

编号：GXPX-FS-20240202

核技术利用建设项目
核医学肿瘤治疗中心核技术应用项目
环境影响报告表
(公示本)

建设单位：玉林市第一人民医院

二〇二四年二月

评价单位：广西品信工程咨询有限公司

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	15
表 3 非密封放射性物质	15
表 4 射线装置	16
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	17
表 6 评价依据	19
表 7 保护目标与评价标准	22
表 8 环境质量和辐射现状	30
表 9 项目工程分析与源项	34
表 10 辐射安全与防护	69
表 11 环境影响分析	97
表 12 辐射安全管理	119
表 13 结论与建议	123
表 14 审批	126

附件:

附件 1 委托书

附件 2 发改委项目代码备案

附件 3 辐射安全许可证

附件 4 现状监测报告

附件 5 辐射安全与防护管理制度

附件 6 辐射事故应急处置预案

附件 7 CT 机类比监测结果

附件 8 校准源类比监测报告

表 1 项目基本情况

建设项目名称		核医学肿瘤治疗中心核技术应用项目			
建设单位		玉林市第一人民医院			
法人代表	刘明	联系人	***	联系电话	***
注册地址		玉林市教育中路 495 号			
项目建设地点		玉林市教育中路 495 号医院内			
立项审批部门		玉林市发展和改革委员会	批准文号	玉发改许可[2023]198 号	
建设项目总投资(万元)		19650	项目环保投资(万元)	1488	投资比例(环保投资/总投资)
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 type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input checked="" type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" 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>1.1 医院概述</p> <p>玉林市第一人民医院创建于 1938 年，时称鬱林卫生区省立医院，1950 年改名为鬱林专区人民医院，1968 年 10 月改称玉林地区人民医院，1997 年 10 月更名为玉林市第一人民医院。在 80 多年的建设历程中，医院遵循“厚德重生，至亲至善”的院训宗旨，积极进取，锐意创新，目前已发展成为桂东南地区集医疗、急救、科研、教学、预防保健、康复于一体高水平的综合性三级甲等医院。是国家卫计委脑卒中筛查与防治基地医院、国家高级卒中中心，全国综合医院中医药工作示范单位，自治区级区域医疗中心，广西医科大学第六附属医院、第六临床医学院，广西博士后创新实践基地，广西医科大学校外研究生培养基地，广西首</p>					

家国家标准化代谢性疾病管理中心（MMC），广西首批通过国家认证的胸痛中心、房颤中心，广西航空医疗救援联盟医院，玉林市“120”急救中心，药物临床试验机构，住院医师规范化培训基地，玉林市乡村医师培训基地、执业医师技能考试基地、玉林市医学人才小高地。

医院占地 230.31 亩，建筑面积 22.80 万平方米，其中医疗用房 15.73 万平方米。开放床位 2650 张。医院在职职工 3261 人，卫生专业技术人员 3001 人，高级卫生技术人员 564 人，中级卫生技术人员 854 人，取得研究生学历 492 人，博士后 1 人，博士 45 人（含在读）；研究生导师 19 人，硕士点 12 个。

各医疗学科齐全，具有较高的综合诊疗水平和专科能力，有国家临床重点专科建设项目 1 个；广西临床重点专科 6 个；广西临床重点专科建设项目 11 个；广西临床重点专科培育项目 2 个；广西医疗卫生重点学科 4 个；广西医疗卫生重点培育学科 4 个。

心血管内科、神经内科、重症医学科、心胸血管外科、神经外科、泌尿外科、骨科、肿瘤科、介入科、急诊科等专科达到区内或区外先进水平。在急性心梗治疗、心血管介入治疗、先天性心脏病救治、卒中救治、脑血管介入治疗、超声与放射介入治疗、内分泌与代谢性疾病诊治、肿瘤介入治疗、腔镜下治疗各种疾病、非体外循环冠脉搭桥术、断肢再植、钬激光治疗泌尿道结石、双导管超声碎石清石系统治疗复杂性肾结石、三维适形调强放射治疗、肿瘤微波消融术、危急重症救治、严重创伤救治、各类中毒和蛇伤救治等方面具有显著优势与鲜明特色。医院远程医学中心向上能与北京、上海、广东等地 69 家国内知名医院合作开展远程会诊，向下可为集团成员医院、医联体成员医院及其他乡镇卫生院提供远程医疗服务。

医院配备有佳能 X 射线计算机断层摄影设备（320 排 CT）、德国西门子 X 射线计算机断层摄影设备（64 排双源光子 CT）、飞利浦 3.0T 核磁共振系统（MR）、西门子 Vida 3.0T 核磁共振系统（MR）、佳能 1.5T 核磁共振系统（MR）、瓦里安医用电子直线加速器（LA）、西门子双平板数字化医用血管造影系统（DSA）、飞利浦数字化医用血管造影系统（DSA）、美国 GE 单光子发射计算机断层扫描装置（SPECT）、骨科手术导航定位系统（天玑骨科机器人）、蔡司 VISUMAX SMILE 3.0 全飞秒等大型高精尖医疗设备。设备规模位于区内同级医院前列，为

开展临床诊疗和科教工作创造了良好的条件，提高了医院的核心竞争力。

1.2 项目建设目的、概况、规模

为满足发展的需求，推进区域医疗中心建设，进一步完善玉林市第一人民医院医疗设施条件，医院拟在玉林市教育中路 495 号医院新建核医学肿瘤治疗中心工程项目，开展核医学诊疗及放射治疗业务。该项目已获玉林市发展和改革委员会立项批复，文号为：玉发改许可[2023]198号，项目代码为：2309-450900-04-01-701909。该中心项目建设规模：拟建地下 2 层、地面 3 层大楼，总建筑面积 4307.84 平方米，其中地上 2367.75 平方米、地下 1940.09 平方米。该大楼各楼层主要建设内容具体见表 1-1。

表1-1 核医学肿瘤治疗中心大楼各楼层主要建设内容

楼层	主要功能及建设内容	具体建设的工作场所
地下一层	放射治疗及正电子标记物制备，螺旋断层放射治疗系统、X线立体定向放射治疗系统、医用回旋加速器各一套，均为 II 类射线装置。	最西侧中部为候诊大厅，以最北侧患者通道为起点，纵向由西往东依次为：女卫生间、男卫生间、设备间、护士台、X线立体定向放射治疗系统控制室、X线立体定向放射治疗系统设备间、空压机房、库房、热室后室、热室前室、外包间、质控室、缓冲间（靠外包间）、准备间、暂存间、外清室、洁净走廊、洁具间、X线立体定向放射治疗系统机房、回旋加速器机房、缓冲间（靠回旋加速器机房）、污洗间、缓冲间（靠二更室）、一更室、二更室、换鞋区、螺旋断层放射治疗系统机房、设备间、无菌检测间、缓冲间（靠无菌检测间）、缓冲间（靠阳性对照间南侧）、阳性对照间、准备间、螺旋断层放射治疗系统控制室、螺旋断层放射治疗系统服务器间、螺旋断层放射治疗系统设备间、污水提升间、控制室、医生办公室、值班室。
地面一层	主要为PET检查区，属于乙级非密封放射性物质工作场所，配备PET/CT(III类射线装置)、PET/MRI（非辐射设备）各一套。	西北角为入口大厅，医生走廊北侧由西往东依次为：登记室、阅片室、医生办公室、男更衣室、女更衣室、男卫生间、女卫生间、医护出入口通道；医生走廊南侧由西往东依次为：缓冲间、分装注射准备室、储源间、注射室、卫生通过间、淋浴间、抢救室、问诊/宣教室、PET/CT设备间、PET/CT机房、控制室、PET/MRI设备间、PET/MRI机房；患者走廊南侧由西往东依次为：保洁室、固废间、VIP注射后侯检室（CT）、注射后侯检室（CT）、VIP注射后侯检室（MRI）、注射后侯检室（MRI）、留观室、患者出口通道。
地面二层	主要为SPECT检查区，属于乙级非密封放射性物质工作场所，配备SPECT(III类射线装置)2台套。	以最北侧为起点，横向由西往东依次为：问诊/宣教室、登记室、阅片室、会议室、男更衣室、女更衣室、男卫生间、女卫生间、候诊大厅、医生走廊、缓冲间、质控室、分装/注射准备室、储源间、服药室、注射室、卫生通过间、淋浴间、运动负荷室、敷贴室、2间控制室、2间SPECT/CT机房、值班室、患者走廊、智能化机房、保洁室、固废间、抢救室、注射后侯检室1、注射后侯检室2、留观室。
地面三层	主要为核素治疗区，属于乙级非密封放射性物质	以最北侧为起点，横向由西往东依次为：护士站（宣教）、摄碘率检查室、配药室、办公室、男值班室、女值班室、男更衣室、女更衣室、男卫生间、女卫生间、患者大厅、医生走廊、

	工作场所，建有6间住院治疗病房。	更衣室、保洁室、抢救室、甲亢留观室、患者入口、储源室、服药室、分装/准备室、卫生通过间、淋浴间、固废间、电控室、备餐间、患者走廊、被服间、患者出口、6间住院治疗病房（甲癌病房）。
地下二层	放射性废水衰变池	在负二层西面地下设置2套相互独立的槽式衰变池系统（衰变池位置示意图见图1-2），具体位于负一层X线立体定向放射治疗系统机房西侧的下方（见图1-7示意），根据核素半衰期不同分为碘衰变池与氟锝衰变池。四周及下方均为土层，上方为隔层（用于检修）。衰变池入口由负一层西侧楼梯下去进入，拟在该入口设置权限紧闭门，并设置电离辐射警示标志，无关人员无法进入。

该核医学肿瘤治疗中心工程项目统一规划、统一建设，但设备购置分期实施。在负一层正电子药物制备项目实施前，一层的 PET/CT、PET/MRI 诊断场所所用标记物初期均为外购，待负一层回旋加速器制备 PET 药物场所投入运行后，PET/CT、PET/MRI 诊断场所所用放射性药物由回旋加速器制备提供。

综上所述，本次评价项目规模为：使用乙级非密封放射性工作场所 3 处、生产（制备 PET 用放射性药物）乙级非密封放射性工作场所 1 处、使用 II 类射线装置 3 台、使用 III 类射线装置 3 台、使用 V 类密封放射源 3 枚。本项目射线装置列表见表 1-2，使用非密封放射性物质情况见表 1-3，使用密封放射源情况见表 1-4。

表1-2 本项目射线装置列表

序号	设备名称	类别	型号	主要参数	使用位置
1	螺旋断层放射治疗系统	II类	待定	X 射线最大能量档 6MV；SAD=0.85m，等中心点 X 射线最大剂量率：1060cGy/min；最大射野：40cm×5cm。	核医学肿瘤治疗中心楼负一层螺旋断层放射治疗系统机房
2	X 射线立体定向放射治疗系统（Cyberknife）	II类	待定	电子直线加速器 X 射线最大能量档：6MV，在准直束中心轴上距靶 80cm 处的 X 射线最大剂量率：1000cGy/min；最大射野：15cm×15cm；自带影像定位系统含 2 套 X 射线球管（功能类似 DR），最高管电压 150kV、最大输出电流 500mA。	核医学肿瘤治疗中心楼负一层 X 线立体定向放射治疗系统机房
3	医用回旋加速器	II类	待定	加速粒子：质子；最大能量：12MeV；最大束流：单靶 100μA，双靶 75μA×2。	核医学肿瘤治疗中心楼负一层回旋加速器机房

4	PET/CT	III类	待定	最高管电压 150kV、最大输出电流 500mA。	核医学肿瘤治疗中心楼一层 PET/CT 机房
5	SPECT/CT	III类	待定	最高管电压 150kV、最大输出电流 500mA。	核医学肿瘤治疗中心楼二层 SPECT/CT 机房 1
6	SPECT/CT	III类	待定	最高管电压 150kV、最大输出电流 500mA。	核医学肿瘤治疗中心楼二层 SPECT/CT 机房 2

表1-3 本项目使用非密封放射性物质情况

核素名称	单次最大操作量 (Bq)	日最大使用次数	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	总日等效最大操作量 (Bq)	使用场所
¹⁸ F	3.7×10 ⁸	50	3.7×10 ¹⁰	3.7×10 ⁷	9.25×10 ¹²	4.81×10 ⁷	核医学肿瘤治疗中心楼一层
⁶⁸ Ga	3.7×10 ⁸	10	1.11×10 ¹⁰	1.11×10 ⁷	2.96×10 ¹²		
^{99m} Mo (^{99m} Tc)	--	--	4.8×10 ¹⁰	4.8×10 ⁷	6.0×10 ¹²	9.6×10 ⁷	核医学肿瘤治疗中心楼二层
^{99m} Tc	8.0×10 ⁸	60	4.8×10 ¹⁰	4.8×10 ⁷	1.2×10 ¹³		
¹³¹ I	3.7×10 ⁸ (甲亢)	10	3.7×10 ⁹	3.7×10 ⁸	9.25×10 ¹¹	3.72×10 ⁹	核医学肿瘤治疗中心楼三层
¹³¹ I	7.4×10 ⁹ (甲癌)	4	2.22×10 ¹⁰	2.22×10 ⁹	7.4×10 ¹²		
⁸⁹ Sr	1.85×10 ⁸	5	9.25×10 ⁸	9.25×10 ⁷	9.25×10 ¹⁰		
¹⁷⁷ Lu	7.4×10 ⁹	1	7.4×10 ⁹	7.4×10 ⁸	1.48×10 ¹²		
²²³ Ra	6.0×10 ⁶	5	3.0×10 ⁷	3.0×10 ⁸	6.0×10 ⁹		

注：1、由于核素 ¹⁸F、⁶⁸Ga 的半衰期较短，表中 ¹⁸F、⁶⁸G 每天最大用量包含了额外备药量即购买路途衰减损耗量，若该项目负一层回旋加速器及合成系统运行后，¹⁸F 量值将大幅降低；

2、每天甲癌规划治疗人数最多为 4 人，日规划使用量是按人均服用 150mCi 计算；

3、日等效最大操作量的计算方式详见下文表 10。

表 1-4 核医学 PET/CT 诊断场所放射源使用情况

核素	类别	总活度 (贝可) /活度 (贝可) ×枚数	用途
⁶⁸ Ge	V 类	9.25×10 ⁷ Bq×1 枚	PET/CT、PET/MRI 校准
⁶⁸ Ge	V 类	4.6×10 ⁷ Bq×2 枚	

表 1-5 回旋加速器制备 PET 药物基本运行参数

靶材料	核反应	目标核素	半衰期	单次轰击时间 min	最大束流 (μA)	单次产额 (Bq)	每日打靶次数	年工作天数
H ₂ ¹⁸ O	¹⁸ O(p,n) ¹⁸ F	¹⁸ F	109.8min	120	单靶 100μA, 双靶 75μA×2	8.88E+10	1	250

表 1-6 回旋加速器制备药物情况

核素名称	单次最大操作量 (Bq)	日最大使用次数	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大使用天数	年最大用量 (Bq)	活动种类
¹⁸ F	8.88E+10 (2.4Ci)	1	8.88E+10	8.88E+08	250	2.22E+13	生产、使用

1.3 任务由来

依据《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》、《建设项目环境保护管理条例》等法律法规要求，玉林市第一人民医院核医学肿瘤治疗中心核技术应用项目需开展辐射环境影响评价，办理辐射环境影响评价审批手续。该项目负一层使用的螺旋断层放射治疗系统、X 线立体定向放射治疗系统、医用回旋加速器属于 II 类射线装置，一层至三层开展核医学诊疗场所属于乙级非密封放射性物质工作场所，依据《建设项目环境影响评价分类管理名录》规定，该项目必须编制辐射环境影响报告表，办理辐射环境影响评价审批手续。为保护环境，保障公众健康，玉林市第一人民医院委托广西品信工程咨询有限公司对该项目进行辐射环境影响评价。

环评单位在现场调查和理论分析论证的基础上，按照《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的要求，编制玉林市第一人民医院核医学肿瘤治疗中心核技术应用项目环境影响报告表。

1.4 原有核技术利用项目许可情况

1.4.1 原有辐射安全许可证情况

玉林市第一人民医院取得了辐射安全许可证（证号：桂环辐证[K0278]），许可范围为：使用 III 类、V 类放射源，使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。许可证有效期至 2028 年 03 月 07 日。辐射安全许可证见附件 3。

1.4.2 原有辐射安全管理情况

医院遵守《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》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等辐射法律法规，配合各级生态环境部门监督检查，辐射防护设施运行良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实及档案管理方面运行良好。

（1）医院建立了《辐射工作岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《射线装置使用登记制度》、《辐射事故应急预案》、《自行检查和年度评估制度》、《辐射工作人员培训制度》等一系列制度，并严格按照规章制度执行。

（2）为加强对辐射安全和防护管理工作，医院成立了辐射安全与环境保护

工作领导小组，明确辐射防护责任，并加强了对射线装置的监督和管理，见附件 5。

(3) 医院定期组织辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，接受辐射防护安全知识和法律法规教育，并持证上岗。

(4) 辐射工作期间，要求辐射工作人员佩戴个人剂量计，接受职业外照射剂量监测，建立剂量健康档案并存档。医院委托广西壮族自治区疾病预防控制中心对

辐射工作人员开展个人剂量监测。

(5) 医院放射性工作场所均设置有电离辐射警示牌和工作指示灯，并根据不同项目进行分区管理。

(6) 医院制定了设备定期保养维护制度，定期自行检测设备状况，记录设备日常运行和异常情况。

(7) 近年来医院委托广西壮族自治区辐射环境监督管理站对辐射工作场所开展辐射环境监测，并对医院射线装置及放射性同位素安全和防护状况进行评估，并于每年 1 月 31 日前向生态环境主管部门提交上一年度安全评估报告。监测结果均满足相关标准要求。

综上所述，医院办理了辐射安全许可证，制定了相关规章制度并严格执行，落实了辐射环境监测计划及个人剂量监测结果，且监测结果符合相关标准要求，因此可以认为医院具备新增核医学肿瘤治疗中心核技术应用项目运行及辐射安全管理基础能力。

此外，在该项目全部实施后，旧址核医学科场所拟将实施退役，届时将按照乙级非密封放射性物质工作场所退役办理相关环保手续。

1.5 项目场址选址及周边保护目标

1.5.1 项目地理位置

医院地理位置位于玉林市教育中路 495 号，地理位置图见图 1-1，医院总平面布置图见图 1-2。

1.5.2 项目场所周边环境状况

(1) 项目所在楼周边环境状况

本项目新建的核医学肿瘤治疗中心楼位于医院中部偏西位置，2 号住院楼与 4 号住院楼之间，放疗中心楼西侧。核医学肿瘤治疗中心楼为地面 3 层、地下 2

层建筑。该楼东侧为放疗中心楼；南侧为 2 号住院楼、洗衣房、仓库、空调机房；西侧为 3 号住院楼、医院行政用房；北侧为 4 号住院楼。

(2) 项目机房周边 50m 范围环境状况

以核医学肿瘤治疗中心楼四周边界为起点 50m 范围内环境状况：东侧 0m~11m 范围内为院内通道、11m~50m 范围内为放疗中心（2F，最近距离约为 11m）；南侧 0m~16m 范围为院内通道、16m~50m 范围为 2 号住院大楼（17F，最近距离约为 16m）、洗衣房（1F，最近距离约为 17m）、空调机房（2F，最近距离约为 32m）、仓库（1F，最近距离约为 37m）、院外民房（7F，最近距离约为 41m）；西侧 0m~14m 范围内为院内通道、14m~23m 范围内为医院行政用房（1F，最近距离约为 14m）、23m~33m 范围内为 3 号住院楼（3-5F，最近距离约为 23m）、33m~50m 范围内为非机动车停车位、医院边界；北侧 0m~11m 范围内为院内通道、11m~36m 范围内主要为 4 号住院楼（3F，最近距离约为 11m）、36m~50m 范围内主要为垃圾站（1F，最近距离约为 42m）、停车位。该楼负一层主要为螺旋断层放射治疗系统机房、X 线立体定向放射治疗系统机机房、医用回旋加速器项目等相关用房，一层主要为 PET/CT、PET/MRI 项目相关用房，二层主要为 SPECT/CT 项目相关用房，三层主要为 ^{131}I 等治疗项目相关用房。

拟建核医学科现状及周边照片见图 1-3 至图 1-6，项目所在楼层及上下层平面布置示意图见图 1-7~图 1-10，周边关系及评价范围示意图见图 1-11。

1.5.3 项目选址合理性

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）第 5.1 关于“选址”规定：“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。”、“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。”、“5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。”。《放射治疗辐射安全与防护要求》

（HJ 1198-2021）中第 5.1 的关于放射治疗项目（本项目中的旋断层放射治疗系统、X 线立体定向放射治疗系统）选址要求：“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。”；“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。”。

该项目核医学肿瘤治疗中心楼为新建的独立、专用楼栋，选址不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，同时设置有相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。因此，项目选址能满足 HJ 1188-2021 第 5.1 及 HJ 1198-2021 中第 5.1 的要求。

1.5.4 环境保护目标

本项目评价范围为核医学肿瘤治疗中心楼边界周围 50m 范围区域，评价范围内主要环境保护目标为项目辐射工作人员、评价范围内医院其他工作人员、南侧院外居民房常驻人员、就诊患者及陪护家属、其他公众成员。

1.6 产业政策符合性

项目属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年 12 月 27 日国家发展改革委令第 7 号公布）中第一类 鼓励类第六项核能的第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目，符合国家产业政策。



图 1-1 玉林市第一人民医院地理位置图

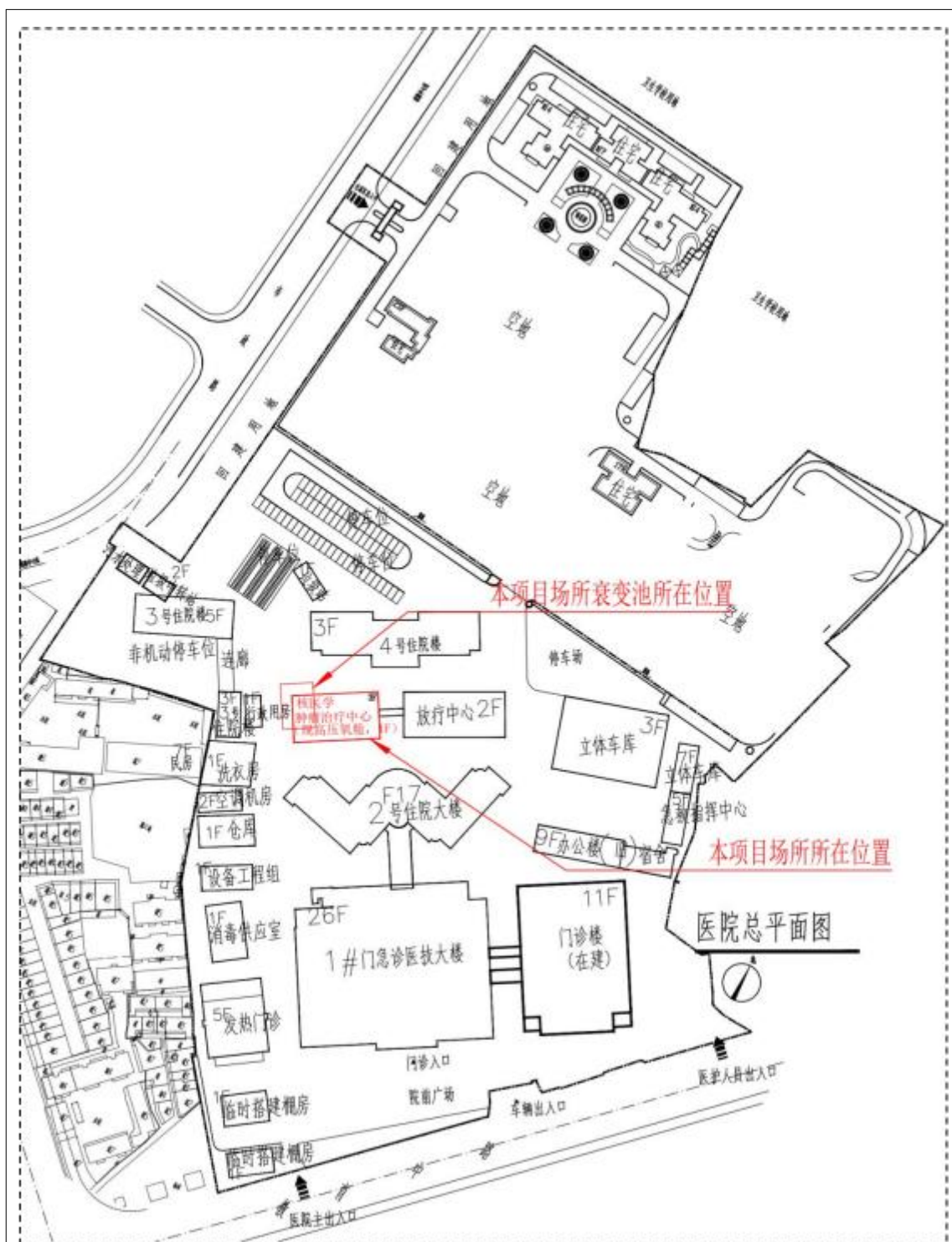


图 1-2 医院总平面布置图



图 1-3 项目拟建场址现状



图 1-3 项目拟建场址东侧环境现状



图 1-4 项目拟建场址南侧环境现状



图 1-5 项目拟建场址西侧环境现状



图 1-6 项目拟建场址北侧环境现状

略

图 1-7 核医学肿瘤治疗中心楼负一层平面布置示意图

略

图 1-8 核医学肿瘤治疗中心楼一层平面布置示意图

略

图 1-9 核医学肿瘤治疗中心楼二层平面布置示意图

略

图 1-10 核医学肿瘤治疗中心楼三层平面布置示意图

略

图 1-11 周边关系及评价范围示意图

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点
1	⁶⁸ Ge	4.6×10 ⁷ Bq×2 枚	V类	使用	PET 设备校准	核医学肿瘤治疗中心楼一层 PET/CT 机房、PET/MRI 机房	暂存于肿瘤治疗中心楼一层储源间保险柜
2	⁶⁸ Ge	9.25×10 ⁷ Bq×1 枚	V类	使用	PET 设备校准		

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	总日等效操作量 (Bq)	使用场所	场所分级	贮存方式与地点
1	¹⁸ F	液态、低毒	使用	3.7×10 ¹⁰	3.7×10 ⁷	9.25×10 ¹²	PET 检查用标记物	很简单	4.81×10 ⁷	核医学肿瘤治疗中心楼一层	乙级	按需购买，密封暂存于核医学肿瘤治疗中心楼一层分装室分装柜内
2	⁶⁸ Ga	液态、低毒	使用	1.11×10 ¹⁰	1.11×10 ⁷	2.96×10 ¹²		很简单				
3	^{99m} Mo (^{99m} Tc)	液态、中毒	使用	4.8×10 ¹⁰	4.8×10 ⁷	6.0×10 ¹²	淋洗 ^{99m} Tc	贮存	9.6×10 ⁷	核医学肿瘤治疗中心楼二层	乙级	按需购买，密封暂存于核医学肿瘤治疗中心楼二层分装室分装柜内
4	^{99m} Tc	液态、低毒	使用	4.8×10 ¹⁰	4.8×10 ⁷	1.2×10 ¹³	SPECT 检查用标记物	很简单				
5	¹³¹ I	液态、中毒	使用	3.7×10 ⁹	3.7×10 ⁸	9.25×10 ¹¹	甲测、甲亢治疗	简单	3.72×10 ⁹	核医学肿瘤治疗中心楼三层	乙级	按需购买，密封暂存于核医学肿瘤治疗中心楼三层分装室分装柜内
6	¹³¹ I	液态、中毒	使用	2.22×10 ¹⁰	2.22×10 ⁹	7.4×10 ¹²	甲癌治疗	简单				
7	⁸⁹ Sr	液态、中毒	使用	9.25×10 ⁸	9.25×10 ⁷	9.25×10 ¹⁰	放射治疗	简单				
8	¹⁷⁷ Lu	液态、中毒	使用	7.4×10 ⁹	7.4×10 ⁸	1.48×10 ¹²	放射治疗	简单				
9	²²³ Ra	液态、极毒	使用	3.0×10 ⁷	3.0×10 ⁸	6.0×10 ⁹	放射治疗	简单				
10	¹⁸ F	液态、低毒	生产	8.88×10 ¹⁰	8.88×10 ⁸	2.2×10 ¹³	正电子药物制备	简单	8.88×10 ⁸	核医学肿瘤治疗中心楼负一层药物制备区	乙级	贮存在核医学肿瘤治疗中心楼负一层正电子药物制备区热室的铅罐内

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），操作方式依照《关于明确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）确定。

表 4 射线装置

（一）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	螺旋断层放射治疗系统	II类	1	待定	电子	X线能量档: 6MV	SAD=0.85m, 等中心点 X射线最大剂量率: 1060cGy/min	放射治疗	核医学肿瘤治疗中心楼负一层螺旋断层放射治疗系统机房	/
2	X射线立体定位放射治疗系统 (Cyberknife)	II类	1	待定	电子	X线能量档: 6MV	在准直束中心轴上距靶 80cm 处的 X射线最大剂量率: 1000cGy/min; 自带影像定位系统含 2套 X射线球管: 最高管电压 150kV、最大输出电流 500mA	放射治疗	核医学肿瘤治疗中心楼负一层 X射线立体定向放射治疗系统机房	/
3	医用回旋加速器	II类	1	待定	质子	12MeV	最大束流: 单靶 100μA, 双靶 75μA×2	制备放射性核素	核医学肿瘤治疗中心楼负一层回旋加速器机房	/

（二）X射线机

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类	1台	待定	150	500	放射诊断	核医学肿瘤治疗中心楼一层 PET/CT 机房	/
2	SPECT/CT	III类	1台	待定	150	500	放射诊断	核医学肿瘤治疗中心楼二层 SPECT/CT 机房 1	/

3	SPECT/CT	III类	1台	待定	150	500	放射诊断	核医学肿瘤治疗中心楼二层 SPECT/CT 机房 2	/
---	----------	------	----	----	-----	-----	------	-------------------------------	---

表 s 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
粘有放射性药品的一次性物品、排风系统活性炭等	固体	¹⁸ F、 ^{99m} Tc、 ¹³¹ I、 ⁸⁹ Sr、 ⁶⁸ Ga、 ¹⁷⁷ Lu、 ²²³ Ra	/	135.8kg	1629.5kg	/	集中收集于废物防护储物箱后按日期存于放射性固体废物室（固废间）内衰变。	放射性固体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/cm ² 、β表面污染小于 0.8Bq/cm ² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：a) 含 ^{99m} Tc、 ¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga 核素的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；b) 含 ⁸⁹ Sr 核素的放射性固体废物暂存时间超过 506 天；c) 含 ¹³¹ I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天；d) 含 ¹⁷⁷ Lu 核素的放射性固体废物暂存时间超过 68 天；e) 含 ²²³ Ra 核素的放射性固体废物暂存时间超过 114 天。
退役密封源	固体	⁶⁸ Ge	/	/	/	/	暂存于一层固废间	由放射源生产厂家回收处置。
废钼铈发生器	固体	⁹⁹ Mo（ ^{99m} Tc）	/	/	/	/	暂存于二层固废间	由生产厂家定期回收。
放射性废水	液态	¹⁸ F、 ^{99m} Tc、 ¹³¹ I、 ⁶⁸ Ga、 ¹⁷⁷ Lu	/	/	1055m ³	/	废水衰变池。	符合 HJ 1188-2021 的排放要求后，排入医院废水处理系统。
回旋加速器废靶部件、剥离膜、靶膜等活化废部件	固体	²⁸ Al、 ²⁷ Mg、 ⁵⁶ Mn、 ⁶⁰ Co 等	/	/	0.5kg	/	暂存于回旋加速器机房铅屏蔽容器内	定期送交有资质的放射性固体废物处置单位处置。

核医学诊疗区 放射性废气	气态	¹⁸ F、 ^{99m} Tc、 ¹³¹ I、 ⁶⁸ Ga、 ¹⁷⁷ Lu	/	微量	微量	/	/	高活区工作场所及分装柜等均设有废气收集排放系统，通过管道抽到楼顶，出风口高出建筑屋顶，通风柜风速设计不低于 0.5m/s，并设有活性炭过滤装置，最终排向大气。
加速器放疗机 房、回旋加速器 机房内臭氧、氮 氧化物	气态	/	/	极少量	极少量	/	/	通过强制排风系统抽到所在楼顶排放，弥散在大气环境中分解。

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

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，于 2014 年 4 月 24 日修订公布，自 2015 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修订版），2018 年 12 月 29 日起实施；</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) 《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修订版），2017 年 07 月 16 日发布实施；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修订），2019 年 03 月 02 日发布实施；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，中华人民共和国环境保护部令第 18 号，于 2011 年 4 月 18 日公布，自 2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（经《关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定》（生态环境部令第 20 号）修改，2021 年 1 月 4 日起实施）；</p> <p>(8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），自 2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(9) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4 号），2017 年 11 月 20 日；</p> <p>(10) 关于发布《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》的公告（生态环境部公告 2018 年 第 9 号），2018 年 5 月 15 日；</p> <p>(11) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年 12 月 27 日国家发展改革委令第 7 号公布），2024 年 2 月 1 日起施行；</p> <p>(12) 《关于射线装置分类办法的公告》（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；</p> <p>(13) 《广西壮族自治区环境保护条例》（2019 年修订版），2019 年 7 月 25 日公布，自 2019 年 7 月 25 日起施行；</p> <p>(14) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（国家核安全局，辐射函〔2023〕20 号，2023 年 9 月 11 日）；</p> <p>(15) 《关于发布放射源分类办法的公告》（原国家环境保护总局公告</p>
-------------	---

	<p>2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日）；</p> <p>（16）《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，2016 年 3 月 7 日）；</p> <p>（17）《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>（18）《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 2021 年第 9 号），自 2021 年 3 月 15 日起施行。</p>
<p>技术 标准</p>	<p>（1）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016），环境保护部；</p> <p>（2）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>（3）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>（4）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>（5）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）；</p> <p>（6）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）；</p> <p>（7）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）；</p> <p>（8）《职业性外照射个人剂量监测规范》（GBZ 128-2019）；</p> <p>（9）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；</p> <p>（10）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）；</p> <p>（11）《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）；</p> <p>（12）《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）；</p> <p>（13）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）；</p> <p>（14）《辐射防护手册（第一分册）、（第三分册）》，原子能出版社，李德平、潘自强等编著；</p> <p>（15）《辐射防护基础》，李星洪等编著；</p> <p>（16）《10MeV~20MeV 范围内固定能量强流质子回旋加速器》（GB/T 34127-2017）。</p>

<p>其他</p>	<p>(1) 委托书等相关资料； (2) 《中国环境天然放射性水平》（国家环境保护总局 1995 年）。</p>
-----------	--

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据本项目的特点，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）的相关规定，确定以核医学肿瘤治疗中心楼边界为起点，50m 范围内区域为评价范围，评价范围示意图见图 1-11。

7.2 保护目标

评价范围内主要环境保护目标为项目辐射工作人员、评价范围内医院其他工作人员、院外居民房常驻人员、就诊患者及陪护家属、其他公众成员。保护目标受到的辐射照射年剂量应低于各自的辐射照射管理约束值。

本项目环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 环境保护目标一览表

人员类型	保护对象	相对位置	与核医学病房楼距离 (m)	人员数量	年剂量管理约束值
职业人员	核医学肿瘤治疗中心楼辐射工作人员	内部	--	26 人	5mSv/a
公众成员	放疗中心工作人员	东侧	约 11m	15 人	0.1mSv/a
	2 号住院大楼工作人员	南侧	约 16m	约 200 人	
	洗衣房工作人员	南侧	约 17m	约 10 人	
	空调机房工作人员	南侧	约 32m	2 人	
	仓库工作人员	南侧	约 37m	2 人	
	院外民房常驻人员	南侧	约 41m	约 20 人	
	行政用房工作人员	西侧	约 14m	约 15 人	
	3 号住院楼工作人员	西侧	约 23m	约 100 人	
	4 号住院楼工作人员	北侧	约 11m	约 80 人	
	垃圾站工作人员	北侧	约 42m	2 人	
	评价范围内逗留或者经过的公众成员	核医学病房楼周围	50m 内	流动人群	

7.3 评价标准

1、年有效剂量限值及年剂量管理约束值要求

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 4.3.2.1 款关于剂量限制的规定：应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录 B）中规定的相应剂量限值，不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

该标准第 B1.1.1.1 款，应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv。

该标准中第 B1.2 款关于公众照射剂量限值的规定，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下述限值：年有效剂量，1mSv。

结合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“4.4.2 剂量约束值”的要求以及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中第 4.9 款的要求，**本次评价项目年剂量管理约束值要求为：职业照射不超过 5mSv/a，公众照射不超过 0.1mSv/a。**

2、辐射工作场所的分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对非密封源工作场所的分级规定：非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录）的规定进行。标准第 C1 款，应将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级，具体见表 7-2。

表 7-2 非密封源工作场所的分级

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

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中第 6.2.1 款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应

无接缝，易于清洗、去污。

3、工作场所辐射剂量率控制水平

(1) 核医学诊疗项目

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求：

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

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 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

(2) 放射治疗项目

按照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的要求：

第 6.1.4 款 剂量控制应符合以下要求：

a) 治疗室墙和入口门外表面 30cm 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 30cm 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** 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(H_c)求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}(\mu\text{Sv/h})$ ：

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： $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

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 $H_{c,max}(\mu\text{Sv/h})$ ：

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

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

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 $250 \mu\text{Sv}$ 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 30cm 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)。

项目建成后, 螺旋断层放射治疗系统全年治疗周数按 50 周, 每周治疗 5 天, 每天治疗 50 人次, 每人每次出束治疗时长平均为 3 分钟, 则每周治疗时长 (工作负荷) 为 12.5h , 全年出束治疗总时长为 625h ; X 线立体定向放射治疗系统全年治疗周数按 50 周, 每周治疗 5 天, 每天治疗 30 人次, 每人每次出束治疗时长平均为 30 分钟, 则每周治疗时长 (工作负荷) 为 75h , 全年出束治疗总时长均为 3750h 。使用因子保守均取 1。综上, 本加速器应用项目机房周围关注点剂量率参考控制水平 H_c 具体见表 7-3。

表 7-3 螺旋断层放射治疗系统、X 线立体定向放射治疗系统机房周围关注点剂量率参考控制水平 H_c 。

关注点	对应区域居留因子取值	束向因子	控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	周工作负荷得出参考控制水平 H_c	不同居留因子的最高周围剂量当量率参考控制水平 $H_{c,max}$	经比较后最终剂量率参考控制水平 H_c
螺旋断层放射治疗系统机房东墙外 30cm (控制室内)	1	1	100	$8 \mu\text{Sv/h}$	$\leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$	$2.5 \mu\text{Sv/h}$
螺旋断层放射治疗系统机房东墙外 30cm (卫生间内)	1/16	1	5	$6.4 \mu\text{Sv/h}$	$\leq 10 \mu\text{Sv/h}$	$6.4 \mu\text{Sv/h}$
螺旋断层放射治疗系统机房南墙外 30cm (回旋控制室)	1	1	5	$0.4 \mu\text{Sv/h}$	$\leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$	$0.4 \mu\text{Sv/h}$
螺旋断层放射治疗系统机房南墙外 30cm (回旋设备间)	1/16	1	5	$6.4 \mu\text{Sv/h}$	$\leq 10 \mu\text{Sv/h}$	$6.4 \mu\text{Sv/h}$
螺旋断层放射治疗系统机房防护门外 30cm	1/8	1	5	$3.2 \mu\text{Sv/h}$	$\leq 10 \mu\text{Sv/h}$	$3.2 \mu\text{Sv/h}$
螺旋断层放射治疗系统机房北侧墙外 30cm	1/5	1	5	$2.0 \mu\text{Sv/h}$	$\leq 10 \mu\text{Sv/h}$	$2.0 \mu\text{Sv/h}$

螺旋断层放射治疗系统机房上方办公室	1	1	5	0.4 μ Sv/h	$\leq 2.5\mu$ Sv/h	0.4μSv/h
X 线立体定向放射治疗系统机房西墙外 30cm (控制室内)	1	1	100	1.3 μ Sv/h	$\leq 2.5\mu$ Sv/h	1.3μSv/h
X 线立体定向放射治疗系统机房东墙外 30cm (设备间内)	1/16	1	5	1.1 μ Sv/h	$\leq 10\mu$ Sv/h	1.1μSv/h
X 线立体定向放射治疗系统机房南墙外 30cm (回旋机房内)	1/16	1	5	1.1 μ Sv/h	$\leq 10\mu$ Sv/h	1.1μSv/h
X 线立体定向放射治疗系统机房防护门外 30cm	1/8	1	5	0.53 μ Sv/h	$\leq 10\mu$ Sv/h	0.53μSv/h
X 线立体定向放射治疗系统机房北侧墙外 30cm	1/5	1	5	0.38 μ Sv/h	$\leq 10\mu$ Sv/h	0.38μSv/h
X 线立体定向放射治疗系统机房上方阅片室/登记室	1	1	5	0.07 μ Sv/h	$\leq 2.5\mu$ Sv/h	0.07μSv/h

注：回旋加速器的机房、控制室、设备间等关注点保守按非辐射工作人员岗位考虑。

4、非密封放射性物质工作表面沾污控制

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)第 6.2.3 款：工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B (标准的附录 B) B2 所规定的限制要求。根据其第 B2.1 款对工作场所的表面污染控制水平的相关规定，确定本评价项目核医学科正常运行时，辐射工作场所的放射性表面污染控制水平如表 7-4 所列。

表 7-4 工作场所的放射性表面污染控制水平 单位：Bq/cm²

表 面 类 型	β 放射性物质	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4 $\times 10$
	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 $\times 10^{-1}$
¹⁾ 该区内的高污染子区除外。		

再根据 B2.2 工作场所的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 7-4 中所列设备类的控制水平的五分之一以下时即 0.08Bq/cm² 经主管部门确认同意

后，可当作普通物品使用。

5、放射性三废的要求

(1) 放射性固体废物管理要求

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求：

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 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 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：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。

7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 $0.1\text{mSv}/\text{h}$ ，表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、其他 α 发射体应小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

(2) 放射性废液管理要求

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 8.6.2 款规定：不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

a) 每月排放的总活度不超过 $10\text{ALI}_{\text{min}}$ (ALI_{min} 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者，其具体数值可按 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定获得)；

b) 每一次排放的活度不超过 1ALI_{min} ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求：

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式

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

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871

中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/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。

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

《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（国家核安全局，辐射函〔2023〕20 号，2023 年 9 月 11 日）的要求：

关于槽式衰变池中含碘-131 放射性废水排放。含碘-131 放射性废水可按照下列任意一种方式进行排放：

(一)根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》第 8.6.2 条规定，经监管部门确认单次排入普通下水道的废水中碘-131 活度不超过 1ALlmin(9E+5 贝可)，每月排放的废水中碘-131 总活度不超过 10ALlmin(9E+6 贝可)。

(二)暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放。

(三)暂存不满 180 天但监测结果表明碘-131 活度浓度已降至不高于 10 贝可/升水平，也可直接排放医院应做好相关排放记录。

综上所述，本项目放射性废水分两部分，槽式衰变池中含碘-131 放射性废水执行“暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放”，槽式衰变池中含钨-99m、氟-18 等放射性废水执行“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”。

(3) 气态放射性废物的管理

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求：

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

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

按照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的要求：

第 8.4.1 款 放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

6、CT 机房放射防护要求

依据 GBZ 130-2020 第 6.1.5 款，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、改建和扩建项目和技术改造、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 7-5 要求。

表 7-5 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

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

6.2 X 射线设备机房屏蔽：

6.2.1 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护应不低于表 7-6 要求。

表 7-6 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 mm	非有用线束方向铅当量 mm
CT 机房（不含头颅移动 CT）	2.5	

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表 7-6 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：

CT 机机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

医院地理位置位于玉林市教育中路 495 号，本项目新建的核医学肿瘤治疗中心楼位于医院中部偏西位置，地理位置图见图 1-1，医院总平面布置图见图 1-2，拟建项目场址现状及周边照片见图 1-3 至图 1-6，项目所在楼层及上下层平面布置示意图见图 1-7~图 1-10。

8.2 环境现状评价的对象

环境现状评价的对象为医院核医学肿瘤治疗中心楼项目场址周围辐射环境现状。

8.3 环境现状辐射监测

玉林市第一人民医院核医学肿瘤治疗中心楼新建建设项目场址辐射环境质量现状水平采用现场监测的方法进行调查。

(1) 监测的目的

掌握该医院核医学肿瘤治疗中心楼新建建设项目场址的辐射环境质量现状水平，为分析及预测项目运行时对职业人员、公众人员及周围环境的影响提供基础数据。

(2) 监测点位布设

参考《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）和《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）要求，结合项目场址以及四周建筑功能情况，现状监测共布点 23 个。现状监测布点图见图 8-1。

(3) 监测频次

监测一次。

(4) 监测内容

根据污染因子分析，监测内容为： γ 辐射空气吸收剂量率；评价单位委托广西壮族自治区三一〇核地质大队于 2024 年 1 月 9 日开展监测，监测报告见附件 4。

(5) 监测仪器与监测规范

监测仪器的参数与监测所依据的规范见表 8-1。

表 8-1 γ 辐射空气吸收剂量率监测项目、监测仪器及监测方法

仪器名称	X- γ 辐射剂量率仪
仪器型号	FH40G+FHZ672E-10
出厂编号	41676+11624
生产厂家	Thermo 公司

能量响应	40keV~4.4MeV
量程	1nSv/h~100μSv/h
检定证书	证书编号：hnjlxz2022036-243（检定单位：湖南省电离辐射计量站，有效期：2023年04月13日~2024年04月12日）。
相对固有误差	-12.1%（使用 ¹³⁷ Cs辐射源）
监测依据	（1）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021） （2）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）

（6）质量保证措施

①结合现场实际情况及监测点的可到达性，在项目拟建场址内和评价范围内工作人员活动区域、人流量相对较大的区域布设监测点位，充分考虑监测点位的代表性和可重复性，以保证监测结果的科学性和可比性。

②参考《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）采用即时测量方法进行测量。

③监测仪器每年经有资质的计量部门检定、校准，检定合格后方可使用。

④每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

⑤监测实行全过程的质量控制，严格按照监测单位《质量手册》、《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行，监测人员经考核合格并持有合格证书上岗。

⑥监测报告严格实行三级审核制度，经校核、审核，最后由授权签字人批准。

（7）监测结果

项目场所及周围环境辐射监测结果见表 8-2。

表 8-2 新建项目场所周围环境γ辐射空气吸收剂量率现状监测结果

测点编号	测点位置	γ辐射空气吸收剂量率 (nGy/h)		备注
		平均值	标准差	
1	拟建场址 1#	55.7	1.21	室外
2	拟建场址 2#	49.8	0.87	室外
3	拟建场址 3#	54.8	0.57	室外
4	拟建场址 4#	53.6	1.06	室外
5	拟建场址 5#	65.3	1.10	室外
6	高压氧室内 1#	75.3	0.84	室内，监测时 尚在运行，后 期将拆除。
7	高压氧室内 2#	71.6	0.84	
8	高压氧室内 3#	133	1.64	
9	高压氧室内 4#	137	4.40	
10	拟建场址 6#	106	2.75	室外

11	拟建场址 7#	105	1.15	室外
12	拟建场址 8#	94.6	2.08	室外
13	拟建场址 9#	92.0	2.35	室外
14	拟建场址 10#	72.8	2.35	室外
15	放疗中心一楼内	140	1.85	室内
16	拟建场址东北侧 50m 处道路	65.1	0.92	室外
17	4 号住院楼一楼内	97.6	1.35	室内
18	拟建场址西北侧 50m 处停车场	53.8	0.92	室外
19	3 号住院楼一楼内	101	2.16	室内
20	设备科维修室	93.9	1.34	室内
21	拟建场址南侧 50m 处道路	54.5	2.05	室外
22	2#住院大楼 1 层综合服务大厅	113	1.78	室内
23	2#住院大楼 1 层放射科 污物间外走廊	101	2.26	室内
室内测值范围		71.6~140	/	/
室外测值范围		49.8~106	/	/

注：1、监测结果已扣除宇宙射线响应值；

2、参照 HJ 1157-2021， γ 辐射空气吸收剂量率与周围剂量当量率换算系数取 1.2 Sv/Gy。

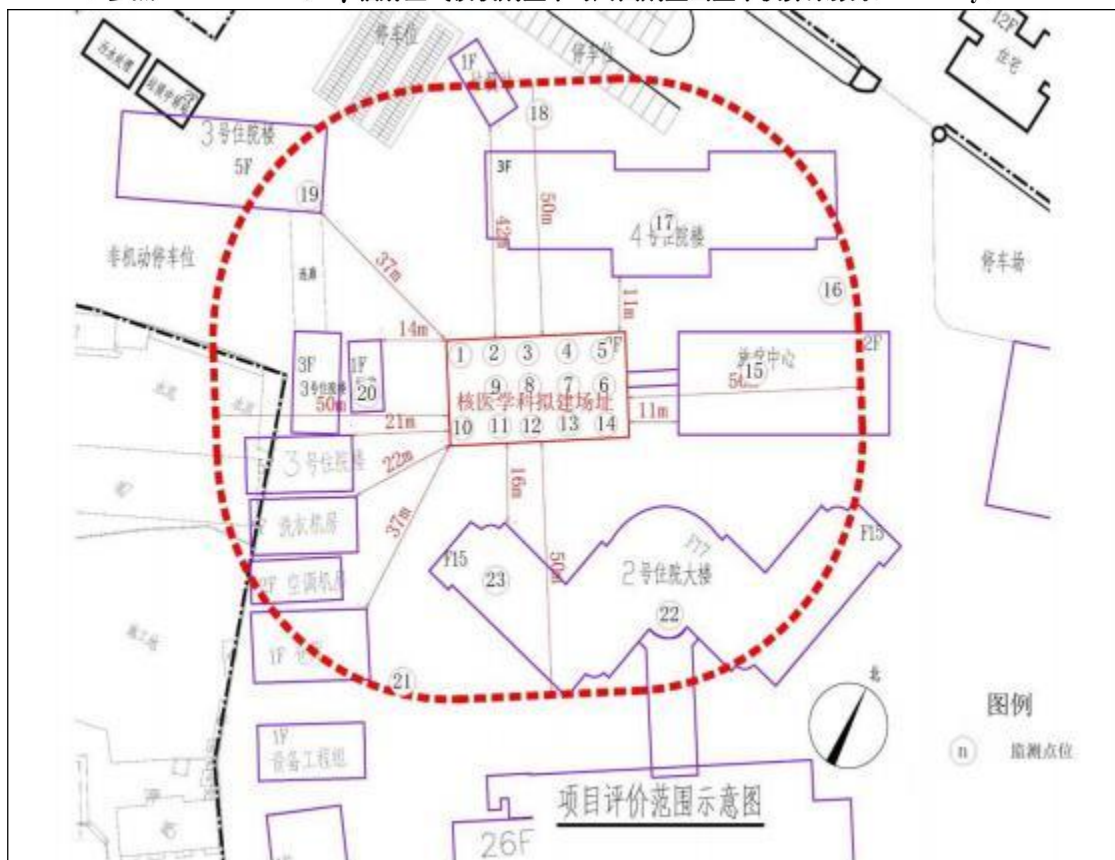


图 8-1 监测布点图

8.4 辐射环境质量现状评价

由表8-2的监测结果可知，本项目场所及周围区域环境室内测点 γ 辐射剂量率在71.6~140nGy/h范围内（已扣除宇宙射线响应值）；室外测点 γ 辐射剂量率背景水平在49.8~106nGy/h之间（已扣除宇宙射线响应值）；根据《中国环境天然放射性水平》可知，广西原野 γ 辐射空气吸收剂量率在10.7~238.7nGy/h范围（已扣除宇宙射线响应值），室内 γ 辐射剂量率范围在11.0~304.3nGy/h内（已扣除宇宙射线响应值）。由以上数据比对可知，本项目建设场址各监测点位 γ 辐射剂量率在其相应范围内；由此可见，本项目拟建场所辐射环境质量状况未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

项目具体计划使用 2 台 SPECT/CT（属于 III 类射线装置），利用钼铯发生器淋洗的 ^{99m}Tc 或直接购置的 ^{99m}Tc 开展影像检查；配备 1 台 PET/CT（属于 III 类射线装置）、1 台 PET/MRI，使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 等正电子标记物开展影像检查；配备 1 台医用回旋加速器及合成系统制备正电子标记物；使用 ^{131}I 治疗甲亢、甲癌；使用 ^{89}Sr 、 ^{177}Lu 开展肿瘤治疗。本次评价项目规模为：使用乙级非密封放射性工作场所 3 处、生产（制备 PET 用放射性药物）乙级非密封放射性工作场所 1 处、使用 II 类射线装置 3 台、使用 III 类射线装置 3 台、使用 V 类密封放射源 3 枚。

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 SPECT/CT 显像诊断项目

1、设备组成与工作原理

SPECT 即单光子发射型计算机断层显像（Single photon emission computed tomography，简称 SPECT）。SPECT/CT 设备主要由三部分组成，即探头、旋转运动机架、计算机及其辅助设备。探头部分主要由准直器、晶体、光导、光电倍增管、模拟定位计算电路组成。SPECT/CT 自身带有一个 CT 球管，在 SPECT 核素扫描的基础上，可以同时获得 CT 解剖图像，从而更有利于对疾病作出全面、准确的判断。

基本原理是：受检者注射单光子放射性药物后，单光子核素在特定的器官或组织发射出特定能量的光子(γ 射线)，穿过组织器官后到达 SPECT 探测器。SPECT 使用低能准直器对 γ 射线进行准直，通过闪烁体将 γ 射线能力转换为光信号，再通过光电倍增管将光信号转化为电信号并进行放大，得到的测量值代表在该投影线上的放射性大小，再利用计算机从投影求解断层图形。其主要的功能特点是：除了显示脏器形态结构外，更重要的是可观察到脏器血流灌注、功能和代谢的变化。临床主要应用于骨骼显像、心脏灌注断层显像、甲状腺显像、肾动态显像等。

本项目的 SPECT 显像主要使用单光子核素 ^{99m}Tc 标记物， ^{99m}Tc 为纯 γ 光子发射体，方便易得，几乎可用于人体各重要脏器的形态和功能显像，是显像检查中最常用的放射性核素。目前全世界应用的显像药物中， ^{99m}Tc 及其标记的化合物占 80%以上，广泛用于心、脑、肾、骨、肺等多种脏器疾患的显像检查。

2、工作流程及产污环节

本项目使用钼铯发生器淋洗得到放射性核素 ^{99m}Tc 或者直接购买 ^{99m}Tc 标记物进

行 SPECT/CT 显像检查， ^{99m}Tc 的淋洗、标定、分装及注射由核医学科专职医护人员负责。工作人员在锝分装室锝分装柜内从 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器中淋洗出 ^{99m}Tc ，标记、分装，或者直接从购买的 ^{99m}Tc 标记物药品中分装，分装进注射器后置于注射器屏蔽器后转移至注射台，根据检查内容的不同给等待进行 SPECT/CT 诊断的人员注射相应活度的 ^{99m}Tc 标记物。 ^{99m}Tc 标记物分装后抽入一次性注射器，转移至注射台过程中套有钨合金注射防护套屏蔽，在一体式全屏蔽铅注射防护窗屏蔽下，为 SPECT/CT 待检人员注射。注射完毕后的一次性注射器，放入专用放射性废物铅桶内。患者在注射完放射性药物后前往注射后候诊室内根据不同检查项目候诊相应时间，候诊完成后进入 SPECT 扫描室接受扫描，扫描时间约 30 分钟，扫描结束短暂留观后，从病人出口处离开核医学科工作场所。本项目 ^{99m}Tc 显像每日每台 SPECT/C 最多接诊 30 名患者，年规划诊断 15000 名，每名患者 ^{99m}Tc 最大注射量为 800MBq，均在二楼锝注射室注射。SPECT/CT 项目工作流程及产污环节示意图见图 9-1。

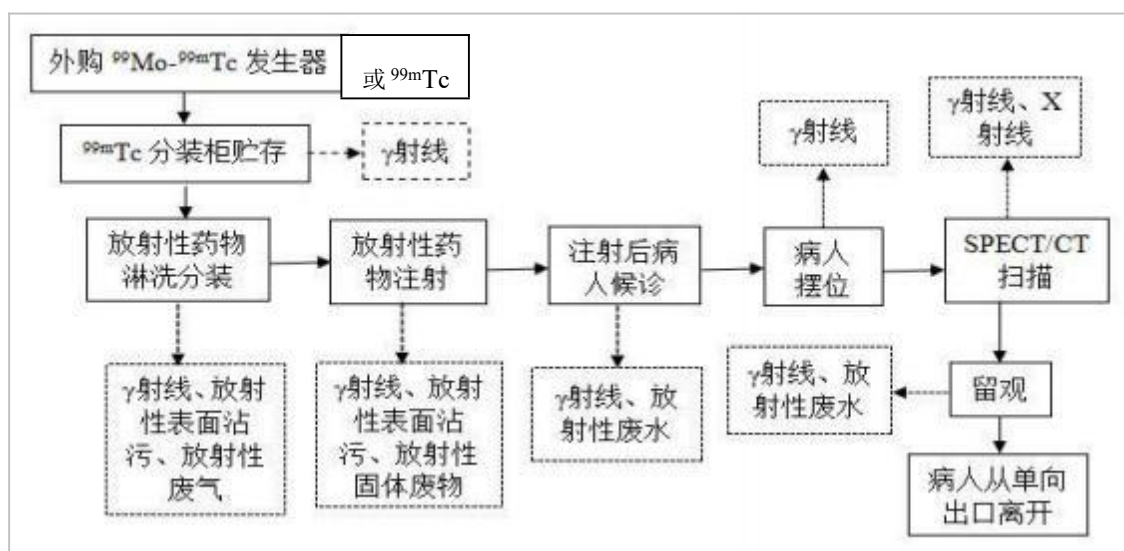


图 9-1 SPECT/CT 检查工作流程及产污环节示意图

9.1.2 PET/CT 检查项目

1、设备组成及工作原理

PET 是 Positron Emission Computed Tomography（正电子断层显像）的缩写，是目前最先进的放射性核素显像技术。PET 的基本结构由探头（晶体、光电倍增管、高压电源）、电子学线路、数据处理系统、扫描机架及同步检查床组成。PET 工作的目的是显示正电子核素标记的示踪剂在体内的分布。通过化学方法，将发射正电子的核素与生物学相关的特定分子连接而成的正电子放射性药物注入体内后，正电子放射性

药物参加人体相应的生物活动，同时发出正电子射线，湮灭后形成能量相同（511keV）、方向相反的两个 γ 光子。在 PET 的探测器接收光子过程中应用电子准直或符合探测技术，即可得到正电子放射性药物的分布情况，并经计算机图像重建后进一步转化为肉眼可视的图像。在很多情况下，它可提供其他方法所不能提供的重要诊断信息。用于显像的同位素都属于短半衰期的核素，本项目使用的放射性药品初期为外购的 ^{18}F ，待负一层回旋加速器制备 PET 药物场所投入运行后，PET/CT、PET/MRI 诊断场所所用 ^{18}F 正电子标记物由回旋加速器制备提供；此外还使用 ^{68}Ga 正电子标记物，直接购买。

①PET/CT 显像诊断工作原理

PET/CT 是将 PET 和 CT 联合在一起，通过 PET 扫描和 CT 扫描重叠联合扫描，使两者的硬件和软件有机地结合在一起。这样就可以采用 CT 图像对 PET 功能图像进行解剖定位，同时又可以采用人体 X 射线衰变图的衰变系数对 γ 射线在人体内的衰减进行校正，它自身带有 1 部 CT 机，属于Ⅲ类射线装置。将放射性同位素标记的各种化合物（放射性示踪剂或探针）引入人体后，放射性示踪剂会到达特定的组织或器官，在体外用显像设备探测体内不同组织/器官放射性示踪剂分布情况，通过计算机重建成断层图像，反映不同组织/器官的血流、功能与代谢状态。正电子只能瞬态存在，很快与组织中的负电子结合产生湮没辐射产生两个能量（511keV）相等、方向相反的 γ 光子，光子被 PET/CT 装置探测器所接受，产生的荧光辐射经光电转换器、放大器、脉冲幅度甄别器等处理后，通过计算机系统再现人体组织或器官的影像。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。

②PET/MRI 显像诊断工作原理

该项目拟购置 1 台 PET/MRI 一体机，PET/MRI 一体机是在 MRI 大孔径磁体和紧凑型 PET 探测器的基础上，PET 与 MRI 的同机和同中心复合设计。将雪崩光电二极管(avalanche photo diode, APD)探测器植入 MRI 磁体内，采用有效的屏蔽系统消除磁场对 PET 数据处理链的干扰，使 PET 与 MRI 融于一体。PET 是由内置于磁体腔内的 PET 探测器环系统和设置在磁体外部安全区域的电子学系统及连接两者的电缆组成。因此 MRI 磁体腔的直径越大，其所能容纳的内置 PET 探测器系统的有效内径也就越大。常规 MRI 扫描会受到线圈及其扫描范围的限制，一次只能扫描一个部位，如果

扫描多个部位，需要更换线圈和重新摆位：而常规 PET 显像多为全身扫描两者难以相互匹配。MRI 的全景成像矩阵(Total Imaging Matrix, TIM 技术，实现了全身 PET/MRI 的动像采集。TIM 技术的特点是矩阵线圈概念，它允许在 32 个射频信道中最多组合 102 个线圈文件，通过加长的并行接收链光来完成全身成像矩阵、自动病床移动、自动线卷开关控制以及在线技术，无需更换线圈及重新摆位，数据采集一次完成。

(2) 工作流程及产污环节

根据规划，项目 PET/CT、PET/MRI 使用主要核素为 ^{18}F ，每日使用 ^{18}F 最多诊断 50 人，使用 ^{68}Ga 每日最多 10 人，每人用量均按 10mCi 算，每天诊断人数不超过 50 人次（全部使用 ^{18}F 或者部分使用 ^{18}F 、部分使用 ^{68}Ga ）。PET 显像受检者均在一楼氟注射室注射，该项目所需要放射性药物 ^{18}F 初期为外购，待负一层回旋加速器制备 PET 药物场所投入运行后， ^{18}F 正电子标记物由回旋加速器及合成系统制备提供，由负一层制备场所装入货包铅罐后由专用药梯送至一楼分装室； ^{68}Ga 正电子标记物直接购买，由销售单位送至一楼分装室。工作流程、产污环节示意图见图 9-2。

①根据医生指导意见，需要接受全身或脏器显像检查的人员提前预约登记，确定用药量；

②受检者按约定时间在给药前候诊区准备和等候；

③准备好的受检者经过专用通道进入注射区，注射医务人员穿戴好个人防护用品，在分装室分装柜中操作药品分装，从贮药铅罐内汲取计划的药量，并用钨合金防护套对注射器进行防护，再转移至注射台为受检者注射药物，注射时间平均约 30s/人次；

④注射了放射性药物的受检者进入注射后候检区候诊进行检查前的准备；

⑤注射药物的受检者从注射后候检区直接进入 PET/CT 或 PET/MRI 机房检查，工作人员配合受检病人摆好位后进入控制室进行隔室操作，摆位时间平均约 30s/人次；

⑥检查完成后，受检者在留观室短暂留观后通过专用通道离开核医学区域。

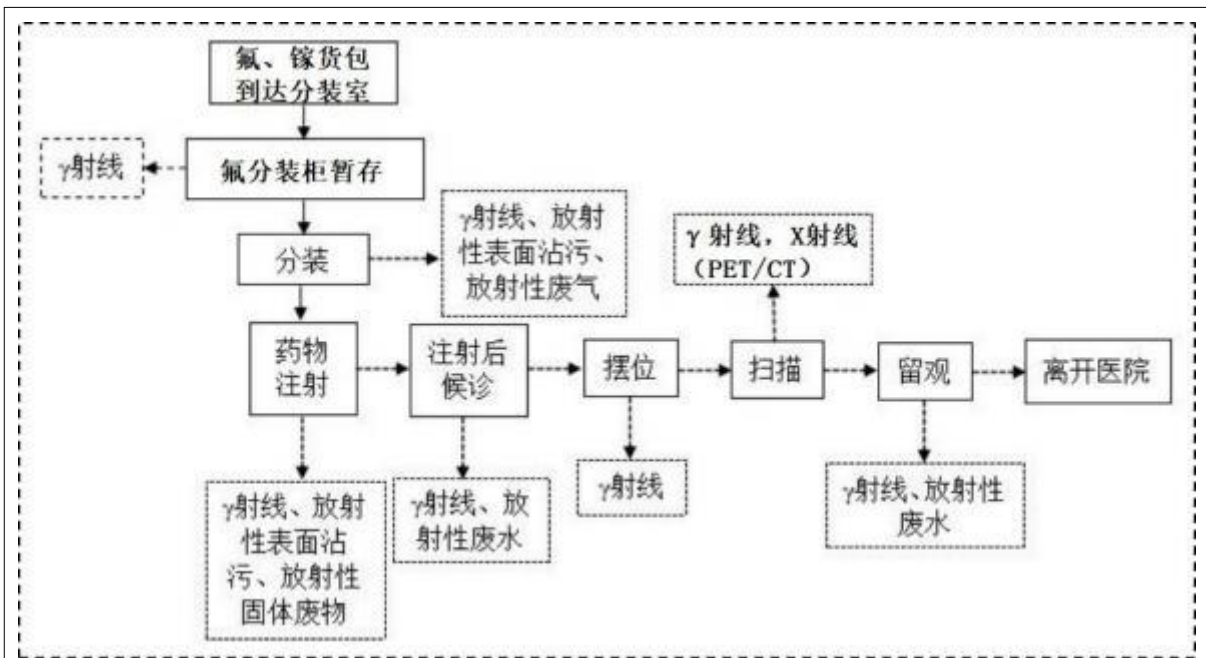


图 9-2 PET 影像诊断工作流程及产污环节示意图

(3) 利用 ^{68}Ge 源进行设备校准

工作原理。 PET 的使用随着时间的推移，图像质量可能会下降。使用校准源对 PET 进行校准，是一种重要的质量控制方法。日常性能监测(daily quality assurance, DQA)和设备参数报告图表：系统运行程序，自动取出校准源（本项目拟使用 ^{68}Ge 源），使之绕探测环轨道运行，探头对其进行数据采集。采集的数据主要反应了 PET 环形排列的各探测模块乃至每个晶体块(crystal block)的工作参数，用于监视 PET 扫描机图像质量随时间变化的情况。DQA 执行完成后，将会出现以灰度块形式表示的 PET 图像质量报告图表，图像质量图表给出设备各项性能参数，包括符合计数、单光子计数、死时间、符合时间、能量分辨率等。灰度块灰度的改变程度与探测单位性能漂移程度相关。灰度偏离越大，探测单位的性能参数偏离越大。将光标移动到条块图上，会在屏幕底部产生读数，分别指示模块(module)晶体块、晶体行(crystal row)、晶体列(crystal column)和所在行参数值(data value)。参数报告表给出了该设备的标准值范围和实际平均测量值，并在最后 1 列对设备当前运行参数给出评价----合格、警告、不合格(分别用绿、黄、红色表示)。探测系统数据的采集是 PET 成像的第一步，整个探测环性能的监测和调试依赖于使用 ^{68}Ge 进行 DQA 和定期进行系统校准。完成校准后，系统自动生成图像质量图表，并附有相关参数。依照该图，工程师可以及时发现性能漂移并准确定位。当参数图表的评价已出现警告标识，或更严重者，在图像质量图表区发现明显的水平条，说明相应的探测器没有信号输出，必须对 PET 系统故障进行查修，

并需对整个系统进行重新校正。使用 ^{68}Ge 放射源进行系统校准，目的是对探头的性能漂移进行及时校正，以使图像解剖定位更加准确，改善对比度，消除图像畸变，使得深部病灶显示更加清楚。

工作流程及产污环节。项目根据 PET/CT、PET/MRI 显像情况，定期进行质控校准，第一步将校准源从储源室保险箱中取出，放入 PET/CT 或 PET/MRI 设备中，人员离开检查室回到控制室开机开始质控校准操作，质控校准结束后，关闭设备，人员进入检查室从 PET/CT 或 PET/MRI 设备中取出校准源放回保险箱，其工作流程及产污环节见图 9-3。放射源的污染物为 γ 射线辐射，无放射性废水和废气产生，废放射源交由放射源生产单位回收。

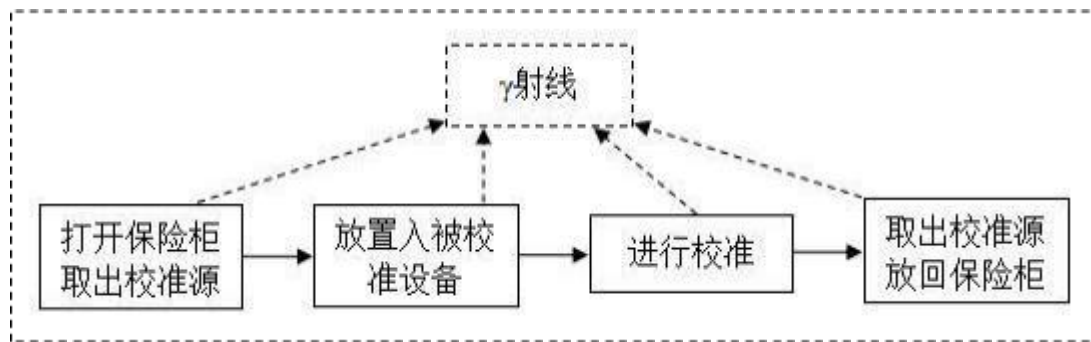


图 9-3 PET 质控校准工艺流程及产污环节

9.1.3 医用回旋加速器及合成系统

1、设备组成及工作原理

本项目的回旋加速器自带屏蔽系统，根据设备厂家提供资料，自屏蔽体材料主要采用钢和水组成。回旋加速器由磁场系统、射频系统、真空系统、离子源系统、束流提取系统、诊断系统、靶系统和冷却系统等组成，各系统的主要作用如下：

磁场系统：由上下磁扼、线路极片、磁场线圈、磁场电源等组成，其作用就是提供偏转力使束流维持在上下磁极之间中心平面的准环形轨迹上。磁场线圈使束流在上下磁极之间加速。磁场非匀场，而是采用深谷设计，对束流粒子在加速的中心层面提供了强聚焦力，引导粒子返回中心层面，产生高的束流引出效率。

射频系统：包括监测与控制元件、频率合成器、中级放大器、RF 电源振幅器、共轴透射线、耦合网络和 D 型盒结构等，其作用就是对 D 型盒提供一交替的高电压电势，并将能量转至 H 离子。随着束流加速得到能量，其轨道半径逐渐增加，这种轨迹被称为准螺旋形。当束流到达提取半径时，其能量也将达到预定能量。正常工作时，

射频频率自动受 RF 控制元件调整以维持 D 型盒结构的共振。

真空系统：包括真空室、排气泵、仪表和控制元件等。真空仪表和控制元件用于监测并显示真空室的压力以及在系统出现故障时对仪器起到保护作用。真空室需要连续不断地抽气以排除来源于离子源及真空室内表面的气体。

离子源系统：包括离子源、ARC 电源、偏向电源与氢气流量控制器等。离子源产生 H⁻离子，在正常操作中不需要进行调试或干预性操作。离子源存在电势差，用于电离氢气形成等离子浓聚体。进入离子源的氢气流量由电子质流控制器调控以与变化的离子源和加速器运行条件相匹配。等离子体的电源(或 ARC)由电流调节的开关型电源提供，在正常运行时，控制系统调节离子源的 ARC 电流以维持期望的靶电流

束流提取系统：直包括一个或者两个束流提取器。其作用就是当 H⁻通过碳提取膜时剥离其与氢核结合松散的两个电子，从而使束流由负电性变成正电性。

靶系统：是完成特定核反应而产生正电子核素的装置，一般包括靶体、准直器、靶膜靶体材料采用纯度为 99.9%的靶(靶体维护周期约 6 个月，加速器靶系统管路阀门等，清洁、靶膜、碳膜更换、离子源更换等日常维护由设备厂家负责)。

冷却系统：从不同系统中将热量带出，带出的热量在二级冷却系统中进行热交换，并将热量传送到初级冷却系统。

回旋加速器原理如下：

在回旋加速器中心部位的离子源经高压电弧放电而使 H₂ 气体电离发射出 H⁻粒子束流，该粒子束流在称为 D_{ee} 的半圆形电极盒(简称 D 型盒)中运动。D 型盒与高频振荡电源相联为加速粒子提供交变的电场。在磁场和电场的作用下被加速的粒子在近似于螺旋的轨道中运动飞行。在回旋加速器中心区域，粒子被拉出后经电场的加速而获得较低的初速度，同时，磁场也对这些粒子产生作用，两种场作用的结果是粒子在 D_{ee} 间隙(gap)内按螺旋轨道飞行经过非常短的时间后，粒子经 gap 进入另一个 D_{ee} 电极盒，此后，粒子在该 D_{ee} 电极盒边飞行到等电势的另一边。每越过一个 gap 后，其轨道半径将比前一次的轨道半径大。粒子运动的瞬时轨道半径将随时间 t 的增加而增大，粒子运动速度的平方与粒子旋转的圈数成比例。被加速粒子运动的螺旋轨道半径与运行时间 t 的平方根成正比。带电粒子经多次加速后，圆周轨道半径达到最大并获得最大的能量，在该点处粒子将被束流提取装置提取引出，通过剥离器后成为 H⁺粒子束即质子束。

加速粒子加速过程不产生感生放射性核素，仅在加速粒子打在靶材料上之后，靶材料俘获加速粒子，产生放射性同位素；同时，周围屏蔽材料俘获加速粒子后，可能会产生少量短半衰期放射性同位素。放射性核素的产率取决于束流强度、被轰击靶物的量、核反应截面及轰击时间。通过改变靶物质可获得不同的放射性核素。

医用回旋加速器的设备结构及工作原理示意图如图 9-4、图 9-5。

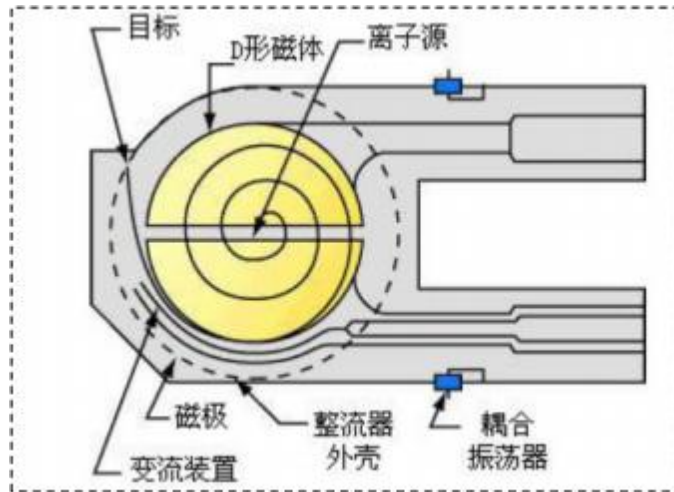


图 9-4 回旋加速器的设备结构示意图

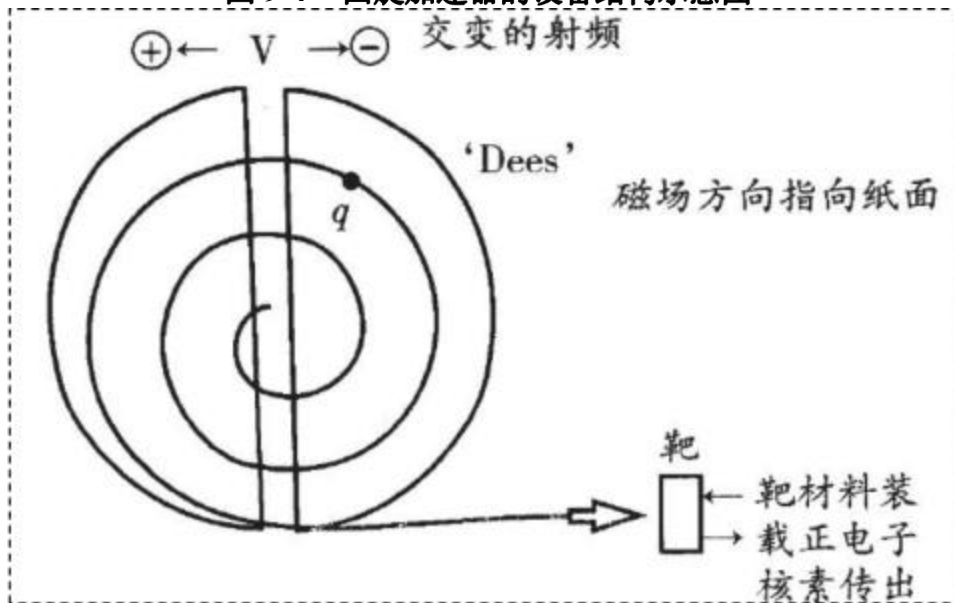


图 9-5 回旋加速器的工作原理示意图

本项目拟配置回旋加速器共有 2 个靶位，当加速粒子为氦核，双靶同时接受轰击时，单靶最大束流为 $75\mu\text{A}$ ，单次仅 1 个靶轰击时，最大束流为 $100\mu\text{A}$ ，该项目明确采取单靶轰击工作。结合本项目实际诊疗规模，回旋加速器单批次生产 ^{18}F 的量为 $8.88\text{E}+10\text{Bq}$ ，采用富集 H_2^{18}O 为靶，单次轰击时间 120min，每天轰击打靶次数为 1~2 次。高速质子轰击靶，发生 $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$ 核反应，产生 ^{18}F 。

2、正电子药物的生产工艺流程

正电子药物的制备工艺流程可分为核素生产、放射性药物合成与分装、质检、放射性药物包装与运输几个步骤。正电子药物的制备工艺流程及产污环节图见图 9-6。

略

图 9-6 正电子药物的制备工艺流程及产污环节图

正电子 ^{18}F 药物的生产、合成的工艺流程如下所述：

(1) 核素离子的生产

在回旋加速器中进行 $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$ 核反应，从而产生 ^{18}F 离子。

操作流程：首先确定制备核素量→靶体内装入富氧水→选择对应的核素→回旋加速器开机→轰击靶材料→回旋加速器冷却关机→靶体内的核素传输。

按照《回旋加速器操作规程》进行打靶操作，生产得到的 ^{18}F 核素离子通过管道传输到热实验室的合成模块中，进行化学合成工艺。

(2) 化学合成及分装

回旋加速器机房的 ^{18}F 核素离子生产完成后，会通过地沟压力管道以液态形式传输到热实验室的相应热室模块箱中。热实验室设置 5 台自动合成热室模块箱（含备用和预留热室）和 1 台自动分装热室模块箱。

正电子药物制备场所 ^{18}F -FDG 合成、分装热室屏蔽厚度如下：合成热室、分装热室均统一采用正面采用 75mmPb，其余五面 65mmPb 的屏蔽设计，观察窗位于热室正面，其屏蔽防护等效于 75mm 的铅当量。

核素在洁净合成热室合成过程中，无需人员干预，均采用计算机程序自动控制，单批次合成耗时约 40min。

在合成热室中，计算机自动设置的步骤主要包括以下几种（ ^{18}F -FDG）：

1)捕获淋洗：从加速器传过来的核素离子经过 QMA 柱，其中核素离子被附着在柱子上，废水及其中的杂质离子流到废水瓶中收集。用碳酸钾溶液和氨基聚醚 K2.2.2 的乙腈溶液淋洗 QMA 柱，将上面的核素离子带入反应管。

2)除水：淋洗结束后加热反应管使乙腈与水共沸进行除水。

3)亲核反应：待冷却完毕后向反应管中加入三氟甘露糖溶液进行亲核反应， ^{18}F 取代三氟甘露糖上的一个羟基。

4)水解：向反应管中加氢氧化钠溶液进行水解后，加入酸中和。

5)精制：粗产品经过树脂柱中和过量的盐酸，分离提纯，经过无菌滤膜过滤获得

最终产品。

核素药品在合成热室完成合成后，经内部传输进入药物分装热室。药物分装过程也采用计算机全自动控制，无需人工干预，药物在自动分装模块中将根据预先设计的程序，将试剂分装到各个预先贴有标签的试剂瓶中，并将试剂瓶进行密封，机械手将分装完成的试剂瓶装载到专用的预先贴好标签的专用的铅屏蔽容器（铅罐）中（热室内操作），并盖上防护罐盖子。药物铅罐采用 40mm 的铅当量屏蔽，铅屏蔽容器的尺寸直径约 10cm，铅容器盖子为旋转式卡扣盖子，保证装入货包后不易松动。

正电子药物生产完成后，工作人员将抽取约少量的正电子药物至西林瓶内，放至铅防护罐（20mmPb 当量）内，经人工手拎至与质控室之间的缓冲间传递窗，再转移至质控室，在质控室开展 pH 值、放射性核纯度、放射性化学纯度、细菌内毒素等质量检验。质检在质控室内的通风橱内完成，单次质检活度小于 $3.7\text{E}+07\text{Bq}$ （1mCi）。

质检后的成品经过外包间传递窗，装运人员将铅罐从传递窗取出，由药物专用梯至一层核医学分装室，后转移至分装柜内分装后给患者注射。

^{18}F 正电子药物从事 pH 值、放射性核纯度、放射性化学纯度等质量检验流程见图 9-7。

略

图 9-7 ^{18}F 药物质检流程及产污环节示意图

9.1.4 螺旋断层放射治疗系统

1、设备组成

螺旋断层放射治疗系统集成 IMRT（调强适形放疗）、IGRT（影像引导调强适形放疗）、DGRT（剂量引导调强适形放疗）于一体，以螺旋 CT 旋转扫描方式，结合计算机断层影像导航调校，在 CT 引导下 360 度聚焦断层照射肿瘤，对恶性肿瘤患者进行高效、精确、安全的治疗。螺旋断层放射治疗系统把 6MV 电子直线加速器安装在 CT 滑环机架（与诊断 CT 使用相同的技术）上，窄扇形射线照射野环绕机械等中心做 360° 连续旋转照射。

螺旋断层放射治疗系统机架上，在主射线束的对面，探测器下方，孔径的相对位置设置有一个 13cm 厚的主束屏蔽铅挡板，此屏蔽随机架旋转，任何时刻均位于主射束的正前方。螺旋断层放射治疗系统基本结构见图 9-8。

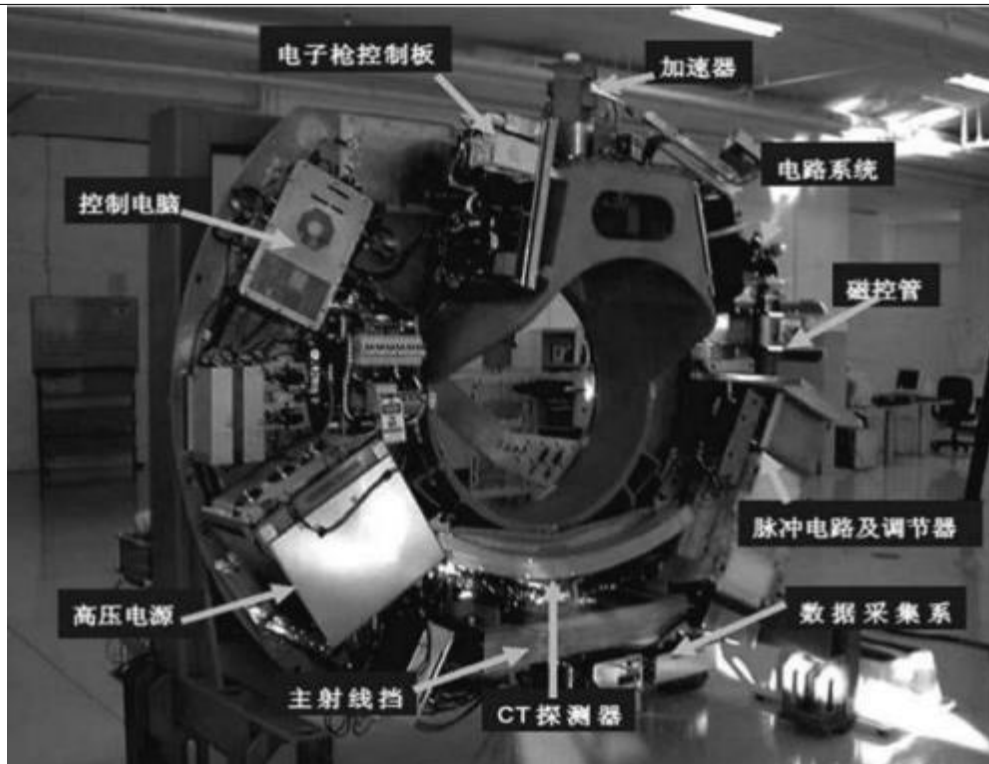


图 9-8 螺旋断层放射治疗系统基本结构示意图

2、工作原理

医用电子直线加速器是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器。它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。医用电子直线加速器内部结构见图 9-9。

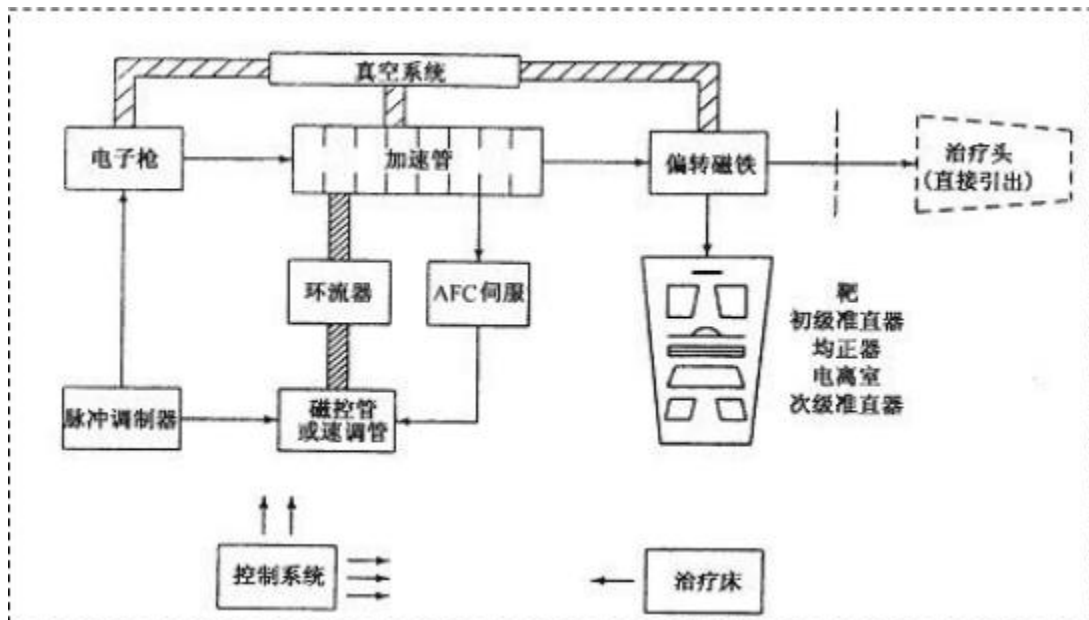


图 9-9 典型医用直线加速器内部结构框图

电子直线加速器是产生高能电子束的装置，该装置采用微波电场把电子加速到近似光速，然后轰击靶产生 X 射线，用于治疗肿瘤，为远距离放射性治疗机。

电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，其最大能量为电子束的最大能量，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。因此，医用电子直线加速器利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞。

治疗模式结构示意图见图 9-10。

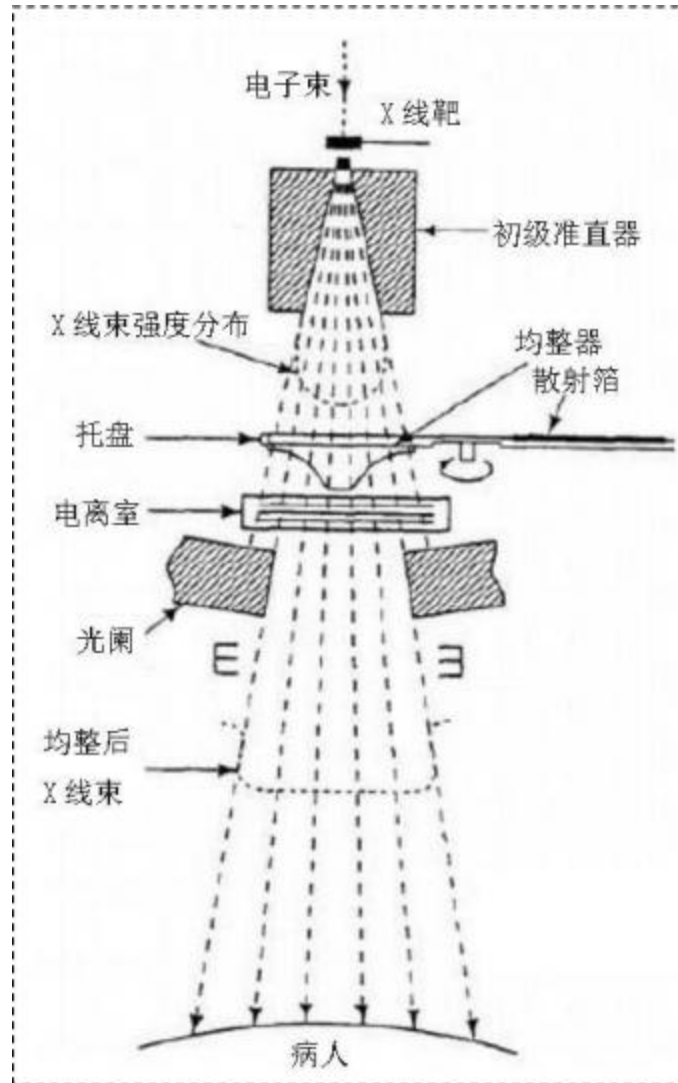


图 9-10 电子直线加速器治疗模式结构示意图

螺旋断层放射治疗系统治疗是 CT 引导的三维调强放射治疗，它将直线加速器和螺旋 CT 整合起来,使治疗计划、患者摆位和治疗过程融为一体。它能够治疗不同的靶区，从立体定向治疗小的肿瘤到全身治疗，均由单一的螺旋射线束完成。通过每次治疗所得的兆伏 CT 图像，可以观察到肿瘤受照剂量分布及在治疗过程中肿瘤的变化

，
及时调整靶体的治疗计划。

螺旋断层放射治疗系统与传统直线加速器的区别在于：

(1) 传统的方法是尝试着用比较大的射线束从 2 到 6 个不同的方向集中对肿瘤进行治疗，螺旋断层放射治疗系统治疗系统则是用数以百计的笔形射线束成螺旋形的绕着肿瘤旋转，从各个方向进行照射，可以选择的照射面远比传统直线加速器要多，能更有效地避开对脊髓等重要器官的照射，对肿瘤的放疗可以做到更大的杀伤效果。使用这些动态、旋转，以及不同强度的波束，肿瘤学家现在可以提供极高精度的射线。在高剂量的辐射区域，可以勾勒出病人每个肿瘤的确切形状，这意味着用更有效的、潜在的治疗剂量来治疗癌症，从而减少对正常组织破坏，并减少并发症。

(2) 集成了螺旋 CT 功能，CT 成像探测器就在圆环内对着放射头的位置，使得病人躺在治疗床上后，能再进行一次清晰的 CT 成像以便对比病人现时的摆位及肿瘤的位置、形状是否与术前做模拟定位时一致，有效地避免了传统直线加速器因为治疗时的病人体位与治疗前模拟定位时不一致而出现的照射误差。

(3) 放疗时 CT 成像探测器会同步收集穿透病人身体后的 X 线，从而可以准确推算出肿瘤实际吸收的射线能量，为确定下一步放疗剂量提供了科学准确的参考数据。

3、操作流程及产污环节

螺旋断层放射治疗系统的工作流程和产物环节如图 9-11 所示。

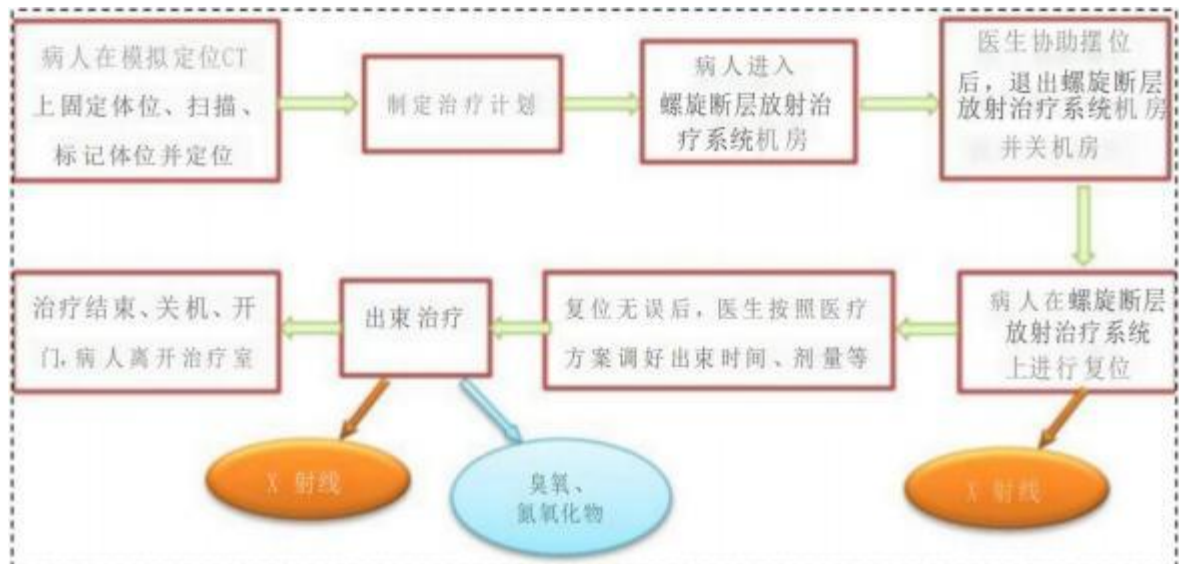


图 9-11 螺旋断层放射治疗系统工作流程及产污环节图

9.1.5 X 射线立体定位放射治疗系统 (Cyberknife)

1、设备组成

X 线立体定向放射治疗系统由电子直线加速器(LINAC)、机器人机械臂(robotarm)、治疗床、治疗计划系统、靶区定位影像追踪系统(target localization system, TLS)、呼吸追踪系统、计算机网络集成与控制系统组成。X 线立体定向放射治疗系统组成外形示意图见图 9-12。

(1) 电子直线加速器(LINAC): X 线立体定向放射治疗系统使用一个紧凑型、能产生 6MeV 档能量的 X 射线的轻型直线加速器, 它被安装在机器人机械臂上, 配备有 12 个准直器, 准直器直径 5-450mm。

(2) 机器人机械臂(robotarm): 机器人机械臂的头端上安装有直线加速器, 它带动直线加速器围绕患者在前、后、左、右、上、下 6 度空间自由转动。按照计算机预设的路线, 机械臂可将直线加速器调整到 101 个位置(或节点), 每个节点处可以从 12 个角度投照射线。因此, 理论上可提供多达 1212 个方位投照射线。

(3) 治疗床: 治疗床由电脑程序控制, 可以在 5 度空间自由移动, 即 X 轴、Y 轴、Z 轴方向移动、头部向上下倾斜和治疗床左右倾斜。

(4) 靶区定位影像追踪系统(target localization system, TLS): X 线立体定向放射治疗系统使用人体骨骼结构作为参考框架, 颅内病灶与颅骨之间、脊柱及其周围肿瘤与脊柱之间产生固定的对应关系。靶区定位影像追踪系统是由天花板上安装的两组 X 线球管和安装于治疗床头端两侧地面上的单晶硅影像板(X 线摄像机)组成。两组 X 线球管发出低能 X 射线相互垂直, 交叉穿过头颅(或患者肿瘤的治疗部位), X 线摄像机获得一对相互垂直的高清晰颅骨(或骨骼)数字图像, 并将图像传输到计算机, 计算机与事先 CT 扫描获得的颅骨数字重建图像(DDR)相比较, 首先确定颅骨的精确位置, 然后得出治疗靶目标(病灶)的精确位置。靶区定位影像追踪系统使用 4 套计算机软件, 治疗颅内病变时, 使用 6 维颅骨追踪软件; 治疗脊髓、脊柱及其周围肿瘤时, 使用脊柱追踪软件(xsight spine); 治疗部分周围型肺癌时, 使用肺部追踪软件(xsight lung); 治疗随呼吸运动的肿瘤(如肺癌、肝癌及胰腺癌等)时需要在肿瘤内或周围埋置金标(fiducial), 使用金标追踪软件和呼吸追踪系统。

(4) 治疗计划系统: 治疗计划系统由计算机工作站和治疗计划软件组成。X 线立体定向放射治疗系统主要使用逆向治疗计划, 逆向治疗计划是医生先勾画出计划照射的靶区以及给出靶区和重要器官的剂量要求, 计算机自动设计一个满足设定条件的治疗计划。

(6) 呼吸追踪系统：当治疗受呼吸运动影响的肿瘤时，肿瘤随着患者的呼吸而上下、左右运动。呼吸追踪是让患者穿上胸前带有发光二极管的背心，呼吸追踪摄像机通过捕捉红光二极管的运动获得肺部的运动节律，计算机建立呼吸模型。治疗时，计算机根据呼吸节律，自动微调机器人机械臂，让射线始终精确瞄准病灶。呼吸追踪如同弹道导弹技术，按照呼吸节律，肿瘤在 A 时间点正好在运动轨迹的 B 点处，射线的投照不是从后面追赶肿瘤，而是在 A 时间点将射线直接投射在运动轨迹的 B 点处。

(7) 计算机网络集成与控制系统：X 线立体定向放射治疗系统拥有一台主控计算机工作站，主控计算机工作站通过网络控制机器人机械臂、控制直线加速器何时照射射线、控制治疗床、控制靶区定位系统和呼吸追踪系统。

2、工作原理

X 线立体定向放射治疗系统属于立体定向放射治疗领域，是目前最先进的医学技术之一。X 线立体定向放射治疗系统的核心是交互式机器人技术，这套完全一体化的系统持续接收到在治疗前及治疗中患者的位置、肿瘤位置和患者呼吸运动的反馈，基于这种反馈，X 线立体定向放射治疗系统自动控制电子直线加速器持续地以低于毫米级的精确度对肿瘤组织进行 X 射线的照射，达到治疗肿瘤的目的。采用多个非共面的射线投照弧聚焦于靶点，使低剂量的单束射线在靶点高能聚焦，从而破坏靶组织达到治疗目的。



图 9-12 X 线立体定向放射治疗系统组成外形示意图

3、工艺流程及产污环节

X 线立体定向放射治疗系统运行期间的工艺流程和产污环节如图 9-13 所示，其具体治疗流程如下：

(1) 患者预约：当病人被确诊需要进行 X 线立体定向放射治疗系统放射治疗后，主治医生对患者进行预约登记并向其告知可能受到辐射危害；

(2) 进行定位：预约病人首先通过模拟定位 CT(依托医院已有设备)进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状；

(3) 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照射时间；

(4) 靶区定位：患者平卧并固定在治疗床上，医务人员退出机房，关闭好防护门。影像引导系统采集靶区的实时影像，并与治疗计划系统的治疗影像进行比对，找到靶区方位误差。工作人员通过电脑操作，移动治疗床，使实时影像与治疗影像完全拟合；

(5) 启动治疗：确认完毕，且机房内联锁条件建立后，工作人员在控制室内开机照射治疗，治疗时工作人员隔室操作；

(6) 照射完毕后，工作人员协助病人离开机房。

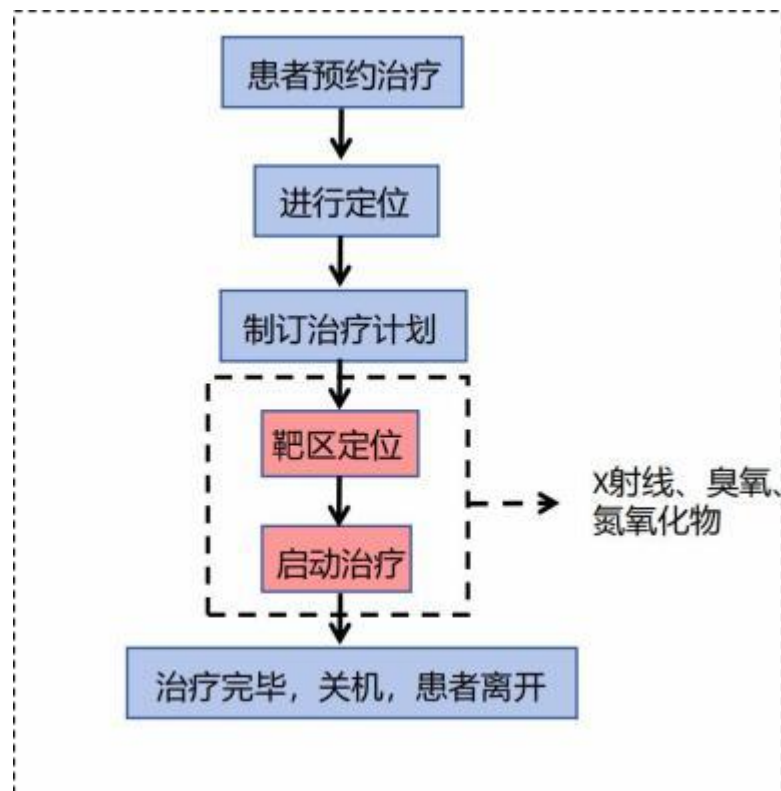


图 9-13 X 线立体定向放射治疗系统治疗项目工艺流程及产污环节示意图

9.1.6 ^{131}I 治疗甲亢、甲癌项目

1、工作原理

(1) 甲亢治疗

^{131}I 衰变时发射出射程很短的 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，而邻近的正常组织吸收剂量很低，从而达到治疗的目的。需服用 ^{131}I 进行治疗的病人需事先进行甲状腺摄碘率测量（简称“甲测”）等项目的检查，确定每一病人的服用量后，进行服药治疗；甲测服用 $^{131}\text{I}\text{-NaI}$ 量很小，一般为 $2\mu\text{Ci}$ （依据 GB18871-2002 附录，属于豁免水平），与甲亢或甲癌治疗服用量的影响相比，其辐射影响可忽略不计。

甲测原理：碘进入人体内后，首先被甲状腺摄取，用于 TH 的合成。极小部分存在于血液及组织中的碘化物参与机体代谢的其他过程。甲状腺中被浓聚的碘主要存在于甲状腺滤泡细胞中，在 T₃、T₄ 的代谢和分泌过程中，甲状腺也向血液分泌少量的碘（以各种形式存在），其分泌速度视腺体贮碘量、甲状腺功能状态等因素而定。用 ^{131}I 作示踪物，测定碘在体内的移动速度和量，可间接评价甲状腺的功能状态，特别能反映甲状腺对无机碘的浓聚能力。口服放射性碘后，用盖格（Geiger）计数管或闪烁计数管测定甲状腺部位的计数率，计算出摄碘率，并从以下 3 个方面来推测甲状腺的功能：①甲状腺摄碘的速度及最大摄碘率；②放射性碘从尿中的排出量；③血浆蛋白结合碘量。甲状腺具有高度浓聚碘的能力。

(2) 甲癌治疗

^{131}I 衰变时发射出射程很短的 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，而邻近的正常组织吸收剂量很低，从而达到治疗的目的。甲状腺癌 ^{131}I 放射治疗主要用于治疗可浓集碘的转移性病灶，也可用于治疗微小癌、不能手术或手术切除不完全的原发癌。病变的甲状腺、大约 80%甲状腺癌患者转移到病灶有摄取放射性碘的能力，但是摄取的程度不如正常的甲状腺。虽然如此，大多数转移灶仍能摄取足够的 ^{131}I ，用以集中照射、有效地破坏转移病灶的目的，达到治疗的目的。

2、工作流程及产污环节

(1) 甲亢治疗

①诊疗规划

本项目拟使用 ^{131}I 开展甲亢治疗项目，服药前对病人做好充分教育，所用 ^{131}I 药物通过碘分装柜中的自动分装仪分装，病人自主服药。接受甲亢治疗的每名患者最大用药量为 10mCi，甲亢病人每天平均 10 人次，全年规划治疗 2500 人次。

②工作流程

订药：工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间送药品，经确认无误完成相关交接、登记手续后，将碘药物放于碘分装柜内，本项目 ^{131}I 药品为药罐装载货包形式的外购药物。

给药：开展甲亢治疗项目时，工作人员将 ^{131}I 放入自动分装仪内。接受甲亢治疗的患者到达服药窗口，医护人员通过电脑控制系统操作碘自动分装柜自动分装药物，并通过视频及对讲指导患者服药。

给药后：甲亢患者服药短暂留观无异常后即可离开核医学科。

患者服药完毕后的一次性纸杯、纸巾放入专用放射性废物铅桶内。工作场所内放射性废气通过专用排风管收集、吸附处理后由屋顶排放。甲亢治疗项目工作流程与产污环节见图 9-14，其中“前期病人检查”包括了甲测过程，甲测用量属于豁免水平。

(2) 甲癌治疗

甲癌治疗使用 ^{131}I 为外购的放射性核素的碘 [^{131}I] 化钠口服溶液，医院按需采购放射性药物，在约定的时间由放射性药物供应单位负责将放射性药物运送至三楼碘分装室，病人进行治疗前，医院工作人员将药品放在分装柜中碘自动分装柜内，通过电脑控制系统操作碘自动分装柜自动分装药物，患者根据指示进行服药。接受甲癌治疗的每名患者一般服碘-131 药量为 100~200mCi（平均 150mCi），全年规划最多治疗 600 例，每天新服药治疗人数最多 4 例。

甲癌患者经预约问诊后，在三楼碘服药室服用放射性药物后在医生的语音指导下进入相应甲癌住院病房住院，住院按 2~5 天规划（每周每个病房治疗 2 批），经检测患者体内放射性活度降低至 400MBq（距患者 1m 处的辐射剂量率低于 25 $\mu\text{Sv/h}$ ）方可离开甲癌病房出院。接受甲癌治疗的每名患者最大用药量为 200mCi，患者服药后一次性水杯按规定按放射性废物放入指定的放射性废物衰变桶中；住院期间的排泄物等放射性废水收集至碘衰变池衰变达标后排入医院污水处理站。 ^{131}I 药物操作过程和

口服服药后的病人呼出气体，可能会导致核素进入工作区域内的空气中，造成工作人员吸入性内照射影响。甲癌治疗项目的工作流程及产污环节见图 9-15，其中“前期病人检查”包括了甲测过程，甲测用量属于豁免水平。

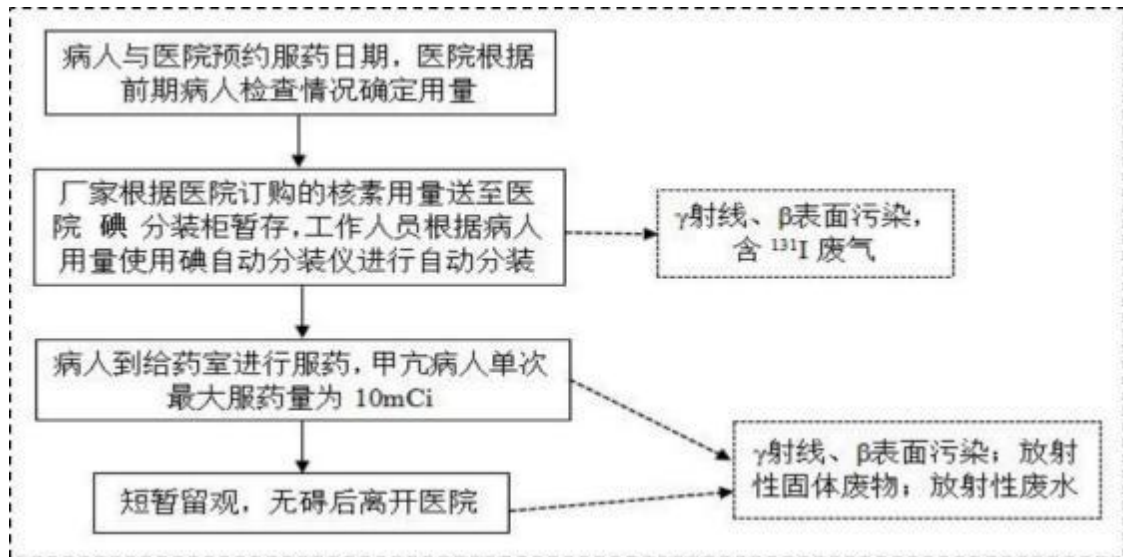


图 9-14 甲亢治疗项目工作流程及产污环节

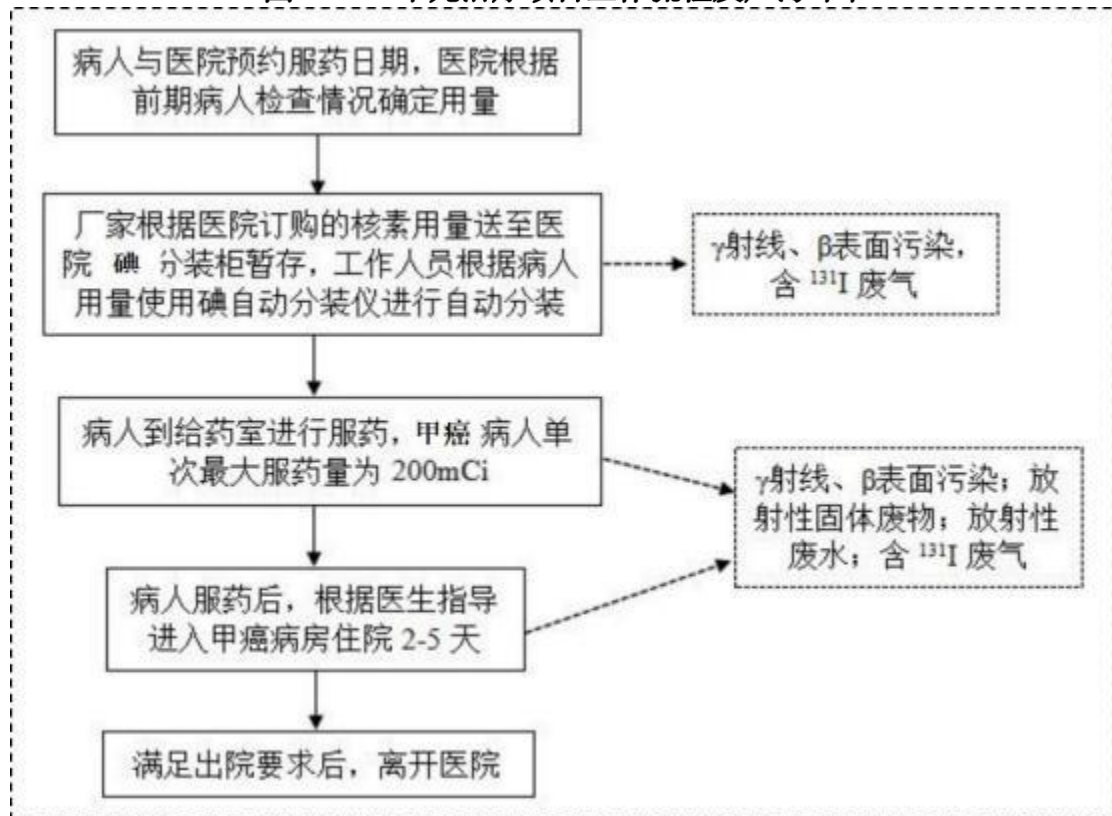


图 9-15 甲癌治疗项目工作流程及产污环节

9.1.7 ^{89}Sr 治疗项目

1、工作原理

^{89}Sr 是钙族元素，为一种亲骨性放射性核素，进入体内后同钙一样参加骨矿物质

的代谢过程，静脉给 ^{89}Sr 药后，恶性肿瘤骨转移病灶内的摄取率大于正常骨组织的 2~25 倍，并滞留在癌灶中。 ^{89}Sr 为纯 β 核素，不伴随发射 γ 射线，发射最大能量为 0.5846 MeV 的 β 射线，半衰期为 50.53 天，其辐射效应杀伤癌细胞，缩小病灶，起到良好的镇痛作用。

2、工作流程及产污环节

本项目 ^{89}Sr 核素治疗采用针剂静脉注射方式给药进行治疗，医院根据与病人预约情况提前向药物供货商订药，药物供货商按照医院要求在规定时间内将分装好的药剂送到核医学肿瘤治疗中心楼三层暂存于碘分装柜中，工作人员在分装柜中将药液抽取到注射器中，再将注射器转移到注射窗台为患者注射。预计使用 ^{89}Sr 治疗的病例每天最多 5 例，每名患者用药量最多为 5 mCi， ^{89}Sr 核素患者注射后直接离开，无需留观，不产生废水。

^{89}Sr 注射后一次性注射器、棉签及手套均按规定以放射性废物丢指定的放射性废物衰变桶中； ^{89}Sr 为纯 β 衰变核素，且发射的 β 射线能量较小，射程短，与周围物质发生韧致辐射可能性小，与该核医学肿瘤治疗中心楼评价项目其他内容相比， ^{89}Sr 药物注射操作过程对周围环境产生外照射影响可忽略不计。 ^{89}Sr 治疗项目的工作流程及产污环节见图 9-16。

医院通过预约治疗安排治疗患者在预定时间内进行注射治疗，通过时间错峰安排使得在治疗期间无甲亢、甲癌等其他治疗操作，避免造成相互交叉污染和影响。

9.1.8 ^{177}Lu 治疗项目

1、工作原理

^{177}Lu 衰变同时发射 β 粒子和 γ 射线，其中 β 粒子可以用于内照射治疗，半衰期为 6.647 天，发射的 β 粒子平均能量为 133.6 keV、最大能量为 496.8 keV。 ^{177}Lu 利用 β 粒子的直接或间接作用使 DNA 链断裂，同时利用辐射产生的交叉火力效应，结合其配体的靶向作用，实现精准杀伤肿瘤细胞的目的。 ^{177}Lu 在体内的作用范围平均为 0.67 mm，最大仅为 2.2 mm。这一有限的组织范围降低了对相邻正常组织器官的辐射，也减少了与患者接触的其他人的暴露风险。利用 ^{177}Lu 核素制成不同偶联药物，可以治疗不同类型癌症，比如使用 ^{177}Lu -PSMA 可以治疗转移性去势抵抗性前列腺癌。

2、工作流程及产污环节

本项目 ^{177}Lu 核素治疗采用针剂静脉注射方式给药进行治疗，医院根据与病人预约

情况提前向药物供货商订药，药物供货商按照医院要求在规定时间内将要求分装好的药剂送到核医学肿瘤治疗中心楼三层暂存于碘分装柜中，工作人员在分装柜中将药液抽取到注射器中，注射器由20mm铅屏蔽套防护，再将注射器转移到注射窗口为患者注射。注射¹⁷⁷Lu核素患者，项目预计每天最多1例，患者用药量按200mCi计，需在核医学科室甲癌住院病房住院观察，住院3-5天，满足出院要求后方可离开病房出院。因标准规范中无¹⁷⁷Lu核素治疗相关出院标准，与¹³¹I相比，¹⁷⁷Lu半衰期短且发射的 γ 射线能量低，因此本评价建议¹⁷⁷Lu核素治疗项目患者出院标准参照甲癌住院项目执行，即体内放射性活度降低至400MBq（距患者1m处的辐射剂量率低于25 μ Sv/h）可出院。

需要指出的是：因使用¹⁷⁷Lu核素患者较少，医院需根据甲癌患者住院情况提前制定治疗方案，使¹⁷⁷Lu患者与甲癌患者住院不发生冲突；单独甲癌治疗全年规划人数最多为600人次，单独¹⁷⁷Lu治疗全年规划人数最多为50人次，由于该2个项目治疗共用住院病房，即甲癌治疗及¹⁷⁷Lu治疗人次全年共计不得超过600人次。

¹⁷⁷Lu患者注射后一次性注射器、棉签及手套均按规定以放射性废物丢指定的放射性废物衰变桶中；¹⁷⁷Lu患者住院期间的排泄物等放射性废水收集至碘衰变池衰变达标后排入医院污水处理站；¹⁷⁷Lu药物注射操作过程，持续发射的射线，会对周围产生外照射影响。医院通过预约治疗安排治疗患者在预定时间内进行注射治疗，通过时间错峰安排使得在治疗期间无甲亢、甲癌等其他治疗操作，避免造成相互交叉污染和影响。¹⁷⁷Lu治疗项目的工作流程及产污环节见图9-17。

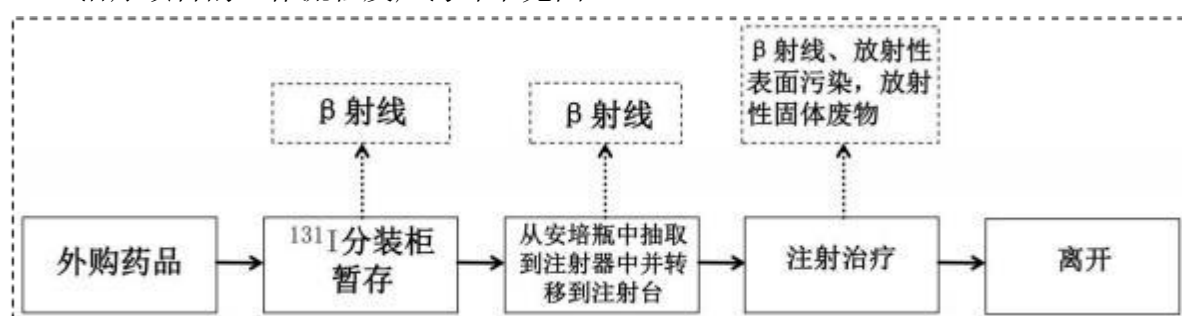


图 9-16 ⁸⁹Sr 治疗项目工作流程及产污环节

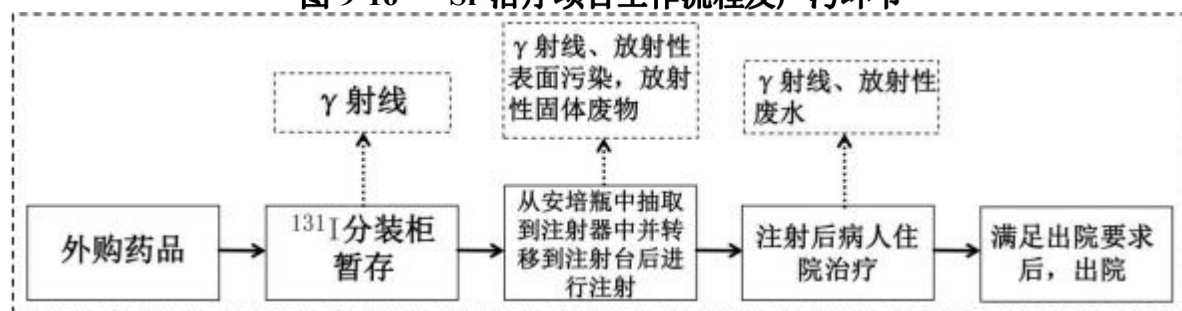


图 9-17 ¹⁷⁷Lu 治疗项目工作流程及产污环节

9.1.9 ^{223}Ra 治疗项目

1、工作原理

^{223}Ra 为即用型药品，通过静脉注射治疗，除使用一次性注射器及一次性手套等耗材外，不涉及使用设备。 ^{223}Ra 为即用型药品，推荐剂量为 55kBq/kg 体质量，一般每瓶规格为 6MBq。 ^{223}Ra 是一种发射 α 射线的放射性碱土金属元素，物理半衰期为 11.4d，经过 6 次衰变到稳定核素 Pb-207。 ^{223}Ra 发射的 α 粒子的平均能量为 5.77MeV，同时伴有部分 β 射线和 γ 射线，每次衰变的总能量为 5.99MeV。 ^{223}Ra 作为钙的类似物可以参与到骨质生成过程中，进而靶向浓聚于病理骨增生活跃的区域。 ^{223}Ra 发射的 α 射线属于高传能线密度射线，会引起肿瘤细胞 DNA 双链损伤，从而诱导肿瘤细胞凋亡，达到治疗的目的。

^{223}Ra 治疗药品主要指氯化镭[^{223}Ra]注射液（又称“多菲戈”），生产用于治疗伴症状性骨转移且无已知内脏转移的去势抵抗性前列腺患者。

2、工艺流程及污染物排放环节

本项目使用氯化镭[^{223}Ra]注射液按需订购，订购回到医院暂存于核医学肿瘤治疗中心楼三层分装室分装柜内。 ^{223}Ra 的分装及注射由核医学科专职医护人员负责。工作人员根据病人所需药量，在分装柜内分装后抽入一次性注射器，转移至注射台，在一体式全屏蔽铅注射防护窗屏蔽下，给病人注射相应活度的氯化镭[^{223}Ra]注射液。注射完毕后的一次性注射器，放入专用放射性废物铅桶内。 ^{223}Ra 治疗项目采用门诊治疗方式，患者在注射完放射性药物后直接离开，无需留观，不产生废水。 ^{223}Ra 主要衰变方式为 α 衰变，同时伴有少部分 β 射线和 γ 射线， α 射线几乎对人体没有外照射影响。 ^{223}Ra 治疗项目工作流程及产污环节示意图见图 9-18。

医院通过预约治疗安排治疗患者在预定时间内进行注射治疗，通过时间错峰安排使得在治疗期间无甲亢、甲癌等其他治疗操作，避免造成相互交叉污染和影响。

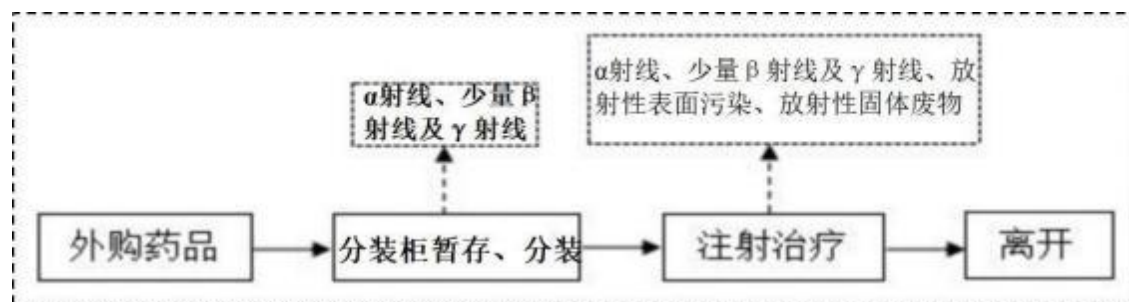


图 9-18 ^{223}Ra 治疗项目工作流程及产污环节示意图

9.1.10 CT 装置

本项目包括的Ⅲ类射线装置为 SPECT/CT 及 PET/CT 设备配套用的 CT。

1、工作原理

CT 是利用 X 射线进行诊断的，产生 X 射线的装置主要由 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，详见图 9-19。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。

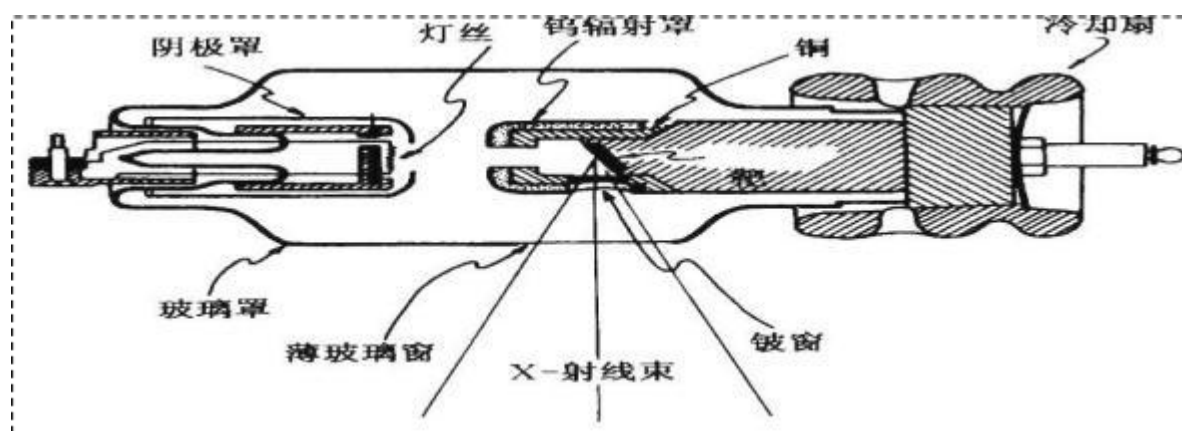


图 9-19 X 射线管结构原理图

CT 是计算机断层 X 射线摄影术 (Computed Tomography) 的简称，它使用了精确准直的 X 射线从各种不同的离散角度扫描所关注的平面，利用探测器记录透射光束的衰减量，并经过数学运算，电子计算机处理相应数据，从而产生一个以检查层的相对衰减系数为依据的躯体横断面的影像。

2、设备组成

由产生 X 射线的 X 线管、供给 X 线管灯丝电压及管电压的高压发生器、控制 X 射线的“量”和“质”及曝光时间的控制装置，以及为满足诊断需要而装配的各种机械装置和辅助装置即外围设备组成。

3、操作流程

确定患者体层摄影的体位，扫描定位，投照摆位，屏气曝光。扫描过程中，X 线球管连续地发射 X 线，扫描床持续同步前移，实现无间断容积数据采集。

4、污染因子

由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。因此，

该院核医学科 SPECT/CT 及 PET/CT 设备配套使用的 CT 装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，X 射线成为污染环境的主要因子。CT 在运行时无放射性废气、废水和固体废弃物产生。

9.2 人流及物流规划

1、负一层工作场所

(1) 工作人员路线

①如图 9-20 中深蓝色线路所示，药物合成工作人员通过 2 号医生电梯进入，沿着走道进入换鞋区换鞋，在一更区更换工作服后，经过缓冲间分别到各操作区域（无菌检测间、阳性对照间、质控室等）；进入二更区的人员，需再经脱内（外）衣洗手、穿洁净衣手消毒后通过缓冲间进入洁净走廊，通过走廊到相应工作区域（洁具间、暂存间、准备间、热室等）；人员出洁净区时，通过污洗间北侧缓冲间进入一更区更换衣物后返回。

②如图 9-20 中浅蓝色线路所示，回旋加速器医技人员通过 2 号医生电梯进入场所，沿着走道进入回旋控制室，有需要时进出设备间及回旋机房。

③如图 9-20 中紫色线路所示，螺旋断层放射治疗系统、X 线立体定向放射治疗系统医技人员 2 号医生电梯进入场所，沿着走道进入相应的螺旋断层放射治疗系统、X 线立体定向放射治疗系统控制室。

(2) 患者的进出路线

如图 9-20 中粉色线路所示，患者从西侧电梯或楼梯进入，沿着走道到达 X 线立体定向放射治疗系统控制室外面的候诊区候诊，叫号后进入相应的螺旋断层放射治疗系统、X 线立体定向放射治疗系统接受治疗，结束后原路返回。

(3) 制备正电子药物路线

如图 9-20 中橘黄色线路所示，所制备药物取少量后从热室通过传递窗经过缓冲间进入质控室开展相关质控检测。确定检测合格后，所制备药物从热室通过传递窗经过缓冲间进入外包间打包，打包结束并检查无误后通过药梯转送到二层，由 PET 检查项目医护人员接收后，放入氟分装室分装柜中暂存备用。

(4) 放射性固体废物路线

回旋加速器运行每个一段时间会产生少量废靶部件、剥离膜、靶膜等活化废部件，暂存于回旋加速器机房铅屏蔽容器内，定期送交有资质的放射性固体废物处置单位处

置。

在质控室设置 2 个铅屏蔽废物箱，用于收集合成工作场所产生的粘有 ^{18}F 的一次性物品等废物，由于产生量非常少，且 ^{18}F 的半衰期才 110 分钟，该场所 2 个铅屏蔽废物箱轮流使用（启用第二个时，封闭第一个时长不少于 30 天，以此类推），产生的含 ^{18}F 固体废物妥善收集暂存于质控室内，预计对周围环境影响很小。待其所含放射性核素活度衰变至低于相应核素在 GB 18871-2002 清洁解控水平推荐限值及 HJ 1188-2021 第 7.2.3.1 款要求后，按一般医疗废物处理。

2、一层工作场所

（1）工作人员路线

PET 影像诊断检查项目工作人员主要分操作 PET 影像设备的医技人员及负责药品分装、注射等操作的医护人员。如图 9-21 中紫色线路所示，医技人员在东侧医护出入口进入核医学肿瘤治疗中心一层核医学科医生走廊，负责操作 PET 影像设备的医技人员进入 PET 影像控制室，因给待检人员摆位需要由控制室出入 PET 影像机房。

医护人员在东侧医护出入口进入核医学肿瘤治疗中心一层核医学科医生走廊，通过走廊进入入口大厅经卫生通过间进入分装/注射准备室，在分装/注射准备室内进行分装、注射等操作，结束后通过卫生通过间出去。医护人员操作非密封放射源前，拟穿戴防护用品后进入高活区（分装/注射准备室），工作结束经检测表面污染合格后，方能回到低活区。

（2）患者的进出路线

如图 9-21 中绿色线路所示，入口大厅候诊区候诊，叫号后从核医学科西侧缓冲间北面入口门禁进入，前往注射室接受注射，注射后进入注射后候诊室等待，等待相应时间后进入 PET 影像扫描机房检查，检查完毕无身体不适的从东南侧患者出口离开。

（3）PET 检查药物路线

如图 9-21 中洋红色线路所示，医院自制的 PET 影像检查用药物从西南侧药梯进入以及外购所需的 PET 影像检查用药物从核医学科西南侧药物出入口门禁进入，进入患者走廊后通过传递窗进入分装/注射准备室，一般情况下直接放于氟分装柜内，如有需要暂存于储源间。特别要指出的是，药品的进入时间应控制在非开诊时段，如每天开诊前。

(4) 放射性固体废物路线

如图 9-21 中黄色路线所示，分装/注射准备室设置有脚踏式放射性废物收集桶，项目运行过程产生的可能沾有放射性物质的一次性手套、注射器等固体废物，经收集后经过注射室定期送至核医学肿瘤治疗中心一楼患者通道西侧尽头的固废间暂存衰变，待其所含放射性核素活度衰变至低于相应核素在 GB 18871-2002 清洁解控水平推荐限值及 HJ 1188-2021 第 7.2.3.1 款要求后，按一般医疗废物处理。

3、二层工作场所

(1) 工作人员路线

SPECT/CT 检查项目工作人员主要分操作 SPECT/CT 设备的医技人员及负责药品分装、注射等操作的医护人员。如图 9-22 中绿色线路所示，医技人员从东北侧 2 号医生电梯进入核医学肿瘤治疗中心二层核医学科医生走廊，通过核医学候走廊进入控制室操作，因给待检人员摆位需要由控制室出入 SPECT/CT 机房。

如图 9-22 中蓝色线路所示，医护人员经医生走廊从候诊大厅进入分装/注射准备室，在分装/注射准备室内进行淋洗、分装，将分装后的药品转移至注射窗口，给待检人员注射，结束后通过卫生通过间出去。医护人员操作非密封放射性物质前，拟穿戴防护用品，工作结束经检测表面污染合格后，方能回到低活区。

(2) 患者的进出路线

如图 9-22 中紫色线路所示，从西北侧的电梯或者楼梯进入候诊区候诊，叫号后从核医学科西侧缓冲间北面入口门禁进入，前往注射室接受注射，如需开展运动负荷检查则先到运动负荷室运动再接受注射，注射后进入注射后候诊室等待，等待相应时间后进入 SPECT/CT 扫描机房检查，检查完毕无身体不适的从东南侧 3 号患者电梯离开，用药后如有不适则进入留观室处理，然后再从 3 号患者电梯离开。

(3) SPECT 检查药物路线

如图 9-22 中洋红色线路所示，医院自制的检查用药物从西南侧药梯进入，进入患者走廊后通过储源间传递窗进入分装/注射准备室，一般情况下直接放于铊分装柜内，如有需要暂存于储源间。特别要指出的是，药品的进入时间应控制在非开诊时段，如每天开诊前。

(4) 放射性固体废物路线

如图 9-22 黄色路线所示，铊分装/注射准备室、铊注射室设置有脚踏式放射性废

物收集桶，项目运行过程产生的可能沾有放射性物质的一次性手套、注射器等固体废物，锔分装/注射准备室的放射性废物经收集后经服药室定期送至核医学肿瘤治疗中心二楼患者通道西侧尽头的固废间暂存衰变，锔注射室的放射性废物则定期收集后直接送至二楼患者通道西侧尽头的固废间暂存衰变，待其所含放射性核素活度衰变至低于相应核素在 GB 18871-2002 清洁解控水平推荐限值及 HJ 1188-2021 第 7.2.3.1 款要求后，按一般医疗废物处理。

4、三层工作场所

(1) 工作人员路线

^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 治疗项目工作人员主要为负责药品分装、注射等操作的医护人员， ^{131}I 药品的分装采取远程控制自动分装，控制台设在核医学科北侧医生走廊电控室（备餐间的西侧）。如图 9-23 中蓝色线路所示，医护人员通过东北侧 2 号医生电梯进入核医学肿瘤治疗中心二层核医学科医生走廊，进入卫生通过间再进入分装/注射准备室，在分装/注射准备室内进行分装前期准备，结束后通过卫生通过间出去到电控室进行操作。 ^{177}Lu 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 采取注射放射治疗，医护人员在分装/注射准备室通过注射窗台进行注射。医护人员操作非密封放射源前，拟在卫生通过间穿戴防护用品后进入高活区（分装/注射准备室），工作结束经检测表面污染合格后，方能回到低活区。特别需要强调的是， ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 等放射性药物不同时使用，应错开使用时间。

(2) 甲癌及 ^{177}Lu 治疗患者的进出路线

如图 9-23 中紫色线路所示，从西北侧的电梯进入护士站候诊，叫号后从核医学科北侧患者入口门禁进入患者走廊，前往注射服药室进行服药或注射，服药或注射后进入相应的甲癌住院病房（病房区有门禁控制），住院一段时间满足出院标准后从病人出口离开。

(3) 甲亢治疗、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 治疗患者的进出路线

如图 9-23 中绿色线路（甲亢治疗）、粉色线路（ ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 治疗）所示，西北侧的电梯进入护士站候诊，叫号后从核医学科北侧患者入口门禁进入患者走廊，前往注射服药室进行服药或注射，用药后如没有不适则从东南侧病人出口离开，用药后如有不适则进入留观室处理，然后再从 3 号患者电梯离开。

(4) 药物路线

如图 9-23 中洋红色线路所示，医院自制的治疗用药物以及外购所需的治疗用药物均从西南侧药梯进入，通过候诊大厅从储源间传递窗进入分装/注射准备室，一般情况下直接放于分装柜内，必要时暂存于储源室。特别要指出的是，药品的进入时间应控制在非开诊时段，如每天开诊前。当注射服药室内没有开展 ^{131}I 服药活动时，才可开展 ^{177}Lu 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 药品注射活动。

(5) 放射性固体废物路线

如图 9-23 黄色路线所示，分装/注射准备室、注射服药室等处设置有脚踏式放射性废物收集桶，项目运行过程产生的可能沾有放射性物质的一次性手套、纸杯、注射器等固体废物，经按不同核素分别收集后定期送至患者通道北侧东边的固废间暂存衰变（分装/注射准备室的东侧，治疗项目专用），待其所含放射性核素活度衰变至低于相应核素在 GB 18871-2002 清洁解控水平推荐限值及 HJ 1188-2021 第 7.2.3.1 款要求后，按一般医疗废物处理。

综上所述，本项目工作人员的进出路线和患者的进出路线满足相互独立的要求，工作场所布局设计合理，流程清晰，满足互相独立的要求。

9.3 放射性同位素性能参数

本项目使用的放射性同位素性能参数见表 9-1。

表 9-1 本项目使用的放射性同位素性能参数

核素	半衰期	衰变模式	毒性	主要射线能量 (MeV)
^{18}F	109.8min	β^+ , EC	低毒	γ : 0.511
^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	66h	β (100%)	中毒	β : 1.215, γ : 0.740
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	IT(100%)	低毒	γ : 0.140
^{131}I	8.02d	β (100%)	中毒	β : 0.602, γ : 0.364
^{89}Sr	50.53d	β (100%)	中毒	β : 0.5846
^{68}Ga	68.3min	β^+ , EC	低毒	γ : 0.511
^{177}Lu	6.73d	β (100%)	中毒	γ : 0.2084
^{68}Ge	271d	EC	中毒	γ : 0.0092
^{223}Ra	11.4d	α	极毒	α : 5.8713; β : 0.427; γ : 0.0117,0.0838,0.2695

9.4 源项分析

9.4.1 核医学诊疗及药物制备

9.4.1.1 正常工况

由前文工作流程分析可知，X- γ 射线外照射将伴随核素在核医学诊疗及药物制备项目整个开展过程中，包括供药、分装、注射（服药）、回旋生产标记物及自动分装等过程。受诊者注射（服药）放射性药物后，本身短时间内也成为“辐射源”，随着患者的移动，将对周围环境造成辐射影响，排泄物成为放射性污染物。在诊疗过程产生的固体废物也可能受放射性污染而成为放射性固体废物。正常运行时，核医学项目主要污染因子包括：

1、辐射

(1) γ 射线贯穿辐射

①本项目涉及的核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{68}Ga 、 ^{177}Lu 等在衰变时会伴随产生 γ 射线，在进行药物生产、贮存、分装、注射（服药）等操作时，对周围环境产生 γ 射线贯穿辐射影响。

②患者注射（服用）放射性药物后，本身短时间内是一个辐射体（源），对周围的环境可能造成 γ 射线贯穿辐射影响。

③进行 SPECT/CT、PET/CT、PET/MRI 扫描时，受诊病人身体中的放射性核素产生的 γ 射线将对操作人员造成 γ 外照射影响。经过机房的屏蔽， γ 射线或 CT 运行产生的 X 射线可能仍有一定的泄漏，环境影响途径为 γ 射线贯穿辐射影响。

④在病人留观、抢救及住院时所在病房周围停留的操作人员和患者可能受到核素释放出的 γ 射线贯穿辐射影响。

⑤工作人员操作 ^{68}Ge 密封源进行校准作业时会对操作人员造成 γ 射线贯穿辐射影响。

(2) β 射线

本项目使用的 ^{89}Sr 、 ^{99}Mo 、 ^{131}I 、 ^{68}Ga 、 ^{177}Lu 等核素衰变时会发射 β 射线， β 射线穿透力很弱，在组织内穿透距离很短，不会对环境产生明显影响。

(3) 放射性表面污染

放射性药物在分装、注射、服用等活动过程中，可能会引起工作台、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，造成放射性表面污染。

(4) X 射线

项目 SPECT/CT 及 PET/CT 设备配套使用的 CT 装置在开机并处于出线状态时会

发出 X 射线，可能对机房周围环境产生 X 射线外照射影响。

(5) 中子

回旋加速器利用高能氢离子(H)轰击靶的过程中，氢离子(H)会与靶发生核反应在产生放射性核素的同时也会产生中子，因此中子也是在回旋加速器生产正电子核素过程中的主要污染因子。

(6) α射线

该项目使用的 ^{223}Ra 核素衰变过程会发射α粒子，α射线射程短，且容易屏蔽，可不考虑外照射影响。但需防止吸入内照射影响，以及操作不当产生α表面污染。

2、放射性固体废物

主要是放射性药物操作使用过程中沾染放射性药物的固体废物，包括一次性注射器、棉签、滤纸、手套、一次性水杯、更换下来的废活性炭、未用完的 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 柱等。

①SPECT/CT 检查项目，每天 60 人次（满负荷时），每人每次预计产生一次性注射器、口罩、手套以及擦拭废物等 0.05kg 计，年工作时间按 250 个工作日计算，则 SPECT/CT 检查项目放射性固体废物年产生量为 750kg/a。

②PET/CT、PET/MRI 检查项目，每天 50 人次（包括 ^{68}Ga ），每人每次预计产生一次性注射器、口罩、手套以及擦拭废物等 0.05kg 计，年工作时间按 250 个工作日计算，则 PET/CT 检查项目放射性固体废物年产生量为 625kg/a。

③甲亢治疗项目，每年治疗 2500 人次，每人每次预计产生一次性水杯以及纸巾等 0.02kg 计，则甲亢治疗项目放射性固体废物年产生量为 50kg/a。

④甲癌治疗项目规划全年治疗人数 600 例，住院前服药产生的一次性水杯以及纸巾等 0.02kg/人次计，则甲癌治疗项目放射性固体废物年产生量为 12kg/a。

⑤ ^{89}Sr 治疗项目，每年治疗 200 人次，每人每次预计产生一次性注射器、手套以及擦拭废物等 0.05kg 计，则 ^{89}Sr 治疗项目放射性固体废物年产生量为 10kg/a。

⑥ ^{177}Lu 治疗项目规划全年治疗人数 50 例，每人每次预计产生一次性注射器、手套以及擦拭废物等 0.05kg 计，则 ^{177}Lu 治疗项目放射性固体废物年产生量为 2.5kg/a。

⑦废活性炭，根据医院提供资料，项目核医学每年更换下来的废活性炭约 100kg。未用完的 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 柱若干均返回厂家。

⑧回旋加速器日常维修、保养过程中会产生高活性废弃件，如废靶部件、剥离膜、

靶膜限束光栏、偏转磁铁等，年产生量约为 0.5kg。

⑨在正电子药物合成过程中产生少量的沾污放射性核素的硅胶、树脂、氧化铝、滤膜及过滤柱、废滤芯等放射性固废。正电子药物分装过程中产生的废试剂瓶、棉签、注射器等放射性固废。质检过程中产生少量吸附滤纸放射性固废。放射性固废年量约为 30kg。

⑩ ^{226}Ra 治疗项目，每年治疗 1000 人次，每人预计产生一次性注射器、手套以及擦试废物等 0.05kg 计，则 ^{226}Ra 治疗项目放射性固体废物年产生量为 50kg/a。

综上，核医学诊疗及药物制备项目每年预计产生上述含放射性固体废物 1630kg。

3、废放射源

^{68}Ge 校准源使用一定时限不再使用后，产生报废密封放射源，交由放射源生产单位回收处置。

4、放射性废水

项目药品按需采购、按需使用，原则上当天制备、当天用完，不存在废弃放射性液体（如特殊情况剩余放射性药品，不得随意倒入废水系统，应暂存于分装柜中直至满足清洁解控水平）。项目放射性废水主要为患者注射（服用）放射性药物后产生的排泄物及冲洗水等含有放射性核素的废水，核医学科工作场所日常清洁去污的废水。

该项目设置有 2 套放射性废水衰变池，其中氟锿衰变池主要收集负一层、一层、二层场所产生的短半衰期核素放射性废水，主要为注射后候诊室及留观抢救室产生的放射性废水，以及工作场所清洁排水。一层、二层场所诊断项目日检查人数最大共计 110 人，每位受检者在待检期间产生废水量 10L/人，负一层、一层、二层场所每天清洁排水共计 200L，则氟锿衰变池每天收集废水 1.3m³，全年按 250 个工作日算，则全年氟锿废水量 325m³。

碘衰变池主要收集三层场所 ^{131}I 及 ^{177}Lu 治疗项目产生的放射性废水。从偏保守考虑，甲癌治疗（含 ^{177}Lu 治疗）住院每天都满负荷运行，住院每人每天用水定额取 150L（6 间双人病房共计 12 人）；甲亢治疗规划每天 10 人，一般情况下服药后即直接离开核医学，特殊情况下才会进抢救/观察室处理，才可能产生含碘-131 废水排放，则保守估计三楼区域清洁用水、卫生通过间洗手及淋浴、甲亢治疗等排水按每天 200L 计，保守也按每天都开展治疗。综上所述，碘衰变池每治疗日收集废水 2.0m³，则全

年废水量 730m³。

⁸⁹Sr、²²⁶Ra 核素采取门诊治疗方式，注射后即离开，不在核医学科排泄。

综上，核医学科场所每年预计产生含放射性废水量 1055m³。**项目放射性废水影响评价详见 10.4 章节。**

5、放射性废气

放射性药物在分装、服药过程中因裸露会发生微量挥发，进而形成微量气态放射性物质；回旋加速器运行时，机房内的空气受到中子照射后会产生短半衰期的感生放射性气体。。本项目核医学工作场所拟设置良好的通风，工作场所的气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。碘-131 治疗住院病房拟设单独的通风系统，病房的门窗应有封闭措施，保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气经单独的排气管道有组织排放。放射性物质的分装操作在密闭的分装柜中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。分装柜设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭过滤装置。放射性废气在经高效活性炭过滤吸附装置过滤后，在高于屋顶处排放。

9.4.1.2 非正常工况

(1) 由于管理不善，放射性药物、放射源被盗、丢失。

(2) 在转移过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的意外泄漏，造成台面、地面辐射污染。

(3) 患者服药时意外泄漏，造成台面、地面辐射污染。

(4) 工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外附加照射剂量。

(5) 放射性固体废物未达到解控水平或排放标准即进行处理。

9.4.2 放射治疗项目

9.4.2.1 正常工况

1、X 射线外照射

螺旋断层放射治疗系统、X 线立体定向放射治疗系统应用 X 射线进行治疗、定位，治疗剂量与剂量率的大小、加速器电子能量、受照射的靶体材料、电子束流强度、电子入射方向、考察点到源的距离等因素有关。拟配置的螺旋断层放射治疗系统、X 线立体定向放射治疗系统的 X 射线最大能量均为 6MV，等中心点 X 射线最大剂量率最

大输出剂量率分别为 1060cGy/min、1000cGy/min，由于 X 射线的贯穿能力极强，将对工作人员、公众及周围环境辐射造成辐射污染。**具体源强数据见表 11。**

(2) 废靶物件

设备根据实际使用情况更换靶，废靶由生产厂家回收。

(3) 其他非辐射因子

电子加速器治疗过程中产生的 X 射线，会使治疗机房内的空气产生电离，产生少量臭氧和氮氧化物，臭氧和氮氧化物可通过排风系统排出治疗室，臭氧的半衰期为 22~25 分钟，常温下可自行分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小。

综上所述，医院拟用螺旋断层放射治疗系统、X 线立体定向放射治疗系统产生的辐射源项主要为 X 射线。

9.4.2.2 非正常工况

(1) 机房防护门安全联锁装置发生故障情况下，人员误入正在运行的加速器机房而造成误照射。

(2) 工作人员或病人家属在机房防护门关闭后尚未撤离加速器机房，会对工作人员或病人家属产生不必要的照射。

(3) 工作人员在加速器机房内为患者摆位或其他准备工作，控制台处操作人员误开机出束，发生事故性出束，对工作人员造成辐射伤害。

(4) 控制系统出现故障，照射治疗不能停止，病人受到计划外照射。

(5) 维修期间的事故，维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

9.5 劳动定员及工作分配情况

项目建设后，劳动定员规划共 26 人，各项目工作均为排班轮流操作，实行 8 小时工作制度，年工作日 250 天（核素治疗住院医护人员按 300 天）。本项目辐射工作人员不会同时承担旧址核医学科相关辐射工作。各项目工作人员分配情况见表 9-2。

表 9-2 核医学科各项目工作人员分配情况

序号	项目	操作工序	操作时间	次数/年	人员配置
1	SPECT/CT 检查项目	淋洗、分装操作	30s/人次	15000 人次	3 人轮流
		药品转移	30s/人次		
		注射	30s/人次		
		机房内摆位	30s/人次		4 人轮流
		控制室内操作	30min/人次		
2	PET 检查项目	分装操作	30s/人次	12500 人次	2 人轮流

		药品转移	30s/人次		
		注射	30s/人次		
		机房内摆位	30s/人次		4 人轮流
		控制室内操作	20min/人次		
		校准	2min/次	每年 12 次	
3	碘治疗项目	药物接收及放入自动分装仪	5min/次	每年 200 次	
4	甲癌治疗项目	住院查房	60min/天 (含 Lu-177 治疗项目)	300 天/年	3 人轮流
5	⁸⁹ Sr 治疗项目	抽药、转移、注射	2min/人次	200 人次	由碘治疗项目 2 名工作人员轮流负责
6	²²³ Ra 治疗项目	抽药、转移、注射	2min/人次	1000 人次	
7	¹⁷⁷ Lu 治疗项目	抽药、转移、注射	2min/人次	50 人次	
8	回旋加速器制备药物	回旋加速器运行	60min/次	250 次	2 人轮流
		标记物合成、分装及质控	合成及分装 40min/次; 质控 30min/次	250 次	2 人轮流
9	螺旋断层放射治疗系统	螺旋断层放射治疗系统运行	3min/人次	12500 人次	2 人轮流
10	X 线立体定向放射治疗系统	X 线立体定向放射治疗系统运行	3min/人次	7500 人次	2 人轮流

略

图 9-20 负一层工作场所路线示意图

略

图 9-21 一层工作场所路线示意图

略

图 9-22 二层工作场所路线示意图

略

图 9-23 三层工作场所路线示意图

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 评价规模

本次评价项目规模为：使用乙级非密封放射性工作场所 3 处、生产（制备 PET 用放射性药物）乙级非密封放射性工作场所 1 处、使用 II 类射线装置 3 台、使用 III 类射线装置 3 台、使用 V 类密封放射源 3 枚。本项目射线装置列表见表 1-2，使用非密封放射性物质情况见表 1-3，使用密封放射源情况见表 1-4。

10.1.2 辐射工作场所布局及合理性分析

本项目拟新建核医学肿瘤治疗中心楼，为地下 2 层、地面 3 层建筑，其中负一层主要为医用回旋加速器制备药物项目、螺旋断层放射治疗系统项目、X 线立体定向放射治疗系统项目工作场所，负二层为放射性废水衰变池，一层主要为 PET 影像诊断工作场所，二层主要为 SPECT 影像诊断工作场所，三层主要为核素治疗工作场所。核医学肿瘤治疗中心楼各层平面布局示意图详见图 1-7~图 1-9。

（1）地下一层工作场所：最西侧中部为候诊大厅，以最北侧患者通道为起点，纵向由西往东依次为：女卫生间、男卫生间、设备间、护士台、X 线立体定向放射治疗系统控制室、X 线立体定向放射治疗系统设备间、空压机房、库房、热室后室、热室前室、外包间、质控室、缓冲间（靠外包间）、准备间、暂存间、外清室、洁净走廊、洁具间、X 线立体定向放射治疗系统机房、回旋加速器机房、缓冲间（靠回旋加速器机房）、污洗间、缓冲间（靠二更室）、一更室、二更室、换鞋区、螺旋断层放射治疗系统机房、设备间、无菌检测间、缓冲间（靠无菌检测间）、缓冲间（靠阳性对照间南侧）、阳性对照间、准备间、螺旋断层放射治疗系统控制室、螺旋断层放射治疗系统服务器间、螺旋断层放射治疗系统设备间、污水提升间、控制室、医生办公室、值班室。

（2）一层工作场所：西北角为入口大厅，医生走廊北侧由西往东依次为：登记室、阅片室、医生办公室、男更衣室、女更衣室、男卫生间、女卫生间、医护出入口通道；医生走廊南侧由西往东依次为：缓冲间、分装注射准备室、储源间、注射室、卫生通过间、淋浴间、抢救室、问诊/宣教室、PET/CT 设备间、PET/CT 机房、控制室、PET/MRI 设备间、PET/MRI 机房；患者走廊南侧由西往东依次为：保洁室、固废间、VIP 注射后候检室（CT）、注射后候检室（CT）、VIP 注射后候检室（MRI）、

注射后候检室（MRI）、留观室、患者出口通道。

（3）二层工作场所：以最北侧为起点，横向由西往东依次为：问诊/宣教室、登记室、阅片室、会议室、男更衣室、女更衣室、男卫生间、女卫生间、候诊大厅、医生走廊、缓冲间、质控室、分装/注射准备室、储源间、服药室、注射室、卫生通过间、淋浴间、运动负荷室、敷贴室、2间控制室、2间 SPECT/CT 机房、值班室、患者走廊、智能化机房、保洁室、固废间、抢救室、注射后候检室 1、注射后候检室 2、留观室。

（4）三层工作场所：以最北侧为起点，横向由西往东依次为：护士站（宣教）、摄碘率检查室、配药室、办公室、男值班室、女值班室、男更衣室、女更衣室、男卫生间、女卫生间、患者大厅、医生走廊、更衣室、保洁室、抢救室、甲亢留观室、患者入口、储源室、服药室、分装/准备室、卫生通过间、淋浴间、固废间、电控室、备餐间、患者走廊、被服间、患者出口、6间住院治疗病房（甲癌病房）。

本项目核医学肿瘤治疗中心楼为新建独立、专用的辐射项目用房，其中核医学科工作场所包括正电子标记物制备场所、核医学诊断场所、核素治疗场所。控制区内储源、分装、注射（服药）等高活功能房间集中布置，防止了交叉污染，减小了放射性药物、放射性废物的存放范围；设置有专门的给药后候检室、留观/抢救室、住院病房等房间，并通过单向门禁和受控门禁限制给药后患者的活动空间；核医学工作场所设置单向门禁、受控门，进入核医学科控制区前进行指导和提醒，通过语音叫号、路线指引、警告标识和视频监控等措施，能够有效控制无关人员随意进入核医学控制区和给药后患者随意流动，避免公众、工作人员受到不必要的外照射；设置有卫生通过间，设有冲洗设施和表面污染监测设备，控制区内设有给药后患者的专用卫生间。通过管理要求，甲癌病房服药及 Lu-177 注射期间，服药室外不能有人活动，以尽可能降低大剂量放射性药品使用过程中对周围人员的影响。综上所述，本项目核医学工作场所布局能满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于布局的要求。

本项目螺旋断层放射治疗系统项目、X 线立体定向放射治疗系统等放射治疗设施集中建在该楼最底部的一侧，可划分控制区、监督区，机房建设了满足屏蔽有用线束、漏射线、散射线的墙体及防护门；采取隔室操作。综上所述，本项目放射治疗工作场所能满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中关于工作场所布局的

要求。

10.1.3 辐射安全管理系统

工作场所各出入口处设置了单向门禁，根据患者单向流动不回流的走向考虑，入门后不可返回；在常闭门处设置了门锁权限；储源室设置双人双锁。医院拟在工作场所设置摄像头，能让医护人员全方位的监控到实时动态。拟在工作场所适当位置设置语音呼叫系统。按照排号顺序，通过接诊叫号，根据科室的语音提示，按秩序进入核医学场所，未叫号的患者不能进入核医学场所控制区，避免产生交叉污染。通过以上登记及管理接诊的方式，可以严密控制患者接诊的秩序，降低服药患者之间的影响，同时核医学接诊口的工作人员可以控制公众不靠近核医学入口，降低公众的居留时间。核医学场所内地面或墙体上张贴患者路径标识，指示患者进入相应区域。

本项目核医学肿瘤治疗中心楼各楼层门禁、监控、语音呼叫等安全设施布设示意图见图 10-1~图 10-4。

10.1.3 辐射屏蔽设计

1、屏蔽材料

该项目工作场所采用混凝土、硫酸钡、铅板和铅玻璃等作为主要屏蔽材料。混凝土密度不低于 2.35g/cm^3 ，实心砖密度不低于 1.65g/cm^3 ，硫酸钡密度不低于 3.2g/cm^3 ；防护门采用内衬铅板；观察窗采用铅玻璃观察窗，注射采用一体式注射防护台；分装柜、废物桶等为铅防护。

2、业务用房屏蔽设计方案

根据建设单位提供的资料，项目机房的构成和各屏蔽设计参数见表 10-1~图 10-4，机房平面及立面防护设计见图 10-5~图 10-10。

表10-1 回旋加速器机房辐射防护设计一览表

机房名称		回旋加速器机房
机房几何尺寸	净面积 (m ²)	7.2×6.1=43.9
	净空高 (m)	4.2
	净体积 (m ³)	184.3 (不含迷道)
屏蔽体厚度(cm)	东墙	100cm 砼
	南墙	100cm 砼

	西墙	100cm 砼
	北墙	250cm 砼
	机房顶板	100cm 砼
	机房防护门	10mm 铅+15cm 聚乙烯
通风设施	通风装置	机械通风
	通风次数	≥6 次/h

表10-2 螺旋断层放射治疗系统机房辐射防护设计一览表

机房名称		螺旋断层放射治疗系统机房
机房几何尺寸	净面积 (m ²)	7.7×6.8=52.3
	净空高 (m)	3.7
	净体积 (m ³)	193.7 (不含迷道)
迷路几何尺寸	净面积 (m ²)	2×1.5×2+6.8×2=19.6
	净空高 (m)	3.7
	净体积 (m ³)	72.5
屏蔽体厚度(cm)	东墙	150cm 砼
	南墙	150cm 砼
	西墙	250cm 砼
	北墙	迷道外墙为 150cm 砼； 迷道内墙为 150cm 砼；
	机房顶板	180cm 砼
	机房防护门	15mm 铅
通风设施	通风装置	机械通风
	通风次数	≥4 次/h

表10-3 X线立体定向放射治疗系统机房辐射防护设计一览表

机房名称		X 线立体定向放射治疗系统机房
机房几何尺寸	净面积 (m ²)	8×6.5=52

	净空高 (m)	4.1
	净体积 (m ³)	213.2 (不含迷道)
迷路几何尺寸	净面积 (m ²)	3.6×1.8+6.2×2+3.5=22.38
	净空高 (m)	4.1
	净体积 (m ³)	91.7
屏蔽体厚度(cm)	东墙	250cm 砼
	南墙	250cm 砼
	西墙	250cm 砼
	北墙	迷道外墙最小宽为 160cm 砼、最大宽为 250cm 砼； 迷道内墙最小宽为 190cm 砼、最大宽为 250cm 砼；
	机房顶板	280cm 砼
	机房防护门	20mm 铅
通风设施	通风装置	机械通风
	通风次数	≥4 次/h

表10-4 一层、二层、三层场所防护设计一览表

序号	房间	长宽高 (m)	面积 (m ²)	墙体	材料及厚度
一层 PET/CT、PET/MRI 等项目场所					
1	PET/MRI 机房	8.1×5.3×5.1	42.9	顶棚	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护窗	15mmPb 铅玻璃
				南侧防护门	8mm 铅板
				西侧防护门	15mm 铅板
2	PET/CT 机房	7.7×5.3×5.1	40.8	顶棚	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护窗	15mmPb 铅玻璃
				南侧防护门	8mm 铅板
				东侧防护门	15mm 铅板
				北侧防护门	10mm 铅板
3	抢救室	4.6×2.5×5.1	11.5	顶棚	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡

				四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	8mm 铅板
4	卫生通过间（含淋浴间）	2.9×2×5.1	5.8	顶棚	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				北侧防护门	3mm 铅板
5	分装注射准备室	4.2×4.5×5.1	18.9	顶棚	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门（靠卫生通过间）	10mm 铅板
				防护门（靠抢救室）	10mm 铅板
6	储源室	2.2×1.8×5.1	3.9	顶棚	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	10mm 铅板
				传递窗	30mmPb
7	注射室	2.2×2.2×5.1	4.8	顶棚	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				北侧防护门	10mm 铅板
				南侧防护门	8mm 铅板
8	保洁室	3×1.6×5.1	4.8	顶棚	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	4mmPb 铅板
9	固废间	3×2.2×5.1	6.6	顶棚	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	8mm 铅板
10	VIP 注射后侯检室（CT）（含卫生间）	（3×2.3+1.7×1.4）×5.1	9.2	顶棚	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	8mm 铅板
11	注射后侯检室（CT）（含卫生间）	（3×4.5+1.7×1.4）×5.1	15.8	顶棚	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	8mm 铅板
12	VIP 注射后侯检室（MRI）（含卫生间）	（3×2.3+1.7×1.4）×5.1	9.2	顶棚	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	8mm 铅板
13	注射后	（3×4.5+1.7×1.4）×5.1	15.8	顶棚	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡

	候检室 (MRI) (含卫生间)	7×1.4) ×5.1		地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	8mm 铅板
14	更衣室	2×1.4×5.1	2.8	顶棚	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	8mm 铅板
15	留观室 (含卫生间)	(3×4.2+2 ×1.4) ×5.1	15.4	顶棚	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	8mm 铅板
16	患者走廊	/	/	顶棚	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	/
				防护门 (靠西侧缓冲间)	8mm 铅板
				防护门 (靠药物出入口)	8mm 铅板
				防护门 (靠控制室)	15mm 铅板
				防护门 (靠东侧出口缓冲)	8mm 铅板
二层 SPECT/CT 等项目场所					
17	SPECT 机房	8.1×5.3×5.1	42.9	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				北侧防护门	5mm 铅板
				南侧防护门	5mm 铅板
				防护窗	5mmPb 铅玻璃
18	SPECT 机房	8×5.3×5.1	42.4	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				北侧防护门	5mm 铅板
				南侧防护门	5mm 铅板
				防护窗	5mmPb 铅玻璃
19	卫生通过间 (含淋浴间)	2.9×2×5.1	5.8	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				北侧防护门	3mm 铅板
20	运动负荷室	3.8×2×5.1	7.6	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡

				四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				南侧防护门	5mm 铅板
21	分装/注射准备室	(4.5×4.1+3.2×1.3)×5.1	22.6	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门(靠卫生通过间)	6mm 铅板
				防护门(靠运动负荷室)	6mm 铅板
22	质控室	3×3×5.1	9	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	6mm 铅板
23	储源室	2.2×1.8×5.1	3.9	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	6mm 铅板
				传递窗	5mmPb
24	服药室	3.3×2.2×5.1	7.2	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				北侧防护门	6mm 铅板
				南侧防护门	5mm 铅板
25	注射室	2.2×1.8×5.1	3.9	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	5mm 铅板
26	保洁室	3×1.6×5.1	4.8	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	3mm 铅板
27	固废间	3×2.2×5.1	6.6	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	5mm 铅板
28	抢救室	4.2×3×5.1	12.6	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	5mm 铅板
29	注射后候检室 1	(6.3×3+1.7×1.4)×5.1	21.4	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡

	(含卫生间)			四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	5mm 铅板
30	注射后候检室 2 (含卫生间)	(6.3×3+1.7×1.4)×5.1	21.4	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	5mm 铅板
31	留观室 (含卫生间)	5×3×5.1	15	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	5mm 铅板
32	患者走廊	/	/	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 20cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	/
				防护门 (靠西侧缓冲间)	5mm 铅板
				防护门 (靠西侧药梯)	5mm 铅板
				防护门 (靠东侧出口缓冲)	5mm 铅板
三层 ¹³¹I 等治疗项目场所					
33	固废间	4×2.3×4.5	9.2	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 30cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	15mm 铅板
34	卫生通过间 (含淋浴间)	2.6×1.8×4.5	4.6	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 30cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				北侧防护门	5mm 铅板
35	分装/准备室	5.2×3×4.5	15.6	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 30cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门 (靠西侧服药室)	16mm 铅板
				防护门 (靠东侧卫生通过间)	16mm 铅板
36	储源间	2×1.9×4.5	3.8	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 30cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	16mm 铅板
37	服药室	3×2×4.5	6	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 30cm 混凝土+5cm 硫酸钡

				四周墙体	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				南侧防护门	15mm 铅板
38	患者入口	5.2×2.3×4.5	11.9	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 30cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				北侧防护门	5mm 铅板
				南侧防护门	15mm 铅板
39	甲亢留观室(含卫生间)	5.2×2.5×4.5	13	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 30cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	15mm 铅板
40	更衣间	4.4×1.6×4.5	7	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 30cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				北侧防护门	5mm 铅板
				南侧防护门	15mm 铅板
41	抢救室	3.3×2.6×4.5	8.5	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 30cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				南侧防护门	15mm 铅板
42	保洁室	3.3×1.5×4.5	9.5	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 30cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				南侧防护门	5mm 铅板
43	甲癌病房1(含卫生间)	5.6×4×4.5	22.4	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 30cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	西侧 30cm 混凝土+10cm 硫酸钡, 其余 30cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	15mm 铅板
44	甲癌病房2(含卫生间)	5.6×4.8×4.5	26.8	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 30cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	15mm 铅板
45	甲癌病房3(含卫生间)	5.6×4×4.5	22.4	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 30cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	15mm 铅板
46	甲癌病房4(含卫生间)	5.6×4.1×4.5	22.9	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 30cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡

				防护门	15mm 铅板
47	甲癌病房 5 (含卫生间)	5.6×4×4.5	22.4	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 30cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	15mm 铅板
48	甲癌病房 6 (含卫生间)	5.6×4×4.5	22.4	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 30cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	东侧 30cm 混凝土+10cm 硫酸钡, 其余 30cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	15mm 铅板
49	患者出口出院检测	3.4×2.2×4.5	7.4	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 30cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				西侧防护门	15mm 铅板
				东侧防护门	5mm 铅板
50	被服间	2.7×2.2×4.5	5.9	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 30cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡
				防护门	10mm 铅板
51	患者通道	/	/	顶棚	楼板 30cm 混凝土
				地面	楼板 30cm 混凝土+5cm 硫酸钡
				四周墙体	/
				防护门 (靠西侧保洁室)	15mm 铅板

注：表中PET/CT 机房观察窗等效铅当量mmPb 值是相对于F-18 的 γ 射线能量等效的，SPECT 机房观察窗的等效铅当量 mmPb 值是相对于 Tc-99m 的 γ 射线能量等效的。

3、CT 机房屏蔽设计

由表 10-4 可知本项目 SPECT/CT 及 PET/CT 机房设计符合《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 中对 CT 机房的要求。

4、管线穿墙防护情况

螺旋断层放射治疗系统、X 射线立体定位放射治疗系统、回旋等加速器机房管线穿墙防护情况如下。

(1) 设备线缆管道穿墙：预埋有线缆沟槽，斜 45°角进出的 U 型线缆管道，穿墙大样示意图及电缆走线平面布置示意图见图 10-11~图 10-14。

(2) 加速器机房进排风管穿墙：以 45°斜穿方式穿墙，示意图见图 10-15。

5、分装柜及注射台等屏蔽情况

(1) 负一层正电子药物制备场所 ^{18}F -FDG 合成、分装热室屏蔽厚度如下：5 个

合成热室、1个分装热室均统一采用正面采用 75mmPb，其余五面 65mmPb 的屏蔽设计，观察窗位于热室正面，其屏蔽防护等效于 75mm 的铅当量；质控室通风柜防护能力为 40mmPb。

(2) 一层氟分装室内的氟分装柜（1个）采取整体屏蔽能力为 60mmPb。

(3) 二层锝分装室内的锝分装柜（1个）整体辐射屏蔽能力为 20mmPb。

(4) 三层碘分装室内的碘分装柜（1个）整体辐射屏蔽能力为 40mmPb。

项目一层拟设置的氟注射窗台整体防护设计能力为 40mmPb，二层拟设置的锝注射窗台防护设计能力为 10mmPb；三层镱注射窗台整体防护设计能力为 20mmPb。

该项目拟用分装柜及注射台防护设计示意图见图 10-16~图 10-21。

6、防护设备和个人防护用品

该项目工作场所拟配置的防护设备和个人防护用品如表 10-5 所示。

表 10-5 工作场所拟配置的防护设备和个人防护用品

防护用品名称	规格	数量
个人剂量报警仪	/	10 台
铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜	0.5mmPb	12 套
铅手套	0.5mmPb	5 套
手提铅盒	/	6 个
氟注射器防护套	18mmPb	3 套
锝注射器防护套	5 mmPb	3 套
镱注射器防护套	20mmPb	1 套
废物铅箱	10mmPb、20mmPb	各 10 个
辐射防护检测仪	/	4 台
表面污染监测仪	/	4 台
铅屏风	10mmPb	甲癌住院病房 6 张、一楼注射后候诊室 2 张、二楼注射后候诊室 4 张。
活度计	/	5 台

10.2 工作场所分级、分区

10.2.1 非密封源工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 C 提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法，可以计算出各核素的日等效最大操作量。

日等效最大操作量的计算公式如下：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \quad (\text{式 } 10-1)$$

根据式 10-1 计算得到的日等效操作量及分级结果见表 10-6（场所名称前缀默认在核医学肿瘤治疗中心楼）。

表 10-6 非密封源工作场所分级

场所名称	核素名称	日实际最大操作量 (Bq)	毒性因子	操作因子	日等效最大操作量 (Bq)	叠加日等效最大操作量 (Bq)	分级
一层	¹⁸ F	3.7×10^{10}	0.01	10	3.7×10^7	4.81×10^7	乙级
	⁶⁸ Ga	1.11×10^{10}	0.01	10	1.11×10^7		
二层	⁹⁹ Mo (^{99m} Tc)	4.8×10^{10}	0.1	100	4.8×10^7	9.6×10^7	乙级
	^{99m} Tc	4.8×10^{10}	0.01	10	4.8×10^7		
三层	¹³¹ I	3.7×10^9	0.1	1	3.7×10^8	3.72×10^9	乙级
	¹³¹ I	2.22×10^{10}	0.1	1	2.22×10^9		
	⁸⁹ Sr	9.25×10^8	0.1	1	9.25×10^7		
	¹⁷⁷ Lu	7.4×10^9	0.1	1	7.4×10^8		
	²²³ Ra	3.0×10^7	10	1	3.0×10^8		
负一层	¹⁸ F	8.88×10^{10}	0.01	1	8.88×10^8	8.88×10^8	乙级

根据表 10-6 可知，该项目核医学肿瘤治疗中心楼每一层核医学应用场所均按照乙级非密封源工作场所进行管理。

10.2.2 非密封源工作场所用房室内表面及装备结构等放射防护要求

该项目工作场所分装室、甲癌住院病房、标记物合成场所按 I 类场所装修，其余场所按 II 类装修。具体为：分装室、注射室、服药室、留观/抢救室、住院病房、注射后候诊室、扫描检查机房、储源室、合成热室等用房均建设带辐射防护功能的墙体及门窗，地面进行无缝装修，地面与墙壁间无缝隙，易清洗；分装室设置有分装柜，场所设有强制排风系统，放射性废水排放管道已按照尽可能短路径设计，场所均设有脚踏式洗手盆。综上所述，该场所用房室内表面及装备结构的建设能满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中关于不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求。

10.2.3 工作场所分区管理

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，辐射工作场所可分为控制区、监督区。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措

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

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）4.3 辐射工作场所分区要求，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。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中 5.3 节分区原则，5.2.1 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。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）。

本项目核医学肿瘤治疗中心楼每一层场所具体分区示意图见图 10-22~图 10-25。

1、核医学肿瘤治疗中心负一层项目场所分区

（1）控制区包括：X 线立体定向放射治疗系统机房、螺旋断层放射治疗系统机房、回旋加速器机房、热室后室、热室前室、外包间、缓冲间（5 间）、质控室、准备间（2 间）、暂存间、外清间、洁具间、洁净走廊、污洗间、一更室（3 间）、二更室（2 间）、换鞋间、无菌检测间、阳性对照间等区域划为控制区（图 10-22 红色区域）。

（2）监督区包括：X 线立体定向放射治疗系统控制室、X 线立体定向放射治疗系统设备间、空压机房、库房、螺旋断层放射治疗系统控制室、螺旋断层放射治疗系统服务器间、螺旋断层放射治疗系统设备间、医生电梯、卫生间、污水提升间、回旋加速器控制室、回旋加速器设备间、无菌用品间东侧通道、核医学肿瘤治疗中心南侧通道、核医学肿瘤治疗中心西侧南段通道、核医学肿瘤治疗中心北侧通道、等控制区相邻的区域划为监督区（图 10-22 蓝色区域）。

2、核医学肿瘤治疗中心一层核医学科项目场所分区

（1）控制区包括：缓冲间、分装/注射准备室、卫生通过间（含淋浴间）、储源室、注射室、抢救室、PET/CT 机房、PET/MRI 机房、患者走廊、出口缓冲区、保洁室、固废间、VIP 注射后候诊室（CT，含卫）、注射后候诊室（CT，含卫）、VIP

注射后候诊室（MRI，含卫）、注射后候诊室（MRI，含卫）、更衣室、留观室（含卫）等区域划为控制区。（图 10-23 红色区域）

（2）监督区包括：入口大厅、问诊/宣教室、PET/CT 设备间、控制室、PET/MRI 设备间、PET/MRI 机房东侧外通道、3 号患者电梯、缓冲间西侧楼梯、核医学肿瘤治疗中心南侧墙外 1m 等控制区相邻区域划为监督区（图 10-23 蓝色区域）。

3、核医学肿瘤治疗中心二层核医学科项目场所分区

（1）控制区包括：缓冲间、质控室、分装/注射准备室、卫生通过间（含淋浴间）、预留治疗室、储源室、服药室、注射室、运动负荷室、SPECT/CT 机房（2 间）、患者走廊、出口缓冲区、保洁室、固废间、注射后候检室 1（含卫）、注射后候检室 2（含卫）、留观室（含卫）等区域划为控制区。（图 10-24 红色区域）

（2）监督区包括：候诊大厅、SPECT/CT 控制室（2 间）、值班室、东侧 SPECT/CT 机房东侧墙外通道、3 号患者电梯、智能化机房、缓冲间西侧楼梯等控制区相邻区域划为监督区（图 10-24 蓝色区域）。

4、核医学肿瘤治疗中心三层核医学科项目场所分区

（1）控制区包括：更衣间、保洁室、抢救室、甲亢留观室（含卫）、患者入口、储源室、服药室、分装/注射准备室、卫生通过间（含淋浴间）、电控室、备餐间、固废间、被服间、患者走廊、出口检测区、甲癌病房（6 间）等区域划为控制区。（图 10-25 红色区域）

（2）监督区包括：外患者通道、医生走廊、通信间、3 号患者电梯、出口检测区西侧通道等控制区相邻区域划为监督区（图 10-25 蓝色区域）。

此外，位于负一层西部下方的放射性废水衰变池相关区域划为控制区，入口处设门禁，并悬挂警示标语及标识，禁止无关人员进入。

综上所述，本项目辐射工作场所分区能满足 GB18871-2002、HJ 1188-2021、HJ 1198-2021 的分区管理要求。

10.3 辐射防护措施

本项目核医学肿瘤治疗中心楼核医学科工作场所拟采取的安全防护措施和设施与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的符合情况见表 10-7，本项目核医学肿瘤治疗中心楼放射治疗项目工作场所拟采取的安全防护措施和设施与《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的符合情况见表 10-8。

表 10-7 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）符合性分析

序号	《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ1188-2021)	本项目情况	是否符合要求
1	<p>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。</p> <p>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。</p>	<p>本项目核医学工作场所位于新建核医学肿瘤治疗中心楼内，为独立、专用区域；不毗邻产科、儿科、食堂等部门，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。</p>	符合
2	<p>6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。</p> <p>6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台帐，及时登记，确保账物相符。</p>	<p>本项目使用的放射性物质一般直接暂存于分装室分装柜内，特殊情况下先暂存于储源室，均有贮存容器；各贮存场所均位于控制区内，采取了屏蔽措施。安排专人管理，建立放射性物质台帐，及时登记，确保帐务相符。定期对各贮存场所进行辐射水平监测并记录，各贮存场所设置门锁及警告标志、警示语句，无关人员不会进入。</p>	符合
3	<p>6.1.3 回旋加速器机房的建造应避免采用富含铁矿物质的混凝土，避免混凝土中采用重晶石或铁作为骨料；不带自屏蔽的回旋加速器应有单独的设备间，机房选择不易中子活化的混凝土材料。</p> <p>6.1.4 回旋加速器机房的电缆管沟、通风管道等穿过屏蔽体时，应采用地沟或 S 型、V 型、Z 型穿过墙壁，并进行屏蔽补偿，确保满足屏蔽体墙外的防护要求。防护门与墙体连接处应进行有效搭接，避免出现防护薄弱环节。</p>	<p>经与建设单位核实，回旋加速器机房混凝土中不采用重晶石或铁作为骨料；拟配置的回旋加速器设备为自带屏蔽型，且有单独的设备间。</p> <p>回旋加速器机房的电缆管沟穿过屏蔽体时，采用地沟及 U 型穿过墙壁；通风管道穿过屏蔽体时，采用斜穿方式穿过墙壁并进行屏蔽补偿；防护门与墙体连接处拟进行搭接不少于 10cm。</p>	符合
4	<p>6.2.1 核医学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应无接缝，易于清洗、去污。</p>	<p>核医学科涉及放射性核素操作设备的表面、工作台台面等拟采用平整光滑设计，室内地面铺设防渗塑胶地板、在墙面施工至少离地 50cm，能够保证地面与墙壁衔接处无接触，易于清洗、去污。</p>	符合
5	<p>6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室</p>	<p>本项目药物采用手动、自动分装或购买按人份分装好的药物，手动及自动分装设备外置具有通风和防护功能的分装柜内（只开 2 个供手伸入操作的窗口，设计有排风系统，操作过程始终处于负压状态，功能类似手套箱，且辐射防护效果更好）；项</p>	符合

	内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。	目配备有药物转运的屏蔽药箱，并为药物操作人员配备防护用品。给药后患者留观室内设置有足够屏蔽厚度的铅屏风，以减少多人候诊室时对其他患者的照射；核素治疗病房内配备铅屏风，病房本身采取了符合要求的屏蔽措施，医护人员主要采用视频和语言查房，以减少对其他患者和医护人员的照射。	
6	6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。	放射性药物操作均在分装室，工作人员出入分装室需经过卫生通过间，配备洗涤去污设施和表面污染检测仪器，药物操作人员和物品离开控制区前进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，将进行清洗去污直至表面污染水平满足控制标准要求。	符合
7	6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。	本项目核医学科配备拟采购配备药物转运铅盒等贮存和转运容器，表面张贴规范的电离辐射标志，在转运时采取药箱盛装等固定措施，防止药物翻倒和跌落。	符合
8	6.2.8 回旋加速器机房应设置门机联锁装置和延时开门措施，机房内应设置紧急停机开关、紧急开门按钮及清场措施，并安装固定式剂量率报警仪。机房门口应有声光报警装置和工作状态指示灯，并与加速器联锁。	本项目回旋加速器机房拟设置门机联锁装置和延时开门措施，机房内设置紧急停机开关、紧急开门按钮及清场措施，并安装固定式剂量率报警仪。机房门口拟设有声光报警装置和工作状态指示灯，并与加速器联锁。	符合
9	9.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。	核医学科 PET/CT、SPECT/CT 等扫描机房门框上方均设置工作状态指示灯，灯箱处设置警示语句，指示灯与防护门联锁。	符合
10	6.3.1 核医学工作场所应保持有良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。	本项目核医学科通风进行了专门的设计通过管线设计及压差控制，能够保证工作场所的气流自清洁区向监督区再向控制区的方向流动，并保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。	符合
11	6.3.2 使用回旋加速器制备放射性药物的工作场所应设有单独的通风系统，加速器自屏蔽区内应有单独排气管道，并相对加速器室呈负压状态。	本项目回旋加速器制备放射性药物的工作场所拟设有单独的通风系统，加速器自屏蔽区内有单独排气管道，并相对加速器室呈负压状态。	符合
12	6.3.3 碘-131 治疗病房应设有单独的通风系统，病房的门窗应有封闭	治疗区碘-131 治疗病房设置有单独的通风系统，住院期间病房门均为封闭状态，	符合

	措施，保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气应经单独的排气管道有组织排放。	控制新风和排风风量保持治疗区域内的负压，最终废气经单独排风管排至屋顶经过滤处理设施处理后有组织排放。	
13	6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。通风橱应有足够的通风能力。碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。	本项目核医学科放射性物质合成、分装、取药操作均在分装柜等密闭设备中进行，分装柜均设置了独立的排风系统，保证柜内负压，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出，并在设备顶壁安装活性炭过滤装置。本项目核医学科碘-131 治疗病房以及设有通风橱等场所的通风系统排气口均高于所在建筑屋顶，排放口远离邻近的高层建筑。	符合

根据上述对照分析结果可知，本项目核医学工作场所采取的辐射安全与防护措施基本符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）相关要求。

表 10-8 项目放射治疗机房辐射防护措施与 HJ 1198-2021 符合性分析

标准防护要求	本项目方案	符合性
6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等： a)放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明； b)放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯； c)控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。	（1）本项目螺旋断层放射治疗系统、X 线立体定向放射治疗系统机房门外设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯； （2）机房内安装监控摄像头和对讲系统，在控制室内能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况，并能双向交流对讲。	符合
6.2.2 含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。	本项目螺旋断层放射治疗系统、X 线立体定向放射治疗系统机房在迷道的内入口设置固定式辐射剂量监测仪，具备异常情况下报警功能，在控制室内设置屏幕显示。	符合
6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施： a)放射治疗室应设置门---机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应	a、螺旋断层放射治疗系统、X 线立体定向放射治疗系统机房设门---机联锁装置，实现防护门未完全关闭时不能出束照射，出束状态下开门设备回到停机状态； b、螺旋断层放射治疗系统、X 线立体定向放射治疗系统机房设置	符合

<p>设有断电自动回源措施；</p> <p>b)放射治疗室应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；</p> <p>c)应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。</p> <p>f)安全连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，任何连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连锁恢复及功能测试。</p>	<p>室内紧急开门装置，防护门设置防夹伤功能；</p> <p>c、本项目控制室、迷道出入口及防护门内侧、治疗室墙壁设置急停按钮；急停按钮安装位置有醒目标识及文字说明。</p> <p>f、项目建成后，医院加强管理，明确要求工作人员做到：安全连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，任何连锁旁路应通过医院辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行连锁恢复及功能测试。</p>	
--	--	--

由表 10-8 可知，本项目螺旋断层放射治疗系统、X 线立体定向放射治疗系统机房按相关标准要求进行了设计，机房的辐射防护措施均符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的要求。

10.4 三废的治理

10.4.1 核医学诊疗项目及正电子标记物制备项目

1、放射性废水

略

(4) 正常工况放射性废水处理

略

(5) 事故工况放射性废水处理

略

① ¹³¹I 事故废水

假设发生事故工况，某次购回的 ¹³¹I 全部发生倾洒，倾洒 ¹³¹I 的活度以 $2.59 \times 10^{10} \text{Bq}$ （日规划最大操作量）计，其中 90%转移固体废弃物中去（按操作规程，应先用药棉等擦去），10%转移到清洗水中去，则这些废水中 ¹³¹I 的含量为 $2.59 \times 10^9 \text{Bq}$ ，大于 ¹³¹I 的 $ALl_{min} = 9.1 \times 10^5 \text{Bq}$ 。因此，这部分废水不可以一次直接排放入医院废水处理系统，需排入核医学科建设的碘衰变池中，待其衰变至 ¹³¹I 的 ALl_{min} 值后，方可排往医院废水处理系统。经估算，倾洒后进入碘衰变池中的 ¹³¹I 需经过约 93 天后可排放。

② ^{99m}Tc 事故废水

假设发生事故工况，某次淋洗出的 ^{99m}Tc 全部发生倾洒，倾洒 ^{99m}Tc 的活度以 $4.8 \times 10^{10}\text{Bq}$ （日规划最大操作量）计，其中 90% 转移固体废弃物中去（按操作规程，应先用药棉等擦去），10% 转移到清洗水中去，则这些废水中 ^{99m}Tc 的含量为 $4.8 \times 10^9\text{Bq}$ ，大于 ^{99m}Tc 的 $\text{ALImin} = 6.9 \times 10^8\text{Bq}$ 。因此，这部分废水不可以一次直接排放入医院废水处理系统，需排入核医学科建设的氟钨衰变池中，待其衰变至 ALImin 值后，方可排往医院废水处理系统。经估算，倾洒后进入氟钨衰变池中的 ^{99m}Tc 需留存 17 小时以上后可排放。

③ ^{18}F 事故废水

假设发生事故工况，某次购回的 ^{18}F 全部发生倾洒，倾洒 ^{18}F 的活度以 $8.88 \times 10^{10}\text{Bq}$ （日规划最大操作量）计，其中 90% 转移固体废弃物中去（按操作规程，应先用药棉等擦去），10% 转移到清洗水中去，则这些废水中 ^{18}F 的含量为 $8.88 \times 10^9\text{Bq}$ ，大于 ^{18}F 的 $\text{ALImin} = 2.15 \times 10^8\text{Bq}$ 。因此，这部分废水不可以一次直接排放入医院废水处理系统，需排入核医学科建设的氟钨衰变池中，待其衰变至 ALImin 值后，方可排往医院废水处理系统。经估算，倾洒后进入氟钨衰变池中的 ^{18}F 需经过 10 小时即可排放。

2、放射性固体废物

放射性固体废物主要包括未用完的 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 柱、一次性注射器、病人服药后的服药杯、吸水纸、棉花、沙布、操作用的手套、废活性炭等物品。旧的 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器一般使用二周后，因放射性活度下降已无实际医用价值，最终是连同原包装容器退回供方。因此，只要医院加强管理，不发生 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器丢失事故，则固态放射性废物—旧的 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器将不会造成环境污染。碘（ ^{131}I ）化钠口服液、 ^{89}Sr 、 ^{177}Lu 等包装容器由生产厂家回收，废 ^{68}Ge 源也由生产厂家回收。

核医学科将一次性注射器、病人服药后的服药杯、吸水纸、棉花、沙布、操作用的手套等固体废物先收集在各自相关工作场所的专用收集箱内，再将收集箱内的固体废物连同垃圾袋分期存放于建于核医学科的放射性污物储存间内。核医学科废气排放口更换下的废活性炭也属于放射性固体废物，更换下的活性炭将存放于衰变箱中，标注活性炭存放日期、存放量等，满足清洁解控水平后作为医疗废物处理。

需要指出的是，医院应加强管理，用来收集放射性固体废弃物的专用收集箱应贴上电离辐射标志，每次收集时收集袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间。收集的固体废物在专用贮存衰变箱内存放衰变，待其所含放射性核素活度衰变至

低于相应核素 GB 18871-2002 清洁解控水平推荐限值及 HJ 1188-2021 第 7.2.3.1 款要求时，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），针对放射性固废的收集、贮存和处理提出如下管理措施要求：

（1）放射性固体废物收集

①按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理；②建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案；③放射性固废收集桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，放置刺破废物袋；④放射性废物每袋重量不超过 20kg，装满废物的塑料袋应密封密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

（2）放射性固废临时贮存和最终处理

①放射性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；②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， 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：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。③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。

由于核医学科放射性固体废物产生量与诊疗患者数量有关，难以精确估计，医院规划配备 20 个带防护功能的废物桶，用于按上述要求收集、暂存放射性固体废物。此外，经与医院核实，医院承诺如规划配置的废物桶数量不能满足上述要求时，将会继续按需求配置，确保放射性固体废物收集及暂存满足标准要求。

3、废放射源

PET 诊断使用的校准源 ^{68}Ge 属于密封放射源，报废后由放射源供应单位回收处置，建设单位应做好废源处置的申报和记录。

4、放射性废气

由污染源分析可知，核医学科放射性同位素使用过程介质为水，操作比较简单，

不经过加热、振荡等步骤。核医学进行分装操作时，为安全起见，在分装柜或自动分装仪中进行操作，不存在食入、吸入等内照射影响。本项目核医学科工作场所设置有独立的排风系统，用于放射性药物分装的分装柜设置单独的排风管道引至该栋楼楼顶，经过活性炭吸附装置过滤后高空排放；碘分装室、服碘室、碘留观/抢救室、甲癌住院病房等，产生的含 ^{131}I 挥发性核素的废气通过专门的排风管道引至该栋楼楼顶，经过活性炭吸附装置过滤后高空排放；项目拟配风机风速不小于 0.5m/s ，并设置活性炭过滤装置。

在控制区各业务用房均拟设置通风设施，排风量大于进风量，保持这些控制区的负压，空气流向为低活区向高活区流动，最后从屋顶排出，排风口高于建筑楼屋顶，并拟设置活性炭过滤装置。项目新风及通风设计满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中第 7.4 款要求，项目场所进风、排风示意图如图 10-34~图 10-43 所示，项目所在楼顶排放系统示意图见图 10-44。

项目放射性废物管理与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的符合情况见表 10-9。

表 10-9 放射性废物管理与 HJ 1188-2021 的符合情况

序号	HJ 1188-2021 的要求	医院拟采取的措施	符合性
1	7.1.1 应根据核医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理。	<p>(1) 废水。本项目核医学科在控制区内均建有给药后病人专用卫生间，排泄物排入废水衰变池暂存衰变；本项目根据核素种类、半衰期、活度水平和理论化性质对病人排泄物进行分类收集处理。将服 ^{131}I 治疗的患者排泄物排入项目碘衰变池，注射、注氟显像患者排泄物排入项目氟衰变池。</p> <p>(2) 固废。已按要求落实收集和处理，具体见 10.4 节中“2”内容。</p> <p>(3) 废气。已按要求落实收集和处理，具体见 10.4 节中“4”内容。</p>	符合
2	7.1.2 应按照废物最小化的原则区分放射性废物与解控废物，不能混同处理，应尽量控制和减少放射性废物产生量。	<p>(1) 废水。核医学工作场所含放射性废水与非放射性废水分开收集处理，如住院治疗病房排泄废水排入放射性废水衰变池，非放射性的洗涤洗漱废水排入普通下水道；</p> <p>(2) 固废。工作场所配置有放射性废物收集箱，用于收集沾有放射性物</p>	符合

		质的废物，非放射性废物不得放入。	
3	7.1.3 核医学实践中产生的短寿命放射性废物，应尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。	<p>(1) 废水。按半衰期长短，分别设置 2 套废水衰变池，其中一套收集处理半衰期较短的氟钨废水，另外一套收集处理碘、镭废水。</p> <p>(2) 固废。本项目使用的核素属于短寿命放射性核素，设置有专门贮存衰变的废物间，集中收集后贮存衰变至放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。</p>	符合
4	7.1.4 应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。	核医学科拟制定相关制度，包括建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。	符合
5	7.2.2.2 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。	本项目放射性废物暂存间均建有独立的通风换气装置，入口处设置电离辐射警告标志，有防火、防丢失、防射线泄漏等措施。	符合
6	7.2.2.3 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。	废物暂存间内设置有专用容器盛放固体放射性废物袋，不同类别废物分开存放；容器表面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。	符合
7	7.2.3.3 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。	拟安排专人负责固体放射性废物的存储和处理，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。	符合
8	7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。	本项目设置有两套槽式放射性废水衰变池，收集放射性药物操作间、给药后患者卫生间等场所产生的放射性废水和事故应急时清洗产生的放射性废水。	符合
9	7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰	经理论预测，本项目设置的衰变池收集的放射性废液正常贮存衰变后能满足排放要求，衰变池配套应急池满足项目放射性事故废水排放需求。项目设计衰变池池体坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠	符合

	变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。	的防泄漏措施。	
10	7.3.2.3 含碘-131 治疗病房的核医学工作场所应设置槽式废液衰变池。槽式废液衰变池应由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为 2 组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上预设取样口。有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。	本项目设有槽式废液衰变池，用于收集项目含碘-131 治疗病房的放射性废水，设计有 3 组槽式池体，交替贮存、衰变和排放废水。每组池体均预设 有 取 样 口 。 衰 变 池 设 计 有 防 止 废 液 溢 出 、 污 泥 硬 化 淤 积 、 堵 塞 进 出 水 口 、 废 液 衰 变 池 超 压 的 措 施 。	符合
11	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 被最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。	本项目衰变池均为槽式衰变池，其中氟钨衰变池收集废水主要为含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的废水， ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素半衰期小于 24 小时，项目含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的废水在钨氟衰变池池中暂存时间为 30 天，大于 30 天；碘衰变池收集的放射性废水在衰变池中暂存时间为 184 天，大于 180 天；项目衰变池均预留有取样口。依据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（国家核安全局，辐射函〔2023〕20 号，2023 年 9 月 11 日），可直接排放。	符合
12	7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。 7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。	核医学放射性药物均在分装室内分装柜内操作，均配设置有通风橱及独立的排风管道，并设置活性炭为过滤装置，排风口高于项目所在楼屋顶。拟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，更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。	符合
10.4.2 放射治疗项目 1、废气 螺旋断层放射治疗系统、X 线立体定向放射治疗系统设备机房内射线与空气作用，可能会产生 O_3 和氮氧化物等有害气体，因此如果治疗室的通风量不够，则有害气体的积累会危害人体的健康。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）要求，放射治疗机房室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不小于 4 次/h，排气口位置不设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。			

螺旋断层放射治疗系统机房通风设施如图 10-34 所示。进风管由防护门上方穿墙进入机房，拟设置斜 45°角穿墙，采用上进风下排风设计，进风管道吊装在机房顶面，在机房内偏北上方分别设置 2 个进风口；在机房内西南角和东南角分别安装排风口，排风口距地面高 0.3m，排风管道拟设置斜 45°角穿墙，废气通过管道进入排风井，最后排到机房所在楼楼顶。由表 10-2 可知，本项目加速器机房容积（含迷路）约为 266m³，拟选取的通风机通风量（未考虑风损）大于 1064m³/h，可满足每小时换气不小于 4 次的要求。综上，螺旋断层放射治疗系统机房通风设计满足 HJ 1198-2021 的要求。

X 线立体定向放射治疗系统机房通风设施如图 10-35 所示。进风管由防护门上方穿墙进入机房，拟设置斜 45°角穿墙，采用上进风下排风设计，进风管道吊装在机房顶面，在机房内偏北上方分别设置 2 个进风口；在机房内西南角和东南角分别安装排风口，排风口距地面高 0.3m，排风管道拟设置斜 45°角穿墙，废气通过管道进入排风井，最后排到机房所在楼楼顶。由表 10-3 可知，本项目加速器机房容积（含迷路）约为 305m³，拟选取的通风机通风量（未考虑风损）大于 1220m³/h，可满足每小时换气不小于 4 次的要求。综上，X 线立体定向放射治疗系统机房通风设计满足 HJ 1198-2021 的要求。

2、固废

（1）螺旋断层放射治疗系统、X 线立体定向放射治疗系统运营过程中换下的废靶均由加速器供应厂家直接回收。

（2）工作人员产生的生活垃圾和办公垃圾不属于医疗废物，医院进行统一收集并交由环卫部门统一处理。

3、废水

本项目不产生废水。

- 略
- 图 10-1 负一层工作场所安全设施设置示意图
- 略
- 图 10-2 一层工作场所安全设施设置示意图
- 略
- 图 10-3 二层工作场所安全设施设置示意图
- 略
- 图 10-4 三层工作场所安全设施设置示意图
- 略
- 图 10-5 负一层工作场所辐射防护平面设计示意图
- 略
- 图 10-6 负一层螺旋断层放射治疗系统机房辐射防护立面设计示意图
- 略
- 图 10-7 负一层回旋加速器、X 线立体定向放射治疗系统机房辐射防护立面设计示意图
- 略
- 图 10-8 一层工作场所辐射防护平面设计示意图
- 略
- 图 10-9 二层工作场所辐射防护平面设计示意图
- 略
- 图 10-10 三层工作场所辐射防护平面设计示意图
- 略
- 图 10-11 三个加速器机房电缆沟穿墙大样图
- 略
- 图 10-12 回旋加速器机房电缆沟布置示意图
- 略
- 图 10-13 螺旋断层放射治疗系统机房电缆沟布置示意图
- 略
- 图 10-14 X 线立体定向放射治疗系统机房电沟布置示意图
- 略
- 图 10-15 负一层三个加速器机房进排风管穿墙示意图

- 略
- 图 10-16 氟分装柜防护设计示意图
- 略
- 图 10-17 钨分装柜防护设计示意图
- 略
- 图 10-18 碘分装柜防护设计示意图
- 略
- 图 10-19 氟注射台防护设计示意图
- 略
- 图 10-20 钨注射台防护设计示意图
- 略
- 图 10-21 镭注射台防护设计示意图
- 略
- 图 10-22 负一层工作场所管理分区示意图
- 略
- 图 10-23 一层工作场所管理分区示意图
- 略
- 图 10-24 二层工作场所管理分区示意图
- 略
- 图 10-25 三层工作场所管理分区示意图
- 略
- 图 10-26 放射性废水衰变池平面设计图
- 略
- 图 10-27 放射性废水衰变池剖面设计图一
- 略
- 图 10-28 放射性废水衰变池剖面设计图二
- 略
- 图 10-29 放射性废水衰变池剖面设计图三

- 略
- 图 10-30 负一层放射性废水排放路线示意图
- 略
- 图 10-31 一层放射性废水排放路线示意图
- 略
- 图 10-32 二层放射性废水排放路线示意图
- 略
- 图 10-33 三层放射性废水排放路线示意图
- 略
- 图 10-34 螺旋断层放射治疗系统机房通风路线示意图
- 略
- 图 10-35 X 线立体定向放射治疗系统机房通风路线示意图
- 略
- 图 10-36 负一层回旋机房及合成场所新风路线示意图
- 略
- 图 10-37 负一层回旋机房及合成场所排风路线示意图
- 略
- 图 10-38 一层工作场所新风路线示意图
- 略
- 图 10-39 一层工作场所排风路线示意图
- 略
- 图 10-40 二层工作场所新风路线示意图
- 略
- 图 10-41 二层工作场所排风路线示意图
- 略
- 图 10-42 三层工作场所新风路线示意图
- 略
- 图 10-43 三层工作场所排风路线示意图
- 略
- 图 10-44 项目所在楼楼顶排风路线示意图

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目在建设期对环境无辐射影响，亦无放射性废气、废水及固体废弃物产生。在建设阶段的环境影响主要为土建施工的影响。

11.1.1 空气环境影响分析

粉尘扬尘的主要来源有：建筑装修材料的运输装卸过程、土建施工过程和工地杂物的清理过程等。

为减少施工时产生的扬尘，在施工过程中应采取有效的防尘、降尘措施：在施工场地的出入口，设置一定的围闭措施拦截尘土的飘散；在施工场地内及附近路面洒水、喷淋，尽量减小扬尘的产生。

11.1.2 水环境影响分析

建设期污水主要来自是施工人员的生活污水。施工人员生活污水来自施工人员日常生活排放，主要为洗涤废水和粪便污水，污染物主要为 COD、NH₃-N、BOD₅、SS 等。施工人员在建设场所进行施工期间，所产生的粪便污水进入医院污水处理系统。

11.1.3 声环境影响分析

施工过程中设备安装、车辆运输、各类施工机械等将对周围环境产生噪声影响。为降低施工期声环境影响，建设单位应采取切实有效的防噪措施，尽可能的降低施工机械设备和运输车辆产生的噪声对周边环境的影响，具体措施如下：

- ①合理安排施工时间；
- ②对施工机械采取消声降噪措施；

通过采取以上措施后，施工噪声可得到较好的控制。

11.1.4 固体废弃物影响

固体废弃物有要为建筑垃圾，为减少工地施工建筑垃圾在堆放和运输过程中对环境的影响，建议车辆运输散体材料和废弃物时，必须密闭、包扎、覆盖，不得沿途漏撒。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 周围辐射剂量率估算

11.2.1.1 螺旋断层放射治疗系统项目

1、关注点设置

螺旋断层放射治疗系统是一种特殊的适形调强放射治疗装置，装置使用 6MV 加速器并带有有用线束区自屏蔽部件，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）的示例，在场所屏蔽计算过程中可忽略患者散射辐射，按屏蔽泄漏辐射考虑机房屏蔽，对有用线束直接投射的区域，也按屏蔽泄漏辐射考虑。螺旋断层放射治疗系统机房外的关注点如图 11-1~图 11-2，各关注点设置情况详见表 11-1。

表 11-1 螺旋断层放射治疗系统机房周围各关注点设置情况

关注点	点位描述	辐射类型	与源点距离 (m)	屏蔽情况
1#	螺旋断层放射治疗系统机房东墙外 30cm (控制室内)	泄漏	8.16	294cm 混凝土
2#	螺旋断层放射治疗系统机房东墙外 30cm (卫生间内)	泄漏	4.35	150cm 混凝土
3#	螺旋断层放射治疗系统机房南墙外 30cm (回旋控制室)	泄漏	6.08	162cm 混凝土
4#	螺旋断层放射治疗系统机房南墙外 30cm (回旋设备间)	泄漏	5.65	150cm 混凝土
5#	螺旋断层放射治疗系统机房防护门外 30cm	散射+泄漏	$R_1=7.28$ (45° 入射), $R_2=5.78$; $R_{\text{漏}}=9.74$	门 15mm 铅板; 隔墙 155cm 混凝土 (漏射)
6#	螺旋断层放射治疗系统机房北侧墙外 30cm	泄漏	9.15	300cm 混凝土
7#	螺旋断层放射治疗系统机房上方更衣室/卫生间地面 30cm	泄漏	3.65	180cm 混凝土

注：关注点设置及辐射类型主要参照 GBZ/T 201.2-2011；射线穿墙有效路径厚度根据 CAD 软件作图获取；防护门关注点 5#受到的散射辐射保守只考虑一次墙面散射。

2、机房的屏蔽核算参数

略

略

图 11-1 螺旋断层放射治疗系统机房周围关注点 (平面)

略

图 11-2 螺旋断层放射治疗系统机房周围关注点 (立面)

表 11-2 6MV 加速器各类辐射在混凝土中的什值层

有用束		90° 漏射线		30°散射线
TVL _l (cm)	TVL (cm)	TVL _l (cm)	TVL (cm)	TVL (cm)
37	33	34	29	26

注：混凝土密度 2.35g/cm³。

参照 NCRP 151 表 B.2，对于密度为 11.35g/cm³ 的铅，6MV 的 X 射线在铅中的什值层 TVL_l=TVL=5.7cm。

④参照 GBZ/T 201.2-2011 的附录 B，X 射线患者受照面积 400cm² 的散射因子见表 11-3。

表 11-3 患者受照面积 400cm² 的散射因子

散射角	6MV
30°	2.77×10 ⁻³
45°	1.39×10 ⁻³

3、估算方法

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）的示例，在场所屏蔽计算过程中可忽略患者散射辐射，按屏蔽泄漏辐射考虑机房屏蔽，对有用线束直接投射的区域，也按屏蔽泄漏辐射考虑。本评价报告在辐射屏蔽核算时，不进行诸物理量之间的转换系数修正，即 1Gy=1Sv。根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）中“4.7 中子屏蔽的考虑因素”，在加速器治疗 X 射线大于 10MV 时，考虑机房的中子屏蔽，本项目拟购的螺旋断层放射治疗系统加速器 X 射线为 6MV。因此，机房防护门的屏蔽可不考虑中子屏蔽，仅考虑 X 射线的屏蔽。

各屏蔽关注点计算主要采用《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）中屏蔽墙的计算公式，具体如下。

(1) 使用什值层屏蔽计算方法

屏蔽厚度 X (cm) 与屏蔽透射因子 B 的相应关系

对于估算出的屏蔽透射因子 B，按式 (11-1) 估算所需屏蔽厚度 X (cm)。

$$X_e = TVL_e \cdot \log B^{-1} + (TVL_l - TVL_e) \dots\dots\dots (11-1)$$

TVL₁ 和 TVL_e 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。

(2) 不同辐射的屏蔽估算方法

(a) 有用线束和泄漏辐射的屏蔽和剂量估算

主射、漏射辐射在屏蔽体外关注点的剂量率计算公式 (11-2) 计算:

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots (11-2)$$

式中:

\dot{H} ——剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

\dot{H}_0 ——等中心最大输出剂量率, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$;

R ——辐射源点(靶点)至关注点的距离, m ;

f ——对有用束为 1, 对泄漏辐射为泄漏辐射比率 0.1%。

(b) 患者一次散射辐射的屏蔽与剂量估算

患者一次散射辐射的剂量估算按式 (11-3) 计算:

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot a_{\text{ph}} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \dots\dots\dots (11-3)$$

式中:

\dot{H} ——剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

\dot{H}_0 ——等中心最大输出剂量率, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$;

R_s ——患者(位于等中心点)至关注点的距离, m ;

a_{ph} ——患者 400cm^2 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 400cm^2 面积上的散射因子;

F ——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, 本项目为 200cm^2 。

(d) 加速器 ($\leq 10\text{MV}$) 机房的迷路散射辐射屏蔽与剂量估算 (主射束不向迷路)

参照 GBZ/T 201.2-2011 的第 4.3.2.5.1 节内容“在估算 g 处的辐射剂量率时, 以加速器向 b 方向水平照射时 1)项人体散射辐射作为以上三项之和的近似估计, 通常可忽略 2)、3)二项。示例路径见图 1 中“o₁-o-i-g”。”来计算。

①入口处的散射辐射剂量率按式 (11-4) 计算

$$H = \frac{X_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{X_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot H_0 \dots\dots\dots (11-4)$$

式中:

H ——入口处的散射辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

a_{ph} ——患者 400cm^2 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 400cm^2 面积上的散射因子; 通常取 45° 散射角的值, 具体取值见表 11-2。

H_0 ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$;

F ——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, 本项目为 200cm^2 ;

R_1 ——散射体中心点(有用线束在屏蔽墙上的投影点)与墙上散射点的距离, m ;

R_2 ——墙上散射点与关注点的距离, m ;

X_2 ——混凝土墙入射的患者散射辐射 ((能量见附录 B 表 B.3)) 的散射因子, 通常取入射角 45° , 散射角 0° 。通常取 i 处的入射角 45° , 散射角为 0° , α_2 值见附录 B 表 B.6, 通常使用其 0.5MeV 栏内的值, 取 22.0×10^{-3} 。

A ——墙上的散射面积, m^2 , 本项目 $A=2 \times 3.7=7.4 (\text{m}^2)$ 。

②入口门屏蔽

在给定防护门的铅屏蔽厚度 $X (\text{cm})$ 时, 防护门外的辐射剂量率 H ($\mu\text{Sv/h}$) 按式 (11-5) 计算:

$$\dot{H}_c = \dot{H} \cdot 10^{-(X \text{ TVL})/0.5} + H_{\text{漏}} \cdot 10^{-(X \text{ TVL})/0.5} \dots\dots\dots (11-5)$$

式中给定的铅的 TVL 值为 0.5cm , \dot{H} 、 $H_{\text{漏}}$ 分别为入口处门未屏蔽前的散射辐射剂量率、漏射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)。

(e) 迷路外墙

等中心点的泄露辐射至迷路外墙 (F) 的斜射角度小于 30° , 以垂直入射保守计算。计算方法与侧屏蔽墙相同。

4、估算结果及评价

螺旋断层放射治疗系统机房周围各关注点剂量率估算结果见表 11-4。

表 11-4 螺旋断层放射治疗系统机房周围各关注点剂量率估算结果

关注点	辐射类型	核算参数	估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否符合 标准要求
1#	泄漏	R=8.16m, 294cm 混凝土	<0.01	2.5	符合
2#	泄漏	R=4.35m, 150cm 混凝土	0.24	6.4	符合
3#	泄漏	R=6.08m, 162cm 混凝土	0.05	0.4	符合
4#	泄漏	R=5.65m, 150cm 混凝土	0.14	6.4	符合
5#	泄漏	R=9.74m, 155cm 混凝土 +15mmPb	0.05	3.2	符合
	散射	R ₁ =7.28m、R ₂ =5.78m, 15mmPb			
6#	泄漏	R=9.15m, 300cm 混凝土	<0.01	2.0	符合
7#	泄漏	R=3.65m, 180cm 混凝土	0.03	0.4	符合

由表 11-4 可知，在正常工作时，螺旋断层放射治疗系统加速器机房各关注点的剂量率均小于本评价确定的参考控制水平，表明螺旋断层放射治疗系统机房设计的屏蔽厚度在确保施工质量的情况下，预期其屏蔽效果良好。结合距离平方成反比规律，该项目运行不会对评价范围内保护目标产生额外附加的辐射影响。

11.2.1.2 X 线立体定向放射治疗系统项目

1、关注点设置

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第二部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）D3.3，X 线立体定向放射治疗系统机房各面均按有用线束考虑屏蔽，本项目 X 线立体定向放射治疗系统机房的关注点设定见图 11-1 和图 11-3。由于本项目 X 线立体定向放射治疗系统机房下方没有其他楼层，所以地面的防护不予考虑。另外本项目 X 线立体定向放射治疗系统上自带 2 个低能 X 射线管（能量为 150kV），根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表 3：标称 125kV 以上的摄影机房有用线束方向铅当量不得低于 3.0mm 铅当量（255mm 混凝土，表 c.7 查询），本项目 X 线立体定向放射治疗系统机房屏蔽为 2500mm 混凝土，远大于 255mm 混凝土。因此，2 个低能 X 射线管经 2.5m 厚混凝土机房屏蔽后对机房周围不会产生辐射影响。X 线立体定向放射治疗系统机房外的关注点设置情况详见表 11-5。

表 11-5 X 线立体定向放射治疗系统机房周围各关注点设置情况

略
略

图 11-3 X 线立体定向放射治疗系统机房周围关注点（立面）

2、机房的屏蔽核算参数

略

3、估算方法

同前述螺旋断层放射治疗系统项目。

4、估算结果及评价

X 线立体定向放射治疗系统机房周围各关注点剂量率估算结果见表 11-6。

表 11-6 X 线立体定向放射治疗系统机房周围各关注点剂量率估算结果
略

由表 11-6 可知，在正常工作时，X 线立体定向放射治疗系统加速器机房各关注点的剂量率均小于本评价确定的参考控制水平，表明 X 线立体定向放射治疗系统机房设计的屏蔽厚度在确保施工质量的情况下，预期其屏蔽效果良好。结合距离平方成反比规律，该项目运行不会对评价范围内保护目标产生额外附加的辐射影响。

11.2.1.3 回旋加速器项目

1、屏蔽计算方法

自屏蔽回旋加速器机房的屏蔽估算方法参照《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)附录 1 的计算公式：

$$H_R=(r_0/R)^2 \times (H_n \times 10^{-X/T_n}+H_r \times 10^{-X/T_r}) \dots\dots\dots (式 11-6)$$

式中：

- H_R —计算点的总剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；
- r_0 —靶心距表面 1m 处的距离，m；
- R —从靶点到墙外参考点（墙体外 30cm 处）的距离，m；
- X —屏蔽墙厚度，cm；
- H_n —屏蔽墙内侧的中子剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；
- H_r —屏蔽墙内侧的 γ 剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；
- T_n —中子的 1/10 值层厚度，cm（见表 11-7）；
- T_r — γ 射线的 1/10 值层厚度，cm（见表 11-7）。

2、回旋加速器的屏蔽核算参数

略

3、关注点设置

本项目回旋加速器机房的关注点设定见图 11-6 和图 11-7，关注点设置情况详见表 11-8。

表 11-8 回旋加速器机房周围各关注点设置情况

略

略

图 11-4 回旋加速器 γ 射线剂量等高线分布图

略

图 11-5 回旋加速器中子剂量等高线分布图

略

图 11-6 回旋加速器机房周围关注点（平面）

略

图 11-7 回旋加速器机房周围关注点（立面）

4、估算结果及评价

回旋加速器机房周围各关注点剂量率估算结果见表 11-9。

表 11-9 回旋加速器机房周围各关注点剂量率估算结果

略

由表 11-9 可知，在正常工作时，回旋加速器机房周围各关注点剂量率均小于本评价确定的参考控制水平，表明回旋加速器机房设计的屏蔽厚度在确保施工质量的情况下，预期其屏蔽效果良好。结合距离平方成反比规律，该项目运行不会对评价范围内保护目标产生额外附加的辐射影响。

11.2.1.4 核素制备及使用项目

1、计算方法

本评价报告参照《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）式（I.1），采用瞬时剂量率计算方法进行屏蔽计算，计算公式如下：

$$H_r = A \cdot \Gamma \cdot R^{-2} \cdot 10^{(x/TVL)} \dots \dots \dots \text{（式 11-7）}$$

式中：

H_r — 屏蔽体外关注点剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A — 放射性活度， MBq ；

Γ — 距源 1 米处辐射剂量率常数， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1}$ ；

R — 源至关注点的距离， m ；

x — 屏蔽层的厚度, mm;

TVL — 十分之一值层, mm。

2、屏蔽计算参数

(1) 计算中将患者视为“点源”, 本报告给出的计算结果均使用点源公式。

(2) 项目 PET 使用核素有 ^{18}F 、 ^{68}Ga , 其中 ^{68}Ga 核素用量少, 半衰期较 ^{18}F 短, 因此项目 PET 项目按照 ^{18}F 进行辐射屏蔽分析。参照 GBZ 120-2020 中表 L.1、表 H.1, 项目主要核素参数见表 11-10。

表 11-10 项目涉及核素相关参数

序号	项目	核素	最大使用量/次 (MBq)	患者体内单位放射性活度 所致体外 1m 处的周围剂量 当量率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/$ (h·MBq)	周围剂量当量率 常数(裸源) $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$
1	SPECT/CT	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	800	0.0207	0.0303
2	PET	^{18}F	370 (10mCi)	0.092	0.143
3	甲亢治疗	^{131}I	370 (10mCi)	0.0583	0.0595
4	甲癌治疗	^{131}I	7400 (200mCi)	0.0583	0.0595
5	^{89}Sr 治疗	^{89}Sr	185	--	1.138×10^{-5}
6	^{223}Ra 治疗	^{223}Ra	6	--	0.04752
7	正电子药物 质检	^{18}F	37	--	0.143
8	^{177}Lu 治疗	^{177}Lu	7400	--	0.004752

(3) 计算时四周屏蔽墙、防护门参考点位置在墙(门)外 0.3m 处。分装柜、注射台为固定点, 其与关注点距离为固定距离; 而注射药物后的受检人员在候诊室、抢救/留观室、PET/CT 机房等房间内是能活动的; 而源点与关注点的距离直接关系到拟采取防护措施的多寡, 涉及到投资投入。考虑到内部走廊正常情况下是无人员逗留的, 依据 GB18871-2002 中第 4.3.3 “防护与安全的最优化” 原则: “对于来自一项实践中的任一特定源的照射, 应使防护与安全最优化, 使得在考虑了经济和社会因素之后, 个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平, 这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件(治疗性医疗照射除外)”。综上考虑, 注射后候诊室、抢救/留观室、扫描机房等周围关注点与源点距离按 2m 计算。人体高度假定为 1.5m; 参照 GBZ 120-2020 表 J.1, 屋顶参考点位置在楼板地面上方 0.3m 处, 楼下距地面 1.7m

处（负一层层高 5.2m、一层至三层层高为 5.1m）。主要关注点设置示意图见图 11-8~图 11-11。

（4）购进的放射性核素配备有储源铅罐，屏蔽计算时 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I 分装柜按日最大操作量进行计算；SPECT/CT 注射后候诊室按最多 3 名注得患者进行计算，留观室按最多 2 名注得患者进行计算，运动平板室、 ^{99m}Tc 注射室、SPECT/CT 检查室、得抢救室、VIP 候诊室按最多容留 1 名注得患者进行计算；PET 注射后候检室、留观室、抢救室按最多 2 名注氟患者进行计算， ^{18}F 注射室、PET 检查室、VIP 候诊室按最多同时容留 1 名注氟患者进行计算； ^{131}I 服药室、抢救室按最多 1 名患者进行计算，甲亢留观室按最多 2 名甲亢患者进行计算；甲癌住院病房按最多 2 名甲癌患者进行计算； ^{131}I 货包按项目日碘最大用量计算（包括甲亢、甲癌）。

（5）考虑到 Lu-177 衰变产生的 γ 射线强度及能量均低于 I-131，Lu-177 的半衰期也小于 I-131 的，因此本项目从偏保守考虑，Lu-177 治疗患者住院病房对外环境影响按甲癌住院考虑；在估算 Lu-177 注射影响时，保守按 I-131 对应的 TVL 值。此外，根据医院规划，不会同日开展 Lu-177 及 I-131 治疗，即分装室分装柜中不会同时操作 Lu-177 及 I-131 核素。

（6）该项目使用的 ^{18}F 正电子药品前期从广西区内有销售资质机构购买，规划日最大操作量 1Ci 为购买量，从厂家运输到医院时至少衰变了 2 小时，保守按衰变了一个半衰期计算，因此计算时分装柜中使用量保守按 500mCi 计算，医院也承诺在分装柜中实际单次操作量不会超过 500mCi。此外，待该负一层回旋加速器及合成系统投入运行后，将自备 ^{18}F 标记物，并在负一层热室采取远程控制自动分装药品，每次分装 2 人份，分好后由工作人员手动操作装入转移罐后转移到药梯，上到一层后由 PET 扫描检查项目的医护人员接收使用。

（7）参照 GBZ 120-2020 的表 I.1， ^{131}I 、 ^{18}F 、 ^{99m}Tc 对应硫酸钡的 TVL 参照 NCRP 第 151 号报告的 p158 页图，放射性核素的 TVL 取值见表 11-11。

表 11-11 放射性核素对应的 TVL 值 (mm)

屏蔽材料	铅 (11.3g/cm ³)	实心砖 (1.65g/cm ³)	混凝土 (2.35g/cm ³)	硫酸钡 (3.2g/cm ³)
^{99m}Tc 对应的 TVL	1	160	110	48
^{18}F 对应的 TVL 值	16.6	263	176	100
^{131}I 对应的 TVL 值	11	240	170	95

3、CT 运行对周围辐射环境影响类比分析

参照 NCRP Report No.147 可知，CT 正常运行时其主射线绝大部分均被待检人体及探测器吸收，主要源项为散射线及漏射线。为分析本项目 SPECT/CT、PET/CT 设备所带 CT 正常运行时对机房周围环境的辐射影响，选取平南县人民医院门诊综合楼一楼放射科 Optima CT540 型 CT 机进行类比分析，所选取的类比项目与本项目可比性分析见表 11-12。

表 11-12 类比项目与本项目采取的屏蔽措施可比性分析结果

内容	类比项目	本项目（以屏蔽能力较弱的 SPECT/CT 机房为代表）	可比性结果
CT 参数	最大管电压 140kV、最大输出电流 440mA	最大管电压 150kV、最大输出电流 500mA	相当
机房墙体	墙体为厚度 20cm 的多孔砖结构，机房内壁和顶棚采用硫酸钡抹灰 4cm。	墙体为厚度 20cm 的混凝土结构，机房内壁和顶棚抹有 2cm 硫酸钡防护材料。	相当
防护门	4mm 铅	5mm 铅	本项目优于类比项目
观察窗	4mmPb	5mmPb	本项目优于类比项目
机房长宽高 (m)	6.76×5.44×3.80	8.0×5.3×5.1	本项目优于类比项目

由表 11-12 分析可知，本项目机房整体屏蔽能力至少达到类比项目机房能力。通过对类比对象的监测结果，可预测本项目运行后的辐射环境影响。平南县人民医院门诊综合楼一楼放射科 Optima CT540 型 CT 机类比监测结果见表 11-13，监测机构为广西华彦检测技术服务有限公司，类比监测报告见附件 7。

表 11-13 CT 机正常运行时机房周围辐射剂量率类比分析数据

序号	点位	辐射剂量率 (单位: $\mu\text{Sv/h}$)
1	观察窗	0.121
2	操作位	0.118
3	东墙外	0.121
4	线孔	0.120
5	操作室门	0.122
6	机房门	0.116
7	南墙外	0.123
8	东墙外	0.123

9	北墙外	0.124
10	机房楼上通道	0.122
11	机房楼下地下室	0.122

注：（1）检测条件：散射模体（CT体膜）；（2）天然本地为（0.094-0.122） $\mu\text{Sv/h}$ ，检测结果未扣除本底。

由表 11-13 类比分析数据可知，当该 CT 机曝光时，控制室观察窗、控制室操作位、控制室出入机房防护门外、病人出入机房防护门等机房周围 30cm 处测点的辐射剂量率与未开机时环境本底水平相当。

从类比分析可预测，医院建设的 PET/CT、SPECT/CT 项目只要能严格按照设计施工，则可以认为其机房建设可达到类比医院相似的防护效果，即机房建设能满足 PET/CT、SPECT/CT 设备中 CT 功能辐射屏蔽要求。即在后续评价 PET/CT、SPECT/CT 项目对机房周围环境影响时，只需要考虑注射后受检人员产生的辐射影响。

4、 ^{68}Ge 校准源的影响

本次评价引用广西医科大学第二附属医院 2022 年度辐射环境监测报告（编号：桂辐（委托）字[2022]第 374 号）中表 22 的监测结果（监测报告由广西辐射站出具，具体见附件 8）来进行类比分析，本项目拟用 ^{68}Ge 的数量及对应的活度与类比项目一样，拟用的防护铅箱铅当量一致（均为 10mm 铅）。根据类比数据可知，贮存状态下，铅箱表面 5cm 的 γ 辐射剂量率最大为 $17.3\mu\text{Sv/h}$ 、30cm 处 γ 辐射剂量率最大为 $4.34\mu\text{Sv/h}$ ，活度最大的单枚 ^{68}Ge 源 30cm 处 γ 辐射剂量率最大为 $32.6\mu\text{Sv/h}$ 。本项目拟用校准源活度及数量、使用方案与类比医院相同。

5、屏蔽计算结果

根据以上屏蔽计算参数，本项目场所关注点辐射剂量率估算结果见表 11-14。

表 11-14 本项目场所关注点辐射剂量率估算结果

点位	关注点描述	源项	活度 (MBq)	距离 (m)	屏蔽设计	γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
▲1	氟分装柜表面 5cm	氟-18	18500	0.45	60mmPb 分装柜	3.17
▲2	氟分装柜表面 30cm	氟-18	18500	0.70	60mmPb 分装柜	1.31
▲3	氟注射窗台 30cm	氟-18	370	0.60	40mmPb 注射窗台	0.57
▲4	氟分装室北侧墙外 30cm (分装柜区域)	氟-18	18500	0.90	60mmPb 分装柜+20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.04
▲5	氟分装室西侧墙外 30cm (分装柜区域)	氟-18	18500	0.90	60mmPb 分装柜+20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.04
▲6	氟注射室南侧墙外 30cm	氟-18	370	2.00	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.39
▲7	氟注射室防护门外 30cm	氟-18	370	2.00	8mmPb 防护门	2.81

▲8	氟注射后 VIP 候诊室 防护门外 30cm	氟-18	370	2.00	8mmPb 防护门	2.81
▲9	氟注射后 VIP 候诊室 北侧墙外 30cm	氟-18	370	2.00	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.39
▲10	氟注射后 VIP 候诊室 南侧墙外 30cm	氟-18	370	2.00	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.39
▲11	氟注射后候诊室防护 门外 30cm	氟-18	740	2.00	8mmPb 防护门	5.61
▲12	氟注射后候诊室北侧 墙外 30cm	氟-18	740	2.00	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.78
▲13	氟注射后候诊室南侧 墙外 30cm	氟-18	740	2.00	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.78
▲14	PET/CT 机房南侧防 护门外 30cm	氟-18	370	2.00	8mmPb 防护门	2.81
▲15	PET/CT 机房南侧墙 外 30cm	氟-18	370	2.00	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.39
▲16	PET/CT 机房北侧墙 外 30cm (问诊/宣教 室)	氟-18	370	2.00	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.39
▲17	PET/CT 机房东侧墙 外 30cm (控制室内)	氟-18	370	2.00	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.39
▲18	PET/CT 机房观察窗 外 30cm (控制室内)	氟-18	370	2.00	15mmPb 观察窗	1.06
▲19	PET/CT 机房东侧防 护门外 30cm (控制室 内)	氟-18	370	2.00	15mmPb 防护门	1.06
▲20	PET/MRI 机房南侧防 护门外 30cm	氟-18	370	2.00	8mmPb 防护门	2.81
▲21	PET/MRI 机房东侧墙 外 30cm	氟-18	370	2.00	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.39
▲22	PET/MRI 机房北侧墙 外 30cm (设备间内)	氟-18	370	2.00	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.39
▲23	PET/MRI 机房西侧墙 外 30cm (控制室内)	氟-18	370	2.00	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.39
▲24	PET/MRI 机房观察窗 外 30cm (控制室内)	氟-18	370	2.00	15mmPb 观察窗	1.06
▲25	PET/MRI 机房西侧防 护门外 30cm (控制室 内)	氟-18	370	2.00	15mmPb 防护门	1.06
▲26	氟抢救室南侧墙外 30cm	氟-18	740	2.00	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.78
▲27	氟固废间南侧墙外 30cm	氟-18	5 μ Sv/h	2.00	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.06
▲28	二楼钨注射后候检室 (氟注射后候诊室上 方)	氟-18	740	5.05	20cm 混凝土+5cm 硫酸钡	0.06
▲29	负一楼合成工作场所 (氟注射后候诊室下 方)	氟-18	740	4.05	20cm 混凝土+5cm 硫酸钡	0.10
▲30	钨分装柜表面 5cm	钨-99m	48000	0.45	20mmPb 分装柜	<0.01

▲31	铊分装柜表面 30cm	铊-99m	48000	0.70	20mmPb 分装柜	<0.01
▲32	铊注射窗台 30cm	铊-99m	800	0.60	10mmPb 注射窗台	<0.01
▲33	铊注射室南侧墙外 30cm	铊-99m	800	2.00	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.02
▲34	铊注射室防护门外 30cm	铊-99m	800	2.00	5mmPb 防护门	<0.01
▲35	铊分装室北侧墙外 30cm (分装柜区域)	铊-99m	48000	0.90	20mmPb 分装柜+20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	<0.01
▲36	铊抢救室北侧墙外 30cm	铊-99m	800	2.00	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.02
▲37	铊抢救室防护门外 30cm	铊-99m	800	2.00	5mmPb 防护门	<0.01
▲38	固废间防护门外 30cm	铊-99m	7.5 μ Sv/h	2.00	5mmPb 防护门	<0.01
▲39	铊注射后候检室 1 防护门外 30cm	铊-99m	2400	2.00	5mmPb 防护门	<0.01
▲40	铊注射后候检室 1 北侧墙外 30cm	铊-99m	2400	2.00	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.07
▲41	铊注射后候检室 1 下方地面 1.7m	铊-99m	2400	5.00	20cm 混凝土+5cm 硫酸钡	<0.01
▲42	铊注射后候检室 1 上方地面 30cm	铊-99m	2400	4.30	30cm 混凝土	0.01
▲43	铊留观室防护门外 30cm	铊-99m	1600	2.00	5mmPb 防护门	<0.01
▲44	铊留观室北侧墙外 30cm	铊-99m	1600	2.00	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.05
▲45	SPECT/CT2 机房北侧防护门外 30cm (工作人员出入)	铊-99m	800	2.00	5mmPb 防护门	<0.01
▲46	SPECT/CT2 机房北侧墙外 30cm (控制室内)	铊-99m	800	2.00	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.02
▲47	SPECT/CT2 机房观察窗外 30cm (控制室内)	铊-99m	800	2.00	5mmPb 防护门	<0.01
▲48	SPECT/CT2 机房北侧墙外 30cm (值班室内)	铊-99m	800	2.00	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.02
▲49	SPECT/CT2 机房东侧墙外 30cm (通道内)	铊-99m	800	2.00	20cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.02
▲50	碘分装柜表面 5cm	碘-131	25900	0.45	40mmPb 分装柜	1.76
▲51	碘分装柜表面 30cm	碘-131	25900	0.70	40mmPb 分装柜	0.73
▲52	碘分装室南侧墙外 30cm (分装柜区域)	碘-131	25900	1.00	40mmPb 分装柜+30cm 混凝土+2cm 硫酸钡	<0.01
▲53	服药室西侧墙外 30cm	碘-131	7400	2.00	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡	1.14
▲54	服药室防护门外 30cm	碘-131	7400	2.00	15mmPb 防护门	4.67
▲55	留观室防护门外 30cm	碘-131	740	2.00	15mmPb 防护门	0.47
▲56	抢救室防护门外 30cm	碘-131	370	2.00	15mmPb 防护门	0.23
▲57	甲癌住院病房 1 西侧墙外 30cm	碘-131	14800	2.00	30cm 混凝土+10cm 硫酸钡	0.33
▲58	甲癌住院病房 1 防护门外 30cm	碘-131	14800	2.00	15mmPb 防护门	9.34
▲59	甲癌住院病房 1 下方	碘-131	14800	5.00	30cm 混凝土+5cm 硫	0.18

	室内地面 1.7m				酸钡	
▲60	甲癌住院病房 6 东侧墙外 30cm	碘-131	14800	2.00	30cm 混凝土+10cm 硫酸钡	0.33
▲61	碘固废间北侧墙外 30cm (电控室内)	碘-131	10 μ Sv/h	3.00	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.01
▲62	负一层合成热室正面 5cm	氟-18	88800	0.45	75mmPb 热室正面	1.90
▲63	负一层合成热室正面 30cm	氟-18	88800	0.70	75mmPb 热室正面	0.79
▲64	负一层合成热室西侧面 5cm	氟-18	88800	0.60	65mmPb 热室侧面	4.28
▲65	负一层合成热室西侧面 30cm	氟-18	88800	0.90	65mmPb 热室侧面	1.90
▲66	负一层合成热室西侧面墙外 30cm	氟-18	88800	2.50	65mmPb 热室侧面+20cm 混凝土	0.02
▲67	负一层合成热室北侧墙外 30cm	氟-18	88800	2.30	65mmPb 热室侧面+20cm 混凝土	0.02
▲68	质控通风柜表面 5cm	氟-18	37	0.45	40mmPb 通风橱	0.10
▲69	质控通风柜表面 30cm	氟-18	37	0.70	40mmPb 通风橱	0.04
▲70	三楼更衣间门外 30cm	碘-131	370	3.50	5mmPb 防护门+15mmPb 防护门	0.03
▲71	三楼留观室北侧墙外 30cm	碘-131	740	2.00	30cm 混凝土+2cm 硫酸钡	0.11
/	质控药物转移屏蔽罐表面 30cm	氟-18	37	0.35	20mmPb 屏蔽罐	2.70
/	自备氟注射器屏蔽罐表面 30cm	氟-18	740	0.35	40mmPb 屏蔽罐	3.36
/	锝注射器屏蔽器表面 30cm	锝-99m	800	0.30	5mmPb 注射器屏蔽套	<0.01
/	SPECT/CT 机房内注射后待检人员 50cm	锝-99m	800	0.50	0.5mmPb 铅服	20.95
/	氟注射器屏蔽器表面 30cm	氟-18	370	0.30	18mmPb 注射器屏蔽套	48.41
/	PET/CT 机房内注射后待检人员 50cm	氟-18	370	0.50	0.5mmPb 铅服	127.0
/	碘货包表面 30cm	碘-131	25900	0.40	35mmPb 货包铅罐	6.34
/	一人次 ⁸⁹ S 药物 30cm	锶-89	185	0.30	20mmPb 注射窗台	<0.01
/	一人次 ¹⁷⁷ Lu 药物 30cm	镭-177	7400	0.30	20mmPb 注射窗台	5.94
/	一份 ²²³ Ra 药品	²²³ Ra	6	0.30	/	3.17

注1: 同一个源项、相同的屏蔽参数时, 只考虑典型关注点;

注2: 该项目初期使用的F-18药品从广西区内有销售资质机构购买, 规划日最大操作量1000mCi为购买量, 初步规划从南宁市或者柳州市购买, 从路程计到医院时大概衰变了1个半衰期, 因此表中氟分装柜种使用量按500mCi计算;

注3: 固废间源项考虑存有废物箱, 每个表面剂量率为2.5 μ Sv/h, 分别计算剂量率后叠加;

注4: ¹⁷⁷Lu项目计算时, 十值层按碘-131对应的参数。

由表11-14可见, 项目控制区外围关注点剂量率均低于2.5 μ Sv/h, 控制区内工作人员经常性停留的房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率小于

2.5 μ Sv/h，人员偶尔居留的区域周围剂量当量率小于10 μ Sv/h；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。综上，可见该项目屏蔽效果能满足HJ 1188-2021中第6.1款的要求。本项目屏蔽防护设计方案合理。

项目PET校准源 ^{68}Ge 属于V类源，一般情况下放射源储存在保险柜的铅罐内，仅校正时，从储源室中取出放置在PET设备上采集信息。校准源退役后交由生产厂家回收，使用场所为PET机房内。 ^{68}Ge 主要辐射影响为其子体核素 ^{68}Ga 发生衰变产生的正电子湮灭时发生的0.511MeV的 γ 射线（即和F-18的源项因子相同），由类比分析结果可知， ^{68}Ge 裸露状态下30cm处剂量率远小于注射F-18后患者50cm处辐射剂量率，即PET机房屏蔽能满足注射F-18后患者扫描时防护要求，可以认为 ^{68}Ge 校准状态时，对PET机房周围环境影响可忽略不计。

由表11-14可见，二层SPECT/CT检查项目运行对上下层场所不会产生外照射影响；一层项目对周围主要影响的源项为注射后候检室，由表11-14中估算结果可见，PET项目运行对上下层场所的外照射影响也是非常有限，产生的额外剂量率相对其自身环境辐射水平相比可忽略不计；三层对周围主要影响的源项为甲癌住院病房，由表11-14中估算结果可见，甲癌住院病房对下方注射后候检室的外照射影响，相对其自身环境辐射水平相比可忽略不计。

由表11-14可见，镥-89注射治疗过程中对周围环境基本不会产生外照射影响。

11.2.2 项目运行对工作人员所致有效剂量分析

根据潘自强主编的《电离辐射环境监测与评价》第3.3.3节（P51页）“对于强贯穿辐射，10mm深度是被经常使用的， $H^*(10)$ 应当是有效剂量 E 的合理近似”，外照射现场监测量为周围剂量当量率 $H^*(10)$ 。在有效剂量估算时，可以直接使用测量结果，不用进行系数转化。因此X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量按下列公式估算：

个人年有效剂量估算按下列公式计算：

$$H_e = H^*(10) * t * 10^{-6} \dots\dots\dots \text{(式 11-8)}$$

其中： H_e 为年有效剂量，(mSv/a)；

$H^*(10)$ 为 X- γ 辐射周围剂量当量率，nSv/h；

t 为年受照射时间，小时；

10^{-6} 为 nSv 到 mSv 的转换系数。

11.2.1.1 项目运行对工作人员所致有效剂量分析

根据表9-2各项目工作人员分配情况及上述各关注点辐射剂量率估算情况来开展年有效剂量分析评价。

由表11-14的估算结果可知，对于SPECT/CT检查项目，分装好用防护套屏蔽的注射器30cm处、分装柜表面30cm处、注射台表面30cm处的剂量率不会升高，即可以认为工作人员在淋洗、分装、注射过程中基本不会受到附加辐射照射。根据医院反馈信息，只有当待检人员依从性不好或者身体状况不方便的情况下，才需要医技人员进入机房近距离靠近注射后患者帮其摆位，预计占比30%，本次评价保守按50%计算。

本项目运行对工作人员所致有效剂量情况如表11-15。

**表11-15 辐射工作人员年有效剂量估算
略**

由上表可见，每名辐射工作人员因本项目运行接受的年有效剂量值均低于职业人员年剂量管理约束值（5mSv），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的要求。

11.2.1.2 项目运行对公众人员所致有效剂量预测

医院核医学肿瘤治疗中心楼是独立、相对封闭的区域，有严格的“三区”管理制度，出入口均设有门禁，公众成员不会进入控制区。由源项分析可知，最有可能受到本项目产生的辐射影响的是控制区外围非辐射工作人员及室外道路路过的公众。

1、螺旋断层放射治疗系统项目

从偏安全考虑，根据相关参数，螺旋断层放射治疗系统机房周围公众受照剂量估算结果表11-16。

**表 11-16 螺旋断层放射治疗系统机房周围公众受照剂量估算结果
略**

由表11-16可知，螺旋断层放射治疗系统机房周围公众受照剂量估算结果最大为**0.031mSv**，小于年剂量管理约束值**0.1mSv/a**，同时也可以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本》（GB18871-2002）关于剂量限值的要求。

2、X线立体定向放射治疗系统项目

X线立体定向放射治疗系统机房上方为阅片室、登记室，属于固定工作岗位，每

天8小时班，每年工作250天，即该处固定岗位工作人员年逗留时间为2000小时。根据相关参数，X线立体定向放射治疗系统机房周围公众受照剂量估算结果表11-17。

**表 11-17 X 线立体定向放射治疗系统机房周围公众受照剂量估算结果
略**

由表11-17可知，X线立体定向放射治疗系统机房周围公众受照剂量估算结果最大为**0.087mSv**，小于年剂量管理约束值**0.1mSv/a**，同时也可以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本》（GB18871-2002）关于剂量限值的要求。

3、回旋加速器项目

回旋加速器机房位于负一层控制区内部，四周区域均为控制区，公众成员无法进入，7#点剂量率未增加，因此只有机房上方区域公众可能受到该项目运行的辐射照射。根据相关参数，回旋加速器机房周围公众受照剂量估算结果表11-18。

表 11-18 回旋加速器机房周围公众受照剂量估算结果

关注点	点位描述	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年照射时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
8#	回旋机房上方 PET/CT 机房地面 30cm	0.09	250	1/4	0.006
9#	回旋机房上方 PET/CT 控制室地面 30cm	0.09	250	1	0.023

由表11-18可知，回旋加速器机房周围公众受照剂量估算结果最大为**0.023mSv**，小于年剂量管理约束值**0.1mSv/a**，同时也可以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本》（GB18871-2002）关于剂量限值的要求。

4、涉及非密封核素项目

相关参数：（1）注射后候检室全年照射时间为： $8\text{h} \times 250\text{d} = 2000\text{h}$ ；（2）分装柜中有药时间每天保守按5小时，全年总时长： $5 \times 250 = 1250\text{小时}$ ；（3）每天进行PET/MRI扫描人数最多为20人次，平均每人每次在PET/MRI机房内逗留时长30分钟，则全年总时长为： $20 \times 250 \times 0.5 = 2500\text{小时}$ ；（4）三层场所控制区外围按甲癌病房外区域为代表来估算公众受照射剂量，全年300天均有甲癌病人住院，则全年总时长为： $24 \times 300 = 6800\text{小时}$ ，考虑到夜晚住院病房周围没人员活动，保守取上述时间一半，即3400小时；（5）热室合成及分装时间每天40分钟，则全年总时长为： $40 \times 250 \div 60 = 167\text{小时}$ ；（6）平均每人每次在SPECT/CT2机房内逗留时长30分钟，则全年总时长为：30

$\times 250 \times 0.5 = 3750$ 小时；（7）甲亢患者服药后一般即离开，保守估计每天留观室有服药后患者逗留1小时，则全年总时长为： $1 \times 250 = 250$ 小时。根据剂量率预测结果及以上参数，公众成员受照剂量估算结果见表11-19。

**表11-19 核医学项目致公众成员受照剂量估算结果
略**

从表11-19估算结果可知，在核医学科下层逗留或活动的公众成员因为该项目运行受到的年有效剂量均低于公众成员年剂量管理约束值（**0.1mSv**）。

以上是以辐射工作场所边界外相邻处关注点的辐射剂量率贡献值来估算公众的受照剂量，**由于辐射剂量率与距离的平方成反比，对于评价范围内距离更远的公众（表7-1中所述），可推断其受到的年有效剂量均低于以上估算值。**符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

11.2.2 采取三废治理措施后放射性固体废物和流出物对环境的影响

本项目对放射性废水、放射性固体废物、废放射源、放射性废气采取了一系列的治理措施。

放射性废水：本项目根据放射性废水所含核素的种类、半衰期、活度水平，建设了碘衰变池及氟钨衰变池，分别收集项目产生的含碘放射性废水及含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的废水，项目衰变池有效容积、池体及管道防护设计均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相应要求，项目排放的废水水质的放射性满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相应要求。

放射性固体废物：本项目配备了收集放射性固体废物的铅桶，放射性固体废物分类收集、分别处理，按《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中7.2.3款要求进行管理，收集的固体废物在专用贮存衰变箱内存放衰变，待其所含放射性核素活度衰变至低于相应核素 GB 18871-2002 清洁解控水平推荐限值及 HJ 1188-2021 第7.2.3.1款要求时，对废物清洁解控并作为医疗废物处理，项目放射性固体废物不会对周围环境产生放射性污染。

废放射源： ^{68}Ge 校准源不再使用时，废密封放射源交由放射源生产单位回收处置，不会对周围环境产生放射性污染。

放射性废气：分装室内分装柜设置有通风橱，拟配风机风速不小于0.5m/s，通风

橱设置有单独的排风管道，排风口拟设置于建筑楼屋顶；在高活性区设置通风设施，排风量大于进风量，保持这些控制区的负压，空气流向为低活区向高活区流动，排风口高于建筑楼屋顶，并拟设置活性炭为过滤装置，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中相应要求，项目放射性废气对周围环境影响较小。

因此，采取三废治理措施后，放射性固体废物和流出物预期对环境产生的影响很小。

11.3 事故影响分析

11.3.1 核医学项目

（1）由于放射性药物都是从相应部门进货，因此在运输过程中可能会发生货包的泄漏或丢失等事故。如装有放射性物质或放射源的货包没有按预定的时间到达，医院首先应在医院内部进行各种可能性的检查，然后与订货公司联系，要求追踪货包去向，直到找到放射性物质或放射源货包为止。

（2）医院核医学科项目场所有专门的放射性物质储存房间、暂存退回生产厂家的放射性药品容器存放间，如果对放射性物质存放区的管理不善，发生放射物品失窃，将会造成放射性污染事故。

（3）可能发生液态放射性药品溅洒等表面污染事故，一旦此类事故发生后，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的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边缘向中心擦抹，直到擦干污染区。用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到控制标准，这时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。吸擦后的药棉或纸巾作放射性固体废弃物处置。

（4）对注射过放射性药物的受检者管理不善，无关人员误入控制区，也可能导致周围人群受到异常照射。

11.3.2 放射治疗项目及回旋加速器项目

11.3.2.1 辐射事故情况

加速器装置为将电能转换成射线能的设备，射线受开机和关机控制，关机时没有射线发出。因此，检修方便，断电状态下也较为安全，在意外情况下，可能产生的辐

射事故为：

（1）工作人员或病人家属在防护门关闭前尚未撤离设备机房，加速器运行可能产生误照射。在机房防护门内与控制室应设置有人工紧急停机及开门按钮，只要未撤离人员了解该按钮的作用，可避免此类事故的发生。因此，加速器机房内应设置此按钮的醒目指示和说明，便于在紧急情况下使用。

（2）安全联锁装置或报警系统发生故障状况下，人员误入正在运行的加速器机房。加速器机房防护门与设备之间应设有门机联锁装置，防护门上应设有警示信号灯。每当打开防护门时，立即断电并停机，不致出现误照射。只有当联锁装置或报警系统发生故障情况时，医务人员强行运行医用电子直线加速器，才可能发生此类事故。因此，医务人员必须严格按照加速器的操作程序进行诊疗，有效防止事故照射的发生。

为避免此类事故的发生，要求工作人员每次上班时首先要检查防护门上的联锁装置和报警系统是否正常。如果报警系统失灵，应立即修理，恢复正常。

11.3.2.2 辐射事故预防措施

（1）建设单位认真组织辐射工作人员参加辐射防护培训及专业技术的知识学习，使用Ⅱ类射线装置的工作人员必须在生态环境部辐射安全与防护培训平台参加培训并考核合格后方可上岗；

（2）定期组织对放射治疗工作场所及设备的辐射防护检测和检查，如有异常，及时整改；

（3）在辐射工作场所醒目位置设置电离辐射警示标志，防护门设置门灯、门机联锁；

（4）定期组织辐射工作人员进行职业健康检查，工作人员职业照射个人剂量监测档案应终生保存；

（5）辐射安全防护管理领导小组应对辐射工作人员的辐射安全管理制度执行情况进行监督、检查。

发生以上事故，按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条规定，该院应当立即启动本单位的应急方案，采取应急措施，以减轻事故危害后果。立即向当地环境保护行政主管部门、公安部门、卫生主管部门报告。配合公安部门、环保部门调查、侦破工作。禁止任何单位和个人故意破坏事故现场、毁灭证据。

略

图 11-8 一层关注点示意图

略

图 11-9 二层关注点示意图

略

图 11-10 三层关注点示意图

略

图 11-11 负一层关注点示意图

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 辐射安全与环境保护管理机构

医院制定了《辐射安全与防护管理制度》（见附件 3），在该文件中明确了放射防护管理领导小组，并明确了相关成员名单及职责，小组组成人员如下：

组长：谢文超（副院长）；

副组长：卓涛（医务部副部长）；

成员：周远茜等 12 人（具体见附件 3）；

领导小组下设办公室，设在医务部，办公室负责辐射安全管理领导小组日常工作，落实领导小组的有关决定事项，牵头制定整体工作方案，负责领导小组会议安排和整理会议记录。

12.1.2 辐射工作人员配备情况

本项目规划配备 26 名辐射工作人员。

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中第十六条第二款的要求，从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中第二十八条的要求，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当对直接从事生产、销售、使用活动的工作人员进行安全和防护知识教育培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。

根据生态环境部《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》（2019 年，第 57 号）的相关要求，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培训平台报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。

医院应及时安排本项目未参加培训并考核合格的辐射工作人员在生态环境部辐射安全与防护培训平台参加培训，考核合格后方可上岗（考核成绩合格有效期五年）。

12.2 辐射安全管理规章制度

医院为加强以射线装置与放射性同位素安全和防护的监督管理，促进射线装置的安全应用，保证医疗质量和医疗安全，保障放射诊疗工作人员、患者和公众的人体健康，医院建立了相应的管理制度（包括放射防护和安全管理、人员培训、医用放射性废物管理制度等）和辐射事故应急预案。

本项目新建成后，提出如下要求：

(1) 补充完善项目运行的《操作规程》、《岗位职责》、《放射性核素使用管理台账制度》，检查医院现有辐射事故应急预案是否满足新增项目要求，如有需要应修改完善。

(2) 要求组织本项目所有新增的辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加培训，经考核合格并取得相应资格上岗证后才能上岗，并按要求进行复训，同时应为辐射工作人员建立个人剂量档案和职业健康档案。

(3) 环评批复后，需及时向相关部门申请办理辐射安全许可证。

12.3 辐射监测

根据国家相关法律法规要求，开展辐射工作的单位应当对其设备性能、工作场所防护以及放射工作人员职业受照情况定期开展自主或者委托监测，以保障辐射工作的正常开展以及人员的健康和安​​全。建设单位需根据要求制定以下辐射监测计划。

12.3.1 个人剂量监测

建设单位应委托有资质的单位对辐射工作人员个人剂量进行监测，监测要求严格按照《职业性外照射个人监测规范》，并建立个人剂量记录及监测档案管理制度，对职业照射个人监测档案终生保存。

按照《放射工作人员健康标准》的相关规定，医院应为辐射工作人员建立个人健康档案，对新上岗工作人员，做好上岗前的健康体检报告，合格者才能上岗；对从事辐射工作的工作人员建立职业健康监护档案，档案要终生保存，工作人员调动工作单位时，个人剂量、个人健康档案应随其转给调入单位。职业健康检查周期为 1~2 年，但不得超过 2 年，必要时可适当增加检查次数；在本单位从事过辐射工作的人员在离开该工作岗位时也应进行健康体检。

12.3.2 场所及环境辐射监测

医院应委托有资质的单位定期（每年常规监测一次）对设备使用场所及周围环境进行辐射监测，并建立监测技术档案。

监测方案要求：

(1) 监测布点：场所周围墙体、防护门、观察窗等人员可达区域（包括上下层相邻房间），建议操作表 11 中关注点来布设监测点位。

(2) 监测项目：X- γ 辐射剂量率、表面污染、中子剂量率。

(3) 监测频次：每年不少于 1 次。

(4) 监测仪器：监测委托有资质监测机构开展，使用的仪器应与本项目源项特征相适应，由监测机构负责。

(5) 其他：监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

12.3.3 年度安全评估报告

每年 1 月 31 日之前，医院应向辐射安全许可证发证机关及当地生态环境主管部门提交上一年度的本单位辐射安全和防护状况年度评估报告。

12.4 辐射事故应急

12.4.1 辐射事故应急相应机构设置

医院制定了《辐射事故应急处置预案》（见附件6），预案中成立了以院长为组长的辐射事故应急处理领导小组，规定了领导小组的职责包括：

- (1) 组织制定医院辐射事故应急处理预案；
- (2) 负责组织协调辐射事故应急处理工作；
- (3) 组织辐射事故应急人员的培训；
- (4) 负责与上级主管部门和当地生态环境部门的联络、报告应急处理工作，配合做好事故调查和审定；
- (5) 负责辐射事故应急处理期间的后勤保障工作；
- (6) 采取各种快速有效措施，做好善后处理，最大限度地消除对医院的负面影响。

领导小组组长职责：全面负责小组工作，现场指挥工作。

领导小组副组长职责：具体负责小组工作，收集有关工作信息，各科室之间的协调，管理全院辐射工作人员的健康工作，辐射事故应急处理期间的后勤保障工作。

领导小组组员职责：负责事发现场安全保卫工作，负责对辐射操作人员和维修人员的日常管理，人员培训工作。

12.4.2 辐射事故应急预案内容

医院制定的预案包括了：应急相应程序、救援行动、应急终止条件和程序、恢复、事故报告、事故调查等内容，具体见附件6。

12.4.3 事故应急培训演习计划

医院制定的预案中包含了应急救援演练和年度工作计划相关内容，明确医院辐射

安全与环境保护领导小组每年至少组织一次辐射事故应急处理演练，训练辐射工作人员高效应对可能发生的辐射事故。对演练过程中发现应急工作存在的问题进行总结并整改，进一步完善应急预案。并明确了参加演练部门含：医务部、设备科、保卫科、放射科、放疗科、核医学科等部门。预案规定了每年底应对全院辐射安全工作进行总结，并提出下一年度的工作计划。

综上所述，医院制定的《辐射事故应急处置预案》能满足本项目运行要求。建议医院加强辐射事故应急方面的培训，加强应急演练，维持应急物资，并不断总结修改完善预案内容。

表 13 结论与建议

13.1.实践的正当性分析

玉林市第一人民医院新建核医学肿瘤治疗中心核技术应用项目目的在于开展医学放射诊疗工作，对保障人民群众身体健康、拯救生命起着十分重要的作用；项目的建设为病人提供一个更加优越的诊疗环境，具有明显的社会效益，同时项目的实施提高了医院档次及服务水平，吸引更多的就诊人员，医院在保障病人健康的同时也创造了更大的经济效益。因此，玉林市第一人民医院核医学肿瘤治疗中心核技术应用项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

13.2 选址合理性分析

项目位于玉林市教育中路495号医院中部偏西位置，为新建的独立、专用楼栋，选址不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，同时设置有相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。因此，项目选址能满足HJ 1188-2021第5.1及（、HJ 1198-2021中第5.1的要求。

13.3 辐射环境影响评价

1、辐射环境影响现状评价

玉林市第一人民医院核医学肿瘤治疗中心核技术应用项目场址周围环境的辐射水平未见异常。

2、辐射环境影响分析与预测

A、场所辐射屏蔽能力评价

只要医院严格按照本评价中屏蔽设计方案施工，并保证施工质量，预计项目核医学相关场所控制区外围关注点剂量率均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内各关注点剂量率均低于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，屏蔽柜体表面 5cm 处的剂量当量率均小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ；屏蔽柜体表面 30cm 的剂量率均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。满足GBZ 120-2020中第5.3.1款剂量率目标值的要求，同时满足HJ 1188-2021中第6.1款的要求。

预计螺旋断层放射治疗系统、X线立体定向放射治疗系统项目机房外关注点剂量率均小于剂量率参考控制水平，满足HJ1198-2021的要求。

B、职业人员受照剂量分析与评价

预计工作人员因为该新建核医学肿瘤治疗中心核技术应用项目的运行而受到额

外附加的年有效剂量小于职业人员年有效剂量管理约束值（5mSv），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于剂量限制的要求。

C、公众成员受照剂量分析与预测

预计公众成员因该新建核医学肿瘤治疗中心核技术应用项目的正常运行而受到额外附加的辐射照射小于公众成员年有效剂量管理约束值（0.1mSv），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

3、放射性三废处理措施评价

（1）废气。拟建的核医学肿瘤治疗中心核技术应用项目产生的放射性废气采取独立的排放管道引至楼顶，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量；分装室内分装柜通风橱设置有单独的排风管道，通风橱通风速率不小于0.5m/s；排气管出口高度高于所在楼楼顶，核医学科废气设活性炭净化过滤装置，更换下来的废活性炭按放射性固体废物处理，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的相关要求。

（2）废水。拟设置2套放射性废液衰变池，分别收集诊断项目废水及治疗项目废水，预计能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中排放要求。

（3）固废。本项目核医学科废气排放口产生的废活性炭以及核医学科产生的其他受放射性污染物品作为放射性固体废物，放射性固体废物暂存一定时间，经监测满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）要求后，按医疗废物处理，不会对周围环境产生污染；不能清洁解控的放射性废物送有资质机构处理；报废放射源送原厂家处理。

13.4 辐射环境管理制度

（1）医院为了加强医院环境保护工作领导，规范医院放射性同位素及射线装置辐射安全及管理成立了辐射安全与环境保护管理机构。

（2）医院为了加强对放射性同位素、射线装置安全和防护的管理，促进放射性同位素、射线装置的安全应用，保证医疗质量和医疗安全，保障放射诊疗工作人员、患者和公众的人体健康，医院建立了相应的管理制度（包括操作规程、岗位职责、人员培训、监测方案等）和辐射事故应急预案。

（3）为应对可能出现的辐射事故，医院成立了辐射事故应急处理领导小组。

13.5 安全培训及健康管理

(1) 对所有从事辐射工作的人员进行辐射安全与防护知识教育培训，培训考核合格方能上岗，使工作人员熟练掌握操作技能，减少操作时间，从而达到减少受照剂量。

(2) 所有辐射工作人员均应进行个人累积剂量的监测并建立个人档案，每两年进行一次健康体检。

13.6 结论

综上所述，玉林市第一人民医院核医学肿瘤治疗中心核技术应用项目，在落实本评价报告所提出的各项污染防治措施后，其运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，从辐射环境保护角度论证，该项目的建设是可行的。

建议和承诺

根据项目情况，本评价提出以下建议：

1、根据工作实际，不断完善辐射安全管理体系，加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，杜绝辐射事故的发生。

2、继续做好对放射工作人员的辐射防护培训、个人剂量检测、健康体检和辐射环境监测等工作，发现问题及时整改，并分类保管保存相关资料。

3、按照辐射事故应急预案和报告制度的要求，定期进行应急演练。

4、落实辐射防护设施定期检查制度，如工作警示灯、辐射警示标记等。

5、原核医学科非密封源工作场所不再使用时，应及时按要求办理退役手续。

为保护环境，保障人员健康，医院承诺：

1、按《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》（环保部 18 号令）要求开展个人剂量监测、工作场所监测以及对本单位射线装置的安全和防护状态进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关及当地生态环境部门提交上一年度的评估报告。

2、接受生态环境部门的监督检查并及时整改检查中发现的问题。

3、完善规章制度并保证各种规章制度和操作规程的有效执行。

4、按要求开展竣工环保验收。

5、原核医学科非密封源工作场所不再使用时，及时按要求办理退役手续。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

公 章

经办人

年 月 日

审批意见：

公 章

经办人

年 月 日