

编号：RDSH202516

核技术利用建设项目
通江县人民医院
放疗中心及高压氧舱工程建设项目
(核技术利用部分)
环境影响报告表
(公示本)

通江县人民医院

2025年9月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

通江县人民医院

放疗中心及高压氧舱工程建设项目

(核技术利用部分)

环境影响报告表

建设单位名称：通江县人民医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：



通讯地址：四川省巴中市通江县壁州街道西华路 55 号

邮政编码：636700

联系人：

电子邮箱：3661676661@qq.com

联系电话：0827-7221144

打印编号: 1756715389000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	yh0a8p		
建设项目名称	通江县人民医院放疗中心及高压氧舱工程建设项目（核技术利用部分）		
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）	通江县人民医院		
统一社会信用代码	12513721452408269T		
法定代表人（签章）	杨绿		
主要负责人（签字）	刘元勇		
直接负责的主管人员（签字）	李贵明		
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	91510107MA61RNC437		
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
何桂桦	20220503551000000020	BH025547	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
何桂桦	表9~表13	BH025547	
郑茜	表1~表8	BH058510	

表 1 项目基本情况

建设项目名称	通江县人民医院放疗中心及高压氧舱工程建设项目 (核技术利用部分)				
建设单位	通江县人民医院				
法人代表	杨绿	联系人		联系电话 0827-7221144	
注册地址	四川省巴中市通江县壁州街道西华路 55 号				
项目建设地点	四川省巴中市通江县壁州街道西华路 55 号本次新建放疗中心内				
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)	4.64%	
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input 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 checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input checked="" 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>通江县人民医院(统一社会信用代码:12513721452408269T,以下简称“医院”)建于 1945 年,2014 年完成整体搬迁,现为国家三级乙等综合医院,国家爱婴医院。是四川省人民医院“组团式”帮扶医院,是内江市第一人民医院、浙江省金华市中心医院、兰溪市人民医院的对口帮扶医院,是解放军总医院、陆军军医大学附属西南医院、四川省肿瘤医院等医院的支援(联盟)单位。</p> <p>医院以打造高效快速的“急诊急救五大中心”为核心,规范设置急诊检验、超声、放射、重症监护(EICU)和手术室,实现诊断检查、治疗手术、抢救监护为一体的全流程就诊,打通生命救治绿色通道。</p>				

二、项目由来

通江县人民医院是首批纳入“千县工程”县医院综合能力提升工作的县医院，是县域医疗中心和全县医疗机构的“龙头”。2023年11月成为巴中市首家顺利通过国家基层胸痛中心认证的单位。目前，正加快构建肿瘤防治、慢病管理、微创介入、麻醉疼痛诊疗、重症监护“临床服务五大中心”，努力强化胸痛、卒中、创伤、危重孕产妇救治、危重儿童和新生儿救治的“急诊急救五大中心”，带动全县医疗卫生单位共同发展。

核医学作为国家大力推进医疗建设重点科目，在2025年实现三级综合医院核医学全覆盖，在2035年，要求实现“一县一科”。为满足本市患者的就医需求，提升患者就医获得感，建设核医学科项目势在必行！

因此，医院拟在院区内行政大楼与第三住院大楼（精神病区楼）新建1栋放疗中心（地上四层建筑，H=16.3m），建设放疗中心及高压氧舱工程建设项目，放疗中心内规划设置高压氧仓、肿瘤科及核医学科等科室，计划在一层配备医用电子直线加速器和后装治疗机，完善肿瘤化疗、放疗、手术等综合治疗措施。计划在二层和三层设置核医学科，开展核素显像诊断和核素治疗等项目。

以上科室涉及使用放射源、非密封放射性物质和射线装置等，属于核技术利用范畴，需要单独进行环境影响评价。



图 1-1 通江县人民医院建成后效果图

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，建设方通江县人民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“使用Ⅲ类放射源的；使用Ⅱ类射线装置的；乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）的”应编制环境影响报告表。

为此，通江县人民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，在现场勘察、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。

四、项目概况

项目名称：通江县人民医院放疗中心及高压氧舱工程建设项目（核技术利用部分）

项目性质：新建

建设单位：通江县人民医院

建设地点：四川省巴中市通江县壁州街道西华路 55 号

（一）建设内容与规模：

通江县人民医院拟在院区内新建 1 栋放疗中心（拟建，地上 4 层建筑，总高度为 16.3m），拟在放疗中心一层建设肿瘤科和高压氧舱（不属于核技术利用范畴），在二层建设核医学科-影像中心，在三层建设核医学科-核素病房，在四层建设病案库房（不涉及核技术利用项目）。

1、肿瘤科

医院拟在放疗中心一层肿瘤科建设 1 座医用电子直线加速器机房、1 座后装治疗机机房及 1 座模拟定位机机房及其相关辅助用房。

（1）医用电子直线加速器项目

本次新建的医用电子直线加速器机房位于放疗中心一层南部，机房室内有效使用

面积为 56.0m²（不含迷道），机房净空尺寸为长 8.0m×宽 7.0m×高 4.0m（不含迷道），机房四周墙体、迷道及屋顶均为钢筋混凝土结构，其主射方向朝向南侧、北侧、屋顶及地面；迷道位于机房西侧，为 9.7m 长“L”型迷道。

机房东侧墙体为 1.55m 厚混凝土，南侧墙体主屏蔽部分为 3.00m 厚混凝土（宽 4.00m），相连次屏蔽部分为 1.80m 厚混凝土，机房西侧迷道内墙为 0.654~1.50m 厚混凝土，迷道外墙为 0.60~1.50m 厚混凝土，北侧墙体主屏蔽部分为 3.00m 厚混凝土（宽 4.00m），相连次屏蔽部分为 1.80m 厚混凝土，机房顶部墙体主屏蔽部分为 3.00m 厚混凝土（宽 4.00m），相连次屏蔽部分均为 1.80m 厚混凝土。机房防护门为 15mm 铅+200mm 含硼聚乙烯电动钢板夹芯平移防护门。同时配套建设控制室、水冷机房及制模室等辅助用房。

本次拟新增的医用电子直线加速器设备型号待定，带 CBCT 图像引导系统，其主要参数为：X 射线最大能量为 10MV，10MV 时 1 米处最大输出剂量率为 14Gy/min，电子线最大能量为 22MeV，电子线等中心 1 米处最大剂量率为 10Gy/min；CBCT 系统管电压≤150kV，管电流≤1500mA。单台设备年工作负荷约 550h（包括治疗出束时间 500h 和物理师质控时间 50h），新增的医用电子直线加速器具备适形调强放射治疗（IMRT）和容积旋转调强放射治疗（VMAT）功能，属**II类射线装置**。

（2）后装治疗机项目

本次新建的后装治疗机机房位于放疗中心一层东南部，机房室内面积约为 17.8m²（不含迷道），机房净空尺寸为长 4.80m×宽 3.70m×高 3.75m，其四周墙体、迷道及屋顶均为混凝土结构，迷道位于机房南侧，为 5.5m 长直迷道。

后装治疗机机房迷道内墙、迷道外墙、四侧墙体及顶部墙体均为 0.7m 厚混凝土，防护门为 12mm 铅电动钢板夹芯平移防护门。同时配套建设控制室、处置室及冲洗间等辅助用房。本次拟新增的后装治疗机型号待定，内含 1 枚 ¹⁹²Ir 放射源，额定装源活度为 3.7×10¹¹Bq，属**III类放射源**，年出源时间约 275h。

（3）模拟定位机项目

本次新建的 1 座模拟定位机机房室内有效使用面积约为 37.1m²，机房净空尺寸为长 6.63m×宽 5.60m×高 3.85m，其四周墙体均为 370mm 实心砖墙，顶部为 260mm 厚混凝土，防护门均为 3mmPb 铅防护门，观察窗为 3mmPb 铅玻璃。新增的模拟定位机型号待定，其管电压≤140kV，管电流≤1500mA，属**III类射线装置**。

2、核医学科

医院拟在放疗中心二层和三层分别建设核医学科-影像中心和核医学科-核素病房及其他辅助用房等，总占地面积约 840m²，新建的两处工作场所均为乙级非密封放射性物质工作场所。

(1) 核医学科-影像中心

核医学科-影像中心位于放疗中心二层，工作场所包含卫生通过间、分装注射室、储源室、放射性废物暂存间、缓冲间、抢救室兼运动负荷室、SPECT/CT 注射后候诊室、PET/CT 注射后候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、留观室及甲测室等，以上功能用房四周墙体均为 370mm 厚实心砖，顶部为 200~260mm 厚混凝土，地面均为 300mm 厚混凝土，屏蔽门为 3mm~15mm 铅，注射窗为 5~20mm 铅当量铅玻璃，观察窗为 5~10mm 铅当量铅玻璃，手套箱为 5~55mm 铅当量。同时配套建设医生办公室、控制室及留置针室等辅助用房。

核医学科-影像中心拟使用放射性同位素 ¹⁸F（含备药量，年最大使用量 9.25×10¹²Bq、日最大使用量 3.70×10¹⁰Bq、日等效最大操作量 1.04×10⁷Bq）、⁶⁸Ga（含备药量，年最大使用量 9.25×10¹¹Bq、日最大使用量 7.40×10⁹Bq、日等效最大操作量 2.07×10⁶Bq）、^{99m}Tc（年最大使用量 5.55×10¹²Bq、日最大使用量 2.22×10¹⁰Bq、日等效最大操作量 2.22×10⁷Bq）用于开展核素显像诊断项目，使用放射性同位素 ¹³¹I（年最大使用量 9.25×10⁸Bq、日最大使用量 3.70×10⁶Bq、日等效最大操作量 3.70×10⁵Bq）用于开展甲状腺吸碘率测定项目。通江县人民医院本次新建的核医学科-影像中心总日等效最大操作量为 3.50×10⁷Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

核医学科-影像中心 PET/CT 机房内拟新增使用 1 台 PET/CT（管电压≤140kV、管电流≤1000mA）用于核素诊断，属于Ⅲ类射线装置。

由于本次拟使用的 PET/CT 型号未定，其校准时拟使用校准源也尚未确定，一般常规使用的校准源为 ⁶⁸Ge 放射源（5.5×10⁷Bq/枚×1 枚+3.5×10⁶Bq/枚×2 枚），属于 V 类放射源。

核医学科-影像中心 SPECT/CT 机房内拟新增使用 1 台 SPECT/CT（管电压≤140kV、管电流≤1000mA）用于核素诊断，属于Ⅲ类射线装置。

本次核医学科-影像中心将配套建设 1 套衰变池系统，该衰变池拟建于核医学楼南侧室外绿化带内，拟设计 3 个并联小池，每个小池有效容积为 14m³，总容积为 42m³。

(2) 核医学科-核素病房

核医学科-核素病房位于放疗中心三层，工作场所包含卫生通过间、储源室、放射性废物暂存间、分装室、服药室、缓冲间、核素病房 1~5、抢救室、污染被服间及取餐间等，以上用房四周墙体均为 370mm 厚实心砖，屋顶均为 350mm 厚混凝土，地面均为 200~260mm 厚混凝土，屏蔽门为 8~15mm 铅，自动分装仪为 55mm 铅当量。同时配套建设医生办公室等辅助用房。

核医学科-核素病房拟使用放射性同位素 ^{131}I (年最大使用量 $1.40 \times 10^{12}\text{Bq}$ 、日最大使用量 $2.78 \times 10^{10}\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $2.78 \times 10^9\text{Bq}$) 用于开展甲癌治疗项目。通江县人民医院本次核医学科-核素病房总日等效最大操作量为 $2.78 \times 10^9\text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

本次核医学科-核素病房将配套建设 1 套衰变池系统，该衰变池拟建于核医学楼南侧室外绿化带内，拟设计 3 个并联小池，每个小池有效容积为 180m^3 ，总容积为 540m^3 。本次拟申请新增辐射项目内容见表 1-1 至表 1-6。

表 1-1 通江县人民医院新建项目放射源使用情况一览表

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
1	^{68}Ge	$5.5 \times 10^7 \times 1$ 枚 $3.5 \times 10^6 \times 2$ 枚	V类	使用	校准	核医学科	校准源库
2	^{192}Ir	$3.7 \times 10^{11} \times 1$	III类	使用	放射治疗	肿瘤科	后装治疗机内

表 1-2 通江县人民医院新建项目非密封放射性物质使用情况一览表 (影像中心)

序号	核素	用途	单个病人最大用量 (mCi/人·次) / 用药方式	日最大病人量 (人)	年最大病人量 (人)	日最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)
1	^{18}F	核素显像	10 (静脉注射)	20	5000	7.40×10^9	1.85×10^{12}
			备药量: $4 \times 7.40 \times 10^9\text{Bq}$			2.96×10^{10}	7.40×10^{12}
2	^{68}Ga	核素显像	10 (静脉注射)	4	1000	1.48×10^9	3.70×10^{11}
			备药量: $4 \times 1.48 \times 10^9\text{Bq}$			5.92×10^9	1.48×10^{12}
2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	核素显像	20 (静脉注射)	30	7500	2.22×10^{10}	5.55×10^{12}
3	^{131}I	甲吸测定	0.01 (口服)	10	2500	3.70×10^6	9.25×10^8

表 1-3 通江县人民医院新建项目非密封放射性物质使用情况一览表 (核素病房)

序号	核素	用途	单个病人最大用量 (mCi/人·次) / 用药方式	日最大病人量 (人)	年最大病人量 (人)	日最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)
1	^{131}I	甲癌治疗	150 (口服)	5	250	2.78×10^{10}	1.40×10^{12}

表 1-4 通江县人民医院新建项目核医学科影像中心日等效最大操作量情况一览表

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)	合计 (Bq)
¹⁸ F	7.40×10 ⁹	低毒 0.01	液态、很简单操作 10	7.40×10 ⁶	3.50×10 ⁷
	2.96×10 ¹⁰	低毒 0.01	液态、源的贮存 100	2.96×10 ⁶	
⁶⁸ Ga	1.48×10 ⁹	低毒 0.01	液态、很简单操作 10	1.48×10 ⁶	
	5.92×10 ⁹	低毒 0.01	液态、源的贮存 100	5.92×10 ⁵	
^{99m} Tc	2.22×10 ¹⁰	低毒 0.01	液态、很简单操作 10	2.22×10 ⁷	
¹³¹ I (甲吸)	3.70×10 ⁶	中毒 0.1	液态、简单操作 1	3.70×10 ⁵	

表 1-5 通江县人民医院新建项目核医学科核素病房日等效最大操作量情况一览表

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)	合计 (Bq)
¹³¹ I (甲癌)	2.78×10 ¹⁰	中毒 0.1	液态、简单操作 1	2.78×10 ⁹	2.78×10 ⁹

表 1-6 通江县人民医院新建项目射线装置使用情况一览表

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	射线装置类别	活动种类	使用场所
1	医用电子直线加速器	未定	1	X 射线: ≤10MV 电子线≤22MeV		II	使用	肿瘤科
2	模拟定位机	未定	1	≤140kV	≤1500mA	III	使用	肿瘤科
3	PET/CT	未定	1	≤140kV	≤1000mA	III	使用	核医学科
4	SPECT/CT	未定	1	≤140kV	≤1000mA	III	使用	核医学科

(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 1-7。

表 1-7 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	肿瘤科	医用电子直线加速器	施工废气、施工噪声、施工废水、固体废物、生活污水、生活垃圾	X 射线、 γ 射线、退役放射源、噪声、臭氧、医疗废物、生活污水、生活垃圾
		后装治疗机		
	模拟定位			

	位机	高 3.85m，其四周墙体均为 370mm 实心砖墙，顶部为 260mm 厚混凝土，防护门均为 3mmPb 铅防护门，观察窗为 3mmPb 铅玻璃。新增的模拟定位机型号待定，其管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，管电流 $\leq 1500\text{mA}$ ，属 III 类射线装置。			
核医学科	放射源		^{68}Ge	5.5 $\times 10^7$ ×1 枚 3.5 $\times 10^6$ ×2 枚，均属 V 类放射源	
	核素	影像中心	^{18}F （诊断）	日最大使用量 7.40 $\times 10^9$ Bq、日等效最大操作量 7.40 $\times 10^6$ Bq	
			^{18}F （备药）	日最大使用量 2.96 $\times 10^{10}$ Bq、日等效最大操作量 2.96 $\times 10^6$ Bq	
			^{68}Ga （诊断）	日最大使用量 1.48 $\times 10^9$ Bq、日等效最大操作量 1.48 $\times 10^6$ Bq	
			^{68}Ga （备药）	日最大使用量 5.92 $\times 10^{19}$ Bq、日等效最大操作量 5.92 $\times 10^5$ Bq	
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	日最大使用量 2.22 $\times 10^{10}$ Bq、日等效最大操作量 2.22 $\times 10^7$ Bq	
			^{131}I （甲吸）	日最大使用量 3.70 $\times 10^6$ Bq、日等效最大操作量 3.70 $\times 10^5$ Bq	
	核素病房	^{131}I （甲癌）	日最大使用量 2.78 $\times 10^{10}$ Bq、日等效最大操作量 2.78 $\times 10^9$ Bq		
	射线装置	1 台 SPECT/CT（型号待定，最大管电压不超过 140kV，最大管电流不超过 1000mA，其中 CT 属于 III 类射线装置），1 台 PET/CT（型号待定，最大管电压不超过 140kV，最大管电流不超过 1000mA，其中 CT 属于 III 类射线装置）。			
	场所	影像中心包含：卫生通过间、分装注射室、储源室、放射性废物暂存间、缓冲间、抢救室兼运动负荷室、SPECT/CT 注射后候诊室、PET/CT 注射后候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、留观室及甲测室等； 核素病房包含：卫生通过间、储源室、放射性废物暂存间、分装室、服药室、缓冲间、核素病房 1~5、抢救室、污染被服间及取餐间等。			
环保工程	<p>1、废水处理：本项目核医学科新建 2 套衰变池均位于核医学楼南侧室外，衰变池 1 拟设计 3 个并联小池，总容积为 42m³，衰变池 2 拟设计 3 个并联小池，总容积为 540m³。其他生活废水依托医院本次新建的污水处理设施处理。</p> <p>2、废气处理：医用电子直线加速器机房新建 1 套通排风系统；后装治疗机机房新建 1 套通排风系统；核医学科-影像中心和核素病房各建设 1 套通排风系统。</p> <p>3、固废处理：核医学科工作场所新建放射性废物暂存间 4 间、新增收集放射性废物铅桶若干；其他生活垃圾和医疗废物依托本次新建的生活垃圾收集处理设施和医疗废物暂存间收集暂存统一由有资质单位处置。</p>				
					X 射线、表面污染、 γ 射线、退役放射源、噪声、臭氧、医疗废物、生活污水、生活垃圾

	4、其他：核医学科拟使用手套箱分为 ^{99m}Tc 用 (5mmPb)、 ^{18}F 用 (55mmPb) 和 ^{131}I 用 (55mmPb)。	
公用工程	依托医院给水、供电、通风等配套设施。	\
办公生活设施	本次新建的候诊大厅、示教室、问诊室、护士站、医生办公室和资料室等。	生活垃圾 生活污水

（三）项目依托设施

①依托办公设施：医生办公室依托本次新建的医生办公室。

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拟建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。

医院拟建污水处理站一座，其设计处理能力为 $600\text{m}^3/\text{d}$ ，处理工艺为“二氧化氯消毒处理工艺”，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，最终进入通江县城市生活污水处理厂处理。医院污水处理站目前仍有 $230\text{m}^3/\text{d}$ 的处理余量，因此能够满足本项目生活污水及医疗废水产生量和排放量的排放需求。

院区内拟建设生活垃圾暂存间，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。

（四）工作制度及人员配置

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约 30 人，均为医院新聘辐射工作人员，配置至本项目后，不从事其他辐射工作。

本项目肿瘤科的从事医用电子直线加速器 and 后装治疗机工作的医生、护士和物理师会在部分患者首次治疗时在对应的控制室内观察治疗情况。每位患者常规治疗一般需要照射 3~5 次，因此，该部分医生、护士和物理师同样会受到辐射影响，受照时间约占设备正常治疗出束时间的 1/5，即 20%。同时，从事医用电子直线加速器 and 后装治疗机工作的物理师在患者就诊前或者周末非工作日会对设备进行质量控制验证，同样会受到辐射影响，质控时间一般为半天，因此，该部分受照时间约占设备正常治疗出束时间的 10%。综上，医用电子直线加速器 and 后装治疗机的放疗技师的工作负荷即设备正常治疗的出束时间，周围公众所受照时间需要考虑设备正常治疗出束时间和物理师非工作日质量控制验证时的出束时间的叠加影响，具体详见表 1-8。

表 1-8 本项目人员配置情况

类型		本次建设项目辐射工作岗位和人员配置	工作负荷 (h/a)
肿瘤科	医用电子 直线加速器项目	放疗技师 2 名	500 (正常治疗时间)
		物理师 2 名	100 (首次治疗) +50 (质控验证)
		医生和护士 4 人	100 (首次治疗)
	后装治疗机项目	放疗技师 2 名	250 (正常治疗时间)
		物理师 2 名	50 (首次治疗) +25 (质控验证)
		医生和护士 4 人	50 (首次治疗)
模拟定位机项目	专业技术人员 1 名	/	
	放射技师 1 名	/	
核医学科	影像中心	护士 2 名	/
		影像学专业技术人员 4 名	/
		医生 2 名	/
	核素病房	护士 2 名	
		医生 2 名	

后期随着工作量的不断增加，医院也计划持续引进技术熟练的核医学科和肿瘤科医生、技师及护士，医院应做好辐射工作人员管理工作。

五、项目周边保护目标以及场址选址情况

本项目选址于四川省巴中市通江县，项目地理位置见附图 1。

通江县人民医院放疗中心及高压氧舱工程建设项目（核技术利用部分）位于本次新建的放疗中心内，所在地的用地性质为医疗卫生用地。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 50m 评价范围除南侧和北侧部分位于医院围墙外，其余方向均位于医院院区内，50m 评价范围内无其他居民区、无学校等其他环境敏感点。

通江县人民医院于 2018 年 6 月完成了通江县人民医院精神病区建设项目的环评工作，并取得原通江县环境保护局关于该项目的批复文件，文号为：通环审批（2018）25 号（见附件 2），该项目中已经说明了医院用地性质为医疗卫生用地。并论证了医院选址于通江县壁州街道西华路 55 号的合理性，因此，本项目仍建于医院院区范围内，不新增用地，项目选址合理。

本项目的肿瘤科设置于放疗中心一层南部，肿瘤科设置于建筑底层，避开了医院的儿科病房、产房和门诊等特殊人群区域或人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中关于选址与布局的

规定。

本项目核医学科位于放疗中心二层和三层，工作场所相对独立，周边无其他科室，新增的非密封放射性物质工作场所避开了医院的产科、儿科、食堂等部门，且新增的工作场所出入口避开了人流量较大的门诊大厅、收费处等人群稠密区域，避免了对公众不必要的照射，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中关于选址与布局的规定。本项目肿瘤科和核医学科的选址符合性分析详见表 1-9 所示。

表 1-9 肿瘤科和核医学科选址符合性分析一览表

标准文件	对应标准中选址要求	实施情况	符合性
《放射治疗辐射安全与防护要求》 (HJ 1198-2021)	5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	选址于通江县人民医院新建的放疗中心内，未设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	符合
	5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。	本项目肿瘤科选址在通江县人民医院新建的放疗中心，位于该栋建筑的最底层，避开了产科、儿科等特殊人群及人员密集区域，周围无人员流动性大的商业活动区域。	符合
《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ 1188-2021)	5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。	本项目核医学科选址在通江县人民医院新建的放疗中心，工作场所独立，设置有单独的人员进出通道。	符合
	5.1.2 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。	本项目核医学科选址在通江县人民医院新建的放疗中心，工作场所独立，设置有单独的人员进出通道，避开了产科、儿科等特殊人群及人员密集区域，周围无人员流动性大的商业活动区域。	符合

综上所述，拟建的辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的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。本项目的运营可为通江县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。

同时，通江县人民医院放疗中心及高压氧舱工程建设项目已于 2024 年 5 月 31 日取得了通江县发展和改革局出具可行性研究报告的批复，批复文号为：通发改〔2024〕213 号，项目代码：2405-511921-04-01-794138，详见附件 2。因此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

通江县人民医院放疗中心及高压氧舱工程建设项目（核技术利用部分）的目的是为了对病人进行医学诊断和治疗。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》（GB18871-2002）规定的辐射防护“实践的正当性”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

通江县人民医院现持有四川省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》（证书编号川环辐证〔00559〕），有效期至 2028 年 3 月 19 日，许可种类和范围为：使用 II 类、III 类射线装置，其许可情况及验收情况见表 1-10，辐射安全许可证正副本详见附件 3。

表 1-10 通江县人民医院现有核技术利用情况一览表

射线装置						
序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	环保验收情况
1	DSA 机	Artis Zee III	II	介入治疗	门诊医技楼三楼介入科	已检测合格
2	DR	PLD7100G	III	放射诊断	急诊科一楼 DR 室	
3	C 臂	PLX118F/a	III	放射诊断	急诊科三楼第二手术间	
4	CT 机	OptimacT660	III	放射诊断	门诊医技楼三楼放射科 CT 二室	
5	CT 机	GE Optima CT520	III	放射诊断	门诊医技楼三楼放射科 CT 一室	
6	DR	DX-D300	III	放射诊断	门诊医技楼三楼放射科 DR 检测室	
7	双能 X 射线	Prodigy Pro Compact	III	放射诊断	门诊医技楼三楼放	

	骨密度仪				射科骨密度检查室
8	口腔 CT	Point 800SHD 3Dplus	III	放射诊断	门诊医技楼四楼口腔科
9	移动式 C 臂	XG133BK17C	III	放射诊断	外科住院楼六楼三 手术间
10	C 臂 X 射线机	SMc-1	III	放射诊断	
11	骨密度仪	SGY-II	III	放射诊断	外科住院楼一楼体 检中心
12	DR X 线机	DX-D300	III	放射诊断	
13	乳腺钼靶	Senographe Essential	III	放射诊断	外科住院楼一楼体检 中心乳腺钼靶室

由上表可知，医院现有核技术利用项目均已完成竣工验收或者完成了年度监测，且检测合格。竣工验收意见详见附件 4。

（二）关于辐射安全与环境保护管理

建设单位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、建设单位于 2024 年 7 月重新调整了辐射安全防护领导小组，并根据现有装置类型制定了相应健全的操作规程、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、监测方案等及辐射事故应急预案；

2、建设单位现有辐射工作人员 61 人，其中 16 名通过了辐射安全与防护考核，其余人员通过了医院自主培训、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；

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（0.15~2.31） $\mu\text{Sv/h}$ ，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 1.78mSv，单个季度也未超过 1.25mSv，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、建设单位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、建设单位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。

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
1	⁶⁸ Ge	5.5×10 ⁷ ×1 枚, 3.5×10 ⁶ ×2 枚	V	使用	校准	核医学科	储源室	本次环评
2	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹¹ ×1 枚	III	使用	放射治疗	后装治疗机房	后装治疗机内	本次环评

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度 (n/s)

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	¹⁸ F	液态/低毒	使用	7.40×10 ⁹	7.40×10 ⁶	1.85×10 ¹²	核素显像	很简单操作	核医学科 影像中心	暂存在储源室，使用时转移至手套箱
2	¹⁸ F	T _{1/2} =109.8min	使用	2.96×10 ¹⁰	2.96×10 ⁶	7.40×10 ¹²	核素显像	源的贮存		
3	⁶⁸ Ga	液态/低毒	使用	1.48×10 ⁹	1.48×10 ⁶	3.70×10 ¹¹	核素显像	很简单操作		
4	⁶⁸ Ga	T _{1/2} =68.3min	使用	5.92×10 ⁹	5.92×10 ⁵	1.48×10 ¹²	核素显像	源的贮存		
5	^{99m} Tc	液态/低毒 T _{1/2} =6.01h	使用	2.22×10 ¹⁰	2.22×10 ⁷	5.55×10 ¹²	核素显像	很简单操作		
6	¹³¹ I	液态/中毒	使用	3.70×10 ⁶	3.70×10 ⁵	9.25×10 ⁸	核素诊断	简单操作		
7	¹³¹ I	T _{1/2} =8.04d	使用	2.78×10 ¹⁰	2.78×10 ⁹	1.40×10 ¹²	核素治疗	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
1	医用电子直线加速器	II	1 台	待定	电子	X 射线最大能量：10MV 10MV 时，1m 处常用最高剂量率≤14Gy/min 电子线最大能量为 22MeV，最高剂量率：10Gy /min CBCT（图像引导系统）≤150kV/1500mA		放射 治疗	肿瘤科 医用电子直线 加速器机房	本次环评

(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	PET/CT	III	1	未定	≤140	≤1000	放射诊断	核医学科	本次环评
2	SPECT/CT	III	1	未定	≤140	≤1000	放射诊断		本次环评
3	模拟定位机	III	1	未定	≤140	≤1500	放射诊断	肿瘤科	本次环评

(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	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ^{99m} Tc	/	/	/	/	存放于专用放射性废物铅桶内	暂存超过 30 天以上，经检测合格后，由医院统一作为医疗废物处理
		¹³¹ I	/	/	/	/		暂存超过 180 天以上，经检测合格后，由医院统一作为医疗废物处理
含放射性核素的卫生间下水及清洗废水	液体	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ^{99m} Tc	/	约 138m ³	约 1660m ³	/	暂存于衰变池内	暂存于衰变池内衰变 30 天以上，可接解控排放至医院污水处理站
		¹³¹ I	/			/		暂存于衰变池内衰变 180 天以上，可接解控排放至医院污水处理站
含有液态放射性药物分装时挥发的微量气溶胶	气体	^{99m} Tc、 ¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ¹³¹ I	/	微量	1.39×10 ⁴ Bq	微量	不暂存	在手套箱中操作，经手套箱管道内及屋顶排放口活性炭装置过滤后排放
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
废活性炭 废除碘过滤器	固体	¹³¹ I 等	/	/	/	/	更换后暂存在放射性废物暂存间内	存放超过 180 天以上，达到清洁解控水平后，由医院统一作为医疗废物处理
退役的 ⁶⁸ Ge 放射源	固体	⁶⁸ Ge	/	/	/	/	不暂存	交城市放射性废物库

退役的 ^{192}Ir 放射源	固体	^{192}Ir	使用约 180 天 更换一次，退 役时活度约为 $6.9 \times 10^{10} \text{Bq}$	/	/	/	不暂存	放射源厂家回收
------------------------------	----	-------------------	---	---	---	---	-----	---------

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 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 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 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 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) 《放射源分类办法》，国家环保总局公告 2005 年第 62 号，2015 年 12 月 23 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 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行；</p> <p>(12) 《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>(13) 《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>(14) 《四川省辐射污染防治条例》，2016 年 6 月 1 日起实施。</p>
------------------	---

<p>技术标准</p>	<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) 《放射治疗辐射安全与防护要求》 (HJ 1198-2021) ;</p> <p>(7) 《放射治疗放射防护要求》 (GBZ 121-2020) ;</p> <p>(8) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分一般原则》 (GBZ/T 201.1-2007) ;</p> <p>(9) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分一般原则: 电子直线加速器放射治疗机房》 (GBZ/T 201.2-2011) ;</p> <p>(10) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分: γ 射线放射源治疗机房》 (GBZ/T 201.3-2014) ;</p> <p>(11) 《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ 1188-2021) ;</p> <p>(12) 《核医学放射防护要求》 (GBZ 120-2020) ;</p> <p>(13) 《放射诊断放射防护要求》 (GBZ 130-2020) ;</p> <p>(14) 《职业性外照射个人监测规范》 (GBZ 128-2019) ;</p> <p>(15) 《医疗机构水污染物排放标准》 (GB 18466-2005) ;</p> <p>(16) 《医用电子直线加速器质量控制检测规范》 (WS 674-2020) ;</p> <p>(17) 《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》 (WS 262-2017) ;</p> <p>(18) 《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》 (WS 76-2020) 。</p>
<p>其他</p>	<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) 《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>(3) 《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>

(4) 《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;

(5) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》,生态环境部,公告2019年第39号,2019年11月1日起启用;

(6) 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;

(7) 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。

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”,确定为通江县人民医院本次新建项目所在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 3。

保护目标

本项目 50m 评价范围除南侧和北侧部分位于医院围墙外,其余方向均位于医院院内,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	最近距离	规模
医用电子直线加速器项目	辐射工作人员	控制室及机房内	/	8 人
	其他医护人员患者、患者家属及院内周边公众	西侧放疗大厅	紧邻	约 10 人
		北侧放疗等候区、更衣室等	紧邻	约 10 人
		西侧行政大楼	约 45m	约 20 人
		北侧高压氧舱	约 20m	约 10 人
		上方核医学科	约 5m	约 20 人
		上方档案室	约 9m	约 2 人
后装治疗机项目	辐射工作人员	控制室及机房内	/	8 人
	其他医护人员患者、患者家属及院内周边公众	南侧放疗大厅	紧邻	约 10 人
		西侧处置室等	约 5m	约 10 人
		北侧高压氧舱	约 15m	约 10 人
		西侧行政大楼	约 45m	约 20 人
		上方核医学科	约 5m	约 20 人
上方档案室	约 9m	约 2 人		
核医学科项目影像中	辐射工作人员	分装室内及控制室内	/	8 人
	其他医护人员患者、患者家属	东侧卫生间	紧邻	流动人员
		西侧办公区	约 2m	约 10 人

心	及院内周边公众	北侧候诊大厅	约 5m	约 15 人
		上方核医学科-核素病房	紧邻	约 10 人
		上方档案室	约 4.5m	约 2 人
		下方放疗中心及高压氧舱	紧邻	约 25 人
		东侧第三住院大楼	约 28m	约 100 人
核医学科核素病房	辐射工作人员	分装室内	/	4 人
	其他医护人员、患者家属及院内周边公众	南侧档案室	约 5m	约 2 人
		西侧办公区	约 5m	约 5 人
		北侧候诊大厅	约 5m	约 10 人
		上方档案室	紧邻	约 2 人
		下方核医学科-影像中心	紧邻	约 20 人
		下方放疗中心及高压氧舱	约 5m	约 25 人
		东侧第三住院大楼	约 28m	约 100 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。
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、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）：

4.8 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合 GB 18871-2002 中剂量限值相关规定。

4.9 从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求：

a) 一般情况下，从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为 5mSv/a。

b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a) 治疗室墙和入口门外表面 30 cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面 30 cm 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 1) 和 2) 所确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ：

1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子（可依照附录 A 选取），由以下周剂量参考控制水平（ \dot{H}_c ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

机房外辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

机房外非辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

2) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；

人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量 250 μSv 加以控制。

c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30 cm 处的剂量率参考控制水平可按 100 $\mu\text{Sv/h}$ 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

3、《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），监测结果经监管部门认可后，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。

4、《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

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
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表 3 的要求。

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a) 具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5 μSv/h；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

6.5.4 应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。

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	-

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。本项目取辐射工作人员个人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。本项目取公众个人年有效剂量约束值为 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	β 放射性物质	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4×10

	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1}

3、工作场所内外控制剂量率

医用电子直线加速器机房和后装治疗机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）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）等相关标准要求，医用电子直线加速器机房和后装治疗机机房屏蔽体外人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ ，本项目综合考虑保守取 $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），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 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，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 $10 \mu\text{Sv/h}$ 。

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 $25 \mu\text{Sv/h}$ 。

模拟定位机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，模拟定位机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

通江县人民医院位于四川省巴中市通江县壁州街道西华路 55 号本次新建放疗中心内（地理位置图见附图 1）。院区东侧为山林，南侧为通江卫校、西侧为西华路和壁州大道中段，北侧为空地及零星居民住宅。

通江县人民医院总平面布置图详见附图 2，拟建址及其周围环境现状见图 8-1 至图 8-4。



图 8-1 拟建址东侧



图 8-2 拟建址南侧



图 8-3 拟建址西侧



图 8-4 拟建址中部

(二) 辐射工作场所外环境关系

本次拟建的肿瘤科和核医学科均位于拟建的放疗中心内，放疗中心拟建于院区东北侧，放疗中心东侧为第三住院大楼，南侧为院外山林，西侧为院内道路和行政楼，北侧为院内道路和院外空地。

1、肿瘤科

医院本次拟建的肿瘤科包括 1 座医用电子直线加速器机房、后装治疗机机房及 1 座模拟定位机机房及其配套的辅助用房，均位于本栋建筑底层。

本次建设的医用电子直线加速器机房东侧和南侧均为室外，西侧为控制室和电梯间，北侧为等候区、综合库房、冲洗间及水冷机房等，上方为档案室。

后装治疗机机房东侧为楼梯间，南侧为网络机房，西侧为后装机控制室，北侧为患者电梯，上方为核医学科-影像中心的放射性废物暂存间和留观室。

模拟定位机机房东侧为患者过道和处置室，南侧为放疗等候区，西侧为室外，北侧为控制室，上方为核医学科-影像中心茶水间、清洁间及卫生间等。

2、核医学科

(1) 核医学科-影像中心位于放疗中心二层，场所东侧为卫生间和室外（凌空、人员不可达），南侧为过道及医用电子直线加速器机房，西侧为医护走廊和办公区，北侧为护士站、诊室及候诊大厅等，上方为核医学科-核素病房区域，下方为高压氧舱和后装治疗机机房区域。

(2) 核医学科-核素病房位于放疗中心三层，场所东侧为楼梯间和室外（凌空，人员不可达），南侧为档案室，西侧为医护走廊和办公区，北侧为登记室、宣教室及候诊大厅，上方为档案室，下方为核医学科-影像中心区域。

放疗中心一层、二层、三层及四层平面布局详见附图 4 至附图 7。

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 8 月 14 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

本项目包括新建放射源、非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目，根据工程分析项目主要污染因子为各工作场所运行时产生的 X 射线、 γ 射线及 β 表面污染水平等。为了更好反映实际情况，本项目的环境监测选取为 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本底调查。

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的综合技术指标
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

本次根据现场踏勘并结合《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021) 中的方法布设监测点, 由于项目现场未开工建设, 项目现场处于现状为空地状态, 结合项目平面布局及外环境关系, 结合周边环境现状, 本次选择拟建址处进行网格布点, 监测点位的选取覆盖新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 8-5 所示。

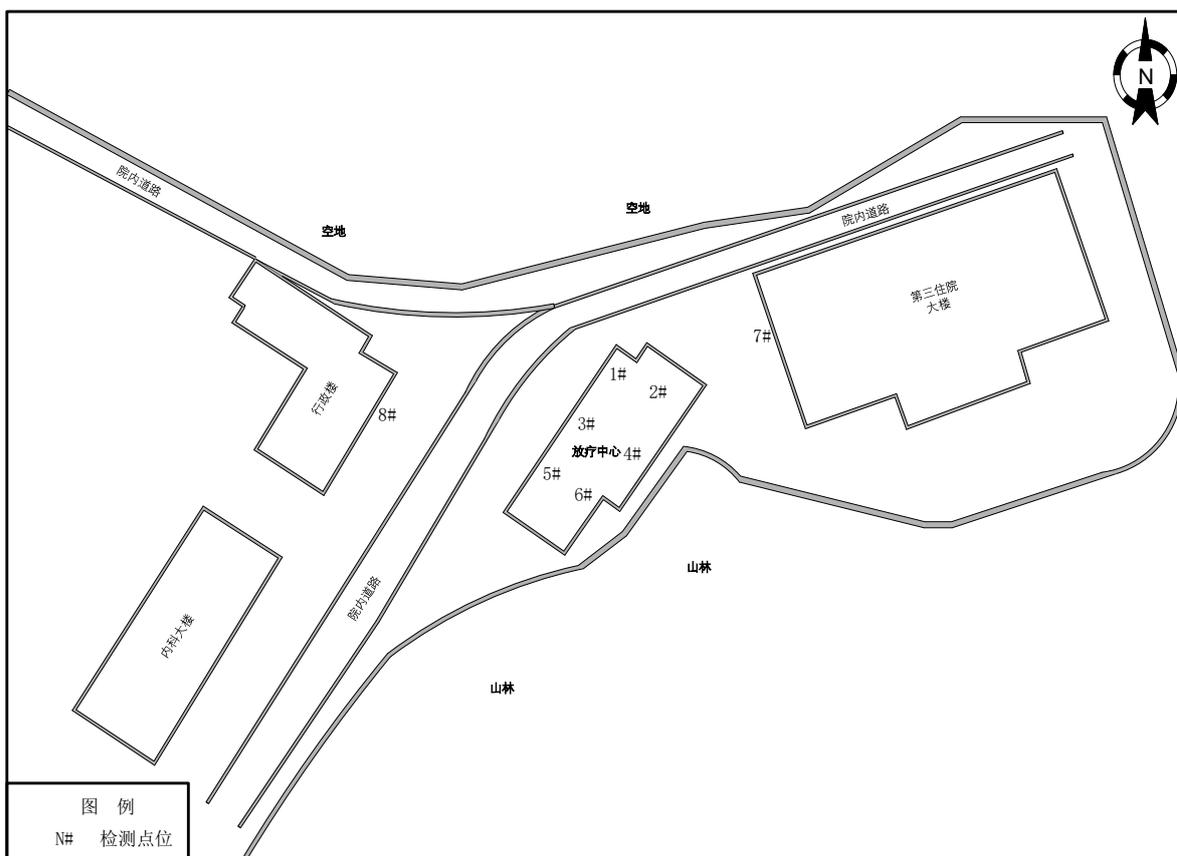


图 8-5 拟建址监测点位示意图

(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
环境监测用 X- γ 吸收剂量率仪	BG9511	SCRDS-067	能量响应:35keV~3MeV 测量范围: 10nGy/h~600 μ Gy/h 校准证书编号: 2025H21-10-5840177001 校准有效期: 2025.4.10~2026.4.9
表面污染仪	CoMo-170	SCRDS-007	测量范围: 0cps~20000cps 检定证书编号: 检定字第 202411100438 号 检定有效期: 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 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。空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021), 使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源时, 换算系数分别取 1.20Sv/Gy。

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四川省生态环境厅《2024 年四川省生态环境状况公报》中巴中市 γ 辐射空气吸收剂量率范围: (70~100) 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 拟建址 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果

测点编号	点位描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	拟建址 1#点	84 \pm 0.5	/
2	拟建址 2#点	84 \pm 1.0	/
3	拟建址 3#点	86 \pm 0.7	/
4	拟建址 4#点	85 \pm 0.5	/
5	拟建址 5#点	85 \pm 0.9	/
6	拟建址 6#点	86 \pm 0.8	/

7	拟建址东侧第三住院大楼外	82±0.7	/
8	拟建址西侧行政楼外	87±0.7	/

注：测量结果未扣除宇宙射线响应值。

表 8-4 拟建址 β 表面放射性污染水平检测结果

测点编号	点位描述	表面 β 放射性污染水平检测结果 (Bq/cm ²)	备注
1	拟建址 1#点	<LLD	/
2	拟建址 2#点	<LLD	/
3	拟建址 3#点	<LLD	/
4	拟建址 4#点	<LLD	/
5	拟建址 5#点	<LLD	/
6	拟建址 6#点	<LLD	/
7	拟建址东侧第三住院大楼外	<LLD	/
8	拟建址西侧行政楼外	<LLD	/

注：LLD 为 0.09Bq/cm²。

由表 8-3~表 8-4 可知，本项目拟建位置周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测值在（82~87）nGy/h 之间，与四川省生态环境厅《2024 年四川省生态环境状况公报》中巴中市 γ 辐射空气吸收剂量率范围：（70~100）nGy/h 相较，本项目拟建址区域周围辐射环境监测值属于正常本底范围。

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。

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

(一) 施工阶段

本项目建设内容为一般土建工程，其基础工程、主体工程、装饰工程、设备安装、工程验收等建设工序将以噪声、扬尘、固体废弃物、少量污水和废气等污染物为主，其排放量随工期和施工强度不同而有所变化。施工期的工艺流程及产污情况图示见图 9-1。

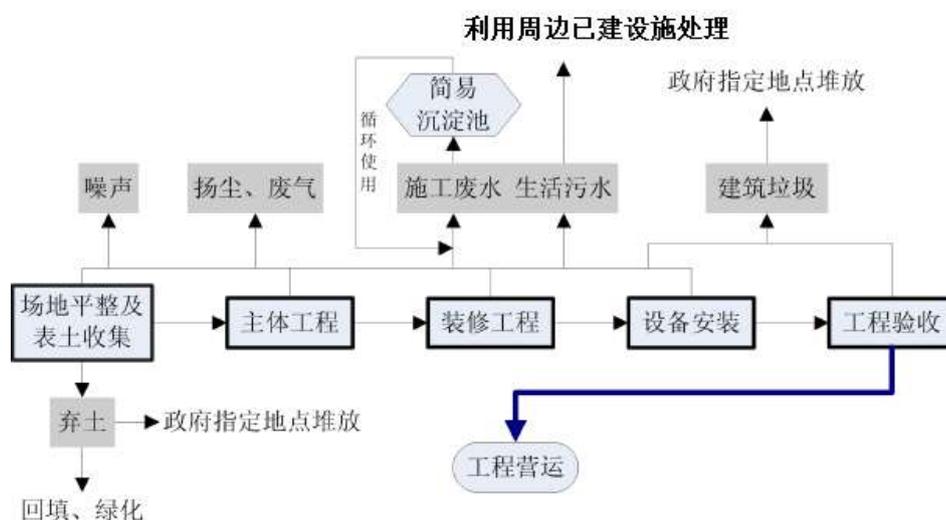


图 9-1 施工期工艺流程图

1、废气

扬尘：土建混凝土浇筑及运输车辆装卸材料和行驶时产生的扬尘；建筑材料（混凝土、砖等）的现场搬运及堆放扬尘；施工垃圾的清理及堆放扬尘；人来车往造成的现场道路扬尘。

装饰工程施工如漆、涂、磨、刨、钻、砂等装饰作业以及使用某些装饰材料如涂料、人造板、某些有害物质（如苯系物、甲醛、酚等污染物）等形成有机废气污染物；施工机械设备排放的少量无组织废气等。

施工机械废气：施工期间，使用机动车运送原材料、设备和建筑机械设备的运转，均会排放一定量的 CO、NO_x 以及未完全燃烧的 THC 等。

装饰废气：装饰废气主要为装修阶段（包括室内装修、地下室地坪装修等）使用的涂料等挥发的有机废气等气体以及装修施工产生的扬尘，该废气的排放属无组织排

放，涂料挥发废气其主要污染因子为二甲苯和甲苯等，此外还有极少量的汽油、丁醇和丙醇等。

2、废水

施工期废水主要为建筑施工产生的生产废水及施工人员生活污水。

施工废水：项目不设置混凝土搅拌站，因此无搅拌废水产生。经类比分析可知施工过程中的生产废水主要来源于机械的冲刷、楼地及墙面的冲洗、构件与建筑材料的保潮、墙体的浸润、材料的洗刷以及桩基础施工中排出的泥浆等。施工废水中的主要污染物为 pH、SS、COD、石油类。施工现场设置简易隔油沉淀池进行沉淀，沉淀后循环使用。施工期的工作人员办公生活依托医院已建污水处理设施，通过管网排放至城市污水处理厂进行处理。

3、噪声

施工期的噪声主要来源于施工现场的各类机械设备噪声，不同施工阶段和不同施工机械发出的噪声水平是不同的，且有大量设备交互作业，因此施工作业噪声将会对本项目内外环境带来一定的影响。根据施工量，按经验计算各施工阶段的昼夜的主要噪声源及场界噪声和建筑施工场界噪声限值标准见下表。

表 9-1 机械噪声源强一览表

施工阶段	运输内容	车辆类型	声源强度[dB(A)]
主体阶段	基础工程、建筑弃渣、弃土外运等	挖掘机、推土机、大型载重车	84~95
底板与结构阶段	钢筋、混凝土等	混凝土罐车、载重车	80~85
装修安装阶段	各种装修材料机必备设备	轻型载重卡车	75~80

4、固废

施工期固体废物主要包括开挖土石方、施工人员生活垃圾和少量建筑垃圾。

- ①根据现场踏勘，拟建场地基本为平地，本项目土方开挖量较小。
- ②由于本项目在施工期间，会产生少量的生活垃圾。
- ③本项目用地范围内不涉及拆迁工程，仅施工工程会产生少量的建筑垃圾。

(二) 设备安装调试阶段

本项目涉及的射线装置和含源装置的安装调试阶段，会产生 X 和 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。

本项目射线装置和含源装置的运输、安装和调试均由设备厂家专业人员进行操

作。在射线装置和含源装置的运输、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，在运输设备和治疗室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治疗室上锁并派人看守。

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

二、营运期工艺分析

(一) 肿瘤科

1、医用电子直线加速器项目

(1) 工程设备

通江县人民医院拟于放疗中心一层肿瘤科建设 1 座医用电子直线加速器机房，配备 1 台医用电子直线加速器（型号：未定，X 射线最大能量为 10MV，1 米处最大输出剂量率为 14Gy/min，电子线最大能量为 22MeV，电子线等中心 1 米处最大剂量率为 10Gy/min。拟购置的医用电子直线加速器带 CBCT 图像引导系统功能，CBCT 其管电压 $\leq 150\text{kV}$ ，管电流 $\leq 1500\text{mA}$ ）用于肿瘤的放射治疗，拟购置的医用电子直线加速器设备参数详见表 9-2。

表 9-2 本项目拟配备的医用电子直线加速器技术参数一览表

指 标	技术参数
型号	未定
位置	放疗中心一层肿瘤科
主要技术指标	X 射线能量 (MV) : ≤ 10 ; 电子线能量 (MeV) : ≤ 22
射线最大出射角	28° (等中心点每侧 14°)
源轴距 SAD	1m
等中心点至机房地坪的高度	1.3m
距靶 1m 处 X 辐射剂量率	10MV 时: 最大 14Gy·m ² /min
最大照射野大小	40cm×40cm
机架旋转	360°
靶材料	钨合金
CBCT 图像引导系统	管电压 $\leq 150\text{kV}$ ，管电流 $\leq 1500\text{mA}$

医用电子直线加速器是产生高能 X 射线和电子束的装置，为远距离治疗机。主要

由机架组件、辐射头、水冷系统、速调管、真空系统、充气系统、高压脉冲调制器、栅控电子枪电源、控制柜及操作盒、运控机箱、整机动力配电及低压电源、整机联锁保护电路等组成。从电子枪发出的同步电子束注入已建立高梯度的驻波或行波加速场中加速，在加速管末端，电子束加速到所需能量后经过漂移管进入 270° 偏转磁场。在偏转磁场中，电子束偏转 270° 后由水平入射变为垂直出射，并同时完成聚集和消除能谱色差形成直径 2mm 左右的平行束流，经过引出窗到达移动靶件处。移动靶件具有不同工位，可根据治疗需要使电子束轰击合金靶产生 X 辐射或直接穿透初级散射箔产生电子辐射。典型医用直线加速器基本结构示意图见图 9-2。

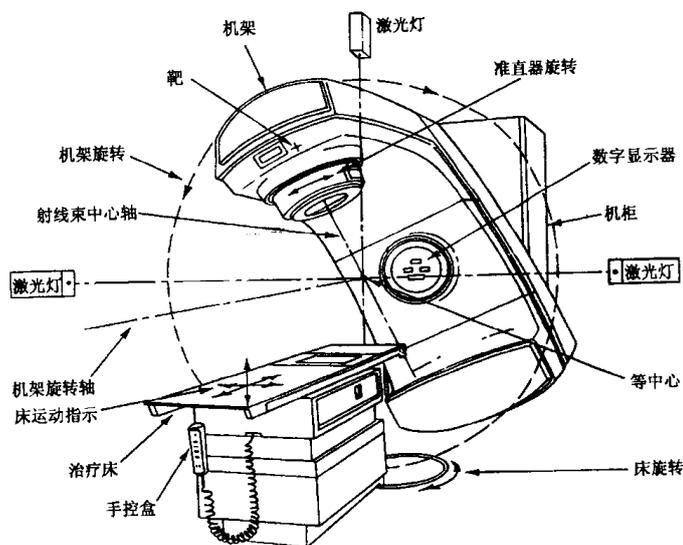


图 9-2 典型医用电子直线加速器基本结构示意图

(2) 工作原理

放疗是癌症三大治疗手段之一。是用各种不同能量的射线照射肿瘤，以抑制和杀灭癌细胞的一种治疗方法。放疗可单独使用，也可与手术、化疗等配合，作为综合治疗的一部分，以提高癌症的治愈率。放疗的基本目的是努力提高放疗的治疗增益比，即最大限度地将放射线的剂量集中到病变（靶区）内，而使周围的正常组织和器官少受或免受不必要的照射。

医用电子直线加速器是实现放疗的最常见设备之一，医用电子直线加速器是利用具有一定能量的高能电子与大功率微波的微波电场相互作用，从而获得更高的能量。这时电子的速度增加不大，主要是质量不断变大。电子直接引出，可作电子线治疗，电子打击重金属靶，产生韧致辐射发射 X 射线，作 X 射线治疗。

医用电子直线加速器系统示意图见图 9-3。

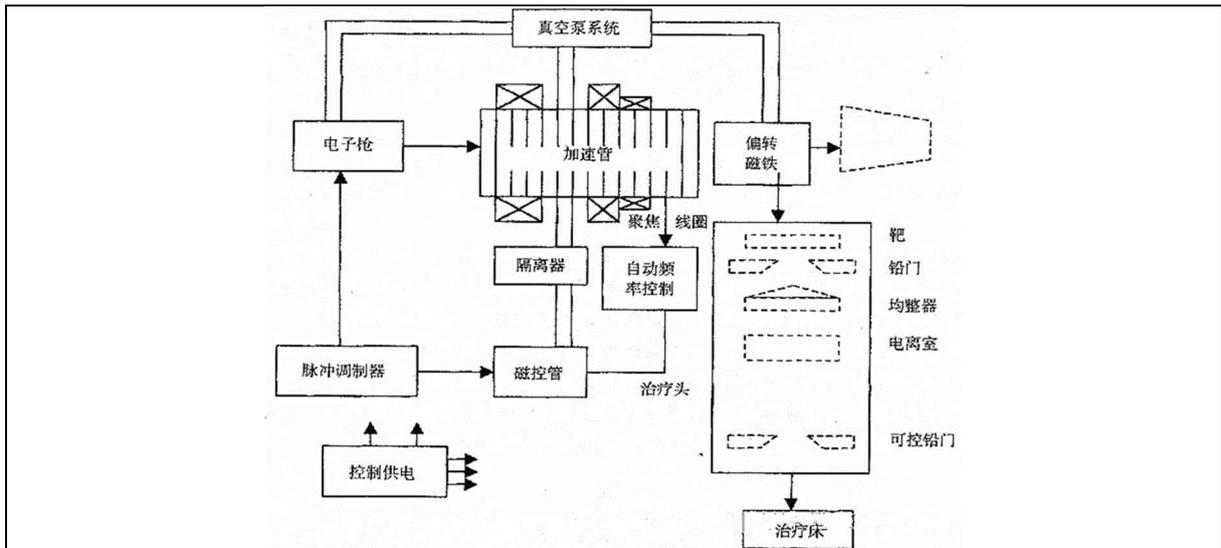


图 9-3 医用电子直线加速器系统示意图

(3) 工艺流程及产污环节

- 1) 进行定位：先通过肿瘤科的模拟定位机（属Ⅲ类射线装置）对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。
- 2) 制订治疗计划：根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和时间。
- 3) 固定患者体位：在利用医用电子直线加速器进行治疗时需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野。
- 4) 技师离开治疗室，进入控制室，根据 TPS 计划进行出束治疗；
- 5) 治疗结束后，关机，打开治疗室防护门，患者离开治疗室。

医用电子直线加速器放疗流程及产污环节如图 9-4 所示。



图 9-4 医用电子直线加速器放疗流程及产污环节示意图

(4) 质控流程

在进行放射治疗前，物理师先进行质控，质控流程为：物理师摆好体模，模拟对病灶部位进行准确定位，确定肿瘤的具体位置和形状，确定放疗靶区，完成治疗计划及验证。根据经验，物理师进行质控操作，X 射线曝光时间约为放射治疗时间的 10%。

(5) 主要用途

医用电子直线加速器主要用于肿瘤的放射治疗，根据医院预测的诊疗需要，本项目医用电子直线加速器机房投入使用后，预计每天接诊病人不超过 40 人次/台，每位病人出束治疗时间不超过 3min，年工作 250d，则单台医用电子直线加速器年出束治疗时间约 500h，物理师的质量控制验证出束时间约 50h/a，则设备总出束时间约为 550h/a。

2、后装治疗机项目

(1) 工程设备

医院拟于放疗中心一层肿瘤科建设 1 座后装治疗机机房，配备 1 台后装治疗机，内含 1 枚 ^{192}Ir 放射源，最大装源活度为 $3.70 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，用于腔内、组织间等肿瘤的放射治疗。常见的后装治疗机外观图见图 9-5。



图 9-5 常见后装治疗机外观图

后装治疗机由施源器、贮源系统、源传输系统以及控制系统组成。施源器是个直径为毫米级的管状物，管内可装球形的真源和假源，并有气动通道。后装治疗机治疗时则由传输管道连接贮源器，将源输送到预置于病员体内的施源器，按治疗计划由电脑自动控制进行照射治疗，照射完毕即自动将放射源收回到贮源器内。

本项目拟购置的后装治疗机主要技术参数见表 9-3。

表 9-3 本项目后装治疗机技术参数情况一览表

指标	技术参数
型号	未定
位置	放疗中心一层肿瘤科
放射源种类	^{192}Ir
放射源出厂活度	$3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ (10Ci)
放射源数量	1 枚

衰变方式	β^- 衰变
半衰期	74d
γ 射线能量均值	0.37MeV
空气比释动能率常数	0.111 μ Sv/ (h·MBq)
换源频率	2~3 次/a
用途	放射治疗

(2) 工作原理

后装治疗机是采用后装技术（后装技术就是先在病人身上正确放置好施源器，然后在安全防护条件下用遥控方法自控制室将后装治疗机贮源室内的放射源通过管道送到病人身上的施源器内，其好处是放置施源器有充分的时间，并可用透视或摄片校正位置，从而保证了放射源的正确位置），使 γ 放射源在人体自然腔、管道或组织间驻留而达到预定的剂量及其分布的一种放射治疗手段。可用于宫体、宫颈、直肠、食道、口腔、鼻咽等腔内肿瘤的后装治疗，也可用于皮肤浅表面肿瘤的后装治疗。

(3) 工艺流程及产污环节

后装治疗机治疗流程为：

①病人经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者与放疗中心预约登记，以确定模拟定位和治疗时间。

②预约病人首先通过肿瘤科的模拟定位机进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状，确定治疗中心。定位操作过程类似于 X 射线影像诊断，工作人员隔室操作。

③确定肿瘤位置和形状后，物理人员根据医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划，该过程通常在电脑上完成。

④治疗计划制定后，肿瘤病人在技术人员协助下，依据计划在治疗床上进行连接施源器，该过程在治疗机房内完成。

⑤安装施源器后，技术人员进入操作室，确定所有安全措施到位后，启动治疗机进行照射。

⑥照射完毕后，放射源返回后装治疗机贮源装置，技术人员协助病人离开机房，为下次照射做准备。

本项目后装治疗机贮源装置安装在机房内，驱动装置安装在控制室内，在对病人进行治疗时由辐射工作人员在控制室隔室遥控操作进行。

本项目后装治疗机治疗流程及产污环节见图 9-6。

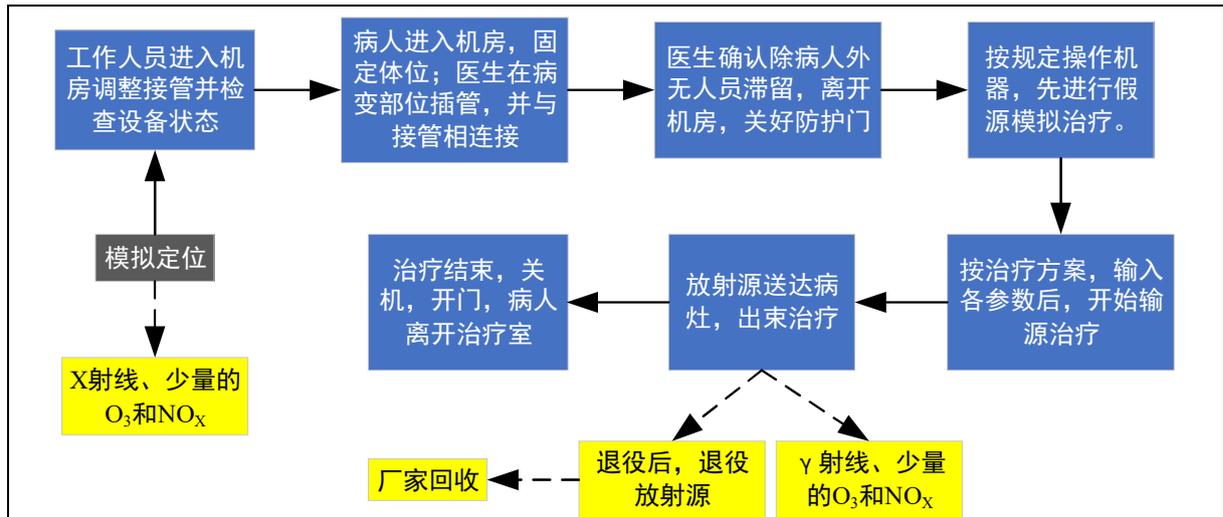


图 9-6 本项目后装治疗机治疗流程及产污环节示意图

(4) 主要用途

后装治疗机主要用于肿瘤的放射治疗，根据医院预测的诊疗需要，本项目后装治疗机投入使用后，预计每天接诊病人不超过 20 人次/台，每位病人单次出束治疗时间不超过 3min，年工作 250d，则后装治疗机年出束治疗时间约 250h，物理师质量控制验证出束时间约为 25h/a，则设备总出束时间约为 275h/a。

3、模拟定位机项目

(1) 工程设备

医院拟于放疗中心一层肿瘤科内新建 1 座模拟定位机机房，配置 1 台模拟定位机，用于放射治疗前的定位使用。模拟定位机主要由 X 射线机、诊断床、控制台、中央工作站和激光定位系统组成。本次拟购模拟定位机的具体参数见表 9-4。

表 9-4 本项目模拟定位机设备参数情况一览表

设备名称	管电压	管电流	分类	工作场所
模拟定位机	≤140kV	≤1500mA	III	模拟定位机机房

(2) 工作原理

模拟定位机等 X 射线诊断装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。X 射线管基本结构如图 9-7 所示。

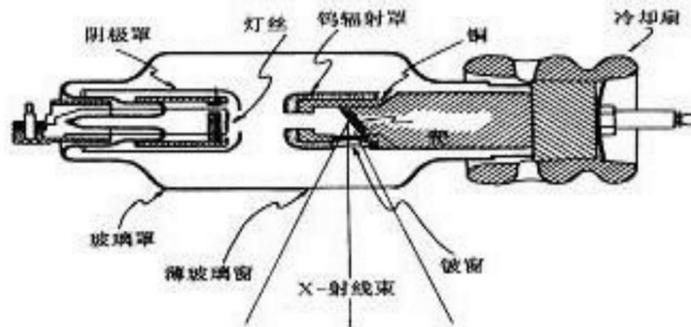


图 9-7 X 射线管基本结构示意图

(3) 工艺流程及产污环节

病人经医生诊断后，预约登记诊断时间。受检者按约定时间在候诊区准备和等候。受检者进入机房在医务人员的指导下正确摆位。摆位完成后，除患者外，无关人员退出机房。工作人员检查无误后，即开启模拟定位机进行拍片/模拟定位。检查结束后，受检者离开机房。模拟定位机诊断流程及产污环节见图 9-8。

患者候诊

告知辐射危害

进入机房，医护人员摆位

医护人员撤离机房
在控制室操作设备开机照射

X射线
少量臭氧及氮氧化物

关机，患者离开机房

图 9-8 模拟定位机诊断流程及产污环节示意图

(4) 肿瘤科各项目人员流动路径规划

本项目医用电子直线加速器机房、后装治疗机机房及模拟定位机机房均位于放疗中心一层肿瘤科，开展医用电子直线加速器治疗项目、后装治疗机治疗项目及模拟定位机定位项目的人流路径规划具体如下：

1) 医用电子直线加速器项目

①工作人员路径：

肿瘤科医用电子直线加速器工作人员由西侧的入口向东进入工作区域，进入肿瘤科的医用电子直线加速器的控制室，随后工作人员在对应的治疗室内对患者摆位后离开治疗室，再进入控制室对病人实施放射治疗活动。

②患者路径:

患者按预约日期首先来到放疗中心一层肿瘤科登记,随后向南沿着患者通道进入医用电子直线加速器治疗区,再向东沿迷道进入医用电子直线加速器机房,随后在机房内接受放射治疗,治疗完成按照原路径返回。

2) 后装治疗机项目

①工作人员路径:

肿瘤科后装治疗机工作人员由向东进入工作区域,沿着患者通道经进入肿瘤科的后装治疗机的控制室,随后工作人员在对应的治疗室内对患者摆位后离开治疗室,再进入控制室对病人实施放射治疗活动。

②患者路径:

患者按预约日期首先来到放疗中心一层肿瘤科登记,随后向南沿着患者通道进入后装治疗机治疗区,再向东沿迷道进入后装治疗机机房,随后在机房内接受放射治疗,治疗完成按照原路径返回。

3) 模拟定位机项目

①医生路径:本项目模拟定位机的控制室位于机房北侧,辐射工作人员沿着患者通道向南进入模拟定位机机房的控制室,诊断过程中再通过北侧防护门进入机房对患者进行摆位后离开机房,在控制室内对设备进行隔室操作。

②患者路径:本项目患者沿着患者通道向南,直至模拟定位机机房侧向西进入机房,由机房西侧防护门进入机房内接受诊断,诊断结束后原路返回。上述肿瘤科的人流路径详见图 9-9。

图 9-9 本项目肿瘤科人流路径示意图

(二) 核医学科

1、工程设备

通江县人民医院拟在放疗中心二层建设核医学科-影像中心，在三层建设核医学

科-核素病房及其他辅助用房等，共新建两处乙级非密封放射性物质工作场所。

拟使用放射性同位素 ^{18}F 开展 PET/CT 显像诊断项目，使用 3 枚 ^{68}Ge 放射源（属 V 类放射源）对 PET/CT 进行校准，使用放射性同位素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展 SPECT/CT 显像诊断项目。同时，拟使用放射性同位素 ^{131}I 开展甲状腺吸碘率测定项目。

拟于核医学科-核素病房使用放射性同位素 ^{131}I 开展甲癌治疗项目。本次拟新增辐射项目见表 9-5 至表 9-8。

表 9-5 通江县人民医院新建项目放射源使用情况一览表

放射源（核医学科-影像中心）							
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
1	^{68}Ge	$5.5 \times 10^7 \times 1$ 枚 $3.5 \times 10^6 \times 2$ 枚	V 类	使用	校准	核医学科	校准源库

表 9-6 通江县人民医院新建项目非密封放射性物质使用情况一览表（影像中心）

序号	核素	用途	单个病人最大用量 (mCi/人·次) / 用药方式	日最大病人量 (人)	年最大病人量 (人)	日最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)
1	^{18}F	核素显像	10（静脉注射）	20	5000	7.40×10^9	1.85×10^{12}
			备药量： $4 \times 7.40 \times 10^9 \text{Bq}$				2.96×10^{10}
10（静脉注射）	4		1000	1.48×10^9	3.70×10^{11}		
备药量： $4 \times 1.48 \times 10^9 \text{Bq}$					5.92×10^9	1.48×10^{12}	
2	^{68}Ga		20（静脉注射）	30	7500	2.22×10^{10}	5.55×10^{12}
2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$						
3	^{131}I	甲吸测定	0.01（口服）	10	2500	3.70×10^6	9.25×10^8

表 9-7 通江县人民医院新建项目非密封放射性物质使用情况一览表（核素病房）

序号	核素	用途	单个病人最大用量 (mCi/人·次) / 用药方式	日最大病人量 (人)	年最大病人量 (人)	日最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)
1	^{131}I	甲癌治疗	150（口服）	5	250	2.78×10^{10}	1.39×10^{12}

表 9-8 通江县人民医院新建项目射线装置使用情况一览表

射线装置（核医学科-影像中心）								
序号	射线装置名称	装置型号	数量	最大管电压	最大管电流	射线装置类别	活动种类	使用场所
1	PET/CT	未定	1	$\leq 140\text{kV}$	$\leq 1000\text{mA}$	III	使用	核医学科
2	SPECT/CT	未定	1	$\leq 140\text{kV}$	$\leq 1000\text{mA}$	III	使用	核医学科

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。

根据设计院提供的平面布局可知，通江县人民医院本次新建核医学科项目主要为放射性同位素的诊断与治疗，两个工作场所分别位于放疗中心的二层和三层，具有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，医院本次新建的核医学科应作为两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 9-9。

表 9-9 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 9-10、表 9-11。

表 9-10 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 9-11 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

$$\text{日等效用量} = \frac{\text{日操作量} \times \text{毒性修正因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \dots\dots \text{公式 9-1}$$

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 9-12 和表 9-13。

表 9-12 本项目核医学科-影像中心使用的放射性核素日等效最大操作量核算

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)	合计 (Bq)
¹⁸ F	7.40×10 ⁹	低毒 0.01	液态、很简单操作 10	7.40×10 ⁶	3.50×10 ⁷
	2.96×10 ¹⁰	低毒 0.01	液态、源的贮存 100	2.96×10 ⁶	
⁶⁸ Ga	1.48×10 ⁹	低毒 0.01	液态、很简单操作 10	1.48×10 ⁶	
	5.92×10 ⁹	低毒 0.01	液态、源的贮存 100	5.92×10 ⁵	
^{99m} Tc	2.22×10 ¹⁰	低毒 0.01	液态、很简单操作 10	2.22×10 ⁷	
¹³¹ I (甲吸)	3.70×10 ⁶	中毒 0.1	液态、简单操作 1	3.70×10 ⁵	

表 9-13 本项目核医学科-核素病房使用的放射性核素日等效最大操作量核算

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)	合计 (Bq)
¹³¹ I (甲癌)	2.78×10 ¹⁰	中毒 0.1	液态、简单操作 1	2.78×10 ⁹	2.78×10 ⁹

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 9-12 和表 9-13 计算结果可知本次新建的核医学科-影像中心日等效最大操作量为 3.50×10⁷Bq，核医学科-核素病房日等效最大操作量为 2.78×10⁹Bq，均属于 (2×10⁷~4×10⁹) Bq 的范围，确定通江县人民医院本次新建的核医学科 2 处工作场所均为乙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 射线装置

1) PET/CT

PET/CT 是将 PET 与 CT 融为一体，由 PET 提供病灶详尽的功能与代谢等分子信息，而 CT 提供病灶的精确解剖定位。PET 系统的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。探测系统是整个正电子发射显像系统中的主要部分，它采用的块状探测结构有利于消除散射、提高计数率。CT 主要有扫描部分、计算机系统、图像显示和存储系统组成，其中扫描部分由 X 线管、探测器和扫描架组成。PET/CT 结构示意图见图 9-10。

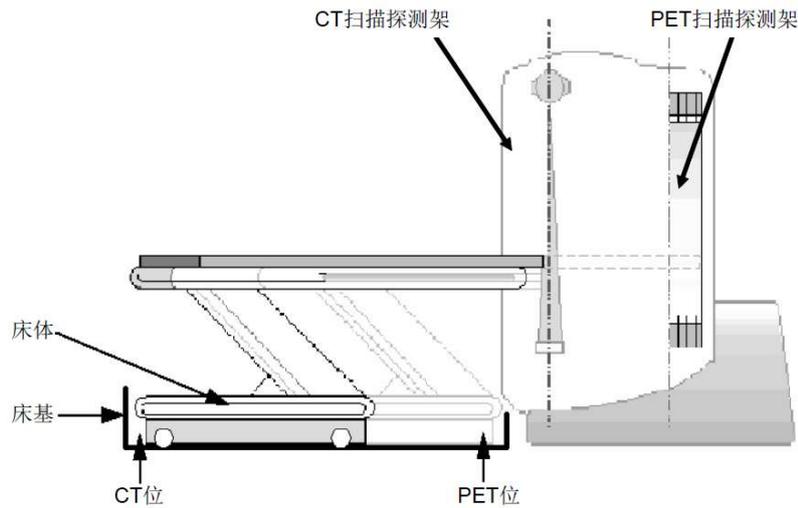


图 9-10 PET/CT 结构示意图

本项目拟新增的 1 台 PET/CT 主要设备技术参数见表 9-14。

表 9-14 核医学科 PET/CT 主要设备技术参数

指标	技术参数
型号	未定
位置	核医学科-影像中心 PET/CT 机房
额定管电压	≤140kV
额定管电流	≤1000mA
用途	显像

2) SPECT/CT

SPECT/CT 的基本结构分 3 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/CT 将功能显像的 SPECT 与解剖显像的 CT 图像有机融合，提高信噪比，在获取衰减校正后的核医学影像同时与同机 CT 图像融合，实现 SPECT 的高敏感性优势及 CT 的解剖准确性优势互补，既可显示病变的血液及功能改变，又可显示其解剖学影像，有效提高病灶的检出能力和定位能力，提高疾病诊断的准确率从而大大提高了诊断的效能。常见的 SPECT/CT 外观图见图 9-11。



图 9-11 常见 SPECT/CT 外观图

本项目拟新增的 1 台 SPECT/CT 主要设备技术参数见表 9-15。

表 9-15 核医学科 SPECT/CT 主要设备技术参数

指 标	技术参数
型 号	型号未定
位 置	核医学科-影像中心 SPECT/CT 机房
额定管电压	≤140kV
额定管电流	≤1000mA
用 途	显像

2、工作原理及工艺流程-PET/CT 部分

(1) 工作原理

核医学的体内诊断是将放射性核素及其标记物注射到人体内后，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分布和代谢来反映人体内的病理或生理变化。放射性核素进入人体后，特定的放射性核素按照自身的规律发生衰变，在此过程中发射一定能量的 γ 射线，采用特殊的探测装置可以在人体外探测到体内放射性核素的分布，就能准确的观察到体内的病理或生理变化过程，为医学研究与临床诊断提供可靠信息。

PET 的成像技术是利用带正电子的放射性核素注入人体内产生的湮没辐射 γ 光子构成影像。正电子只能瞬态存在，很快与组织中的负电子结合湮没辐射产生两个能量相等、方向相反的 γ 光子。正电子放射性核素可构成人体各部位的任何影像，包括平面影像、动态影像、断层影像及全身影像。湮没辐射产生的 γ 光子互成 180° ，提供了很好的空间定位。正电子成像一般不需要机械准直器而采用电子准直，大大提高了探测灵敏度，改善了空间分辨率。正电子断层显像主要用于心血管疾病、脑及神经疾病和肿瘤的诊断，对肿瘤的良好、恶性鉴别诊断、分期、化疗和放疗后疗效观察及判断肿瘤病灶转移与复发均有重要价值。近年来，为获得清晰的成像，又发展了与 X 射线 CT 融合的 PET/CT、PET/MR 等设备。常见的 PET/CT 外观图见图 9-12。



图 9-12 常见的 PET/CT 外观图

本项目 PET/CT 拟使用放射性同位素 ^{18}F 和 ^{68}Ga 配合新增的 PET/CT 进行影像诊断。

当某种放射性核素或其标记物如 ^{18}F 和 ^{68}Ga 等通过注射等方式进入体内后，依其化学及生物学特性不同，随血流等进入某些特定的组织器官，参与或模仿某些生命物质在人体内的病理生理、引流代谢的过程。由于正常组织和病变组织在这个过程中的差异，使其聚集这种放射性核素或其标记物的能力发生了变化。利用 PET 来探测这种放射性核素发射的 γ 射线在体内的分布状态并还原成图像，其影像不仅可以显示脏器和病变的位置、形态、大小等解剖结构，更重要的是可以显示脏器的功能、代谢情况，提供有关脏器的血流、功能、代谢和引流等方面定性的和定量的信息。而血流、功能和代谢的异常，常是疾病的早期变化，出现在形态结构发生改变之前。因此，PET 放射性核素显像有助于疾病的早期诊断。

本项目 PET/CT 拟使用的放射性核素种类及其特性见表 9-16。

表 9-16 放射性核素特性一览表

核素名称	半衰期	衰变类型及分支比 (%)	主要 α 、 β 辐射能量 (keV) 与绝对强度 (%)	主要 γ 、X 射线能量 (keV) 与绝对强度 (%)	周围剂量率当量率常数 (裸源) ^① ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)
^{18}F	109.8min	β^+ , EC	0.63 (+)	0.511	0.143
^{68}Ga	68.3min	β^+ , EC	1.9 (+)	0.511	0.134

注：①该数据来源于《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)。

(2) 工作流程、产污环节及污染因子

医院本次核医学科-影像中心拟使用的放射性药物 ^{18}F 和 ^{68}Ga 购自有资质供货商，均为成品药，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，向专业供应商订购，供应商根据医院预约的时间和用量定时（患者就诊前）将药物从

药物通道送达核医学科-影像中心的储源室内，医院指定专人负责药物的接收和登记，并当天用完。

PET/CT 诊断具体工作流程如下：

- 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；
- 3) 病人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)；
- 4) 病人注射药品后通过仪器进行器官显像和病情检查。此过程病人带有 γ 射线。

PET/CT 系统诊断工艺流程及产污位置图如图 9-13 所示。

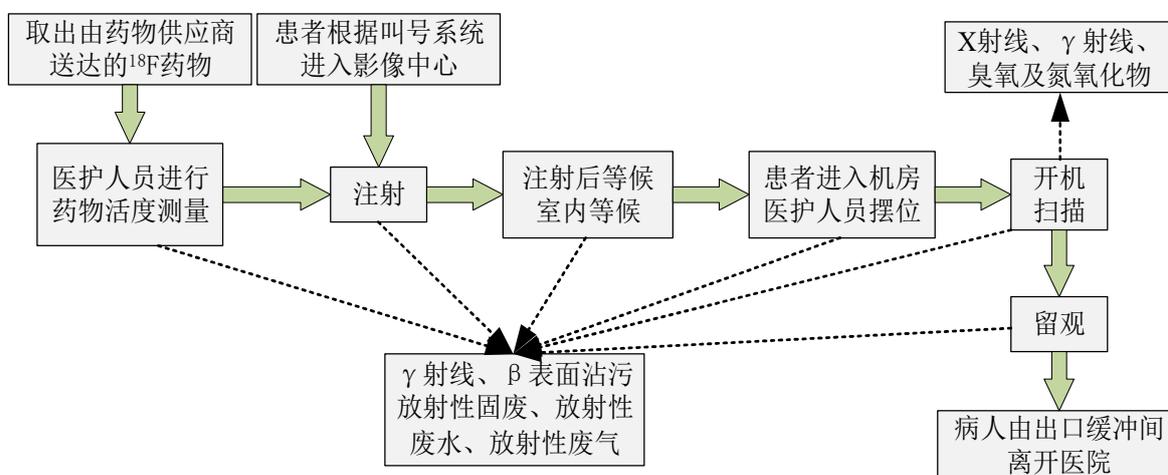


图 9-13 本项目核医学诊断流程及产污环节示意图

因此，使用 ^{18}F 和 ^{68}Ga 核素标记 PET 显像主要环境影响为活度测量和注射对工作人员产生的外照射；活度测量和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，PET/CT 扫描时产生的 X 射线。

(3) ^{68}Ge 校准源工作原理

本项目 PET/CT 设备拟使用 3 枚 ^{68}Ge 校准源 ($5.5 \times 10^7 \text{Bq/枚} \times 1 \text{枚} + 3.5 \times 10^6 \text{Bq/枚} \times 2 \text{枚}$)，均属 V 类放射源。

本项目使用 ^{68}Ge 校准源模拟注射同位素药物的人体，用于探头采集均匀性和能峰的校准。通过对 ^{68}Ge 校准源校正前、后正常体检患者的 PET 图像和参数报告进行对比分析，校正其中存在的显著差异。

本项目使用的 ^{68}Ge 校准源属于 V 类密封源，半衰期为 288 天，主要衰变方式为纯电子俘获（EC），主要发射能量为 0.511MeV 的 γ 射线（经由 ^{68}Ge ，正电子湮没），属于极低危险密封源。

（4） ^{68}Ge 校准源工作流程

PET/CT 设备需要校准时，工作人员将含密封校准源铅罐放置于设备外挂放射源支架上，工作人员退出机房，设备进行校准。校准源使用过程中不产生放射性废物，图像校准及探头校正过程中释放出 γ 射线贯穿屏蔽层对操作人员产生影响甚微。质控通常选择在没有病人的时候进行，具体操作流程如下：

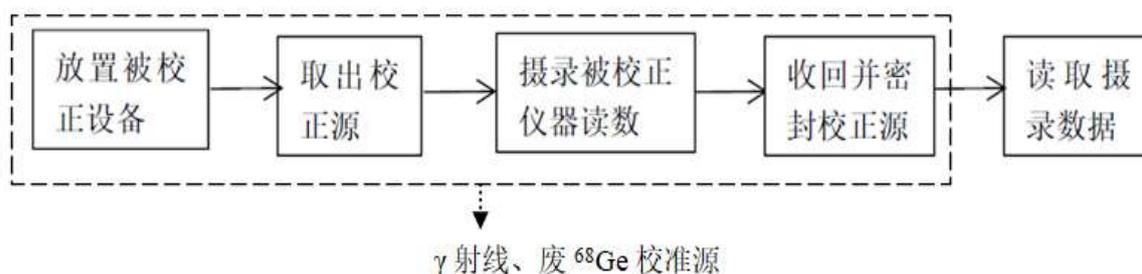


图 9-14 ^{68}Ge 校准源质控操作流程

^{68}Ge 校准源衰变放出 γ 射线， ^{68}Ge 校准源在使用过程中产生的污染因子为 γ 射线以及退役 ^{68}Ge 校准源。

3、工作原理及工艺流程-SPECT/CT 部分

（1）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。

本项目 SPECT/CT 拟使用的放射性核素种类及其特性见表 9-17。

表 9-17 放射性核素特性一览表

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 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)
^{99m} Tc	6.02h	同质异能跃迁	-	0.140	0.0303

注：①该数据来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）。

(2) 工作流程、产污环节及污染因子

医院本次核医学科-影像中心拟使用的放射性药物 ^{99m}Tc 购自有资质供货商，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，向专业供应商订购，供应商根据医院预约的时间和用量定时（患者就诊前）将药物从药物通道送达核医学科-影像中心的储源室内，医院指定专人负责药物的接收和登记，并当天用完。

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。

患者在接到通知后经缓冲间再至分装室注射窗口注射放射性药物。医护人员在手套箱内根据患者用药情况将成品药装至带铅套的注射器内或者容器内，测定活度，经校对无误后，在注射铅玻璃屏的屏蔽下为患者注射药物。注射完毕后的注射器及患者服药后的一次性器皿放入专用废物铅桶内。每次活度测量过程中近距离接触 ^{99m}Tc 药物的时间保守按 2min、注射过程按 1min 估算。

患者根据注入的 ^{99m}Tc 药物特性，在 SPECT/CT 注射后等候室内静坐或静躺片刻，待药物代谢至靶器官，再进入 SPECT/CT 机房，经医护人员摆位后，接受 SPECT/CT 的扫描，每次扫描约 10~20 分钟。扫描完成后，患者在留观室留观一段时间后，若无其他情况，经缓冲间从患者专用通道离开。SPECT/CT 诊断项目工作流程及产污环节分析见图 9-15。

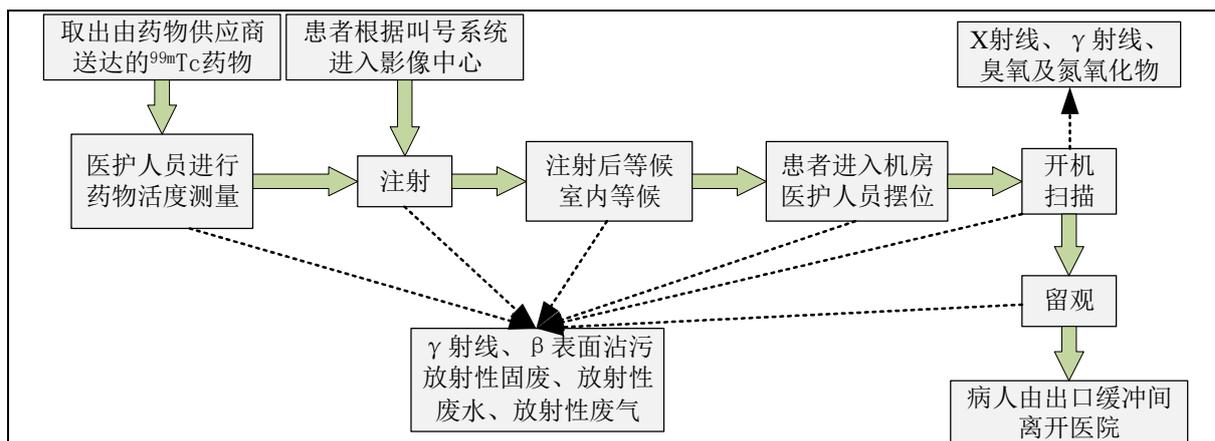


图 9-15 SPECT/CT 诊断项目工作流程及产污环节分析示意图

因此，在 SPECT/CT 核素显像检查过程中，主要环境影响为活度测量和给药对工作人员产生的外照射；活度测量和给药过程对工作台面、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、可能污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、使用放射性药物患者的排泄物。

4、工作原理及工艺流程-¹³¹I 甲状腺吸碘功能测定（甲功测定）部分

(1) 工作原理

甲状腺吸 ¹³¹I 功能试验是了解甲状腺碘代谢的常用方法。甲状腺具有摄取和浓聚碘的能力，碘参与甲状腺激素合成、分泌的全过程。在空腹条件下，口服放射性 ¹³¹I 后，经胃肠吸收并随血流进入甲状腺，并迅速被甲状腺滤泡上皮细胞摄取，其摄取量与速度与甲状腺的功能密切相关。因此，利用甲状腺功能测定仪获得不同时间的甲状腺摄碘率，以此来评价甲状腺的功能状态。

本项目拟使用的放射性核素种类及其特性见表 9-18。

表 9-18 放射性核素特性一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	β 最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	周围剂量率当量率常数 (裸源) ^① (μSv·m ² /MBq·h)
¹³¹ I	8.04d	β ⁻ (100)	0.6065	0.364480	0.0595

注：①该数据来源于《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）。

(2) 工作流程、产污环节及污染因子

医院根据与病人预约情况提前向药物供货商订购放射性同位素 ¹³¹I，由药物供货商负责药物运输至储源室，医生通知患者进入分装注射室，按配送的药物直接给每个病人口服。

该院预计甲状腺吸碘功能测定病例每天最多 10 例，预计每名患者所使用 ¹³¹I 的

活度不超过 $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ ($10 \mu\text{Ci}$)，患者用药后离开工作场所，随后每隔 2h、4h 及 24h 返回至甲测室进行测定。甲状腺吸碘功能测定流程及产污环节见图 9-16。

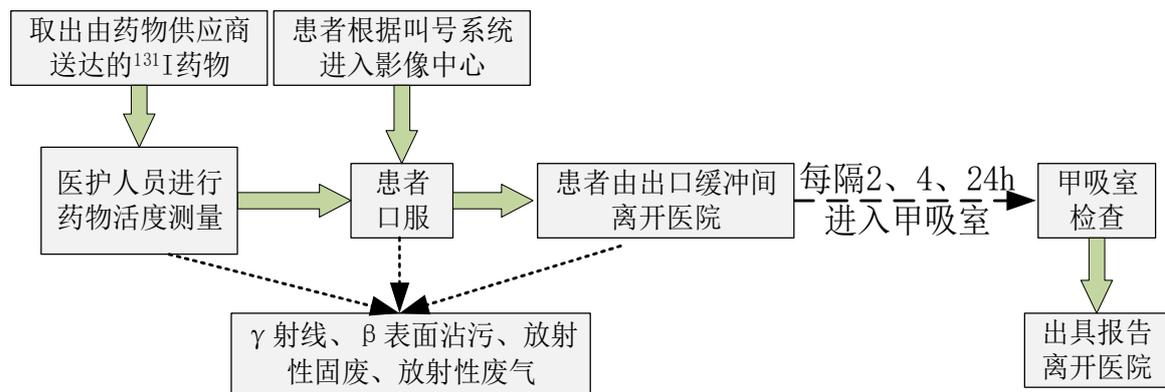


图 9-16 ^{131}I 甲状腺吸碘功能测定项目工作流程及产污环节分析示意图

5、工作原理及工艺流程- ^{131}I 甲癌治疗部分

(1) 工作原理

放射性核素 ^{131}I 可以高度选择性聚集在分化型甲状腺癌及转移灶， ^{131}I 衰变时发射出的射程很短的 β 射线和能量跃迁时发出的 γ 射线，从而对病变组织进行内照射治疗，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或破坏病变组织的目的，而邻近的正常组织的吸收剂量很低，从而达到治疗目的。

(2) 工作流程、产污环节及污染因子

甲癌治疗方法和流程主要包括患者住院前的宣教、病人准备、给药及住院治疗四个步骤：

- ①门诊诊断后接收患者，初步进行身体检查，办理住院手续；
- ②住院宣教、告知辐射危害及住院期间的注意事项；
- ③给药：医生根据病情确定使用核素的剂量，病人给药采用口服方式进行给药，辐射工作人员(做好防护措施，穿铅衣、铅围脖等)在核素病房服药室的自动分装仪分装好药物，患者直接口服药物；
- ④服完药物后，进入指定的核素病房内住院治疗，一般住院 3~5 天，期间通过语音对讲装置到取餐口取餐；
- ⑤住院结束后，检查身体沾污情况，无异常从核素病房出口缓冲间离开医院。 ^{131}I 甲癌治疗流程及产污环节见图 9-17。

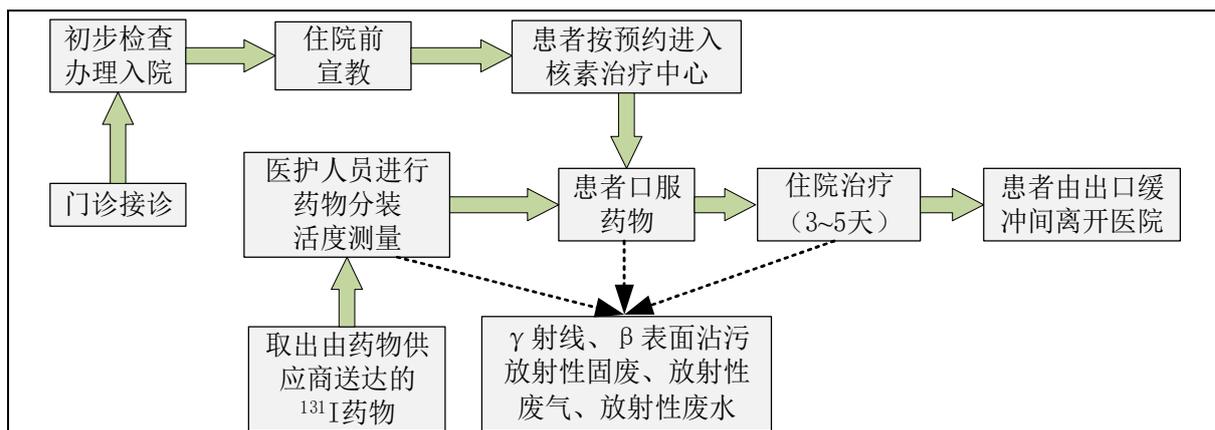


图 9-17 ¹³¹I 甲癌治疗项目工作流程及产污环节分析示意图

6、项目人流和物流的路径规划

医院本次新建的核医学科位于放疗中心二层和三层，结合本项目的工艺流程，本次核医学科的人流、物流路径规划具体如下：

(1) 影像中心人员路径：

① 工作人员路径：

核医学科-影像中心的护士由核医学科西侧的医护通道经卫生通过间到达分装室，在储源室内取出所需注射的放射性药物至手套箱，在手套箱内完成活度测量等操作，再至注射窗口给患者施药。该路径上卫生通过间内配置有表面污染监测设备，设置有感应式洗手池和淋浴设施，分装室内产生的固体废弃物暂存于废物桶内，随后转移至放射性废物暂存间内。

核医学科技师经西侧的医生通道至控制室，并通过工作人员防护门进入机房给患者摆位，摆位完成后离开机房在控制室内完成对患者的显像扫描工作。

② 患者路径：

显像患者在核医学科-影像中心（二层）候诊门厅候诊，经护士叫号后经缓冲间来到分装室的注射窗口，注射完药物后至对应的注射后候诊室内休息候诊，再进入 PET/CT 机房或 SPECT/CT 机房进行显像检查，检查完毕后在留观室内休息片刻，再至出口缓冲区经表面污染水平检测后离开。该路径上，患者入口和患者出口处均设置有缓冲间，仅允许患者单向通行。该诊断区域内设有专用卫生间，患者在专用卫生间内如厕，不随意走动，诊断期间，各自根据叫号系统提示到相应的位置进行诊断检查。

③ 工作场所拟使用的放射性药物运送路径：

本项目影像中心所使用的放射性药物均由有资质单位供应，放射性药物会在患者

就诊前送至核医学科，在医院对接人对接后经直接送至储源室内暂存。

④放射性废物路径：

本项目影像中心产生的放射性废物分为 2 部分，第一部分主要是影像中心分装室内产生的放射性废物，该部分废物先暂存在分装注射室的铅废物桶内，随后转移至核医学科影像中心出口处的放射性废物暂存间内暂存，待暂存至一定期限后转移至医院的医疗废物暂存间内。

第二部分放射性废物主要是注射后候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房及留观室等功能房间患者就诊时产生的少量废物，该部分放射性废物会在患者就诊结束后由专业人员打扫并集中收储至核医学科影像中心出口处的放射性废物暂存间内暂存，待暂存至一定期限后转移至医院的医疗废物暂存间内。

(2) 核素病房人员路径：

①工作人员路径：

核医学科-核素病房的护士由核医学科西侧的医护通道经卫生通过间进入分装室，在自动分装仪上或服药窗口上给患者施药。该路径上卫生通过间内配置有表面污染监测设备，设置有感应式洗手池和淋浴设施，服药室内产生的固体废弃物暂存于铅废物桶内，随后转移至放射性废物暂存间内。

②患者路径：

治疗患者在通过缓冲间来到服药窗口，口服完药物后至对应的核素病房内住院（一般住院 3~5 天），治疗完毕后再至出口缓冲区经表面污染水平检测后离开。该路径上，患者入口和患者出口处均设置有缓冲间，核素病房区域的各病房内设有专用卫生间，患者在专用卫生间内如厕，不随意走动，治疗期间，各自根据叫号系统提示到取餐处取餐。

③工作场所拟使用的放射性药物运送路径：

本项目核素病房所使用的放射性药物均由有资质单位供应，放射性药物会在患者就诊前送至核医学科，通过核素病房西侧医护通道直接送至储源室内暂存。

④放射性废物路径：

本项目核素病房产生的放射性废物也分为 2 部分，第一部分主要是服药室内产生的放射性废物，该部分废物先暂存在分装室内的放射性废物暂存间的铅废物桶内，随后转移至核医学科核素病房南侧的放射性废物暂存间内暂存，待暂存至一定期限后转

移至医院的医疗废物暂存间内。

第二部分放射性废物主要是各甲癌患者住院期间时产生的少量废物及更换下来的被服等，该部分放射性废物会在患者住院结束后由专业人员打扫并集中收储至核医学科出口处的放射性废物暂存间和污染被服间内暂存，待暂存至一定期限后转移至医院的医疗废物暂存间内。

本项目工作场所的病人、医护人员及药物等流动路线见图 9-18 和图 9-19。

本次新建的 2 处非密封放射性物质工作场所相关配套布局能够保证各项工作程序沿着相关房间单向开展，最大限度的减少了人员的流动性，有助于实施工作程序；医护人员与病患各自独立的通道，本次 2 处乙级非密封放射性物质工作场所布局均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中关于临床核医学工作场所的要求。

图 9-18 本项目核医学科人流物流路径示意图（影像中心）

图 9-19 本项目核医学科人流物流路径示意图（核素病房）

污染源项描述

一、施工期污染源

1、废水

施工期少量废水主要来自以下几个方面：

①施工场地废水；②施工人员生活污水。

2、扬尘

施工期的大气污染物主要是地面扬尘污染，污染因子为 TSP，为无组织排放。施工产生的地面扬尘主要来自三个方面，一是墙体装修扬尘；二是来自建筑材料包括水泥、沙子等搬运扬尘；三是来自来往运输车辆引起的二次扬尘。

3、固体废物

施工期产生的固体废弃物主要为施工人员的生活垃圾及废弃的各种建筑装饰材料等建筑垃圾。

4、噪声

主要是使用施工机械和装修设备产生的噪声。

二、营运期污染源

（一）肿瘤科

1、医用电子直线加速器项目

（1）电离辐射

本项目拟配置的医用电子直线加速器为II类射线装置，在开机状态下主要辐射为 X 射线，关机状态不产生 X 射线。本项目拟配备的医用电子直线加速器的 X 射线最大能量为 10MV，10MV 时，1m 处最大输出剂量率为 14Gy/min。

当医用电子直线加速器按电子束模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗病人。产生的电子属初级辐射，贯穿物质时受物质库仑场的影响，贯穿深度有限。医用电子直线加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在医用直线加速器电子束治疗时间时，电子线对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗。因此，本项目医用电子直线加速器开机期间，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。

(2) 固体废物

本项目医用电子直线加速器工作过程不产生固体废物；工作人员工作中会产生少量的生活垃圾和办公垃圾。

(3) 废气

本项目医用电子直线加速器治疗过程中产生的 X 射线，会使治疗室内的空气电离，产生少量臭氧和氮氧化物。

(4) 废水

本项目医用电子直线加速器冷却系统采用蒸馏水，内循环使用不外排，不会产生废水。新增的工作人员会产生少量生活废水。

(5) 噪声

本项目噪声主要来源于空调系统的室外机以及屋面的通排风系统的风机，本项目所使用的通排风系统为低噪声节能排风机，其噪声值低于 60dB(A)，噪声较小；空调系统的室外机其噪声值低于 58dB(A)，噪声较小。

2、后装治疗机项目

(1) 电离辐射

本项目后装治疗机内含 ^{192}Ir 放射源一枚，出厂活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，属 III 类放射源。 ^{192}Ir 放射源主要产生 γ 射线对周围环境造成辐射影响。

(2) 废气

在设备开机运行过程中，治疗室内的空气在电离辐射作用下产生臭氧及氮氧化物等有害气体。

(3) 固体废物

后装治疗机使用的放射源 ^{192}Ir 随着核素的自然衰变， ^{192}Ir 放射源的活度不断降低，当 ^{192}Ir 放射源使用到一定年限后，会产生退役的 ^{192}Ir 放射源，退役 ^{192}Ir 放射源由原厂家回收处置。辐射工作人员工作中会产生少量的生活垃圾和办公垃圾。

(4) 废水

本项目工作人员工作中会产生生活污水及医疗废水。

(5) 噪声

本项目噪声主要来源于空调系统的室外机以及屋面的通排风系统的风机，本项目所使用的通排风系统为低噪声节能排风机，其噪声值低于 60dB(A)，噪声较小；空调

系统的室外机其噪声值低于 60dB(A)，噪声较小。

3、模拟定位机项目

医院拟在模拟定位机机房内拟新增使用 1 台模拟定位机（最大管电压 140kV、最大管电流 1500mA）用于放射诊断，本项目模拟定位机采用先进的数字成像技术，不使用显影液、定影液和胶片，因此不会产生废显影液、废定影液和废胶片。模拟定位机出束时，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 射线随模拟定位机的开、关而产生和消失。

（二）核医学科

1、电离辐射

医院拟在 PET/CT 机房内新增使用 1 台 PET/CT（最大管电压 140kV、最大管电流 1000mA），拟在 1 座 SPECT/CT 机房内拟各新增使用 1 台 SPECT/CT（最大管电压 140kV、最大管电流 1000mA）均用于核素诊断，均属于 III 类射线装置。

核医学科-影像中心拟使用放射性同位素 ^{18}F （含备药量，年最大使用量 $9.25 \times 10^{12}\text{Bq}$ 、日最大使用量 $3.70 \times 10^{10}\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $1.04 \times 10^7\text{Bq}$ ）、 ^{68}Ga （含备药量，年最大使用量 $9.25 \times 10^{11}\text{Bq}$ 、日最大使用量 $7.40 \times 10^9\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $2.07 \times 10^6\text{Bq}$ ）、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （年最大使用量 $5.55 \times 10^{12}\text{Bq}$ 、日最大使用量 $2.22 \times 10^{10}\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $2.22 \times 10^7\text{Bq}$ ）用于开展核素显像诊断项目，使用放射性同位素 ^{131}I （年最大使用量 $9.25 \times 10^8\text{Bq}$ 、日最大使用量 $3.70 \times 10^6\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $3.70 \times 10^5\text{Bq}$ ）用于开展甲状腺吸碘率测定项目；

核医学科-核素病房拟使用放射性同位素 ^{131}I （年最大使用量 $1.40 \times 10^{12}\text{Bq}$ 、日最大使用量 $2.78 \times 10^{10}\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $2.78 \times 10^9\text{Bq}$ ）用于开展甲癌治疗项目。

PET/CT 和 SPECT/CT 扫描时产生的 X 射线、放射性药物在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生的 γ 射线，校准源校准过程中释放 γ 射线，以上射线会造成医务人员和公众的外照射。

2、 β 放射性表面污染

医生在对含有放射性同位素 ^{18}F 等的各种操作中，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、废气

本项目使用的放射性同位素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 等在带有通风装置的手套箱内进行

分装，产生少量的放射性气溶胶。

在 CT 开机并曝光时，X 射线电离空气，会产生臭氧和氮氧化物。CT 曝光时间很短，臭氧和氮氧化物的产生量极少。

4、废水

体内含有放射性核素的病人排泄物；工作场所清洗废水等。

5、固体废物

放射性同位素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量放射性同位素的医疗固体废弃物，更换下来的废活性炭。污染途径为操作过程中及收集固废过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射。

退役或报废的校准源由放置于校准源室内，退役或报废的密封源交还给生产厂家。

6、噪声

本项目噪声主要来源于空调系统的室外机以及屋面的通排风系统的风机，本项目所使用的通排风系统为低噪声节能排风机，其噪声值低于 60dB(A)，噪声较小；空调系统的室外机其噪声值低于 60dB(A)，噪声较小。

7、非放射性三废

本项目废气为电离辐射产生的 O₃、NO_x 等废气；本项目废水为工作人员产生少量的生活污水；本项目的固体废物，主要为工作人员产生的生活垃圾以及医疗废物；本项目噪声主要设备运行过程中产生的噪声以及排风系统风机产生的噪声。

(三) 其他

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。

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

1、肿瘤科

本项目的肿瘤科设置于放疗中心一层，位于本栋建筑的底层。医用电子直线加速器机房、后装治疗机机房及模拟定位机机房的控制室均位于治疗室的一侧，均为隔室操作，减少了对职业人员的照射。肿瘤科平面布局详见附图 4。肿瘤科设置于建筑底层，避开了医院的儿科病房、产房和门诊等特殊人群区域或人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中关于选址与布局的规定。

2、核医学科

本项目核医学科位于放疗中心二层和三层（平面布局详见附图 5 和附图 6），工作场所相对独立，周边无其他科室，新增的非密封放射性物质工作场所避开了医院的产科、儿科、食堂等部门，且新增的工作场所出入口避开了人流量较大的门诊大厅、收费处等人群稠密区域，避免了对公众不必要的照射，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中关于选址与布局的规定。

(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《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的规定：放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场

所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗室，术中放射治疗室应确定为临时控制区。

与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

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）肿瘤科

本次环评根据控制区和监督区的定义，结合项目辐射防护和环境情况特点进行辐射防护分区划分。医院拟将医用电子直线加速器机房（含迷道）、后装治疗机机房（含迷道）及模拟定位机机房等划分为控制区，该区域涉及射线装置和放射源的操作，属于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及其他法律法规定义的控制区，进行了专门的屏蔽防护设计；其余房间如：各控制室、水冷机房、冲洗间、综合库房、更衣间及服务器机房等属《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及其他法律法规定义的监督区。

（2）核医学科

本次环评根据控制区和监督区的定义，结合项目辐射防护和环境情况特点进行辐射防护分区划分。医院拟将核医学科-影像中心的分装注射室、储源室、放射性废物暂存间、去污淋浴间、SPECT/CT 注射后候诊室、PET/CT 注射后候诊室、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、留观室、运动负荷室兼抢救室、甲测室及衰变池等划分为控制区；拟将核医学科-核素病房的分装室、服药室、放射性废物暂存间、储源室、抢救室、核素病房 1~5、污染被服间、取餐间及衰变池等划分为控制区，该区域涉及放射性同位素的操作，属《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及其他法律

法规定的控制区，进行了专门的屏蔽防护设计；其余房间如：影像中心的控制室、缓冲间及卫生通过间等和核素病房的缓冲间、护士站、清洁被服库及卫生通过间等均属《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及其他法律法规定义的监督区。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

科室名称	控制区	监督区
肿瘤科	医用电子直线加速器机房（含迷道）、后装治疗机机房（含迷道）及模拟定位机机房	各控制室、水冷机房、冲洗间、综合库房、更衣间及服务器机房等
核医学科 影像中心	分装注射室、储源室、放射性废物暂存间、去污淋浴间、SPECT/CT 注射后候诊室、PET/CT 注射后候诊室、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、留观室、运动负荷室兼抢救室、甲测室及衰变池等	控制室、缓冲间、预留诊室及卫生通过间等
核医学科 核素病房	分装室、服药室、放射性废物暂存间、储源室、抢救室、核素病房 1~5、污染被服间、取餐间及衰变池等	缓冲间、护士站、清洁被服库及卫生通过间等

图 10-1 肿瘤科分区示意图

图 10-2 核医学科-影像中心分区示意图

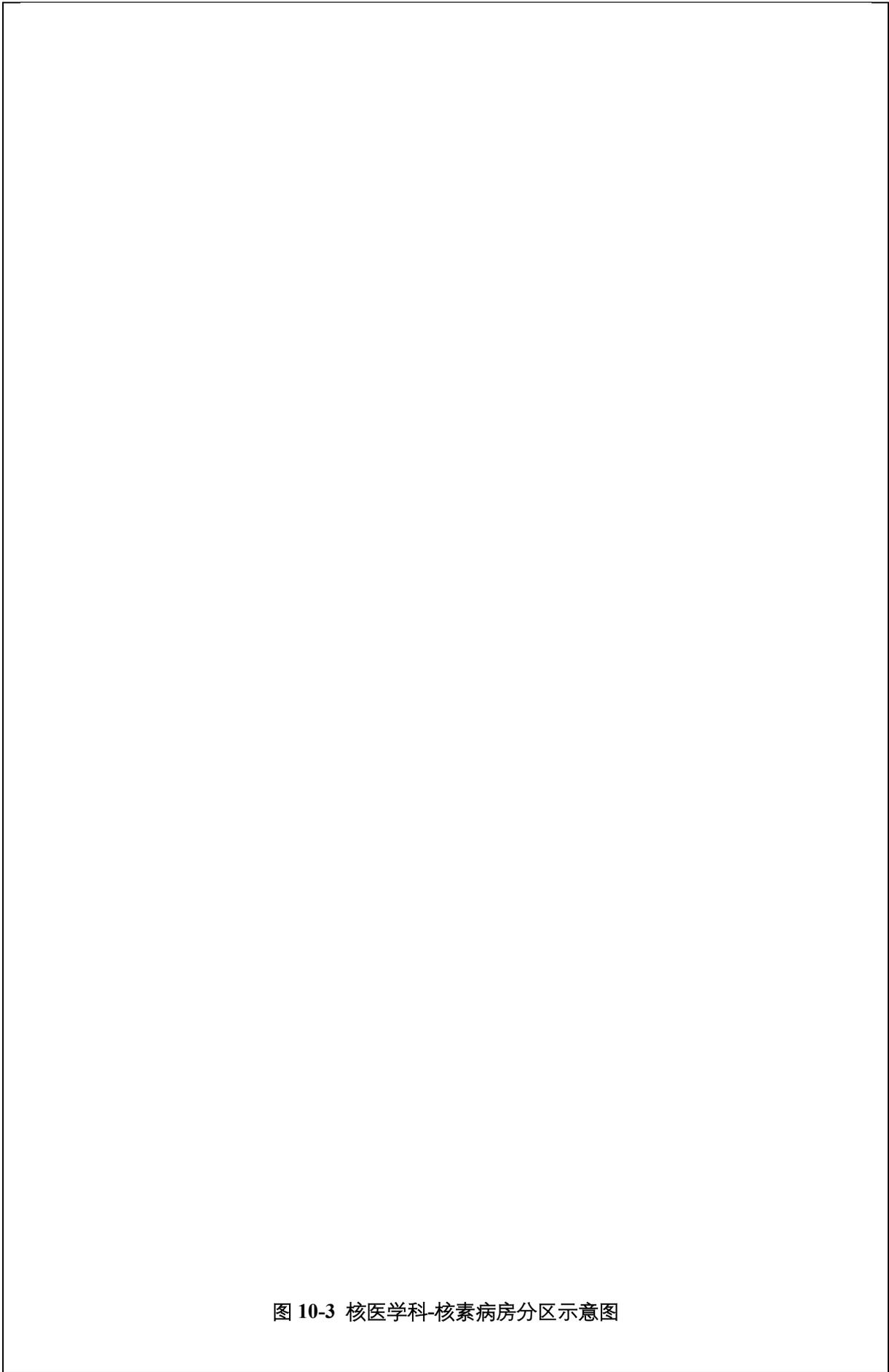


图 10-3 核医学科-核素病房分区示意图

(3) 控制区的防护手段与安全措施:

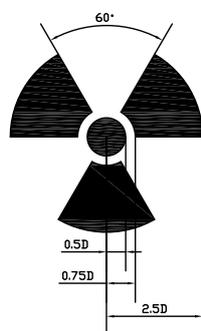
①控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志（如图 10-4）。

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

本次新建项目屏蔽设计见表 10-2~表 10-6，各工作场所的机房详图详见附图 4~附图 6。

表 10-2 医用电子直线加速器机房防护屏蔽设计一览表

类别	屏蔽防护设计		屏蔽设计参数（厚度及材质）	主屏蔽宽度
医用直线加速器机房	东墙		155cm 厚混凝土	/
	南墙	主屏蔽	300cm 厚混凝土	400cm
		次屏蔽	180cm 厚混凝土	/
	西墙	迷道内墙	65.4~150cm 厚混凝土	/

		迷道外墙	60~150cm 厚混凝土	/
	北墙	主屏蔽	300cm 厚混凝土	400cm
		次屏蔽	180cm 厚混凝土	/
	屋顶	主屏蔽	300cm 厚混凝土	400cm
		次屏蔽	180cm 厚混凝土	/
	防护门		15mm 铅板+20cm 厚含硼聚乙烯	

注：本项目拟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。

表 10-3 后装治疗机机房防护屏蔽设计一览表

类别	屏蔽防护设计		屏蔽设计参数（厚度及材质）
后装治疗机 机房	东墙		70cm 厚混凝土
	南墙	迷道内墙	70cm 厚混凝土
		迷道外墙	70cm 厚混凝土
	西墙		70cm 厚混凝土
	北墙		70cm 厚混凝土
	屋顶		70cm 厚混凝土
	防护门		12mm 厚铅板

注：本项目拟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。

表 10-4 模拟定位机机房防护屏蔽设计一览表

类别	屏蔽防护设计		屏蔽设计参数（厚度及材质）
模拟定位机 机房	四周墙体		370mm 厚实心砖墙
	屋顶		220mm 厚混凝土
	防护门		3mm 厚铅板
	观察窗		3mm 铅当量铅玻璃

注：本项目拟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，实心砖的密度不低于 1.65 g/cm³。

表 10-5 核医学科-影像中心防护屏蔽设计一览表

名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
分装注射室	四面墙体	370mm 厚实心砖
	屋顶	200mm 厚混凝土
	地面	300mm 厚混凝土
	防护门	10mmPb
	手套箱	5mmPb (^{99m} Tc)，55mmPb (¹⁸ F)
	注射铅套	5mmPb (^{99m} Tc)，20mmPb (¹⁸ F)
	注射窗	5mmPb (^{99m} Tc)，20mmPb (¹⁸ F)
放射性废物暂存间 (分装注射室处)	四面墙体	370mm 厚实心砖
	屋顶	200mm 厚混凝土
	地面	300mm 厚混凝土
	防护门	3mmPb
储源室	四面墙体	370mm 厚实心砖
	屋顶	200mm 厚混凝土

	地面	300mm 厚混凝土
	防护门	3mmPb
运动负荷室 兼抢救室	四面墙体	370mm 厚实心砖
	屋顶	200mm 厚混凝土
	地面	300mm 厚混凝土
	防护门	8mmPb
PET 注射后等候室	四面墙体	370mm 厚实心砖
	屋顶	200mm 厚混凝土
	地面	300mm 厚混凝土
	防护门	8mmPb
SPECT 注射后候诊室	四面墙体	370mm 厚实心砖
	屋顶	200mm 厚混凝土
	地面	300mm 厚混凝土
	防护门	5mmPb
PET/CT 机房	四面墙体	370mm 厚实心砖
	屋顶	260mm 厚混凝土
	地面	300mm 厚混凝土
	防护门	东侧 8mmPb, 南侧 10mmPb
	观察窗	10mmPb
	铅屏风	10mmPb
SPECT/CT 机房	四面墙体	370mm 厚实心砖
	屋顶	260mm 厚混凝土
	地面	300mm 厚混凝土
	防护门	5mmPb
	观察窗	5mmPb
	铅屏风	2mmPb
留观室	四面墙体	370mm 厚实心砖
	屋顶	200mm 厚混凝土
	地面	300mm 厚混凝土
	防护门	8mmPb
放射性废物暂存间 (出口处)	四面墙体	370mm 厚实心砖
	屋顶	200mm 厚混凝土
	地面	300mm 厚混凝土
	防护门	3mmPb
甲测室	四面墙体	370mm 厚实心砖
	屋顶	300mm 厚混凝土
	地面	300mm 厚混凝土
	防护门	3mmPb
患者走廊	四面墙体	370mm 厚实心砖
	屋顶	200mm 厚混凝土

	地面	300mm 厚混凝土
		入口防护门为 15mmPb
		出口防护门为 15mmPb

注：本项目拟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，实心砖的密度不低于 1.65 g/cm³。

表 10-6 核医学科-核素病房防护屏蔽设计一览表

名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
分装室	四面墙体	370mm 厚实心砖
	屋顶	350mm 厚混凝土
	地面	200mm 厚混凝土
	防护门	12mmPb
	自动分装仪	55mmPb
服药室	四面墙体	370mm 厚实心砖
	屋顶	350mm 厚混凝土
	地面	200mm 厚混凝土
	防护门	东侧和南侧 15mmPb，西侧 18mmPb
储源室	四面墙体	370mm 厚实心砖
	屋顶	350mm 厚混凝土
	地面	200mm 厚混凝土
	防护门	3mmPb
放射性废物暂存间 (分装室处)	四面墙体	370mm 厚实心砖
	屋顶	350mm 厚混凝土
	地面	200mm 厚混凝土
	防护门	3mmPb
抢救室	四面墙体	370mm 厚实心砖
	屋顶	350mm 厚混凝土
	地面	260mm 厚混凝土
	防护门	8mmPb
放射性废物暂存间 (出口处)	四面墙体	370mm 厚实心砖
	屋顶	350mm 厚混凝土
	地面	260mm 厚混凝土
	防护门	3mmPb
污染被服间	四面墙体	370mm 厚实心砖
	屋顶	350mm 厚混凝土
	地面	260mm 厚混凝土
	防护门	5mmPb
核素病房 1~5	四面墙体	370mm 厚实心砖
	屋顶	350mm 厚混凝土
	地面	200mm 厚混凝土
	防护门	8mmPb

取餐室	四面墙体	370mm 厚实心砖
	屋顶	350mm 厚混凝土
	地面	260mm 厚混凝土
患者走廊	四面墙体	370mm 厚实心砖
	屋顶	350mm 厚混凝土
	地面	200mm 厚混凝土
缓冲间		入口防护门为 15mmPb
		出口防护门为 15mmPb

注：本项目拟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，实心砖的密度不低于 1.65 g/cm³，实心混凝土砖的密度不低于 2.35g/cm³。

（二）辐射安全装置

1、肿瘤科-医用电子直线加速器项目

（1）设备固有安全性

①医用电子直线加速器只有在通电开机时才有电子束、X 射线等产生，断电停机即停止出束；通过多叶准直器定向出束，其它方向的射线被自带屏蔽材料所屏蔽。

②控制台上显示有辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数的显示装置，操作人员可随时了解设备运行情况。

③条件显示联锁：医用电子直线加速器具有联锁装置，只有当射线能量、吸收剂量选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当治疗室与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行。

④控制台上设有蜂鸣器，在医用电子直线加速器工作时发出声音以警示人员防止误入。

⑤有剂量分布监测装置与照射终止系统联锁，当剂量超过预选值或当剂量分布偏差超过预选值时，可自动终止出束。

⑥有全部安全联锁设施的检查装置，能保证所有安全联锁系统保持良好的运行状态。

⑦有时间控制联锁，当预选照射时间已定时，定时器能独立地使照射停止。

⑧治疗床旁、医用电子直线加速器主机上安装紧急制动按钮。

（2）屏蔽防护

本项目医用电子直线加速器机房由相应资质单位进行设计和施工，其主射方向朝南侧墙体、北侧墙体、地面及屋顶。本项目医用电子直线加速器机房电缆线布设采

用“U”型管道，通风管道采用“S”型穿墙方式，不会破坏墙体的屏蔽效果，本项目电缆沟设计图见附图 8。

(3) 辐射安全防护设施和措施

①电离辐射警告标志和工作状态指示灯：医用电子直线加速器机房防护门外顶部拟设置工作状态指示灯。医用电子直线加速器处于出束状态时，指示灯为红色，以警示人员注意安全；当医用电子直线加速器处于非出束状态，指示灯为绿色。医用电子直线加速器机房防护门上设置明显的电离辐射警告标志。

②视频监控系统 and 双向对讲装置：本项目医用电子直线加速器控制室与治疗室之间以墙体隔开，治疗室和迷道内拟安装视频监控系统，控制室里的辐射工作人员能通过视频监控观察治疗室内患者治疗的情况以及迷道区域情况，并通过双向对讲装置与治疗室内患者联系。

③固定式报警仪的设置：在医用电子直线加速器控制室墙上拟安装固定式剂量报警装置（带剂量显示功能），探头安装在机房迷道内墙上（靠近防护门），只要迷道内的剂量超过预设的剂量阈值，就会报警提示人员不能进入机房，以防人员误入。

④门机联锁装置：医用电子直线加速器与防护门之间拟设联锁装置。防护门未关好，医用电子直线加速器不能出束；医用电子直线加速器工作期间如将防护门打开，照射立即自动停止。

⑤紧急开门装置和防夹装置：本项目医用电子直线加速器治疗室迷道出口处设置了紧急开门按钮。该紧急开门装置也带手动开门装置，可保证在断电情况下，防护门可以从治疗室内部打开。同时，防护门还拟设置有防夹伤功能。

⑥急停装置：本项目医用电子直线加速器治疗床、医用电子直线加速器主机上以及控制台上设置有急停按钮。同时，拟在治疗室四周墙壁、迷道门出口及防护门内侧处均设置有急停按钮，并设有醒目标识，便于治疗室内人员从各个方向均能观察到且便于触发。

⑦安全联锁装置人工复位系统：本项目医用电子直线加速器的安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

本项目医用电子直线加速器机房辐射安全联锁逻辑示意图详见图 10-5。以上辐射

防护措施合理可行，能够有效防止本项目对外环境的影响。

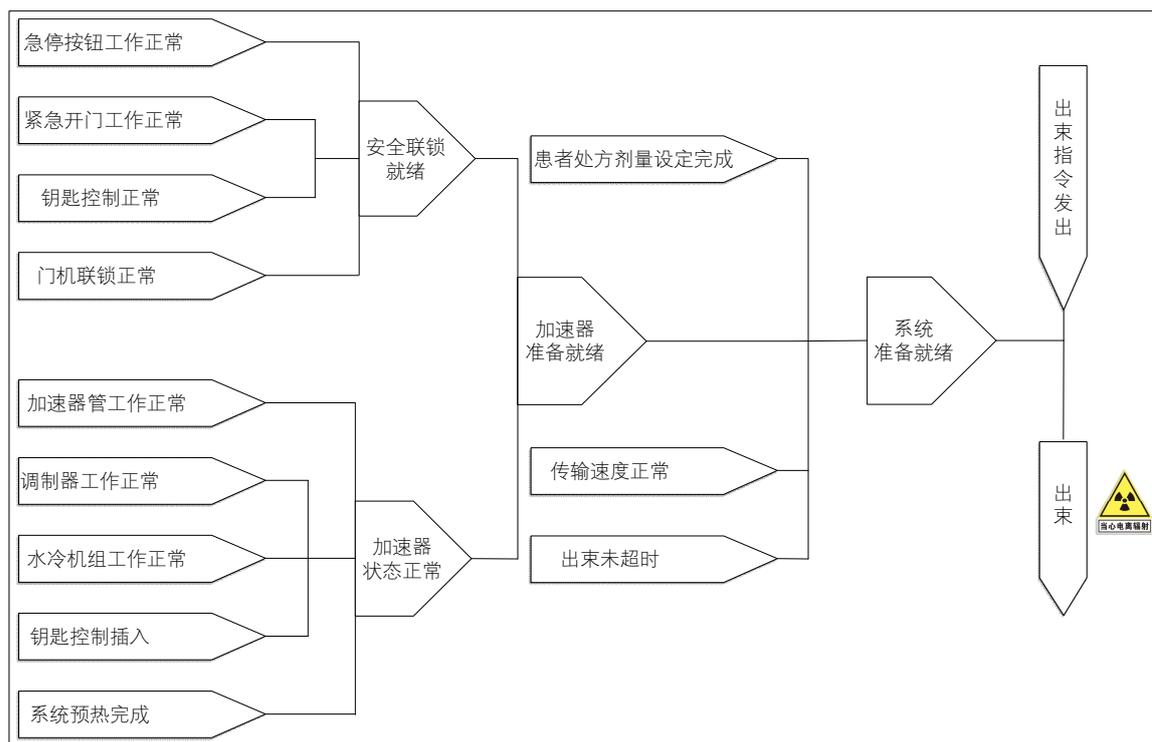


图 10-5 医用电子直线加速器辐射安全联锁逻辑示意图

2、肿瘤科-后装治疗机项目

(1) 设备固有安全性

①本项目 ^{192}Ir 后装治疗机机头贮源部位设置了两层重金属屏蔽体，里层为 3cm 厚的金属钨，外层为 5cm 厚的金属铅，最外层为特制的防护钢壳，不易损坏。在储源状态下，后装机表面 100cm 处 γ 辐射剂量率满足《密封 γ 放射源容器卫生防护标准》（GBZ 114-2006）中“密封 γ 源容器外表面 100cm 处任一点的空气比释动能率（活度大于 $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ ）不得超过 0.2mGy/h ”的要求。同时机体张贴有醒目的电离辐射警告标识。

②设有紧急回源装置，在任何紧急情况下（如供电系统中断）放射源可自动返回到贮源位（贮、照联锁、断电联锁），主机本身有贮电电源，计算机有 UPS 系统。

③后装机设计有独特的放射源驱动装置（若遇到管道堵塞情况可自动回源）、强制回源装置以及手动回源装置，防止出现卡源问题。

④后装机设计有仿真模拟运行，便于操作人员熟悉操作流程，同时在正常运行状态下，控制台显示器可以显示放射源的位置。

⑤控制台设置有防止非工作人员操作的锁定开关，只有完成治疗准备后（已正确输入准直器号、治疗时间，机房门已关闭、联锁系统就位等），才能启动按钮开始治

疗，如果未完成治疗准备，不能启动治疗按钮。

(2) 屏蔽防护

本项目后装治疗机机房由相应资质单位进行设计和施工，其机房内预留电缆线布设采用“U”型管道，通风管道采用“S”型穿墙方式，不会破坏墙体的屏蔽效果。

(3) 辐射安全防护设施和措施

①电离辐射警告标志和工作状态指示灯：后装治疗机机房防护门外顶部拟设置工作状态指示灯。后装治疗机处于出源照射状态时，指示灯为红色，以警示人员注意安全；当后装治疗机处于非出源照射状态，指示灯为绿色。后装治疗机机房防护门上设置明显的电离辐射警告标志。

②视频监控系统和双向对讲装置：本项目后装治疗机控制室与治疗室之间以墙体隔开，治疗室和迷道内拟安装视频监控系统，控制室里的辐射工作人员能通过视频监控观察治疗室内患者治疗的情况以及迷道区域情况，并通过双向对讲装置与治疗室内患者联系。

③固定式报警仪的设置：在后装治疗机控制室墙上拟安装固定式剂量报警装置（带剂量显示功能），探头安装在机房迷道内墙上（靠近防护门），只要迷道内的剂量超过预设的剂量阈值，就会报警提示人员不能进入机房，以防人员误入。

④门源联锁装置：后装治疗机与防护门之间拟设联锁装置。防护门未关好，后装治疗机不能出源照射；出源照射状态下若打开防护门，放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。

⑤紧急开门装置和防夹装置：本项目后装治疗机治疗室迷道出口处设置了紧急开门按钮。该紧急开门装置也带手动开门装置，可保证在断电情况下，防护门可以从治疗室内部打开。同时，防护门还拟设置有防夹伤功能。

⑥急停装置：本项目后装治疗机主机上以及控制台上设置有急停按钮。同时，拟在治疗室四周墙壁、迷道门出口及防护门内侧处均设置有急停按钮，并设有醒目标识，便于治疗室内人员从各个方向均能观察到且便于触发。如果人员按动急停按钮，后装治疗机会执行紧急收源程序。

⑦安全联锁装置人工复位系统：本项目后装治疗机的安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进

行联锁恢复及功能测试。

⑧**应急贮源容器和长柄镊子等应急工具的配置**：医院拟为后装治疗室内配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。本项目后装治疗机辐射安全联锁逻辑示意图详见图 10-6。以上辐射防护措施合理可行，能够有效防止本项目对外环境的影响。

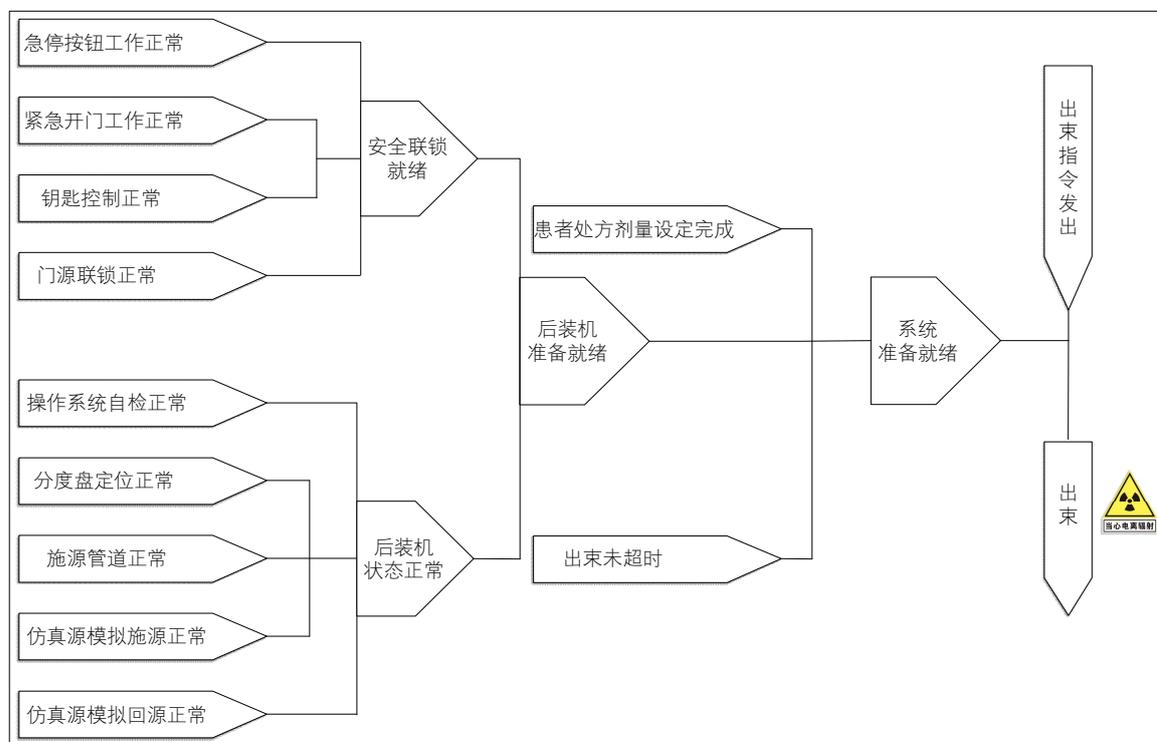


图 10-6 本项目后装治疗机辐射安全联锁逻辑示意图

3、肿瘤科-模拟定位机项目

(1) 设备固有安全性

①设备从专业生产厂家进行采购，满足质检要求，机头泄漏辐射满足国家相关标准规定的限值。

②具有安全系统，当设备出现错误或故障时，能中断照射，并有相应故障显示。

③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，才能启动照射。

(2) 辐射安全防护设施和措施

①**电离辐射警告标志和工作状态指示灯**：在机房防护门外设 1 个工作状态指示灯或工作状态指示灯箱，具备显示开机、停机的功能，并与机房防护门联锁。在机房防护门上设置明显的电离辐射警告标志。

②**门-灯联锁**：开机出束，机房防护门关闭良好，工作状态指示灯亮；停止出束时，指示灯熄灭，机房防护门打开。

③**急停装置**：在控制室内控制台上（拟设 1 个开关）设急停按钮，并带有中文标

识，易于辨认。在误操作或出现紧急情况时，按下开关即可停止出束。

④**对讲装置**：机房内和控制室内设 1 套扩音与对讲装置，便于控制室的工作人员与机 房内的患者联系。

(3) 个人防护用品的配置

对照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中人员安全防护的要求，本项目针对模拟定位机操作采取的人员安全防护措施的符合性分析见表 10-7。

表 10-7 项目采取的模拟定位机操作人员安全防护措施符合性

场所名称	分项	《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）要求	本项目拟采取措施
模拟定位机项目	患者和陪检者个人防护用品	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	铅三角巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子

由表 10-7 可知，医院拟配置个人防护用品和辅助防护设施情况满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）相关要求。

综上，本项目肿瘤科医用电子直线加速器机房、后装治疗机机房及模拟定位机机房辐射安全设施布置示意图见图 10-7。

图 10-7 本项目肿瘤科各机房辐射安全设施布置示意图

4、核医学科项目

(1) 电离辐射警告标志及工作状态指示灯

医院计划在核医学科工作场所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/CT 机房和 SPECT/CT 机房受检者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。

(2) 视频监控系统 and 双向对讲装置：核医学科工作场所内各功能房间拟安装视频监控系统，辐射工作人员能通过视频监控观察治疗室内患者治疗的情况以及出入口情况，并通过双向对讲装置与工作场所内患者联系。

(3) 门禁系统

在工作场所受检者各出入口处设置专用门禁系统，对受检者的出入进行控制。

(4) 急停装置

在核医学科-影像中心的射线装置的控制台上、治疗床上安装供紧急情况使用的强制终止照射的急停按钮。一旦在检查过程中出现紧急情况，工作人员按动急停按钮即可令 PET/CT 和 SPECT/CT 停止运行。

(5) 操作警示装置

PET/CT 和 SPECT/CT 扫描时，操纵台上的指示灯变亮，警示装置发出警示声音。

(6) 易清洁设置

核医学科的两处工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处拟采用 PVC 材质地胶，无缝隙，易于清洗和去污。

(7) 检测仪器的配置

工作人员离开工作室前洗手和作表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

(8) 储源室和校准源库红外报警系统

本项目工作场所的储源室和校准源库均拟设置双人双锁的保险柜，工作场所使用的放射性药物放置于铅罐中由供应单位派专人直接送至储源室内暂存，未用完的放射性药物放置在储源室双人双锁的保险柜内，日常期间由值班人员巡视检查，储源室出入口安装摄像头、红外报警系统。

(9) 通排风系统和密闭措施

本项目各射线装置运行过程中，X 射线与空气作用会产生少量臭氧、氮氧化物等有害气体，机房拟设置动力排风装置，并保持良好的通风。

本项目使用的 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 和 ^{131}I 等核素在带有通风装置的手套箱内进行分装，会产生少量含放射核素的气溶胶。

本项目核医学科工作场所设置有新风系统及排风系统，并保证了工作场所为负压工作场所，且通过压差控制气流方向，核医学科工作场所的风向为候诊大厅、医生办公区至留观、注射后候诊等区域再至分装注射室。

本项目核医学科-核素病房区域设有单独的通风系统，各核素病房的防护门均设有

封闭措施，各核素病房东侧的采光窗户均不可开启，保持密闭，以确保治疗区域内的负压。

(10) 对控制区内带药病人的监督管理

本项目核医学科设置有诊前示教，患者在就诊前，医护人员提前告知患者注意事项，告知检查完成后离开路线，避免注射放射性药物后患者和注射放射性药物前患者交叉，可防止其对公众造成不必要照射。

4、核医学科其他辐射安全措施

(1) 放射性药物的存放安全措施

本项目工作场所所使用的¹⁸F、⁶⁸Ga、^{99m}Tc及¹³¹I等核素药物，医院将向有相关资质的放射性核素供应单位购买，由有资质单位负责运输。医院根据临床诊断所需药物的使用量，提前向放射性核素供应单位订购，供应单位在约定的时间负责将放射性药物运送至工作场所内，建设单位安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续。

建设单位将自行对购买的放射性核素进行活度测量等工作。建设单位严禁无关人员进入工作场所所在区域，严禁辐射操作人员违规操作放射性核素。医院将在放射性核素交接结束后，开展进行放射诊断与治疗工作。

建设单位根据所需的使用量，向有相关资质的放射性核素供应单位订购，并在放射性核素送达当天全部使用完，该工作场所正常情况下不会有放射性核素存放过夜。特殊情况下，由于病人未来就诊等原因，造成放射性核素未在当天使用完，少量放射性核素需在储源室存放过夜时，医院拟将未使用的少量放射性核素在储源室中存放。储源室将设有视频监控系统和门禁系统，可以有效防止放射性核素的丢失隐患。

本项目放射药物外购时其自身带有屏蔽层，且转入医院前表面辐射剂量率水平满足《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019），货包表面任意一点的最高辐射水平为 $0.005\text{mSv/h} < H \leq 0.5\text{mSv/h}$ ，转入医院后的放射性药物直接转入储源室内，随后工作人员在给病人用药前再转入分装室的手套箱内，再进行活度测量等操作，对于备用药品及未使用完的放射性药物转入储源室的双人双锁保险柜中。

本项目储源室外设置有红外监控摄像头、红外报警装置，防止放射性物品被盗或破坏。储源室的墙体应满足防护要求，积极采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的“六防”安全措施。建设单位应做到：

①放射性药物的存储容器要有合适的屏蔽。放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的那部分；

②储源室要有专人进行管理，并定期进行辐射剂量的监测，无关人员禁止进入；

③放射性药物要有进出登记，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，建立放射性同位素台帐制度；

④医院应建立完善的放射性核素贮存、领取、使用、归还登记和检查制度，做到交接账目清楚、账物相符，记录资料完整。

(2) 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《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的标准，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，防止放射性物质撒漏；

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《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的标准值。

(3) 操作过程中的防护措施

医生在进行放射性药品的分药操作时首先做好个人防护，包括穿铅衣，戴铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽等，均具备 0.5mmPb 当量。分装时，手动将定量的药物移至带有屏蔽措施的注射器或容器内（一般为注射屏蔽套，其中铊标为 5mmPb，正电子药物为 20mmPb），经测量核定药物活度后转移给病人注射。分药时药品、铅罐均放置在垫有滤纸的瓷盘内进行，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染。手套箱底部设有 10mmPb 废物铅桶，用于暂时收集放射性废物。

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 10-8。

表 10-8 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
医用电子直线加速器项目	场所设施	四周墙体+迷道+屋顶防护	已设计	/
		铅防护门	新建	/
		通风系统	已设计	/
	控制台及安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	设备自带钥匙开关	/
		控制台有紧急停机按钮	设备自带	/
		视频监控及对讲装置	/	拟配置
		治疗室门与高压联锁	设备设有门机联锁装置	/
	警示装置	入口当心电离辐射警告标识	/	拟配置
		入口有加速器工作状态显示	防护门上方设置工作状态指示灯	拟配置
		工作场所分区及标识	/	拟设置
	治疗室紧急设施	屏蔽门内开门按钮	设有紧急开门按钮	/
		治疗室门防夹人装置	/	拟设置
		紧急照明或独立通道照明系统	/	拟设置
		治疗室内急停按钮	/	拟配置
		治疗床急停按钮	设备自带	/
后装治疗机项目	场所设施	四周墙体+迷道+屋顶防护	已设计	/
		铅防护门	新建	/
		通风系统	已设计	/
	联锁装置	控制台急停按钮	设备自带	/
		视频监控及对讲装置	/	拟配置
		门机联锁装置	设备自带	/
		音响提示	设备自带	/
		紧急回源装置	已设计	/
		模拟源装置	已设计	/
		手动回源装置	已设计	/
	警示设施	入口当心电离辐射警告标识	/	拟配置
		防护门上方工作状态指示灯	/	拟配置
	急停装置	紧急开门按钮	/	拟配置
治疗室内急停按钮		/	拟配置	
模拟定位机项目	场所设施	四周墙体+屋顶屏蔽	已设计	/
		铅防护门	已设计	/
		观察窗	已设计	/
	警示设施	出入口处电离辐射警告标志	/	拟配置
		急停按钮	设备自带	/
	工作状态显示	/	拟配置	
核医学科项目	场所设施	四周墙体+屋顶屏蔽	新建	/
		出入口缓冲间	已设计	/

		铅防护门	已设计	/
		观察窗	已设计	/
		负压工作场所	已设计	/
		病人专用卫生间	已设计	/
		衰变池	已设计	/
		放射性废物暂存间	已设计	/
		视频监控与对讲系统	/	需配备
		出入口处电离辐射警告标志	/	需配备
		工作状态显示	/	需配备
		进出口单向门禁	已设计	/
监测设备		固定式报警仪	已设计	/
		便携式 X-γ 巡检仪	/	拟配置
		表面沾污仪	/	拟配置
		个人剂量报警仪	/	拟配置
		个人剂量计	/	拟配置

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建设必要的环保设施，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 10-9。

表 10-9 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）
医用电子直线加速器项目	场所设施	四周墙体+迷道+屋顶防护	/	纳入基建
		铅防护门	1 樘	30
		通风系统	1 套	
	控制台及安全联锁	视频监控及对讲装置	1 套	5.0
		治疗室门与高压联锁	1 套	
	警示装置	入口当心电离辐射警告标识	1 套	0.2
		入口有加速器工作状态显示	1 套	
		工作场所分区及标识	1 套	
	治疗室紧急设施	屏蔽门内开门按钮	1 个	6.0
		治疗室门防夹人装置	1 套	
		紧急照明或独立通道照明系统	1 套	
		治疗室内急停按钮	1 套	
	监测设备	固定式报警仪	1 套	30
		便携式辐射巡测仪	1 个	
个人剂量报警仪		4 个		
个人剂量计		8 个		
后装治疗机项目	场所设施	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	/	纳入基建
		铅防护门	1 樘	15
		通风系统	1 套	
	联锁装置	视频监控及对讲装置	1 套	10

		门机联锁装置	1套	0.2	
		音响提示	1套		
	警示设施	入口当心电离辐射警告标识	1套		
		防护门上方工作状态指示灯	1套		
	急停装置	紧急开门按钮	1套		2.0
		治疗室内急停按钮	1套		
	监测设备	固定式报警仪	1套		5.0
		便携式辐射巡测仪（肿瘤科共用）	/		
		个人剂量报警仪	2个		
		个人剂量计	8个		
模拟定位机项目	场所设施	四周墙体+屋顶屏蔽	/	20	
		铅防护门	1樘		
		观察窗	1扇		
	警示设施	出入口处电离辐射警告标志	1套	0.2	
		工作状态显示	1套		
	监测仪器	便携式辐射巡测仪（肿瘤科共用）	/	5.0	
		个人剂量报警仪	1个		
		个人剂量计	2个		
	核医学科项目	场所设施	四周墙体+屋顶屏蔽	/	300
			出入口缓冲间	4套	
铅防护门			若干		
观察窗			2扇		
负压工作场所			2处		
病人专用卫生间			8间		
衰变池			2套		
放射性废物暂存间			4间		
视频监控与对讲系统			2套		
出入口处电离辐射警告标志			若干		
监测设备		个人剂量报警仪	6个	10	
		个人剂量计	12个		
		便携式辐射巡测仪	/		
		表面污染水平检测仪	2个		
		工作状态显示	2套		
		进出口单向门禁	4套		

本项目总投资 10100 万元，环保投资约 468.6 万元，占总投资的 4.64%。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、肿瘤科

(一) 医用电子直线加速器项目

1、废水治理

本项目医用电子直线加速器冷却系统采用蒸馏水，内循环使用不外排，不会产生废水。本项目工作人员产生生活污水依托医院已有的污水处理站处理。

2、废气治理

本项目医用电子直线加速器治疗过程中产生的 X 射线，会使治疗室内的空气电离，产生少量臭氧和氮氧化物。

为了减少上述废气对人员产生的影响，医用电子直线加速器机房设置有独立的通排风系统。根据设计院提供的设计方案，本项目医用电子直线加速器机房容积约为 262m³（吊顶高度为 3.0m），机房的有效排风风量为 2700m³/h，则每小时的换气次数约为 10.3 次，能满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“换气次数不少于 4 次/h”的要求。

本项目医用电子直线加速器机房采用机械进排风，进风管道从加速器机房迷道入口防护门上方穿过进入加速器机房，进风管道采用“S”型管道，机房进风口位于机房南侧顶部共 2 处，排风口位于机房北侧距离地面约 0.3m 处。排风管道沿迷道上方穿过迷道入口防护门上方引出，同样采用“S”型管道，室内气体由通排风系统统一抽排至放疗中心楼顶。此处排风口位于楼顶，为该栋建筑最高处，周围扩散条件良好，排风口位置附近无门、窗或人流较大的过道等位置。

3、噪声

本项目噪声主要来源于机房内通排风系统的风机，工作场所使用的通排风系统为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值低于 60dB(A)，噪声对周围环境影响较小。

4、固体废物处理措施

本项目医用电子直线加速器工作过程不产生固体废物。

院区内设置一处生活垃圾暂存间，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，交由有资质单位进行统一收集、清运和处置。

5、射线装置报废处理

根据《四川省辐射污染防治条例》，“射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化”。本项目使用的医用电子直线加速器在进行报废处理时，应将该射线装置去功能化。

(二) 后装治疗机项目

1、废水治理

本项目工作人员产生生活污水依托医院已有的污水处理站处理。

2、废气治理

为了减少废气对人员产生的影响，后装治疗机机房设置独立的通排风系统，根据设计院提供的设计方案，本项目后装治疗机机房容积约为 82.8m^3 （吊顶高度为 3.0m ），机房的排风风量为 $1700\text{m}^3/\text{h}$ ，则每小时的换气次数约为 20 次，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“换气次数不少于 4 次/h”的要求。

该后装治疗机机房采用机械进排风，进风管道从后装治疗机机房迷道入口防护门上方穿过进入机房，进风管道采用“S”型管道，进风口位于机房东侧顶部共 1 处，排风口位于机房西北角距离地面 0.3m 处。排风管道沿迷道上方穿过迷道入口防护门上方引出，同样采用“S”型管道，室内气体由通排风系统统一抽排至放疗中心楼顶。此处排风口位于该栋建筑顶楼，周围扩散条件良好，排风口位置附近无门、窗或人流较大的过道等位置。

3、噪声

本项目噪声主要来源于机房内通排风系统的风机，工作场所使用的通排风系统为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值低于 $60\text{dB}(\text{A})$ ，噪声对周围环境影响较小。

4、固体废物处理措施

随着核素的自然衰变， ^{192}Ir 放射源的活度不断降低，当 ^{192}Ir 放射源使用到一定年限后，会产生退役的 ^{192}Ir 放射源，退役 ^{192}Ir 放射源由原厂家回收处置。

院区内设置一处生活垃圾暂存间，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，交由有资质单位进行统一收集、清运和处置。

(三) 模拟定位机项目

1、废气治理

模拟定位机在开机出束期间，产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧(O₃)。本项目模拟定位机机房设有通排风系统，其内通风口设置在机房距离地面约 30cm 处，室内气体由通排风系统抽排至放疗中心室外排放。

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。从保护患者、医护人员的健康安全角度考虑，本项目辐射场所能保持较好的通风，其通风系统进、排风口位置的设置合理。

2、固体废物

本项目工作人员产生的生活垃圾不属于医疗废物，集中暂存于院区内生活垃圾暂存间，由环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。

3、废水

医院已有污水处理站一座，生活污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进入城市污水处理厂处理。医院污水处理站设计处理能力能够满足本项目生活污水及医疗废水产生量和排放量的排放需求。

4、噪声

项目噪声源为机房通排风系统，该系统采用低噪声设备，其噪声值低于 60dB(A)，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《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348-2008) 2 类标准要求。

5、射线装置报废处理

根据《四川省辐射污染防治条例》，“射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化”。本项目使用的模拟定位机在进行报废处理时，应将该射线装置的高压射线管进行拆卸并破碎处理等去功能化措施并按相应要求执行报废程序。本项目肿瘤科的通排风系统管道布置图见图 10-8。

图 10-8 肿瘤科通排风管道布置图

二、核医学科

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，本项目核医学科拟采取以下“三废”防治措施。

（一）放射性废气

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中 7.4 规定，产生放射性废气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。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。根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）：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（一般不小于0.5m/s），排气口应高于本建筑屋脊，并安装专用过滤装置。

1、核医学科-影像中心

本项目工作场所排风管道分为2根，其中1根单独连接分装注射室的手套箱，放射性药物的各项操作均在手套箱内进行，手套箱由专业厂商提供，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；第2根单独连接工作场所内其余功能房间。且场所内的送风系统送风量约为4900m³/h，小于排风系统的排风量7400m³/h，且工作场所内的每个功能房间内的排风口风量大于送风风量，保证了非密封放射性物质工作场所整体为负压工作场所，通风管道布置如图10-9所示。

工作场所产生的废气通过2根排风管道排出工作场所，其中手套箱自带有高效过滤装置，分装过程中产生的放射性废气经过高效过滤装置处理后再进入北侧的排风井内，并在屋顶排风管末端设置初效+中效过滤器装置过滤后排至1#排放口；工作场所其余功能房间产生的放射性废气统一排入北侧的排风井内，并在屋顶排风管末端设置初效+中效过滤器装置过滤后排至2#排放口。工作场所产生的放射性废气经过滤装置过滤后最终排至放疗中心屋顶北侧的1#和2#排放口，屋顶排风口均朝向天空。放疗中心楼顶周边空气流通通畅，含放射性核素的气溶胶经过滤装置过滤后对周边环境影响较小。

2、核医学科-核素病房

本项目工作场所排风管道分为2根，其中1根单独连接自动分装仪和手套箱，放射性药物的各项操作均在自动分装仪或手套箱内进行，自动分装仪和手套箱由专业厂商提供，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，医院购买的自动分装仪排风口处风速不得低于0.5m/s；第2支单独连接各控制区内功能房间。且场所内的送风系统送风量约为4100m³/h，小于排风系统的排风量7600m³/h，且工作场所内的每个功能房间内的排风口风量大于送风风量，保证了非密封放射性物质工作场所整体为负压工作场所，通风管道布置如图10-9所示。

工作场所产生的废气通过 2 根排风管道排出工作场所，其中自动分装仪和手套箱自带有除碘过滤装置，分装过程中产生的放射性废气经过除碘过滤装置处理后再进入北侧的排风井内，并在屋顶排风管末端设置初效+中效过滤器装置过滤后排至 3#排放口；工作场所其余功能房间产生的放射性废气统一排至工作场所北侧的排风井内，最终经屋面的除碘过滤装置过滤后排至 4#排放口。工作场所产生的放射性废气经过滤装置过滤后最终排至放疗中心屋顶北侧的 3#和 4#排放口，屋顶排风口均朝向天空。放疗中心楼顶周边空气流通通畅，含放射性核素的气溶胶经过滤装置过滤后对周边环境影响较小。

考虑到本项目核医学科-核素病房主要为开展甲癌治疗项目，所使用的放射性核素碘-131 属于易挥发性物质，根据行业生产经验， ^{131}I 气溶胶释放量保守按操作量的 1% 考虑。 ^{131}I 日最大操作量为 $2.78 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，则含 ^{131}I 废气量为 $2.78 \times 10^7\text{Bq/日}$ 。

整个三层核医学科-核素病房设置有除碘过滤器，去除效率可达 99.9% 考虑，则含 ^{131}I 废气排放量为 $2.78 \times 10^4\text{Bq/批}$ ，则年排放量约为 $1.39 \times 10^4\text{Bq}$ 。

核医学科各工作场所排风管道必须密封良好，不与放疗中心其他排风管道相通，过滤装置定期更换，更换后的过滤装置经贮存规定时间后作为一般废物处置。

图 10-8 核医学科-影像中心通排风管道走向示意图

图 10-9 核医学科-核素病房通排风管道布置示意图

(二) 放射性废水

本项目核医学科 2 处工作场所产生的含放射性废水包括：工作人员操作过程手部

受到微量污染的清洗废水，清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水，以及患者冲洗排便用水。

核医学科-影像中心涉及的核素为 ^{18}F （半衰期为 109.7min）、 ^{68}Ga （半衰期为 68.3min）、 ^{131}I （半衰期为 8.04d）及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （半衰期为 6.02h）。由于本场所会使用 ^{131}I 开展甲状腺吸碘率测定项目，检查患者在服药后经相应设备测定后就离开工作场所，且医院在对患者检查前会进行宣教，告示患者在服药前入厕，入厕后再服药，故患者不会在核医学科入厕。故不考虑其病人产生的废水中 ^{131}I 核素对总活度的贡献。

核医学科-核素病房仅涉及的核素为 ^{131}I （半衰期为 8.04d）。

本项目核医学科工作场所按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）拟在核医学科总上水管处设置有洗消装置，满足标准要求。

工作场所产生的放射性废水通过预埋好的管道排至放疗中心南侧室外本次新建的 2 套槽式衰变池内。根据设计院提供的设计图可知：核医学科 2 处工作场所产生的放射性废水先排至污泥池再通过专用管道排至放射性废水衰变池，待放射性废水暂存至规定时间后通过管道排至医院污水处理站处理达标后排入市政管网。

本项目新设置的 2 套放射性废水衰变池通过专门管路收集放射性废水，均采用间歇式衰变的处理方式设计。同时在排水口处设有专门取样孔，便于取样检测。本项目拟配备的槽式衰变池池壁为混凝土结构，排水管道的材质为不锈钢材质，其表面光滑、坚固耐酸碱腐蚀、无渗透性，核医学科的排水管道均埋在地下土层内，裸露的排水管道均拟采用 2mmPb 的铅皮进行包裹，管道走向详见图 10-10 和图 10-11。

1、处理措施

本项目工作场所放射性废水将排入新建的 2 套槽式放射性废水衰变系统，其中，核医学科-影像中心用衰变池系统设有 3 个相同体积的放射性废水衰变槽体，每个槽体有效容积均为 14m^3 ，放射性废水衰变系统采用间歇式排放运行。

核医学科-核素病房用衰变池系统设有 3 个相同体积的放射性废水衰变槽体，每个槽体有效容积均为 180m^3 ，放射性废水衰变系统采用间歇式排放运行。

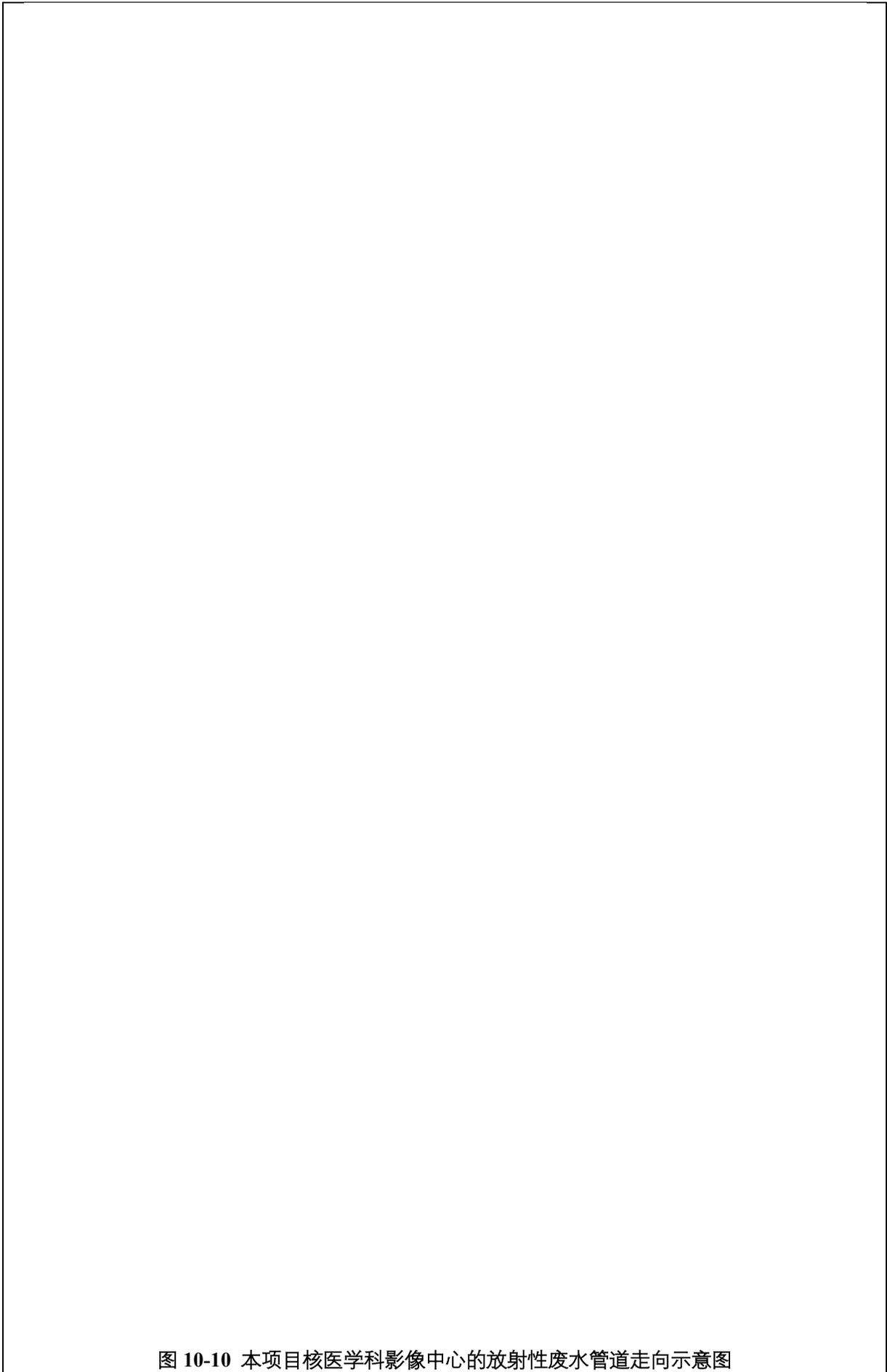


图 10-10 本项目核医学科影像中心的放射性废水管道走向示意图

图 10-11 本项目核医学科核素病房的放射性废水管道走向示意图

2、衰变池的运行原理

本项目本次新建的 2 套衰变池均由 3 个容积相同的小池组成，该系统自动运行并

在核医学科医生办公室位置设有实时液位监控系统，可实时查看衰变池的运行情况，核医学科产生的放射性废水先进入第一个衰变池中，待第一个衰变池的废水装满后关闭第一个衰变池的进水阀门，打开第二个衰变池的进水阀门，核医学科的废水会排入第二衰变池内，此时第一个衰变池不外排放射性废水，待第二个衰变池的废水装满后，关闭第二个衰变池的进水阀门，打开第三个衰变池的进水阀门，此时核医学科产生的放射性废水均进入第三个衰变池内，待第三个衰变池即将装满放射性废水时，关闭第三个衰变池的进水阀门，此时打开第一个衰变池的排水阀门，将放射性废水排至医院污水处理站，衰变池以此往复运行，运行原理示意图详见图 10-12。

图 10-12 本项目使用的放射性废水衰变池系统原理

3、衰变池容量可行性分析

工作场所放射性废水主要来源是工作台面、地面去污时产生的放射性废水，工作人员操作过程中手部受到微量污染的清洁废水，患者冲洗排便废水。

患者产生的废水量：参考《建筑给排水设计规范》（GB 50015-2019）表 6.2.2 的医生生活用水量定额，同时根据该建设项目预期日检查人数，则本项目废水产生情况见表 10-12：

表 10-12 医院核医学科废水产生情况一览表

序号	用水类别	单人单次废水量	日诊疗人数	日产生废水量	场所
1	影像中心患者	12×0.8L	54 人次	520L (0.52m ³)	影像中心
1	使用 ¹³¹ I 患者	320×0.8L	5 人次	6400L (6.4m ³)	核素病房

本项目核医学科-影像中心日产生放射性废水约 0.52m³，1#衰变池的总容积为 14×3=42m³，保守按照装满两个池子的容积进行核算，则装满 2 个池子需要约 53d (28m³/0.52m³/d)，该衰变池只接纳工作场所使用放射性核素 ¹⁸F、⁶⁸Ga 及 ^{99m}Tc 时产生的放射性废水，该短半衰期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”的要求。本项目产生的含短半衰期的放射性核素的废水在衰变池存放超过 30d 后直接排至医院的污水处理站进行处理。

本项目核素病房周产生放射性废水约 6.4m³，2#衰变池的总容积为 180×3=540m³，保守按照装满两个池子的容积进行核算，则装满 2 个池子需要约 66 周 (360m³/6.4m³/周)，即 462 天，该衰变池只接纳工作场所使用放射性核素 ¹³¹I 时产生的放射性废水，该长半衰期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。

同时，医院应根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求：“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 HJ 1188-2021 的要求。”对长半衰期衰变池进行监测。故本项目产生的含长半衰期的放射性核素 (¹³¹I) 的废水在衰变池存放 180d 后进行监测，符合标准后直接排至医院的污水处理站进行处理。

医院应规定：

- (1) 规定患者诊疗期间使用专用厕所，不得使用其他厕所。
- (2) 专用厕所应具备使病人排泄物迅速全部冲洗入池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

(三) 放射性固废

1、放射性固废处理措施

本项目核医学工作场所产生的放射性固废有：因采用注射、口服的方式进行给药后产生的一次性注射器、针头、手套、药瓶等医用器具、排风管道内更换下的中效过滤器和除碘过滤装置等。本项目核医学科工作场所内各功能房间均拟设置放射性固废收集桶(3mm 铅当量)，用于收集放射性固废，在到达一定量时转入出口处的放射性废物暂存间的铅废物桶(3mm 铅当量)进行暂存衰变。

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)针对固体放射性废物的收集、贮存和处理提出如下管理措施要求：

①固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。放射性废物每袋重量不超过 20kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。

②放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋(桶)，不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

③对于固体放射性废物暂存时间，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；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；含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

④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 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

⑤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。

医院拟在核医学科-影像中心分装注射室处放射性废物暂存间(约 7m^2)，出口处

放射性废物暂存间（约 9.5m^2 ）内各设置 3 个容积不低于 80L 的铅废物箱（ $0.2\text{m}\times 0.2\text{m}\times 0.2\text{m}$ ，3mmPb 当量），共 6 个。拟在核医学科-核素病房出口处放射性废物暂存间（约 19m^2 ）内设置 5 个容积不低于 100L 的存碘铅废物箱（ $0.5\text{m}\times 0.5\text{m}\times 0.4\text{m}$ ，3mmPb 当量）。每日工作结束后，将当日产生的废物利用带有万向轮的铅废物桶转移至放射性废物暂存间的废物箱内静置衰变，并注明核素种类、转入时间，做好台账记录。放射性进行分类收集，其中短半衰期的放射性废物暂存 30d 后作为医疗废物处理，含 ^{131}I 的放射性废物暂存超过 180d 后作为医疗废物处理，经检测合格后，由医院统一作为医疗废物处理。

核医学科排风管更换下来的过滤器需按固体放射性废物处理，同样在废物间内暂存 30d 或 180d 后，经监测符合排放标准后作为医疗废物进行处置。

2、贮存能力分析

本项目核医学科-影像中心因采用注射的方式给患者施药，因此该部分患者诊断过程中产生的固体废物主要有一次性注射、针头、纸巾和纸杯等，施药后产生的固体废物约为预计每天产生放射性固体废物 $200\text{cm}^3/\text{人}$ ，影像中心日诊疗人数 54 人，则每日产生的放射性固废量约为 $0.011\text{m}^3/\text{d}$ ，即 $11\text{L}/\text{d}$ 。核医学科-影像中心共设置有 6 个容积不低于 80L 的铅废物箱，则装满 3 个铅废物箱需要约 36.3d（ $5\times 80\text{L}/(11\text{L}/\text{d})$ ），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”的要求。

本项目核医学科-核素病房因采用口服的方式给患者施药，因此该部分患者诊断治疗过程中产生的固体废物主要有纸巾和纸杯等，甲癌患者预计每天产生放射性固体废物 $500\text{cm}^3/\text{人}$ ，甲癌患者就诊人数为 5 人/周，则含 ^{131}I 的放射性固废每周产生量为 12.5L。

核医学科-核素病房共设置有 5 个容积不低于 100L 的存碘铅废物箱，则装满 7 个铅废物箱需要约 224d（ $4\times 100\text{L}/(12.5\text{L}/\text{周})$ ），能满足《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；含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天”的要求。

综上，核医学科产生的放射性固体废物（含废中效过滤器和废除碘过滤器）采用专用塑料袋分类收集后封闭暂存于放射性衰变桶内并及时转移至放射性废物暂存间存放，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；生活垃圾分类收集后交市政环卫部门统一清运。医院拟配备的专用脚踏式废物桶底部拟带有万向轮，工作人员转移废物时可将放射性废物连同铅桶一起转移至放射性废物暂存间内，至暂存间后再将含放射性废物的塑料袋转移至大容积的铅废物箱，随后再将空置的铅废物桶转移至原工作场所。此转移过程中，放射性废物一直在铅废物桶中存放，工作人员近距离接触时间明显减少，避免了不必要的照射。

（四）非放射性污染防治措施

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动力排风装置排出，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

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机，各机房所使用的通排风系统均为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值一般低于 60dB(A)，噪声较小，考虑到噪声的远距离衰减作用，各排风系统使用的风机均采用橡胶垫进行减震，噪声进一步减小，对周围环境影响可以忽略。

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 PET/CT 和 SPECT/CT 在进行报废处理时，将射线装置高压射线管进行拆卸并去功能化，同时将射线装置主机的电源线绞断，使射线装置不能正常通电，防止二次通电使用，造成误照射。

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

本项目建设时将产生施工噪声、扬尘，同时会产生一定的废水、废气和建筑垃圾等。建设施工时对环境会产生如下影响：

1、大气：本项目在建设施工期需进行的混凝土浇筑等作业，各种施工将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：

- (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：整个建筑施工阶段，如混凝土搅拌机、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、固体废物：项目施工期间，会产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，委托有资质的单位清运，并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、废水：项目施工期间，有一定量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水进行初级沉淀处理，并经隔渣后排放。在施工阶段，将合理安排施工计划，先行修建临时化粪池，施工人员生活污水排入临时化粪池，及时清理。

医院在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在内局部区域，对周围环境影响较小。

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和含源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。

本项目射线装置和含源装置的运输、安装和调试均由设备厂家专业人员进行操

作。在射线装置和含源装置的运输、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和含源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

一、辐射环境影响分析

（一）肿瘤科-医用电子直线加速器项目

通江县人民医院拟在放疗中心一层肿瘤科建设 1 座医用电子直线加速器机房并配备 1 台医用电子直线加速器，型号未定，其 X 射线最大能量为 10MV，10MV 时 1 米处最大输出剂量率为 14Gy/min，电子线最大能量为 22MeV，电子线等中心 1 米处最大剂量率为 10Gy/min，医用电子直线加速器年出束治疗时间约 500h，物理师的质量控制验证出束时间约 50h/a，则设备总出束时间约为 550h/a。

医院本次拟配备的医用电子直线加速器带有 CBCT 系统，由于机房的防护均为混凝土结构且厚度最薄处也为 1700mm 厚混凝土，远远超过《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关要求，故可忽略其对周围环境的辐射影响。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）的要求，在本项目医用电子直线加速器机房外设定关注点。从保守角度出发，在医用电子直线加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定加速器最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。本项目医用电子直线加速器机房的关注点设定如图 11-1 所示。



图 11-1 医用电子直线加速器机房关注点位置示意图

1、有用线束主屏蔽区宽度核算

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度。

$$Y_p = 2[(a + SAD) \cdot \tan\theta + 0.3] \cdots \cdots \text{公式 11-1}$$

式中， Y_p ——机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD ——源轴距，m；

θ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线）；

a ——等中心点至“墙”的距离，m。当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽区向机房外凸时，“墙”指主屏蔽区墙（或顶）的外表面。

根据图 11-1，将各参数代入公式 11-1 得出机房的主屏蔽宽度核算结果如下表：

表 11-1 主屏蔽区域宽度设计评价表

参数	取值		
	南墙主屏蔽	北墙主屏蔽	屋顶主屏蔽
a (m)	4.70	4.70	3.90
SAD (m)	1	1	1
θ (°)	14	14	14
计算宽度 Y_p (m)	3.44	3.44	3.04
实际宽度 (m)	4.00	4.00	4.00
评价	满足	满足	满足

2、医用电子直线加速器机房外关注点剂量率参考控制水平

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中相关规定及本项目医用电子直线加速器机房周开机治疗时间，估算得到机房外 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 。

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \cdots \cdots \text{公式 11-2}$$

式中： $\dot{H}_{c,d}$ ——导出剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_c ——周剂量率参考控制水平 $\mu\text{Sv/周}$ ；根据 HJ 1198-2021 中 6.1.4 的 a)，机房外辐射工作人员： $H_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$ ；机房外非辐射工作人员： $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ ；

t ——治疗装置周工作时间，根据医院提供资料，本项目医用电子直线加速器年出束治疗时间约 550h，则本项目医用电子直线加速器周治疗照射时间为： $t = 11\text{h/周}$ ；

U ——关注位置的方向照射的使用因子；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子。

根据公式 11-2 并结合图 11-1，本项目医用电子直线加速器机房各关注点剂量率参考水平详见表 11-2。

表 11-2 本项目医用电子直线加速器机房各关注点剂量率参考水平一览表

关注点	T	U	H_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	t (h)	$\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/h$)	$H_{c,max}$ ($\mu\text{Sv}/h$)	\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/h$)
南墙主屏蔽 a 点	1/16	1/4	5	11	29.1	2.5	2.5
北墙主屏蔽 b 点	1/4	1/4	5		7.27	2.5	2.5
屋顶主屏蔽 l 点	1/16	1/4	5		7.27	2.5	2.5
南墙次屏蔽 c_1 、 c_2 点	1/16	1	5		7.27	2.5	2.5
北墙次屏蔽 d_1 点	1/4	1	5		1.82	2.5	1.82
北墙次屏蔽 d_2 点	1/16	1	5		7.27	2.5	2.5
屋顶次屏蔽 m_1 、 m_2 点	1/16	1	5		7.27	2.5	2.5
东墙次屏蔽 e 点	1/16	1	5		7.27	2.5	2.5
西墙次屏蔽 f 点	1	1	100		9.09	2.5	2.5
迷路外墙 k 点	1	1	100		9.09	2.5	2.5
迷路入口防护门 内 g' 点	/	/	/		/	/	0.5
迷路入口防护门 外 g 点	1/8	1	5		3.63	2.5	2.5

注： \dot{H}_c 为 $H_{c,max}$ 与导出的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 二者中选择较小者；

本项目 $H_{c,max}$ 取 HJ 1198-2021 中 6.1.4 给出关注点最高剂量率参考水平 $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv}/h$ （人员居留因子 $> 1/2$ 场所）和 $H_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv}/h$ （人员居留因子 $\leq 1/2$ 场所），本项目综合考虑均按照 $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv}/h$ 考虑。

3、机房主屏蔽区屏蔽效果估算（ a 点、 b 点及 l 点）

本报告使用 GBZ/T 201.2-2011 的相关公式计算机房主屏蔽区屏蔽效果，在给定的屏蔽物质厚度 X （ cm ）时，首先计算有效厚度 X_e （ cm ），估算屏蔽体的屏蔽透射因子 B ，再计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率。

射线路径（射线类型）： $O_2 \rightarrow a$ （主射线）， $O_l \rightarrow b$ （主射线）， $O_3 \rightarrow l$ （主射线）。

$$X_e = X / \cos \theta \cdots \cdots \text{公式 11-3}$$

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1) / TVL} \cdots \cdots \text{公式 11-4}$$

$$\dot{H} = \dot{H}_0 \cdot f \cdot B / R^2 \cdots \cdots \text{公式 11-5}$$

式中： X ——设计屏蔽厚度， cm ；

θ ——斜射角；

X_e ——等效屏蔽厚度，cm；

B ——屏蔽透射因子；

TVL_l (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL_l 时， $TVL_l=TVL$ 。可根据加速器 X 射线能量查 GBZ/T 201.2-2011 的附录 B 表 B.1；

\dot{H}_0 ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，本项目为 10MV 时为 $8.40\times 10^8\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R ——靶点至关注点的距离，m，本项目关注点为相应屏蔽体外 30cm；

f ——对有用线束为 1。

将各参数代入公式计算，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)，辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-3。

表 11-3 主屏蔽区外关注点辐射剂量率计算参数和计算结果

参数	南墙主屏蔽 (a 点)	北墙主屏蔽 (b 点)	屋顶主屏蔽 (l 点)
X (cm)	300 砵	300 砵	300 砵
X_e (cm)	300 砵	300 砵	300 砵
TVL (cm)	37	37	37
TVL_l (cm)	41	41	41
B	1.00×10^{-8}	1.00×10^{-8}	1.00×10^{-8}
R (m)	7.80	7.80	9.60
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	8.40×10^8	8.40×10^8	8.40×10^8
f	1	1	1
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.138	0.138	0.091
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5	2.5	2.5
评价结果	满足	满足	满足

4、侧屏蔽墙屏蔽效果估算 (e 点、f 点和 k 点)

泄漏辐射：估算方法类似主屏蔽区。 TVL_l 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 $TVL_l=35\text{cm}$ ， $TVL=31\text{cm}$ ，对于泄漏辐射的泄漏辐射比率为 0.1%。

射线路径（射线类型）： $O\rightarrow e$ （泄漏射线）， $O\rightarrow f$ （泄漏射线）， $O\rightarrow k$ （泄漏射线）。计算参数和计算结果见表 11-4。

表 11-4 侧屏蔽泄漏射线辐射率计算参数和计算结果

参数	东侧 (e 点)	西侧 (f 点)	西侧 (k 点)
X (cm)	155 砵	210 砵	150 砵
X_e (cm)	155 砵	210 砵	161.8 砵
TVL (cm)	31	31	31

TVL_l (cm)	35	35	35
B	1.35×10^{-5}	2.26×10^{-7}	8.12×10^{-6}
R (m)	5.65	8.60	9.28
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	8.40×10^8	8.40×10^8	8.40×10^8
f	0.001	0.001	0.001
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.354	2.57×10^{-3}	0.079
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5	2.5	2.5
评价结果	满足	满足	满足

5、与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽效果估算 (c_1 点、 c_2 点、 d_1 点、 d_2 点及 m_1 点、 m_2 点)

根据 GBZ/T 201.2-2011，对于与主屏蔽区相连的次屏蔽区应考虑泄漏辐射和患者的一次散射辐射的复合作用。

(1) 射线路径 (射线类型)： $O_2 \rightarrow O \rightarrow c_1$ (散射射线)， $O_2 \rightarrow O \rightarrow c_2$ (散射射线)， $O_1 \rightarrow O \rightarrow d_1$ (散射射线)， $O_1 \rightarrow O \rightarrow d_2$ (散射射线)， $O_3 \rightarrow O \rightarrow m_1$ (散射射线)， $O_3 \rightarrow O \rightarrow m_2$ (散射射线)。

$O \rightarrow c_1$ (泄漏射线)， $O \rightarrow c_2$ (泄漏射线)， $O \rightarrow d_1$ (泄漏射线)， $O \rightarrow d_2$ (泄漏射线)， $O \rightarrow m_1$ (泄漏射线)， $O \rightarrow m_2$ (泄漏射线)。

对于位置 c_1 点、 c_2 点， d_1 点、 d_2 点， m_1 点及 m_2 点，考虑泄漏辐射和散射辐射复合作用。

(2) 泄漏辐射计算

泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区。 TVL_l 和 TVL 保守取附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 $TVL_l=35\text{cm}$ ， $TVL=31\text{cm}$ 。

(3) 散射辐射屏蔽计算

在给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时，首先计算或直接在结构图中量出该屏蔽墙的有效厚度 X_e (cm)，估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B_s (其中患者散射辐射在混凝土中的什值层，查表 B.4 知，对于 10MV 射线，当散射角 30° 时，患者散射辐射在混凝土中什值层为 28cm)，再按照公式 11-6 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \dots \dots \text{公式 11-6}$$

式中： \dot{H}_0 ：加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 (以下简称靶) 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，本项目为 $8.40 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

α_{ph} ：患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm² 面积上的散射因子。查 GBZ/T 201.2-2011 表 B.2。本项目按 10MV 取值，取 3.18×10^{-3} 。

F ：治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积，cm²，本项目为 40cm×40cm=1600cm²。

R_s ：患者（位于等中心点）至关注点的距离，m。

叠加次屏蔽墙外泄漏辐射与患者一次散射辐射的瞬时剂量率值，将其与本项目确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 相比，判断机房屏蔽设计是否满足标准要求，计算结果见表 11-5。

表 11-5 与主屏蔽相连的次屏蔽外参考点辐射剂量率核算值

参数	南墙次屏蔽 (c_1 、 c_2 点)	北墙次屏蔽		屋顶次屏蔽 (m_1 、 m_2 点)
		d_1 点	d_2 点	
X (cm)	180 砵	180 砵	180 砵	180 砵
X_e (cm)	207.3 砵	207.3 砵	207.3 砵	224 砵
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	8.40×10^8	8.40×10^8	8.40×10^8	8.40×10^8
泄漏辐射	TVL_l (cm)	35	35	35
	TVL (cm)	31	31	31
	B	2.77×10^{-7}	2.77×10^{-7}	2.77×10^{-7}
	R (m)	7.83	7.83	10.7
	f	0.001	0.001	0.001
	$\dot{H}_{漏}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.004	0.004	0.004
散射辐射	TVL_l (cm)	28	28	28
	TVL (cm)	28	28	28
	R_s (m)	7.83	7.83	10.7
	α_{ph}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}
	B	3.95×10^{-8}	3.95×10^{-8}	1.00×10^{-8}
	F	1600	1600	1600
	$\dot{H}_{散}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.007	0.007	0.001
$\dot{H}_{合}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.011	0.011	0.011	0.002
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5	1.82	2.5	2.5
评价	满足	满足	满足	满足

6、迷道内墙屏蔽设计核算（防护门内）

医用电子直线加速器靶点位于 O_l 时， g' 点辐射剂量率最大，泄漏辐射起决定性作用（泄漏辐射：估算方法类似主屏蔽区）。混凝土的 TVL_l 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 $TVL_l=35\text{cm}$ ， $TVL=31\text{cm}$ 。预测参数及计算结果见表 11-6。

表 11-6 穿过迷路内墙在 g'点的泄漏辐射剂量率估算值

参数	机房入口处 (g'点)
X (cm)	150 砵
X _e (cm)	155.5 砵
TVL ₁	35
TVL	31
B	1.30×10 ⁻⁵
R (m)	8.57
H ₀ (μSv·m ² /h)	8.40×10 ⁸
f	0.001
Ḣ (μSv/h)	0.148
H _c (剂量率参考控制水平)	0.5μSv/h
评价	满足

7、机房入口防护门屏蔽效果核算

①射线路径 (射线类型) : O₂→O→B→P→g (散射射线)。

②计算模式及参数选择:

g 点处的散射辐射剂量率按照公式 11-7 计算, g 点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-7。

$$H_s = \frac{\alpha_{ph} \cdot (\frac{F}{400})}{d_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A_2}{d_{2a}^2} \cdot \frac{\alpha_3 \cdot A_3}{d_{2b}^2} \dot{H}_0 \dots\dots \text{公式 11-7}$$

式中, H₀、α_{ph}、F 意义同前文;

α₂—砵墙入射的患者散射辐射的散射因子, 本项目 e 处的入射角取 45°, 散射角取 0°, 具体取值见 GBZ/T 201.2-2011 附录表 B.6, 通常使用其 0.5MeV 栏内的值;

α₃—砵墙入射的患者散射辐射的散射因子;

A₂—B 处的散射面积, m²;

A₃—P 处的散射面积, m²;

d₁—等中心点到 B 之间的距离 (由 CAD 图纸上读出), m;

d_{2a}—B 到 P 之间的距离 (由 CAD 图纸上读出), m;

d_{2b}—P 到 g 之间的距离 (由 CAD 图纸上读出), m。

表 11-7 g 处的散射辐射剂量率计算参数和计算结果

参数	g 点
H ₀ (μSv·m ² /h)	8.40×10 ⁸
α _{ph}	3.18×10 ⁻³
F	1600 cm ²
α ₂	22.0×10 ⁻³

a_3	3.60×10^{-2}
d_1	6.75m
d_{2a}	7.64m
d_{2b}	1.60m
A_2	$(0.33+2.95) \times 5.2=17.1\text{m}^2$
A_3	$2 \times 5.5=11\text{m}^2$
g 点散射辐射剂量率 (估算值)	233.8 $\mu\text{Sv/h}$

入口门外的总辐射剂量率按公式 11-8 计算, 入口防护门外辐射量率计算参数和计算结果见表 11-8。

$$\dot{H} = \dot{H}_{\text{散}} \cdot 10^{-\left(\frac{X}{TVL}\right)} + \dot{H}_{og} \dots \dots \text{公式 11-8}$$

式中: $\dot{H}_{\text{散}}$ 是 g 处的散射辐射剂量率, \dot{H}_{og} 是 g 处的泄漏辐射剂量率;

X—防护门铅屏蔽厚度, cm;

TVL—辐射在铅中的什值层, cm, 取 0.5cm

表 11-8 防护门外的辐射剂量率核算值

参数		g 点
\dot{H}_s		233.8 $\mu\text{Sv/h}$
X		15mm 铅
TVL		5mm
\dot{H}_{og}		0.148 $\mu\text{Sv/h}$
入口门外关注点总辐射剂量 \dot{H}	估算值	0.382 $\mu\text{Sv/h}$
	控制值	2.5 $\mu\text{Sv/h}$
	评价结果	满足

8、预测计算结果汇总及评价

综上所述, 医用电子直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-9。

表 11-9 医用电子直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总

关注点	剂量率估算值 ($\mu\text{Sv/h}$)	参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	结论
南墙主屏蔽 (a 点)	0.138	2.5	满足
北墙主屏蔽 (b 点)	0.138	2.5	满足
屋顶主屏蔽 (l 点)	0.091	2.5	满足
东墙侧屏蔽 (e 点)	0.354	2.5	满足
西侧屏蔽墙 (f 点)	2.57×10^{-3}	2.5	满足
南墙次屏蔽 (c_1 、 c_2 点)	0.011	2.5	满足
北墙次屏蔽 (d_1 点)	0.011	1.82	满足
北墙次屏蔽 (d_2 点)	0.011	2.5	满足
屋顶次屏蔽 (m_1 、 m_2 点)	0.002	2.5	满足
迷路外墙 (k 点)	0.079	2.5	满足

防护门外 (g 点)	0.382	2.5	满足
------------	-------	-----	----

由表 11-9 可知, 医用电子直线加速器机房屏蔽设计能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 的限值要求。

关注点人员的年有效剂量由《辐射防护导论》给出的公式进行估算:

$$D_{Eff} = \dot{H} \cdot t \cdot T \cdot U \dots \dots \text{公式 11-9}$$

式中: D_{Eff} —关注点人员有效剂量 (Sv);

\dot{H} —关注点的辐射剂量率 (Sv/h);

t —关注点处受照时间 (h);

T —居留因子, 全部居留 $T=1$, 部分居留 $T=1/4$, 偶尔居留 $T=1/16$;

U —使用因子。

将表 11-9 中医用电子直线加速器机房外各典型关注点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-9, 根据医院预测的诊疗需要, 本项目医用直线加速器机房投入使用后, 预计每天接诊病人不超过 40 人次, 医用电子直线加速器年出束治疗时间约 500h, 物理师的质量控制验证出束时间约 50h/a, 则设备总出束时间约为 550h/a, 考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子, 估算公众及辐射工作人员的年有效剂量, 计算结果列于表 11-10。

表 11-10 医用电子直线加速器机房周围人员年有效剂量

关注点所在场所	点位	居留因子 T	使用因子 U	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	时间 (h)	年有效剂量 (mSv/a)	剂量约束值 (mSv/a)	结论
东侧室外	e	1/16	1	0.354	550	0.012	0.10	满足
南侧室外	a	1/16	1/4	0.138	550	1.2×10^{-3}	0.10	满足
控制室	k	1	1	0.079	550	0.044	5.0	满足
放疗大厅	g	1/8	1	0.382	550	0.026	0.10	满足
冲洗间	b	1/4	1/4	0.138	550	0.005	0.10	满足
放疗等候	d_1	1/4	1	0.011	550	1.5×10^{-3}	0.10	满足
水冷机房	d_2	1/16	1	0.011	550	3.7×10^{-4}	0.10	满足
档案室	l	1/16	1/4	0.091	550	7.8×10^{-4}	0.10	满足

根据表 11-10 理论计算结果可知, 本项目医用电子直线加速器运行后辐射工作人员最大有效剂量为 0.044mSv/a, 周围公众年有效剂量最大值为 0.026mSv。

9、保护目标处的年有效剂量分析

本项目 50m 评价范围涉及西侧的行政大楼, 可根据上述计算过程算的保护目标处的年有效剂量见表 11-11。

表 11-11 医用电子直线加速器项目周围保护目标年有效剂量一览表

关注点位置	参照点	距离(m)	剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	时间(h)	年有效剂量(mSv/a)
西侧行政大楼	防护门外(g点)	45	0.016	1	550	8.8×10^{-3}

注：不考虑其他材料的屏蔽。

(二) 肿瘤科-后装治疗机项目

本项目后装治疗机治疗时，假设放射源全部被输送至施源器，则辐射环境影响预测时保守将其视为点源来预测计算机房治疗室屏蔽防护能力。辐射屏蔽防护及估算点位示意图见图 11-2（预测点位取墙体或者防护门外 30cm 处，取最不利的点位）。

^{192}Ir 放射源虽有 β 、 γ 两种辐射，但 β 射线在空气中的射程较短，经放射源的内包鞘和治疗机的相关设施屏蔽后，在环境辐射方面已无影响，故本次环评中重点分析 ^{192}Ir 产生的 γ 射线的环境影响问题。

根据医院提供资料，本项目后装治疗机投入使用后，预计每天接诊病人不超过 20 人次/台，每位病人单次出束治疗时间不超过 3min，年工作 250d，则后装治疗机年出束治疗时间约 250h，物理师质量控制验证出束时间约为 25h/a，则设备总出束时间约为 275h/a。医生对患者进行摆位的时间约为 1min/人。



图 11-2 后装治疗机机房外关注点布置图

1、各关注点剂量率参考水平

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中相关规定及本项目后装治疗机机房周开机治疗时间，并结合公式 11-2 估算得到后装治疗机机房外 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 。

本项目后装治疗机机房各关注点剂量率参考水平，详见表 11-12。

表 11-12 后装治疗机机房各关注点剂量率参考水平一览表

关注点	T	U	H_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	t (h)	$\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/h$)	$H_{c,max}$ ($\mu\text{Sv}/h$)	\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/h$)
东墙外 (a 点)	1/4	1	5	5.5	3.63	2.5	2.5
南墙外 (b 点)	1/16	1	5		14.5	2.5	2.5
西墙外 (c 点)	1	1	100		18.2	2.5	2.5
北墙外 (d 点)	1/16	1	5		14.5	2.5	2.5
顶部 (l 点)	1/4	1	5		3.63	2.5	2.5
迷路入口防护门外 (g 点)	1/8	1	5		7.27	2.5	2.5

注： \dot{H}_c 为 $H_{c,max}$ 与导出的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 者中选择较小者；

本项目 $H_{c,max}$ 取 HJ1198-2021 中 6.1.4 给出关注点最高剂量率参考水平 $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv}/h$ （人员居留因子 $>1/2$ 场所）和 $H_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv}/h$ （人员居留因子 $\leq 1/2$ 场所），本项目综合考虑均按照 $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv}/h$ 考虑。 t —治疗装置周工作时间。

t —治疗装置周工作时间。根据建设单位提供资料，后装机预计年工作时间为 275h，周工作时间约为 5.5h；

2、后装治疗机房外关注点产生的剂量估算

在给定的屏蔽物质厚度 X (mm) 时，相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/h$) 依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）进行计算，根据本报告中的公式 11-3~公式 11-5 及公式 11-10 进行预测计算：

$$\dot{H}_0 = A \cdot K_\gamma \cdots \cdots \text{公式 11-10}$$

式中： A —放射源的活度，单位为 MBq；

K_γ —放射源的空气比释动能率常数，在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，单位记为 $\mu\text{Sv}/(h \cdot \text{MBq})$ ，查自（GBZ/T 201.3-2014）附录 C，本项目 ^{192}Ir 的空气比释动能率常数取 $0.111\mu\text{Sv}/(h \cdot \text{MBq})$ ；

预测结果见表 11-13 所示：

表 11-13 后装机房辐射屏蔽防护效果预测结果

参数	东墙 a 点	南墙 b 点	西墙 c 点	北墙 d 点	顶部 l 点
屏蔽厚度 X (mm)	700 砷				
等效厚度 X_e (mm)	700 砷	714 砷	700 砷	700 砷	700 砷
TVL (mm)	砷: 152				
B	2.48×10^{-5}	2.01×10^{-5}	2.48×10^{-5}	2.48×10^{-5}	2.48×10^{-5}
A (MBq)	3.70×10^5				
K_r ($\mu\text{Sv/h} \cdot \text{MBq}$)	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111
R (m)	3.00	4.90	2.50	2.50	3.80
f	1	1	1	1	1
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	4.11×10^4				
\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	0.113	0.034	0.163	0.163	0.071
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
是否满足	满足	满足	满足	满足	满足

3、后装机房迷路防护门屏蔽效果估算

本项目后装机房入口设有直迷路，迷路口用 10mmPb 防护当量的防护门屏蔽散射至迷路入口处的散射线。

入口 g 处的散射辐射剂量采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源 放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中公式计算：

$$H_s = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot S_w \cdot \alpha_w}{r_1^2 \cdot r_2^2} \dots\dots \text{公式 11-11}$$

式中： A —放射源的活度，MBq；本项目 ^{192}Ir 放射源活度 A 为 $3.70 \times 10^5 \text{MBq}$ ；

K_γ —放射源的空气比释动能率常数，在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似，此时， K_γ 的单位记为 $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ，查自（GBZ/T 201.3-2014）附录 C；

S_w —迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可见的墙区面积， m^2 ；

α_w —散射体的散射因子，本项目取 3.39×10^{-2} ；（取值参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）表 C.4。

r_1 —辐射源至散射体中心点的距离，m；

r_2 —散射体中心点至计算点的距离，m。

表 11-14 后装机房入口 g 点处辐射剂量率计算结果

参数	取值
A 放射源活度 (MBq)	3.70×10^5

K_γ 空气比释动能率常数 ($\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$)	0.111
S_w (m^2)	$(1.24+2.30)\times 3.75$
a_w (散射体的散射因子)	3.39×10^{-2}
r_1 (m)	3.06
r_2 (m)	4.10
\dot{H} 预测值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	117.5

根据公式 11-14 计算得机房入口前的散射辐射剂量率为 $117.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，后装机房迷路设有铅当量为 10mm 的防护门，保守取 ^{192}Ir 产生的 γ 射线经过散射后至迷路入口 g 处的能量约为 0.2MeV，铅中的 TVL 值为 5.0mm，因此，经过机房入口防护门的屏蔽后，入口门外的总辐射剂量率按公式 11-8 计算，入口门外辐射量率计算参数和计算结果见表 11-15 和表 11-16。

表 11-15 后装机房辐射屏蔽防护效果预测结果

关注点	屏蔽厚度 X (mm)	等效厚度 X_e (mm)	TVL (mm)	B	R (m)	H_{og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
防护门内	700 砵	930 砵	152 砵	7.61×10^{-7}	3.72	2.26×10^{-3}

表 11-16 入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果

参数		g 点
\dot{H}_s		$117.5\mu\text{Sv}/\text{h}$
X		12mm 铅
TVL		5mm
\dot{H}_{og}		$2.26\times 10^{-3}\mu\text{Sv}/\text{h}$
入口门外关注点总辐射剂量 \dot{H}	估算值	$0.470\mu\text{Sv}/\text{h}$
	控制值	$2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$
	评价结果	满足

4、预测计算结果汇总及评价

综上所述，后装机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-17。

表 11-17 后装机房墙、顶、门外理论估算结果汇总

关注点 参数	东墙 a 点	南墙 b 点	西墙 c 点	北墙 d 点	顶部 l 点	防护门 g 点
H ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.113	0.034	0.163	0.163	0.071	0.470
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
结论	满足	满足	满足	满足	满足	满足

根据表 11-17 结果分析知，该后装治疗机投入运行后，后装治疗机机房外辐射剂量率均小于各关注点的剂量率参考控制水平，满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）的要求。

5、电缆沟及风管穿墙处屏蔽效果分析

本项目后装机房内设通风装置，采用机械排风方式。本项目后装机房进风管道、排风管道穿墙处采用“S”型设计，管道经防护门上方由迷路到达机房内，射线经几次散射后，通风管道出口处辐射剂量将在控制范围内。电缆沟埋设在地下，电缆线布设采用地下“U”型穿墙管道，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

6、保护目标有效剂量评价

本项目后装治疗机年出束治疗时间约 250h，物理师质量控制验证出束时间约为 25h/a，则设备总出束时间约为 275h/a，根据各关注点处年受照时间，并考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，则后装治疗机机房外辐射剂量预测结果见表 11-18。

表 11-18 后装治疗机机房外辐射剂量预测结果

关注点	关注点所在场所	居留因子	使用因子	辐射剂量率 (μSv/h)	时间 (h)	年有效剂量 (mSv/a)	剂量约束值 (mSv/a)	结论
东墙 a 点	楼梯间	1/4	1	0.113	275	7.77×10^{-3}	0.1	满足
南墙 b 点	南侧室外	1/16	1	0.034	275	5.84×10^{-4}	0.1	
西墙 c 点	控制室	1	1	0.163	275	0.045	5.0	
北墙 d 点	电梯间	1/16	1	0.163	275	2.80×10^{-3}	0.1	
顶部 l 点	侯梯厅	1/4	1	0.071	275	4.88×10^{-3}	0.1	
迷路入口防护门 g 点		1/8	1	0.470	275	0.016	0.1	

在进行放射治疗前，工作人员需进入机房对患者进行摆位，此时放射源处于贮存状态，工作人员进行摆位时距离设备约 1m，根据《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS 262-2017）中的相关要求：距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 5μSv/h，平均每位患者摆位 1min，年门诊量最大 5000 人次，则辐射工作人员摆位过程中年最大有效剂量为 0.417mSv。

7、保护目标处的年有效剂量分析

本项目 50m 评价范围涉及西侧的行政大楼，可根据上述计算过程算的保护目标处的年有效剂量见表 11-19。

表 11-19 后装治疗机项目周围保护目标年有效剂量一览表

关注点位置	参照点	距离 (m)	剂量率 (μSv/h)	居留因子	时间 (h)	年有效剂量 (mSv/a)
西侧行政大楼	防护门外 (g 点)	45	0.016	1	550	8.8×10^{-3}

注：不考虑其他材料的屏蔽。

综上，根据表 11-18 和表 11-19 理论计算结果并叠加辐射工作人员摆位时所受年

有效剂量可知，本项目后装治疗机运行后辐射工作人员最大有效剂量为 0.462 (0.417+0.045) mSv/a，周围公众年有效剂量最大值为 0.016mSv。

(三) 肿瘤科-模拟定位机项目

医院肿瘤科模拟定位机机房辐射防护设计见表 10-4。

本项目依据《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)附录 C 可查表得出 370mm 实心砖及 220mm 厚混凝土在 140kV 电压条件下的等效铅当量，再与《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)中 X 射线设备机房屏蔽防护要求对照分析见表 11-20。

表 11-20 模拟定位机机房屏蔽防护设计一览表

参数	设计厚度	铅当量	屏蔽要求	评价
四侧墙体	370mm 厚实心砖墙	>3mm	2.5mmPb	满足
防护门	3mm 铅	3mm		满足
观察窗	3mm 铅当量	3mm		满足
屋顶	260mm 厚混凝土	3mm		满足
机房面积	37.1m ² ，单边最短长度 5.60m	机房最小有效使用面积 30m ² ，机房内最小单边长 4.5m		满足

由上表对照结果可知，本项目模拟定位机机房实体屏蔽防护满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)的要求，机房实体屏蔽设计合理。

(四) 核医学科-影像中心项目

1、核素显像诊断项目

本项目主要污染因子为 ^{18}F 、 ^{68}Ga 及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性核素在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生的 β 、 γ 射线及 β 放射性表面污染；PET/CT、SPECT/CT 装置 CT 扫描时产生的 X 射线。

(1) β 射线辐射影响分析

β 射线的穿透性能较差，根据《辐射防护手册 第三分册》（原子能出版社），其在 Z 较高的物质中的射程可用公式 11-12 和公式 11-13 进行估算，主要参数及结果见表 11-21。

$$R = \frac{1}{2} E_{max} \cdots \cdots \text{公式 11-12}$$

$$d = \frac{R}{\rho} \cdots \cdots \text{公式 11-13}$$

其中：R——最大射程，单位 g/cm^2 ；

E_{max} ——电子的最大能量，单位 MeV；

ρ ——材料的密度，单位 g/cm^3 ；

d——防护厚度，单位 cm。

表 11-21 与最大射程对应的防护厚度计算参数及结果

核素	$E_{\beta}(\text{MeV})^*$	屏蔽材料	ρ 材料密度 (g/cm^3)	d 防护厚度 (cm)
^{18}F 和 ^{68}Ga	0.63	铅	11.3	0.03
		混凝土	2.35	0.14
		实心砖	1.65	0.19

注：*来源 HJ1188-2021。

本项目手套箱均采用铅板及铅玻璃进行防护，工作场所墙体、顶部采用混凝土和实心砖，各防护门均采用铅防护门，观察窗均为铅玻璃观察窗进行辐射防护，本项目使用的放射性核 ^{18}F 和 ^{68}Ga 产生的 β 射线在上述屏蔽材料中射程均极短。在核素操作过程中，在穿戴好防护用品后，基本可以消除 β 射线对辐射工作人员及周围公众的辐射影响。

但是， β 射线可与物质相互作用从而产生韧致辐射，物质的原子序数越高，所产生的韧致辐射越强。

根据《辐射防护导论》（方杰主编）中的公式计算 β 射线产生的韧致辐射在关注点处空气中的吸收剂量率：

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

式中： \dot{D} —是屏蔽层中由 β 粒子产生的轫致辐射在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；

E_b — β 粒子的平均能量，MeV；

r —放射源到关注点的距离，m；

μ_{en}/ρ —平均能量为 E_b 的轫致辐射在空气中的质量能量吸收系数， m^2/kg 。

由公式 11-14 计算其所致剂量率，主要计算参数及计算结果见表 11-22。

表 11-22 核素产生轫致辐射剂量率

核素	活度 (Bq)	有效原子序数	E_b (MeV)	距离 (m)	μ_{en}/ρ (m^2/kg)	剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
^{18}F 和 ^{68}Ga	3.7×10^8	82 (铅)	0.63	1	2.953×10^{-3}	1.63×10^{-4}
		5.85 (有机玻璃)				1.16×10^{-5}
		7.36 (空气)				1.46×10^{-5}

注：质量能量吸收系数取自《辐射防护导论》方杰主编。

由估算结果可知，距屏蔽层 1m 处轫致辐射剂量率低于 $1.63 \times 10^{-4} \mu\text{Gy/h}$ ，且注射时一般在铅注射窗下给患者施药，经铅玻璃的进一步屏蔽后所致工作人员处辐射剂量率将远低于 $1.63 \times 10^{-4} \mu\text{Gy/h}$ ，因此该显像项目对周围辐射环境影响很少。

综上所述，本项目在使用放射性核 ^{18}F 和 ^{68}Ga 开展显像诊断过程中均采取了有效的屏蔽措施屏蔽 β 射线，同时在整个使用过程中辐射工作人员还穿戴有 0.5mm 铅当量的防护铅服，且周围公众与放射性核素之前还采取了距离隔离措施，因此 β 射线对辐射工作人员和周围公众辐射影响很小。

(2) γ 射线辐射影响分析

本项目主要污染因子为 ^{18}F 、 ^{68}Ga 及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等放射性核素在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生的 γ 射线。

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

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

式中： X —屏蔽厚度 (mm)；

TVL — γ 射线的十分之一值层厚度 (mm) ;

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 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$) ;

\dot{H}_p —屏蔽体外关注点剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) ;

R —放射源到关注点的距离 (m) 。

由公式 I.1 推导可得:

$$\dot{H}_p = \frac{A \times \Gamma}{r^2} 10^{(-\frac{x}{TVL})} \dots \dots \text{公式 11-15}$$

由《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) 查出铅、混凝土和实心砖对 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 和 ^{131}I 什值层见表 11-23。

表 11-23 本项目涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{18}F	^{131}I
铅什值层厚度 TVL ($\rho=11.3\text{g}/\text{cm}^3$)	1mm	16.6mm	11mm
混凝土什值层厚度 TVL ($\rho=2.35\text{g}/\text{cm}^3$)	110mm	176mm	170mm
实心砖什值层厚度 TVL ($\rho=1.65\text{g}/\text{cm}^3$)	160mm	263mm	240mm

注: ^{68}Ga 参照 ^{18}F 。

1) 使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展 SPECT/CT 显像诊断项目

①关注点处的辐射水平

根据本项目的工程分析可知, SPECT/CT 核素诊断项目辐射影响主要包括护士分装、取药和活度测量(保守按照 2min 估算)、药物注射(保守按照 1min 估算)、病人候诊(等候约 20min)和病人扫描(扫描过程约 20min) 4 个过程, 主要对核医学科工作人员及室外公众产生外照射辐射影响。

根据公式 11-15 可估算出项目周围各关注点处的辐射水平, 各关注点位置见图 11-3 和图 11-4, 预测结果见表 11-24。

图 11-3 核医学科-影像中心开展 ^{99m}Tc 显像诊断时估算点位示意图

图 11-4 核医学科剖面图

11-24 核医学科-影像中心使用 ^{99m}Tc 时理论估算结果汇总

点位	关注点位置	源强(Bq)	距离(m)	屏蔽材料及厚度	透射比	计算结果($\mu\text{Sv/h}$)	限值($\mu\text{Sv/h}$)	备注
1	手套箱外表面 30cm 处	$60 \times 3.70 \times 10^7$	0.3	5mmPb	1.0×10^{-5}	7.47×10^{-3}	2.5	每批次注射 3 人次
2	注射位	$20 \times 3.70 \times 10^7$	0.5	5+5mmPb	1.0×10^{-10}	8.97×10^{-9}	2.5	
3	分装注射室南墙外表面 30cm 处	$60 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	4.9×10^{-3}	0.057	10	
4	分装注射室西防护门外表面 30cm 处	$60 \times 3.70 \times 10^7$	4.0	10mmPb	1.0×10^{-10}	4.20×10^{-10}	2.5	
5	分装注射室西墙外表面 30cm 处	$60 \times 3.70 \times 10^7$	4.0	370mm 厚实心砖	4.9×10^{-3}	0.020	2.5	
6	分装注射室北墙外表面 30cm 处	$60 \times 3.70 \times 10^7$	2.3	370mm 厚实心砖	4.9×10^{-3}	0.062	2.5	
7	分装注射室顶部距地面 30cm 处	$60 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	200mm 厚混凝土	0.015	0.053	2.5	
8	分装注射室下方距地面 1.7m 处	$60 \times 3.70 \times 10^7$	3.8	300mm 厚混凝土	1.9×10^{-3}	5.96×10^{-3}	2.5	
9	入口缓冲间防护门外 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	2.8	15mmPb	1.0×10^{-15}	1.95×10^{-15}	2.5	/
10	患者走道东墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	2.2	370mm 厚实心砖	4.9×10^{-3}	0.015	2.5	/
11	运动负荷室南墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	4.9×10^{-3}	0.013	10	考虑 1 人同时候诊
12	运动负荷室防护门外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	8mmPb	1.0×10^{-8}	7.91×10^{-9}	10	
13	运动负荷室西墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	370mm 厚实心砖	4.9×10^{-3}	3.85×10^{-3}	10	
14	运动负荷室北墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	4.9×10^{-3}	0.013	2.5	
15	运动负荷室顶部距地面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	200mm 厚混凝土	0.015	0.012	2.5	
16	运动负荷室下方距地面 1.7m 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	3.8	300mm 厚混凝土	1.9×10^{-3}	1.99×10^{-3}	2.5	
17	SPECT 注射后等候室南墙外表面 30cm 处	$60 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	4.9×10^{-3}	0.039	2.5	考虑 3 人同时候诊
18	SPECT 注射后等候室西墙外表面 30cm 处	$60 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	370mm 厚实心砖	4.9×10^{-3}	0.012	10	
19	SPECT 注射后等候室防护门外表面 30cm 处	$60 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	5mmPb	1.0×10^{-5}	2.37×10^{-5}	10	
20	SPECT 注射后等候室北墙外表面 30cm 处	$60 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	4.9×10^{-3}	0.039	10	
21	SPECT 注射后等候室顶部距地面 30cm 处	$60 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	260mm 厚混凝土	4.3×10^{-3}	0.010	2.5	
22	SPECT 注射后等候室下方距地面 1.7m 处	$60 \times 3.70 \times 10^7$	3.8	300mm 厚混凝土	1.9×10^{-3}	0.006	2.5	

23	SPECT/CT 机房东防护门外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.0	5mmPb	1.0×10^{-5}	9.57×10^{-6}	10	/
24	SPECT/CT 机房东墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.0	370mm 厚实心砖	4.9×10^{-3}	4.66×10^{-3}	10	/
25	SPECT/CT 机房南墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.6	370mm 厚实心砖	4.9×10^{-3}	3.53×10^{-3}	2.5	/
26	SPECT/CT 机房西墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.0	370mm 厚实心砖	4.9×10^{-3}	4.66×10^{-3}	2.5	/
27	SPECT/CT 机房观察窗外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.6	5mmPb	1.0×10^{-5}	7.24×10^{-6}	2.5	/
28	SPECT/CT 机房北防护门外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.6	5mmPb	1.0×10^{-5}	7.24×10^{-6}	2.5	/
29	SPECT/CT 机房北墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.6	370mm 厚实心砖	4.9×10^{-3}	3.53×10^{-3}	2.5	/
30	SPECT/CT 机房顶部距地面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	260mm 厚混凝土	4.3×10^{-3}	3.42×10^{-3}	2.5	/
31	SPECT/CT 机房下方距地面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	3.8	300mm 厚混凝土	1.9×10^{-3}	1.99×10^{-3}	2.5	/
32	摆位/解除摆位	$20 \times 3.70 \times 10^7$	0.5	2+0.5mmPb	3.2×10^{-3}	0.194	/	/
33	留观室东墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	1.8	370mm 厚实心砖	4.9×10^{-3}	0.023	10	/
34	留观室南墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	2.0	370mm 厚实心砖	4.9×10^{-3}	0.019	2.5	/
35	留观室防护门外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	2.0	8mmPb	1.0×10^{-8}	3.83×10^{-8}	10	/
36	留观室顶部距地面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	200mm 厚混凝土	0.015	0.012	2.5	/
37	留观室下方距地面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	3.8	300mm 厚混凝土	1.9×10^{-3}	1.99×10^{-3}	2.5	/
38	出口缓冲间防护门外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	2.5	15mmPb	1.0×10^{-15}	2.45×10^{-15}	2.5	/

注：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 $0.0303 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$ ，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 $0.0207 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$ 。

从表 11-24 中的理论估算结果可以看出，由于有 5mm 铅当量手套箱屏蔽， ^{99m}Tc 药物取药过程中对取药操作人员的躯干辐射影响较小，但由于需要用手操作，手部剂量较高。 ^{99m}Tc 药物针剂外设有铅套、同时操作中工作人员穿戴铅防护服，药物操作过程中对注射室内环境辐射影响较小。 ^{99m}Tc 药物在操作过程中及病人在显像过程中对注射室、候诊区及 SPECT/CT 机房外的环境影响较小，注射室、候诊区及机房的防护设计均能够满足 ^{99m}Tc 核素的辐射防护要求。

②保护目标的有效剂量估算

根据表 11-24 的各关注点处辐射剂量率，结合工作时间，辐射工作人员和公众停留概率，再采用方杰主编的《辐射防护导论》中公式计算关注点人员的有效剂量。计算公式见公式 11-9，计算结果详见表 11-25。

表 11-25 使用 ^{99m}Tc 显像扫描时工作场所公众及辐射工作人员年有效剂量估算

点 位	关注点位置	关注点辐射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	关注对象	居留 因子	受照时间 (min)	有效剂量 (mSv)	剂量约束值 (mSv)
1	手套箱外表面 30cm 处	7.47×10^{-3}	工作人员	1	分装 2min×10 批次×250d	6.23×10^{-4}	5.0
2	注射位	8.97×10^{-9}	工作人员	1	注射 1min×30 人次×250d	1.12×10^{-9}	5.0
4	分装注射室西防护门外表面 30cm 处	4.20×10^{-10}	工作人员	1/4	分装 2min×10 批次×250d	8.76×10^{-12}	5.0
5	分装注射室西墙外表面 30cm 处	0.020	工作人员	1/4	分装 2min×10 批次×250d	4.27×10^{-4}	5.0
6	分装注射室北墙外表面 30cm 处	0.062	公众	1/4	分装 2min×10 批次×250d	1.29×10^{-3}	0.1
7	分装注射室顶部距地面 30cm 处	0.053	公众	1/4	分装 2min×10 批次×250d	1.10×10^{-3}	0.1
8	分装注射室下方距地面 1.7m 处	5.96×10^{-3}	公众	1/4	分装 2min×10 批次×250d	1.24×10^{-4}	0.1
9	入口缓冲间防护门外 30cm 处	1.95×10^{-15}	公众	1/16	停留 1min×30 人次×250d	1.53×10^{-17}	0.1
10	患者走道东墙外表面 30cm 处	0.015	公众	1/16	停留 1min×30 人次×250d	1.20×10^{-4}	0.1
14	运动负荷室北墙外表面 30cm 处	0.013	公众	1/16	候诊 10min×5 次×250d	1.69×10^{-4}	0.1
15	运动负荷室顶部距地面 30cm 处	0.012	公众	1/2	候诊 10min×5 次×250d	1.25×10^{-3}	0.1
16	运动负荷室下方距地面 1.7m 处	1.99×10^{-3}	公众	1/16	候诊 10min×5 次×250d	2.59×10^{-5}	0.1
17	SPECT 注射后等候室南墙外表面 30cm 处	0.039	公众	1/16	候诊 20min×10 次×250d	2.02×10^{-3}	0.1
21	SPECT 注射后等候室顶部距地面 30cm 处	0.010	公众	1/2	候诊 20min×10 次×250d	4.28×10^{-3}	0.1
22	SPECT 注射后等候室下方距地面 1.7m 处	0.006	公众	1/16	候诊 20min×10 次×250d	3.11×10^{-4}	0.1
25	SPECT/CT 机房南墙外表面 30cm 处	3.53×10^{-3}	公众	1/4	扫描 20min×30 人次×250d	2.20×10^{-3}	0.1
26	SPECT/CT 机房西墙外表面 30cm 处	4.66×10^{-3}	公众	1/4	扫描 20min×30 人次×250d	2.91×10^{-3}	0.1
27	SPECT/CT 机房观察窗外表面 30cm 处	7.24×10^{-6}	工作人员	1	扫描 20min×30 人次×250d	1.81×10^{-5}	5.0
28	SPECT/CT 机房北防护门外表面 30cm 处	7.24×10^{-6}	工作人员	1/4	扫描 20min×30 人次×250d	4.52×10^{-6}	5.0
29	SPECT/CT 机房北墙外表面 30cm 处	3.53×10^{-3}	工作人员	1/4	扫描 20min×30 人次×250d	2.20×10^{-3}	5.0
30	SPECT/CT 机房顶部距地面 30cm 处	3.42×10^{-3}	公众	1/16	扫描 20min×30 人次×250d	5.35×10^{-4}	0.1
31	SPECT/CT 机房下方距地面 30cm 处	1.99×10^{-3}	公众	1/4	扫描 20min×30 人次×250d	1.24×10^{-3}	0.1

32	摆位/解除摆位	0.194	工作人员	1	摆位 1min×30 人次×250d	0.024	5.0
34	留观室南墙外表面 30cm 处	0.019	公众	1/4	留观 10min×30 人次×250d	5.83×10^{-3}	0.1
36	留观室顶部距地面 30cm 处	0.012	公众	1/16	留观 10min×30 人次×250d	9.40×10^{-4}	0.1
37	留观室下方距地面 30cm 处	1.99×10^{-3}	公众	1/16	留观 10min×30 人次×250d	1.55×10^{-4}	0.1
38	出口缓冲间防护门外表面 30cm 处	2.45×10^{-15}	公众	1/16	停留 1min×30 人次×250d	1.91×10^{-17}	0.1

综上，假设核医学科-影像中心 ^{99m}Tc 诊断项目所有分装注射均由一名工作人员完成，则注射过程中核医学科辐射工作人员受到的年有效剂量小于 $6.23 \times 10^{-4} \text{mSv}$ ($6.23 \times 10^{-4} + 1.12 \times 10^{-9}$)；SPECT/CT 摆位由 1 名工作人员完成，则 SPECT/CT 摆位过程中及扫描过程中受到的年有效剂量约为 0.024mSv ($0.024 + 1.81 \times 10^{-5}$)。根据估算结果核素诊断过程中，周围公众（控制区外）年有效剂量最大为 $5.83 \times 10^{-3} \text{mSv}$ 。

2) 使用核素 ^{18}F 和 ^{68}Ga 开展 PET/CT 显像诊断项目

① 关注点处的辐射水平

根据本项目的工程分析可知，PET/CT 核素诊断项目辐射影响主要包括护士分装、取药和活度测量（保守按照 2min 估算）、药物注射（保守按照 1min 估算）、病人候诊（等候约 20min）和病人扫描（扫描过程约 20min）4 个过程，主要对 PET/CT 工作人员及室外公众产生外照射辐射影响。根据公式 11-15 可估算出项目周围各关注点处的辐射水平，各关注点位置见图 11-5，预测结果见表 11-26。

图 11-5 核医学科-影像中心开展 ^{18}F 和 ^{68}Ga 显像诊断时估算点位示意图

表 11-26 核医学科-影像中心使用 ^{18}F 和 ^{68}Ga 开展显像诊断时理论估算结果汇总

点位	关注点位置	源强(Bq)	距离(m)	屏蔽材料及厚度	透射比	计算结果($\mu\text{Sv/h}$)	限值($\mu\text{Sv/h}$)	备注
1	手套箱外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	0.3	55mmPb	4.86×10^{-4}	0.572	2.5	每批次注射 2 人次
2	注射位	$10 \times 3.70 \times 10^7$	0.5	20+20mmPb	0.004	0.824	2.5	
3	分装注射室南墙外表面 30cm 处	$10 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	0.039	0.360	10	
4	分装注射室西防护门外表面 30cm 处	$10 \times 3.70 \times 10^7$	4.0	10mmPb	0.250	0.826	2.5	
5	分装注射室西墙外表面 30cm 处	$10 \times 3.70 \times 10^7$	4.0	370mm 厚实心砖	0.039	0.130	2.5	
6	分装注射室北墙外表面 30cm 处	$10 \times 3.70 \times 10^7$	2.3	370mm 厚实心砖	0.039	0.392	2.5	
7	分装注射室顶部距地面 30cm 处	$10 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	200mm 厚混凝土	0.073	0.200	2.5	
8	分装注射室下方距地面 1.7m 处	$10 \times 3.70 \times 10^7$	3.8	300mm 厚混凝土	0.020	0.072	2.5	
9	入口缓冲间防护门外 30cm 处	$10 \times 3.70 \times 10^7$	2.8	15mmPb	0.125	0.542	2.5	/
10	患者走道东墙外表面 30cm 处	$10 \times 3.70 \times 10^7$	2.2	370mm 厚实心砖	0.039	0.276	2.5	/
11	PET 注射后等候室南墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	0.039	0.232	10	考虑 2 人同时候诊
12	PET 注射后等候室西墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	370mm 厚实心砖	0.039	0.069	10	
13	PET 注射后等候室防护门外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	8mmPb	0.330	0.580	10	
14	PET 注射后等候室北墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	0.039	0.232	10	
15	PET 注射后等候室顶部距地面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	260mm 厚混凝土	0.033	0.059	2.5	
16	PET 注射后等候室下方距地面 1.7m 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	3.8	300mm 厚混凝土	0.020	0.047	2.5	
17	PET/CT 机房东墙外表面 30cm 处	$8.81 \times 3.70 \times 10^7$	4.0	370mm 厚实心砖	0.039	0.073	10	/
18	PET/CT 机房东防护门外表面 30cm 处	$8.81 \times 3.70 \times 10^7$	4.0	8mmPb	0.330	0.618	10	/
19	PET/CT 机房南防护门外表面 30cm 处	$8.81 \times 3.70 \times 10^7$	4.6	10mmPb	0.250	0.354	2.5	/
20	PET/CT 机房观察窗外表面 30cm 处	$8.81 \times 3.70 \times 10^7$	4.6	10mmPb	0.250	0.354	2.5	/
21	PET/CT 机房南墙外表面 30cm 处	$8.81 \times 3.70 \times 10^7$	4.6	370mm 厚实心砖	0.039	0.056	2.5	/
22	PET/CT 机房西墙外表面 30cm 处	$8.81 \times 3.70 \times 10^7$	4.0	370mm 厚实心砖	0.039	0.073	2.5	/

23	PET/CT 机房北墙外表面 30cm 处	$8.81 \times 3.70 \times 10^7$	4.6	370mm 厚实心砖	0.039	0.056	10	/
24	PET/CT 机房顶部距地面 30cm 处	$8.81 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	260mm 厚混凝土	0.033	0.052	2.5	/
25	PET/CT 机房下方距地面 30cm 处	$8.81 \times 3.70 \times 10^7$	3.8	300mm 厚混凝土	0.020	0.041	2.5	/
26	摆位/解除摆位	$8.81 \times 3.70 \times 10^7$	0.5	10+0.5mmPb	0.233	28.0	/	/
27	留观室东墙外表面 30cm 处	$7.76 \times 3.70 \times 10^7$	1.8	370mm 厚实心砖	0.039	0.319	10	/
28	留观室南墙外表面 30cm 处	$7.76 \times 3.70 \times 10^7$	2.0	370mm 厚实心砖	0.039	0.259	2.5	/
29	留观室防护门外表面 30cm 处	$7.76 \times 3.70 \times 10^7$	2.0	8mmPb	0.330	2.177	10	/
30	留观室顶部距地面 30cm 处	$7.76 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	200mm 厚混凝土	0.073	0.100	2.5	/
31	留观室下方距地面 30cm 处	$7.76 \times 3.70 \times 10^7$	3.8	300mm 厚混凝土	0.020	0.036	2.5	/
32	出口缓冲间防护门外表面 30cm 处	$7.29 \times 3.70 \times 10^7$	2.5	15mmPb	0.125	0.496	2.5	/

注： ^{18}F 日诊断人数最大为 20 人次， ^{68}Ga 日诊断人数最大为 4 人次；查《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020），放射性核素 ^{18}F 的周围剂量当量率常数（裸源）为 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ，患者体内注射 ^{18}F 时放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率常数为 $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ 。

从表 11-26 中的理论估算结果可以看出, 由于有 55mm 铅当量手套箱屏蔽, ^{18}F 药物取药过程中对取药操作人员的躯干辐射影响较小, 但由于需要用手操作, 手部剂量较高。 ^{18}F 药物针剂外设有铅套、同时操作中工作人员穿戴铅防护服, 药物操作过程中对注射室内环境辐射影响较小。 ^{18}F 药物在操作过程中及病人在显像过程中对注射室、候诊区及 PET/CT 机房外的环境影响较小, 注射室、候诊区及机房的防护设计均能够满足 ^{18}F 核素的辐射防护要求, 均满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 中“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 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 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 $10\mu\text{Sv/h}$ ”的限值要求。

②保护目标的有效剂量估算

根据表 11-26 的各关注点处辐射剂量率, 结合工作时间, 辐射工作人员和公众停留概率, 并参照公式 11-9, 即可得到各关注点处公众及辐射工作人员的年受照剂量, 见表 11-27。

表 11-27 使用 ^{18}F 和 ^{68}Ga 显像扫描时工作场所公众及辐射工作人员年有效剂量估算

点 位	关注点位置	关注点辐射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	关注对象	居留 因子	受照时间 (min)	有效剂量 (mSv)	剂量约束值 (mSv)
1	手套箱外表面 30cm 处	0.572	工作人员	1	分装 2min×12 批次×250d	0.057	5.0
2	注射位	0.824	工作人员	1	注射 1min×24 人次×250d	0.082	5.0
4	分装注射室西防护门外表面 30cm 处	0.826	工作人员	1/4	分装 2min×12 批次×250d	0.021	5.0
5	分装注射室西墙外表面 30cm 处	0.130	工作人员	1/4	分装 2min×12 批次×250d	0.003	5.0
6	分装注射室北墙外表面 30cm 处	0.392	公众	1/4	分装 2min×12 批次×250d	0.010	0.1
7	分装注射室顶部距地面 30cm 处	0.200	公众	1/4	分装 2min×12 批次×250d	0.005	0.1
8	分装注射室下方距地面 1.7m 处	0.072	公众	1/4	分装 2min×12 批次×250d	0.002	0.1
9	入口缓冲间防护门外 30cm 处	0.542	公众	1/16	停留 1min×24 人次×250d	0.003	0.1
10	患者走道东墙外表面 30cm 处	0.276	公众	1/16	停留 1min×24 人次×250d	0.002	0.1
15	PET 注射后等候室顶部距地面 30cm 处	0.059	公众	1/2	候诊 20min×12 次×250d	0.029	0.1
16	PET 注射后等候室下方距地面 1.7m 处	0.047	公众	1/16	候诊 20min×12 次×250d	0.003	0.1
19	PET/CT 机房南防护门外表面 30cm 处	0.354	工作人员	1/4	扫描 20min×24 人次×250d	0.177	5.0
20	PET/CT 机房观察窗外表面 30cm 处	0.354	工作人员	1	扫描 20min×24 人次×250d	0.708	5.0
21	PET/CT 机房南墙外表面 30cm 处	0.056	工作人员	1/4	扫描 20min×24 人次×250d	0.028	5.0
22	PET/CT 机房西墙外表面 30cm 处	0.073	公众	1/4	扫描 20min×24 人次×250d	0.037	0.1
24	PET/CT 机房顶部距地面 30cm 处	0.052	公众	1/16	扫描 20min×24 人次×250d	0.006	0.1
25	PET/CT 机房下方距地面 30cm 处	0.041	公众	1/2	扫描 20min×24 人次×250d	0.082	0.1
26	摆位/解除摆位	28.0	工作人员	1	摆位 1min×24 人次×250d	2.796	5.0
28	留观室南墙外表面 30cm 处	0.259	公众	1/4	留观 10min×24 人次×250d	0.065	0.1
30	留观室顶部距地面 30cm 处	0.100	公众	1/16	留观 10min×24 人次×250d	0.006	0.1
31	留观室下方距地面 30cm 处	0.036	公众	1/16	留观 10min×24 人次×250d	0.002	0.1
32	出口缓冲间防护门外表面 30cm 处	0.496	公众	1/16	停留 1min×24 人次×250d	0.003	0.1

注：PET/CT 日诊断 24 人次。

综上，假设核医学科-影像中心使用 ^{18}F 开展显像诊断所有分装注射均由一名工作人员完成，则注射过程中核医学科辐射工作人员受到的年有效剂量小于 0.139mSv ($0.082+0.057$)。PET/CT 摆位由 1 名工作人员完成，则摆位过程中及扫描过程中受到的年有效剂量小于 3.504mSv ($0.708+2.796$)。根据估算结果核素诊断过程中，周围公众（控制区外）年有效剂量最大为 0.082mSv （PET 注射后候诊室西墙外表面 30cm 处）。

3) 射线装置环境影响分析

医院核医学科-影像中心 SPECT/CT 和 PET/CT 机房辐射防护设计见表 11-28。

表 11-28 医院核医学科 SPECT/CT 和 PET/CT 机房辐射防护设计一览表

类别	参数	设计厚度	铅当量	屏蔽及面积要求	评价
SPECT/CT 机房	墙体	370mm 厚实心砖	$>3\text{mmPb}$	CT 机房（不含头颅移动 CT）、CT 模拟定位机房：有用线束方向铅当量 2.5mmPb ，非有用线束方向铅当量 2.5mmPb 。	满足
	防护大门	5mm 铅当量	5mmPb		
	防护小门	5mm 铅当量	5mmPb		
	观察窗	5mm 铅当量	5mmPb		
	屋顶	260mm 厚混凝土	3mmPb		
	地面	300mm 厚混凝土	3.5mmPb		
	机房面积	47.8m ² ，单边最短长度 6.00m；	机房最小有效使用面积 30m ² ，机房内最小单边长 4.5m		满足
类别	参数	设计厚度	铅当量	屏蔽及面积要求	评价
PET/CT 机房	墙体	370mm 厚实心砖	$>3\text{mmPb}$	CT 机房（不含头颅移动 CT）、CT 模拟定位机房：有用线束方向铅当量 2.5mmPb ，非有用线束方向铅当量 2.5mmPb 。	满足
	东防护门	8mm 铅当量	12mmPb		
	西防护门	10mm 铅当量	10mmPb		
	观察窗	10mm 铅当量	12mmPb		
	屋顶	260mm 厚混凝土	3mmPb		
	地面	300mm 厚混凝土	3.5mmPb		
	机房面积	51.0m ² ，单边最短长度 6.00m	机房最小有效使用面积 30m ² ，机房内最小单边长 4.5m		满足

由上表可知 SPECT/CT 和 PET/CT 系统 CT 部分为 III 类医用射线装置，机房墙体、门、窗、顶棚的防护厚度均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中要求，以上标准中机房屏蔽厚度参数是以机房外人员受照剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量要求而设定的，而本项目机房设计方案各项防护参数均大于标准要求，由此偏保守推测，设备正常运行时对机房外环境的影响可满足本项目评价标准要求。

本项目辐射工作人员所受 CT 的年有效剂量（X 射线贡献）将淹没在放射性药物

的影响内，考虑叠加放射性药物的影响后，辐射工作人员所受总的年有效剂量均能符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于剂量限值的要求，也低于本评价提出的 5.0mSv/a 的剂量约束值。

4) 校准源影响分析

本项目所使用校准源 ^{68}Ge 为V类放射源,用于对 PET/CT 设备进行图像校准使用, PET/CT 机房的屏蔽墙体及防护门防护厚度均不小于 8mmPb, 本项目 ^{68}Ge 校准源对周围的辐射环境影响很小, 校准源不使用时贮存在校准源室内, 校准源室内拟设置双人双锁及红外报警等措施对放射源进行管理, 以确保放射源存放安全。

2、甲状腺吸碘率测定项目辐射环境影响分析

根据本项目的工程分析可知, 甲状腺吸碘率测定的患者在口服药物后 2h、4h、12h 及 24h 后进入甲测室进行相关测定, 测定过程按照 5min 估算, 测定结束后随即离开工作场所。以上过程对核医学科-影像中心的辐射工作人员及室外公众产生外照射辐射影响。根据公式 11-15 可估算出甲吸患者对周围各关注点处的辐射水平, 预测结果见表 11-29。

表 11-29 甲状腺吸碘率测定理论估算结果汇总

关注点		距离 (m)	屏蔽材料	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
注射窗		0.5	5mmPb	0.309
甲测室 (5人)	东墙外 30cm 处	2.5	370mm 厚实心砖	9.9×10^{-4}
	防护门外 30cm 处	2.5	3mmPb	0.018
	南墙外 30cm 处	2.0	370mm 厚实心砖	1.5×10^{-3}
	顶部距地面 30cm 处	4.4	300mm 厚混凝土	1.9×10^{-4}
	下方距地面 1.7m 处	3.8	300mm 厚混凝土	2.6×10^{-4}

由上表估算结果可知, 甲测室外关注点剂量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 该区域防护屏蔽能够满足标准要求。

根据表 11-29 的各关注点处辐射剂量率, 结合工作时间, 辐射工作人员和公众停留概率, 再采用方杰主编的《辐射防护导论》中公式计算关注点人员的有效剂量。计算公式见公式 11-9, 计算结果详见表 11-30。

表 11-30 甲吸测定和肾图测定工作场所公众及辐射工作人员年有效剂量估算

关注点		剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	居留因子	受照时间 (min)	有效剂量 (mSv)
注射窗		0.309	1	给药 1min×500 次/a	2.58×10^{-3}
甲测	东墙外 30cm 处	9.9×10^{-4}	1/4	留观 10min×500 次/a	2.07×10^{-5}
	防护门外 30cm 处	0.018	1/4	留观 10min×500 次/a	3.84×10^{-4}

室	南墙外 30cm 处	1.5×10^{-3}	1/4	留观 10min×500 次/a	3.23×10^{-5}
	顶部距地面 30cm 处	1.9×10^{-4}	1/4	留观 10min×500 次/a	3.99×10^{-6}
	下方距地面 1.7m 处	2.6×10^{-4}	1/4	留观 10min×500 次/a	5.35×10^{-6}

由上表可知，本项目核医学科所致工作人员年有效剂量最大值为 $2.58 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，公众年有效剂量最大为 $3.84 \times 10^{-4} \text{mSv}$ 。

(五) 核医学科-核素病房项目

医院拟在核素病房使用放射性同位素 ^{131}I 开展核素治疗项目， ^{131}I 甲癌病人单人最大用药量为 $150 \times 3.7 \times 10^7 \text{Bq}$ ，工作人员在分装室内使用自动分装仪进行 ^{131}I 的分装，分装好后工作人员通过语音控制，病人至服药窗口服药，服药后在病房内住院治疗。根据公式 11-15 可估算出项目周围各关注点处的辐射水平，预测结果见表 11-31 和表 11-32，估算点位见图 11-6。

图 11-6 核医学科核素病房使用 ^{131}I 治疗甲癌项目估算点位示意图

表 11-31 无屏蔽状态下 ^{131}I 周围辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)

距离 (m)	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0
单次注射 ^{131}I 药物 $5.55 \times 10^9 \text{Bq}$ (150mCi) 时周围辐射剂量率	3595	1294	323.6	80.9	35.9

表 11-32 ^{131}I 甲癌治疗项目工作场所辐射水平估算结果

点位	关注点位置	源强 (Bq)	距离 (m)	屏蔽材料及厚度	透射比	关注点辐射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	限值 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
1	自动分装仪表面 30cm 处	$750 \times 3.70 \times 10^7$	0.3	50mmPb	2.85×10^{-5}	0.522	2.5	额外考虑自动分装仪屏蔽 50mmPb
2	分装室东墙外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	2.8	370mm 厚实心砖	8.18×10^{-7}	3.45×10^{-5}	10	
3	分装室南墙外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	8.18×10^{-7}	2.08×10^{-5}	10	
4	分装室西墙外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	8.18×10^{-7}	4.69×10^{-5}	2.5	
5	分装室西防护门外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	12mmPb	2.31×10^{-6}	1.32×10^{-4}	2.5	
6	分装室北墙外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	2.0	370mm 厚实心砖	8.18×10^{-7}	6.76×10^{-5}	2.5	
7	分装室顶部距地面 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	350mm 厚混凝土	2.49×10^{-7}	4.24×10^{-6}	2.5	
8	分装室下方距地面 1.7m 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	200mm 厚混凝土	1.90×10^{-6}	3.24×10^{-5}	2.5	
9	服药室东防护门外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	2.0	15mmPb	0.043	3.502	10	/
10	服药室西防护门外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	2.0	18mmPb	0.023	1.869	2.5	/
11	入口缓冲间防护门外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	3.5	15mmPb	0.043	1.143	2.5	/
12	核素病房 1 南墙外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	0.029	1.614	10	1 人住院
13	核素病房 1 防护门外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	8mmPb	0.187	3.132	10	
14	核素病房 1 西墙外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	370mm 厚实心砖	0.029	0.480	10	
15	核素病房 1 北墙外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	0.029	1.614	2.5	
16	核素病房 1 顶部距地面 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	350mm 厚混凝土	8.73×10^{-3}	0.146	2.5	
17	核素病房 1 下方距地面 1.7m 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	200mm 厚混凝土	0.067	1.113	2.5	
18	核素病房 2 南墙外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	0.029	1.614	10	1 人住院
19	核素病房 2 防护门外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	8mmPb	0.187	3.132	10	
20	核素病房 2 西墙外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	370mm 厚实心砖	0.029	0.480	10	

21	核素病房 2 北墙外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	0.029	1.614	10	1 人住院
22	核素病房 2 顶部距地面 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	350mm 厚混凝土	8.73×10^{-3}	0.146	2.5	
23	核素病房 2 下方距地面 1.7m 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	200mm 厚混凝土	0.067	1.113	2.5	
24	核素病房 3 南墙外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	0.029	1.614	10	
25	核素病房 3 防护门外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	8mmPb	0.187	3.132	10	
26	核素病房 3 西墙外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	370mm 厚实心砖	0.029	0.480	10	
27	核素病房 3 北墙外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	0.029	1.614	10	
28	核素病房 3 顶部距地面 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	350mm 厚混凝土	8.73×10^{-3}	0.146	2.5	
29	核素病房 3 下方距地面 1.7m 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	200mm 厚混凝土	0.067	1.113	2.5	
30	核素病房 4 南墙外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	0.029	1.614	10	1 人住院
31	核素病房 4 西墙外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	370mm 厚实心砖	0.029	0.480	10	
32	核素病房 4 防护门外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	8mmPb	0.187	3.132	10	
33	核素病房 4 北墙外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	0.029	1.614	10	
34	核素病房 4 顶部距地面 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	350mm 厚混凝土	8.73×10^{-3}	0.146	2.5	
35	核素病房 4 下方距地面 1.7m 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	200mm 厚混凝土	0.067	1.113	2.5	
36	核素病房 5 南墙外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	0.029	1.614	2.5	1 人住院
37	核素病房 5 西墙外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	370mm 厚实心砖	0.029	0.480	10	
38	核素病房 5 防护门外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	8mmPb	0.187	3.132	10	
39	核素病房 5 北墙外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	0.029	1.614	10	
40	核素病房 5 顶部距地面 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	350mm 厚混凝土	8.73×10^{-3}	0.146	2.5	
41	核素病房 5 下方距地面 1.7m 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	200mm 厚混凝土	0.067	1.113	2.5	
42	取餐室南墙外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	2.0	370mm 厚实心砖	0.029	2.324	2.5	/
43	取餐室西墙外 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	2.0	370mm 厚实心砖	0.029	2.324	2.5	/
44	出口防护门表面 30cm 处	$6.4 \times 3.70 \times 10^7$	3.5	15mmPb	0.043	0.049	2.5	考虑衰变

注：查《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020），放射性核素 ^{131}I 的周围剂量当量率常数（裸源）为 $0.0595 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$ ，患者体内注射 ^{131}I 时放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率常数为 $0.0583 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$ 。

由表 11-31 的数据可以看出，病人服药后 ^{131}I 药物处于无屏蔽状态，其周围辐射影响比较明显，患者用药后对与其近距离接触者将产生明显的辐射危害，因此加强对服药患者管理是非常必要的。

由表 11-32 的数据可以看出，甲癌治疗工作场所周围辐射剂量率均能满足 HJ1188-2021 的限值要求。

对服用 ^{131}I 的甲癌患者，甲状腺切除， ^{131}I 进入患者体内后，会随着身体代谢，很快随着尿液、粪便等排出。根据《分化型甲状腺癌患者的 ^{131}I 有效半衰期》（易艳玲等，原子能科学与技术，Vol44, suppl.10, 9）报道，甲癌患者的 ^{131}I 平均有效半衰期为 (14.6 ± 6.5) h，本评价取 21.1h，据此计算甲癌患者服药后的剂量率。患者服药后，距患者不同距离处辐射剂量率预测结果表 11-33。

表 11-33 患者服药后辐射剂量率预测结果

源强	距患者 距离	辐射剂量率 $\mu\text{Sv/h}$						
		服药当天	1d	2d	4d	7d	10d	24d
150mCi	1m	323.6	147.1	66.9	13.8	1.12	0.11	/

由上表预测值中可以看出，服药后患者对周围辐射环境影响随时间的增加而逐渐减小。甲癌患者服药后初期体外 1m 处 γ 辐射剂量率为 $323.6\mu\text{Sv/h}$ ，随着时间衰变，服药 7 天后，患者体外 1m 处 γ 辐射剂量率为 $1.12\mu\text{Sv/h}$ 。

患者体内携带一定量活度的放射性核素离开医院是允许的，对于核素 ^{131}I ，允许离开医院的核素活度上限为 $400\text{MBq}(10.8\text{mCi})$ 。本项目甲癌患者，用量高于 10.8mCi ，需要住院治疗，待体内核算 ^{131}I 含量小于 10.8mCi 时，方可允许离开医院。经估算可知，甲癌患者住院三天后，体内核素活度最大为 18.79mCi ，四天后体内核素活度最大为 8.54mCi ，因此甲癌患者一般需住院 4 天即可达到出院标准（对排泄速度较慢的患者，应适当延长住院时间）。从某种程度上讲，服药患者相当于一个流动的放射源，在一段时间内，对近距离接触的公众可能产生 γ 外照射，并且患者排泄物也会对环境可能产生一定的影响。但是这种影响是暂时的，其影响将随着时间的推移越来越小，因此医院应加强对服药患者管理，向患者及其家属作出口头及书面的住院期间及出院后的防护措施指导，给出辐射防护建议，要求患者在一定时间内避免外出。

甲癌病人在住院期间，医院保洁人员不对病房打扫卫生。综上患者服药后，根据表 11-32 的各关注点处辐射剂量率，结合工作时间，辐射工作人员和公众停留概率，结合公式 11-9 即可得到各关注点处公众及辐射工作人员的年受照剂量，见表 11-34。

表 11-34 ¹³¹I 甲癌治疗项目工作场所公众及辐射工作人员年有效剂量估算

点 位	关注点位置	关注点当天最大辐射水平 (μSv/h)					关注点处受放射性核素影响 的时间	居留 因子	关注点人员有 效剂量 mSv/a	关注对象
		第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天				
1	自动分装仪表面 30cm 处	0.522					服药 1min×5 人/周×50 周	1	2.18×10 ⁻³	工作人员
4	分装室西墙外 30cm 处	4.69×10 ⁻⁵						1/16	1.22×10 ⁻⁸	工作人员
5	分装室西防护门外 30cm 处	1.32×10 ⁻⁴						1/16	3.45×10 ⁻⁸	工作人员
6	分装室北墙外 30cm 处	6.76×10 ⁻⁵						1/4	7.04×10 ⁻⁸	公众
7	分装室顶部距地面 30cm 处	4.24×10 ⁻⁶						1/16	1.10×10 ⁻⁹	公众
8	分装室下方距地面 1.7m 处	3.24×10 ⁻⁵						1/4	3.37×10 ⁻⁸	公众
11	入口缓冲间防护门外 30cm 处	1.143					停留 1min×5 次/d×50 周	1/16	2.98×10 ⁻⁴	公众
14	核素病房 1 西墙外 30cm 处	0.480	0.218	0.099	0.045	0.021	8h/d×5d/周×50 周	1/16	0.022	公众
15	核素病房 1 北墙外 30cm 处	1.614	0.734	0.333	0.152	0.069	8h/d×5d/周×50 周	1/16	0.073	公众
16	核素病房 1 顶部距地面 30cm 处	0.146	0.066	0.030	0.014	0.006	8h/d×5d/周×50 周	1/16	6.56×10 ⁻³	公众
17	核素病房 1 下方距地面 1.7m 处	1.113	0.506	0.230	0.105	0.048	8h/d×5d/周×50 周	1/16	0.050	公众
22	核素病房 2 顶部距地面 30cm 处	0.146	0.066	0.030	0.014	0.006	8h/d×5d/周×50 周	1/16	6.56×10 ⁻³	公众
23	核素病房 2 下方距地面 1.7m 处	1.113	0.506	0.230	0.105	0.048	8h/d×5d/周×50 周	1/16	0.050	公众
28	核素病房 3 顶部距地面 30cm 处	0.146	0.066	0.030	0.014	0.006	8h/d×5d/周×50 周	1/16	6.56×10 ⁻³	公众
29	核素病房 3 下方距地面 1.7m 处	1.113	0.506	0.230	0.105	0.048	8h/d×5d/周×50 周	1/16	0.050	公众
34	核素病房 4 顶部距地面 30cm 处	0.146	0.066	0.030	0.014	0.006	8h/d×5d/周×50 周	1/16	6.56×10 ⁻³	公众
35	核素病房 4 下方距地面 1.7m 处	1.113	0.506	0.230	0.105	0.048	8h/d×5d/周×50 周	1/16	0.050	公众
36	核素病房 5 南墙外 30cm 处	1.614	0.734	0.333	0.152	0.069	8h/d×5d/周×50 周	1/16	0.073	公众
40	核素病房 5 顶部距地面 30cm 处	0.146	0.066	0.030	0.014	0.006	8h/d×5d/周×50 周	1/16	6.56×10 ⁻³	公众
41	核素病房 5 下方距地面 1.7m 处	1.113	0.506	0.230	0.105	0.048	8h/d×5d/周×50 周	1/16	0.050	公众
42	取餐室南墙外 30cm 处	2.324					停留 1min×15 次/d×50 周	1/4	7.26×10 ⁻³	公众
43	取餐室西墙外 30cm 处	2.324					停留 1min×15 次/d×50 周	1/16	1.82×10 ⁻³	公众
44	出口防护门外表面 30cm 处	0.049					停留 1min×50 周	1/16	4.57×10 ⁻⁶	公众

注：*：病人为 24 小时住院，但 8 小时工作时间之外此处停留人员很少，故本项目按照 8 小时计算。**：考虑放射性核素存在衰减。

根据以上估算，核素病房工作人员所受年有效剂量最大值为 $2.18 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，核素病房外周围公众所受年附加有效剂量最大为 0.073mSv/a 。

（五）核医学科-其他环境影响分析

1、放射性废气的影响分析

本项目核医学科 2 处辐射工作场所的通排风系统各自独立不交叉。

本项目工作场所排风管道确保其中 1 根单独连接分装室的手套箱，放射性药物的各项操作均在手套箱内进行，手套箱由专业厂商提供，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 ；其余管道连接各场所内的主要房间，并保证了非密封放射性物质工作为负压工作场所。

2 处工作场所产生的废气经由 4 根排风管道排至放疗中心楼顶，4 根排风管道均在末端配置有过滤装置处理设施，屋顶排风口均朝向天空。放疗中心楼顶周边无邻近高层建筑，空气流通通畅，含放射性核素的废气经过滤器过滤后对周边环境影响较小。

2、放射性固废影响分析

（1）核医学科-影像中心

核医学科-影像中心产生的放射性固体废物主要有废弃的注射器、一次性手套、棉签、滤纸等。核医学科分装注射室、候诊区、留观室等房间均拟设置 1~2 个放射性废物桶，另外，医院在核医学科内设有 2 个放射性废物暂存间。

从核医学科各房间收集的含放射性废物应分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等）后集中到废物库中的铅桶中暂存，在废物库内自然衰变超过 30 天后，经检测合格后作为医疗废物进行处理。

手套箱通风管道内更换下来的过滤器，在放射性废物暂存间贮存超过 30 天后，经检测合格后作为医疗废物进行处理。本项目核医学科-影像中心的放射性废物暂存间容积能够满足放射性固体废物贮存 30 天的要求。

（2）核医学科-核素病房

核医学科-核素病房产生的放射性固体废物主要有废弃的棉签、滤纸等。核医学科各治疗室均拟设置 1~2 个放射性废物桶，另外，医院在核医学科-核素病房内设有 2 个放射性废物暂存间。

从核医学科各房间收集的含放射性废物应分别标记、分开贮存（标记主要核素类

型、收集时间等)后集中到废物库中的铅桶中暂存,在废物库内自然衰变超过180天后,经检测合格后作为医疗废物进行处理。

手套箱通风管道内更换下来的废活性炭,在废物库贮存超过180天后,经检测合格后作为医疗废物进行处理。本项目核医学科-核素病房的放射性废物库容积能够满足放射性固体废物贮存180天的要求。

同时在核素病房出口处还设有污染被服暂存间,用于存放患者使用过的被服,污染被服需要在污染被服间进行暂存衰变,衰变一定时间后经检测达标方可进行清洗。

3、放射性废水影响分析

本项目核医学科2处工作场所产生的含放射性废水包括:工作人员操作过程手部受到微量污染的清洗废水,清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水,以及患者冲洗排便用水。

工作场所产生的放射性废水通过预埋好的管道排至放疗中心楼南侧室外绿化带内本次新建的2套衰变池内。根据设计院提供的设计图可知:核医学科2处工作场所产生的放射性废水先排至污泥池再通过专用管道排至放射性废水衰变池(原理图见图10-12),待放射性废水暂存至规定时间后通过管道排至医院污水处理站处理达标后排入市政管网。

(六) 结果汇总

本项目肿瘤科和核医学科的辐射工作人员和周边公众的年有效剂量汇总详见表11-35。

表 11-35 本项目辐射工作人员和周边公众年有效剂量结果汇总一览表

位置	年有效剂量 mSv/a		
	辐射工作人员	公众	
医用电子直线加速器项目	0.044	0.026	
后装治疗机项目	0.462	0.016	
核医学科-影像中心	PET 诊断项目	3.504 (技师)	0.082
	SPECT 诊断项目	0.024 (技师)	5.83×10^{-3}
	甲吸	2.58×10^{-3}	3.84×10^{-4}
核医学科-核素病房	2.18×10^{-3}	0.073	

综上所述,本项目投入运行后,辐射工作人员受到的附加有效剂量最大为3.504mSv/a,公众受到的附加有效剂量最大为0.082mSv/a,均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中规定的剂量约束值要求(辐射工作人员个人年有效剂量约束值为5mSv/a,公众年有效剂量为0.1mSv)。

三、非辐射环境影响分析

1、废水处理措施依托可行性分析

通江县人民医院已建设有 1 座污水处理站，项目产生的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 预处理标准后进行排放。外排进入市政污水管网，并最终经城市污水处理厂处理后外排。

2、一般固体废物和医疗废物

本项目在运营期工作人员及患者陪同家属会产生少量的生活垃圾。

通江县人民医院已建设有垃圾处理站，本项目产生的生活垃圾集中暂存，将由市政环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。

且本项目设置有放射废物暂存间（用于存放放射性废物），工作过程中产生的医疗废物在此暂存，所有放射性废物经衰变后检测符合排放标准后转移至医院医疗废物暂存间，本项目产生医疗废物约 2.5 天转运一次，约 2kg 每次，产生量较小，不会超过医院的医疗废物暂存间的暂存容量。医院产生的医疗废物最终将委托有资质单位进行统一收集、清运和处理。

3、废气

工作场所内其他区域设有机排风装置，排风口直接排放到室外，因室内产生的臭氧氮氧化物较少，所以废气对环境几乎没有影响。

4、噪声

运营期噪声主要来源于通排风系统的风机，工作场所使用的多联机室外机为低噪声设备，对周围环境影响较小。

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 11-36。

表 11-36 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 11-37 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）医用电子直线加速器项目

1、可能发生的辐射事故

本项目医用电子直线加速器属于II类 X 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) 医用电子直线加速器操作人员违反放射操作规程或误操作，造成意外照射；

(2) 医用电子直线加速器机房联锁装置、声光报警系统等失效，治疗过程中工作人员或公众误留或误入治疗机房内，使其受到照射；

(3) 医用电子直线加速器机房联锁装置失效，导致防护门在未完全关闭情况下出束治疗，致使射线泄漏到治疗机房外，给周围活动的人员造成不必要的照射。

2、事故工况估算

(1) 装置在运行时，人员误入或滞留机房内

①事故假设-人员误入

医务人员或病人家属还未全部撤离治疗机房，控制室工作人员启动设备，造成滞留人员的误照射。

②剂量估算

假设考虑滞留人员在无其它屏蔽的情况下处于加速器照射头外 1m 远处的主射束方向，本项目医用电子直线加速器开机治疗时，距焦点 1m 处 X 射线的最大吸收剂量率为 14Gy/min。本项目机房内设置有“紧急停止”按钮，只要按下此按钮就可以停机，则事故情况下人员在机房内距医用电子直线加速器不同距离处受到的辐射剂量见表 11-38。

表 11-38 装置在运行时，人员误入或滞留机房内所受剂量估算

与射线装置最近距离 (m)	受照时间 (s)	人员所受剂量 (mSv)
1	1	233.3
	2	466.7
	10	2333
	20	4667
	40	9333
	60	14000
	120	28000
2	1	58.3
	2	116.7
	10	583.3
	20	1166.7
	40	2333
	60	3500

	120	7000
3	1	25.9
	2	51.9
	10	259.3
	20	518.5
	40	1037
	60	1556
	120	3111

假设考虑误入人员在加速器启动后立即进入迷道中，根据影响分析章节中的结果，迷道内的剂量率约为 233.8 μ Sv/h。迷道内设置有“紧急停止”按钮，只要按下此按钮就可以停机，受照时间保守取 20s，则事故情况下人员在迷道内受到的辐射剂量约为 1.29 μ Sv，人员受到的影响较小。

3、事故工况辐射影响分析

通过上述计算，在以上假设事故情景下，误入人员在主射束方向 1m 处，受照射时间 1s，所受有效剂量为 0.23Sv/次，属于一般辐射事故，但是随着时间的推移，若果人员滞留时间较长，也会发生较大辐射事故。

综上，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。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。

(二) 后装治疗机项目

1、可能发生的辐射事故

本项目后装治疗机内放射源属于Ⅲ类放射源，当设备运行时会产生 γ 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) 由于管理不得位，发生放射源丢失、被盗事件。

(2) 装置在运行时，人员误入或滞留在治疗机房内而造成误照射：医务人员或病人家属还未全部撤离治疗机房，操作间人员启动设备，造成滞留人员的误照射；放射源卡源事故造成人员误照射。

2、事故工况估算

(1) 放射源丢失、被盗事件

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条，Ⅲ类放射源丢失、被盗、失控事件属较大辐射事故。

(2) 放射源误照射事件

①事故假设

装置在运行时，人员误入或滞留在治疗机房内而造成误照射。

②剂量估算

本项目后装治疗机内含 ^{192}Ir 放射源一枚，出厂活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ 。本项目机房内设置有“紧急回源”按钮，只要按下此按钮就可以紧急回源，则事故情况下人员在机房内后装治疗机不同距离处受到的辐射剂量见表 11-39。

表 11-39 事故工况下人员所受剂量估算

与放射源最近距离 (m)	受照时间 (s)	人员所受剂量 (mSv)
1 (人员误入或滞留)	10	0.11
	20	0.23
	30	0.34
2 (人员误入或滞留)	40	0.11
	50	0.14
	60	0.68

③事故后果

在上述事故情景假设条件下，受射线源误照人员年剂量已超过约束值，属于一般辐射事故，但是随着时间的推移，若果人员滞留时间较长，也会发生较大辐射事故。

(3) 放射源卡源事件

①事故假设

本装置配备有 UPS 电源，在停电时，依靠 UPS 完成关闭放射源操作。当控制系统出现故障到地址自动关源系统失效时，出现卡源，可通过手动机械复位，手动机械复位时间约 3min。

②剂量估算

在假设事故情况下，手动处理卡源事故时所受的照射剂量约为 22.82mSv。

③事故后果

在上述事故情景假设条件下，受射线源误照人员年剂量已超过约束值，属于一般辐射事故，但是随着时间的推移，若果人员滞留时间较长，也会发生较大辐射事故。

3、事故工况辐射影响分析

上述事故其危害结果及其所引发的放射性事故等级见表 11-40。

表 11-40 项目环境风险因子、危险因素、危害结果及事故分级表

项目装置名称	主要环境风险因子	危险因素	危害结果	事故等级
后装治疗机 (¹⁹² Ir)	γ 射线	超剂量照射	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。	较大辐射事故
			放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。	一般辐射事故

根据分析，本项目后装治疗机可能发生的事故为一般或较大辐射事故。

（三）模拟定位机项目

根据污染源分析，本项目主要环境风险因子为 X 射线，本项目可能发生的辐射事故如下：本项目模拟定位机属于Ⅲ类 X 射线装置，当设备关机时不会产生 X 射线，不存在影响辐射环境质量事故，只有当设备开机时才会产生 X 射线等危害因素。

本次评价事故工况环境影响考虑可能发生的最大可信辐射事故，即模拟定位机运行时，检修维护时工作人员误操作和人员误入造成有关人员被误照。

上述事故其危害结果及其所引发的放射性事故等级见表 11-41。

表 11-41 项目环境风险因子、危险因素、危害结果及事故分级表

项目装置名称	主要环境风险因子	危险因素	危害结果	事故等级
模拟定位机	X 射线	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，本项目模拟定位机可能发生的事故为一般辐射事故，但是随着时间的推移，若果人员滞留时间较长，也会发生较大辐射事故。

（三）核医学科项目

1、事故情形

本项目主要考虑电离辐射损伤、放射源和药物失控对环境的影响，具体为以下情形：

（1）射线装置误照射

本项目共涉及Ⅲ类医用射线装置 2 台，为低风险射线装置，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）放射性药物撒漏

由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因造成的放射

性药物撒漏，造成意外照射和辐射污染。

(3) 放射性药物遗失

由于未锁好核医学科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。

(4) 患者呕吐造成控制区内的污染

患者服药初期将放射性药物呕吐到环境中，可能对环境在一定范围内造成暂时性的辐射污染。

(5) 其他管理不善

患者用药后未经允许离开核医学科，尤其是在用药初期离开候诊区，可能对接近患者的人员造成附加的照射剂量。

放射性废水未经足够的时间衰变即进行排放，使排放超出规定的限值，可能对环境或人体造成一定的危害。

放射性固体废物：放射性固体废物未经足够的时间衰变，存放时间过短，即进行擅自处理，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

2、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 PET/CT 和 SPECT/CT 中 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，当 X 射线管额定电压 $\leq 150\text{kV}$ 时，距 X 射线管焦点 1m 处的 X 射线源组件泄漏辐射不超过 1mGy/h 。若人员误入机房内，逗留时间较长，受照剂量可能超过公众 5 个连续年的年平均剂量限值 (1mSv)，为一般辐射事故。

(2) 放射性同位素撒漏或遗失

1) 事故情况假设

①本次预测事故情况假设 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 试剂瓶发生丢失，丢失时内装放射性 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的活度为 600mCi ，假设 ^{18}F 试剂瓶发生丢失，丢失时内装放射性 ^{18}F 的活度为 800mCi ，假设 ^{131}I 试剂瓶发生丢失，丢失时内装放射性 ^{131}I 的活度为 750mCi 。

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 11-42。

表 11-42 非密封放射性物质丢失事故下不同持续时间个人有效剂量分布

类别	距源距离 (m)	事故持续时段内 γ 射线所致辐射剂量 (Sv)				
		0~10min	0~30min	0~60min	0~90min	0~120min
^{99m}Tc	0.1	0.008	0.023	0.046	0.069	0.092
^{18}F	0.1	0.045	0.136	0.272	0.408	0.545
^{131}I	0.1	0.010	0.030	0.060	0.090	0.120

3) 事故后果

由表 11-42 可以看出，选择 ^{99m}Tc 试剂瓶在事故持续时间为 10min、30min、60min、90min 和 120min 的情况下，距放射源 0.1m 处的 γ 射线外照射辐射剂量分别为 0.008Sv、0.023Sv、0.046Sv、0.069Sv、0.092Sv，携带显像剂 (^{99m}Tc) 人员 (或近距离公众) 在事故持续时间内已受到超过年剂量限值的照射；

^{18}F 试剂瓶在事故持续时间为 10min、30min、60min、90min 和 120min 的情况下，距放射源 0.1m 处的 γ 射线外照射辐射剂量分别为 0.045Sv、0.136Sv、0.272Sv、0.408Sv、0.545Sv，携带显像剂 (^{18}F) 人员 (或近距离公众) 在事故持续时间内已受到超过年剂量限值的照射；

^{131}I 试剂瓶在事故持续时间为 10min、30min、60min、90min 和 120min 的情况下，距放射源 0.1m 处的 γ 射线外照射辐射剂量分别为 0.010Sv、0.030Sv、0.060Sv、0.090Sv、0.120Sv，携带放射性核素 (^{131}I) 人员 (或近距离公众) 在事故持续时间内已受到超过年剂量限值的照射；考虑的整个事故持续周期 2h 内，急性放射病发病率均在 1% 之下，事故持续周期内可造成人员超剂量照射而导致一般辐射事故。由于计算过程未考虑 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 和 ^{131}I 的衰变，计算结果偏保守。

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 11-43。

表 11-43 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	X 射线 γ 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

在上述事故情景假设条件下，携带放射性核素人员或近距离公众在事故持续时间内已受到超过年剂量限值。考虑的整个事故持续周期 2h 内，急性放射病发病率均在 1% 之下，事故持续周期内可造成人员超剂量照射而导致一般辐射事故。由于计算过程未考虑 ^{18}F 等放射性核素衰变，计算结果偏保守。

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、制定医用电子直线加速器、后装治疗机及其他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；每月对医用电子直线加速器、后装治疗机和其他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、定期对医用电子直线加速器、后装治疗机和其他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，在射线装置及放射源运行期间，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。发生撒漏等事故后，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒

的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦拭，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，暂存于储源室内，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，限制其服药量，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的指导，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，个人剂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。

12、严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如果监测表明防护墙外辐射水平偏高，应适当增加防护墙厚度。

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、一旦发生放射源或核素药物丢失或被盗，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的有关要求，封闭场所应按规定启动本单位辐射事故应急方案，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。选择合理的去污方法，防止交叉污染。去污时佩戴有效的个人防护用品。一般核素药物为液态，若发生撒漏，可用滤纸擦拭清除，擦拭后的滤纸作为放射性固体废物。然后用温水仔细清洗。为防止污染的扩散，去污程序应先从污染轻的周围渐向污染重的部位。如经反复清洗效果不明显时，可根据放射性核素的化学性质和污染表面的性质，选用有效的去污剂进一步去污。严重污染事故时，应立即通知在场的其他人员，同时迅速标出污染范围，防止其他人员进入污染区。

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

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

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。

通江县人民医院待项目建成后需及时修订事故应急预案，将本次新建的肿瘤科、核医学工作场所项目纳入其中，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

医院已根据现有核技术应用现状，按《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，通江县人民医院于 2024 年 7 月 15 日印发了《关于调整辐射安全防护领导小组的通知》的文件（详见附件 6），由院长作为组长负责全院辐射安全与环境保护监督管理工作，保障放射工作人员、社会公众的健康与安全。医院的辐射安全与放射防护领导小组办公室设在公共卫生科，该文件明确了领导小组工作职责：

领导小组职责：

负责制定辐射事故应急预案，修订相关制度。组织辐射安全与防护培训，组织放射工作人员健康体检，负责应急事件处置、指挥、协调、调查、分析，定期对放射工作环境及防护用品进行督查，剂量超标的查找原因，提出整改措施等工作。

组长职责：

对医院贯彻执行《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》等相关法律法规的执行、落实许可、登记、监测制度等实施监督。审定和修订医院放射防护管理制度，参与医院放射防护重大问题的研究和实施方案的审定，提出处理意见。

副组长职责：

1.定期召开会议，讨论放射防护工作中存在的问题，提出持续改进意见，责任分工明确到人。

2.对放射工作的立项、放射诊疗设备的引进以及防护用品的配置进行论证，提出实施方案与计划，为医院领导决策提供科学依据。

成员职责：

医务科：负责医疗放射诊疗管理，研究选择执行法规标准的适宜技术途径和措施，保证辐射装置在医疗工作中的安全使用。

护理部：负责对从事辐射安全的护理人员按护理执行资格进行管理。

预防保健科：负责放射工作人员预防保健（剂量管理、辐射环境监测、个人健康档案、全国核技术利用系统维护）等事项。

设备科：负责制定全院放射防护工作计划、总结、协调、检查、制定各项规章制度，收集信息数据。依法依规办理相关许可登记手续，对院内新建和改建放射工作场所、购置大型放射设备，完善各种报批手续，安排专人定期对监测设备及射线装置进行性能和设备稳定性检测、校正和维护保养。

放射诊疗各科室：科室负责人为放射防护安全第一责任人，负责本科室放射诊疗工作，保证放射诊疗工作的质量和防护安全，发现隐患或事故，立即上报并积极整改。

总务科：严格按照规定协同设备科做好新建、改建、扩建项目的“三同时”检查，以及应急状态时的水、电及物资保障。

保卫科：负责放射工作场所和放射诊疗设备及物品的安全管理，维持放射事故现场秩序，对现场进行警戒、封锁。

医院建立的辐射安全领导小组文件明确了各部门的职责职能，能够覆盖医院现有的核技术利用科室。医院已开展介入科多年，本次为新建项目，本项目投入使用后，医院需新设立肿瘤科（放疗业务）和核医学科等科室。待项目建成后医院需要将新设立的科室纳入新的辐射安全与防护领导小组文件中。

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 7）可知，通江县人民医院现有辐射工作人员 61 人，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’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）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。

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	已制定需将新设立的科室纳入其中
2	辐射工作设备操作规程	需增加本次新增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
6	场所分区管理规定	需完善核医学科人流（工作人员和受检者）、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
9	监测仪表使用与校验管理制度	已制定
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
12	射线装置台账管理制度	已制定
13	辐射工作人员培训制度	已制定
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给发证机关。

通江县人民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》的重要组成内容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。

通江县人民医院已委托有资质单位对医院辐射工作人员进行了个人剂量监测，监测结果均未超过医院制定的剂量约束值。

但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。

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 辐射周围剂量当量率和 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	监测布点位置
肿瘤科	X- γ 辐射剂量率	机房四周、上方、医生进出防护门，医患通道，污物通道等
核医学科 工作场所	X- γ 辐射剂量率	注射室、甲吸室、甲癌病房、抢救室、放射性废物暂存室、候诊室、留观室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、控制室等
	放射性废水	放射性废水衰变池排放口
	X- γ 辐射剂量率	PET/CT、SPECT/CT 机房相邻的房间、过道操作位和防护门
	表面污染	注射室、抢救室、放射性废物暂存室、候诊室、留观室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、控制室、卫生间、更衣室的墙壁、地面，辐射工作人员工作服、手套、工作鞋、手、皮肤
	总 β 和 ^{131}I 活度浓度	核素病房衰变池排放口

(3) 监测范围：控制区和监督区域及周围环境

(4) 监测频次：肿瘤科及介入诊断项目约每年 1~2 次，核医学科每日结束后

(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》，2024年年度评估报告详见附件7。医院必须在“全国核技术利用辐射安全申报系统”（网址 <http://rr.mee.gov.cn/rsmsreq/login.jsp>）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，医院须完善和修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健部门报告。

(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：通江县人民医院放疗中心及高压氧舱工程建设项目（核技术利用部分）

项目性质：新建

建设单位：通江县人民医院

建设地点：四川省巴中市通江县壁州街道西华路 55 号

建设内容与规模：

通江县人民医院拟在院区内新建 1 栋放疗中心，拟在放疗中心一层建设肿瘤科和高压氧舱，在二层建设核医学科-影像中心，在三层建设核医学科-核素病房，在四层建设病案库房。

医院拟在放疗中心一层肿瘤科建设 1 座医用电子直线加速器机房、1 座后装治疗机机房及 1 座模拟定位机机房及其相关辅助用房。

（1）医用电子直线加速器项目

本次新建的医用电子直线加速器机房位于放疗中心一层南部，机房室内有效使用面积为 56.0m²（不含迷道），机房净空尺寸为长 8.0m×宽 7.0m×高 4.0m（不含迷道），机房四周墙体、迷道及屋顶均为钢筋混凝土结构，其主射方向朝向南侧、北侧、屋顶及地面；迷道位于机房西侧，为 9.7m 长“L”型迷道。

本次拟新增的医用电子直线加速器设备型号待定，带 CBCT 图像引导系统，其主要参数为：X 射线最大能量为 10MV，10MV 时 1 米处最大输出剂量率为 14Gy/min，电子线最大能量为 22MeV，电子线等中心 1 米处最大剂量率为 10Gy/min；CBCT 系统管电压≤150kV，管电流≤1500mA。单台设备年工作负荷约 550h（包括治疗出束时间 500h 和物理师质控时间 50h），新增的医用电子直线加速器具备适形调强放射治疗（IMRT）和容积旋转调强放射治疗（VMAT）功能，属**II类射线装置**。

（2）后装治疗机项目

本次新建的后装治疗机机房位于放疗中心一层东南部，机房室内面积约为 17.8m²（不含迷道），机房净空尺寸为长 4.80m×宽 3.70m×高 3.75m，其四周墙体、迷道及屋顶均为混凝土结构，迷道位于机房南侧，为 5.5m 长直迷道。

本次拟新增的后装治疗机型号待定，内含 1 枚 ^{192}Ir 放射源，额定装源活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ，属**III类放射源**，年出源时间约 275h。

(3) 模拟定位机项目

本次新建的 1 座模拟定位机机房室内有效使用面积约为 37.1m^2 ，机房净空尺寸为长 $6.63\text{m}\times$ 宽 $5.60\text{m}\times$ 高 3.85m ，新增的模拟定位机型号待定，其管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，管电流 $\leq 1500\text{mA}$ ，属**III类射线装置**。

2、核医学科

医院拟在放疗中心二层和三层分别建设**核医学科-影像中心**和**核医学科-核素病房**及其他辅助用房等，总占地面积约 840m^2 ，新建的两处工作场所均为**乙级非密封放射性物质工作场所**。

(1) 核医学科-影像中心

核医学科-影像中心位于放疗中心二层，工作场所包含卫生通过间、分装注射室、储源室、放射性废物暂存间、缓冲间、抢救室兼运动负荷室、SPECT/CT 注射后候诊室、PET/CT 注射后候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、留观室及甲测室等。同时配套建设医生办公室、控制室及留置针室等辅助用房。

核医学科-影像中心拟使用放射性同位素 ^{18}F （含备药量，年最大使用量 $9.25\times 10^{12}\text{Bq}$ 、日最大使用量 $3.70\times 10^{10}\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $1.04\times 10^7\text{Bq}$ ）、 ^{68}Ga （含备药量，年最大使用量 $9.25\times 10^{11}\text{Bq}$ 、日最大使用量 $7.40\times 10^9\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $2.07\times 10^6\text{Bq}$ ）、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （年最大使用量 $5.55\times 10^{12}\text{Bq}$ 、日最大使用量 $2.22\times 10^{10}\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $2.22\times 10^7\text{Bq}$ ）用于开展核素显像诊断项目，使用放射性同位素 ^{131}I （年最大使用量 $9.25\times 10^8\text{Bq}$ 、日最大使用量 $3.70\times 10^6\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $3.70\times 10^5\text{Bq}$ ）用于开展甲状腺吸碘率测定项目。**通江县人民医院本次新建的核医学科-影像中心总日等效最大操作量为 $3.50\times 10^7\text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。**

核医学科-影像中心 PET/CT 机房内拟新增使用 1 台 PET/CT（管电压 $\leq 140\text{kV}$ 、管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ）用于核素诊断，**属于III类射线装置**。

由于本次拟使用的 PET/CT 型号未定，其校准时拟使用校准源也尚未确定，一般常规使用的校准源为 ^{68}Ge 放射源（ $5.5\times 10^7\text{Bq/枚}\times 1$ 枚+ $3.5\times 10^6\text{Bq/枚}\times 2$ 枚），属于 V 类放射源。

核医学科-影像中心 SPECT/CT 机房内拟新增使用 1 台 SPECT/CT（管电压 \leq

140kV、管电流 $\leq 1000\text{mA}$)用于核素诊断,属于III类射线装置。

本次核医学科-影像中心将配套建设 1 套衰变池系统,该衰变池拟建于核医学楼南侧室外绿化带内,拟设计 3 个并联小池,每个小池有效容积为 15m^3 ,总容积为 45m^3 。

(2) 核医学科-核素病房

核医学科-核素病房位于放疗中心三层,工作场所包含卫生通过间、储源室、放射性废物暂存间、分装室、服药室、缓冲间、核素病房 1~5、抢救室、污染被服间及取餐间等。同时配套建设医生办公室等辅助用房。

核医学科-核素病房拟使用放射性同位素 ^{131}I (年最大使用量 $1.40\times 10^{12}\text{Bq}$ 、日最大使用量 $2.78\times 10^{10}\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $2.78\times 10^9\text{Bq}$)用于开展甲癌治疗项目。通江县人民医院本次核医学科-核素病房总日等效最大操作量为 $2.78\times 10^9\text{Bq}$,属于乙级非密封放射性物质工作场所。

本次核医学科-核素病房将配套建设 1 套衰变池系统,该衰变池拟建于核医学楼南侧室外绿化带内,拟设计 3 个并联小池,每个小池有效容积为 180m^3 ,总容积为 540m^3 。

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。本项目的运营可为通江县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

通江县人民医院放疗中心及高压氧舱工程建设项目(核技术利用部分)的目的是为了对病人进行医学诊断和治疗。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、项目选址合理性结论

通江县人民医院本次新建项目所在地的用地性质为医疗卫生用地。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 50m 评价范围除南侧和北侧部分位于医院围墙外，其余方向均位于医院院区内，50m 评价范围内无其他居民区、无学校等其他环境敏感点。

通江县人民医院放疗中心及高压氧舱工程建设项目已于 2024 年 5 月 31 日取得了通江县发展和改革局出具可行性研究报告的批复，批复文号为：通发改（2024）213 号，项目代码：2405-511921-04-01-794138。因此本项目具有放射实践的正当性，符合现行的国家产业政策。

医院选址合理性已在相关环评报告中进行了论述，拟建的辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的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在（82~87）nGy/h 之间，与四川省生态环境厅《2024 年四川省生态环境状况公报》中巴中市 γ 辐射空气吸收剂量率范围：（70~100）nGy/h 相较，本项目拟建址区域周围辐射环境监测值属于正常本底范围。

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

通江县人民医院放疗中心及高压氧舱工程建设项目（核技术利用部分）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，总体上大大节省了医疗费用，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。

为保护该项目周边其他科室工作人员和公众，对通江县人民医院放疗中心及高压氧舱工程建设项目（核技术利用部分）加强了防护，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

本项目施工工程量较大，施工时间长，但随着施工结束后影响即可消除。

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

本项目工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水以及患者冲洗排便用水。通过独立的废水管道收集来自非密封放射性物质工作场所的放射性废水，进入医院新建的废水衰变池，进行衰变处理，衰变后的废水经监测合格后排入医院废水处理站进一步处理后纳入市政污水管网。

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

本项目产生的放射性废物主要为：工作人员操作过程产生的注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料和更换下的废活性炭。医院拟将上述放射性固体废物采用专用塑料袋专门分类收集，按序封闭暂存于注射室内的放射性废物暂存间内的放射性衰变桶内（每袋废物表面剂量率不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg），让放射性物质自行衰变，经检测符合排放标准后作为普通医疗废物处理。在整个收集、储存、处理过程中，做好台账记录，台账内容应包括：标明收贮时间、种类及数量、储存时间（不少于 30 天/180 天）、废物最终处置去向等。

(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节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值低于 60dB(A)，通风机组通过橡胶垫进行减震降噪，可降噪约 10~15 dB(A)，再加上医院场址内的距离衰减，噪声对周围

环境影响较小。

(5) 大气环境影响分析

开机出束期间产生的 X、 γ 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧 (O₃) 和氮氧化物。臭氧 (O₃) 和氮氧化物经空调系统抽取后排放，由于治疗过程中每次曝光时间短，产生的臭氧量较少，且臭氧极不稳定，再经大气稀释自然扩散后，对周围大气环境影响轻微。

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或较大辐射事故。环评认为，针对本项目可能发生的辐射事故，通江县人民医院须按相关规定完善《放射事件应急预案》后能够有效控制并消除事故影响。

八、放射源、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能力

通江县人民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；拟建立较完善的辐射安全管理制度、辐射事故应急措施；在制定《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《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”（网址 <http://rr.mee.gov.cn>）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。

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

4、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，项目建成后及时完成竣工环境保护验收。