前将在转运路线所经区域进行清场并设置临时警戒线，并在各交叉路口处安排安保人员进行临时管控，药物转运路线由专人引导，避免公众靠近，以减少其他人员与药物接触的几率。

3、⁹⁰Y 微球患者转移管理

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 B，表 B.1 放射治疗患者出院时体内放射性核素活度的要求，钇-90 植入患者出院时体内放射性活度应 $\leq 2500\text{MBq}$ ，本项目对单个患者的钇-90 最大植入量为 2.5GBq （ 2500MBq ），低于出院活度限值要求，患者术后留观为医学留观。

由于本项目手术期间禁止无关人员逗留，转运前将在转运路线所经区域进行清场并设置临时警戒线，并在各交叉路口处安排安保人员进行临时管控，故患者在完成微球输注手术后被送入核医学病房的过程中对家属及周围公众造成辐射影响较小，医院在移动患者的过程中需注意以下几点以进一步减少其辐射影响：

①在患者身体遮盖 0.5mm 铅当量的铅方巾；

②移动患者时应尽量避开人员较为集中的时段，患者转移前对转移路径所经区域进行巡检，暂停 DSA 室（2）的人流及物流转运，禁止无关人员进入该手术区域，必要时进行清场；随后快速、平稳地将患者送至专留观室；

③患者留观室门口设置电离辐射警告标志，警示周围人群远离；

④提醒患者家属注意与患者保持距离，尽量减少与患者近距离接触的时间。医护人员查房，家属成员如需长时间陪护应与患者保持 1m 以上的距离。

⑤应严密注意患者动向，禁止患者在核医学病房外停留，严禁无关人员进入核医学病房。

4、术后监测及解控

手术结束后对所有辐射工作人员体表、手术床、工作台面、工作椅及地面等区域进行表面污染水平监测，根据 GB18871-2002：“工作台、设备、墙壁、地面的 β 表面污染应小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，辐射工作人员工作服、手套、工作鞋的 β 表面污染应小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，手、皮肤、内衣、工作袜的 β 表面污染应小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ”。

若表面污染水平超过控制水平，应采取相应的去污措施，在清洁后须用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，该污染区未达到控制标准，应用

酒精浸湿药棉或纸巾继续擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止，擦拭物收集至放射性固体废弃物衰变桶中，作为放射性固体废物进行处理。

待表面污染水平监测合格且污物转运完毕后，可对 DSA 室 进行解控。

三、辐射安全防护设施对照分析

根据《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》和《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查大纲》（川环函[2016]1400 号），将本项目的设施、措施进行对照分析，见表 10-4。

表 10-4 本项目辐射安全防护设施对照分析表

项目	规定的措施	落实情况	备注	
核医学科项目	场所设施	四周墙体+屋顶屏蔽	利旧	/
		出入口缓冲间	利旧	/
		铅防护门	利旧	/
		观察窗	利旧	/
		负压工作场所	利旧	/
		病人专用卫生间	利旧	/
		废气及废水处理设施	利旧	/
		放射性废物暂存间	利旧	/
		视频监控与对讲系统	利旧	/
		出入口处电离辐射警示标志	利旧	/
		工作状态显示	利旧	/
		进出口单向门禁	利旧	/
DSA	场所设施	四周墙体+屋顶屏蔽	利旧	/
		铅防护门	利旧	/
		观察窗	利旧	/
	警示设施	出入口处电离辐射警示标志	利旧	/
		急停按钮	利旧	/
		工作状态显示	利旧	/
监测设备	固定式报警仪	利旧	/	
	便携式 X- γ 巡检仪	利旧	/	
	表面沾污仪	利旧	/	
	个人剂量报警仪	利旧	/	
	个人剂量计	利旧	/	

四、环保投资

为了保证本项目安全持续开展，根据相关要求，医院将投入一定资金新增配备相应的监测仪器和防护用品，本项目环保投资估算见表 10-5。

表 10-5 环保设施及投资估算一览表

项目	规定的措施	数量	金额 (万元)	备注	
SPECT/ CT 扫描 间	场所 设施	四周墙体+屋顶屏蔽	/		
		铅防护门			
		观察窗			
		废气及废水处理设施			
		放射性废物暂存间			
		视频监控与对讲系统			
		当心电离辐射警告标志			
		工作状态显示灯			
		进出口单向门禁			
	监测 设备	个人剂量报警仪			
		个人剂量计			
		便携式辐射巡测仪			
		表面污染水平检测仪			
DSA 项目	场所 设施	四周墙体+屋顶屏蔽			
		铅防护门			
		观察窗			
	警示 设施	工作状态显示			
		当心电离辐射警告标志			
	监测 仪器	表面污染仪			
		便携式辐射巡测仪			
		个人剂量报警仪			
		个人剂量计			
	个人 防护 用品	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等			
		患者转运防护铅橡胶围裙或铅方巾			
		一次性防污染手术服等			
	废物 处理	铅废物桶			
	其他	其他环保投资（人员个人剂量监测及职业健康体检、人员培训、应急物资、验收监测等）			
	/	合计			

本项目总投资 万元，环保投资约 万元，占总投资的 。今后医院在核技术利用项目实践中，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、放射性废物

本项目运行期产生的主要放射性“三废”为工作场所使用非密封放射性同位素过程中产生的放射性废气、放射性废水和放射性固体废物，本项目拟采取以下“三废”防治措施。

（一）放射性废气

游离的⁹⁰Y核素以氯化钇⁹⁰YCl₃形式存在，其挥发性极低。本项目核医学科B区及DSA室均为医院已有工作场所，项目运行期间产生的废气均依托原有环保设施处理。

（二）放射性废水

本项目放射性废水主要为患者留观过程中产生的尿液等排泄物，本项目术后患者在核医学病房3留观约6h，该病房设置专用厕所，患者排泄物经已有管道排至核医学病房衰变池内暂存衰变，该衰变池位于第二住院楼南侧地下，设置有3个衰变池，单个衰变池体有效容积分别为71.4 m³、71.4 m³和77 m³，总有效容积为219.8m³。

1、衰变池的运行原理

核医学科衰变池为3格并联衰变池，单个池体有效容积为120m³，每级均设置取样口。运行时当1#池体内废水装满时关闭出水阀门和进水阀门，废水排入2#池体内，当2#池废水装满时采取同样的操作方式进行封闭衰变，废水排入3#池体内当3#池废水装满时对1#衰变池进行取样监测，监测达标后通过抽水泵将废水排入医院污水管网最后通过医院污水处理站处理后达标排放市政污水管网，依次往复循环使用。

2、衰变池容量可行性分析

根据医院提供资料，核医学病房现有诊断患者每天最多约6人，本次⁹⁰Y（半衰期为2.64d）介入治疗术后患者留观约1人/周。患者产生的废水量参考《建筑给排水设计规范》（GB 50015-2019）表3.2.2生活用水定额及表4.10.15-1每人每日计算污水量，同时根据该建设项目预期人数，本项目废水产生情况见表10-6：

表10-6 本项目废水产生情况一览表

序号	用水类别		单人单次废水量 (L)	日诊疗人数 (人次)	周产生废水 (L)	备注
1	本项目	第二阶段输入 ⁹⁰ Y术后留观患者	10L	1	50	

		工作人员	20L	2	200
2	核医学病房	核素住院患者	150L	6	4500
		工作人员	20L	2	200
合计					4950 (4.95m ³)

注：1.核医学病房每周工作时间为 5d，工作人员不在此长时间居留（给药后即离开）；

2. 第二阶段输入 ⁹⁰Y 术后留观患者废水产生量保守参考显像诊断患者。

本项目核医学科已有半衰期衰变池系统由 3 个衰变小池组成，衰变池并联运行，总容积为 219.8m³，该场所每周产生废水约 4.95m³，保守按照装满 2 个池子的容积（71.4×2=142.8 m³）进行核算，则装满 2 个池子需要约 28.8 周（142.8m³/4.95m³/周），即 201 天（7d/周），该衰变池容积能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天）”的要求。

综上所述，原有衰变池容积可满足本项目术后患者产生的放射性废水暂存，放射性废水暂存达排放要求后通过预留检测口进行取样，监测达标后排入医院污水处理站处理后排放。

（三）放射性固体废物

1、放射性固废处理措施

本项目治疗操作过程中产生的放射性固体废物主要有 V 瓶、一次性使用输注装置、输注导管、纱布、手套、有机玻璃防护罐及含剩余药物的西林瓶等放射性固废。

本项目 DSA 室产生的放射性固废采用专用塑料袋分类收集后暂存于放射性固体废物收集桶并及时转移至西侧放射性废物暂存间铅废物桶内封闭衰变，含 ^{99m}Tc 核素废物暂存时间超过 30 天，含 ⁹⁰Y 核素超过其半衰期的 10 倍后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β 表面污染小于 0.8Bq/cm² 后，按照医疗废物执行转移联单制度，最终交由有资质单位进行统一收集、清运和处理；核医学科产生的放射性废物依托原有环保设施进行处理。

2、贮存能力分析

本项目 DSA 室采用介入输注的方式给患者施药，因此该部分患者治疗过程中产生的固体废物主要有 V 瓶、一次性使用输注装置、输注导管、纱布、手套、有机玻璃防护罐及含剩余药物的西林瓶等约，若发生撒漏则还可能产生吸水纸、去污用纸、医护人员手套、手术服、口罩、眼罩、有机玻璃盒子等废物，则项目可能产生的放射性

固体废物约 5000cm³/人, 治疗人数约 1 人/周, 则每周产生的放射性固废量约为 0.005m³/周, 即 5L/周。

本项目放射性废物暂存间面积约为 3m², 总容积约为 9 m³, 可用容积保守取总容积的 80%, 即 7.2m³, 内部设置有 2 个容积 20L 的铅废物桶, 可满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)中规定的“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 天和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”的要求。

二、非放射性废物

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

1、生活污水和生活垃圾处理措施

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

2、废气处理措施

本项目使用的II、III类射线装置在工作状态时, 会使空气电离产生少量的臭氧(O₃)和氮氧化物(NO_x), 少量臭氧和氮氧化物可通过工作场所已有排风装置排出, 臭氧 50 分钟后自动分解为氧气, 这部分废气对周围环境影响较小。

3、噪声治理措施

本项目噪声源为机房通排风系统的风机, 本项目所使用的通排风装置为低噪设备, 经建筑物墙体隔声及医院场址内的距离衰减后, 对周围环境影响较小。

4、射线装置报废处理

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

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目依托医院原已许可工作场所进行，项目涉及的工作场所均已进行环境影响评价，本次不涉及工作场所的改动。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

(一) 原有工作场所辐射环境影响分析

1、DSA 室

本项目 DSA 室屏蔽和防护措施已按照环评及批复要求落实，根据 2024 年度辐射工作场所监测报告显示（详见附件 6）：“DSA 室内设备正常运行时，其机房周围 X- γ 辐射剂量率为（0.10~0.13） $\mu\text{Sv/h}$ ，满足标准要求”。

综上所述，本项目 DSA 室屏蔽和防护措施满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）相关标准要求。本项目仅在原有工作场所内新增使用放射性核素（ ^{90}Y 及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ），新增核素 ^{90}Y 为纯 β 核素， β 射线穿透能力较低，故本项目主要考虑核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 产生的 γ 射线、核素 ^{90}Y 产生的韧致辐射及 DSA 设备产生的 X 射线对周围环境的辐射影响。

2、核医学科 B 区

本项目核医学科 B 区屏蔽和防护措施已按照环评及批复要求落实，根据 2024 年度辐射工作场所监测报告显示（详见附件 6）：“SPECT/CT 内设备正常运行时，其机房周围 X- γ 辐射剂量率为（0.12~0.16） $\mu\text{Sv/h}$ ，核医学科工作场所各监测点 β 表面污染水平小于 0.08Bq/cm^2 （LLD= 0.08Bq/cm^2 ），均满足标准要求”。

综上所述，本项目核医学科 B 区屏蔽和防护措施满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）等相关标准要求。本项目仅在原有工作场所内增加放射性核素用量（ ^{90}Y ），且核素 ^{90}Y 为纯 β 核素， β 射线穿透能力远低于核医学科场所使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等核素产生的 γ 射线，本项目不涉及原工作场所屏蔽体及平面布局改动，经工作场所、手套箱及源罐屏蔽体屏蔽后，对周围环境辐射影响较小。

(二) ⁹⁰Y 微球介入治疗项目辐射环境影响分析

1、第一阶段 ^{99m}Tc 使用过程环境影响分析

⁹⁰Y 微球介入治疗项目分为 2 个阶段，第一阶段需使用锝标记聚合白蛋白（^{99m}TcMAA）注入肝动脉，以评估患者是否适合此项治疗，该阶段需依托医院现有第一住院楼内 DSA 室开展介入输注，同时需依托核医学科 B 区现有 SPECT/CT 扫描间进行显像扫描，核素 ^{99m}Tc 主要产生 γ 辐射影响。

参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I 中第 1.2 款 ^{99m}Tc 诊断、¹³¹I 治疗、PET 等工作场所的屏蔽计算，保守起见，所有核素（如 ^{99m}Tc、¹³¹I、¹⁸F 等）工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法：

$$x = TVL \times \lg\left(\frac{A \times \Gamma}{\dot{H}_P \times r^2}\right) \dots \dots \dots (I.1)$$

由公式 I.1 推导可得：

$$\dot{H}_P = \frac{A \times \Gamma}{r^2} 10^{\left(-\frac{x}{TVL}\right)} \dots \dots \dots \text{公式 11-1}$$

上式中： \dot{H}_P —屏蔽体外关注点剂量率（μSv/h）；

A —单个患者或者受检者所用放射源的最大活度（MBq）；

Γ —距源 1m 处的周围剂量当量率常数（μSv·m²/MBq·h）；

r —放射源到考察点的距离（m）；

x —屏蔽厚度（mm）；

TVL —γ射线的十分之一值层厚度（mm），由《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）查出铅、混凝土和实心砖对 ^{99m}Tc 值层。

本项目单次使用 ^{99m}Tc 的最大活度为 1.50×10⁸Bq，查《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020），放射性核素 ^{99m}Tc 的周围剂量当量率常数（裸源）为 0.0303μSv·m²/MBq·h，患者体内注射 ^{99m}Tc 时放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率常数为 0.0207μSv·m²/MBq·h。

根据公式 11-1 可估算出项目周围各参考点处的辐射水平，关注点位详见图 11-1~图 11-2，预测结果见表 11-1。

图 11-1 关注点位布置图

图 11-2 关注点位布置图

表 11-1 ^{99m}Tc γ 射线所致辐射计算参数及结果

序号	关注点位置	源强 (Bq)	距离 (m)	屏蔽材料及厚度	透射比	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
1	分装工作位	1.85×10^{10}			1.00×10^{-12}	2.24×10^{-9}	12mmPb 手套箱
2	^{99m}Tc 药物转运位	1.50×10^8			1.00×10^{-8}	1.82×10^{-7}	8mmPb 铅罐
3	DSA 室东侧屏蔽墙外 30cm 处	1.50×10^8			3.16×10^{-2}	6.46×10^{-3}	输注过程
4	DSA 室东南侧防护门外 30cm 处	1.50×10^8			1.00×10^{-3}	1.41×10^{-4}	
5	DSA 室南侧屏蔽墙外 30cm 处	1.50×10^8			3.16×10^{-2}	6.80×10^{-3}	
6	DSA 室西南侧防护门外 30cm 处	1.50×10^8			1.00×10^{-3}	1.47×10^{-4}	
7	DSA 室西侧观察窗外 30cm 处	1.50×10^8			1.00×10^{-3}	2.04×10^{-4}	
8	DSA 室北侧屏蔽墙外 30cm 处	1.50×10^8			3.16×10^{-2}	6.80×10^{-3}	
9	DSA 室东北侧防护门外 30cm 处	1.50×10^8			1.00×10^{-3}	1.60×10^{-4}	
10	DSA 室顶部距地面 100cm	1.50×10^8			2.31×10^{-2}	3.39×10^{-3}	
11	DSA 室第一术者位	1.50×10^8			0.100	1.242	
12	DSA 室第二术者位	1.50×10^8			0.100	0.311	
13	患者转运位	1.50×10^8			0.316	3.928	
14	SPECT/CT 扫描间患者摆位	1.50×10^8			3.16×10^{-3}	3.93×10^{-2}	铅服 0.5mmPb 铅屏风 2mmPb
15	SPECT/CT 扫描间东侧观察窗外 30cm 处	1.50×10^8			3.16×10^{-4}	4.64×10^{-5}	扫描过程
16	SPECT/CT 扫描间东南侧防护门外 30cm 处	1.50×10^8			3.16×10^{-4}	6.46×10^{-5}	
17	SPECT/CT 扫描间南侧屏蔽墙外 30cm 处	1.50×10^8			1.00×10^{-3}	2.69×10^{-4}	
18	SPECT/CT 扫描间西南侧防护门外 30cm 处	1.50×10^8			3.16×10^{-4}	4.44×10^{-5}	
19	SPECT/CT 扫描间西侧屏蔽墙外 30cm 处	1.50×10^8			1.00×10^{-3}	1.47×10^{-4}	
20	SPECT/CT 扫描间北侧屏蔽墙外 30cm 处	1.50×10^8			1.00×10^{-3}	2.69×10^{-4}	
21	SPECT/CT 扫描间顶部距地面 100cm 处	1.50×10^8			1.00×10^{-3}	1.76×10^{-4}	

根据表 11-1 可知, 本项目正常运行过程中, 各工作场所周围各关注点处辐射剂量率均满足标准要求。

(1) DSA 室辐射剂量率叠加影响

本项目 ^{99m}Tc 输注过程中需交替进行 DSA 透视操作 2 到 3 次, 观察药品注入情况, DSA 设备出束过程中会产生 X 射线, 故本项目保守对放射性药物操作过程及 DSA 设备出束过程中关注点处的辐射剂量率进行叠加估算。

本项目 DSA 在透视时的常规运行工况为 80kV/20mA, 由《辐射防护手册 (第一分册)》(李德平 潘自强著) 给出的 X 射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式 (公式 10.10) 进行推导, 得到散射线在关注点处的辐射剂量率的计算公式:

散射剂量率 \dot{H}_s 的计算公式:

$$\dot{H}_s = \frac{\dot{X}}{a_0^2 \cdot a_s^2} \cdot I \cdot \mu \cdot \eta \cdot \left(\frac{a}{400}\right) \cdot S \cdot B_s \times 8.76 \times 10^3 \times 60 \times K_a \cdots \cdots \text{公式 11-2}$$

式中: \dot{H}_s —关注点处散射辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

\dot{X} —每 mA 管电流产生的 X 射线在 1m 处的照射量率, $\text{R} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; 本项目 DSA 滤过保守考虑为 2.5mmAl, 根据《辐射防护手册》(第一分册) 图 4.4c (不同管电压对应的 X 射线照射量率) 内容, 当管电压为 80kV (最大运行工况) 时, 内插法得照射量率 \dot{X} 为 $0.6\text{R} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$;

I —管电流, mA; 本项目 DSA 透视模式下正常使用的最大管电流取 20mA;

a —人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值, 本项目最大常用管电压为 80kV, 对于散射线向机房四侧墙体投射的情况, 从《放射防护实用手册》表 6.26 中采用内插法查取散射角 90° 时 80kV 对应的 a 值为 0.0008。

S —主束在受照人体上的散射面积, 本项目取 100cm^2 ;

d_0 —源至受照点的距离, 根据设备参数确定, 本项目取 d_0 取 0.6m (符合 ICRP 33 号报告第 98 段关于使用固定式 X 射线透视检查设备的焦皮距的要求);

d_s —受照体至关注点的距离;

B_s —屏蔽材料对散射线的透射因子;

K_a —有效剂量与空气比释动能转换系数, Sv/Gy, 查《外照射放射防护剂量转换系数标准》(WS/T 830-2024) 表 G.2, K_a 值取 1.60。

泄漏辐射剂量率采用下式计算:

$$H_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2} \cdot K_a \dots \dots \dots \text{公式 11-3}$$

式中： H_i —距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，mGy/h；本项目取 1mGy/h；

B ——复合手术室各屏蔽体的泄漏射线屏蔽透射因子，本项目取 80kV（本项目正常运行最大管电压）工况下机房四周屏蔽墙及地面的泄漏射线屏蔽透射因子；

r ——X 射线源至关注点的距离；

K_a ——有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，查《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）表 G.2，DSA 的 K_a 值取 1.67。

第一及第二术者位透视模式运行时的辐射剂量率计算结果如表 11-2 所示。

表 11-2 DSA 运行时 DSA 手术室内辐射工作人员剂量率估算结果

预测点位	B		$X^{\text{①}}$ (mm)	模 式	d (m)	X 射线辐射剂量率 (μSv/h)		
	散射线	漏射线				散射线	漏射线	合计
第一术者位 ^②	2.84×10^{-4}	1.43×10^{-3}	1.0	透视	0.5	6.34	9.55	15.89
第二术者位 ^③	2.84×10^{-4}	1.43×10^{-3}	1.0	透视	1.0	1.58	2.39	3.97

注：①X 为屏蔽材料的等效铅当量厚度。

DSA 运行时关注点处辐射剂量率取自 2024 年年度监测报告（详见附件 6），其中第一及第二术者位辐射剂量率如上表所示，^{99m}Tc 输注过程中叠加结果如表 11-3 所示。

表 11-3 ^{99m}Tc 输注过程中 DSA 室关注点处辐射剂量率叠加结果

关注点位置		关注点处辐射剂量率 (μSv/h)		
		^{99m} Tc 输注过程	DSA 运行	合计
DSA 室	东侧屏蔽墙外 30cm 处	6.46×10^{-3}	0.10	0.11
	东南侧防护门外 30cm 处	1.41×10^{-4}	0.11	0.11
	南侧屏蔽墙外 30cm 处	6.80×10^{-3}	0.11	0.12
	西南侧防护门外 30cm 处	1.47×10^{-4}	0.12	0.12
	室西侧观察窗外 30cm 处	2.04×10^{-4}	0.11	0.11
	北侧屏蔽墙外 30cm 处	6.80×10^{-3}	0.11	0.12
	东北侧防护门外 30cm 处	1.60×10^{-4}	0.13	0.13
	室顶部距地面 100cm	3.39×10^{-3}	0.12	0.12
	第一术者位	1.242	15.89	17.13
	第二术者位	0.311	3.97	4.28

注：DSA 运行时关注点处辐射剂量率取自 2024 年年度监测报告监测结果。

综上所述，第一阶段 ^{99m}Tc 使用过程中 DSA 室外各关注点辐射剂量率均低于 2.5μSv/h，满足相关标准要求。

(2) SPECT/CT 扫描间辐射剂量率叠加影响

本阶段输注核素 ^{99m}Tc 后需进行 SPECT/CT 显像扫描，SPECT/CT 开机出束过程中将产生 X 射线，故本项目保守对 SPECT/CT 设备出束过程中关注点处的辐射剂量率进行叠加估算，叠加结果如表 11-4 所示。

表 11-4 ^{99m}Tc 扫描过程中 SPECT/CT 扫描间外关注点处辐射剂量率叠加结果

关注点位置		关注点处辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		
		^{99m}Tc 扫描过程	SPECT/CT 运行	合计
SPECT/CT 扫描间	东侧观察窗外 30cm 处	4.64×10^{-5}	0.14	0.14
	东南侧防护门外 30cm 处	6.46×10^{-5}	0.16	0.16
	南侧屏蔽墙外 30cm 处	2.69×10^{-4}	0.14	0.14
	西南侧防护门外 30cm 处	4.44×10^{-5}	0.15	0.15
	西侧屏蔽墙外 30cm 处	1.47×10^{-4}	0.14	0.14
	北侧屏蔽墙外 30cm 处	2.69×10^{-4}	0.15	0.15
	顶部距地面 100cm 处	1.76×10^{-4}	0.16	0.16

注：SPECT/CT 运行时关注点处辐射剂量率取自 2024 年年度监测报告监测结果（CT 工况：120kV/300mAs），监测时注射核素后病人正在机房内进行显像。

上述表 11-4 内 SPECT/CT 运行时机房外各关注点处辐射剂量率引自 2024 年年度监测报告，由于监测时注射核素后病人正在进行显像扫描，故本项目实际运行过程中，SPECT/CT 扫描间外关注点处辐射剂量率将小于上表 11-4 内估算值。

综上所述，第一阶段 ^{99m}Tc 使用过程中 SPECT/CT 扫描间外各关注点辐射剂量率均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足相关标准要求。

2、第二阶段 ^{90}Y 微球辐射环境影响分析

本次新增 ^{90}Y 微球治疗项目涉及的 ^{90}Y 放射性核素为 β -衰变，衰变时仅产生 β -射线， β 射线与物质相互作用会产生韧致辐射，因而在评价工作场所的辐照水平时，需要同时考虑 β 射线和韧致辐射。

(1) β 射线辐射影响分析

β 粒子在低 Z 物质中的射程，与能量等于 β 粒子最大能量的单能电子的射程是一样的，可以采用方杰主编的《辐射防护导论》中的公式（4.15）进行计算：

$$d \approx R/\rho \cdots \cdots \text{公式 11-4}$$

上式中： d — β 粒子的与最大射程，cm；

R — β 粒子在低 Z 物质中的射程， g/cm^2 ；

ρ —物质的密度， g/cm^3 。

本项目 ^{90}Y 核素衰变放出的 β 射线能量约为 2.284MeV，其在低 Z 物质中的射程

R 可根据方杰主编的《辐射防护导论》中的公式（4.13）进行计算：

$$R = 0.412 \cdot E^{(1.265-0.0954 \cdot \ln E)} \dots\dots \text{公式 11-5}$$

上式中： E — β 射线的能量，MeV； $0.01 < E < 2.5$ MeV。

主要计算参数及结果见表 11-5。

表 11-5 与最大射程对应的防护厚度计算参数及结果

核素	β 射线最大能量 (MeV)	屏蔽材料	材料密度 (g/cm ³)	对应的防护厚度 (cm)
⁹⁰ Y	2.284	空气	0.001293	848.8
		普通玻璃	2.4~2.6	0.422~0.457
		有机玻璃	1.18	0.930
		铅	11.34	0.097
		水	1	1.10
		塑料	1.4	0.784
		混凝土	2.35	0.467

药品被放置在 10mm 有机玻璃瓶外加 6.4mm 铅罐，药物转运时将装有药品的铅罐放进 4.2mm 塑料桶，再装入 10mm 有机玻璃瓶桶内，DSA 室屏蔽厚度大于 β 射线在相应介质中的射程；⁹⁰Y 发射纯 β 射线，辐射范围小，在组织中最大穿透为 11mm（考虑到人体组织的有效原子序数、原子量与水很相近，因此软组织采用等效数据），⁹⁰Y 微球患者在转运至专用留观病房并在内留观期间，患者组织可对 β 射线起到屏蔽作用，因此本项目 β 射线对辐射环境影响较小。

（2） β 射线所致韧致辐射影响分析

β 射线与物质相互作用会产生韧致辐射，在进行韧致辐射环境影响预测时，将 ⁹⁰Y 微球及已输注 ⁹⁰Y 微球的患者简化成点源，其周围空气比释动能率可近似按照点源模式计算，采用方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算 β 射线产生的韧致辐射在考察点处空气中的吸收剂量率：

$$\dot{D} = 4.58 \times 10^{-14} A Z_e \left(\frac{E_b}{r} \right)^2 \cdot (\mu_{en}/\rho) \cdot q \cdot \eta \dots\dots \text{公式 11-6}$$

上式中： \dot{D} —是屏蔽层中由 β 粒子产生的韧致辐射在考察点处空气中的吸收剂量率，Gy/h；

A —放射源的活度，Bq；

Z_e —吸收 β 粒子的屏蔽材料（或靶核）的有效原子序数，由《辐射防护导论》表 4.4 查得；

E_b — β 粒子的平均能量, MeV; 根据《辐射防护导论》表 4.1, ^{90}Y 核素的 β 粒子的平均能量为 0.9348 MeV;

r —放射源到考察点的距离, m;

μ_{en}/ρ —平均能量为 E_b 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数, m^2/kg , 其值可由《辐射防护导论》附表 1 查得;

q —居留因子, 本项目保守取 1;

η —透射比, $K=1/\eta$; 本项目保守取《辐射防护导论》附表 9~11 中 1.0MeV 减弱倍数 K , 并采用内插法及外插法进行估算。

医院订购的 ^{90}Y 微球每瓶活度约为 3.0GBq, 放置在具有 6.4mm 铅防护罐中, ^{90}Y 微球一般于手术前 1 天由供货商送达, 经质检人员核对放射性药物名称、活度, 检查药品包装和外观质量, 与供药公司办理交接手续、做好登记后, 妥善放入核医学科 B 区高活性室内, 使用时在现有的手套箱内抽取合适剂量的 ^{90}Y 微球注入 V 瓶, 放置于注射防护盒内, 防护盒置于防护罐中送入 DSA 室。

在进行韧致辐射预测时做以下保守假设: ① ^{90}Y 微球注射入人体后, 放射源至参考点之间的屏蔽材料取水 (人体); ②居留因子 q 取 1。

关注点位详见图 11-3~图 11-5, β 射线所致韧致辐射计算参数及结果见表 11-6。

图 11-3 关注点位布置图

图 11-4 关注点位布置图

图 11-5 关注点位布置图

表 11-6 β 射线所致韧致辐射计算参数及结果

点位	关注点位置	放射源活度 (Bq)	有效原子序数 Z_e	β 粒子的平均能量 E_b (MeV)	距离 (m)	质量能量吸收系数 μ_{en}/ρ	屏蔽材料及厚度	透射比 η	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
1	分装工作位	2.50×10^9	5.85					0.013	0.085	药物分装过程
2	药物转运位	2.50×10^9	5.85					0.742	4.842	药物转运过程
3	DSA 室东侧屏蔽墙外 30cm 处	2.50×10^9	6.66					0.311	0.038	输注过程
4	DSA 室东南侧防护门外 30cm 处	2.50×10^9	6.66					1.000	0.084	
5	DSA 室南侧屏蔽墙外 30cm 处	2.50×10^9	6.66					0.311	0.040	
6	DSA 室西南侧防护门外 30cm 处	2.50×10^9	6.66					1.000	0.088	
7	DSA 室西侧观察窗外 30cm 处	2.50×10^9	6.66					1.000	0.122	
8	DSA 室北侧屏蔽墙外 30cm 处	2.50×10^9	6.66					0.311	0.040	
9	DSA 室东北侧防护门外 30cm 处	2.50×10^9	6.66					1.000	0.096	
10	DSA 室顶部距地面 100cm	2.50×10^9	6.66					0.282	0.025	
11	DSA 室第一术者位	2.50×10^9	6.66					1.000	7.429	
12	DSA 室第二术者位	2.50×10^9	6.66					1.000	1.857	
13	患者转运位	2.50×10^9	6.66					1.000	7.429	转运位

14	核医学病房3 东侧屏蔽 墙外 30cm 处	2.50×10^9	6.66					0.162	0.134	留观 过程
15	核医学病房3 东南侧防 护门外 30cm 处	2.50×10^9	6.66					1.000	0.643	
16	核医学病房3 南侧屏蔽 墙外 30cm 处	2.50×10^9	6.66					0.100	0.046	
17	核医学病房3 西侧屏蔽 墙外 30cm 处	2.50×10^9	6.66					0.100	0.012	
18	核医学病房3 北侧屏蔽 墙外 30cm 处	2.50×10^9	6.66					0.100	0.229	
19	核医学病房3 顶部距地 面 100cm 处	2.50×10^9	6.66					0.078	0.009	
20	SPECT/CT 扫描间患者 摆位	2.50×10^9	6.66					1.000	7.429	摆位
21	SPECT/CT 扫描间东侧 观察窗外 30cm 处	2.50×10^9	6.66					1.000	0.088	扫描 过程
22	SPECT/CT 扫描间东南 侧防护门外 30cm 处	2.50×10^9	6.66					1.000	0.122	
23	SPECT/CT 扫描间南侧 屏蔽墙外 30cm 处	2.50×10^9	6.66					0.115	0.018	
24	SPECT/CT 扫描间西南 侧防护门外 30cm 处	2.50×10^9	6.66					1.000	0.084	
25	SPECT/CT 扫描间西侧 屏蔽墙外 30cm 处	2.50×10^9	6.66					0.115	0.010	
26	SPECT/CT 扫描间北侧 屏蔽墙外 30cm 处	2.50×10^9	6.66					0.115	0.018	
27	SPECT/CT 扫描间顶部	2.50×10^9	6.66					0.597	0.063	

距地面 100cm 处									
-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

注：1.保守不考虑核素衰变。

2. 370mm 实心砖（密度不低于 1.65g/cm³）保守折算为 259.8mm 混凝土（密度不低于 2.35g/cm³）估算，240mm 实心砖（密度不低于 1.65g/cm³）保守折算为 168.5mm 混凝土（密度不低于 2.35g/cm³）估算，20mm 硫酸钡水泥（密度不低于 3.2g/cm³）保守折算为 27mm 混凝土（密度不低于 2.35g/cm³）估算。

根据表 11-6 可知，⁹⁰Y 微球患者留观过程中周围关注点处辐射剂量率均低于 2.5μSv/h。

综上所述，本项目正常运行过程中，各工作场所周围各关注点处辐射剂量率均满足标准要求。

(3) DSA 室辐射剂量率叠加影响

本项目 ⁹⁰Y 微球输注过程中需交替进行 DSA 透视操作 2 到 3 次，观察药品注入情况，完成 ⁹⁰Y 微球注入后，辐射工作人将再次进行透视和摄影工作，主要查看微球注入部位是否达到预期部位，DSA 设备出束过程中将产生 X 射线。

本项目保守对放射性药物操作过程及 DSA 设备出束过程中关注点处的辐射剂量率进行叠加估算，DSA 运行时关注点处辐射剂量率取自 2024 年年度监测报告（详见附件 6），叠加结果如表 11-7 所示。

表 11-7 ⁹⁰Y 输注过程中 DSA 室外关注点处辐射剂量率叠加结果

关注点位置		关注点处辐射剂量率 (μSv/h)		
		⁹⁰ Y 核素影响	DSA 运行	合计
DSA 室	东侧屏蔽墙外 30cm 处	0.038	0.10	0.14
	东南侧防护门外 30cm 处	0.084	0.11	0.19
	南侧屏蔽墙外 30cm 处	0.040	0.11	0.15
	西南侧防护门外 30cm 处	0.088	0.12	0.21
	室西侧观察窗外 30cm 处	0.122	0.11	0.23
	北侧屏蔽墙外 30cm 处	0.040	0.11	0.15
	东北侧防护门外 30cm 处	0.096	0.13	0.23
	室顶部距地面 100cm	0.025	0.12	0.14
	第一术者位	7.429	15.89	23.32
	第二术者位	1.857	3.97	5.83

注：DSA 运行时关注点处辐射剂量率取自 2024 年年度监测报告监测结果，引用监测结果保守均以 1Sv/Gy 计算。

综上所述，第二阶段 ⁹⁰Y 使用过程中 DSA 室外关注点辐射剂量率均低于 2.5μSv/h，满足相关标准要求。

(4) SPECT/CT 扫描间辐射剂量率叠加影响

本阶段输注 ⁹⁰Y 约 24h 后需进行 SPECT/CT 显像扫描，SPECT/CT 开机出束过程中将产生 X 射线，故本项目保守对 SPECT/CT 设备出束过程中关注点处的辐射剂量率进行叠加估算，叠加结果如表 11-8 所示。

表 11-8 ⁹⁰Y 扫描显像过程中 SPECT/CT 扫描间外关注点处辐射剂量率叠加结果

关注点位置	关注点处辐射剂量率 (μSv/h)		
	⁹⁰ Y 所致韧致辐射	SPECT/CT 运行	合计
SPECT/CT 扫描间东侧观察窗外 30cm 处	0.088	0.14	0.23
SPECT/CT 扫描间东南侧防护门外 30cm 处	0.122	0.16	0.28
SPECT/CT 扫描间南侧屏蔽墙外 30cm 处	0.018	0.14	0.16
SPECT/CT 扫描间西南侧防护门外 30cm 处	0.084	0.15	0.23
SPECT/CT 扫描间西侧屏蔽墙外 30cm 处	0.010	0.14	0.15
SPECT/CT 扫描间北侧屏蔽墙外 30cm 处	0.018	0.15	0.17
SPECT/CT 扫描间顶部距地面 100cm 处	0.063	0.16	0.22

注：SPECT/CT 运行时关注点处辐射剂量率取自 2024 年年度监测报告监测结果（CT 工况：120kV/300mAs），监测时注射核素后病人正在机房内进行显像，引用监测结果保守均以 1Sv/Gy 计算。

上述表 11-8 内 SPECT/CT 运行时机房外各关注点处辐射剂量率引自 2024 年年度监测报告，由于监测时注射核素后病人正在进行显像扫描，故本项目实际运行过程中，SPECT/CT 扫描间外关注点处辐射剂量率将小于上表 11-8 内估算值。

综上所述，第二阶段 ⁹⁰Y 使用过程中 SPECT/CT 扫描间外关注点辐射剂量率均低于 2.5μSv/h，满足相关标准要求。

3、已有工作场所同时运行时辐射剂量率叠加影响分析

第一住院楼 1 层共有 2 座 DSA 机房及 1 座 CT 检查室，3 座机房呈南北分布目前 CT 检查室、DSA 室（本项目依托）和 DSA 室（2）均已投入运行。

根据医院提供 2024 年年度监测报告显示（详见附件 6）：“（2）射线装置曝光时，机房外各关注点 X-γ 辐射剂量当量率最大监测结果为 0.12μSv/h，CT 检查室射线装置曝光时，机房外各关注点 X-γ 辐射剂量当量率最大监测结果为 0.12μSv/h，”。

综上所述，根据表 11-2 及表 11-8 可知 DSA 室在核素药物输注过程中，机房周围关注点 X-γ 辐射剂量当量率最大理论预测值为 0.23μSv/h，当 DSA 室及 DSA 室（2）同时运行时，其工作场所周围各关注点 X-γ 辐射剂量当量率最大为 0.47μSv/h，亦满足相关标准要求。

4、人员所受年有效剂量分析

根据辐射安全手册，人员年有效剂量计算公式如下：

$$E = H \times 10^{-3} \times q \times h \times W_T \dots \dots \dots \text{公式11-7}$$

式中：E—人员年有效剂量，mSv/a；

H —关注点处剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

q —居留因子, 全部居留取 1, 部分居留取 1/4, 偶尔居留取 1/16;

h —年照射时间, h ;

W_T —组织权重因子, 取 1。

(1) 辐射工作人员及公众年有效剂量

根据各关注点处估算的辐射剂量率, 结合工作时间、辐射工作人员和公众停留概率, 即可得到各关注点处辐射工作人员及公众的年受照剂量, 见表 11-9。

表 11-9 ⁹⁰Y 微球介入治疗项目工作场所辐射工作人员及公众年有效剂量估算

第一阶段							
关注点位置		关注点辐射剂量率 (μSv/h)	居留因子	受照时间	年有效剂量 (mSv/a)	关注对象	位置
分装工作位		2.24×10 ⁻⁹			1.87×10 ⁻¹¹	工作人员	手套箱
药物转运位		1.82×10 ⁻⁷			1.52×10 ⁻⁹	工作人员	/
DSA 室	东侧屏蔽墙外 30cm 处	0.11			3.33×10 ⁻⁴	工作人员	设备间
	东南侧防护门外 30cm 处	0.11			6.88×10 ⁻⁴	工作人员	走廊
	南侧屏蔽墙外 30cm 处	0.12			2.92×10 ⁻³	工作人员	操作室
	西南侧防护门外 30cm 处	0.12			3.00×10 ⁻³	公众	操作室
	西侧观察窗外 30cm 处	0.11			2.76×10 ⁻³	公众	操作室
	北侧屏蔽墙外 30cm 处	0.12			3.65×10 ⁻⁴	工作人员	楼梯间
	东北侧防护门外 30cm 处	0.13			4.07×10 ⁻⁴	公众	过道
	顶部距地面 100cm	0.12			3.86×10 ⁻⁴	公众	仪器室
	第一术者位	17.13			0.43	工作人员	机房内
	第二术者位	4.28			0.11	工作人员	机房内
患者转运		3.93			3.27×10 ⁻²	工作人员	/
SPECT/CT 扫描间 (^{99m} Tc 扫描过程)	扫描间患者摆位	3.93×10 ⁻²			3.27×10 ⁻⁵	工作人员	机房内
	东侧观察窗外 30cm 处	0.14			2.33×10 ⁻³	公众	控制室
	东南侧防护门外 30cm 处	0.16			2.67×10 ⁻³	公众	控制室
	南侧屏蔽墙外 30cm 处	0.14			2.92×10 ⁻⁴	公众	预留机房
	西南侧防护门外 30cm 处	0.15			6.25×10 ⁻⁴	公众	患者通道
	西侧屏蔽墙外 30cm 处	0.14			5.84×10 ⁻⁴	工作人员	患者通道
	北侧屏蔽墙外 30cm 处	0.15			3.13×10 ⁻⁴	工作人员	院内道路
	顶部距地面 100cm 处	0.16			6.67×10 ⁻⁴	公众	办公室

注：表内剂量率均已叠加射线装置运行时产生的 X 射线辐射影响。

表 11-10 ⁹⁰Y 微球介入治疗项目工作场所辐射工作人员及公众年有效剂量估算（续表）

第二阶段						
关注点位置	关注点辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	受照时间	年有效剂量 (mSv/a)	关注对象	位置
⁹⁰ Y 微球分装工作位	0.085			7.07×10^{-4}	工作人员	手套箱
⁹⁰ Y 微球药物转运位	4.842			4.03×10^{-2}	工作人员	/
DSA 室 (⁹⁰ Y 输注过程)	东侧屏蔽墙外 30cm 处	0.038		4.31×10^{-4}	公众	设备间
	东南侧防护门外 30cm 处	0.084		1.21×10^{-3}	公众	走廊
	南侧屏蔽墙外 30cm 处	0.04		3.75×10^{-3}	工作人员	操作室
	西南侧防护门外 30cm 处	0.088		5.19×10^{-3}	工作人员	操作室
	室西侧观察窗外 30cm 处	0.122		5.80×10^{-3}	工作人员	操作室
	北侧屏蔽墙外 30cm 处	0.04		4.69×10^{-4}	公众	楼梯间
	东北侧防护门外 30cm 处	0.096		7.06×10^{-4}	公众	过道
	室顶部距地面 100cm	0.025		4.52×10^{-4}	公众	仪器室
	第一术者位	7.429		0.58	工作人员	机房内
第二术者位	1.857		0.15	工作人员	机房内	
⁹⁰ Y 给药后患者转运	7.429			6.19×10^{-2}	工作人员	/
核医学病房 3 (留观过程)	东侧屏蔽墙外 30cm 处	0.134		1.00×10^{-2}	公众	走廊
	东南侧防护门外 30cm 处	0.643		4.82×10^{-2}	公众	走廊
	南侧屏蔽墙外 30cm 处	0.046		3.48×10^{-3}	公众	存储室
	西侧屏蔽墙外 30cm 处	0.012		3.48×10^{-3}	工作人员	控制走廊
	北侧屏蔽墙外 30cm 处	0.229		6.88×10^{-2}	公众	核医学病房 2
	顶部距地面 100cm 处	0.009		2.72×10^{-3}	公众	普通病房
SPECT/CT 扫描间 (⁹⁰ Y 扫	给药后患者摆位	7.429		6.19×10^{-3}	工作人员	机房内
东侧观察窗外 30cm 处	0.088		3.80×10^{-3}	工作人员	控制室	
东南侧防护门外 30cm 处	0.122		4.70×10^{-3}	工作人员	控制室	

描过程)	南侧屏蔽墙外 30cm 处	0.018			3.30×10^{-4}	公众	预留机房
	西南侧防护门外 30cm 处	0.084			9.75×10^{-4}	公众	患者通道
	西侧屏蔽墙外 30cm 处	0.01			6.25×10^{-4}	公众	患者通道
	北侧屏蔽墙外 30cm 处	0.018			3.51×10^{-4}	公众	院内道路
	顶部距地面 100cm 处	0.063			9.29×10^{-4}	公众	办公室

注：表内剂量率均已叠加射线装置运行时产生的 X 射线辐射影响。

(2) 周围辐射工作人员及公众剂量叠加

本项目拟配置辐射工作人员除了从事⁹⁰Y微球介入治疗项目辐射工作外，仍从事原有辐射工作，根据医院提供的2024年辐射工作人员年度监测报告显示，从事介入工作的辐射工作人员年最大监测值为3.68mSv/a。

本项目DSA室南侧紧邻DSA室（2），北侧紧邻CT室，故本项保守对操作室、北侧前室、机房上方及下方关注点处的公众年有效剂量进行叠加估算，叠加结果如表11-11所示。

表 11-11 DSA 室周围关注点处年有效剂量叠加结果

关注点位置		关注点年有效剂量 (mSv/a)					受照类型
		^{99m} Tc 阶段	⁹⁰ Y 阶段	原有工作量	DSA 室 (2) 及 CT 室	合计	
DSA 室	西侧操作室内辐射工作人员	2.76×10 ⁻³	5.80×10 ⁻³	3.68	/	3.69	职业
	手术室内第一术者位	0.43	0.58	3.68	/	4.69	职业
	手术室内第二术者位	0.11	0.19	3.68	/	3.98	职业
	东南侧走廊	6.88×10 ⁻⁴	1.21×10 ⁻³	0.012	0.023	0.037	公众
	南侧操作室	2.92×10 ⁻³	3.75×10 ⁻³	0.047	0.094	0.148	职业
	顶部仪器室	3.86×10 ⁻⁴	4.52×10 ⁻⁴	0.012	0.023	0.036	公众

注：1.辐射工作人员2024年度个人剂量监测值已包含CT室、DSA室（2）及DSA室同时运行的工作场景，故本次估算不再重复叠加；

2. DSA室（2）及CT室周围公众所受年有效剂量根据2024年年度监测报告监测结果（详见附件6）计算得出，居留因子保守取1/4。

由上表结果可知，本项目第一住院楼内DSA室隔室操作辐射工作人员、第一、第二术者操作位辐射工作人员及机房周围公众所受到的最大年有效剂量均符合《电离辐射防护与放射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的剂量限值，均低于本报告执行的照射剂量约束值。

(3) 核医学科B区周围辐射工作人员及公众剂量叠加

本项目拟配置辐射工作人员除了从事⁹⁰Y微球介入治疗项目辐射工作外，仍从事原有辐射工作，根据医院提供的2024年辐射工作人员年度监测报告显示，从事核医学科工作的辐射工作人员年最大监测值为1.10mSv/a（详见附件9）。

本项目SPECT/CT扫描间北侧均位于核医学科场所外部，因此北侧公众的受照剂量，故本项保守对机房北侧及机房上方关注点处的公众年有效剂量进行叠加估算，叠

加结果如表 11-12 所示。

表 11-12 SPECT/CT 扫描间周围关注点处年有效剂量叠加结果

关注点位置		关注点年有效剂量 (mSv/a)				受照类型
		^{99m} Tc 阶段	⁹⁰ Y 阶段	原有工作量	合计	
核医学科 B 区	分装辐射工作人员	1.83×10 ⁻¹¹	7.07×10 ⁻⁴	1.10	1.101	职业
	药物转运辐射工作人员	1.52E×10 ⁻⁹	4.03×10 ⁻²	1.10	1.140	职业
	患者转运辐射工作人员	3.27×10 ⁻²	6.19×10 ⁻²	1.10	1.195	职业
SPECT/CT 机房	患者摆位辐射工作人员	3.27×10 ⁻⁵	6.19×10 ⁻³	1.10	1.106	职业
	东侧控制室内辐射工作人员	2.33×10 ⁻³	3.80×10 ⁻³	1.10	1.106	职业
	顶部办公室	6.67×10 ⁻³	9.29×10 ⁻⁴	0.016	0.024	公众
	北侧室外道路	3.31×10 ⁻⁴	3.51×10 ⁻⁴	0.015	0.016	公众

注：1. SPECT/CT 扫描间周围公众所受年有效剂量根据 2024 年年度监测报告监测结果（详见附件 6）计算得出，居留因子保守取 1/4。

由上表结果可知，本项目核医学科 B 区辐射工作人员及机房周围公众所受到的最大年有效剂量均符合《电离辐射防护与放射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的剂量限值，均低于本报告执行的照射剂量约束值（职业：5mSv/a；公众：0.1mSv/a）。

（4）患者家属等其他人员

接受过 ⁹⁰Y 树脂微球治疗的患者，对近距离接触他的个体可能造成的辐射剂量可参考《Posttherapy Radiation Safety Considerations in Radiomicrosphere Treatment with ⁹⁰Y-Microspheres》（The Journal of Nuclear Medicine • Vol.48 • No.12 • December 2007，详见附件 10）内相关公式进行计算：

$$DDE(\infty) = (34.6\Gamma Q_0 T_p E) / r^2 \dots \dots \text{公式 11-8}$$

上式中：DDE(∞)—受照总剂量（无限时间），mSv；

Γ—软组织中 ⁹⁰Y 的韧致辐射常数，为 1.52×10⁻³mSv/cm²/MBq/h；

Q₀—放射源活度，MBq；

T_p—放射性核素的物理半衰期，为 2.67d；

E—居留因子；

r—与患者的距离，cm。

假设患者家属等其他人员与患者的距离为 1m，居留因子取 0.25，本项目患者接

受输注的 ^{90}Y 微球最大活度为 2.0GBq ，则单名患者对其家属等人员的总受照影响为 0.01mSv 。故本项目患者输注 ^{90}Y 微球后，无需附加其他屏蔽措施，与公众保持 1m 以上的距离，患者对家属等人员的辐射影响在可接受范围。

(5) 辐射工作场所周围辐射工作人员及公众所受最大年有效剂量汇总

综上所述，本项目 ^{90}Y 微球介入治疗项目投入运行后，核医学科 B 区及 DSA 室辐射工作人员及公众所受年有效剂量汇总如下：

表 11-13 辐射工作人员及公众所受最大年有效剂量汇总表

人员类别	关注点位置	人员所受最大年有效剂量 (mSv/a)		
		关注点	合计	
辐射工作人员	分装工作位	^{90}Y 微球分装工作位	1.10	1.10
	药物转运位	^{90}Y 微球药物转运位	1.14	2.34
	患者转运	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 给药后患者转运	1.20	
		^{90}Y 给药后患者转运		
	DSA 室隔室操作工作人员	西侧控制室	3.69	3.69
	DSA 室手术室内工作人员	第一术者位	4.69	4.69
		第二术者位	3.98	3.98
SPECT/CT 扫描间操作人员	扫描间内摆位	1.11	2.22	
	东侧控制室	1.11		
公众	DSA 室周围	顶部距地面 30cm	0.036	0.036
	核医学病房 3 周围	西南侧墙外表面 30cm	0.07	0.07
	SPECT/CT 扫描间周围	顶部距地面 30cm	0.024	0.024

注：1.手术室内护士保守参照第二术者位；2.表内结果均已叠加原有工作量。

综上所述，本项目 ^{90}Y 微球介入治疗项目投入运行后，辐射工作人员受到的附加有效剂量最大为 4.69mSv/a ，工作场所周围公众受到的附加有效剂量最大为 0.036mSv/a ，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv ，公众年有效剂量不超过 0.1mSv ）。

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

二、放射性废物影响分析

1、放射性废气的影响分析

游离的 ^{90}Y 核素以氯化钇 $^{90}\text{YCl}_3$ 形式存，其挥发性极低，本项目核医学科 B 区及 DSA 室均为医院已有工作场所，工作场所产生的废气经由排风管道排至室外，其中工作场所的手套箱自带有活性炭过滤器装置，含放射性核素的气溶胶经活性炭吸附过滤后对周边环境影响较小。

2、放射性废水

本项目放射性废水主要为患者产生的排泄物，本项目患者产生的放射性废水暂存至核医学科已有衰变池内，该衰变池容积能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天）”的要求，放射性废水在此暂存衰变，经监测合格后排至医院污水处理站处理。

3、放射性固体废物

本项目核医学科产生的放射性废物依托原有环保设施进行处理；DSA 室产生的放射性固废采用专用塑料袋分类收集后暂存于放射性固体废物收集桶并及时转移至西北侧放射性废物暂存间铅废物桶内封闭衰变，废物桶须贴上电离辐射标志，并与普通医疗废物分开收储，每次收集时收集袋表面应贴上标签，标明物品及封存时间。

本项目含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素废物暂存时间超过 30 天，含 ^{90}Y 核素超过其半衰期的 10 倍后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，按照医疗废物执行转移联单制度，最终交由有资质单位进行统一收集、清运和处理，对周围环境影响较小。

三、非辐射环境影响分析

1、废水

医院废水经已有污水处理站处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）中的表 2 预处理标准后进行排放，外排进入市政污水管网，并最终经污水处理厂处理后外排，对周围环境影响较小。

2、废物

本项目工作人员产生的生活垃圾均暂存至院内已有生活垃圾暂存间，对周围环境影响较小。

3、废气

工作场所内均已设有通排风装置，室内产生的臭氧氮氧化物较少，经排风系统引至室外排放，臭氧在常温条件下 50 分钟后可自动分解为氧气，产生的臭氧通过换气系统排入环境大气后，经自然分解扩散，对环境产生影响较小。

4、噪声

运营期噪声主要来源于通排风系统的风机，该系统采用低噪声设备，经建筑物墙体隔声及医院场址内的距离衰减后，运行期间厂界噪声可达到相关标准要求，对周围环境产生影响较小。

5、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要求，履行相关报废手续。

事故影响分析

一、事故分级

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，详见表 11-14。

表 11-14 辐射事故等级划分表

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

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

表 11-15 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 (Gy)
骨髓型急性放射病	轻度	1.0~2.0
	中度	2.0~4.0
	重度	4.0~6.0
	极重度	6.0~10.0
肠型急性放射病	轻度	10~20
	重度	20~50
脑型急性放射病	轻度	50~100
	中度	
	重度	
	极重度	
	死亡	>100

二、辐射事故识别

(一) 事故情形

本项目主要考虑电离辐射损伤和放射性药物失控对环境的影响，具体为以下情形：

1、射线装置

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

(2) 本项目涉及使用 1 台 DSA (属Ⅱ类射线装置)，当设备运行时会产生 X 射线，关机时不会产生 X 射线，项目环境风险因子为 X 射线，根据其工作原理分析，考虑可能发生的事故工况主要有以下几种情况：

①在 ^{90}Y 微球输注或 DSA 工作状态下，未按工作流程进行清场，人员误留、误入机房内，导致发生误照射。

②装置在检修、维护等过程中，检修、维护人员误操作，造成有关人员误照射。

③医务人员由于缺乏操作经验和防护知识，安全观念淡薄等，违反操作规程和有关规定，在从事介入手术期间未采取穿戴个人防护用品等必要的防护措施，可能导致人员受到超过年剂量限值的照射。

2、放射性药物撒漏

在药品输注过程中，由于操作不当、导管脱落或导管堵塞而造成放射性药品泄漏

事故，造成其他手术人员的外照射，致使操作台面、手术床面、地面或仪器设备受到放射性污染。

4、放射性药物遗失

由于未锁好非密封放射性物质工作场所进出口的大门或取用药物后未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射药剂丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

(二) 事故工况辐射影响分析

1、射线装置误照射

本项目所使用的 SPECT/CT 中 CT 属于 III 类射线装置，DSA 属 II 类射线装置，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，误入人员或病人被误照射，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 E.2 典型成年受检者常见 CT 检查项目的辐射剂量和诊断参考水平可知，最大 CTDI_{vol} 为 60mGy/次，则机房内误入/误照射人员所受的 X 射线辐射剂量率最大为 60mSv/次，超过公众外照射年剂量限值，事故等级为一般辐射事故；根据 GBZ130-2020 表 E.4 典型成年受检者 X 射线透视的诊断参考水平，入射体表剂量率最大为 100mGy/min，假设受误照人员受照时间为 30s，最近距离约 1m，则误照人员所受剂量为 50mGy，超过公众外照射年剂量限值，事故等级为一般辐射事故。

综上所述，在上述事故情景假设条件下，受误照公众所受剂量超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值（公众 1mSv/a），属于一般辐射事故，但是随着受误照人员受照时间的增加，其所受剂量可能将超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值，也可能造成更大的辐射事故。

2、放射性同位素意外撒漏

假设 ^{99m}Tc 及 ⁹⁰Y 输注过程中，由于操作不当、导管脱落或导管堵塞而造成泄漏事故，造成其他手术人员的外照射，致使操作台面、手术床面、地面或仪器设备受到放射性污染。在上述事故情景假设条件下，事故持续周期内可能造成人员所受剂量超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的剂量限值，从而造成辐射事故。

本项目一旦发生撒漏事故，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散，并严格限制无关人员进入，擦拭后的滤纸作为放射性固体废物处理。为防止污染的扩散，去污程序应先从污染轻的周围渐向污染重的部位，如经反复清洗效果不明显时，可根据放射性核素的化学性质和污染表面的性质，选用有效的去污剂进一步去污。污染区的人员经采取减少危害和防止污染扩散的必要措施后，应脱去污染的衣服并将其留在污染区，立即离开此区。在清洁后须用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，该污染区未达到控制标准，应用酒精浸湿药棉或纸巾继续擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止，擦拭物收集至放射性固体废弃物衰变桶中，作为放射性固体废物进行处理。

3、放射性同位素意外丢失

本想项目涉及使用的非密封放射性物质主要有 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （日最大操作量 $1.50 \times 10^8 \text{Bq}$ ）及 ^{90}Y （日最大操作量 $3.00 \times 10^9 \text{Bq}$ ）。

(1) 事故情况假设

①本次预测事故情况假设 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 及 ^{90}Y 试剂瓶发生丢失，假设丢失时，内装的放射性药物活度均为该核素单日最大操作量。

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

③保守假设事故持续时间内，丢失的药物被同一人随身携带，距离按 10cm 考虑；

④受照人员不考虑任何屏蔽措施；

⑤事故持续最长时间为 2h 。

(2) 计算结果

根据事故情景假设条件计算得出，距源 0.1m 内不同事故持续时段的个人有效剂量，计算结果见表 11-16。

表 11-16 放射性药物丢失事故下不同持续时间个人有效剂量分布

核素类别	距源距离 (m)	事故持续时段内 γ 射线所致辐射剂量 (Gy)				
		10min	30min	60min	90min	120min
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.1	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.001
^{90}Y	0.1	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注： ^{90}Y 空气中 1m 处辐射剂量率取 $2.49\mu\text{Gy}/\text{h}$ 。

在上述事故情景假设条件下，事故持续周期内可能造成人员超剂量照射而导致一

般辐射事故，随着受误照人员受照时间的增加，其所受剂量将超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的剂量限值，也可能造成更大的辐射事故。由于计算过程未考虑核素衰变，计算结果偏保守。

4、放射性事故等级

综合上述事故其危害结果及其所引发的放射性事故等级见表 11-17。

表 11-17 项目环境风险因子、危险因素、危害结果及事故分级表

项目名称	主要环境风险因子	危险因素	危害结果	事故等级
核医学科 B 区	X 射线 γ 射线 β 射线	超剂量 照射	核医学科、X 射线失控导致 9 人以下急性重度放射病、局部器官残疾 射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射	一般辐射事故
DSA 室	β 射线 韧致辐射	超剂量 照射	射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射	一般辐射事故

根据分析，本项目可能发生的事故为一般辐射事故，若随着受误照人员受照时间的增加，其所受剂量可能远超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值，可能造成更严重的辐射事故。

三、事故防范措施

上述辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理规章制度和辐射事故应急措施加以防范，将辐射环境风险控制在可以接受的水平。针对在运行过程中可能发生的事故，本次评价提出以下防范措施，尽可能的减小或控制事故的危害和影响，主要体现在以下几个方面：

1、制定射线装置操作规程和安全规章制度，并严格落实操作规程等制度的“制度上墙”要求（即将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置）。在放射诊断操作时，至少有 2 名操作人员同时在场，操作人员须按照操作规程进行操作，并做好个人的防护。

2、每月检查门灯联锁装置，确保安全联锁装置正常运行；每月对射线装置的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件需及时更换。

3、定期对射线装置采取的安全防护措施、设施的安全防护效果进行检测或检查，核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生。

4、加强控制区和监督区管理，在射线装置运行期间，加强对监督区公众的管理，限制公众在监督区长期滞留。

5、制定事故应急预案、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。

6、制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物撒漏事故的发生。一旦发生撒漏事故，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散，然后使用备用的塑料袋收集处理过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，并从溅洒处移去垫子，使用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边缘向中心擦拭，直到擦干污染区。

患者在初期用药后，遇到不良反应引起呕吐造成工作场所的污染，医院工作人员应立即打扫，主要的呕吐物将打扫至控制区专门设置的废物桶内，并作为固体废物处理，暂存于废物暂存间内，地面再用专门的清洁工具清扫，此时会产生少量的放射性废水，清扫废水量较小，且该事件发生率较低，不会造成放射性废水量的显著增加。

撒漏或病人呕吐后造成的地面污染，在清洁后须用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，该污染区未达到控制标准，应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。擦拭物收集放到放射性固体废物衰变桶中，作为放射性固体废物进行管理。

7、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。

8、制定和完善放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。注射间设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

9、加强对用药患者的管理，在不影响诊断的情况下，限制患者出院时的放射性药物携带量，并对用药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公众场所活动，并避免与家人近距离密切接触。

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

11、核医学科个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，以及铅防护衣、防护镜等附加防护用品。工作人员进入监督区必须穿戴放射防护用品，个

人计量仪佩戴于铅衣内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅衣、戴口罩、手套，必要时戴防护眼镜。尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。为病人注射放射性药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应使用注射器屏蔽装置。科主任负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

四、应急措施

假若本项目发生了辐射事故，医院应迅速、有效的采取以下应急措施：

1、一旦发现有其他无关人员误入机房内，操作人员应立即利用最近的紧急停机开关切断设备电源。误入人员应在最短的时间内撤离机房，尽量缩短受照时间。同时，事故第一发现者应及时向医院的放射事件应急处理领导小组及上级领导报告。放射事件应急处理领导小组在接到事故报告后，应以最快的速度组织应急救援工作，迅速封闭事故现场，禁止无关人员进入该区域，严禁任何人擅自移动和取走现场物件（紧急救援需要除外）。

2、对可能受到超剂量照射的人员，尽快安排其接受检查和救治，并在第一时间将事故情况通报当地生态环境主管部门、卫生健康等主管部门。

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

4、配备去污清洁用品，发生核素泄漏应控制人员进入，并选择合理的去污方法，防止交叉污染。一般核素药物为液态，若发生撒漏，可用滤纸擦拭清除（去污时佩戴有效的个人防护用品，擦拭后的滤纸作为放射性固体废物），然后用温水仔细清洗。为防止污染的扩散，去污程序应先从污染轻的周围渐向污染重的部位，如经反复清洗效果不明显时，可根据放射性核素的化学性质和污染表面的性质，选用有效的去污剂进一步去污。严重污染事故时，应立即通知在场的其他人员，同时迅速标出污染范围，防止其他人员进入污染区。

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

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

去污、监测后，经防护人员批准方可重新工作。

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

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

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条和原国家环境保护总局环发[2006]145号文件之规定，发生辐射事故时事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告，涉及人为故意破坏的还应向公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。

四川省肿瘤医院需完善事故应急预案，将本次扩建项目纳入其中，能确保事故情况下的影响处于可控范围内。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

一、关于辐射安全与环境保护管理机构

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，医院应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。

四川省肿瘤医院已成立辐射安全管领导小组（详见附件 9），并以文件形式明确管理人员职责：

1、负责医院辐射安全与防护管理工作

2、组织对各项有关辐射安全与防护管理规章制度的制定和修订工作，并负责对全院放射诊疗过程中相关规章制度、防护措施落实情况进行监督和检查。

3、组织实施辐射安全与防护相关法律法规的培训学习，并落实辐射工作人员上岗培训计划。

4、负责辐射工作人员个人剂量和健康管理，并组织开展辐射工作场所进行年度监测和年度评估报告的编制工作。

5、负责对全院所有辐射安全与防护设施、设备进行定期保养，并做好保养记录，如有损坏及时协同相关部门进行处理。

二、辐射工作人员配置和能力分析

根据医院提供的年度评估报告（详见附件 6）可知，四川省肿瘤医院现有辐射工作人员均持证上岗，医院拟为本项目配备辐射工作人员 26 人。

1、根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年 第 57 号）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。本项目拟配置的辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，考核合格的人员，每 5 年接受一次再培训考核。操作Ⅲ类射线装置的辐射工作人员可

由医院自行组织考核。

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

3、医院应当建立并保存辐射工作人员的培训档案。

辐射安全管理规章制度

一、档案管理分类

医院将来运营时可对相关资料进行分类归档，包括以下九大类：“制度文件”“环评资料”“许可证资料”“射线装置台账”“监测和检查记录”“个人剂量档案”“培训档案”“辐射应急资料”“废物处置记录”，存放在医院相关办公室。

二、建立主要规章制度

医院可根据《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	制度名称	制定制度的目的
1	辐射防护安全责任制	已制定，需完善
2	辐射工作设备操作规程	需增加本次新增 ⁹⁰ Y 微球介入治疗操作规程项目的工作流程及其设备的操作程序
3	辐射工作人员管理规章制度	已制定，需完善辐射工作人员的责任和义务，包括正确佩戴个人剂量计
4	辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定，需明确医院辐射工作人员个人剂量的档案管理要求。对于每季度检测数值超过 1.25mSv 的，要进一步开展调查，查明原因，撰写调查报告并由当事人在调查报告上签字确认，并与个人剂量检测报告一起存放备查。明确个人剂量计的佩戴方法
5	辐射安全和防护设施维护维修制度	已制定，需完善
6	场所分区管理规定	需完善核医学科 B 区及 DSA 室人流、物流的路径规划图，实现分区管理，划定控制区和监督区
7	放射性药物管理规定（购买、领用、保管和盘存）	需完善放射性药物进出登记（包括生产单位、生产日期、到货时间、核素种类、理化性质、活度和使用情况的详细记录等），做到交接账目清楚、账物相符，记录资料完整
8	辐射事故应急预案	已制定，需完善
9	监测仪表使用与校验管理制度	已制定，需完善
10	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	已制定，需细化辐射工作场所的监测因子、监测内容、监测频次及布点方案

11	辐射工作人员岗位职责	已制定，需完善
12	射线装置及放射性同位素台账管理制度	已制定，需完善本项目涉及的核素药物相关信息，（包括生产单位、生产日期、到货时间、核素种类、理化性质、活度和使用情况的详细记录等）
13	辐射工作人员培训制度	已制定，需完善
14	质量保证大纲和质量控制检测计划	已制定，需补充受检者非照射部位所采取的辐射防护措施

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

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

辐射监测

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

一、工作场所监测

年度监测：委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年；年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并提交。

四川省肿瘤医院已委托有资质单位开展了 2024 年度的在用核技术利用项目的年度监测，监测结果均符合国家相关标准要求。

二、个人剂量监测

个人剂量监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量片，根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）“常规监测的周期应综合考虑放射工作人员的工作性质、所受剂量的大小，剂量变化程度及剂量计的性能等诸多因素。常规监测周期一般为 1 个月，最长不得超过 3 个月”。

（1）当单个季度个人剂量超过 1.25mSv 时，建设单位要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人

剂量超过 5mSv 时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关。检测报告及有关调查报告应存档备查。

(2) 个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度监测报告一起作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成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》（GBZ 128-2019），就本项目而言，辐射主要来自前方，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般左胸前。

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

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

四川省肿瘤医院已委托有资质单位对医院 2024 年度辐射工作人员进行了个人剂量监测，监测结果均符合国家相关标准要求。

三、医院自我监测

医院定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行自行监测），制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案，监测周期为 1~2 次/年。

四、监测内容和要求

(1) 监测内容：X- γ 辐射剂量率和 β 表面污染水平。

(2) 监测布点及数据管理：本项目监测布点应参考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，建立好监测数据台账以便核查。

表 12-2 工作场所监测计划建议

场所或设备	监测内容	监测周期	监测布点位置
DSA 室	X- γ 辐射剂量率	委托有资质的单位监测，频率为 1 次/年；自行开展辐射监测，频率为 1~2 次/年； β 表面污染在每天工作完成后进行一次（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	机房墙体、门（及其门缝）、观察窗表面外 30cm 处、顶棚上方（楼上）距顶棚地面 30cm 处、地面下方（楼下）距楼下地面 170cm 处
	β 表面污染水平		放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，DSA 工作场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作

核医学科 B 区	放射性固体废物	委托有资质的单位监测，频率为 1 次/年；自行开展辐射监测，频率为 1~2 次/年； β 表面污染在每天工作完成后进行一次（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	服、手套、鞋、帽等。
	放射性固体废物		放射性废物包装体外表面（剂量率应不超过 0.1mSv/h）
	X- γ 辐射剂量率		射线装置机房墙体、门（及其门缝）、观察窗表面外 30cm 处、顶棚上方（楼上）距顶棚地面 30cm 处、地面下方（楼下）距楼下地面 170cm 处
	放射性固体废物		高活性室等场所防护门、墙壁外表面 30cm 处、顶棚上方（楼上）距顶棚地面 30cm 处、地面下方（楼下）距楼下地面 170cm 处
	β 表面污染水平		放射性废物包装体外表面（剂量率应不超过 0.1mSv/h）
			放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。

注：1.核医学科仅列出本次涉及范围，其余监测内容参照已有监测计划进行；

2.每次工作结束后，对非密封放射性物质工作场所及周围环境表面沾污进行监测，工作人员每次工作结束后离开各非密封放射性物质工作场所前应进行表面污染监测，如果工作服、手套、工作鞋的 β 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，应及时脱下更换清洗或作为放射性固废处理；如果手、皮肤、内衣、工作袜的 β 表面污染大于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，应进一步清洗去污直至满足对 β 表面污染的要求；从控制区取出任何物品都应进行表面污染水平检测，以杜绝超过 GB18871-2002 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。以上监测均应记录档案，同时医院应在监测方案中列出 GB18871-2002 中表面污染控制水平。

(3) 监测范围：控制区和监督区域及周围环境

(4) 监测频次：每年 1~2 次， β 表面污染水平监测可在每天工作完成后进行一次

(5) 监测质量保证

a、制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测部门的监测数据与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；

b、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；

c、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。

五、年度监测报告情况

医院已于每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统提交上年度的《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。医院应按照规定格式编写《安全和防护状况年度评估报告》，2024年年度评估报告详见附件12。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

一、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，医院须制订辐射事故应急预案。按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定，辐射事故应急方案应明确以下几个方面：

- ①应急机构和职责分工；
- ②应急的具体人员和联系电话；
- ③应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- ④辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；
- ⑤辐射事故调查、报告和处理程序。

二、应急措施

若本项目发生了辐射事故，医院应迅速、有效采取以下应急措施：

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

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

(3) 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。

(4) 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健康部门报告。

(5) 最后查清事故原因，分清责任，消除事故隐患。

三、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：四川省肿瘤医院新增钇-90 微球介入治疗项目

项目性质：扩建

建设单位：四川省肿瘤医院

建设地点：四川省成都市人民南路四段 55 号

建设内容与规模：

四川省肿瘤医院拟于院内 2 层第一住院楼内 DSA 室内开展 ^{90}Y 微球介入治疗项目，该项目依托 DSA 室开展 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 术前评估阶段及 ^{90}Y 肝癌治疗阶段的介入输注，介入输注后的显像扫描均依托医院核医学科 B 区已有 SPECT/CT 扫描间进行，拟使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装和 ^{90}Y 微球药物的贮存分装均依托核医学科 B 区高活性室已有手套箱进行。

1、DSA 室

本项目拟于第一住院楼内 DSA 室内使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用于术前评估介入输注，日最大操作量 $1.50 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $1.50 \times 10^6 \text{Bq}$ ，年最大使用量 $7.50 \times 10^9 \text{Bq}$ ；拟使用 ^{90}Y 微球用于肝癌治疗介入输注，日最大操作量 $2.50 \times 10^9 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $2.50 \times 10^8 \text{Bq}$ ，年最大使用量 $1.50 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；DSA 室内总日等效最大操作量为 $2.50 \times 10^8 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目 DSA 室内现有 1 台 DSA，该设备型号为 Artis Qceiling，属 II 类射线装置，用于 ^{90}Y 介入微球治疗年工作负荷约 35h（其中透视约 33.33h，摄影约 1.67h）。

2、核医学科

核医学科 B 区已许可总日等效最大操作量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。本项目新增放射性核素 ^{90}Y 日最大操作量 $3.00 \times 10^9 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量 $3.00 \times 10^8 \text{Bq}$ ，年最大使用量 $1.50 \times 10^{11} \text{Bq}$ ；介入微球治疗第一阶段放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 单人次使用量最大约为 $1.50 \times 10^8 \text{Bq}$ ，其使用量较小且年诊断次数较少，医院现有核医学科 B 区已许可 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性核素能够满足本项目第一阶段的核素用量需求，无需额外增加核素操作量。综上所述，本项目新增使用放射性核素 ^{90}Y 后，核医学科 B 区工作场所总日等效最大操作量为 $1.23 \times 10^9 \text{Bq}$ ，仍属于乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目拟使用核医学科 B 区 SPECT/CT 扫描间内现有 1 台 SPECT/CT 开展 ^{90}Y 微球介入治疗的评估检查，该设备型号为 Symbia intevo16，其额定管电压为 130kV，额定管电流为 345mA，属 III 类射线装置。

二、项目产业政策符合性结论

本项目系核技术应用项目在医学领域内的运用。根据国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，属于鼓励类中第三十七项“卫生健康”的第 1 条“医疗服务设施建设：预防保健、卫生应急、卫生监督服务设施建设，医疗卫生服务设施建设，传染病、儿童、精神卫生专科医院和康复医院（中心）、护理院（中心）、安宁疗护中心、全科医疗设施与服务，医养结合设施与服务”，是目前国家鼓励发展的项目。本项目的运营可为成都市及周边病人提供诊疗服务，是提高人民群众生活质量，提高全区医疗卫生水平和建设小康社会的重要内容，本项目具有放射实践的正当性，符合现行的国家产业政策。

三、实践正当性

本项目的建设和运行，可满足医院对病人进行医学诊断和核素放射治疗，提升医院科研及医疗水平。经辐射防护屏蔽和放射性三废处理、辐射安全管理后，对辐射工作人员和公众的影响在剂量约束值和剂量限值范围内，其建设和运行对受照患者和社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践正当性”的原则。

四、项目选址合理性结论

1、医院外环境关系

本项目选址于四川省成都市人民南路四段 55 号四川省肿瘤医院内，从周边外环境关系可知，医院周边规划为居民区和市政道路，本项目均依托已许可的辐射工作场所进行，不新增用地。

2、辐射工作场所外环境关系

本项目核医学科 B 区及 DSA 室为已纳入辐射安全许可的场所，场所选址合理性已在相关评价报告内进行评价，本项目仅依托其已有工作场所开展 ^{90}Y 微球介入治疗项目，不涉及原场所的屏蔽体及平面布局变动。

综上所述，本项目依托已许可工作场所进行，辐射工作场所具有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射通过采取相应的治理措施后对周围环境影响较小，从辐

射安全防护的角度分析，本项目选址是合理的。

五、区域环境质量现状

根据监测结果，本项目拟建位置周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测值与成都市生态环境局发布《2023 成都生态环境质量公报》中环境 γ 辐射剂量率连续自动监测年均值范围（67.0~119）nGy/h 相较，本项目拟建址区域周围辐射环境监测值与成都市天然贯穿辐射水平相当，属于正常本底范围。

项目拟建位置周围 β 表面污染水平为低于仪器探测下限，属于当地正常水平。

六、代价利益分析

四川省肿瘤医院新增钇-90 微球介入治疗项目符合区域医疗服务需要，能有效提高区域医疗服务水平，核技术在医学上的应用有利于提高疾病的诊断正确率和治疗效果，能有效减少患者疼痛和对患者损伤，争取了宝贵的治疗时间，该项目在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益。

从剂量预测结果可知，项目致工作人员所受附加剂量小于 5mSv、公众年所受附加剂量小于 0.1mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于“剂量限值”及本项目剂量约束值的要求。因此，从代价利益分析看，该项目是正当可行的。

七、环境影响分析结论

1、施工期环境影响分析

本项目依托已有工作场所进行，项目涉及的工作场所均已进行环境影响评价，均已建成并已完成相应的竣工环境保护验收，本项目不涉及施工期。

2、营运期正常工况下辐射环境影响

（1）辐射环境影响分析结论

在严格落实环评提出的要求后，本项目所致职业人员年剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的辐射剂量限值要求，同时也符合本报告提出的照射剂量约束值要求（职业照射 5mSv/a、公众照射 0.1mSv/a）。评价结果表明本项目辐射工作场所的防护性能符合要求。

（2）水环境影响分析

本项目注入 ^{90}Y 后患者排泄物排入核医学科已有衰变池暂存，经监测合格后排放至医院污水处理站处理，经监测合格后排放至医院污水处理站处理；核医学科放射性

废水依托已有环保处理设施进行处理。本项目其他工作人员工作时仅产生少量的生活废水，经医院污水处理站处理后纳入市政污水管网。

(3) 固体废物影响分析

本项目核医学科产生的放射性废物依托原有环保设施进行处理，DSA室产生的放射性固废采用专用塑料袋分类收集后暂存于放射性固体废物收集桶并及时转移至东侧放射性废物暂存间铅废物桶内封闭衰变，经监测符合排放标准后同其它医疗废物一起由医疗废物处理机构定期统一处理。

(4) 噪声

运营期噪声主要来源于通排风系统的风机，工作场所使用的通排风系统为低噪声设备，经医院场址内的距离衰减后，噪声对周围环境影响较小。

(5) 大气环境影响分析

DSA室产生的臭氧由机械排风系统通过专用排风管道引至室外排放；原核医学科产生的放射性废气依托原有设施处理，对周围环境影响较小。

2、事故工况下环境影响

经分析，本项目可能发生的辐射事故等级为一般辐射事故。环评认为，针对本项目可能发生的辐射事故，四川省肿瘤医院须按相关规定完善《辐射事故应急预案》后能够有效控制并消除事故影响。

八、非密封放射性物质工作场所及射线装置使用与安全管理的综合能力

四川省肿瘤医院拥有专业的放射性医护人员和安全管理机构，有符合国家环境保护标准、职业卫生标准和安全防护要求的场所、设施和设备；已建立较完善的辐射安全管理制度、辐射事故应急措施；在完善《辐射安全管理规定》《辐射工作设备操作规程》等相关管理制度后，认真落实并定期对辐射防护设施进行检查维护的前提下，具有对医用辐射设施的使用和安全管理能力。

九、项目环境可行性结论

综上所述，本项目符合国家产业政策，项目选址及平面布局合理。项目拟采取的辐射防护措施技术可行，措施有效；项目制定的管理制度、事故防范措施及应急方法等能够有效的避免或减少工作人员和公众的辐射危害。在认真落实项目工艺设计及本报告表提出的相应防护对策和措施，严格执行“三同时”制度，严格执行辐射防护的有关规定，辐射工作人员和公众所受照射剂量可满足《电离辐射防护与辐射源安全基

本标准》（GB 18871-2002）规定的剂量限值和本环评提出的剂量管理约束值。放射性“三废”及非辐射环境影响均可满足国家标准的要求。评价认为，从辐射安全与防护以及环境影响角度分析，本项目建设是可行的。

建议和承诺

1、落实本报告中的各项辐射防护措施和安全管理制度的。

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

3、医院应于每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，近一年（四个季度）个人剂量检测报告和辐射工作场所年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并上传。医院应按照规定格式编写《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，新增放射性同位素、射线装置或单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。

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

5、医院须重视控制区和监督区的管理。

6、现有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。

7、医院今后在更换辐射安全许可证之前，需登录全国核技术利用辐射安全申报系统，对相关信息进行修改。

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

9、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）建设单位可登陆环境保护部网站查询建设项目竣工环境保护验收相关技术

规范。

(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中备案，同时应当向所在地生态环境主管部门报送相关信息，并接受监督检查。

“三同时”验收一览表

项目	“三同时”措施	预期效果
辐射安全管理机构	建立辐射安全与环境保护管理机构，或配备不少于1名大学本科以上学历人员从事辐射防护和环境保护管理工作。医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。
辐射安全和防护措施	本项目仅在原已许可核医学科B区工作场所内新增使用放射性核素种类（ ⁹⁰ Y），在原已许可DSA室内放射性核素（ ⁹⁰ Y及 ^{99m} Tc），不涉及原工作场所布局、屏蔽体结构及通排风系统等的改动。	/
人员配备	<p>医院拟配备17名辐射工作人员。辐射安全管理人员和操作II类射线装置辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核，考核合格后上岗；操作III类射线装置的辐射工作人员可由医院自行组织考核。</p> <p>辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检（两次监测的时间间隔不应超过3个月），加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。</p> <p>辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于1次/2年），并建立放射工作人员职业健康档案。</p>	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。
监测仪器和防护用品	新增配备一次性防污染手术服、患者转运防护铅橡胶围裙或铅方巾；其余均依托核医学科及DSA室已有监测仪器和防护用品进行	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。
辐射安全管理制度	制定操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施等制度；根据环评要求，按照项目的实际情况，补充相关内容，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关要求。