

编号：FB23720012

核技术利用建设项目

温岭市第一人民医院温岭市高端医学中心

核技术利用建设项目

环境影响报告表

(报批稿)

温岭市第一人民医院

2025年11月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

温岭市第一人民医院温岭市高端医学中心

核技术利用建设项目

环境影响报告表

建设单位名称：温岭市第一人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：浙江省温岭市城西街道川安南路 333 号

邮政编码：317599

联系人：陈超

电子邮箱：513932122@qq.com

联系电话：13600582891

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	16
表 3 非密封放射性物质	16
表 4 射线装置	17
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	19
表 6 评价依据	20
表 7 保护目标与评价标准	24
表 8 环境质量和辐射现状	35
表 9 项目工程分析与源项	40
表 10 辐射安全与防护	79
表 11 环境影响分析	123
表 12 辐射安全管理	188
表 13 结论与建议	195
表 14 审批	201
附图 1 医院地理位置图	错误！未定义书签。
附图 2-1 医院总平面布置图	错误！未定义书签。
附图 2-2 医院周边环境关系图	错误！未定义书签。
附图 2-3 项目周边环境关系图	错误！未定义书签。
附图 3-1 温岭市高端医学中心地下三层平面布置图	错误！未定义书签。
附图 3-2 温岭市高端医学中心地下二层平面布置图(放疗科各机房和衰变池)	错误！未定义书签。
附图 3-3 温岭市高端医学中心地下一层平面布置图	错误！未定义书签。
附图 3-4 温岭市高端医学中心一层平面布置图（核医学科）	错误！未定义书签。
附图 3-5 温岭市高端医学中心二层平面布置图	错误！未定义书签。
附图 3-6 温岭市高端医学中心三层平面布置图（DSA 机房）	错误！未定义书签。
附图 3-7 温岭市高端医学中心四层平面布置图	错误！未定义书签。
附图 3-8 核医学科剖面图	错误！未定义书签。

附图 3-9	核医学科控制区、监督区划分图	错误！未定义书签。
附图 3-10	衰变池控制区、监督区划分图	错误！未定义书签。
附图 3-11	放疗科各机房控制区、监督区划分图	错误！未定义书签。
附图 3-12	DSA 机房控制区、监督区划分图	错误！未定义书签。
附图 3-13	放疗科各机房平面布置图	错误！未定义书签。
附图 3-14	直线加速器机房剖面图	错误！未定义书签。
附图 3-15	射波刀机房剖面图	错误！未定义书签。
附图 3-16	后装治疗机机房剖面图	错误！未定义书签。
附图 3-17	核医学科排水管线图	错误！未定义书签。
附图 3-18	核医学科排风管线图	错误！未定义书签。
附图 3-19	直线加速器机房、射波刀机房和后装治疗机机房排风和新风管线图	错误！未定义书签。
附图 3-20	核医学科人员、物流路径规划图	错误！未定义书签。
附图 3-21	放疗科人员、物流路径规划图	错误！未定义书签。
附图 3-22	DSA 机房人员、物流路径规划图	错误！未定义书签。
附图 4	台州市陆域生态环境管控单元分类图	错误！未定义书签。
附图 5	温岭市“三区三线”图	错误！未定义书签。
附件 1	委托书	错误！未定义书签。
附件 2	事业单位法人证书及法人身份证	错误！未定义书签。
附件 3	辐射安全许可证	错误！未定义书签。
附件 4	医院建设项目初步设计批复和环评手续	错误！未定义书签。
附件 5	医院原有核技术利用项目环评及验收手续	错误！未定义书签。
附件 6	辐射环境质量现状监测报告	错误！未定义书签。
附件 7	辐射工作场所年度检测报告（部分）	错误！未定义书签。
附件 8	辐射安全防护管理小组成立文件	错误！未定义书签。
附件 9	放射（辐射）事故应急预案	错误！未定义书签。
附件 10	个人剂量检测报告（部分）	错误！未定义书签。
附件 11	专家意见及修改说明	错误！未定义书签。

表 1 项目基本情况

建设项目名称		温岭市第一人民医院温岭市高端医学中心核技术利用建设项目				
建设单位		温岭市第一人民医院				
法人代表	毛文忠	联系人	陈超	联系电话	13600582891	
注册地址		温岭市城西街道川安南路 333 号				
项目建设地点		浙江省温岭市城西街道川安南路 333 号 温岭市第一人民医院温岭市高端医学中心				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）	6500	项目环保投资（万元）	900	投资比例（环保投资/总投资）	13.85%	
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积（m ² ）	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input checked="" type="checkbox"/> V类			
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
	射线装置	<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙			
		<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	/					
1.1 项目概述						
1.1.1 建设单位概况						
<p>温岭市第一人民医院（以下简称：“医院”）始建于 1941 年，是一家三级甲等综合性医院，承担着全市的医疗急救、突发传染病收治、预防保健和科研教学等任务。医院于 2017 年 10 月整体搬迁至川安南路 333 号，医院开放床位 1860 张，设有 40 多个临床医技科室和 1 个健康体检中心。2017 年门急诊人次 148.3 万，出院人次 5.92 万，手术例次 3.6 万。2017 年进入县级全国 10 强专科 5 个，分别是普通外科第 5、骨科第 5、肾脏内科第 8、神经外科第 9、重症医学科第 10。</p> <p>为提高突发重大公共卫生事件防治能力和打造区域医学新高峰，补齐医疗卫生领域短板，进一步提高卫生医疗服务能力，保障公众健康与生命安全，医院规划建设“温岭</p>						

市高端医学中心项目、温岭市公共卫生临床中心项目”，并已于 2024 年委托浙江瑞阳环保科技有限公司编制《温岭市高端医学中心项目、温岭市公共卫生临床中心项目环境影响报告表》（该环评报告未包括核技术利用项目辐射环境影响内容，仅规划明确了温岭市高端医学中心地下二层设置放疗科，一层设置核医学科），于 2025 年 1 月 2 日由台州市生态环境局以台环建（温）〔2025〕1 号进行了批复（见附件 4），现温岭市高端医学中心正在建设中。

1.1.2 建设目的和任务由来

医院医疗综合楼内现设有放射科和介入科，未设置核医学科和放疗科，近年来，随着医疗服务对象的扩大及人民群众对医疗服务质量要求的提高，为促进温岭市城市建设和经济发展的需要，进一步改善当地医疗环境，提高医院知名度，医院规划在院区南侧新建一幢温岭市高端医学中心，在温岭市高端医学中心地下二层设置放疗科，一层设置核医学科，三层增设 1 间 DSA 机房。

本项目核医学科拟购置 1 台 PET/CT（因本项目 PET/CT 具体型号尚未确定，其具体使用的校准源活度和数量尚不能明确，校准源一般为 V 类放射源，因此本项目保守按照主流设备中所配备最大活度校准源和数量，1 枚 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}^{68}\text{Ge}$ 校准源和 1 枚 $5.55 \times 10^7 \text{Bq}^{68}\text{Ge}$ 校准源进行评价），使用核素 ^{18}F 进行显像诊断；拟购置 1 台 SPECT/CT，使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行显像诊断；使用核素 ^{131}I 进行甲状腺吸碘率测定、甲亢治疗；使用核素 ^{89}Sr 进行骨转移癌治疗；使用核素 ^{32}P 和放射源 ^{90}Sr （拟配备 1 枚初始活度为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ 的 ^{90}Sr ）进行敷贴治疗。根据计算，本项目核医学科场所非密封放射性物质日等效最大操作量为 $7.48 \times 10^8 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目放疗科拟建设 1 间直线加速器机房、1 间射波刀机房和 1 间后装治疗机机房及配套用房（包括 1 间 CT 模拟定位机机房），购置 1 台 15MV 直线加速器、1 台 6MV 射波刀、1 台后装治疗机（拟使用 1 枚初始活度为 $5.55 \times 10^{11} \text{Bq}$ 的 ^{192}Ir 放射源）和 1 台 CT 模拟定位机（最大管电压为 150kV，最大管电流为 1300mA），开展放射治疗。

医院现医疗综合楼一层介入科已配置 2 间 DSA 机房，由于介入手术量持续增长，现有机房 DSA 设备已满负荷运转，为缓解介入手术量增长带来的压力，优化多科室协同流程、提升应急响应效率，拟在温岭市高端医学中心三层增设 1 间 DSA 机房，购置 1 台 DSA（为单球管设备，最大管电压为 125kV，最大管电流为 1250mA），用于介入治疗和影像诊断。

根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（原环境保护部，国家卫生和计划生育委员会公告，公告 2017 年第 66 号），上述射波刀、直线加速器和 DSA 属于 II 类射线装置，PET/CT、SPECT/CT 和 CT 模拟定位机属于 III 类射线装置；根据《关于发布<放射性废物分类>的公告》（原国家环保总局公告，公告 2005 年第 62 号），PET/CT 拟配置校准源 ^{68}Ge 以及敷贴治疗放射源 ^{90}Sr 均属于 V 类放射源，后装治疗机拟配置 ^{192}Ir 放射源属于 III 类放射源；根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中附录 C 非密封源工作场所的分级标准，本项目核医学科场所为乙级非密封放射性物质工作场所。根据《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国环境影响评价法》等相关法律法规要求，本项目应组织编制环境影响评价文件。对照生态环境部令第 16 号《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—使用 V 类放射源；使用 III 类射线装置”和“172、核技术利用建设项目—使用 III 类放射源；使用 II 类射线装置；乙级非密封放射性物质工作场所”，环评类别分别为环境影响登记表和环境影响报告表。综上所述，本项目应编制环境影响报告表。

为此，温岭市第一人民医院委托浙江建安检测研究院有限公司开展“温岭市第一人民医院温岭市高端医学中心核技术利用建设项目”（简称“本项目”）的环评工作。在接受委托后，评价单位组织相关技术人员进行了现场勘察、资料收集、辐射环境现状监测等工作，并结合项目特点，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）等规定要求编制完成本环境影响报告表。

1.1.3 项目建设内容和规模

1.1.3.1 核医学科

本项目核医学科位于温岭市高端医学中心一层南侧，拟购置 1 台 PET/CT（PET/CT 拟配备 1 枚 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ ^{68}Ge 校准源和 1 枚 $5.55 \times 10^7 \text{Bq}$ ^{68}Ge 校准源），最大管电压为 150kV，最大管电流为 1300mA，属于 III 类射线装置，并使用核素 ^{18}F 进行显像诊断；拟购置 1 台 SPECT/CT，最大管电压为 150kV，最大管电流为 1300mA，属于 III 类射线装置，并使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行显像诊断；使用核素 ^{131}I 进行甲状腺吸碘率测定、甲亢治疗；使用核素 ^{89}Sr 进行骨转移癌治疗；使用核素 ^{32}P 和放射源 ^{90}Sr （拟配备 1 枚初始活度为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ 的 ^{90}Sr ）进行敷贴治疗。

本项目核医学科核素使用情况见表 1.1-1。

表 1.1-1 本项目核医学科核素使用情况

使用核素	物理状态	日最大诊疗量	年最大诊疗量	单次最大使用量	实际日最大操作量	年最大用量	给药方式	诊断治疗项目
¹⁸ F	液态	20 人	5000 人次	3.70×10 ⁸ Bq (10mCi)	7.40×10 ⁹ Bq	1.85×10 ¹² Bq	静脉注射	PET/CT 显像诊断
^{99m} Tc	液态	30 人	7500 人次	9.25×10 ⁸ Bq (25mCi)	2.78×10 ¹⁰ Bq	6.94×10 ¹² Bq	静脉注射/肺通气吸入	SPECT/CT 显像诊断
¹³¹ I 甲测	液态	10 人	2500 人次	1.85×10 ⁵ Bq (5μCi)	1.85×10 ⁶ Bq	4.63×10 ⁸ Bq	口服	甲状腺吸碘功能测定
¹³¹ I 甲亢	液态	10 人	2500 人次	3.70×10 ⁸ Bq (10mCi)	3.70×10 ⁹ Bq	9.25×10 ¹¹ Bq	口服	甲亢治疗
⁸⁹ Sr	液态	5 人	1250 人次	1.85×10 ⁸ Bq (5mCi)	9.25×10 ⁸ Bq	2.31×10 ¹¹ Bq	静脉注射	骨转移癌治疗
³² P	液态	10 人	2500 人次	3.70×10 ⁷ Bq (1mCi)	3.70×10 ⁸ Bq	9.25×10 ¹⁰ Bq	敷贴	敷贴治疗

根据《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日施行），满足以下特点的放射性药品生产、使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效最大操作量核算：

- ①有相对独立、明确的监督区和控制区划分；
- ②工艺流程连续完整；
- ③有相对独立的辐射防护措施。

因此，本项目核医学科场所作为一个单独场所进行日等效最大操作量核算。

经后文计算结果（见表 10.1-4）可知，本项目核医学科场所非密封放射性物质日等效最大操作量为 7.48×10⁸Bq，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的划分标准，均属于 2×10⁷Bq~4×10⁹Bq 的范围，故核医学科场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。

1.1.3.2 放疗科

本项目放疗科位于温岭市高端医学中心地下二层南侧，拟购置 1 台直线加速器、1 台射波刀、1 台后装治疗机和 1 台 CT 模拟定位机。直线加速器 X 射线最大能量为 15MV，电子线最大能量均为 22MeV，属于 II 类射线装置，自带 1 套锥形束 CT（CBCT）影像引导设备，最大管电压 150kV，最大管电流 1000mA；射波刀 X 射线最大能量均为 6MV，属于 II 类射线装置，自带定位系统，为 2 个 X 射线球管，最大管电压为 150kV，最大管

电流为 640mA；后装治疗机配套的 1 枚 ^{192}Ir 放射源，初始活度为 $5.55 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，为 III 类放射源；CT 模拟定位机最大管电压为 150kV，最大管电流为 1300mA，属于 III 类射线装置。

1.1.3.3 介入科

本项目 DSA 机房位于温岭市高端医学中心三层西侧，拟购置 1 台 DSA。DSA 为单球管设备，最大管电压为 125kV，最大管电流为 1250mA，属于 II 类射线装置。

综上所述，本项目建设内容和规模见表 1.1-2~1.1-4。

表 1.1-2 本项目所涉及放射源一览表

放射源名称	类别	活动种类	单枚源活度	数量	工作场所名称	备注
^{68}Ge	V类	使用	$1.11 \times 10^8\text{Bq}$	1 枚	温岭市高端医学中心一层核医学科 PET/CT 机房	新增
^{68}Ge	V类	使用	$5.55 \times 10^7\text{Bq}$	1 枚		新增
^{90}Sr	V类	使用	$1.85 \times 10^9\text{Bq}$	1 枚	温岭市高端医学中心一层核医学科敷贴治疗室	新增
^{192}Ir	III类	使用	$5.55 \times 10^{11}\text{Bq}$	1 枚	温岭市高端医学中心地下二层放疗科后装治疗机机房	新增

表 1.1-3 本项目所涉及非密封放射性物质一览表

工作场所	放射性核素名称	活动种类	计划日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	用途	场所等级
温岭市高端医学中心一层核医学科场所	^{18}F (使用)	使用	7.40×10^9	7.40×10^6	PET/CT 显像诊断	乙级
	^{18}F (备药)	使用	2.96×10^{10}	2.96×10^7	备药	
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	使用	2.59×10^{10}	2.59×10^7	SPECT/CT 显像诊断	
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 肺通气	使用	1.85×10^9	1.85×10^8		
	^{131}I (甲测)	使用	1.85×10^6	1.85×10^5	甲状腺吸碘功能测定	
	^{131}I (甲亢)	使用	3.70×10^9	3.70×10^8	甲亢治疗	
	^{89}Sr	使用	9.25×10^8	9.25×10^7	骨转移癌治疗	
^{32}P	使用	3.70×10^8	3.70×10^7	敷贴治疗		

表 1.1-4 本项目新增射线装置一览表

场所项目	装置名称	类别	数量	参数			用途	工作场所名称	备注
				射线种类	最大射线能量	最大剂量率			
放疗科	直线加速器	II类	1 台	X 射线	15MV	距靶 1m 处的最大剂量率为 360Gy/h	放射治疗	温岭市高端医学中心地下二层放疗科直线加速器机房	新增
					10MV				
				电子线	22MeV	距靶 1m 处的最大剂量率为 600Gy/h			
				CBCT: 最大管电压为 150kV, 最大管电流为 1000mA					
	射波刀	II类	1 台	X 射线	6MV	距靶 0.8m 处的最大		温岭市高端医	新增

				剂量率为 600Gy/h 定位系统 2 个 X 射线球管：最大管电压为 150kV，最大管电流为 640mA		学中心地下二层放疗科射波刀机房	
	CT 模拟定位机	III类	1 台	最大管电压：150kV 最大管电流：1300mA	病灶定位	温岭市高端医学中心地下二层放疗科 CT 模拟定位机机房	新增
核医学科	PET/CT	III类	1 台	最大管电压：150kV 最大管电流：1300mA	显像诊断	温岭市高端医学中心一层核医学科场所 PET/CT 机房	新增
	SPECT/CT	III类	1 台	最大管电压：150kV 最大管电流：1300mA	显像诊断	温岭市高端医学中心一层核医学科场所 SPECT/CT 机房	新增
介入科	DSA	II类	1 台	最大管电压：125kV 最大管电流：1250mA	影像诊断和介入治疗	温岭市高端医学中心三层 DSA 机房	新增

1.1.4 工作人员及工作制度

本项目辐射工作人员实行 8h 单班工作制度，年工作日为 250 天。

核医学科拟配置辐射工作人员 12 名，放疗科拟配置辐射工作人员 17 名，介入科 DSA 拟配置辐射工作人员 10 名，均为新增辐射工作人员，且仅负责各自辐射工作场所工作内容，不同岗位互不兼岗，具体人员配置情况见表 1.1-5。

表 1.1-5 本项目辐射工作人员配置情况表

辐射工作场所		工作内容	工作岗位	人数
核医学科	办公室、读片室	办公、读片	医生	4 人
	护士站、分装室	预约登记、放射性药物给药	护士	4 人
	PET/CT 控制室	操作 PET/CT、患者摆位	技师	2 人
	SPECT/CT 控制室	操作 SPECT/CT、患者摆位	技师	2 人
放疗科	直线加速器控制室	操作直线加速器	技师	2 人
	射波刀控制室	操作射波刀	技师	2 人
	后装治疗机控制室	操作后装治疗机	技师	2 人
	CT 模拟定位机控制室	操作 CT 模拟定位机	技师	1 人
	放疗科各机房	问诊、出具治疗方案	医生	7 人
制定治疗计划		物理师	3 人	
介入科	DSA	操作 DSA	技师	2 人
		介入手术	医生	8 人
			护士	4 人

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号），本项目新增辐射工作人员从事使用 II 类射线装置、非密封放射性物质和放射源操作的应在生态环境部国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加相应类别培训学习，考核合格后上岗，并按时接受再培训，其中从事 III 类射线装置的辐

射工作人员参加医院自行组织的辐射安全与防护考核，并取得合格成绩，并建立成绩档案。

1.2 项目选址及周边环境保护目标

1.2.1 医院地理位置及周围环境概况

医院位于温岭市城西街道川安南路 333 号，东临川安南路，隔路为在建住宅用地和高洋村一区，南临阳光大道，西临下保河，北临中心大道，隔路为滨江绿城大悦城悦景园。医院地理位置图见附图 1。

1.2.2 项目周边环境关系

本项目核医学科、放疗科和介入科均位于温岭市高端医学中心内，温岭市高端医学中心拟建于医院南侧。

(1) 核医学科

本项目核医学科位于温岭市高端医学中心一层，衰变池位于温岭市高端医学中心地下二层。核医学科东侧边界距离医院用地红线约 49m，南侧边界距离医院用地红线约 67m；衰变池东侧边界距离医院用地红线约 63m。

(2) 放疗科

本项目放疗科位于温岭市高端医学中心地下二层。放疗科机房东侧边界距离医院用地红线约 72m，东南侧边界距离阳光大道约 44m，南侧边界距离医院用地红线约 13m，距离神童门社区卫生服务站约 115m。

(3) 介入科

本项目 DSA 机房位于温岭市高端医学中心三层，DSA 机房东南侧边界距离阳光大道约 89m，西南侧边界距离医院用地红线约 32m。

综上所述，本项目 50m 评价范围内主要为医院内部建筑物和道路以及阳光大道部分道路、下保河部分区域。

医院总平面布置图见附图 2-1，医院周边环境图见附图 2-2 和附图 2-3。

1.2.3 项目场所四至及上、下层相邻环境关系

(1) 核医学科

温岭市高端医学中心一层核医学科东侧为影像中心候诊大厅、走廊和门厅，南侧为院内道路，西侧为走廊、出入院办理窗口和更衣休息室，北侧为庭院，上方为体检中心，下方为地下停车场。见附图 3-3 至附图 3-5。

(2) 放疗科

直线加速器机房、射波刀机房、后装治疗机机房和 CT 模拟定位机机房均位于温岭市高端医学中心地下二层。直线加速器机房东侧为射波刀机房，南侧为地下停车场道路，西侧为强电间、补风井和后装治疗机机房，北侧为控制室、水冷机房和走廊，上方为院内道路，下方为岩土层；射波刀机房东侧为地下停车场道路和储藏间，南侧为地下停车场道路，西侧为直线加速器机房，北侧为控制室、水冷机房和走廊，上方为院内道路，下方为岩土层；后装治疗机机房东侧为直线加速器机房，南侧为停车位和补风井，西侧为控制室和准备间，北侧为 CT 模拟定位机机房和控制室，上方为地下停车场道路，下方为岩土层；CT 模拟定位机机房东侧为控制室，南侧为后装治疗机机房和准备间，西侧走廊和准备间，北侧为走廊，上方为地下停车场道路和停车位，下方为岩土层。见附图 3-1 至附图 3-4。

(3) 介入科

温岭市高端医学中心三层 DSA 机房东侧为控制室和换床间，南侧为走廊，西侧为设备间和医疗废物暂存间，北侧为走廊，上方为走廊和办公室，下方为走廊、CT 机房 VIP 等候室以及 DR 机房和控制室。见附图 3-5 至附图 3-7。

1.2.4 核技术利用项目选址合理性分析

本项目核医学科位于温岭市高端医学中心一层，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区。核医学科放射性废气由排风管线引至温岭市高端医学中心楼（排放高度约 47m）楼顶高出屋脊排放，排放口尽量远离了邻近的高层建筑，排风管设置止回阀，防止气流倒灌，手套箱顶壁和排风口均设活性炭吸附装置。衰变池位于温岭市高端医学中心地下二层，周围活动人员较少，其选址便于核医学科放射性废水的收集衰变。因此，核医学科选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于核医学工作场所选址的相关要求。

本项目放疗科直线加速器机房、射波刀机房、后装治疗机机房和 CT 模拟定位机机房均位于温岭市高端医学中心地下二层。各机房选址不在居民、写字楼和商住两用楼内，选址避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中关于放射治疗场所选址的相关要求。

本项目介入科 DSA 机房位于温岭市高端医学中心三层手术中心内，相邻区域没有产科、儿科病房等敏感人群长时间集中停留的场所。因此介入科机房选址合理。

综上所述，整个核技术利用项目布置在满足医疗流程完整、顺畅运行的前提下，充分考虑了周围环境的影响和辐射类项目尽量集中设置的原则，因此，医院的整体布局及主要辐射工作场所的位置选择较为合理。

1.3 其他符合性分析

1.3.1 “三线一单”符合性分析

本项目位于温岭市城西街道川安南路 333 号温岭市第一人民医院内，根据《温岭市人民政府关于印发温岭市生态环境分区管控动态更新方案的通知》（温政发〔2024〕13 号），本项目所在地属于“台州市温岭市温岭城市城镇生活重点管控单元（生态环境管控单元编码：ZH33108120025）”（见附图 4）。本环评对生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境管控单元准入清单进行对照分析。

（1）生态保护红线

本项目位于温岭市城西街道川安南路 333 号温岭市第一人民医院内。根据温岭市“三区三线”划分图，本项目所在区域属于城镇开发边界内（见附图 5），主体工程占地不涉及永久基本农田与生态保护红线，因此，本项目不涉及温岭市生态保护红线，满足生态保护红线要求。

（2）环境质量底线

根据环境质量现状监测结果，本项目拟建场址周围环境 γ 辐射剂量属于正常本底范围， α 表面污染、 β 表面污染和中子未见异常。在落实本环评提出的各项污染防治措施后，不会对周围环境产生不良影响，能维持周边环境质量现状，满足该区域环境质量功能要求，不触及环境质量底线。

（3）资源利用上线

本项目主要水源为自来水，由市政自来水管网供给，占比量较小；主要能源为电能，项目电能主要依托市政电力管网。本项目在现有用地范围内实施，且整体而言本项目所用资源相对较小，也不占用当地其他自然资源和能源，因此不会突破资源利用上线。

（4）生态环境准入清单

本项目所在地属于“台州市温岭市温岭城市城镇生活重点管控单元（生态环境管控单元编码：ZH33108120025）”，本项目的建设符合温岭市生态环境准入清单要求符合性分析见表 1.3-1。

表 1.3-1 温岭市生态环境准入清单符合性分析一览表

温岭市生态环境准入清单要求		本项目概况	是否符合
空间布局约束	禁止新建、扩建三类工业项目，现有三类工业项目改建不得增加污染物排放总量，鼓励现有三类工业项目搬迁关闭。禁止新建涉及一类重金属、重点行业重点重金属污染物、持久性有机污染物排放等环境健康风险较大的二类工业项目。除工业功能区（小微园区、工业集聚点）外，原则上禁止新建其他二类工业项目。现有二类工业项目改建、扩建，不得增加管控单元污染物排放总量。严格执行畜禽养殖禁养区规定。推进城镇绿廊建设，协同建设区域生态网络和绿道体系，建立城镇生态空间与区域生态空间的有机联系。推进既有建筑绿色化改造，高质量发展零碳低耗绿色建筑。	本项目属于医院核技术利用项目，不属于工业项目和畜禽养殖项目。	符合
污染物排放管控	严格实施污染物总量控制制度，根据区域环境质量改善目标，削减污染物排放总量。污水收集管网范围内，禁止新建除城镇污水处理设施外的入河入海排污口，现有的入河入海排污口应限期拆除，但相关法律法规和标准规定必须单独设置排污口的除外。加快污水处理设施建设与提标改造，加快完善城乡污水管网，强化城区截污管网精细化改造，加强对现有雨污合流管网的分流改造，深化城镇“污水零直排区”建设。加强污水收集管网特别是支线管网建设，强化城中村、老旧城区和城乡结合部污水截流、纳管及改造。餐饮、宾馆、洗浴（含美容美发、足浴）、修理（洗车）等三产污水，要做到雨、污分离，达标排放，产生油污的行业，污水必须按规范经隔油池预处理后，方可排入市政污水管道，餐饮油烟不得通过下水道排放。全面实施城镇污水纳管许可制度，依法核发排水许可证。加强噪声和臭气异味防治，强化餐饮油烟治理，严格施工扬尘监管，依法严禁秸秆、垃圾等露天焚烧。加强土壤和地下水污染防治与修复。推动能源、工业、建筑、交通、居民生活等重点领域绿色低碳转型。	本项目为医院核技术利用项目，非工业类项目，放射性废气经活性炭处理后排放，放射性废水经衰变池衰变后排入医院污水处理站处理达标排放，固体放射性废物暂存衰变后清洁解控并作为医疗废物处置，均能做到达标排放或妥善安全处置。	符合
环境风险防控	合理布局工业、商业、居住、科教等功能区块，严格控制噪声、恶臭、油烟等污染排放较大的建设项目布局。	本项目为医院核技术利用项目，不属于噪声、恶臭、油烟等污染排放较大的建设项目。	符合
资源开发效率要求	全面开展节水型社会建设，推进节水产品推广普及，限制高耗水服务业用水。到 2025 年，推进生活节水降损，实施城市供水管网优化改造，城市公共供水管网漏损率控制在 9% 以内。	本项目所用水源主要为自来水，用水量较小，非高耗水服务业用水。	符合

本项目为医院核技术利用项目，非工业项目，对照《温岭市生态环境分区管控动态更新方案》，本项目的实施符合《温岭市生态环境分区管控动态更新方案》的要求。

1.3.2 与温岭市“三区三线”符合性分析

本项目位于温岭市城西街道川安南路 333 号温岭市第一人民医院内，在现有用地范围内实施，不新增用地。

根据《自然资源部办公厅关于浙江等省（市）启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》（自然资办函〔2022〕2080 号）要求，“三区三线”划定成果作为建设项目用地用海组卷报批的依据。其中“三区”具体指农业空间、生态空间、城镇空间三种类型的国土空间，“三线”分别对应永久基本农田、生态保护红线、城镇开发边界三条控制线。

根据温岭市“三区三线”划分图（见附图 5），本项目所在区域属于城镇开发边界内，不涉及永久基本农田、生态保护红线，因此，项目的建设符合温岭市“三区三线”要求。

1.3.3 产业政策符合性分析

本项目属于核技术在医学领域内的运用。根据国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于第一类“鼓励类”第三十七项“卫生健康”中第 1 条“医疗服务设施建设：预防保健、卫生应急、卫生监督服务设施建设，医疗卫生服务设施建设，传染病、儿童、精神卫生专科医院和康复医院（中心）、护理院（中心）、安宁疗护中心、全科医疗设施与服务，医养结合设施与服务”项目，因此，本项目建设符合国家产业政策要求。

1.3.4 实践正当性分析

本项目的建设可以更好地满足患者就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，对保障人民群众身体健康、拯救生命起到了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。

医院在放射诊疗过程中，对放射性核素、放射源和射线装置的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对放射性核素、放射源和射线装置的安全管理将建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术利用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

1.4 原有核技术利用项目许可情况

1.4.1 医院原有核技术利用项目许可情况

温岭市第一人民医院现持有浙江省生态环境厅颁发的辐射安全许可证，证书编号：浙环辐证[J2383]（见附件3）；发证日期：2025年10月14日，有效期至：2029年05月26日；种类和范围：使用II类、III类射线装置。

1.4.2 原有核技术利用项目环保手续履行情况

根据辐射安全许可证，医院已获许可使用的射线装置共 19 台，原有核技术利用项目射线装置环保手续履行情况见表 1.4-1，相关环保手续文件见附件 5。

表 1.4.2-1 医院原有核技术利用项目（放射源）环保手续履行情况一览表

序号	设备名称	射线装置类别	规格型号	用途	工作场所	环评手续	验收手续		
1	心血管成像系统	II类	Innova 3100-IQ	血管造影用 X 射线装置	导管室（川安南路 333 号）	台环辐（2018）9 号	2021 年 11 月 11 日完成自主验收		
2	医用血管造影 X 射线系统	II类	UNIQ FD20	血管造影用 X 射线装置	导管室（川安南路 333 号）				
3	X 射线计算机断层摄影设备	III类	uCT 510	医用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置	发热门诊（川安南路 333 号）：CT 机房	备案号：20243310810000034			
4	数字乳腺 X 射线摄影系统	III类	Selenia	医用诊断 X 射线装置	放射影像中心（川安南路 333 号）				
5	数字化医用 X 射线摄影系统	III类	uDR 770i	医用诊断 X 射线装置	放射影像中心（川安南路 333 号）				
6	数字化医用 X 射线摄影系统	III类	AXIOMARistos VX	医用诊断 X 射线装置	放射影像中心（川安南路 333 号）				
7	数字化医用 X 射线摄影系统	III类	uDR588i	医用诊断 X 射线装置	放射影像中心（川安南路 333 号）				
8	数字化医用 X 射线摄影系统（DR）	III类	DRX-Compass	医用诊断 X 射线装置	放射影像中心（川安南路 333 号）			备案号：20243310810000035	
9	碎石 X 射线机	III类	HK.ESW L-V	医用诊断 X 射线装置	放射影像中心（川安南路 333 号）			备案号：20243310810000034	
10	全景 X 射线机	III类	Planmeca ProlineXC	口腔（牙科）X 射线装置	放射影像中心（川安南路 333 号）				
11	口腔颌面锥形束计算机断层摄影设备	III类	Promax 3D Mid	口腔（牙科）X 射线装置	放射影像中心（川安南路 333 号）				
12	X 射线诊断设备	III类	MOBILE TT XP Digital	医用诊断 X 射线装置	放射影像中心（川安南路 333 号）				
13	移动式 X 射线机	III类	MobiEye700	医用诊断 X 射线装置	放射影像中心（川安南路 333 号）				
14	多功能全数字 X 射线装置	III类	MDX-800 0A	医用诊断 X 射线装置	放射影像中心（川安南路 333 号）				

15	X 射线计算机体层摄影设备	Ⅲ类	OptimaC T540	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	放射影像中心 (川安南路 333 号)	备案号: 202433108100000 224	
16	全身用 X 射线计算机体层摄影装置	Ⅲ类	OptimaC T680	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	放射影像中心 (川安南路 333 号)		
17	X 射线计算机体层摄影设备	Ⅲ类	uCT 530	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	放射影像中心 (川安南路 333 号)		
18	X 线骨密度测定器	Ⅲ类	EXA-3000	医用诊断 X 射线装置	骨密度室 (川安南路 333 号)		
19	X 射线骨密度检测仪	Ⅲ类	Prodigy Advanced	医用诊断 X 射线装置	骨密度室 (川安南路 333 号)		
20	数字化医用 X 射线摄影系统	Ⅲ类	uDR588i	医用诊断 X 射线装置	看守所监区 3-C 栋 X 光机室; 看守所监区 3-C 栋 X 光机室		
21	直接数字化拍片系统	Ⅲ类	DigitalDiagnost	医用诊断 X 射线装置			
22	口内 X 线机	Ⅲ类	Focus	口腔 (牙科) X 射线装置	口腔科 (川安南路 333 号)		备案号: 202433108100000 034
23	移动式 C 形臂 X 射线系统	Ⅲ类	BVEndura	医用诊断 X 射线装置	内镜中心 (川安南路 333 号)		
24	移动式 C 形臂 X 射线系统	Ⅲ类	BVEndura	医用诊断 X 射线装置	手术室 (川安南路 333 号)		
25	移动式 C 形臂 X 射线系统	Ⅲ类	BVEndura	医用诊断 X 射线装置	手术室 (川安南路 333 号)		备案号: 202433108100000 035
26	移动式 C 形臂 X 射线系统	Ⅲ类	BV Endura	医用诊断 X 射线装置	手术室 (川安南路 333 号)		
27	移动式 C 形臂 X 射线系统	Ⅲ类	BV Endura	医用诊断 X 射线装置	手术室 (川安南路 333 号)		备案号: 202433108100000 034
28	数字化医用 X 射线摄影系统	Ⅲ类	uDR588i	医用诊断 X 射线装置	体检中心 (川安南路 333 号)		
29	X 射线计算机体层摄影设备	Ⅲ类	Optima CT540	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	体检中心 (川安南路 333 号): CT 机房		
30	X 射线计算机体层摄影设备	Ⅲ类	uCT 960+	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	门诊综合楼一层 CT5 机房		备案号: 202533108100000 149
31	移动式 C 型臂 X 射线系统	Ⅲ类	BV Libra	医用诊断 X 射线装置	4 号手术室 (滨海院区)		备案号: 202533108100000 208
32	全身 X 射线计算机体层螺旋扫描装置	Ⅲ类	SOMATOM Scope	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	放射科 CT1 (滨海院区)		
33	X 射线计算机体层摄影设备	Ⅲ类	uCT 960+	医用诊断 X 射线装置	放射科 CT3 (滨海院区)		
34	医用 X 射线摄影系统	Ⅲ类	Digital Diagnost	医用诊断 X 射线装置	放射科 DR2 机房 (滨海院区)		
35	数字化医用 X 射线摄影系统	Ⅲ类	KD-3800DR	医用诊断 X 射线装置	放射科 DR8 (滨海院区)		
36	双能 X 射线骨	Ⅲ类	PRIMUS	医用诊断 X 射	放射科骨密度室		

	密度仪			线装置	(滨海院区)
37	数字乳腺X射线摄影系统	III类	Selenia Dimensions	医用诊断X射线装置	放射科乳腺机房(滨海院区)
38	移动式数字化医用X射线摄影系统	III类	uDR 370i	医用诊断X射线装置	放射科移动DR储藏室(滨海院区)
39	全身X射线计算机体层螺旋扫描装置	III类	UCT510	医用X射线计算机断层扫描(CT)装置	公卫楼CT2(滨海院区)
40	口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备	III类	SS-X1001 0DPLUS	口腔(牙科)X射线装置	口腔科口腔CT机房(滨海院区)
41	口内牙片机	III类	eXpertDC	口腔(牙科)X射线装置	口腔科牙片机房(滨海院区)
42	移动式C型臂X射线系统	III类	BV Endura	医用诊断X射线装置	手术室4(滨海院区)

1.4.3 原有核技术利用项目管理情况

医院原有核技术利用项目各类设施运行过程中较好地执行了相关的辐射安全管理制度，根据上一年辐射工作场所检测报告（报告编号：BG-GACF24235743H和BG-GACF24235743FH，见附件7），原有核技术利用项目运行过程中没有发生事故，运行良好，相关屏蔽防护措施满足防护要求。

医院严格遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关辐射防护法律、法规，配合各级生态环境部门监督和指导，建立了完善的辐射安全和防护制度，并有严格的档案管理制度，现有规章制度基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。医院已严格落实各项规章制度，各类射线装置运行使用多年未出现辐射安全事故，无环保投诉情况，且与辐射安全许可证一致，并且每年有辐射场所监测和年度评估报告。

医院原有核技术利用项目管理情况见表1.4-2。

表 1.4-2 医院原有核技术应用项目环保履行情况一览表

名称	管理情况
辐射防护管理制度	医院现已成立了辐射安全与环境防护管理小组（见附件8），管理委员会由各个科室主任组成，能够有效统筹安排医院的辐射安全事务，并已建立《放射（辐射）事故应急预案》、《放射职业防护管理制度》、《放射影像设备及场所定期检测制度》和《辐射防护铅产品管理制度》等辐射防护管理制度。
辐射防护措施	医院现有辐射工作场所设置有电离辐射警告标志、工作状态指示灯等。根据不同项目实际情况划分辐射防护控制区和监督区，采取分区管理，进行积极、有效的管控。已按《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关要求配置了工作场所防护用品及防护设施。
个人剂量监测	155名辐射工作人员均配备了个人剂量计，且个人剂量计定期送至浙江亿达检测技术有限公司，并建立了个人剂量档案，由医院2024年7月1日~2025年6月30日个人

	剂量检测报告统计结果可知（见附件 10），辐射工作人员年有效剂量最大为放射科陈文娟，为 0.358mSv，低于工作人员剂量约束值 5mSv/a。
职业健康体检	医院对现有辐射工作人员开展健康监护，并建有职业健康档案。辐射工作人员于 2024 年 11 月 2 日、2025 年 9 月 1 日至 9 月 10 日在浙江省台州医院进行了岗前、在岗期间和离岗前职业健康体检，在岗期间体检周期不超过 2 年。根据医院提供的职业健康体检报告可知，医院每两年对辐射工作人员进行体检以及对需要复查的辐射工作人员进行复检，体检结果为无明显异常。
辐射工作人员培训	医院严格按照国家相关规定执行辐射工作人员持证上岗制度，相关辐射工作人员于 2024 年 5 月参加了浙江省卫生监督协会组织的核技术利用辐射安全与防护考核，并考核合格，其中从事 III 类射线装置的辐射工作人员参加医院于 2024 年 4 月和 9 月自行组织的辐射安全与防护考核，并取得合格成绩，并建立成绩档案。
辐射工作场所年度监测	医院每年定期委托浙江建安检测研究院有限公司对辐射工作场所进行年度监测，根据建设单位提供的监测报告（报告编号：BG-GACF24235743H 和 BG-GACF24235743FH）结论，各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求，医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。
辐射应急演练和年度评估	医院已制定有《放射（辐射）事故应急预案》（见附件 9），并定期开展辐射事故应急演练，对演练结果进行总结，及时对辐射事故应急处理预案进行完善和修订。经医院核实，自辐射活动开展以来，未发生过辐射事故；医院编制有《温岭市第一人民医院辐射安全与防护状况评估报告》，对现有放射性同位素与射线装置辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、放射性同位素与射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况等进行年度总结和评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

1.4.4 原有核技术利用项目存在的问题

医院现已建立了完善的辐射安全和防护制度，并有严格的档案管理制度，现有规章制度基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。医院应继续强化管理、加强辐射工作人员的培训学习。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	⁶⁸ Ge	1.11×10 ⁸ Bq/1.11×10 ⁸ Bq×1 枚	V类	使用	PET/CT 校准	温岭市高端医学中心一层核医学科 PET/CT 机房	核医学科场所 储源室	新增
2	⁶⁸ Ge	5.55×10 ⁷ Bq/5.55×10 ⁷ Bq×1 枚	V类	使用	PET/CT 校准			新增
3	⁹⁰ Sr	1.85×10 ⁹ Bq/1.85×10 ⁹ Bq×1 枚	V类	使用	敷贴治疗	温岭市高端医学中心一层核医学科敷贴治疗室		新增
4	¹⁹² Ir	5.55×10 ¹¹ Bq/5.55×10 ¹¹ Bq×1 枚	III类	使用	放射治疗	温岭市高端医学中心地下二层放疗科后装治疗机机房	贮存方式为贮源器贮存, 贮存在后装治疗机机头内	新增

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	¹⁸ F	液态/低毒/半衰期109.8min	使用	7.40×10 ⁹	7.40×10 ⁶	7.40×10 ¹²	PET/CT 显像诊断	很简单操作	温岭市高端医学中心一层核医学科场所	根据实际使用量向有资质单位购买(现买现用), 购买后的放射性药物连同铅罐包装放置于核医学科储源室, 设双人双锁管理。
				2.96×10 ¹⁰	2.96×10 ⁷		备药	很简单操作		
2	^{99m} Tc	液态/低毒/半衰期6.02h	使用	2.59×10 ¹⁰	2.59×10 ⁷	6.48×10 ¹²	SPECT/CT 显像诊断	很简单操作		
3	^{99m} Tc 肺通气	气态/低毒/半衰期6.02h	使用	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁸	4.63×10 ¹¹	SPECT/CT 显像诊断	很简单操作		
4	¹³¹ I	液态/中毒/半衰期8.02d	使用	1.85×10 ⁶	1.85×10 ⁵	4.63×10 ⁸	甲状腺吸碘功能测定	简单操作		
5	¹³¹ I	液态/中毒/半衰期8.02d	使用	3.70×10 ⁹	3.70×10 ⁸	9.25×10 ¹¹	甲亢治疗	简单操作		
6	⁸⁹ Sr	液态/中毒/半衰期50.53d	使用	9.25×10 ⁸	9.25×10 ⁷	2.31×10 ¹¹	骨转移癌治疗	简单操作		
7	³² P	液态/中毒/半衰期 14.26d	使用	3.70×10 ⁸	3.70×10 ⁷	9.25×10 ¹⁰	敷贴治疗	简单操作		

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	直线加速器	II类	1台	待定	电子	X射线: 15MV 电子线: 22MeV	X射线能量: 10/15MV, 距靶 1m 处的最大剂量率 360Gy/h FFF 模式下 X 射线能量: 10MV, 距靶 1m 处的最大剂量率 1440Gy/h 电子线: 22MeV 距靶 1m 处的最大剂量率 600Gy/h CBCT: 最大管电压 150kV, 最大管电流 1000mA	放射治疗	温岭市高端医学中心地下二层放疗科直线加速器机房	新增
2	射波刀	II类	1台	待定	电子	6MV	X射线能量: 6MV, 距靶 0.8m 处最大剂量率为 600Gy/h 定位系统 X 射线球管: 最大管电压为 150kV, 最大管电流为 640mA	放射治疗	温岭市高端医学中心地下二层放疗科射波刀机房	新增

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA	II类	1台	待定	125	1250	影像诊断和介入治疗	温岭市高端医学中心三层 DSA 机房	新购, 为单球管设备
2	PET/CT	III类	1台	待定	150	1300	显像诊断	温岭市高端医学中心一层核医学科场所 PET/CT 机房	新购
3	SPECT/CT	III类	1台	待定	150	1300	显像诊断	温岭市高端医学中心一层核医学科场所 SPECT/CT 机房	新购
4	CT 模拟定位机	III类	1台	待定	150	1300	病灶定位	温岭市高端医学中心地下二层放疗科 CT 模拟定位机机房	新购

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
核医学科放射性废气	气态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{32}P	/	/	极少量	/	/	7 套排风管道最终在排风井内合并为 3 根管道(1 号和 2 号管道合并为 1 根, 4 号、5 号、6 号和 7 号管道合并为 1 根) 分别引至温岭市高端医学中心楼(排放高度约 47m) 楼顶高出屋脊排放, 手套箱顶壁和排风口均设活性炭吸附装置。
核医学科放射性废水	液态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I	/	/	216.25m ³	总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ 总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ $^{131}\text{I}\leq 10\text{Bq/L}$	暂存于 4 个并联衰变池中	暂存衰变超过 180 天后可直接解控排放, 纳入医院污水处理站。
一次性杯子、玻璃药瓶、一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破损杯皿、塑料薄膜、废乳胶手套、移液管、废 ^{32}P 敷贴器、擦拭污染地面的物品等	固态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{32}P	/	/	450kg/a	/	分类收集后集中在污物间中暂存	含核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的固体放射性废物暂存时间超过 30 天; 含 ^{131}I 核素的固体放射性废物暂存超过 180 天; 含核素 ^{89}Sr 的固体放射性废物暂存时间超过 506 天; 含核素 ^{32}P 的固体放射性废物暂存时间超过 143 天, 经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平, β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的, 可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。
废活性炭	固态		/	/	350kg/a	/		
感生放射性	气态	^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{41}Ar	/	/	/	/	/	场所内设置专用排风管道引至室外排放。
废旧放射源	固态	^{68}Ge 、 ^{90}Sr 和 ^{192}Ir	/	/	^{68}Ge 4 年更换一次, ^{90}Sr 5 年更换一次, ^{192}Ir 1 年更换三次	/	不暂存	送交有相应资质的单位收贮, 如医院与生产厂家或原出口方签订废旧放射源返回合同, 可将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方。
射波刀和直线加速器废靶件	固态	/	/	/	/	/	不暂存	根据《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021) 对废靶件等组件进行监测, 若满足《放射性废物分类》豁免与解控要求, 可按一般固体废物处置; 若监测异常, 作为固体放射性废物处理, 委托具有固体放射性废物收贮资质的单位收贮。

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

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

表 6 评价依据

法规 文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（1989年12月26日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过；2014年4月24日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订），中华人民共和国主席令第9号，2015年1月1日施行修订版；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2002年10月28日第九届全国人民代表大会常务委员会第三十次会议通过，自2003年9月1日起施行；2016年7月2日第一次修正；2018年12月29日第二次修正），中华人民共和国主席令第四十八号，2018年12月29日施行修正版；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003年6月28日中华人民共和国第十届全国人民代表大会常务委员会第三次会议通过），中华人民共和国主席令第六号，2003年10月1日施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（1998年11月29日中华人民共和国国务院令 第253号发布施行；2017年7月16日中华人民共和国国务院第682号令修订），自2017年10月1日起施行修订版；</p> <p>(5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》（中华人民共和国生态环境部令 第16号），自2021年1月1日起施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，（2005年9月14日经中华人民共和国国务院令 第449号公布，2014年7月29日经中华人民共和国国务院令 第653号修订，2019年3月2日经中华人民共和国国务院令 第709号修订），自2019年3月2日起施行修订版；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（2011年4月18日原环境保护部令 第18号），自2011年5月1日起施行；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006年1月18日原国家环境保护总局令 第31号公布，2008年12月6日经原环境保护部令 第3号修正，2017年12月20日经原环境保护部令 第47号修正，2019年8月22日经生态环境部令 第7号修改，2020年12月25日经生态环境部令 第20号修改），2020年12月25日施行修改版；</p> <p>(9) 《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 2005</p>
----------	--

法规 文件	<p>年第 62 号)，自 2005 年 12 月 23 日起施行；</p> <p>（10）《关于发布<射线装置分类>的公告》（环境保护部国家卫生计生委公告 2017 年第 66 号，2017 年），自 2017 年 12 月 5 日起施行；</p> <p>（11）《关于发布<放射性废物分类>的公告》（环境保护部 工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号，2017 年），2018 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>（12）《产业结构调整指导目录（2024 年本）》2023 年 12 月 27 日中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号公布，自 2024 年 2 月 1 日起施行；</p> <p>（13）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号），自 2020 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>（14）《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>（15）《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4 号），自 2017 年 11 月 20 日起施行；</p> <p>（16）《国家危险废物名录（2025 年版）》（2024 年 11 月 8 日由生态环境部 2024 年第 5 次部务会议审议通过），2025 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>（17）《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，中华人民共和国原环境保护部办公厅，环办辐射函〔2016〕430 号，2016 年 3 月 7 日发布；</p> <p>（18）《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》（浙江省生态环境厅浙江省卫生健康委员会，浙环函〔2019〕248 号），自 2019 年 7 月 18 日起施行；</p> <p>（19）《浙江省建设项目环境保护管理办法》（2011 年 10 月 25 日浙江省人民政府令第 288 号公布，2014 年 3 月 13 日浙江省人民政府令第 321 号第一次修正，2018 年 1 月 22 日浙江省人民政府令第 364 号公布第二次修正，2021 年 2 月 10 日浙江省人民政府令第 388 号公布第三次修正），自 2021 年 2 月 10 日起施行修正版；</p> <p>（20）《浙江省辐射环境管理办法》（2011 年 12 月 18 日浙江省人民政府令第 289 号公布，根据 2021 年 2 月 10 日浙江省人民政府令第 388 号公布的《浙</p>
----------	--

<p>法规文件</p>	<p>江省人民政府关于修改〈浙江省价格监测预警办法〉等 9 件规章的决定》修正)；</p> <p>(21) 《浙江省生态环境厅关于发布〈省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单(2024 年本)〉的通知》(浙环发〔2024〕67 号)，自 2025 年 2 月 2 日起施行；</p> <p>(22) 《浙江省生态环境保护条例》(2022 年 8 月 1 日起施行)；</p> <p>(23) 《温岭市人民政府关于印发温岭市生态环境分区管控动态更新方案的通知》(温政发〔2024〕13 号)；</p> <p>(24) 《台州市生态环境局关于调整建设项目环境影响评价文件审批责任分工的通知》(台环发〔2025〕10 号)。</p>
<p>技术标准</p>	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)；</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>(4) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；</p> <p>(5) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)；</p> <p>(6) 《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>(7) 《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》(GBZ/T201.2-2011)；</p> <p>(8) 《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/T201.3-2014)；</p> <p>(9) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)；</p> <p>(10) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)；</p> <p>(11) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函〔2023〕20 号)；</p> <p>(12) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)；</p> <p>(13) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)；</p> <p>(14) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(HJ1326-2023)；</p>

	<p>(15) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 辐射安全许可证，证书编号“浙环辐证[J2383]”；</p> <p>(2) 《辐射防护手册》，李德平、潘自强主编；</p> <p>(3) 《放射防护实用手册》，赵兰才、张丹枫主编；</p> <p>(4) 《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》；</p> <p>(5) 《辐射防护导论》，方杰主编；</p> <p>(6) 《关于温岭市高端医学中心项目、温岭市公共卫生临床中心项目环境影响报告表的批复》（台环建（温）〔2025〕1号，2025.1.2）；</p> <p>(7) 医院提供的与本项目有关的资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中对于环境影响报告书项目的评价范围规定：“乙级非密封放射性物质工作场所项目的评价范围取半径 50m 的范围，放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”，结合本项目的特点，本项目辐射环境评价范围参考环境影响报告书的规定，取拟建核医学科非密封放射性物质工作场所、放疗科各机房和 DSA 机房实体屏蔽物边界外 50m 范围作为本项目评价范围，不同场所划定评价范围重叠时取较大范围。评价范围详见附图 2-1。

7.2 保护目标

根据现场踏勘情况和附图 2-1 可知，本项目拟建辐射工作场所 50m 评价范围内主要为医院内部建筑物和道路以及阳光大道部分道路、下保河部分区域，不涉及学校等环境敏感区域，不涉及学校等环境敏感区域，也不涉及温岭市生态保护红线。

本项目环境保护目标为从事本项目辐射工作的职业人员、评价范围内其他医护人员、患者等其他公众成员，根据电离辐射影响程度在屏蔽措施相同的情况下与关注点和辐射源的距离成反比的规律，本次评价报告中列举出辐射工作场所内及相邻区域受影响较大的保护目标情况，具体保护目标见表 7.2-1。

表 7.2-1 本项目评价范围内环境保护目标一览表

环境保护目标	方位	规模	人员类别	与本项目场所边界的最近距离 (m)		剂量约束值	
				水平	垂直		
辐射工作人员	内部	12 人	职业	/	/	5mSv/a	
预处理室、候诊大厅和走廊公众	东侧	200 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a	
院内道路、更衣室、卫生间、控制廊和设备间公众	南侧	1000 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a	
走廊、出入院办理窗口和更衣休息室公众	西侧	1000 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a	
庭院公众	北侧	200 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a	
体检中心公众	正上方	1000 人/天	公众	/	相邻	0.1mSv/a	
地下停车场公众	正下方	2000 人/天	公众	/	相邻	0.1mSv/a	
核医学科 衰变池	停车位公众	东侧	500 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
	停车位和走廊公众	南侧	1000 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
	配电间、模具库和档案室公众	西侧	100 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
	电梯厅和停车位公众	北侧	1000 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a

		停车位、地下停车场道路、运营商机房和广电机房公众	正上方	2000 人/天	公众	/	相邻	0.1mSv/a
放疗科	直线加速器机房	控制室辐射工作人员	北侧	2 人	职业	相邻	/	5mSv/a
		射波刀机房辐射工作人员	东侧	2 人	职业	相邻	/	5mSv/a
		地下停车场道路公众	南侧	1000 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
		后装治疗机机房辐射工作人员	西侧	2 人	职业	相邻	/	5mSv/a
		强电间公众	西侧	5 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
		走廊和水冷机房公众	北侧	50 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
		院内道路公众	正上方	1000 人/天	公众	/	相邻	0.1mSv/a
	射波刀机房	控制室工作人员	北侧	2 人	职业	相邻	/	5mSv/a
		地下停车场道路和储藏室公众	东侧	1000 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
		地下停车场道路公众	南侧	1000 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
		直线加速器机房辐射工作人员	西侧	2 人	职业	相邻	/	5mSv/a
		走廊和水冷机房公众	北侧	50 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
		院内道路公众	正上方	1000 人/天	公众	/	相邻	0.1mSv/a
	后装治疗机机房	控制室工作人员	西侧	2 人	职业	相邻	/	5mSv/a
		直线加速器机房辐射工作人员	东侧	2 人	职业	相邻	/	5mSv/a
		停车位公众	南侧	100 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
		强电间公众	南侧	2 人/天	公众	1.39	/	0.1mSv/a
		准备间公众	西侧	50 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
		CT 模拟定位机机房辐射工作人员	北侧	2 人	职业	相邻	/	5mSv/a
		地下停车场道路公众	正上方	1000 人/天	公众	/	相邻	0.1mSv/a
	C T 模拟定位机机房	控制室工作人员	东侧	2 人	职业	相邻	/	5mSv/a
		后装治疗机机房辐射工作人员	南侧	2 人	职业	相邻	/	5mSv/a
		准备间公众	南侧	50 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
		准备间和走廊公众	西侧	200 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
		走廊公众	北侧	150 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
		地下停车场道路和停车位公众	正上方	2000 人/天	公众	/	相邻	0.1mSv/a
	介入科	D S A 机房	控制室工作人员	东侧	14 人	职业	相邻	/
换床间公众			东侧	50 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
走廊公众			南侧	100 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
设备间和医疗废物暂存间公众			西侧	50 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
走廊公众			北侧	100 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
走廊和办公室公众			正上方	200 人/天	公众	/	相邻	0.1mSv/a
走廊、CT 机房 VIP 等候室以及 DR 机房和控制室公众			正下方	500 人/天	公众	/	相邻	0.1mSv/a
50m 范围内其他区域公众		四周	约 2000 人	公众	0~50		0.1mSv/a	

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值

剂量限值执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关规定，工作人员的**职业照射**和**公众照射**的剂量限值如下：

（1）职业照射

应对任何工作人员职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

1) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；

2) 任何一年中的有效剂量，50mSv；

（2）公众照射

实践使公众中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：

1) 年有效剂量，1mSv；

2) 特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv；

7.3.2 剂量约束值

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关要求，本项目取 5mSv 作为职业人员的年剂量约束值，取 0.1mSv 作为公众人员的年剂量约束值。

7.3.3 核医学科工作场所评价标准

（1）辐射工作场所屏蔽体外剂量率水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）中相关规定，本项目核医学科辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平详见表 7.3-1。

表 7.3-1 核医学科辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

场所	位置	剂量率控制水平（ $\mu\text{Sv/h}$ ）
核医学科	控制区外人员可到达处，距屏蔽体外 30cm 处	2.5
	控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处	2.5（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）
		10（人员居留因子 $< 1/2$ ）
	放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位	2.5
放射性药物合成和分装的箱体等设备外表面 30cm 处	25	

	非正对人员操作位	
	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外表面 30cm 处	2.5

(2) 表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）相关规定，核医学科辐射工作场所的放射性表面污染控制水平详见表 7.3-2。

表 7.3-2 核医学科工作场所放射性表面污染控制水平（单位：Bq/cm²）

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

^a 该区内的低污染子区除外

(3) 放射性废气

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关规定，核医学工作场所放射性废气处理要求如下：

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。

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。

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、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。

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。

根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）中三、关于独立通风要求：

核医学标准第6.3.4节规定，手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统。单独的排风系统意为手套箱、通风橱等设备的排风管在汇入“主排风管道前”的部分，应独立设置，防止发生气体回流和交叉污染。经过滤后的气体汇入到一个主管道中排放不违反标准要求。

（4）放射性废水排放控制

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关规定，结合本项目核素使用情况、衰变池设计情况，放射性废水排放满足以下要求：

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。

根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）中相关规定，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1ALImin（9E+5贝可），每月排放的废水中碘-131总活度不超过10ALImin（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。

另根据《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）规定，综合医疗机构水污染物排放标准执行表2规定限值，详见表7.3-3。

表 7.3-3 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放标准（日均值）

控制项目	排放标准	预处理标准
总 α （Bq/L）	1	1
总 β （Bq/L）	10	10

(5) 固体放射性废物排放控制要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关规定，固体放射性废物暂存和处理应满足以下要求：

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。

(6) 患者出院的管理要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

B.1 患者出院的体内放射性核素活度要求

为确保放射治疗患者出院后，不至于使接触患者的家庭成员及公众超过相关的剂量约束或剂量限值，放射治疗患者出院时体内放射性活度应符合表 B.1（见表 7.3-4）的要求。

表 7.3-4 放射治疗患者出院时体内放射性核素活度的要求

放射性核素	主要发射（keV）			患者出院时体内放射性活度要求（MBq）
	β_{max}	β_{ave}	γ 及 X	
^{131}I	606	-	364	≤ 400
^{89}Sr	1492	583	-	≤ 200

7.3.4 放射治疗工作场所评价标准

(1) 工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

本项目放射治疗工作场所为 1 间直线加速器机房、1 间射波刀机房和 1 间后装治疗机机房。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相关规定，本项目放射治疗工作场所屏蔽体外剂量率控制水平要求如下。

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

- a) 治疗室墙和入口门外表面 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：

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（）求得关注点的导出剂量率参考控制水平（ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

机房外辐射工作人员： $\leq 100\mu\text{Sv/周}$ ；

机房外非辐射工作人员： $\leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

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（ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

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

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

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）。

直线加速器机房、射波刀机房和后装治疗机机房周围各关注点剂量率控制水平见表 7.3-5，各关注点位置见图 11.2-2、图 11.2-4 和图 11.2-6。

表 7.3-5 放射治疗工作场所各机房周围各关注点剂量率控制水平

关注点	使用因子 U	居留因子 T	t h/周	\dot{H}_c $\mu\text{Sv/周}$	$\dot{H}_{c,d}$ $\mu\text{Sv/h}$	$\dot{H}_{c,max}$ $\mu\text{Sv/h}$	\dot{H}_c $\mu\text{Sv/h}$	
直线加速器机房	a 点	1	1/2	7.5	5	1.33	10	1.33
	b 点	1	1/2	7.5	5	1.33	10	1.33
	I 点	1	1/16	7.5	5	10.67	10	10
	f 点	1	1	7.5	100	13.33	2.5	2.5
	k 点	1	1/16	7.5	5	10.67	10	10
	e 点	1	1/16	7.5	5	10.67	10	10
	c1 点	1	1/16	7.5	5	10.67	10	10
	c2 点	1	1/2	7.5	5	1.33	10	1.33
	d1 点	1	1/16	7.5	5	10.67	10	10
	d2 点	1	1/2	7.5	5	1.33	10	1.33
	m1/m2 点	1	1/16	7.5	5	10.67	10	10
g 点	1	1/8	7.5	5	5.33	10	5.33	
射波刀机房	a 点	0.05	1/2	30	5	6.67	10	6.67
	c1 点	0.05	1/2	30	5	6.67	10	6.67
	c2 点	0.05	1/2	30	5	6.67	10	6.67
	e 点	0.05	1/16	30	5	53.33	10	10
	b 点	0.05	1/16	30	5	53.33	10	10
d1 点	0.05	1/20	30	5	66.67	10	10	

后装治疗机机房	k 点	0.05	1/16	30	5	53.33	10	10
	f 点	0.05	1	30	100	66.67	2.5	2.5
	g 点	0.05	1/8	30	5	26.67	10	10
	I 点	0.05	1/16	30	5	55.56	10	10
	a 点	1	1	10	5	0.50	2.5	0.5
	e 点	1	1/2	10	5	1.00	10	1
	b 点	1	1/16	10	5	8.00	10	8
	f 点	1	1	10	100	10.00	2.5	2.5
	g 点	1	1/8	10	5	4.00	10	4
	I 点	1	1/16	10	5	8.00	10	8

注：本项目直线加速器机房和后装治疗机机房使用因子保守均取 1；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），射波刀有用束向水平、地面方向照射的使用因子 $U < 0.05$ ，向顶照射的使用因子（U）更小，故本项目射波刀机房使用因子保守均取 0.05。

（2）通风要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），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。

（3）固废管理要求

质子/重离子加速器、直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。

（4）放射源操作的辐射安全与防护要求

7.4 应加强放射源倒装活动的辐射安全管理，倒装工作应由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行；应制定放射源倒装活动方案，对辐射监测与报警仪器的有效性、操作场所分区隔离设置、倒源屏蔽体搭建进行确认；倒装放射源时应对倒装热室周围和含源设备表面进行辐射监测，关注倒源屏蔽体的辐射防护效果和含源设备的表面污染情况，做好安装和更换的放射源清点并记录；倒源结束后对含放射源的放射治疗设备、场所与周围环境进行辐射监测。

7.3.5 放射诊断工作场所评价标准

（1）工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

本项目放射诊断工作场所为 1 间 DSA 机房、1 间 PET/CT 机房、1 间 SPECT/CT 机房和 1 间 CT 模拟定位机机房，机房屏蔽体剂量率控制水平参照《放射诊断放射防护

要求》(GBZ130-2020)相关规定:具有透视功能的X射线设备在透视条件下检测时,机房外周围剂量当量率水平不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$;CT机、乳腺摄影、乳腺CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔CBCT和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$;具有短时、高剂量率曝光的摄影程序机房外的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

(2) 工作场所屏蔽防护要求

本项目DSA最大管电压均为125kV,最大管电流均为1250mA;PET/CT和SPECT/CT最大管电压均为150kV,最大管电流均为1300mA;CT模拟定位机最大管电压为150kV,最大管电流为1300mA。根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020),机房的最小有效使用面积、最小单边长以及屏蔽防护铅当量厚度要求见表7.3-6和表7.3-7。

表 7.3-6 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度的要求

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

^a单管头、双管头或多管头X射线设备的每个管球各安装在1个房间内。

^b机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。

^c机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

表 7.3-7 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

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

7.3.6 本次核技术利用项目控制要求汇总

本项目职业人员的剂量约束值不超过 5mSv/a，公众人员的剂量约束值不超过 0.1mSv/a，其余标准要求汇总见表 7.3-8 至 7.3-11。

表 7.3-8 核医学科控制要求

工作场所	控制区屏蔽体外	工作场所的放射性表面污染			放射性废水	放射性废气	固体放射性废物
		位置	控制区	监督区			
温岭市高端医学中心一层核医学科	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 2.5μSv/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 10μSv/h； 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等屏蔽结构外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/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 25μSv/h	工作台、设备、墙壁、地面	β放射性物质不大于 4×10Bq/cm ²	β放射性物质不大于 4Bq/cm ²	所含核素 ¹⁸ F、 ^{99m} Tc、 ¹³¹ I 放射性废水在衰变池暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放。放射性废水总排放口总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。	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	含核素 ¹⁸ F 和 ^{99m} Tc 的固体放射性废物暂存时间超过 30 天；含 ¹³¹ I 核素的固体放射性废物暂存超过 180 天；含核素 ⁸⁹ Sr 的固体放射性废物暂存时间超过 506 天；含核素 ³² P 的固体放射性废物暂存时间超过 143 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm ² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理
		工作服、手套、工作鞋	β放射性物质不大于 4Bq/cm ²				
		手、皮肤、内衣、工作袜	β放射性物质不大于 4×10 ⁻¹ Bq/cm ²				
标准依据	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）			《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）		

表 7.3-9 核医学科 PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房控制要求

工作场所	机房要求	控制区外 30cm 处
核医学科 PET/CT 机房	机房有用线束及非有用线束方向铅当量均不小于 2.5mmPb；最小有效使用面积不小于 30m ² ，最小单边长度不小于 4.5m	CT 机机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h
核医学科 SPECT/CT 机房	机房有用线束及非有用线束方向铅当量均不小于 2.5mmPb；最小有效使用面积不小于 30m ² ，最小单边长度不小于 4.5m	
标准依据	《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）	

表 7.3-10 放疗科控制要求

工作场所	机房要求	控制区外 30cm 处
温岭市高端医学中心地下二层直线加速器机房、射波刀机房和后装治疗机机房	放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要	周围剂量当量率不大于剂量率控制水平要求，见表 7.3-5
温岭市高端医学中心地下二层 CT 模拟定位机机房	机房有用线束及非有用线束方向铅当量均不小于 2.5mmPb；最小有效使用面积不小于 30m ² ，最小单边长度不小于 4.5m	CT 机机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h
标准依据	《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）	《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

表 7.3-11 介入科控制要求

工作场所	机房要求	控制区外 30cm 处
温岭市高端医学中心三层 DSA 机房	机房有用线束方向铅当量及非有用线束方向铅当量均不小于 2.0mmPb；最小有效使用面积不小于 20m ² ，最小单边长度不小于 3.5m	具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h；具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25μSv/h
标准依据	《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）	

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

医院位于温岭市城西街道川安南路 333 号，东临川安南路，隔路为在建住宅用地和高洋村一区，南临阳光大道，西临下保河，北临中心大道，隔路为滨江绿城大悦城悦景园。医院地理位置图见附图 1。

本项目核医学科、放疗科和介入科均位于温岭市高端医学中心内，温岭市高端医学中心拟建于医院南侧。本项目核医学科位于温岭市高端医学中心一层，衰变池位于温岭市高端医学中心地下二层；放疗科位于温岭市高端医学中心地下二层；DSA 机房位于温岭市高端医学中心三层。辐射工作场所具体位置详见附图 3-2、附图 3-4 和附图 3-6。

8.2 环境电离辐射现状

根据《浙江省生态环境状况公报（2024 年）》，全省环境电离辐射水平处于本底涨落范围内。环境 γ 辐射剂量率处于当地天然本底涨落范围内。空气中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。钱塘江、曹娥江、甬江、椒江、瓯江、飞云江、鳌江、苕溪八大水系以及京杭运河、西湖和新安江水库中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。地下水中总 α 和总 β 活度浓度低于《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）的 III 类标准。城市集中式饮用水水源地水中总 α 和总 β 活度浓度处于本地水平。土壤中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。

8.3 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

- (1) 环境现状评价对象：拟建辐射项目区域及周边环境
- (2) 监测因子：X- γ 辐射剂量率、 α 表面污染、 β 表面污染、中子剂量当量率
- (3) 监测点位

由于本项目拟建的所有辐射工作场所尚未建设完成，拟建区域内环境状况较为单一。考虑兼顾点位现状可到达性的条件下，在项目所在地块用地红线周边均匀布设监测点，并且在核技术利用项目所在建筑物或区域拟建位置布设监测点，所布点位能反映本项目评价范围内拟建场所的辐射环境现状水平。因此，监测点位布设是合理的。为直观标明监测点位所在位置，本项目在医院平面布置图中标注监测点位，具体监测点位布置情况详见图 8.3-1。

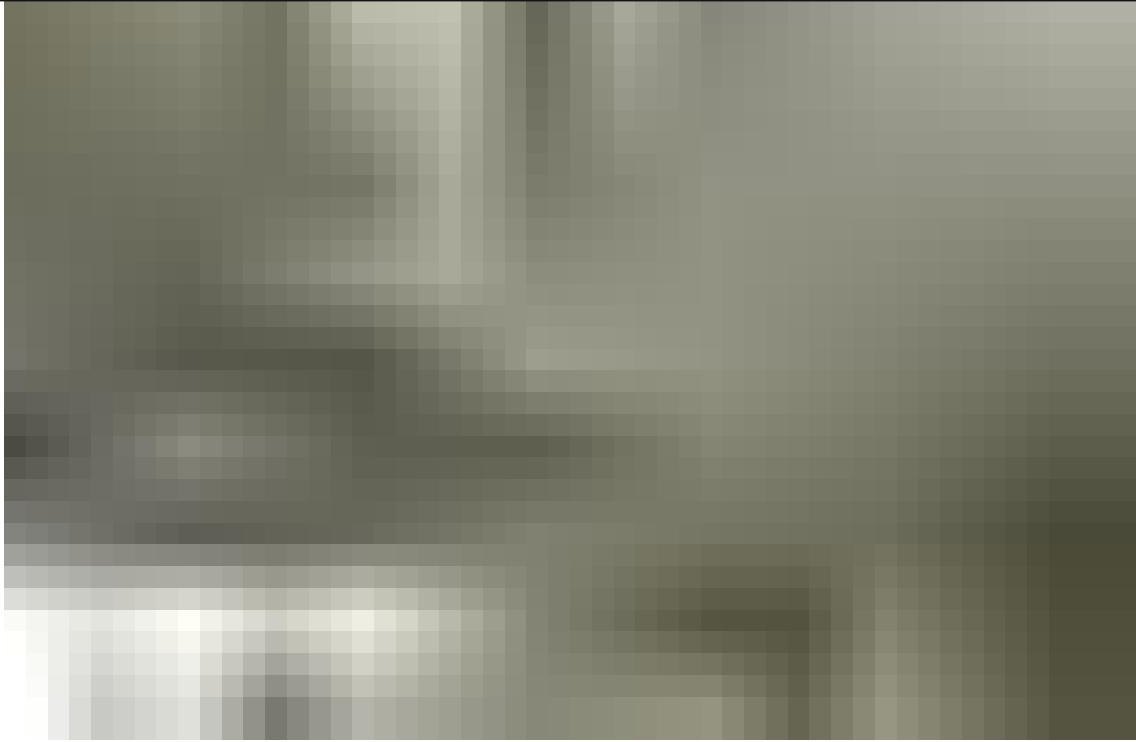


图 8.3-1 本项目监测点位示意图

8.4 监测方案、质量保证措施及监测结果

8.4.1 监测方案

- (1) 监测单位：浙江建安检测研究院有限公司
- (2) 监测日期：2023 年 7 月 24 日
- (3) 监测方式：现场检测
- (4) 监测依据：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《表面污染测定 第 1 部分： β 发射体（ $E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/T 14056.1-2008）
- (5) 监测频次：依据标准予以确定
- (6) 监测工况：辐射环境本底
- (7) 监测环境条件：温度 31.9℃；相对湿度 54.6%，晴。
- (8) 监测设备

表 8.4-1 便携式 X- γ 辐射周围剂量当量率仪参数表

仪器名称	便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪
仪器型号	6150AD6/H+6150AD-b/H
生产厂家	automess
仪器编号	05037878
能量范围	38keV-7MeV

量 程	模拟量程：10nSv/h-100μSv/h；数字量程：1nSv/h-99.9μSv/h
检定单位	上海市计量测试技术研究院 华东国家计量测试中心
检定证书	2022H21-20-4080269001
检定有效期	2022年08月24日~2023年08月23日

表 8.4-2 α、β表面污染仪参数表

仪器名称	α、β表面污染仪
仪器型号	CoMo 170
生产厂家	S.E.A.
仪器编号	05038153
探测器灵敏窗面积	170cm ²
探测器本底	α:0.1CPS；β:15~25CPS
检定单位	中国计量科学研究院
检定证书	DLhd2023-00962
检定有效期	2023年03月02日~2024年03月01日

表 8.4-3 中子剂量当量仪参数表

仪器名称	中子剂量当量仪
仪器型号	FH40G L-10+FHZ672
生产厂家	Thermo SCIENTIFIC
仪器编号	05035876
能量范围	热中子~20MeV
量 程	1nSv/h~100mSv/h
检定单位	中国计量科学研究院
检定证书	DLjs2023-00701
检定有效期	2023年03月13日~2024年03月12日

8.4.2 质量保证措施

(1) 本项目辐射环境监测单位为浙江建安检测研究院有限公司，具有浙江省市场监督管理局颁发的资质认定证书，并在允许范围内开展工作和出具有效的监测报告，保证了监测工作的合法性和有效性；

(2) 采用国家有关部门颁布的监测标准方法，每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；

(3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用；

(4) 监测实行全过程的质量控制，严格按照浙江建安检测研究院有限公司《质量手册》、《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行，监测人员经培训、考核合格后上岗；

(5) 报告严格实行三级审核制度，经校核、审核，最后由授权签字人审定。

8.4.3 监测结果

本项目辐射环境现状监测结果见表8.4-4至表8.4-6。

表 8.4-4 本项目 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果 (nGy/h)		备注
		平均值	标准差	
1	拟建温岭市高端医学中心地块边界 1	68	3	道路
2	拟建温岭市高端医学中心地块边界 2	75	4	道路
3	拟建温岭市高端医学中心地块边界 3	78	2	道路
4	拟建温岭市高端医学中心地块边界 4	103	3	道路
5	拟建温岭市高端医学中心地块边界 5	97	3	道路
6	拟建温岭市高端医学中心地块内 1	78	4	道路
7	拟建温岭市高端医学中心地块内 2	85	3	道路
8	拟建温岭市高端医学中心地块内 3	86	3	道路
9	拟建温岭市高端医学中心地块内 4	71	4	道路
10	拟建温岭市高端医学中心地块内 5	73	3	道路
11	拟建温岭市高端医学中心地块内 6	79	2	道路
12	拟建温岭市高端医学中心地块内 7	66	3	道路
13	拟建温岭市高端医学中心地块内 8	81	3	道路

注：1、测量时探头距离地面约 1m；
 2、每个监测点测量 10 个数据取平均值，以上监测结果均已扣除仪器对宇宙射线的响应值；
 3、环境 γ 辐射空气吸收剂量率=读数平均值 \times 校准因子 k_1 \times 仪器检验源效率因子 k_2 \div 空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-屏蔽修正因子 k_3 \times 测量点宇宙射线响应值 Dc，校准因子 k_1 为 1.00，仪器使用 ^{137}Cs 进行校准，效率因子 k_2 取 1，换算系数为 1.20Sv/Gy， k_3 楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1，仪器对宇宙射线的响应值为 28nGy/h。

表 8.4-5 本项目 α 、 β 表面污染监测结果

监测点编号	监测点位置	α 表面污染监测结果 (Bq/cm ²)	β 表面污染监测结果 (Bq/cm ²)
1	拟建温岭市高端医学中心地块边界 1	<0.01	<0.07
2	拟建温岭市高端医学中心地块边界 2	<0.01	<0.07
3	拟建温岭市高端医学中心地块边界 3	<0.01	<0.07
4	拟建温岭市高端医学中心地块边界 4	<0.01	<0.07
5	拟建温岭市高端医学中心地块边界 5	<0.01	<0.07
6	拟建温岭市高端医学中心地块内 1	<0.01	<0.07
7	拟建温岭市高端医学中心地块内 2	<0.01	<0.07
8	拟建温岭市高端医学中心地块内 3	<0.01	<0.07
9	拟建温岭市高端医学中心地块内 4	<0.01	<0.07
10	拟建温岭市高端医学中心地块内 5	<0.01	<0.07
11	拟建温岭市高端医学中心地块内 6	<0.01	<0.07
12	拟建温岭市高端医学中心地块内 7	<0.01	<0.07
13	拟建温岭市高端医学中心地块内 8	<0.01	<0.07

注：1、0.01Bq/cm²为 CoMo 170 型 α 、 β 表面污染仪/05038153 的 α 表面污染探测下限；
 2、0.07Bq/cm²为 CoMo 170 型 α 、 β 表面污染仪/05038153 的 β 表面污染探测下限。

表 8.4-6 本项目中子射线外照射监测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	拟建温岭市高端医学中心地块边界 1	<0.02
2	拟建温岭市高端医学中心地块边界 2	<0.02
3	拟建温岭市高端医学中心地块边界 3	<0.02
4	拟建温岭市高端医学中心地块边界 4	<0.02
5	拟建温岭市高端医学中心地块边界 5	<0.02

6	拟建温岭市高端医学中心地块内 1	<0.02
7	拟建温岭市高端医学中心地块内 2	<0.02
8	拟建温岭市高端医学中心地块内 3	<0.02
9	拟建温岭市高端医学中心地块内 4	<0.02
10	拟建温岭市高端医学中心地块内 5	<0.02
11	拟建温岭市高端医学中心地块内 6	<0.02
12	拟建温岭市高端医学中心地块内 7	<0.02
13	拟建温岭市高端医学中心地块内 8	<0.02
注：0.02μSv/h 为 FH40G-L10 中子周围剂量当量仪/05035876 探测下限。		

8.5 环境现状评价

由表 8.4-4 监测结果可知，本项目拟建场所各监测点位室外 γ 辐射剂量率范围为 66nGy/h~103nGy/h，即 6.6×10^{-8} Gy/h~ 10.3×10^{-8} Gy/h。根据《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，温岭市室外的 γ 辐射剂量率在 8.4×10^{-8} Gy/h~ 12.0×10^{-8} Gy/h 之间，可见本项目拟建场所各监测点位 γ 辐射剂量率处于温岭市天然辐射本底水平。

由表 8.4-5 的监测结果可知，本项目拟建场所各监测点位 α 表面污染、 β 表面污染监测值均小于检测下限，未见异常。

由表 8.4-6 的监测结果可知，本项目拟建场所各监测点位中子射线外照射监测值均小于检测下限，未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工程分析

本项目辐射工作场所均位于温岭市高端医学中心内，有关主体工程施工期环境影响内容详见《温岭市高端医学中心项目、温岭市公共卫生临床中心项目环境影响报告表》有关章节，本次评价不再做相关的环境影响评价。

本项目主体工程建成后各辐射工作场所施工期主要为屏蔽材料施工及设备安装、调试，工程量较少，施工期主要的污染因子为：扬尘、施工人员生活污水、噪声及固体废物，屏蔽材料施工过程不会产生辐射影响，各射线装置在安装调试时，会产生 X 射线、臭氧和氮氧化物。

9.2 工程设备和工艺分析

9.2.1 核医学科核技术利用项目

9.2.1.1 PET/CT 诊断项目

(1) PET/CT 设备组成及工作原理

PET 正电子发射断层扫描 (Positron Emission Tomography, PET) 的工作原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，藉此诊断疾病，称为功能显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术。PET 的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。探测系统是整个正电子发射显像系统中的主要部分，它采用的块状探测结构有利于消除散射、提高计数率。许多块结构组成一个环，再由数十个环构成整个探测器。

PET/CT 是将 PET 和 X 线计算机断层扫描 (Computer Tomography, CT) 组合而成的多模式成像系统，是目前全球最高端的医学影像设备，同时也是一种可以在分子水平成像的影像技术。PET/CT 将 PET 与 CT 融为一体，使两种成像技术优势互补，PET 图像提供功能和代谢等分子信息，CT 提供精细的解剖和病理信息，通过融合技术，一次诊断即可获得疾病的病理生理变化和形态学改变。CT 主要由扫描部分、计算机系统、图像显示和存储系统组成，其中扫描部分由 X 线管、探测器和扫描架组成。PET 本身不产生射线，仅作为光子接收和成像设备，服药后的患者作为辐射源项；CT 扫描过程

中，CT 设备发射的 X 射线作为辐射源项。

(2) 工作方式

PET/CT 只能响应正电子放射性药物湮灭辐射产生的 0.511MeV γ 光子，注射 ^{18}F 的受检者待药物代谢至脏器，经技师在控制室语音指导患者在 PET/CT 诊断床上摆位、扫描，并出具诊断报告。

(3) 工作流程及产污环节

①诊疗规划

PET/CT 显像诊断项目正式开展后，规划使用放射性核素 ^{18}F 进行 PET/CT 显像诊断。 ^{18}F 显像诊断每日最多 20 人。

表 9.2-1 PET/CT 诊断项目诊疗规划

诊疗项目	诊断核素	日最大诊断量	单次最大使用量	给药方式	来源
PET/CT 显像诊断	^{18}F	20 人/天	$3.70\times 10^8\text{Bq}$ (10mCi)	静脉注射	外购药物 人工分装

②工作流程

接收患者：接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害，医生根据患者病情记录使用核素剂量。

预订药物：PET/CT 显像诊断项目使用放射性核素 ^{18}F 进行显像诊断，工作人员根据预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，药物包装形式一般为安瓿瓶盛装、固定在铅罐内，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物送至核医学科，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室内。

分装注射：本项目使用的正电子药物采用静脉注射的方式给药。注射前由护士为患者打好留置针，患者根据叫号进入核医学科注射窗进行注射；药物待使用时由护士做好领取使用登记后将药物转移至手套箱，正常情况下药物在分装注射室手套箱内分装测活，分装至带有铅防护套的注射器中并暂存于手套箱内，待测活活度与规划用药活度确认一致后进行注射。医务人员使用时直接从手套箱中取出注射器，并在分装注射室铅屏蔽窗的屏蔽下为患者静脉注射。

扫描诊断、留观：患者注射后在等候室内静躺候诊，患者候诊时间按照平均每人 1.5h 考虑，待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 PET/CT 机房，经工作人员进行语音提示摆位，必要时进入机房指导，随后离开机房进入控制室，隔室操作对患者进行 PET/CT 扫描诊断，按照 PET/CT 平均每人扫描 15min。扫描完成后，根据患者情况安排是否留观，如患者有异常则进入留观室内留观约 10min，留观结束后患者将从核医

学科西南侧的患者出口离开核医学科工作场所。

PET/CT 校准：从储源室保险柜中取出校准源，置于专用铅盒中，运送至机房，将⁶⁸Ge 校准源放置在病床上；做好放射源透射的质量控制；将源卸下，置于专用铅盒中放入储源室保险柜保存。

③产污环节

工作人员将注射完毕后的一次性注射器、棉签等放入专用放射性废物铅桶内。患者候诊时产生的尿液、粪便、呕吐物均冲入专用卫生间，纳入衰变池内衰变。PET/CT 诊断项目工作流程与产污环节见图 9.2-1。

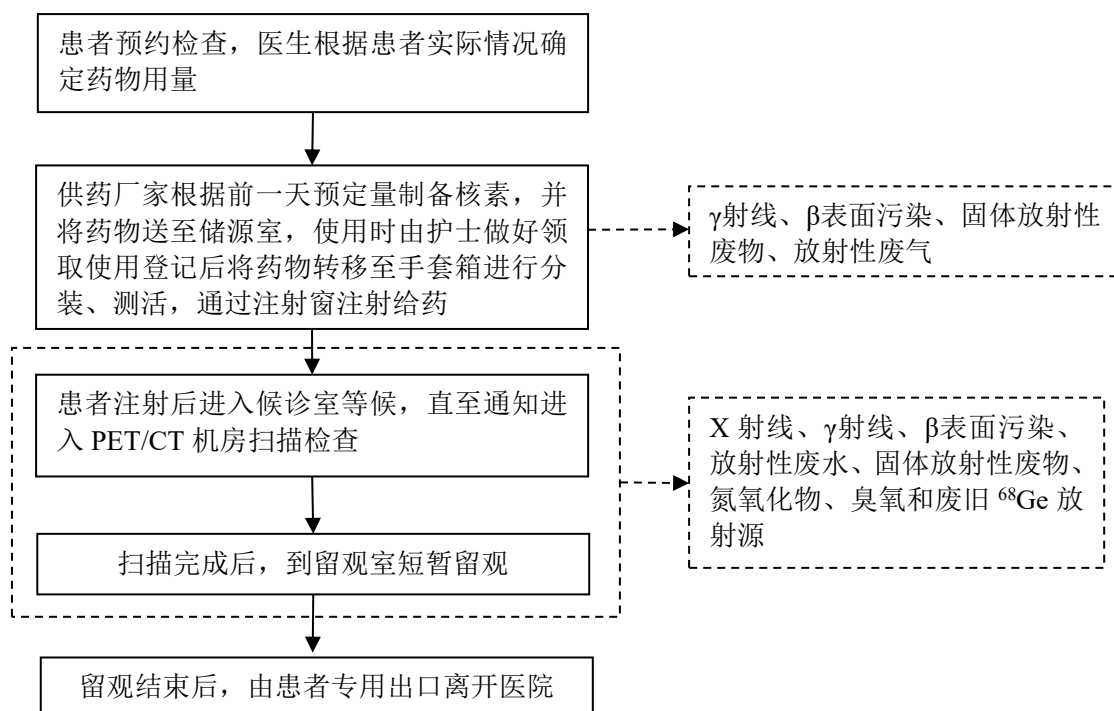


图 9.2-1 PET/CT 诊断工艺流程及产污环节分析示意图

本项目 PET-CT 拟配置 2 枚 ⁶⁸Ge 校准源，1 枚 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ ⁶⁸Ge 校准源和 1 枚 $5.55 \times 10^7 \text{Bq}$ ⁶⁸Ge 校准源，均为 V 类放射源。⁶⁸Ge 半衰期为 288d，衰变模式为电子俘获（EC），产生 γ 射线。

因此，PET/CT 诊断项目污染因子是：X 射线、γ射线、β表面污染、放射性废水、放射性废气、氮氧化物、臭氧、固体放射性废物和废旧 ⁶⁸Ge 放射源。

9.2.1.2 SPECT/CT 诊断项目

(1) SPECT/CT 设备组成及工作原理

SPECT（Single Photon Emission Computed Tomography，单光子发射型计算机断层显

像)，是一种利用放射性核素的检查方法。SPECT 其使用放射性核素进行诊断的基本原理是：受检者注射含放射性核素的药物，放射性核素在特定的器官或组织发射出 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、肺显像、肾动态显像等。

SPECT/CT 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做出全面、准确的判断。SPECT/CT 是将 SPECT 和多排螺旋 CT 结合成一体化的设备，不仅提供 SPECT 功能信息，而且提供诊断 CT 的解剖信息。SPECT 本身不产生射线，仅作为光子接收和成像设备，服药后的患者作为辐射源项；CT 扫描过程中，CT 设备发射的 X 射线作为辐射源项。

(2) 工作方式

受检者注射放射性显像剂后，SPECT/CT 探测体内核素发出的 γ 射线生成功能代谢断层影像，同步通过 CT 获取解剖结构图像，经融合技术叠加功能与解剖信息，实现病变功能与形态的综合显像，辅助疾病诊断与评估。

(3) 工作流程及产污环节

① 诊疗规划

SPECT/CT 显像诊断项目正式开展后，规划使用放射性核素 ^{99m}Tc 进行 SPECT/CT 显像诊断。 ^{99m}Tc 显像诊断每日最多 30 人（含 ^{99m}Tc 肺通气显像诊断 2 人）。

表 9.2-2 SPECT/CT 诊断项目诊疗规划

诊疗项目	治疗核素	日最大诊断量	单次最大使用量	给药方式	来源
SPECT/CT 显像诊断	^{99m}Tc	30 人/28 人*	$9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)	静脉注射	外购单支成品药物
	^{99m}Tc	2 人	$9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)	肺通气吸入	
*注： ^{99m}Tc 肺通气显像诊断患者临床需求较少，存在当日无患者开展肺通气显像诊断的情况，因此， ^{99m}Tc 静脉注射日最大诊断量为 30 人，有肺通气显像诊断患者时静脉注射日最大诊断量为 28 人。					

②工作流程

接收患者：接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害，医生根据患者病情记录使用核素剂量。

预订药物：SPECT/CT 显像诊断项目使用放射性核素 ^{99m}Tc 进行显像诊断， ^{99m}Tc 核素为外购单支成品药物，工作人员注射前无需额外分装，工作人员根据预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，药物包装形式一般为单只注射器形式，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物送至核医学科，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室内。

A、核素静脉注射显像诊断和留观：注射前由护士为患者打好留置针，患者根据叫号进入核医学科注射窗进行注射；药物待使用时由护士做好领取使用登记后从储源室转移至手套箱测活，待测活活度与规划用药活度确认一致后进行注射，医务人员使用时直接从注射室手套箱取出，在注射窗口铅注射屏、注射器防护套屏蔽下为患者注射。患者注射放射性药物后在 SPECT/CT 候诊室内候诊，待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 SPECT/CT 机房。SPECT/CT 机房医生在控制室内进行语音提示摆位，必要时进入机房指导，摆位完成后离开机房返回控制室，隔室操作 SPECT/CT 对患者实施扫描诊断，每次扫描约 15min。扫描完成后患者进入留观室内留观约 10min，留观结束后患者将从核医学科西南侧的患者出口离开核医学科工作场所。

B、 ^{99m}Tc 心肌灌注显像诊断和留观：注射前由护士为患者打好留置针，患者根据叫号进入运动负荷室进行运动，以使心率达到一定水平后注射促使药物代谢至靶器官。在运动负荷室注射时，护士手持带铅屏蔽套的注射器，在注射防护车的铅屏蔽下为患者注射。患者注射放射性药物后在 SPECT/CT 候诊室内候诊，通过语音呼叫，进入 SPECT/CT 机房。SPECT/CT 机房医生在控制室内进行语音提示摆位，必要时进入机房指导，摆位完成后离开机房返回控制室，隔室操作 SPECT/CT 对患者实施扫描诊断，每次扫描约 15min。扫描完成后患者进入留观室内留观约 10min，留观结束后患者将从核医学科西南侧的患者出口离开核医学科工作场所。

C、 ^{99m}Tc 肺通气显像诊断和留观：护士提前把放射性药物 ^{99m}Tc 装入肺通气室的雾化器中，做肺通气的患者需要在肺通气室内的气溶胶雾化器吸入呈雾化的放射性药物 ^{99m}Tc （吸入药物时间为 5min），待放射性药物代谢至肺各个部位时，通过语音呼叫进入 SPECT/CT 机房。SPECT/CT 机房医生在控制室内进行语音提示摆位，必要时进入机

房指导，摆位完成后离开机房返回控制室，隔室操作 SPECT/CT 对患者实施扫描诊断，每次扫描约 15min。扫描完成后患者进入留观室内留观约 10min，留观结束后患者将从核医学科西南侧的患者出口离开核医学科工作场所。

③产污环节

工作人员将注射完毕后的注射器、棉签等放入专用放射性废物铅桶内。患者候诊时产生的尿液、粪便、呕吐物均冲入专用卫生间，纳入衰变池内衰变。SPECT/CT 诊断项目工作流程与产污环节见图 9.2-2。

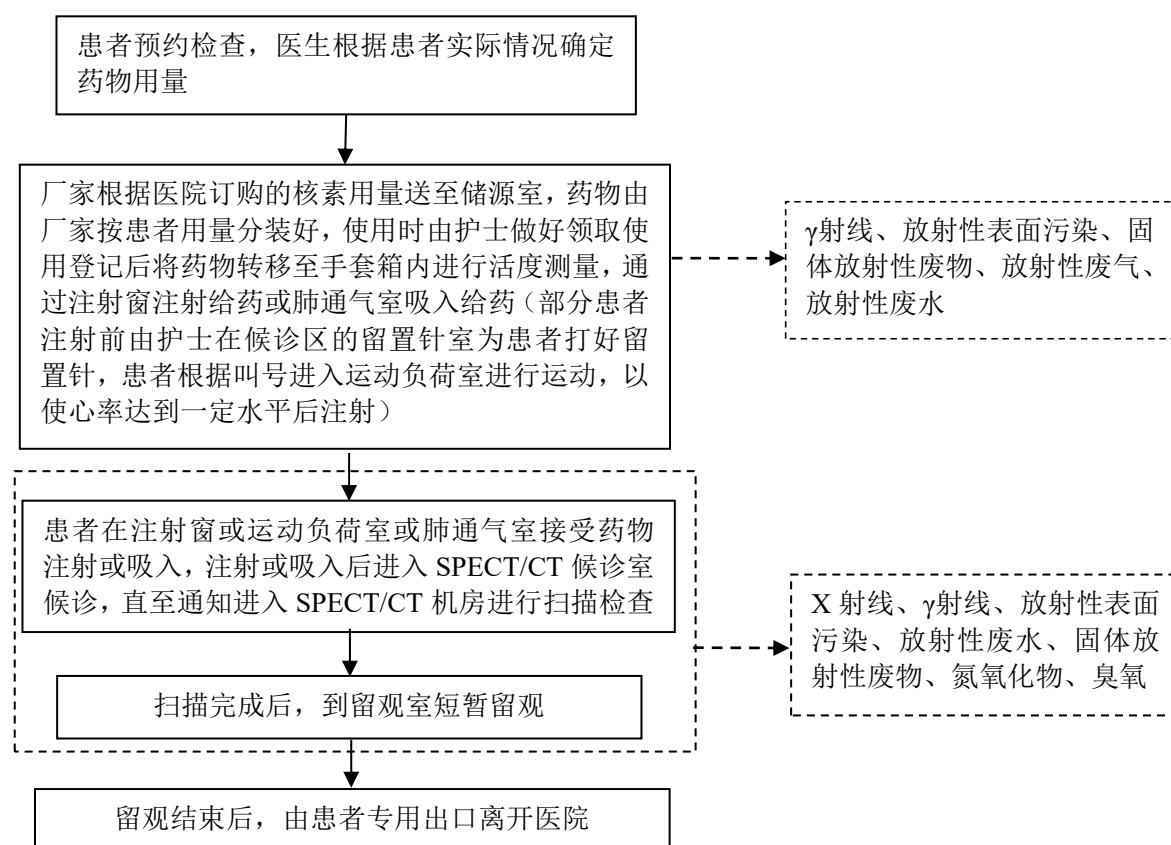


图 9.2-2 SPECT/CT 诊断工艺流程及产污环节分析示意图

因此，SPECT/CT 诊断项目污染因子是：X 射线、γ射线、放射性表面污染、放射性废水、放射性废气、氮氧化物、臭氧和固体放射性废物。

9.2.1.3 甲测、甲亢治疗项目

(1) 工作原理

甲测：甲状腺吸碘功能测定简称为甲测。碘是甲状腺合成甲状腺激素的原料之一，放射性的 ^{131}I 也能被摄取并参与甲状腺激素的合成，其被摄取的数量和速度与甲状腺功能密切相关。将 ^{131}I 引入受检者体内，利用体外探测仪器测定甲状腺部位放射性计数的变

化，可以了解 ^{131}I 被甲状腺摄取的情况，从而判断甲状腺的功能。

甲亢：甲状腺具有高度选择性摄取 ^{131}I 的能力，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多，可高达血浆的几百倍，且在甲状腺内停留的时间较长。在患者服用 ^{131}I 后，90%以上的 ^{131}I 都会聚集到患者的甲状腺，其余的 ^{131}I 随代谢排出体外。 ^{131}I 衰变为 ^{131}Xe 时放射出 95%的 β 射线，该射线能量低，在甲状腺内的平均射程仅有 0.5mm，一般不会造成甲状腺周围组织例如甲状旁腺、喉返神经等的辐射损伤。因此， ^{131}I 治疗可使部分甲状腺组织受到 β 射线的集中照射，使部分甲状腺细胞发炎、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的功能恢复正常，达到治疗的目的。

(2) 工作方式

甲测患者先口服含有放射性核素 ^{131}I 的示踪剂，待示踪剂经血液循环被甲状腺组织摄取并达到动态平衡后，利用核素探测仪器（如甲状腺功能仪）在颈部甲状腺区域进行放射性计数测量，通过记录不同时间点（如服碘后 2 小时、4 小时、24 小时等）甲状腺对放射性碘的摄取率，结合正常参考范围及受检者临床情况，判断甲状腺的摄碘功能状态，从而辅助诊断甲亢、甲减、甲状腺炎等甲状腺功能异常疾病；甲亢患者先口服含有放射性核素 ^{131}I 的示踪剂，待示踪剂经血液循环被甲状腺组织摄取后释放辐射射线精准破坏甲状腺组织。

(3) 工作流程及产污环节

①诊疗规划

甲测项目正式开展后，规划使用放射性核素 ^{131}I 进行甲状腺吸碘功能测定，日最大接诊量为 10 人。

甲亢治疗项目正式开展后，规划使用放射性核素 ^{131}I 进行甲亢治疗，日最大接诊量为 10 人。

表 9.2-3 甲测、甲亢治疗项目诊疗规划

治疗核素	日最大诊断量	单次最大使用量	给药方式	来源
^{131}I 甲测	10 人	$1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ ($5\mu\text{Ci}$)	口服	外购药物，自动分装
^{131}I 甲亢	10 人	$3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)	口服	外购药物，自动分装

②工作流程

预订药物：甲测、甲亢使用 ^{131}I 为外购成品药物碘 [^{131}I] 化钠口服液体。工作人员根据所需药物的使用量、预约人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在用

药当天按时送达药物，经确认无误完成相关交接、登记，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室。

指导患者服药：患者进行治疗前，辐射工作人员将装有药物的屏蔽容器放在服碘室的碘自动分装仪内，打开密封盖，通过电脑控制系统操作碘自动分装仪测定活度自动分装药物，患者根据医护人员指示进行服药，并用一次性口杯接适量纯净水服下。医院采取分时段管控患者就诊，避免不同 ^{131}I 诊疗患者在同一时段进行服药而发生交叉污染。

甲测服药后：甲测患者经预约问诊后，进入核医学科到达服碘窗口，服用放射性药物后离开核医学科场所。患者分别于服药后 2h、4h、6h、24h 到核医学科甲测室进行吸碘率的测定，然后打印报告，检查结束。甲测患者不在碘留观室和甲测室候诊，甲测患者服药后由患者出口离开核医学科，等检测时间到后患者进入甲测室进行测量，每次测量约 1min。

甲亢服药后：甲亢患者经预约问诊后，进入核医学科到服碘窗口，服用放射性药物后在医生的语音指导下在碘留观室短暂留观，如无异常情况，可离开核医学科场所。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 B.1 患者出院的体内放射性核素活度要求可知，本项目甲亢患者给药量低于放射治疗患者出院时体内放射性核素活度的要求，因此，甲亢患者服药后可不必住院，经短暂观察无碍后离开核医学科。医院应对患者做出书面建议，给出接触同事、亲属以及到公众场所的合理限制和有关防护措施（限制接触时间及距离等）。

表 9.2-4 患者体内放射性活度出院标准对比分析

诊疗项目	治疗核素	日最大治疗量	单次最大使用量	出院时体内放射性活度要求	是否满足出院要求
甲测	^{131}I	10 人	$1.85 \times 10^5 \text{Bq}$	$4 \times 10^8 \text{Bq}$	满足
甲亢	^{131}I	10 人	$3.70 \times 10^8 \text{Bq}$	$4 \times 10^8 \text{Bq}$	满足

③产污环节

甲测项目工作流程与产污环节见图 9.2-3，甲亢治疗项目工作流程与产污环节见图 9.2-4。

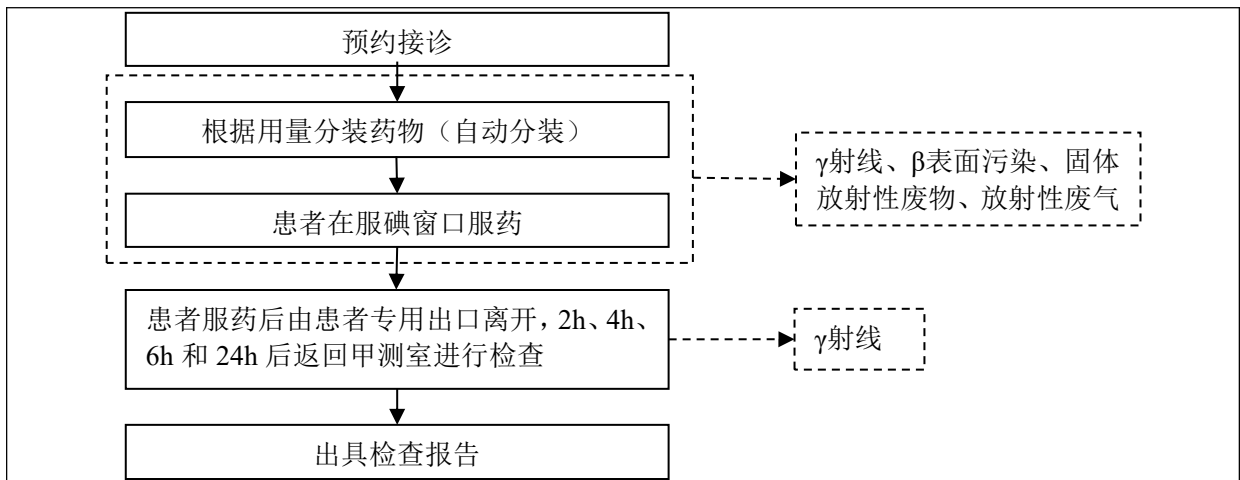


图 9.2-3 甲功测定工作流程及产污环节分析示意图

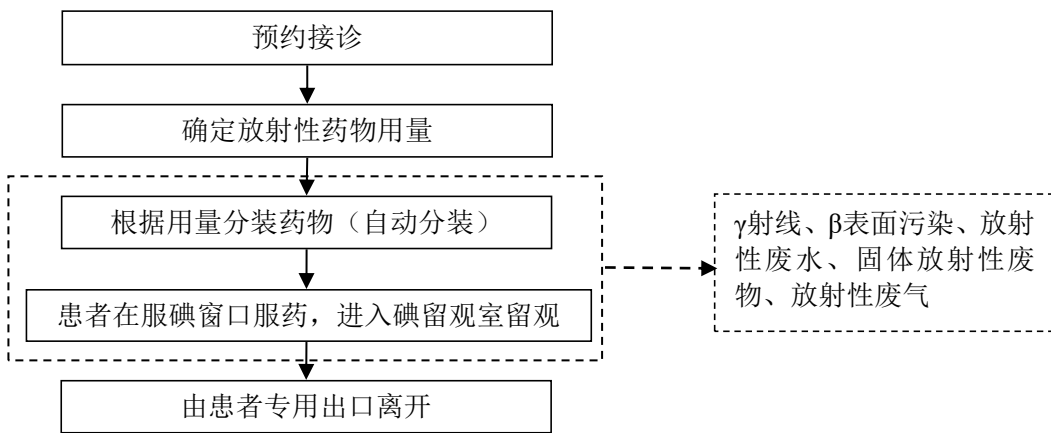


图 9.2-4 甲亢治疗工艺流程及产污环节分析示意图

因此，甲测、甲亢治疗项目污染因子是： γ 射线、 β 表面污染、放射性废水、固体放射性废物和放射性废气等。

9.2.1.4 骨转移癌治疗项目

(1) 工作原理及工作方式

静脉注射放射性药物如 ^{89}Sr ，通过高度选择性聚集在病变部位的放射性核素所发射出的射程很短的 β 射线，对病变进行集中照射，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，其有效射程很短，因而邻近正常组织和全身辐射吸收剂量很低，从而达到止痛和破坏肿瘤的目的。

(2) 工作流程及产污环节

① 诊疗规划

骨转移癌治疗项目开展后，规划使用放射性核素 ^{89}Sr 进行治疗。 ^{89}Sr 日最大治疗量为 5 人。

表 9.2-5 骨转移癌治疗项目诊疗规划

治疗项目	治疗核素	日最大治疗量	单次最大使用量	给药方式	来源
骨转移癌治疗	⁸⁹ Sr	5 人	1.85×10 ⁸ Bq (5mCi)	静脉注射	外购单支 成品药物

②工作流程

预订药物：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，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物送至核医学科场所，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室。

测活注射：⁸⁹Sr 为外购单支成品药物，注射前无需额外分装，使用前由护士做好领取使用登记后从储源室转移至手套箱测活，待测活活度与规划用药活度确认一致后进行注射，医务人员使用时直接从注射室手套箱取出，在铅屏蔽窗（与 SPECT/CT 诊断患者共用注射台）的屏蔽下为患者静脉注射。注射后正常情况下患者可以离开核医学科场所。

出院：根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 B.1 患者出院的体内放射性核素活度要求可知，本项目骨转移癌患者给药量低于放射治疗患者出院时体内放射性核素活度的要求，因此，患者给药后可不必住院，经短暂观察无碍后离开核医学科。医院应对患者做出书面建议，给出接触同事、亲属以及到公众场所的合理限制和有关防护措施（限制接触时间及距离等）。

表 9.2-6 患者体内放射性活度出院标准对比分析

诊疗项目	治疗核素	单人最大核素用量	出院时体内放射性活度要求	是否满足出院要求
骨转移癌治疗	⁸⁹ Sr	1.85×10 ⁸ Bq/人	2×10 ⁸ Bq	满足

③产污环节

骨转移癌治疗工作流程与产污环节见图 9.2-5。

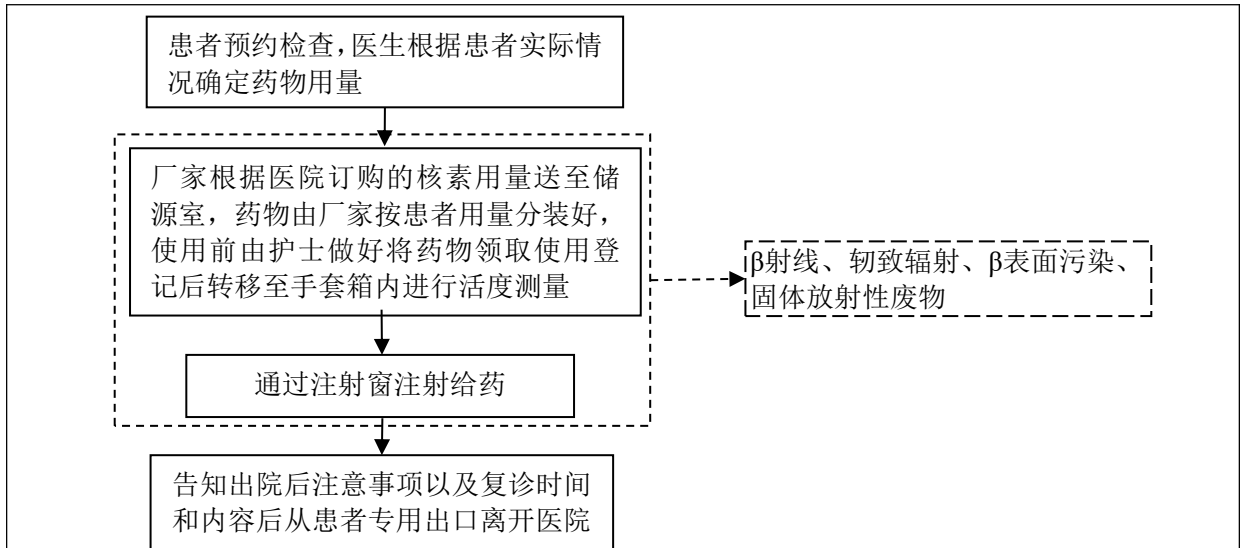


图 9.2-5 骨转移癌治疗工艺流程及产污环节图

因此，骨转移癌治疗项目污染因子是： β 射线、韧致辐射、 β 表面污染、固体放射性废物。

9.2.1.5 敷贴治疗项目

(1) 工作原理

当患者患有血管瘤、痣、疤痕疙瘩、酒渣鼻、毛细血管扩张、神经性皮炎、局限性慢性湿疹、局限性皮肤瘙痒和某些皮肤癌时，通过某些放射性同位素（如核素 ^{32}P 和放射源 ^{90}Sr ）的敷贴照射，让敷贴器充分接近病变皮肤，通过核素在衰变过程中释放的纯 β 射线，作用于增生组织细胞，可以降低细胞分裂速度，延长核分裂周期，闭塞毛细血管及止痒和镇痛等作用而达到诊疗目的。本项目使用的 ^{32}P 和 ^{90}Sr 敷贴器为纯 β 放射性核素。

(2) 工作流程及产污环节

① 诊疗规划

敷贴治疗项目正式开展后，规划使用放射性核素 ^{32}P 和放射源 ^{90}Sr 进行敷贴治疗。 ^{32}P 日最大治疗量为 10 人； ^{90}Sr 日最大治疗量为 5 人。

表 9.2-7 敷贴治疗项目诊疗规划

治疗项目	治疗核素	日最大治疗量	单次最大使用量	给药方式	来源
敷贴治疗	^{32}P	10 人	$3.70 \times 10^7 \text{Bq}$ (1mCi)	敷贴	外购药物，自制 ^{32}P 敷贴器
	^{90}Sr	5 人	$1.85 \times 10^9 \text{Bq} \times 1$ 枚	敷贴	外购商品敷贴器

② 工作流程

接收患者：工作人员提前了解患者瘤、痣、疤痕疙瘩等需要治疗部位的形状和情况，

进而确定采用的敷贴治疗方案，根据患者预约情况安排治疗。治疗前，医生先根据敷贴治疗的适应症和禁忌症，对具有正当理由的患者开具敷贴治疗申请单，并预约登记，医生根据病情制定治疗方案。

预订药物：由于 ^{32}P 敷贴器需要在使用前进行制作，医院根据敷贴所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物送至核医学科场所，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室；本项目使用的 ^{90}Sr 敷贴器为外购商品敷贴器，初始活度为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ ，为V类放射源， ^{90}Sr 敷贴器从有生产、销售资质的正规厂家购买，严格按照放射源进行管理，由于 ^{90}Sr 半衰期为 28.1a，使用过程中只需半年进行一次衰变校正，不使用时暂存于储源室内专用贮源箱中，存放于储源室内，治疗时使用专用长柄工具，在敷贴治疗室内实施治疗。

制作 ^{32}P 敷贴器： ^{32}P 药物密封于专用屏蔽容器中，使用前由工作人员在分装注射室的手套箱中进行制作，制作时间约为 5min，制作完成后在手套箱内对敷贴器进行烘干，烘干后经检测表面无放射性污染后即可转移至敷贴治疗室的内贮源箱暂存，待使用时取出。制作方法如下：①采用优质滤纸按病变形状要求剪成规格大小及形状不同的纸片，作为 ^{32}P 溶液的支持物，滤纸上画有格子；②用生理盐水分别将不同大小与形状的滤纸做一次吸水试验以确定滴加 ^{32}P 溶液的毫升数；③用手控移液管吸取预先计算好的混有色剂的 ^{32}P 溶液，按每张滤纸的吸水量分格滴加 ^{32}P 溶液，通过颜色的深浅来调整 ^{32}P 活度的分布均匀性；④调整色剂均匀分布后经自然晾干，用优质塑料薄膜与胶布套封，保证其密封性。在胶布上注明敷贴器的名称、制作日期、放射性活度等； ^{90}Sr 敷贴可直接使用成品敷贴器，无需额外制作。

敷贴治疗：治疗时，工作人员将贮源箱中的敷贴器取出，放至患者治疗部位后，在不接触患者皮肤的面用 3mm 厚的橡皮泥或橡胶板等屏蔽周围的正常组织。本项目敷贴治疗时间约为 1h 左右，每间治疗室内最多容纳 1 名患者，治疗结束后，从核医学科候诊大厅东侧出口离开核医学科工作场所。工作人员清点敷贴器，及时将使用后的敷贴器放入装有专用塑料袋的铅桶中进行衰变处理，并做好记录。

③产污环节

敷贴治疗工作流程与产污环节见图 9.2-6。

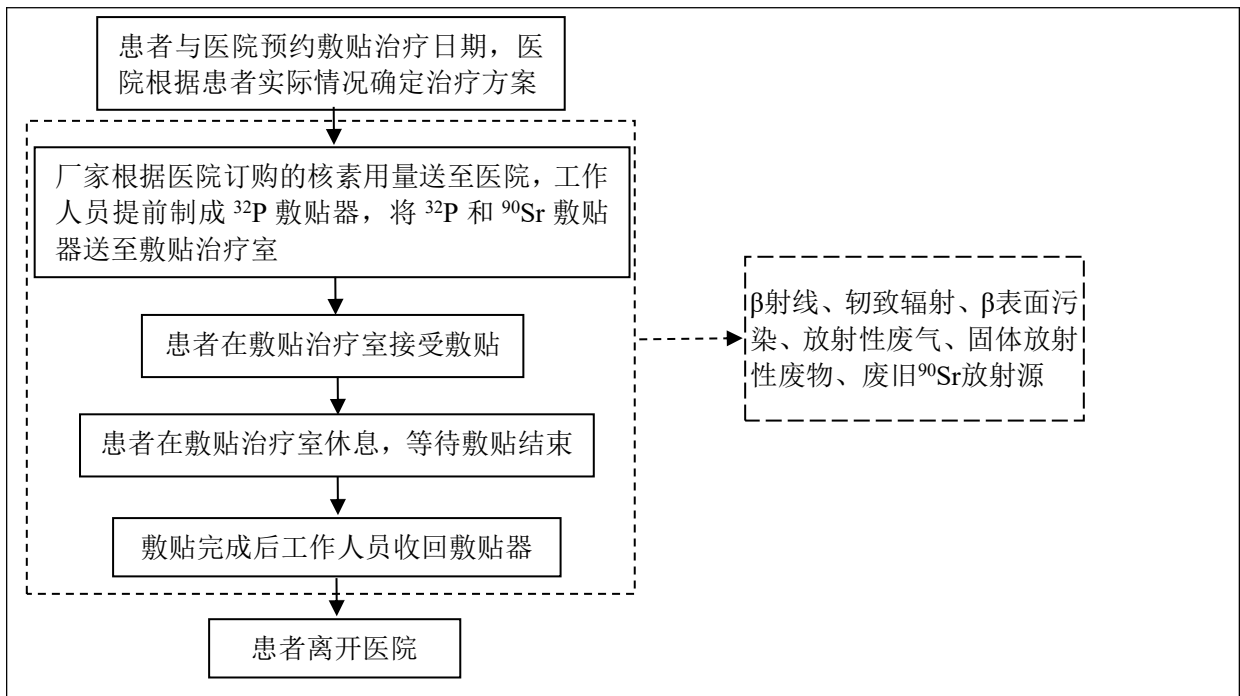


图 9.2-6 敷贴治疗工艺流程及产污环节图

因此，敷贴治疗项目污染因子是： β 射线、韧致辐射、 β 表面污染、放射性废气、固体放射性废物和废旧 ^{90}Sr 放射源。

9.2.1.6 人员、物流路径规划（见附图 3-20）

（1）工作人员路径

①医护路径：医护人员均从核医学科南侧入口进入办公室，经卫生通过间进入分装注射室，医护人员在分装注射室给诊断和治疗患者进行药物注射，使用计算机程序操作碘自动分装仪进行分装，通过监控系统指挥患者服药，医护人员工作结束后，监测确认无表面污染后（如监测有污染则进行去污至监测达标后）原路返回。甲测医护人员由候诊大厅走廊进入甲测室，对患者进行甲功测定。

②技师路径：PET/CT、SPECT/CT 显像诊断技师从核医学科南侧入口进入控制廊，并到相应控制位操作和相应机房进行摆位等，本区域所有工作人员完成工作后均原路返回。

（2）患者路径

①显像诊断患者路径：根据预约时间患者由核医学科东侧入口进入候诊大厅，在护士站登记信息后，根据工作人员指导、语音呼叫系统提示从核医学科东侧患者入口进入核医学科注射窗口接受注射。注射后根据工作人员语音指导及路线指示进入相应的候诊室候诊。候诊后根据语音呼叫系统提示进入相应的机房进行扫描检查。扫描后根据工作

人员语音指导及路线指示，PET/CT 和 SPECT/CT 显像诊断患者进入留观室短暂留观，留观结束后患者将从核医学科西南侧的患者出口离开核医学科工作场所。

②甲测、甲亢治疗患者路径：甲测患者由核医学科东侧入口进入候诊大厅，在护士站登记，随后甲测患者从核医学科场所东侧患者入口进入至服碘窗口服药，服药后从核医学科场所西南侧患者出口离开。患者分别于服药后 2h、4h、6h、24h 进入核医学科敷贴治疗室旁的甲测室进行吸碘率的测定，然后打印报告，检查结束。

甲亢患者由核医学科东侧入口进入候诊大厅，在护士站登记，随后甲亢患者从核医学科场所东侧患者入口进入至服碘窗口服药，服药后于碘留观室短暂留观，如无异常情况，从核医学科场所西南侧患者出口离开。

③骨转移癌治疗患者路径：骨转移癌治疗患者核医学科东侧入口进入候诊大厅，在护士站登记，随后患者从核医学科场所东侧患者入口进入 SPECT/CT 注射台，给药后从核医学科场所西南侧患者出口离开。

④敷贴治疗患者路径：敷贴治疗患者根据预约时间在核医学科候诊大厅等候，在护士站登记后进入敷贴治疗室进行治疗，治疗结束后取下敷贴器登记回收，由核医学科候诊大厅东侧出口离开核医学科。

（3）放射性药物路径

本项目核医学科使用放射性核素均为外购药物。医院通过分时管控措施，安排供药公司工作人员每天早上在开展诊疗工作前提前到达核医学科场所，避开候诊患者，在摄像头监控下与医院工作人员核对放射性药物信息，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室，所有药物在使用前均存放在储源室，待使用时由护士做好领取使用登记后将药物从储源室转移至手套箱进行分装测活。

^{32}P 敷贴药物需提前制备敷贴器，医院通过分时管控措施提前制备，从分装注射室东侧防护门进入敷贴治疗室，将提前制备的 ^{32}P 敷贴器和 ^{90}Sr 放射源放入储源保险箱中。

（4）污物路径

核医学科设置 2 间污物间，产生的固体放射性废物在下班后无患者时段，集中收集至污物间衰变。衰变时间满足要求且经监测符合清洁解控水平后，选择在下班后无患者时段，经卫生通过间（污物间 1）和患者出口（污物间 2）送出，统一送至医院医疗废物暂存间收集后按照医疗废物处置。

综上所述，核医学科场所设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和污物路径。

工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道尽可能短捷，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求。

9.2.1.7 核医学科工作负荷

(1) 放射性核素相关放射性属性

本项目拟使用放射性核素的有关参数见表 9.2-8。

表 9.2-8 非密封放射性物质的相关放射性属性

核素名称	状态	半衰期	毒性级别	衰变模式	α/β 最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	活动种类
PET/CT 显像诊断							
^{18}F	液态	109.8min	低毒	β^+ 、EC	0.63 (+)	0.511	使用
SPECT/CT 显像诊断							
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液态	6.02h	低毒	同质异能跃迁	—	0.140	使用
甲测、甲亢治疗							
^{131}I	液态	8.02d	中毒	β^-	0.602	0.284, 0.365, 0.637	使用
骨转移癌治疗							
^{89}Sr	液态	50.53d	中毒	β^-	1.46	—	使用
敷贴治疗							
^{32}P	液态	14.26d	中毒	β^-	1.71	—	使用
^{90}Sr 放射源	固态	28.1a	高毒	β^-	0.546	—	使用

(2) 工作人员配备和工作负荷

本项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h，核医学科场所各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见表 9.2-9。

表 9.2-9 各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

工作场所	操作内容	操作时间	人员数量
办公室、读片室	办公、读片、报告打印等	2000h	4 人
分装注射室和肺通气室	药品分装、测活	30s/次	2 人一组 轮岗，共 2 组
	给患者注射药物或协助患者吸入 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物	30s/次	
	制备 ^{32}P 敷贴器	5min/次	
	^{32}P 和 ^{90}Sr 敷贴器转运至敷贴治疗室	1min/次	
	将铅罐安装到自动分碘仪，远程操控药品自动分装，并指导患者服药	5min/次	
运动/抢救室	对患者进行抢救	30min/次	2 人一组 轮岗，共 2 组
敷贴治疗室	敷贴给药	2min/次	
甲测室	在甲测室对患者进行甲状腺功能测定	1min/次	
护士站、诊室、预处理室	预约登记、门诊接诊、埋针	8h/天	1 人一组
PET/CT 机房	指导患者躺至正确的位置	1min/次	

PET/CT 操作位	技师在控制室操纵设备进行扫描	平均 15min/次	轮岗, 共 2 组
SPECT/CT 机房	指导患者躺至正确的位置	1min/次	1 人一组
SPECT/CT 机房操作位	技师在控制室操纵设备进行扫描	平均 15min/次	轮岗, 共 2 组

9.2.2 放疗科核技术利用项目

9.2.2.1 直线加速器

(1) 直线加速器设备参数

根据医院提供的资料, 拟购 1 台直线加速器, 主要设备参数见表 9.2-10。

表 9.2-10 本项目直线加速器设备参数

设备名称	直线加速器
数量	1 台
型号	待定
射线装置类别	II类
射线类型	电子线、X 射线
X 射线最大能量	15MV
电子线最大能量	22MeV
主射线最大出束角度	28°
X 射线泄漏率	≤0.1%
源轴距 (SAD)	1m
等中心距地面高度	1.3m
距靶 1m 处常用最高剂量率	15MV: 距靶 1m 处的最大剂量率 360Gy/h 10MV: 距靶 1m 处的最大剂量率 1440Gy/h (FFF 模式)
最大照射野	40cm×40cm
CBCT 影像引导设备	最大管电压 150kV, 最大管电流 1000mA

(2) 设备组成及工作原理

直线加速器是产生高能电子束和高能 X 线束的装置, 为远距离放射性治疗机。当高能电子束与靶物质相互作用时产生韧致辐射, 即 X 射线, 因此, 医用电子直线加速器可利用高能电子束和高能 X 线束对患者病灶进行照射, 杀伤肿瘤细胞。直线加速器可根据所治疗癌症类型及其在身体中的位置、患者的身体状况和各次给予剂量之间的时间间隔, 以最佳输出剂量对人体肿瘤进行照射治疗。

直线加速器在 FFF 模式下 X 射线未经过准直器和滤线器调整, 直接进入患者病灶, 从而实现治疗目的, 该技术具有治疗精度高, 治疗周期短, 单次剂量大, 正常组织保护好, 等效生物剂量高等特点。

电子线作用于细胞可引起具有生物活性的有机化合物分子发生电离激发和化学键断裂, 产生自由基, 从而引起正常功能和代谢作用的障碍。电子线放射治疗可减少成纤维细胞的增生、抑制胶原的合成, 因此对部分患者在术后 24h 内开始实施放射治疗, 以

期达到预防瘢痕再生的目的。

CBCT 是近年来发展起来的基于大面积非晶硅数字化 X 射线探测板的锥形束 CT，具有体积小，重量轻，开放式架构的特点，可以直接整合到直线加速器上。设备机架旋转一周就能获取和重建一个体积范围内的 CT 图像。这个体积内的 CT 影像重建后的三维患者模型可以与治疗计划的患者模型匹配比较并得到治疗床需要调节的参数。平板探测器的读数装置和探测器结合在一起，本身就具有提高空间分辨率的优势，达到比传统的 CT 更高的空间分辨率，密度分辨率也足以分辨软组织结构，可以通过肿瘤本身成像引导放疗。

电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源，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。典型医用直线加速器外部、内部结构示意图以及 X 射线和电子束治疗模式结构示意图见图 9.2-7、图 9.2-8 以及 9.2-9。

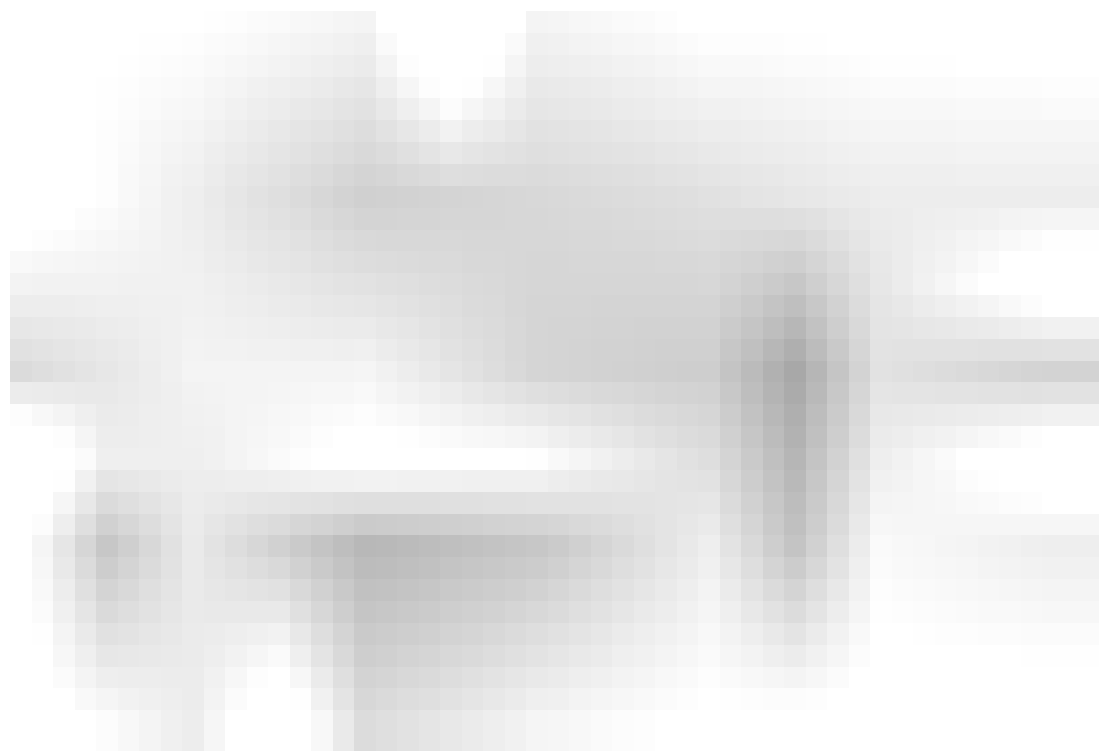


图 9.2-7 典型医用直线加速器外部结构示意图



图 9.2-8 典型医用直线加速器内部结构示意图



图 9.2-9 X 射线和电子束治疗模式结构示意图

(3) 工作方式

直线加速器的工作方式为工作人员将患者按照治疗计划要求，在 CT 模拟定位机上进行肿瘤定位，在直线加速器机房进行指导摆位，在控制面板中输入治疗参数，使用 X 射线对患者进行治疗，治疗过程中，工作人员在控制室内，通过监视器观察患者情况。

(4) 工作流程及产污环节

治疗前先确认治疗方案，包括确定照射时间和剂量，定位患者照射部位，调整照射角度和视野，再开机进行治疗。在直线加速器治疗过程中，除患者外其他人员均不在治疗室内，医护人员通过视频监控系统观察患者情况。其工作流程及产污环节见图 9.2-10。

操作流程如下：

- ①根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前预约登记，以确定治疗时间；
- ②预约患者首先在 CT 模拟定位机上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状；
- ③物理师通过医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划；
- ④肿瘤患者在技师协助下躺上治疗床，进行摆位，根据 TPS 确定照射位置和面积；
- ⑤技师离开治疗室，进入控制室，并确认机房内除了受诊患者无其他人员，随后使用锥形束计算机断层扫描系统（CBCT）进行图像引导系统拍摄放疗体位下的照射部位数字影像，与放疗计划系统进行对比，并校正放疗体位；
- ⑥根据 TPS 计划进行出束治疗；
- ⑦治疗结束后，医务人员关闭直线加速器，并进入机房指导协助患者离开。

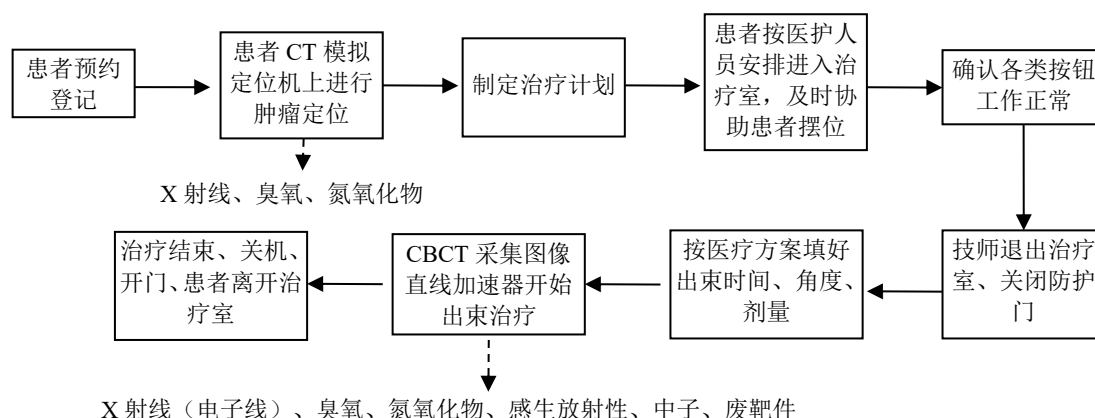


图 9.2-10 直线加速器工作流程及产污环节分析示意图

正常工况时，直线加速器治疗污染源项主要为开机状态下产生的 X 射线、电子线、中子和感生放射性，同时会产生少量臭氧及氮氧化物。另外，直线加速器的金属靶件更换时会有废靶件产生。

(5) 工作负荷

本项目放疗科直线加速器机房配备 2 名技师，放疗科共配备 7 名医生和 3 名物理计划师。

本项目直线加速器投入使用后，预计每台直线加速器每天放射治疗患者最多为 60

人次，平均每名患者治疗照射最大时间为 1.5min，每周工作 5 天，则直线加速器日照射时间为 1.5h，周照射时间为 7.5h，年照射时间为 375h。

(6) 人员路径规划（见附图 3-21）

① 医护人员路径

医护人员从办公室经走廊进入放疗科，向东进入相应直线加速器机房的控制室，通过直线加速器机房防护门进入治疗室对患者进行摆位，摆位完成后原路返回控制室。

② 患者路径

患者由放疗科北侧入口进入等候区，根据叫号后进入相应的直线加速器机房进行治疗，治疗结束后通过原路离开。

9.2.2.2 射波刀

(1) 射波刀基本参数

根据医院提供的资料，拟购 1 台射波刀，主要参数见表 9.2-11。

表 9.2-11 本项目射波刀设备参数

设备名称	射波刀
数量	1 台
型号	待定
射线装置类别	II类
最大 X 射线能量	6MV
X 射线泄漏率	≤0.1%
源轴距 (SAD)	0.8m
等中心距地面高度	0.92m
X 射线最大能量	6MV: 距靶 0.8m 处最大剂量率为 600Gy/h
X 射线最高输出率	
最大照射面积	10cm×11.5cm
定位系统 X 射线球管	最大管电压为 150kV，最大管电流为 640mA
注：本项目射波刀在自动模式运行下射线束向上照射的最大角度为 22°（即与水平线夹角为 22°），而考虑到个别患者治疗位置要求特殊，医生可在治疗中手动调节射线束照射方向使其竖直向上。	

(2) 设备组成及工作原理

射波刀是一种新型立体定向放射治疗装置，由美国 Stanford 大学医疗中心脑外科与 Accuray（安科锐）公司合作研发，1994 年投入使用。它集影像引导系统和高准确性的治疗系统于一身，将一个 6MV X 射线的轻型电子直线加速器安放在一个有 6 个自由度的机械臂上，利用机械臂的全向投照能力对肿瘤进行精确的、非共面和多中心的放射治疗。射波刀是全球唯一整合最先进的机器人技术和智能影像实时监控、追踪系统的放射治疗系统，尤其擅长对颅内肿瘤进行立体定向放射治疗，对运动器官进行追踪治疗。

射波刀结构组成包括：直线加速器、机器人机械臂、治疗床、靶区定位（影像）追

踪系统、治疗计划系统、呼吸追踪系统、计算机网络集成与控制系统等。

1) 直线加速器 (Linear accelerator)

射波刀使用一个紧凑型能产生 6MV X 射线的轻型直线加速器，直线加速器安装在由机器人控制的机械臂上。该直线加速器配有 12 个准直器，准直器直径从 5mm 到 60mm。

2) 机器人机械臂 (Robot arm)

机器人机械臂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、下六度空间自由转动，按照计算机预设的路线，机械臂可将直线加速器调整到最多两百余个位置（或节点），在每个位置（或节点）处可以从 12 个角度投照射线，因此最多能从三千个方位发出射线。每到一个预设治疗点，机械臂停止运动，直线加速器对准靶区投照相应的放射剂量。

3) 治疗床 (treatment table)

射波刀的治疗床也由机器人控制，可以在六度空间自由移动。

4) 靶区定位 (影像) 追踪系统 (target localization system)

与传统放射外科使用立体定向架固定患者头部以确保射线精确投照不同，射波刀使用人体骨骼结构作为参考框架，颅内病灶与颅骨之间产生固定的对应关系。靶区定位(影像)追踪系统是利用天花板上安装的两组诊断 X 射线球管和安装于地板平面下的影像探测器组成。两组 X 射线球管发出的低能 X 线相互垂直，交叉穿过头颅（或患者肿瘤的治疗部位），影像探测器获得颅骨的数字图像，并将影像资料传输到数据处理系统 (image processing system, IPS), 计算机与事先 CT 扫描获得的颅骨数字重建图像(DDR) 相比较，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 Xsight Spine（脊柱追踪软件）；治疗部分周围型肺癌时，使用 X sight Lung（肺部追踪软件）；治疗随呼吸运动的肿瘤或需要埋置金标时，使用金标追踪和呼吸追踪系统。

5) 治疗计划系统

治疗计划系统由计算机工作站和 Multiplan 治疗计划软件组成。患者治疗前，先作 CT 定位，将定位影像传输到计算机内。医生先勾画出计划治疗的肿瘤和重要器官，然后设置中心点，最后选择准直器并给出肿瘤和重要器官的剂量要求，计算机能自动设计

一个满足设定条件、适形满意、剂量分布均匀、照射范围与肿瘤形状几乎吻合的治疗计划。根据治疗需要，医生可设计单次治疗，也可设计分次治疗。射波刀治疗计划系统不仅具有常规的正向治疗计划，而且还有任意形状逆向治疗计划。正向治疗计划是医生根据病灶的大小和形状，选择相应的准直器和照射方式逐步设计出一个和病灶形状几乎一样的照射形状，然后给出周边剂量和中心剂量。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:

当治疗肺部肿瘤或受呼吸运动影响的肿瘤（肝癌、胰腺肿瘤等）时，肿瘤随着患者的呼吸而上下左右运动。治疗这些体部肿瘤之前，需要向肿瘤内或周围放置金标（由黄金制成的，长 5mm，直径 0.8mm 的圆柱体），金标放置 5-7 天后才能实施射波刀治疗。呼吸追踪是让患者穿上胸前带有发红光二极管的背心，呼吸追踪摄像机通过捕捉二极管的运动获得肺部的呼吸运动节律，计算机建立呼吸模型。治疗时，通过追踪金标的位置获得肿瘤的精确位置，同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。

7) 计算机网络集成与控制系统

射波刀拥有一个计算机工作站（SGI），SGI 计算机通过网络控制机器人机械臂、控制直线加速器何时投照射线、治疗床的移动和治疗靶区位置的追踪。此外，治疗时获得的骨骼图像与定位图像的自动比对均在 SGI 计算机掌控下自动进行。

射波刀结构示意图见图 9.2-11。

(3) 工作方式

射波刀的工作方式为工作人员将患者按照治疗计划要求，在 CT 模拟定位机上进行肿瘤定位，在射波刀机房进行指导摆位，在控制面板中输入治疗参数，由定位系统与治疗计划系统的治疗影像进行比对，修正误差，使用 X 射线对患者进行治疗，治疗过程中，工作人员于控制室内，并通过监视器，观察患者情况。



图 9.2-11 射波刀结构示意图

(4) 工作流程及产污环节

操作流程如下：

①定位扫描：医生通过 CT 模拟定位机对患者病变部位进行扫描，确定肿瘤的位置。

②治疗计划：医生根据 CT 模拟定位机图像，勾画靶区，选择合适的追踪模式、准直器、射线强度、靶区范围、剂量分布、治疗剂量和其他参数，计算机自动设计一个剂量分布、照射范围与肿瘤形状几乎吻合的治疗计划；

③靶区定位：患者平卧并固定在治疗床上，其余人员撤离治疗室，技师关闭防护门。影像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对比，获得靶区方位误差。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。此时计算机获得了患者病灶的初步定位。

④射线治疗：机械臂将直线加速器旋转到初始坐标位，然后按照程序将直线加速器围绕着患者旋转到顶点节点。直线加速器每到一个节点，机械臂会暂停运动，此时靶区定位追踪系统立刻获取新的靶区影像，计算机确认当前的靶区影像与治疗开始时影像完全一致。如果患者靶区有轻微的移动，靶区定位追踪系统立刻计算出移动造成的偏差，并将此偏差传输到机器人机械臂，机械臂微调直线加速器的方位或射线的入射角度，最后直线加速器将所需的剂量精确投射到病灶内。如果患者的移动超过计算机调整的范围，治疗会紧急暂停。直线加速器每到一个预定节点都将重复上述步骤。

⑤治疗结束：直线加速器完成治疗，机器人回到停车位。工作人员打开防护门，护理人员将患者送出治疗室。

射波刀在放射治疗中，采用非等中心从不同方向，以上千个小的圆形照射野照射肿瘤部位，主射束会照射到治疗室机房的大部分墙面上。

工作流程及产污环节见图 9.2-12。

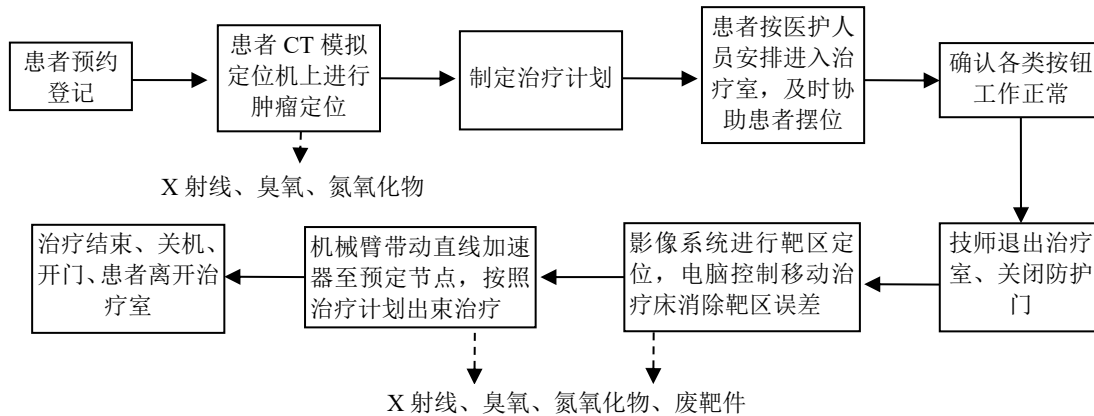


图 9.2-12 射波刀工作流程及产污环节示意图

正常工况时，射波刀治疗污染源项主要为开机状态下产生的 X 射线、臭氧、氮氧化物和废靶件。

(5) 工作负荷

本项目射波刀投入使用后预计每天放射治疗患者最多为 12 人次，平均每名患者治疗照射最大时间为 30min，每周工作 5 天，则射波刀日照射时间为 6h，周照射时间为 30h，年照射时间为 1500h。

(6) 人员路径规划（见附图 3-21）

① 医护人员路径

医护人员从办公室经走廊进入放疗科，向东进入相应射波刀机房的控制室，通过射波刀机房防护门进入治疗室对患者进行摆位，摆位完成后原路返回控制室。

② 患者路径

患者由放疗科北侧入口进入等候区，根据叫号后进入相应的射波刀机房进行治疗，治疗结束后通过原路离开。

9.2.2.3 后装治疗机

(1) 后装治疗机基本参数

本项目后装治疗机采用 ^{192}Ir 核素为放射源，设计装源活度为 $5.55 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。 ^{192}Ir 放射源的技术参数见表 9.2-12。

表 9.2-12 放射源 ^{192}Ir 的技术参数

放射源	活度 (Bq)	状态	半衰期	γ 射线能量均值	空气比释动能率常数 K_r	源距地面高度
^{192}Ir	5.55×10^{11}	固态	74.0d	0.37MeV	$0.111 \mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$	1.0m

注： ^{192}Ir 的空气比释动能率常数来自《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/T201.3-2014)中表 C.1。

(2) 设备组成、工作原理及工作方式

后装治疗机包括施源器、贮源器和源传输系统以及控制系统。施源器是一个直径为毫米级的管状物，由不锈钢制成，管内可装球形的放射源，并有气动通道。贮源器和源传输系统包括源分类机、主贮源室、源分配器、中间贮源室、阀门和传输管道。控制系统由计算机、电视监视系统和打印系统组成。

后装治疗是放射治疗的一种方法，所谓后装就是预先在患者需要治疗的部位正确地放置施源器，然后采用遥控程序控制，将贮源器内放射源输入施源器内实施治疗的技术。本项目后装治疗属于近距离放疗，治疗时依照临床要求，使 γ 放射源在人体自然腔、管道或组织间驻留而达到预定的剂量及其分布的治疗手段，后装治疗具有放射源强度小、治疗距离短、局部剂量高、周边剂量迅速跌落的特点，主要治疗不同部位的肿瘤以及手术难以切净而周围又有重要脏器限制外照射剂量的患者，如胰腺、胆管、膀胱癌、直肠癌及头颈部恶性肿瘤等。后装治疗机结构和施源器见图 9.2-13。



图 9.2-13 后装治疗机结构和施源器示意图

(3) 工作流程及产污环节

本项目后装治疗机使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源，新源的活度大约 555GBq (15Ci)，用激光焊接于弹性驱动线缆上，从分度盘至最远的位置为 1500mm。治疗过程施源方式为遥控，通过视频系统可清晰地观察后装治疗机及放射源的情况，系统配有后装治疗机放射源位置模拟尺、放射源位置检查尺和 GAFCHROMIC 胶片条，后装治疗机放射源位置模拟尺用于测量施源器内部长度和在透视片中显示驻留位置；放射源位置检查尺专用于测量和验证放射源的位置（末端位置）。放射源验证系统用于测量后装治疗机放射源的强度。

治疗前先先在原有模拟定位机进行病灶定位，结合病灶定位结果和治疗计划系统制定治疗方案。治疗时先由放疗医师根据患者病患情况放置施源器，然后由工作人员将患者送入后装治疗室内，接上与源相连的导管，然后借助后装治疗机将源送到需要照射的部位，放射源的输送由工作人员在控制室遥控操作。先驱动假源探路，正常后缩回假源，再驱动真源按计划执行治疗，放射源步进到位精度为 mm 级。

治疗结束后，通过遥控控制源返回贮源器内，系统装有联锁装置，在治疗室的门未关闭或按下紧急按钮时，源不会送出或将已送出的源撤回，确认源安全返回贮源器内，方可通过操作台控制打开迷路防护门，辐射工作人员将患者送出治疗室。

后装治疗机换源：先由有资质的单位通过辐射安全考核的专业技术人员将专用的贮源器（专用贮源器的屏蔽能力与后装机未出源时的屏蔽能力基本一致）与后装机输源管连接，然后退出机房，关闭防护门，通过电脑控制其出源，源进入专用的贮源器后，待回收；然后换源工作人员将含有新源的专用贮源器上一根长约 1m 的钢丝连接到后装机（钢丝的另一端即为新源），然后退出机房，关闭防护门，通过电脑控制将钢丝连同新源一起进入后装机，完成一次换源工作。

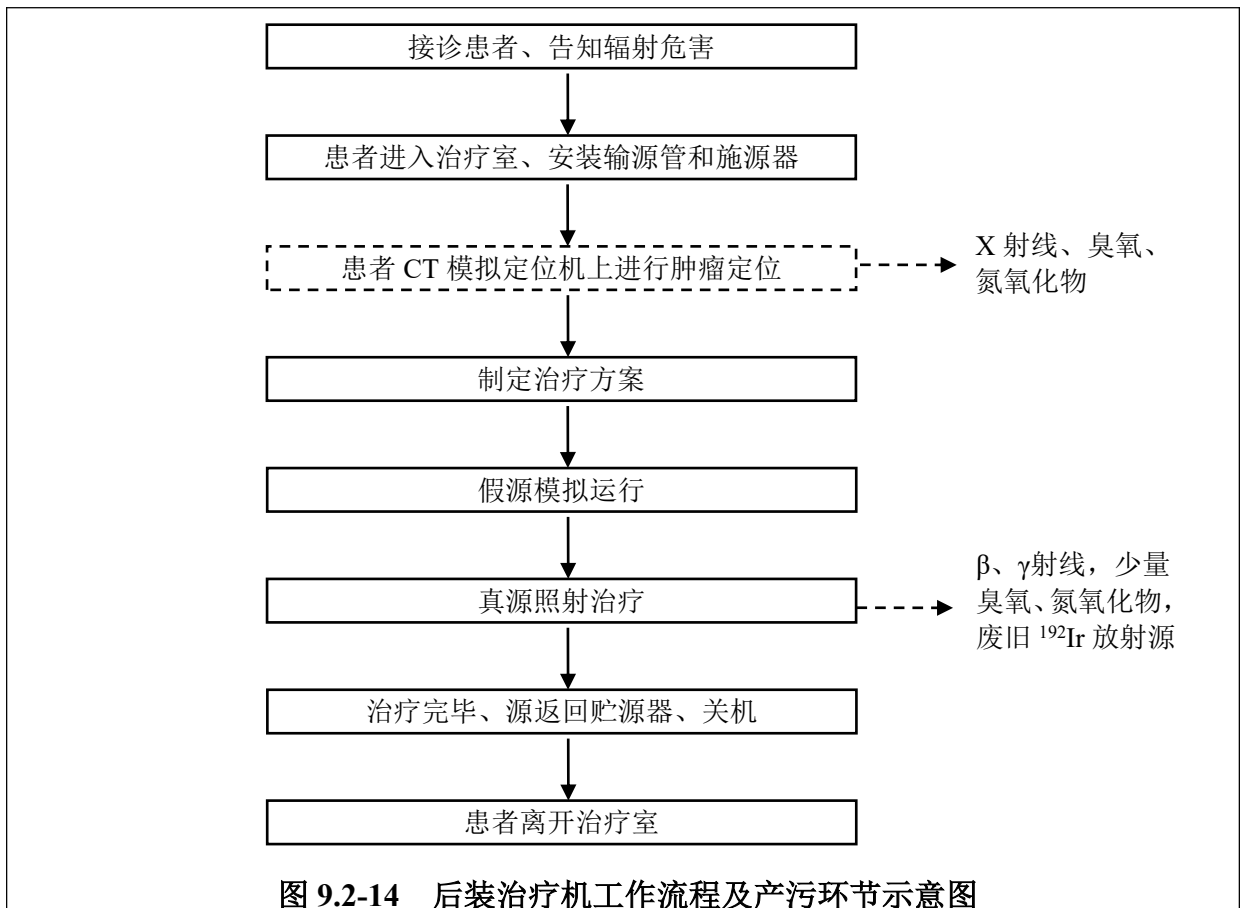


图 9.2-14 后装治疗机工作流程及产污环节示意图

正常工况时，后装治疗机治疗污染源项主要为开机状态下产生的β、γ射线和废旧¹⁹²Ir放射源。

(4) 工作负荷

后装治疗机预计最大工作量情况：20 人（次）/天，100 人（次）/每周，5000 人（次）/年。新装源（活度 $5.55 \times 10^{11} \text{Bq}$ ）时，每人治疗照射时间为 5-10min（平均治疗照射时间约 6min）。¹⁹²Ir 放射源半衰期较短（74.0d），通常 4 个月左右更换一次放射源，换源前经过约 1.5 个半衰期，活度将逐渐降低，故每人治疗时间相应延长，大概需要 30-40min。

为了便于估算，本次评价以新装放射源活度计算屏蔽外关注点的周围剂量当量率，出束治疗时间折合为新装放射源的治疗时间，即周治疗照射时间约为 10h，年治疗照射时间约 500h。

(5) 人员路径规划（见附图 3-21）

① 医护人员路径

医护人员从办公室经走廊进入放疗科，向南经准备间进入后装治疗机机房的控制

室，通过后装治疗机机房防护门进入治疗室对患者进行摆位，完成工作后原路返回控制室。

②患者路径

患者由放疗科北侧入口进入等候区，根据叫号后经后装治疗机机房的准备间进入机房进行治疗，治疗结束后通过原路离开。

9.2.2.4CT 模拟定位机

(1) CT 模拟定位机设备参数

根据医院提供的资料，拟购 1 台 CT 模拟定位机，主要设备参数见表 9.2-13。

表 9.2-13 CT 模拟定位机设备参数

装置名称	类别	数量	型号	最大管电压	最大管电流	使用位置
CT 模拟定位机	Ⅲ类	1 台	待定	150kV	1300mA	温岭市高端医学中心地下二层放疗科 CT 模拟定位机机房

(2) 设备组成及工作原理

CT 模拟定位机主要功能就是 CT 检查、透视和摄影，其射线来源是 X 射线装置。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，阴极是装在聚焦杯中的钨制灯丝，当灯丝通电加热时，电子“蒸发”出来并通过聚焦杯聚集成电子束，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。加在 X 射线管的两极之间的高电压加速电子使其在射到靶体之前达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。

(3) 工作方式

CT 模拟系统将靶区定位、治疗计划以及模拟实施三个步骤结合在同一系统上，并且通过多层（30~60 层）扫描图像建立组织与关键器官的立体关系，经过 CT 值与组织密度转换进行组织非均匀性校正的剂量计算，获得三维立体治疗计划，再将治疗照射野定位在病人体表，减小了摆位及各步骤执行误差，保证了治疗准确进行。

(4) 工作流程及产污环节

CT 模拟定位影像诊断是指利用 X 射线的穿透性取得人体内器官与组织的影像信息以判断肿瘤大小、位置的技术，本项目 CT 模拟定位机诊断流程如下：

①患者经医生诊断、正当性判断后，确定需要 X 射线影像诊断的患者与放疗科预约登记；

②患者在医护人员的指导下正确摆位；

③进行隔室操作，利用 CT 模拟定位机进行肿瘤定位；

④检查结束离开检查室。

诊断流程及产污环节见图 9.2-15。

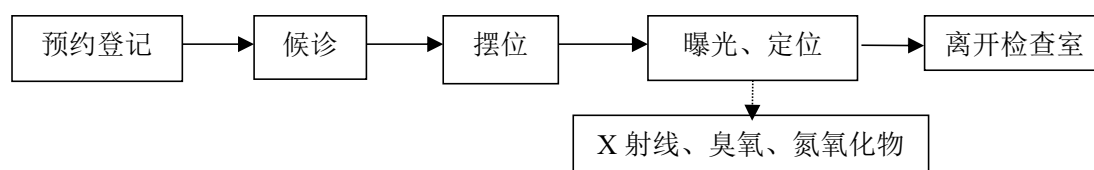


图 9.2-15 CT 模拟定位机诊断流程及产污环节分析示意图

正常工况时，CT 模拟定位机污染源项主要为开机状态下产生的 X 射线、臭氧及氮氧化物。

(5) 工作负荷

本项目放疗科 CT 模拟定位机机房配备 1 名技师，放疗科共配备 7 名医生和 3 名物理计划师。辐射工作人员每天工作 8 小时，每年工作 250 天，为了便于估算，本次评价保守以 CT 模拟定位机 2000h 出束进行估算。

(6) 人员路径规划（见附图 3-21）

①医护人员路径

医护人员从办公室经走廊进入放疗科，向东进入相应模拟定位 CT 机机房的控制室，通过防护门进入机房对患者进行摆位，完成工作后原路返回控制室。

②患者路径

患者由放疗科北侧入口进入等候区，根据叫号后由西侧防护门进入机房检查，检查后通过原路离开。

9.2.3 介入科核技术利用项目

9.2.3.1 DSA

(1) 设备组成及工作原理

DSA 是计算机与常规血管造影相结合的一种检查方法，是集电视技术、影像增强、数字电子学、计算机技术、图像处理技术等多种科技手段于一体的系统。DSA 射线装置主要由影像探测器、X 线管头、显示器、导管床、高压注射器、操作台、控制装置及工作站系统组成。典型 DSA 装置整体外观示意如图 9.2-16 所示。

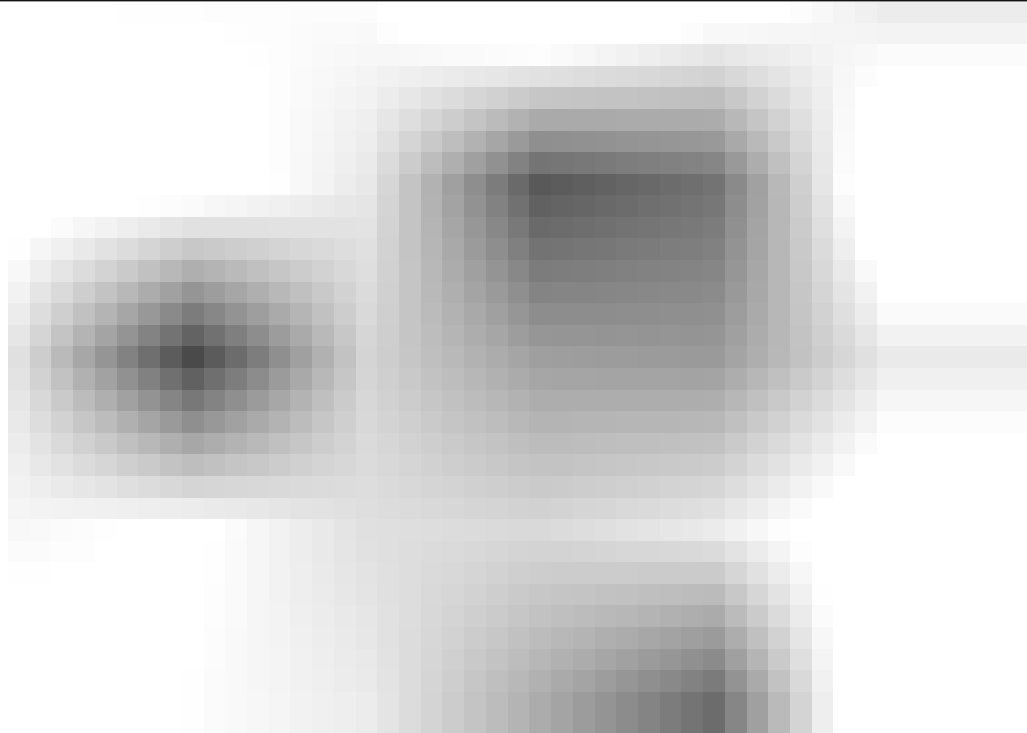


图 9.2-16 典型 DSA 装置整体外观示意图

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，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进行射击。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。典型 X 射线管结构详见图 9.2-17。



图 9.2-17 典型 X 射线管结构图

虽然不同用途的 X 射线机因诊疗目的的不同有较大的差别，但其基本结构都是由产生 X 射线的 X 射线管、供给 X 射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组成。

DSA 成像的基本原理是将受检部位注入造影剂之前和注入造影剂后的血管造影 X 射线荧光图像，分别经影像增强器增益后，再用高分辨率的电视摄像管扫描，将图像分割成许多的小方格，做成矩阵化，形成由小方格中的像素所组成的视频图像，经对数增幅和模/数转换为不同数值的数字，形成数字图像，并分别储存起来，然后输入电子计算机处理，将两幅图像的数字信息相减，获得的不同数值的差值信号，再经对比度增强和数/模转换为普通的模拟信号，获得去除骨骼、肌肉和其他软组织，只留下单纯血管影像的摄影图像，通过显示器显示出来。

(2) 工作方式

在医学影像系统监视引导下，经皮针穿刺或引入导管做抽吸注射、引流或对管腔、血管等做成型、灌注、栓塞等。本项目单管头 DSA 机架、X 射线管组合体可在水平和垂直两个方向上转动，介入手术过程中，手术医生须在手术床旁并在 X 射线导视下进行操作。

(3) 工作流程及产污环节

医生在接诊患者后根据其病情确认诊疗方法，告知患者及家属采用 DSA 治疗的辐射危害。患者进入机房后，技师或护士协助摆位后离开机房（患者留下）。开启 DSA 装置，技师在控制室内首次拍片初步确认病灶部位后，手术医生、护士穿戴好防护用品进入机房，在透视操作下插入导管，输入造影剂，之后离开机房，技师在控制室内再次拍片，当确诊病灶部位后，手术医生、护士穿戴好防护用品后再次进入机房，进行介入治疗，直到治疗结束，关机。

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况，透视。进行介入手术治疗时，为更清楚的了解患者情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医生位于铅帘后身着铅服、铅眼镜在机房内对患者进行直接的介入手术操作。该情况在实际运行中占绝大多数，是本次评价的重点。

第二种情况，摄影。操作人员采取隔室操作的方式（即技师在控制室内对患者进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内患者情况。

DSA 操作流程及产污环节如图 9.2-18 所示。



图 9.2-18 DSA 操作流程及产污环节分析示意图

(4) 工作负荷

根据医院提供资料，本项目 DSA 年最大手术量共 800 台。DSA 主要开展心脏血管、神经介入、外周和综合介入等手术。因每台手术患者和手术要求不同，1 台手术中 DSA 的摄影时间和透视时间也不大相同。本次评价按每台手术摄影曝光时间 1min，透视曝光时间 20min 作为本项目 DSA 出束时间进行保守考虑，则 DSA 摄影年曝光时间为 13.33h，透视年曝光时间为 266.67h。

本项目 DSA 拟配备辐射工作人员 14 名，包括医生 8 名，护士 4 名，技师 2 名。DSA 配备辐射工作人员共分为 4 组，控制室 2 名技师轮岗操作，每台手术配备 2 名医生和 1 名护士，每组医生或护士年手术台数不大于 200 台。本项目 DSA 最大运行工况和工作负荷见表 9.2-14。

表 9.2-14 本项目 DSA 最大运行工况和工作负荷一览表

设备	手术量	最大运行工况		曝光时间 (h)	年出束时间 (h)	每组医护年最大受照时间 (h)	单个技师年最大受照时间 (h)
		摄影	100kV、500mA				
DSA	800 台/年	透视	90kV、15mA	13.33	280	3.33	6.67
				266.67		66.67	133.33

(5) 人员、物流路径规划（见附图 3-22）

① 医护人员路径

医护人员由 DSA 机房东侧控制区防护门进入手术室内进行手术，技师从办公室经走廊进入控制区。

② 患者路径

患者经换床间由 DSA 机房东侧防护门进入手术室内进行治疗。治疗结束后，患者可按原路离开。

③ 污物路径

本项目 DSA 机房会产生药棉、纱布和手套等医疗废物，这些医疗废物采用专用容器收集后，待手术结束后从 DSA 机房南侧防护门运出机房至医疗废物暂存间暂存。

9.3 污染源项描述

9.3.1 正常工况下污染源项描述

本项目 PET/CT、SPECT/CT、直线加速器、射波刀、后装治疗机、CT 模拟定位机和 DSA 运行时均产生臭氧和氮氧化物，由于 PET/CT、SPECT/CT、CT 模拟定位机和 DSA 产生的臭氧和氮氧化物较少，因此本次评价仅对直线加速器、射波刀、后装治疗机的臭氧和氮氧化物进行符合性分析，其余射线装置进行定性分析。

9.3.1.1 核医学科污染源项分析

(1) X 射线、 γ 射线、 β 射线和韧致辐射

PET/CT、SPECT/CT 扫描时产生的 X 射线、氮氧化物、臭氧；在放射性药物操作，患者注射后候诊、扫描及留观等过程中产生的 γ 射线、 β 射线和韧致辐射。

(2) 放射性表面污染

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

(3) 放射性废气

放射性药物在分装、活度测量和给药过程中不需要加热、振荡等步骤，药物所挥发产生含放射性核素的废气极少，因此，不进行定量分析。

(4) 放射性废水

本项目核医学科放射性废水主要为核素操作人员淋洗废水、患者候诊或留观期间产生的如厕废水以及工作场所清洗废水。本项目核医学科各项诊疗均为门诊治疗，患者在

核医学科停留时间短，采用节水型洁具。甲测和骨转移癌治疗患者服药后即可直接离开核医学科； ^{32}P 和放射源 ^{90}Sr 为放射性物质体表接触治疗，患者不产生含放射性核素的废水。因此，不考虑甲测、骨癌治疗和敷贴治疗患者产生废水。

由表 1.1-1 可知，核医学科使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素显像诊断和使用 ^{131}I 核素甲亢治疗合计日门诊量为 60 人次，年门诊量为 15000 人次，用水定额根据《综合医院建筑设计规范》（GB51039-2014）的相关规定，门诊患者每人每次用水定额为 10~15L/人·次，本次评价取 15L/人·次，废水产污系数按 0.85 计，则核医学科放射性废水日排放量为 0.765m^3 ，周排放量为 3.825m^3 ，年排放量为 191.25m^3 。工作人员在完成一天的分装、注射工作后需进行污染监测，并进行去污清洗而产生放射性废水，同时工作场所需进行场所清洗，类比浙江同类型医院，每天清洗废水产生量约 100L，每年工作 250 天，则清洗废水日排放量为 0.1m^3 ，周排放量为 0.5m^3 ，年排放量为 25m^3 。因此，本项目核医学科工作场所合计放射性废水日排放量为 0.865m^3 ，周排放量为 4.325m^3 ，年排放量为 216.25m^3 ，日排放量仅占主体工程废水日排放量的 0.23%。

（5）固体放射性废物

固体放射性废物主要为一次性杯子、玻璃药瓶、一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破损杯皿、塑料薄膜、废乳胶手套、移液管、废 ^{32}P 敷贴器、擦拭污染地面的物品以及废气处理更换的废活性炭等。

由表 1.1-1 可知，核医学科日门诊量为 90 人次，年门诊量为 22500 人次，类比浙江同类型医院核医学科开展情况，患者门诊诊疗过程固体放射性废物产生量约 $0.02\text{kg}/\text{人}$ 次，则固体放射性废物日产生量为 1.8kg ，年产生量为 450kg 。

核医学科废气处理设施更换下来的废活性炭含有放射性核素，也属于固体放射性废物，本项目核医学科手套箱顶壁和排风口均设活性炭吸附装置，共设有 7 套活性炭吸附装置，每套吸附装置活性炭 1 次装填量约为 25kg ，活性炭过滤装置装填量共 175kg ，平均每半年更换一次，则废活性炭年产生量为 350kg 。

综上所述，本项目固体放射性废物年产生量为 800kg ，仅占主体工程医疗废物产生量的 4.8%。

本项目放射性药物均根据诊断和治疗计划按需订购，一般不会产生剩余放射性药物，如出现患者临时变动，导致购买的放射性药物用不完的情况，可将放射性药物连同铅罐放置于核医学科污物间暂存。

(6) 废旧放射源

PET/CT 校准源 ^{68}Ge 其活度无法满足校准需要时，将更换校准源，从而产生废旧放射源，平均 4 年更换一次。敷贴治疗的放射源 ^{90}Sr 其活度无法满足治疗需求时，将更换放射源，从而产生废旧放射源，平均 5 年更换一次。

9.3.1.2 放疗科污染源项分析

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中第 6.1.2 条要求，大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。本项目使用的直线加速器 X 射线最大能量为 15MV，使用的射波刀 X 射线最大能量为 6MV。因此，仅考虑直线加速器中子的影响。

(1) 直线加速器污染源项分析

1) X 射线

直线加速器运行时，从电子枪发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到钨金靶上，产生 X 射线用于治疗，X 射线随机器的开、关而产生和消失。本项目拟配置的直线加速器带有 CBCT 实时影像引导设备，CBCT 的 X 射线最大工况为 150kV，1000mA。对照 X 射线能量，直线加速器机房各屏蔽体满足 15MV X 射线的屏蔽防护，则也能满足 CBCT150kV X 射线的屏蔽要求，且 CBCT 与直线加速器不同时出束，因此不再单独对 CBCT 系统运行时产生的 X 射线进行屏蔽计算。

2) 电子线

此外本项目直线加速器处于电子束模式下使用初始电子线进行浅层治疗时，会产生电子线，电子线最高能量为 22MeV，高能电子线随机器的开关而产生和消失。

3) 中子

直线加速器在运行过程中产生的高能 X 射线与周围物质相互作用时，均会产生中子。直线加速器治疗机头外的杂散中子称为直接光中子，来源于 X 射线中能量大于 10MeV 的光子与加速器的靶、准直器及电子束和光子束通道上的其他物质互相作用发生光核反应所产生的中子。

4) 感生放射性

根据《辐射防护手册：辐射源与屏蔽》（第一分册）中 P226 页，绝大多数天然核素的 (γ, n) 反应阈能在 10MeV 以上。本项目直线加速器最大的能量为 X 射线 15MeV 和电子线 22MeV，会与直线加速器内部构件和空气作用，使构件激发感生放射性和产

生感生放射性核素，如感生放射性核素 ^{15}O 、 ^{13}N 和 ^{41}Ar 。一般在正常通风情况下，感生放射性气体不会对机房外的环境产生辐射污染。

5) 臭氧和氮氧化物

直线加速器和 CBCT 在运行过程中，X 射线作用于空气以及次级辐射等因素，可产生少量臭氧和氮氧化物，通过强制排风系统排入大气。

6) 废靶件

直线加速器正常运行时，无废靶产生。如果冷却水循环系统出现故障，可能造成靶体散热不畅导致靶被打穿的情况，产生废靶件。此外，直线加速器报废时，会有废靶件产生。废靶件应作为固体放射性废物处理，最终交由有资质的单位收贮。

综上，本项目直线加速器污染因子为 X 射线、电子线、中子、感生放射性，另有废靶件、少量臭氧和氮氧化物。

(2) 射波刀污染源项分析

1) X 射线

射波刀运行时，高能电子束轰击靶物质产生 X 射线用于治疗，X 射线随机器的开、关而产生和消失。本项目拟配置的射波刀自带定位系统，定位系统 X 射线球管最大管电压和管电流为 150kV，640mA。对照 X 射线能量，射波刀机房各屏蔽体满足 6MV X 射线的屏蔽防护，则也能满足定位系统 X 射线球管 150kV X 射线的屏蔽要求，且定位系统 X 射线球管与射波刀不同时出束，因此不再单独对定位系统运行时产生的 X 射线进行屏蔽计算。

2) 臭氧和氮氧化物

射波刀在运行过程中，X 射线作用于空气以及次级辐射等因素，可产生少量臭氧和氮氧化物，通过强制排风系统排入大气。

3) 废靶件

射波刀正常运行时，无废靶产生。如果冷却水循环系统出现故障，可能造成靶体散热不畅导致靶被打穿的情况，产生废靶件。此外，射波刀报废时，会有废靶件产生。废靶件应作为固体放射性废物处理，最终交由有资质的单位收贮。

综上，本项目射波刀污染因子为 X 射线、少量臭氧和氮氧化物和废靶件。

(3) 后装治疗机污染源项分析

1) β 、 γ 射线

^{192}Ir 放射源为密封源，其衰变类型为 γ 衰变、 β 衰变及电子俘获，衰变过程会发出 β 、 γ 射线。其中 β 射线穿透能力很弱，设备的外包装可以完全屏蔽，使 β 射线不能释放到环境中； γ 射线穿透能力较强，有可能对环境产生辐射影响。

2) 臭氧和氮氧化物

后装治疗机在运行过程中， γ 射线作用于空气以及次级辐射等因素，可产生少量臭氧及微量氮氧化物，通过强制排风系统排入大气。

3) 废旧放射源

^{192}Ir 的半衰期为 74.0 天，当其衰变至其活度不能满足放射治疗需要时，将更换放射源，从而产生废 ^{192}Ir 放射源。通常 4 个月左右更换一次放射源，一年产生 3 颗废旧 ^{192}Ir 放射源。

4) 废铅蓄电池

后装治疗机配套使用 UPS 电源，该 UPS 电源采用铅蓄电池供电。根据《国家危险废物名录》（2025 年版），废铅蓄电池属于危险废物（废物代码：HW31 900-052-31），其更换周期约 5 年/次，更换下的废铅蓄电池不暂存，直接交由有资质单位处置。

综上，本项目后装治疗机污染因子为 β 射线、 γ 射线、废 ^{192}Ir 放射源、废铅蓄电池、少量臭氧和氮氧化物。

(4) CT 模拟定位机污染源项分析

1) X 射线

CT 模拟定位机曝光时产生 X 射线。X 射线在开机时产生，关机时消失。X 射线防护所要考虑的是 X 射线的直射、散射和泄漏辐射。

2) 臭氧和氮氧化物

CT 模拟定位机在曝光过程中，由于 X 射线与空气电离作用，可产生少量臭氧和氮氧化物，通过强制排风系统排入大气。

综上，本项目 CT 模拟定位机机房污染因子为 X 射线、少量臭氧和氮氧化物。

9.3.1.3 介入科污染源项分析

(1) DSA 污染源项分析

本项目射线装置运行时，无放射性废气、废水及固体废物产生。且设备运行时，诊断结果可通过显示屏观察或采用数字技术进行打印，不使用胶片冲洗显影，不产生废显影液、废定影液和废胶片。

1) X 射线

DSA 曝光时产生 X 射线。X 射线在开机时产生，关机时消失。X 射线防护所要考虑的是 X 射线的直射、散射和泄漏辐射。

2) 臭氧和氮氧化物

DSA 在曝光过程中，由于 X 射线与空气电离作用，可产生少量臭氧和氮氧化物，通过强制排风系统排入大气。

综上，本项目 DSA 污染因子为 X 射线、少量臭氧和氮氧化物。

9.3.2 非正常工况污染源项描述

9.3.2.1 核医学科

①PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房门灯连锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房，对人员造成误照射；

②由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因致使放射性药物撒漏，造成意外照射和辐射污染；

③由于未锁好核医学科进出口的大门或取用药物后未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射性药剂和放射源丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

④敷贴治疗结束后，患者意外携带敷贴器离开，致使公众和周围环境造成辐射污染。

⑤医院未管理好给药后患者，患者给药后随意进出核医学科和病房区域，对周边候诊公众及家属造成辐射影响；患者家属误入核医学科注射后候诊区等高活区，造成意外照射。

9.3.2.2 放疗科

(1) 直线加速器和射波刀

①安全连锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行直线加速器或射波刀，则可能造成误照射事故；

②除受治疗患者以外，机房中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认机房中环境便运行直线加速器或 CBCT 或射波刀，则会造成机房中人员误照射；

③控制系统出现故障，照射治疗不能停止，患者受到计划外照射。

④维修期间，设备维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

(2) 后装治疗机

①放射源密封壳意外破损时，导致治疗装置、机房甚至人员受到放射性污染；

②后装治疗机操作系统发生故障，到达预置治疗时间，放射源无法自动收回，导致患者受到超剂量照射；

③运行情况下意外断电，且设备不间断电源系统故障无法启动，致放射源不能复位。该事故工况发生时，依照应急预案，人工摇转应急回源手柄退源。

④运行过程中发生卡源或源脱落故障。该事故工况发生时，依照应急预案，立即停止放射治疗工作，人工摇转应急回源手柄退源，或进入辐射场排除故障。之后及时通知厂家维修。

⑤因设备检修或更换放射源期间，将放射源贮源器拆卸下来，由于保管不善，可能会发生放射源丢失或被盗事故。

⑥在安全连锁系统出现故障时，治疗期间人员意外进入治疗室并停留，将受到过量照射的情况。

(3) CT 模拟定位机

①装置在运行时，由于门-灯连锁系统失效，人员误入或滞留在机房内而造成误照射；

②工作人员或患者家属还未全部撤离治疗机房，控制室人员启动设备，造成滞留人员的误照射；

③X 射线装置工作状态下，没有关闭防护门对人员造成的误照射。

9.3.2.3 介入科

(1) DSA

①装置在运行时，由于门-灯连锁系统失效，人员误入或滞留在机房内而造成误照射；

②工作人员或患者家属还未全部撤离治疗机房，控制室人员启动设备，造成滞留人员的误照射；

③X 射线装置工作状态下，没有关闭防护门对人员造成的误照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 核医学科

10.1.1.1 辐射工作场所布局分析

本项目核医学科位于温岭市高端医学中心一层。场所四周相邻环境情况见表 10.1-1。

表 10.1-1 非密封放射性物质工作场所相邻环境状况

位置	东侧	南侧	西侧	北侧	上一层	下一层
核医学科场所	预处理室、候诊大厅和走廊	院内道路、更衣室、卫生间、控制廊和设备间	走廊、出入院办理窗口和更衣休息室	庭院	体检中心	地下停车场

核医学科放射性废水经埋地耐腐蚀和防护屏蔽的管道接入衰变池，本项目拟建衰变池为成品不锈钢衰变池，设置于高端医学中心地下二层。本项目核医学科 4 台手套箱均设置独立排风系统，通过密闭排风管道引至温岭市高端医学中心楼（排放高度约 47m）楼顶高出屋脊排放，排放口尽量远离了邻近的高层建筑，排风管设置止回阀，防止气流倒灌，手套箱顶壁和排风口均设活性炭吸附装置。

本项目核医学科位于高端医学中心一层，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区。核医学科场所出口位于核医学科西南侧，出口周边为医院内部道路，不设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。核医学科场所出入口处设有卫生通过间，卫生通过间包含更衣、淋浴、去污工具，并配备表面污染监测仪；设置有独立的储源室、污物间和分装注射室，且储源室与分装注射室邻近，降低了药物操作和转移过程中可能会出现洒落等情况。场所设置有单独的 PET/CT 候诊室和 SPECT/CT 候诊室，且均设有专用卫生间，患者产生的放射性废水均通至衰变池处理；患者通道与医护人员通道完全分离，不交叉，患者单向流动，避免了患者之间交叉影响；各辐射工作场所均采取了辐射防护措施；患者专用出入口均设有单向门禁系统，非工作人员的引导不能进入，且出口避开了人流密集区域，设置合理。综上所述，本项目核医学科工作场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于核医学工作场所对于布局的要求。因此，核医学科工作场所布局合理。

10.1.1.2 放射性废水衰变池选址合理性分析

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“源的选址与定位”的规定：

9.3.2.1 为具有大量放射性物质和可能造成这些放射性物质大量释放的源选择场址

时，应考虑可能影响该源的辐射安全的各种场址特征和可能受到该源影响的场址特征，并应考虑实施场外干预（包括实施应急计划和防护行动）的可行性。

9.3.2.2 在确定装置和设施（例如医院和制造厂）内的小型源的位置时，应考虑：

- a) 可能影响该源的安全和保安的因素；
- b) 可能影响该源引起职业照射和公众照射的因素，包括诸如通风、屏蔽、距人员活动区的距离等；
- c) 考虑了上述因素后工程设计上的可行性。

据此，国家只对“具有大量放射性物质和可能造成这些放射性物质大量释放的源”应考虑场址特征的规定，对其它源的选址未作明文规定，而医院内的小型源更关注辐射安全防护和工程设计的可行性。本项目在正常运行和事故工况下，均不会造成大量放射性物质释放。因此，本次环评针对衰变池的选址在辐射安全防护、工程设计及日常管理等方面分析其选址可行性，重点关注衰变池周围环境情况、人流量和人员停留等情况。

根据医院提供的由设计单位出具的图纸资料，本项目衰变池间设置于温岭市高端医学中心地下二层，由池体间、管路设备间、控制室和生化池间组成，衰变池组位于池体间内，由4个并联衰变池组成，单个衰变池有效容积为 37.1m^3 ，总有效容积为 148.4m^3 。

衰变池间四周墙壁和顶部均为300mm混凝土，地坪为750mm混凝土，且下方为岩土层；衰变池区域内部池体间、管路设备间、控制室和生化池间隔墙为240mm实心砖+30mm硫酸钡防护涂料，可确保辐射防护安全。

衰变池间设有人员检修出入口，便于衰变池自动控制系统、衰变池池体、水泵、管道维修及监督检查。衰变池设有液位传感器和压力传感器，自动切换废水收集和排放，并设有阈值报警装置，同时每个衰变池均设有潜入式辐射活度探测器。核医学科场所放射性废水经贮存超过180天后，可直接解控排入医院污水处理站，并做好排放记录。衰变池监控系统拟设置在核医学科办公室，可实现远程操控和远程监控。放射性废水管道裸露部分拟采用6mmPb铅皮包裹进行屏蔽防护并做上标记，衰变池与核医学科工作场所距离较近，可以最大程度上缩短放射性废水收集管线距离，有利于辐射防护与安全。

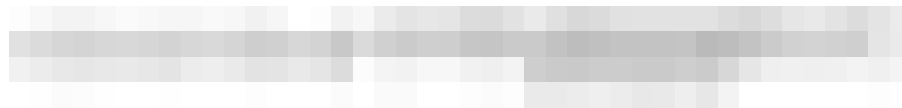
综上所述，本项目衰变池组设置在温岭市高端医学中心地下二层，在辐射安全防护、工程设计及日常管理等方面是可行的。

10.1.1.3 非密封放射性物质工作场所分级、分类

(1) 工作场所分级

本项目核医学科场所使用的放射性同位素有 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 和 ^{32}P 。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中非密封源工作场所的分级原则和《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），放射性核素的日等效操作量计算公式见式 10.1-1。修正因子见表 10.1-2、10.1-3，计算见表 10.1-4。



（式 10.1-1）

表 10.1-2 放射性核素毒性组别修正因子

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

注：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 D，查得 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 毒性分组为低毒组， ^{131}I 、 ^{89}Sr 和 ^{32}P 毒性分组为中毒组。

表 10.1-3 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平 较低的固体	液体、溶液、悬 浮液	表面有污染的 固体	气体、蒸汽、粉末、压力 很高的液体、固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

注：①根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 A，医疗机构使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 相关活动视为“很简单操作”，使用 ^{131}I 核素治疗相关活动视为“简单操作”，另外 ^{18}F 备药视为“很简单操作”。②《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）未对 ^{89}Sr 和 ^{32}P 相关操作方式界定，根据核素的状态、操作方式以及《辐射防护手册》（第三分册）中相关规定，本次核素操作方式按保守考虑，均视为“简单操作”。

表 10.1-4 本项目工作场所分级计算表

工作场所	核素名称	实际日最大 操作量 (Bq)	毒性组别 修正因子	操作方式 修正因子	日等效最大 操作量 (Bq)	分级
温岭市 高端医 学中心 一层核 医学	^{18}F	7.40×10^9	0.01 (低毒)	10 (很简单操作)	7.40×10^6	/
	^{18}F 备药 ^①	2.96×10^{10}	0.01 (低毒)	10 (很简单操作)	2.96×10^7	/
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ ^②	2.78×10^{10}	0.01 (低毒)	10 (很简单操作)	2.78×10^7	/
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ ^②	2.59×10^{10}	0.01 (低毒)	10 (很简单操作)	2.59×10^7	2.11 $\times 10^8$
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 肺通气 ^②	1.85×10^9	0.01 (低毒)	0.1 (很简单操作)	1.85×10^8	
		^{131}I 甲测	1.85×10^6	0.1 (中毒)	1 (简单操作)	1.85×10^5

科场所	¹³¹ I 甲亢	3.70×10 ⁹	0.1 (中毒)	1 (简单操作)	3.70×10 ⁸	/
	⁸⁹ Sr	9.25×10 ⁸	0.1 (中毒)	1 (简单操作)	9.25×10 ⁷	/
	³² P	3.70×10 ⁸	0.1 (中毒)	1 (简单操作)	3.70×10 ⁷	/
	合计				7.48×10 ⁸	乙级

注：①由于¹⁸F核素半衰期较短，为保证每批次最后一位患者注射¹⁸F药物量为10mCi，拟采取增加放射性药物出厂活度的方式确保活度满足使用要求，即要考虑放射性药物的使用量和备用量，本项目¹⁸F核素拟暂定一天送1次药，按照日用药量的4倍进行备药，因此，¹⁸F核素实际日最大操作量为7.40×10⁹Bq，按4倍进行备药，则¹⁸F核素备药量为2.96×10¹⁰Bq。②由于^{99m}Tc显像诊断存在当日是否有无肺通气显像诊断患者两种情况，因此，日等效最大操作量取其中一种情况最大值进行场所等级计算，即取2.11×10⁸Bq进行计算。

经计算结果可知，本项目核医学科场所非密封放射性物质日等效最大操作量为7.48×10⁸Bq，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），属于2×10⁷Bq~4×10⁹Bq的范围，故核医学科场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录G核医学工作场所分类，根据日操作最大量放射性核素的加权活度将场所分为三级，见表10.1-5。

表 10.1-5 核医学工作场所分类一览表

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

注：加权活度=(计划的日操作最大活度×核素的毒性权重因子)/操作性质修正因子

本项目放射性核素毒性权重因子和不同操作性质修正因子见表10.1-6和表10.1-7。

表 10.1-6 核医学科常用放射性核素毒性权重因子

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
A	⁷⁵ Se、 ⁸⁹ Sr、 ¹²⁵ I、 ¹³¹ I、 ³² P、 ⁹⁰ Y、 ⁹⁹ Mo、 ¹⁵³ Sm	100
B	¹¹ C、 ¹³ N、 ¹³ O、 ¹⁸ F、 ⁵¹ Cr、 ⁶⁷ Ga、 ⁹⁹ Tc ^m 、 ¹²³ I、 ¹¹¹ In、 ¹¹³ In ^m 、 ²⁰¹ Tl	1
C	¹⁴ C、 ³ H、 ⁸¹ Kr ^m 、 ¹²⁷ Xe、 ¹³³ Xe	0.01

表 10.1-7 不同操作性质的修正因子

操作方式和地区	操作性质修正因子
贮存	100
废物处理；闪烁法计数和显像；候诊区及诊断病床区	10
配药、分装以及施给药；简单放射性药物制备；治疗病床区	1
复杂放射性药物配置	0.1

本项目核医学科核素权重活度计算结果见表10.1-8。

表 10.1-8 本项目核医学科非密封放射性物质加权活度计算结果

核医学科场所							
工作场所	核素	毒性权重因子	操作性质修正因子	日操作最大活度 (Bq)	放射性核素加权活度 (Bq)	总加权活度 (Bq)	场所分类
储源室	¹⁸ F	1	100	3.70E+10	3.70E+08	5.64E+09	II类
	^{99m} Tc	1	100	2.78E+10	2.78E+08		

	¹³¹ I 甲测	100	100	1.85E+06	1.85E+06		
	¹³¹ I 甲亢	100	100	3.70E+09	3.70E+09		
	⁸⁹ Sr	100	100	9.25E+08	9.25E+08		
	³² P	100	100	3.70E+08	3.70E+08		
污物间 1 和污物间 2	¹⁸ F	1	10	7.40E+07	7.40E+06	5.35E+08	II类
	^{99m} Tc	1	10	2.78E+08	2.78E+07		
	¹³¹ I 甲测	100	10	1.85E+04	1.85E+05		
	¹³¹ I 甲亢	100	10	3.70E+07	3.70E+08		
	⁸⁹ Sr	100	10	9.25E+06	9.25E+07		
	³² P	100	10	3.70E+06	3.70E+07		
甲测室	¹³¹ I 甲测	100	10	1.85E+06	1.85E+07	1.85E+07	III类
敷贴治疗室 1 和敷贴治疗室 2	³² P	100	1	3.70E+08	3.70E+10	3.70E+10	II类
分装注射室	¹⁸ F	1	1	3.70E+10	3.70E+10	5.64E+11	I类
	^{99m} Tc	1	1	2.78E+10	2.78E+10		
	¹³¹ I 甲测	100	1	1.85E+06	1.85E+08		
	¹³¹ I 甲亢	100	1	3.70E+09	3.70E+11		
	⁸⁹ Sr	100	1	9.25E+08	9.25E+10		
	³² P	100	1	3.70E+08	3.70E+10		
服碘室	¹³¹ I 甲测	100	1	1.85E+06	1.85E+08	3.70E+11	I类
	¹³¹ I 甲亢	100	1	3.70E+09	3.70E+11		
碘留观室	¹³¹ I 甲亢	100	10	3.70E+09	3.70E+10	3.70E+10	II类
肺通气室	^{99m} Tc	1	1	2.78E+10	2.78E+10	2.78E+10	II类
运动负荷兼抢救室	^{99m} Tc	1	1	2.78E+10	2.78E+10	2.78E+10	II类
PET/CT 机房、PET/CT 候诊室 1、PET/CT 候诊室 2 和 PET/CT 留观室	¹⁸ F	1	10	7.40E+09	7.40E+08	7.40E+08	II类
SPECT/CT 机房、SPECT/CT 候诊室和 SPECT/CT 留观室	^{99m} Tc	1	10	2.78E+10	2.78E+09	2.78E+09	II类

注：①加权活度=（计划的日操作最大活度×核素的毒性权重因子）/操作性质修正因子；
②保守按日最大用量 1%转移至废物衰变桶中考虑。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中关于“不同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”，核医学工作场所的防护设计要求见表 10.1-9。

表 10.1-9 核医学科工作场所的室内表面及装备结构要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^a	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b

^a下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。

^b洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

综上所述，医院应按表 10.1-9 的要求，I类和II类工作场所用房均设置结构屏蔽，地面与墙壁接触应采用无缝隙设计；工作台表面采用易清洗的材料，如不锈钢；注射室和给碘室均设置手套箱；卫生通过间内配备洗手盆和去污设备；III类工作场所用房地面和工作台表面采用易清洗的材料，如不锈钢；另外工作场所用房设置特殊的强通风装置（通风系统独立设置，保持工作场所用房负压以防止放射性气体交叉污染，操作放射性药物所用的手套箱设置专用的排风装置）；核医学工作场所含放射性废水的排水管道应为特殊管道，在满足需要的情况下，尽量缩短管道长度，裸露部分拟采用 6mmPb 铅皮包裹进行屏蔽防护并做上标记。

10.1.1.4分区原则及区域划分情况

(1) 分区原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求在放射性工作场所内划出控制区和监督区。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的电离辐射警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平指示。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。在监督区入口处的合适位置设立表明监督区的标牌。

(2) 区域划分

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防

护与安全要求》(HJ1188-2021)对控制区和监督区的定义,结合核医学科工作场所辐射防护和环境情况特点,本项目控制区、监督区的划分见表 10.1-10 和附图 3-9 至附图 3-10 所示。

表 10.1-10 本项目核医学科控制区和监督区划分情况

场所	控制区	监督区
温岭市高端医学中心一层核医学科场所	甲测室、敷贴治疗室、分装注射室、运动负荷兼抢救室、肺通气室、服碘室、污物间、储源室、SPECT/CT 候诊室、SPECT/CT 机房、SPECT/CT 留观室、PET/CT 候诊室、PET/CT 机房、PET/CT 留观室、碘留观室、洁具间、生化池间、管路设备间和池体间等	卫生通过间、卫生间、更衣室、控制廊、设备间、衰变池控制室以及与控制区相连的其他场所或区域

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施,医院应做到:

1) 控制区防护手段与安全措施

- ①控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志;
- ②制定职业防护与安全管理措施,包括适用于控制区的规则和程序;
- ③运用行政管理程序(如进入控制区的工作许可制度)和实体屏障限制进出控制区;
- ④定期审查控制区的实际状况,以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

2) 监督区防护手段与安全措施

- ①以黄线警示监督区的边界;
- ②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌;
- ③定期检查该区的条件,以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定,或是否需要更改监督区的边界;
- ④在卫生通过间备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜,设有清洗及去污设施。

10.1.1.5 辐射工作场所屏蔽设计

本项目核医学科各工作场所屏蔽设计情况见表 10.1-11。

表 10.1-11 核医学科各工作场所辐射防护屏蔽设计方案

工作场所	屏蔽体	设计厚度
储源室	东、西、北侧墙体	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
	南侧墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
	顶棚	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	地坪	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
分装注射室	四侧墙体	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料

	PET/CT 注射窗	40mmPb 铅玻璃
	SPECT/CT 注射窗	20mmPb 铅玻璃
	顶棚	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	地坪	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
污物间 1	东、西、北侧墙体	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
	南侧墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
	顶棚	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	地坪	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
污物间 2	东、南、北侧墙体	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
	西侧墙体	360mm 实心砖+50mm 硫酸钡涂料
	顶棚	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	地坪	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
敷贴治疗室 1 和 敷贴治疗室 2	四侧墙体	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
	顶棚	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	地坪	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
肺通气室	四侧墙体	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
	顶棚	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	地坪	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
运动负荷兼抢救室	东、西、北侧墙体	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
	南侧墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
	顶棚	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	地坪	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
PET/CT 候诊室 1 和 PET/CT 候诊室 2	东、南侧墙体	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
	西侧墙体	360mm 实心砖+50mm 硫酸钡涂料
	北侧墙体	360mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
	顶棚	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	地坪	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
SPECT/CT 候诊室	东、南、西侧墙体	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
	北侧墙体	360mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
	顶棚	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	地坪	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
PET/CT 机房	四侧墙体	360mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
	顶棚	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	地坪	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	工作人员防护门	内衬 8mm 铅板
	患者防护门	内衬 8mm 铅板
	观察窗	8mmPb 铅玻璃
SPECT/CT 机房	四侧墙体	360mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
	顶棚	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	地坪	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	工作人员防护门	内衬 6mm 铅板

	患者防护门	内衬 6mm 铅板
	观察窗	6mmPb 铅玻璃
PET/CT 留观室	东、南、北侧墙体	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
	西侧墙体	360mm 实心砖+50mm 硫酸钡涂料
	顶棚	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	地坪	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
SPECT/CT 留观室	东、南、北侧墙体	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
	西侧墙体	360mm 实心砖+50mm 硫酸钡涂料
	顶棚	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	地坪	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
服碘室	南、西、北侧墙体	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
	东侧墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
	顶棚	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	地坪	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	防护门	内衬 4mm 铅板
碘留观室	东、南、西侧墙体	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
	北侧墙体	360mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
	顶棚	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	地坪	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
甲测室	四侧墙体	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料
	顶棚	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	地坪	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	防护门	内衬 3mm 铅板
患者通道	入口防护门	内衬 8mm 铅板
	出口防护门	内衬 8mm 铅板

注：混凝土密度不低于 2.35g/cm³，硫酸钡密度不低于 2.79g/cm³，实心砖密度不低于 1.65g/cm³。

PET/CT 和 SPECT/CT 中的 CT 部分属于 III 类射线装置，其屏蔽设计及有效使用面积、最小单边长度与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）符合性见表 10.1-12 和表 10.1-13。

表 10.1-12 PET/CT 和 SPECT/CT 机房有效使用面积和最小单边长度一览表

机房	拟设置情况		GB130-2020 要求		是否相符
	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m ²)	最小单边长度 (m)	最小有效使用面积 (m ²)	
PET/CT 机房	5.91	41.37 (5.91m×7.00m)	4.5	30	符合
SPECT/CT 机房	5.90	41.30 (5.90m×7.00m)	4.5	30	符合

表 10.1-13 PET/CT 和 SPECT/CT 机房屏蔽防护设计评价表

机房名称	防护设施	屏蔽材料及厚度	折算后铅当量 (mm)	GBZ130-2020 表 3 标准要求	是否符合要求
PET/CT 机房	四侧墙体	360mm 实心砖 +30mm 硫酸钡涂料	4.5	有用线束及非有用线束方向铅当量均不小于	符合
	顶棚	330mm 混凝土	4.5		符合

		+30mm 硫酸钡涂料		2.5mmPb	
	地坪	180mm 混凝土 +30mm 硫酸钡涂料	3.4		符合
	工作人员 防护门	内衬 8mm 铅板	8.0		符合
	患者防护门	内衬 8mm 铅板	8.0		符合
	观察窗	8mmPb 铅玻璃	8.0		符合
SPECT/CT 机房	四侧墙体	360mm 实心砖 +30mm 硫酸钡涂料	4.5		符合
	顶棚	330mm 混凝土 +30mm 硫酸钡涂料	4.5		符合
	地坪	180mm 混凝土 +30mm 硫酸钡涂料	3.4		符合
	工作人员 防护门	内衬 6mm 铅板	6.0		符合
	患者防护门	内衬 6mm 铅板	6.0		符合
	观察窗	6mmPb 铅玻璃	6.0		符合
<p>注：①混凝土密度取 2.35g/cm³ 核算等效屏蔽厚度，折算铅当量参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中附录 C 中式（C.1）、式（C.2）及表 C.2，在 150kV 电压下，106mm、188mm 和 255mm 混凝土分别折算为 1mmPb、2mmPb 和 3mmPb。本次评价按 180mm 混凝土折算为 1.9mmPb；330mm 混凝土折算为 3mmPb。</p> <p>②由于《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中未提供实心砖在 150kV 电压的拟合参数，无法进行等效铅当量厚度的计算，故参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，实心砖密度取 1.65g/cm³ 核算等效屏蔽厚度，340mm 实心砖折算为 3mmPb。本次评价按 360mm 实心砖折算为 3mmPb。</p> <p>③参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，硫酸钡防护涂料密度不低于 2.79g/cm³，20mm 厚度等效为 1mmPb。</p>					

10.1.1.6 辐射安全防护措施

①医院拟在新建核医学科控制区各房间防护门外设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全；实行两区管理，入口处设置明显的监督区和控制区标识。

②在 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房受检者防护门与工作人员防护门上方设置工作状态指示灯，并与防护门连锁，防护门关闭时指示灯为红色，防护门打开时，指示灯灭。在控制台上、诊断床上安装供紧急情况使用的强制终止照射的紧急止动按钮。一旦在检查过程中出现紧急情况，工作人员按动紧急止动按钮即可令 PET/CT、SPECT/CT 停止运行。

③分装注射室与等候区之间设置叫号系统；在工作场所范围内设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、工作场所进出/口情况；PET/CT、SPECT/CT 机房和控制室之间拟安装对讲装置和视频监控，服碘室、敷贴治疗室、候诊室和留观室拟安装对讲装置和视频监控，便于工作人员通过视频监控观察患者，通过对讲装置与受检者联系。

④敷贴治疗室中贮源箱表面应标有放射性核素名称、最大容许装载放射性活度和牢固、醒目的电离辐射标志，且距离贮源箱表面 5cm 和 100cm 处因泄漏辐射所致的周围剂量当量率分别不应超过 10μSv/h 和 1μSv/h。

⑤在有机玻璃通风橱内配备活度计及制作 ^{32}P 敷贴器的专用工具，制作时护士应佩戴有机玻璃眼镜和面罩，敷贴治疗室内配备暂存固体放射性废物的铅桶（设置电离辐射标志）以及患者治疗时间的计时器。

⑥每次治疗前，先收回患者的治疗卡，再实施敷贴治疗，敷贴治疗过程用计时器计时。治疗完毕，先如数收回敷贴器再发给治疗卡，避免患者将敷贴器带出医院，将产生的固体放射性废物及时收集至铅桶中暂存，待清洁解控后作为医疗废物委托有资质单位处置。

⑦敷贴治疗室与诊断室、候诊室分开设置，两间治疗室使用面积为 9.5m^2 和 7m^2 ，且治疗室内拟张贴放射治疗操作规程及辐射安全管理制度，拟配备 β 污染检查仪等检测仪器。

⑧敷贴治疗室内高 1.5m 以下的墙面拟采用可更换的质地较软又容易去污的辅料铺设。

⑨患者进出设置专用通道，防护门均为单向门禁，并在工作场所内设置路线指引。

10.1.1.7 辐射防护用品

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）以及《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中个人防护用品的配置要求，结合本项目的情况，医院拟配置的防护用品和设备见表 10.1-14。

表 10.1-14 核医学科工作场所拟配置的防护用品和设备表

序号	种类名称	设置场所	数量	备注
1	储源铅罐	储源室	5 个	铅罐由厂家供药时自带，一般 ^{18}F 为 50mmPb ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为 20mmPb ， ^{131}I 为 40mmPb ， ^{89}Sr 、 ^{32}P 、 ^{90}Sr 使用 $10\text{mmPb}+10\text{mm}$ 有机玻璃
2	手套箱	分装注射室	4 个	PET/CT 手套箱：正面 50mmPb ，侧面 30mmPb ；SPECT/CT 手套箱：正面 20mmPb ，侧面 10mmPb ；碘手套箱： 40mmPb ；敷贴手套箱： 10mm 有机玻璃
3	活度计	分装注射室	4 台	/
4	PET/CT 注射窗	分装注射室	1 个	40mmPb
5	SPECT/CT 注射窗	分装注射室	1 个	20mmPb
6	注射器防护套	分装注射室	2 个	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{89}Sr 为 4mmPb 防护套、 ^{18}F 为 10mmPb 防护套
7	有机玻璃注射器防护套	分装注射室	2 个	10mm 有机玻璃
8	注射器防护提盒	分装注射室	2 个	10mmPb

9	自动分碘仪	分装注射室	1 个	/
10	人员立式注射防护车	运动负荷室兼抢救室	1 个	20mmPb
11	铅桶	分装注射室、敷贴治疗室、候诊室和留观室等	若干	20mmPb
12	废物衰变箱	废物间	若干	20mmPb
13	铅橡胶衣、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	核医学科	4 套	0.5mmPb
14	铅橡胶围裙	分装注射室	2 套	0.5mmPb
15	去污工具组	卫生通过间	1 套	/
16	放射性污染防护服	卫生通过间	若干	/
17	铅防护屏风	PET/CT 机房、PET 候诊室	2 个	10mmPb
18	铅防护屏风	SPECT/CT 机房、SPECT 候诊室	5 个	4mmPb
19	表面污染监测仪	卫生通过间、敷贴治疗室	2 台	增配
20	便携式 X-γ射线监测仪	卫生通过间	1 台	依托现有，全院共用 1 台
21	个人剂量报警仪	人员随身携带	4 台	/
22	个人剂量计	人员随身携带	1 个/人	/

本项目拟配备的个人防护用品数量和防护铅当量均满足《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）相关要求，可以满足医院拟开展核技术利用项目运行的要求。

10.1.1.8 放射性药物的存放控制措施

核医学科提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物送至核医学科，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室。

储源室门锁和保险柜实行双人双锁管理，并做好防火、防盗措施，且不得将放射性药物与易燃易爆及其他危险物品放在一起。台账上记录核素种类、生产单位、活度及出入库使用情况等，严格登记建档。储源室房间内设置视频监控并入科室监控系统、门口设置电离辐射标志。

如出现患者临时变动，导致购买的放射性药物用不完的情况，未用完的少量放射性药物将安全的储存在原容器中，连同铅罐转移至废物间暂存衰变。

医院必须配备专（兼）职人员负责放射性药物的管理，并建立健全放射性物质的保管、领用、注销登记和定期检查制度。要求设置专门的台账（如交收账、库存账、消耗账），加强对放射性药物的管理，严防丢失。放置放射性物质的容器，必须容易开启和关闭，容器外必须有明显的标签（注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起止时间、存放负责人等）。

10.1.1.9表面污染控制措施

①工作场所分区管理和工作人员的防护措施

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

工作人员进入放射工作场所均更换服装，穿戴工作衣、裤、帽、鞋、防护口罩、胶质手套及相应个人防护用品。工作人员离开放射工作场所，均进行清洗、更衣、并对手部等体表部位进行表面污染测定，确认未受表面污染后离开。

②工作场所表面污染防治

涉及放射性药物操作的工作场所拟按要求采用易清洗且不易渗透材料（如PVC板等），拐角使用弧线处理；地面要求平整光滑，易于清洗，可铺设塑料地坪或涂刷塑料油漆；墙面要求平整光滑，1m以下部位拟采用浅色无光耐酸油漆或其他易于清洗的涂料，瓷质面砖等；工作台面要求平整、光滑、易于清洗。可以铺砌磨光花岗岩板材或不锈钢面板等。墙面与地面、墙面与顶棚、墙面连接转角处，以及工作台边沿宜采取弧形，以尽可能减少表面污染。

放射性药物的操作均在分装注射室手套箱内进行，手套箱内操作台面要求光滑、平整、易于清洗去污。所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。

③管理措施

β 表面沾污的影响主要来源于医生操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对职业人员和公众造成辐射影响，因此，为了使本项目非密封放射性物质工作场所的 β 表面污染水平达到《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的要求，医院要做到以下防护措施：

1) 制定完善的操作规范，使用、操作放射性同位素的人员应经过培训，具备相应的技能与防护知识，严格按照操作规范操作，减少药物撒漏事故的发生；

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

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

4) 吸取液体的操作必须用合适的器具，严禁用口吸取，避免造成皮肤直接接触和

吸入、食入等情况；

5) 不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；

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

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

8) 做好就诊患者的管理，特别是已服药和注射放射性药品的患者管理工作，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动；

9) 如 β 表面污染水平超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定值，医院应暂停开展核医学科相关业务，去污染经监测符合标准后方可重新开展业务；

10) 修订《辐射事故应急预案》，制定非密封放射性物质意外污染的应急处理程序，利用非放射性物质开展放射性药物取用、转移操作练习，及意外洒落时采取去污及监测操作的模拟。定期开展应急预案的培训学习和演练。

10.1.1.10 人员防护措施

(1) 辐射工作人员的防护

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

①屏蔽防护：将辐射源安置在专用、固定的工作场所内，通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的辐射危害；为核素操作人员配备铅橡胶衣、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品，PET/CT 机房、SPECT/CT 机房设置铅防护屏风，注射器配备注射防护套和注射器防护提盒。

②时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

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

④本项目核医学所有辐射工作人员均应配备个人剂量计并定期送检，开展职业健康监护，并建立个人职业健康监护档案。

(2) 受检者、其他人员的防护

本项目核医学科场所中相应位置配备有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。

为减少受检者、其他人员的照射剂量，主要采取屏蔽防护措施。

①屏蔽防护：辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚、门、窗等实体进行屏蔽防护；为受检者配备铅橡胶衣、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品，注射器配备注射器防护套。PET/CT 候诊室床位之间设置铅防护屏风，以减少患者间相互照射。

②应注意做好患者分类、有批次进入，避免患者交叉影响。

③加强对患者的管理，在不影响诊断和治疗的情况下，限制其服药量，并对出院患者给出书面指导，限制与儿童或孕妇密切接触，避免与他人长时间接触，近期避免到公共场所活动。

④为防止无关人员进入控制区，核医学科场所出入口设置为带门禁系统的单向门，实现“入口受检者只入不出、出口受检者只出不入”，保证控制区内受检者的单向流动，避免无关人员进入控制区。

10.1.1.11 操作过程中的防护措施

辐射工作人员在进行放射性药品分装、测活、注射操作时首先做好个人防护，包括穿戴铅橡胶围裙、戴铅防护眼镜和铅橡胶颈套等防护用品，均具备 0.5mmPb 当量。注射时，将定量的药物移至带防护套的注射器内，将其置于注射器防护提盒内后，经测量核定药物活度后转移给患者注射，注射操作台拟采用铅玻璃防护，并在注射位设置铅挡板。注射操作时，工作人员（采取相应防护措施）与患者及药物分别位于铅玻璃的两侧，患者注射后进入注射后候诊室候诊。分药时药品、铅罐均放置在垫有滤纸的瓷盘内进行，以防止放射性药液撒漏造成操作台污染。手套箱底部设有铅桶，用于暂时收集固体放射性废物。

10.1.1.12 对服药和注射后患者防护措施

首先告知患者及家属辐射可能带来的危害性，患者要与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在等候室内驻留，医院需要划定专门的陪护人员等候区，并尽量远离非密封源工作场所，同时需要求患者在注射后在候诊室静候，禁止随意走动，观察期间的呕吐物和排泄物要排入注射后候诊室内专用厕所，最终排入衰变池组。患者进入机房受检前，工作人员需确保患者走廊没有其他患者，再安排患者进入机房，以避免交叉影响。

10.1.2 放疗科

10.1.2.1 直线加速器、射波刀、后装治疗机和 CT 模拟定位机

(1) 工作场所布局分析及分区情况

①工作场所布局分析

本项目放疗科位于温岭市高端医学中心地下二层南侧，拟建 1 间直线加速器机房、1 间射波刀机房、1 间后装治疗机机房及配套附属用房（包括 1 间 CT 模拟定位机机房）。3 间机房并列设置，由右向左依次为射波刀机房、直线加速器机房和后装治疗机机房。

本项目射波刀机房和控制室分开并单独设置，机房由治疗室、迷路和防护门组成；直线加速器机房与控制室、水冷机房分开设置，机房由治疗室、迷路和防护门组成，且有用线束不朝向迷路和控制室照射；后装治疗机机房与控制室分开设置，机房由治疗室、迷路和防护门组成。机房周围不邻近儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域以及人员流动性大的商业活动区域，机房布局符合《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“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中选址和布局要求，布局基本合理。

本项目放疗科各机房六面情况见表 10.1-15。

表 10.1-15 本项目放疗科各机房六面情况一览表

机房名称	东侧	南侧	西侧	北侧	上方	下方
直线加速器机房	射波刀机房	地下停车场道路	后装治疗机机房、强电间和补风井	走廊、直线加速器机房控制室和水冷机房	院内道路	岩土层
射波刀机房	地下停车场道路和储藏间	地下停车场道路	直线加速器机房	走廊、射波刀机房控制室和水冷机房	院内道路	岩土层
后装治疗机机房	直线加速器机房	停车位和补风井	准备间和后装治疗机机房控制室	CT 模拟定位机机房和控制室	地下停车场道路	岩土层
CT 模拟定位机机房	CT 模拟定位机机房控制室	后装治疗机机房和准备间	准备间和走廊	走廊	地下停车场道路和停车位	岩土层

②工作场所分区情况

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）对控制区和监督区的定义。本项目放疗科各机房控制区和监督区划分情况见表 10.1-16 和附图 3-11。

表 10.1-16 本项目放疗科各机房控制区和监督区划分情况一览表

场所名称	控制区	监督区
直线加速器机房	直线加速器机房内部（含迷路）	配套控制室、水冷机房以及周边相邻区域
射波刀机房	射波刀机房内部（含迷路）	配套控制室、水冷机房以及周边相邻区域
后装治疗机机房	后装治疗机房内部（含迷路）	配套控制室以及周边相邻区域

CT 模拟定位机机房	CT 模拟定位机房内部	配套控制室以及周边相邻区域
------------	-------------	---------------

(2) 辐射防护屏蔽设计

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中 6.1.2，“使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备，需考虑中子屏蔽”。本项目拟购直线加速器 X 射线最大能量为 15MV，机房的防护门拟采用内衬含硼聚乙烯和铅板的不锈钢门，即屏蔽设计已考虑到中子辐射防护。

根据医院提供的资料，本项目直线加速器机房、射波刀机房和后装治疗机机房四侧墙体、顶棚拟采用标准混凝土（ $\rho=2.35\text{g/cm}^3$ ）浇筑而成，机房辐射屏蔽设计参数详见表 10.1-17。放疗科各机房平面图和剖面图分别见附图 3-13 至附图 3-16。

表 10.1-17 放疗科各机房辐射防护屏蔽设计参数一览表

场所名称	方位及区域		照射线束	屏蔽材料及厚度	
直线加速器机房	东墙	主屏蔽区 (面积: 17.6m ²)	有用线束	3000mm 混凝土	
		次屏蔽区	非有用线束	2500mm 混凝土	
	南墙	侧墙		非有用线束	1500mm 混凝土
		西墙	主屏蔽区 (面积: 17.6m ²)	有用线束	3000mm 混凝土
	次屏蔽区		非有用线束	1500mm 混凝土	
	北墙	迷路内墙	非有用线束	1000-1500mm 混凝土	
		迷路外墙	非有用线束	1000-1500mm 混凝土	
	顶棚	主屏蔽区 (面积: 40.3m ²)	有用线束	3000mm 混凝土	
		次屏蔽区	非有用线束	1500mm 混凝土	
防护门			非有用线束	20mm 铅+130mm 含硼 (5%) 聚乙烯板	
射波刀机房	东墙 (面积: 30.8m ²)		有用线束	2500mm 混凝土	
	南墙 (面积: 30.8m ²)		有用线束	2500mm 混凝土	
	西墙 (面积: 30.8m ²)		有用线束	2500-3000mm 混凝土	
	北墙	迷路内墙 (面积: 23.7m ²)	有用线束	1200-2200mm 混凝土	
		迷路外墙	有用线束	1000-2000mm 混凝土	
	顶棚		有用线束	2500mm 混凝土	
	防护门		有用线束	10mm 铅	
后装治疗机机房	东墙		/	1500-3000mm 混凝土	
	南墙		/	800mm 混凝土	
	西墙	迷路内墙	/	600mm 混凝土	
		迷路外墙	/	800mm 混凝土	
	北墙		/	800mm 混凝土	
	顶棚		/	900mm 混凝土	
	防护门		/	10mm 铅	

注：混凝土密度 $\geq 2.35\text{g/cm}^3$ ；铅密度不低于 $\geq 11.34\text{g/cm}^3$ 。

本项目 CT 模拟定位机机房的屏蔽防护情况与《放射诊断放射防护要求》

(GBZ130-2020) 中的要求比较结果见表 10.1-18。

表 10.1-18 CT 模拟定位机机房屏蔽防护情况一览表

工作场所	防护设施	屏蔽材料及厚度	折算后铅当量 (mm)	GBZ130-2020 表 3 标准要求	是否符合
CT 模拟定位机机房	四侧墙体	240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡防护涂料	4.0	有用线束及非有用线束方向铅当量均不小于 2.5mmPb	符合
	顶棚	120mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护涂料	3.0		符合
	地坪	700mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护涂料	5.0		符合
	防护门	内衬 5mm 铅板	5.0		符合
	观察窗	5mmPb 铅玻璃	5.0		符合

注：①混凝土密度取 2.35g/cm³ 核算等效屏蔽厚度，折算铅当量参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中附录 C 中式（C.1）、式（C.2）及表 C.2，在 150kV 电压下，106mm 混凝土折算为 1mmPb，255mm 混凝土折算为 3mmPb，本次评价保守考虑按 120mm 混凝土折算为 1mmPb，700mm 混凝土折算为 3mmPb，。

②由于《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中未提供实心砖在 150kV 电压的拟合参数，无法进行等效铅当量厚度的计算，故参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，实心砖密度取 1.6g/cm³ 核算等效屏蔽厚度，240mm 实心砖折算为 2mmPb。

③参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，硫酸钡防护涂料密度不低于 2.79g/cm³，20mm 厚度等效为 1mmPb。

本项目 CT 模拟定位机机房最小有效使用面积及最小单边长度与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的要求比较结果见表 10.1-19。

表 10.1-19 CT 模拟定位机机房有效使用面积及单边长度一览表

工作场所	拟设置情况		GBZ130-2020 表 2 标准要求		是否符合
	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m ²)	最小单边长度 (m)	最小有效使用面积 (m ²)	
CT 模拟定位机机房	5.3	40.28 (7.6m×5.3m)	4.5	30	符合

由表 10.1-19 和表 10.1-20 可知，本项目 CT 模拟定位机房四面墙体、顶棚、地板、观察窗、防护门、最小有效面积及最小单边长等设计参数均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关防护设施的技术要求。因此，CT 模拟定位机房的屏蔽方案是可接受的。

10.1.2.2 直线加速器和射波刀安全防护措施

(1) 设备固有安全性

本项目直线加速器和射波刀拟购于正规厂家，采用目前较先进的技术，设备各项安全措施齐备，本身具备多种安全防护措施。

①控制台上的显示装置可显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数，操作人员可以随时了解设备运行情况。

②患者剂量监测与治疗控制安全联锁。为保证患者治疗剂量准确，不致出现超剂量

照射，系统设置了治疗剂量联锁、治疗时间联锁和治疗中旋转机架角度联锁。当治疗剂量、时间及治疗机头旋转角度其中之一到达设定值时，联锁装置会自动停止照射。

③运动智能开关。为防止工作人员误操作造成事故，在手控盒两侧设置了运动智能开关，只有当左右两侧的开关同时按下时才有可能对机器运动部件进行启动和控制。

④急停开关。当发现异常时，按下主机架、治疗床及控制台上此开关，机器将自动切断加速器主电源。

⑤剂量测试系统。在控制系统主菜单中有“剂量系统测试”部分，可以随时了解患者剂量情况。

⑥密码设置。设置有密码，操作密码只有具体操作人员掌握，输入正确的密码后才可能进行操作和参数的修改等。

⑦系统操作联锁。直线加速器和射波刀设置了硬件联锁，在非正常操作或在异常情况下，可以停止机器运行或切断电源，以备特殊情况下应急之用。系统操作联锁情况见下表 10.1-20。

表 10.1-20 直线加速器和射波刀硬件联锁一览表

名称	装置部位	功能	备注
急停开关	主机架、治疗床及控制台	紧急切断系统控制电源	意外情况下可以切断控制电源
碰撞保护环	附件盘、影子盘	发生碰撞时停止机械部件运动	发生碰撞时自动停止机器运动
运动部件二级限位开关	旋转机架、治疗床升降、辐射头旋转	二级限位开关,切断动力电源	异常情况切断动力电源

(2) 直线加速器机房和射波刀机房辐射防护设施设计

①固定式剂量报警装置：直线加速器机房和射波刀机房内迷路转角处设置固定式剂量报警装置，显示单元设在控制室或机房门附近，当探测到剂量率超过设置阈值时，则有声光报警，人员马上撤离。

②视频监视系统、对讲系统：直线加速器机房和射波刀机房的治疗室和控制室之间安装有监视器 3 个（防护门迷路内 1 个、迷路内墙 1 个、侧屏蔽墙体 1 个）、对讲装置 1 套，控制室内能通过视频监视治疗室内患者的治疗情况，并通过对讲系统与室内人员联系，以便于医师在控制室观察患者在治疗室的状况、及时处理意外情况。视频监控数量和位置能实时、全方位观察治疗室及迷路内状况，可以保障治疗室内及迷路不留视频监控死角，因此视频监控布局数量及位置可行。

③急停开关：直线加速器和射波刀设备自带急停开关。医院拟在直线加速器机房和

射波刀机房的控制室、防护门内侧、治疗室四周墙壁各设置急停开关。机房内急停开关设在工作人员易于接触的地方（距离地面 1.2m 高处）安装，且相互串联，每个急停开关独立工作，按下任意开关可使设备停止出束，以避免机房内人员尚未完全撤离或误入的情况下受到误照射。急停开关按下后，只有人工就地复位并通过控制台才能重新启动设备；急停开关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易于触发。

④设置门机安全联锁，防护门未完全关闭时不能出束，出束状态下开门停止出束。防护门上方设有工作状态指示灯与加速器关联，机房门关闭后，装置才能启动，装置启动时工作状态指示灯亮起。防护门为电动移门，防护门与墙搭接处应尽可能减小缝隙漏泄辐射，防护门宽于门洞的部分应大于“门-墙”间隙的十倍。防护门设红外防挤压装置，防止人员被夹伤。另外防护门设紧急开门装置，在紧急情况下能从机房内开门。

⑤直线加速器机房和射波刀机房入口处设置电离辐射警告标志和中文警示说明。

直线加速器机房和射波刀机房内安全防护设施分布见图 10.1-1，直线加速器和射波刀的安全联锁逻辑图见图 10.1-2。



图 10.1-1 直线加速器和射波刀机房急停开关、监视系统等安全设施分布示意图



图 10.1-2 直线加速器和射波刀安全联锁逻辑图

(3) 其他防护措施

①每个辐射工作人员均配备 1 枚 TLD 个人剂量计，每间机房配备 2 台个人剂量报警仪；

②配备 1 台便携式 X- γ 射线监测仪（依托现有，全院共用 1 台）和中子剂量监测仪（直线加速器机房配置）；

③操作室上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等；

④受检者出入口门外地面应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

(4) 机房通风、电缆管线设置

①通风

直线加速器和射波刀运行过程中，治疗室空气中会产生一定的臭氧和氮氧化物。本项目直线加速器和射波刀机房设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，根据建设单位提供的设计资料，直线加速器拟安装有效通风量不小于 2190m³/h 的风机进行通风，直线加速器机房有效容积约 411m³，通风换气次数不小于 5.3 次/h；射波刀拟安装有效通风量不小于 2800m³/h 的风机进行通风，直线加速器机房有效容积约 324m³，通风换气次数不小于 8.6 次/h。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求，治疗室的通风换气次数应不小于 4 次/h，因此，直线加速器和射波刀机房通风换气次数均符合标准要求。

为避免影响屏蔽效果，新风管拟由防护门上方外墙进入机房，风管采用 5mm 钢板，包裹 8mm 铅板作为屏蔽补偿，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。风管拟以“U”型穿墙，绕经迷路进入治疗室，送风口布排在装饰天花板上合适位置；排风口拟设置在机房非主束投照部位墙角处，风管底部（吸风口）离地 30cm，进风口和排风口对角设置，上进风、下排风，排风管再沿墙体内壁，向上接近顶板处，经过防护门上方，再通过电梯厅旁排风井引至温岭市高端医学中心楼（排放高度约 44m）楼顶，排风口未设置在有门、窗或人口流动较大的过道等位置。排风和新风管线图见附图 3-19，直线加速器和射波刀机房穿墙方式见图 10.1-3 和图 10.1-4。



图 10.1-3 直线加速器机房通排风管线穿墙示意图



图 10.1-4 射波刀机房通排风管线穿墙示意图

②电缆及水管布设

直线加速器和射波刀治疗室与控制室操作台之间的各种电缆管线，室内部分以地沟形式在地坪以下布设，电缆沟盖板采用 4.75mm 厚不锈钢盖板覆盖，电缆管线以“U”

字型穿过迷路外墙，通过多次折返的电缆沟设计和下沉地面穿越屏蔽墙的设计，增加了射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果，管道穿墙方式见图 10.1-5 和图 10.1-6。其他所有电、水、气管、物理测试管线布设走向必须符合辐射屏蔽防护要求，并在非主束投照部位采用斜 45°形式穿越墙体或顶盖，如在防护墙体部位设置开关箱等嵌入式电气设备，要在箱体后背衬填相应厚度的铅板。



图 10.1-5 直线加速器机房电缆穿墙示意图



图 10.1-6 射波刀机房电缆穿墙示意图

10.1.2.3 后装治疗机安全防护措施

(1) 设备固有安全设施

①后装治疗机的控制系统，必须能准确地控制照射条件，有放射源启动、传输、驻留及返回工作贮源器的源位显示与治疗日期、通道、照射总时间及倒计时时间的显示。

②后装治疗机控制系统有安全锁等多重保护和联锁装置。必须能防止由于计时器控制、放射源传输系统失效，源通道或控制程序错误以及放射源连接脱落等电气、机械发

生故障或发生误操作的条件下造成对患者的误照射。严禁在去掉保护与联锁控制装置的情况下运行。

③在控制台上，必须能通过 γ 射线监测仪器显示放射源由工作贮源器内输出和返回贮存位置的状态。控制照射时间的计时误差必须小于1%。

④必须在生产厂家给出的放射源最大安全传输次数内，不发生放射源脱落、卡源等故障。放射治疗机随机文件中必须给出放射源从贮源器到施源器的最大传输时间。

⑤治疗系统由控制台钥匙或者密码控制。后装治疗机设置有密码，操作密码只有具体操作人员掌握，只有输入正确的密码后才可能进行操作和参数的修改等。

⑥设备具有模拟源（假源），采用假源探路、真源治疗的双重驱动系统，假源可自动穿过施源器检查所有连接点，并对可能产生打结或过度弯曲的部位报警，防止因输源通路不畅造成卡源事故。

⑦设备安全联锁和自动回源系统等故障检查和保护系统。施源器未插入机头的卡盘内，不能出源；施源器未锁紧，不能出源。

⑧设备自带自检系统，包括机器自检、复位自检和通道自检。进行治疗前，先进行自检和模拟治疗，确保放射源通道通畅，再进行治疗。

⑨设备机头内有应急回源手柄，当退源用的电机失灵时，可采用应急回源手柄退源。

⑩配备 UPS 不间断电源。当在治疗过程中发生停电情况，UPS 自动供电能使放射源退回到安全位置，并留存患者的治疗记录。

⑪后装治疗机使用的 ^{192}Ir 放射源符合《密封放射源及密封 γ 放射源容器的卫生防护标准》（GBZ114-2006），放射源安装在铅、钨防护材质的机头贮源器内，源容器外表面张贴电离辐射标志和中文警示说明。

(2) 后装治疗机房安全设施设计

①后装治疗机治疗室内安装视频监控与双向交流对讲系统，能完全观察和联系治疗室。工作人员在控制室内便可清晰的观察到患者的治疗情况，如发现患者不适、位置移动、部件脱落、机架与治疗床发生碰撞等异常情况，可及时采取紧急措施。治疗室与控制室须设置对讲系统，便于医护人员与患者进行双向交流。

②设置紧急回源开关。紧急回源开关安装在控制室的操作台上（1个）、后装治疗机设备上（1个）、后装治疗机机房的墙壁上（4个）和迷路内1个，并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。当按动紧急回源

开关，设备自动回源。紧急回源开关必须采用手动方式才能复位。

③设置门机（源）安全连锁。只有当防护门关闭，设备才能出源；反之，如果照射过程中防护门打开，系统将自动回源。

④治疗室内配有合适的应急贮源容器、长柄镊子等应急工具。

⑤电动防护门具有防夹伤功能，停电时能够手动开启，使患者安全转移。

⑥在后装治疗机防护门外粘贴电离辐射警示标志和中文警示说明。安装工作状态指示灯，并和设备出源关联。防护门上方拟设置声、光报警装置。出源时有声、光报警。

⑦后装治疗机机房迷路内拐角处设置1个固定式剂量率监测报警装置；仪表指示装在控制室内。对监测点进行实时剂量率监测和报警。实时剂量率显示在主机面板上，实时剂量率的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪器有声光报警，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。

⑧后装治疗机机房采取双人双“锁”管理，放射源工作场所视频监控系统接入医院安保系统。

⑨防护门与墙搭接处应尽可能减小缝隙漏泄辐射，防护门宽于门洞的部分应大于“门-墙”间隙的十倍。



图 10.1-7 贮源容器、长柄钳外观图

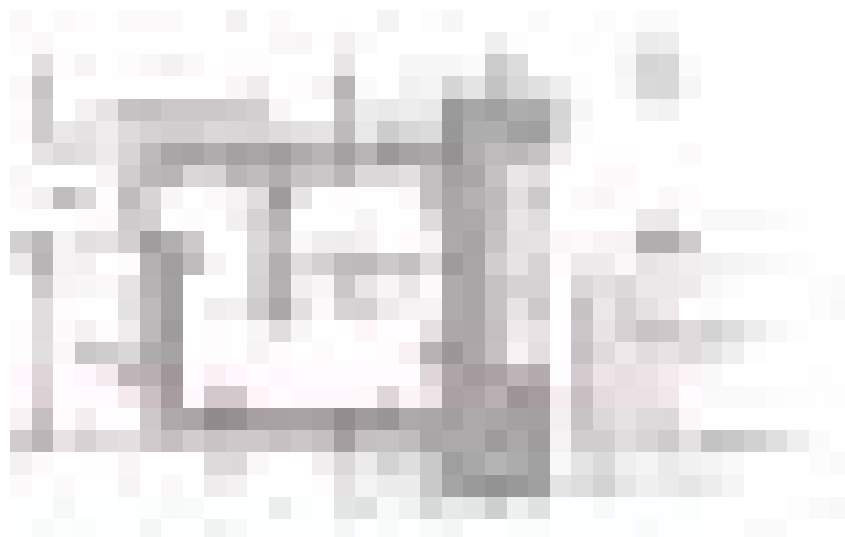


图 10.1-8 后装治疗机机房门机（源）安全联锁和安全措施布置图

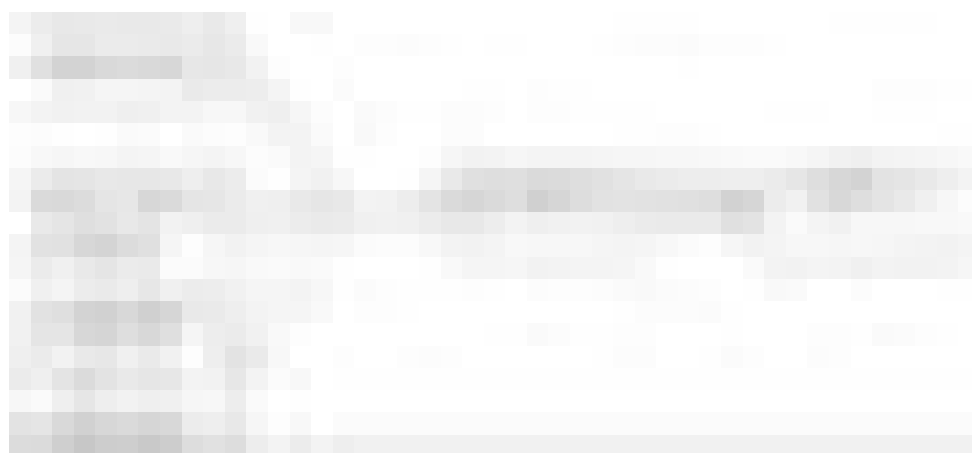


图 10.1-9 后装治疗机安全联锁逻辑图

(3) 安全操作要求

①物理师根据临床检查结果，制订治疗计划，由患者所患疾病的性质、部位和大小来确定照射剂量和照射时间；

②操作人员必须遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，禁止任意去除安全联锁，在防护门未关闭时，放射源不能出来；

③新购放射源必须有生产厂家提供的说明书及检验证证书。说明书载明了放射源编号、核素名称、化学符号、等效活度、表面污染与泄漏检测日期和生产单位名称等。放射源使用前必须有法定计量机构认可的参考点空气比释动能率，其总不确定度不大于 $\pm 5\%$ ；

④设备安装后使用前，必须要求设备供货商提供满足标准要求及设备表面剂量监测报告。

⑤加强放射工作人员的培训，并佩戴个人剂量计，进出治疗室佩戴报警仪，做好放射源的监控与防盗。

⑥治疗室机房内不得堆放与诊疗无关的杂物。

(5) 放射源安装防护措施

本项目倒装源工作每次均由装/换源单位和供源单位进行，其工作人员按相关法律法规要求管理。医院不直接参与倒装源。为了保证倒装源工作的正常进行，杜绝环境风险事故的发生，医院应做好以下防护工作及管理工作。

①医院应审查放射源倒装和供源单位资质，并提示放射源供源单位和放射源倒装单位应做好相应的个人剂量监测、配备个人剂量报警仪、实施职业健康监护等。

②制定相应的安保和工作准备方案和换源方案，设置专人负责专项工作，具体内容包含如下：

A、提前与供源单位沟通和联系，核对现场准备要求；

B、每次换源前确认放射源运输车辆的到达时间，提前进行医院内运输通道的清场，设置相应的警戒绳、警示牌、警示灯等，禁止无关车辆和人员的通行；放射源的更换尽量选在夜间，减少对周围人员的影响；

C、提前准备好个人防护用品，如个人剂量报警仪、铅橡胶衣服、铅橡胶帽子、铅橡胶颈套等，作为专业技术工作人员的备用品；

D、在放射源运输和安装的过程中，配备 X-γ辐射剂量率监测仪、表面污染监测仪对屏蔽体外的剂量进行监测，并记录，以了解该工作的辐射影响程度；

E、换源过程在治疗室内进行，医院工作人员全程在控制室内对换源进行监督或者协助，整个过程中屏蔽门均处于关闭状态。记录放射源更换各分项工作的时间，多次统计后优化相关科室部门的时间配合和安排；

F、换源过程中治疗室作为控制区进行管理，仅设备涉源维护相关工作人员进入，其他无关人员禁止入内；控制室作为监督区，仅医院放射工作人员进入；其他区域不作限制；

G、做好放射源等的交接工作，填写相应的记录；

H、换源结束后对含放射源的放射治疗设备、场所与周围环境进行辐射监测。

③每次装源/换源工作结束后，填写相应记录（如更换时间、放射源编码、出厂活度、人员配置、工作分配、使用的辐射防护用品、特殊事件情况、处理情况等），总结相应

工作。

④建立放射源更换工作档案，将相应资料存档。

(6) 其他防护措施

①每个辐射工作人员均配备1枚TLD个人剂量计。

②配备1台便携式X- γ 射线监测仪（依托现有，全院共用1台）；

③操作室上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等；

④受检者出入口门外应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

(7) 机房通风、电缆管线设置

①通风

本项目后装治疗机机房设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，根据建设单位提供的设计资料，直线加速器拟安装有效通风量不小于 1430m³/h 的风机进行通风，后装治疗机机房有效容积约 186m³，通风换气次数不小于 7.6 次/h。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求，治疗室的通风换气次数应不小于 4 次/h。因此，后装治疗机机房通风换气次数符合标准要求。

后装治疗机机房设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，新风口排风口呈现上进下排，对角设置。后装治疗室内设置进风口 2 个，进风口位于机房顶部西侧。在机房东侧设置 2 个排风口，排风口距地约 30cm，风口连通顶部排风管道，经过防护门上方，再通过电梯厅旁排风井，引至温岭市高端医学中心楼（排放高度约 44m）楼顶，排风口未设置在有门、窗或人口流动较大的过道等位置。排风和新风管线图见附图 3-19，穿墙方式见图 10.1-10。

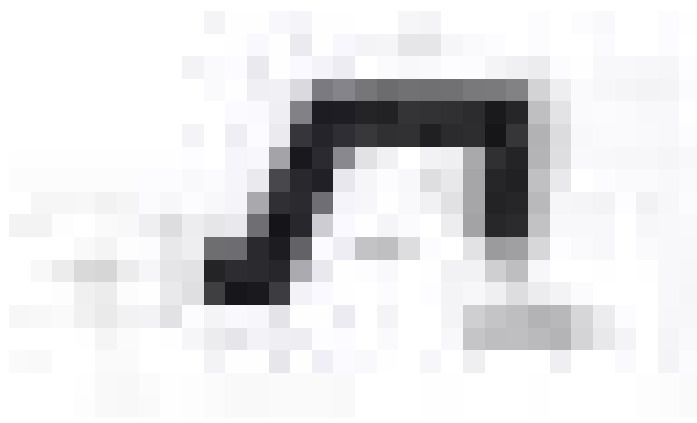


图 10.1-10 后装治疗机机房通排风管线穿墙示意图

②电缆布设

本项目后装治疗机机房将预留埋地电缆管道进行电缆铺设，机房内外以地沟形式在

地坪以下布设并上盖铅板，电缆沟穿越墙面处增设铅板围护。穿墙管道呈“∩”型穿墙，通过多次折返的电缆沟设计和下沉地面穿越屏蔽墙的设计，增加了射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果，管道穿墙方式见图 10.1-11。



图 10.1-11 后装治疗机机房电缆沟示意图

10.1.2.4CT 模拟定位机安全防护措施

本项目 CT 模拟定位机为Ⅲ类射线装置，主要影响因子为 X 射线，经屏蔽防护后对周围环境的影响较小。本项目拟为受检者配备防护用品并对设备机房采取相应措施进一步减少 CT 模拟定位机对周围环境的影响。

CT 模拟定位机房拟配备防护用品见表 10.1-21。

表 10.1-21 本项目 CT 模拟定位机房防护用品配备情况

放射检查类型 (机房内射线装置名称)	使用对象	X 射线设备配备的防护用品 (mmPb)
CT 模拟定位机	受检者	铅橡胶性腺防护围裙 (0.5)、铅橡胶颈套 (0.5)、 铅橡胶帽子 (0.5) 各 1 件
	儿童	儿童铅橡胶方巾 (0.5)、铅橡胶颈套 (0.5)、 铅橡胶帽子 (0.5) 各 1 件

CT 模拟定位机房拟采取的辐射安全防护措施：

①门灯连锁：机房防护门上方设置醒目的工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；工作状态指示灯与机房门有效关联。

②急停装置：控制台上和 CT 模拟定位机上设置急停开关(开关与 X 射线系统连接)。X 射线系统出束过程中，一旦出现异常，按动急停开关，可停止 X 射线系统出束。

③视频监控和对讲装置：机房与控制室之间安装 1 套视频监控和对讲装置，控制室的工作人员通过对讲机与机房内的患者联系，同时可以实时监控机房内情况。

- ④警告标志：机房门外醒目位置设置电离辐射警告标志和中文说明。
- ⑤机房防护门为电动推拉门，且设有防夹装置，设置有自动闭门装置。
- ⑥受检者不在机房内候诊，候诊区设置放射防护注意事项告知栏。
- ⑦机房设有动力排风装置，保证排风状况良好。

本项目 CT 模拟定位机在采取上述辐射安全防护措施后，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的 X 射线设备工作场所防护的相关要求。

10.1.3介入科

10.1.3.1 DSA

(1) 工作场所布局分析及分区情况

①工作场所布局分析

本项目 DSA 机房位于温岭市高端医学中心三层西侧，配置 1 台 DSA。本项目 DSA 机房六面情况见表 10.1-22。

表 10.1-22 本项目 DSA 机房六面情况一览表

机房名称	东侧	南侧	西侧	北侧	上方	下方
DSA 机房	控制室和换床间	走廊	设备间和医疗废物暂存间	走廊	走廊和办公室	走廊、CT 机房 VIP 等候室以及 DR 机房和控制室

本项目 DSA 机房布局与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）对照分析见表 10.1-23。

表 10.1-23 本项目 DSA 机房布局符合性分析

项目	《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求	本项目情况	是否满足要求
机房布局	每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求	本项目新增使用的 DSA 设置有单独的机房，机房有效使用面积及最小单边长满足设备的布局要求	满足
	X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全	本项目机房采取了相应的屏蔽防护措施，考虑了邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。	满足
	应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位	本项目机房的有用线束直接照向患者，并为设备的影像接收器及其支撑结构所阻挡，不会直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位	满足
受检者候诊区	受检者不应在机房内候诊	本项目机房受检者在机房外候诊，不在机房内候诊	满足
机房尺寸	DSA 机房最小有效使用面积不小于 20m ² ，最小单边长不小于 3.5m；	本项目机房尺寸符合最小有效使用面积和最小单边长的要求，具体见表 10.1-26	满足

经分析可知：

①本项目机房相邻区域没有产科、儿科病房等敏感人群长时间集中停留的场所。

②本项目机房设有患者通道、工作人员通道，相互不交叉，患者通道的宽度满足患者手推车辆的通行，方便治疗。

③本项目的建设不影响消防通道，且不占用消防设施等任何公共安全设施。

综上所述，本项目 DSA 机房满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）平面布局的要求，采取了防辐射的屏蔽措施，能够满足放射诊疗需求，并且充分考虑了相邻场所的防护安全，因此，DSA 机房工作场所布局合理。

②工作场所分区情况

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）等相关标准中对控制区和监督区的定义，本项目 DSA 机房控制区和监督区划分情况见表 10.1-24、附图 3-12。

表 10.1-24 本项目 DSA 机房控制区和监督区划分情况一览表

场所名称	控制区	监督区
DSA 机房	DSA 机房内部	配套控制区、换床间、医疗废物暂存间、设备间以及周边相邻区域

(2) 工作场所防护屏蔽设计

本项目 DSA 机房的屏蔽情况、机房最小有效使用面积及最小单边长度与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的要求比较结果见表 10.1-25 和表 10.1-26。

表 10.1-25 DSA 机房屏蔽防护情况一览表

工作场所	防护设施	屏蔽材料及厚度	折算后铅当量 (mm)	GBZ130-2020 表 3 标准要求	是否符合
温岭市高端医学中心三层 DSA 机房	四侧墙体	4.0mm 铅板	4.0	有用线束及非有用线束方向铅当量均不小于 2.0mmPb	符合
	顶棚	150mm 混凝土+3mm 铅板	4.8		符合
	地坪	130mm 混凝土+3mm 铅板	4.6		符合
	防护门	内衬 4.0mm 铅板	4.0		符合
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0		符合

注：①混凝土密度取 2.35g/cm³ 核算等效屏蔽厚度，折算铅当量参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中附录 C 中式 (C.1)、式 (C.2) 及表 C.2，在 125kV 电压下，87mm 和 158mm 混凝土分别折算为 1mmPb 和 2mmPb，根据内插法计算，本次评价 130mm 混凝土折算为 1.6mmPb，150mm 混凝土折算为 1.8mmPb。

表 10.1-26 DSA 机房有效使用面积及单边长度一览表

工作场所	拟设置情况		GBZ130-2020 表 2 标准要求		是否符合
	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m ²)	最小单边长度 (m)	最小有效使用面积 (m ²)	
温岭市高端医学中心 三层 DSA 机房	6.7	53.6 (8.0m×6.7m)	3.5	20	符合

综上所述，本项目 DSA 机房最小有效使用面积和最小单边长度均大于标准要求，其四面墙体、顶棚、地坪、防护门以及观察窗均采取了辐射屏蔽措施，充分考虑了邻室（含楼上及楼下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本项目 DSA 机房的防护设施满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关防护设施的技术要求。

10.1.3.2 辐射安全及防护措施

本项目 DSA 污染因子主要为 X 射线，对 X 射线的基本防护原则是减少照射时间、远离射线源及加以必要的屏蔽。本项目对 X 射线外照射的防护措施主要有以下几方面。

(1) 设备固有安全性

本项目 DSA 射线装置拟购于正规厂家，采用目前较先进的技术，设备各项安全措施齐备，仪器本身具备多种安全防护措施。

①具有可调限束装置，使装置发射的线束宽度尽量减小，以减少泄漏辐射；

②采取栅控技术：在每次脉冲曝光间隔向旋转阳极加一负电压，抵消曝光脉冲的启辉和余辉，起到消除软 X 射线，提高有用射线品质并减少脉冲宽度；

③采取光谱过滤技术：在 X 射线管头或影像增强器的窗口处放置合适的过滤板，以此消除软 X 射线以及减少二次散射，优化有用 X 射线谱；

④采用脉冲透视技术：在透视图像数字化基础上实现脉冲透视，改善图像清晰度，可减少透视剂量；

⑤采用图像冻结技术：每次透视的最后一帧图像被暂存并保留在监视器上显示，即称之为图像冻结，此技术可缩短总透视时间，达到减少不必要的照射；

⑥透视开关为常断式，并配有透视限时装置；机房内具有工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键。

⑦配备相应的表征剂量的指示装置：配备有相应的表征剂量的指示装置，当机房内出现超剂量照射时会出现报警提醒。

⑧急停按钮：介入手术床旁设置急停按钮（各开关串联并与 X 射线系统连接）。X 射线系统出束过程中，一旦出现异常，按动急停按钮，可停止 X 射线系统出束，并在急停按钮旁设置醒目的中文提示。

(2) 其他辐射安全防护措施

①本项目 DSA 机房设有观察窗、受检者防护门摄像监控装置和双向交流对讲系统各 1 套，控制室内可以实时通过观察窗和摄像监控装置观察到受检者状态及防护门开闭情况，控制室的工作人员可以通过对讲机与机房内的手术人员联系。

②机房内不堆放与本项目诊断无关的杂物。

③机房拟设置动力通风装置，进、排风口均位于机房吊顶处，可以保持机房内良好的通风。

④机房入口处设电离辐射警告标志；防护门上方设有醒目的工作状态指示灯，灯箱设有“射线有害，灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏；在监督区墙体合适位置设立表明监督区的标志，在控制区其他合适位置设置电离辐射警告标志。

⑤机房患者进出防护门为电动推拉式门，工作人员、污物进出机房防护门为平开式门，机房门墙间均进行了有效搭接，防止射线的泄漏；平开式机房门设有自动闭门装置；电动推拉式机房门设有防夹装置，同时设置有曝光时关闭机房门的管理措施，防止无关联照射；设有门-灯联锁装置，工作状态指示灯能与机房门有效关联。

⑥受检者不在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不滞留在机房内。

⑦控制室墙上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等。

⑧机房患者进出防护门外应设置黄色警戒线，警告无关人员请勿靠近。

⑨拟为本项目所有辐射工作人员配备个人剂量计，手术医护人员每人配备 2 枚个人剂量计，技师每人配备 1 枚个人剂量计。医院已配备 1 台 X- γ 辐射剂量率巡检仪可对机房周围辐射水平进行自行监测。

⑩机房控制室内应具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换摄影和透视功能的控制键。

本项目 DSA 机房其他辐射防护措施与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）符合性分析见表 10.1-27。

表 10.1-27 本项目 DSA 机房其他辐射安全和防护措施符合性分析

《放射诊断放射防护要求》 (GBZ130-2020) 要求	本项目拟配置情况	是否 符合
6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。	本项目 DSA 机房设有观察窗和受检者防护门摄像监控装置，控制室内可以实时通过观察窗和摄像监控装置观察到受检者状态及防护门开闭情况。	符合
6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	机房内不堆放与本项目诊断无关的杂物。	符合
6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	本项目机房拟设置动力通风装置进行通排风，进、排风口均位于机房吊顶处，可以保持机房内良好的通风。	符合
6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏；在监督区墙体合适位置设立表明监督区的标志，在控制区其他合适位置设置电离辐射警告标志。	本项目机房入口处设电离辐射警告标志；防护门上方设有醒目的工作状态指示灯，灯箱设有“射线有害，灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏；在监督区墙体合适位置设立表明监督区的标志，在控制区其他合适位置设置电离辐射警告标志。	符合
6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。 6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。	DSA 机房患者进出防护门为电动推拉式门，工作人员、污物进出机房防护门为平开式门，机房门墙间均进行了有效搭接，防止射线的泄漏；平开式机房门设有自动闭门装置；电动推拉式机房门设有防夹装置，同时设置有曝光时关闭机房门的管理措施，防止无关照射；设有门-灯联锁装置，工作状态指示灯能与机房门有效关联。	符合
6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。	本项目受检者不在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不滞留在机房内。	符合

(5) 个人防护用品和辅助防护用品

本项目介入科各机房应配置相应的个人防护用品与辅助防护设施，其配置需按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求，具体见表 10.1-28。

表 10.1-28 本项目 DSA 机房拟配置的个人防护用品和辅助防护设施与标准对照表

机房名称	人员类型	《放射诊断放射防护要求》 (GBZ130-2020) 要求		本项目单间机房拟配置情况		符合情况
		个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施	
DSA 机房	工作人员	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套； 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏； 选配：移动铅防护屏风	防护铅当量为 0.5mmPb 的铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜 3 套，防护铅当量不低于 0.025mmPb 的介入防护手套 3 套	防护铅当量为 0.5mmPb 的铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘各 1 件	符合
	受检者	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	—	防护铅当量为 0.5mmPb 的方巾 1 套，防护铅当量为 0.5mmPb 的铅橡胶颈套、铅橡胶帽子含儿童、成人尺寸各 1 套	—	符合

注：1. “—”表示不做要求；

由表 10.1-28 可知，本项目各机房拟配置的个人防护用品和辅助防护设施符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

（6）管线穿墙设计及屏蔽补偿

①风管穿墙设计及屏蔽补偿

本项目 DSA 机房拟采用洁净通风系统进行机械通风，进风口及排放口均设置于机房吊顶，排风管线穿墙部分拟采用 4mm 厚铅皮覆盖管道表面，防止射线泄漏，满足机房屏蔽要求。排风管线穿过屏蔽墙的防护措施见图 10.1-12。

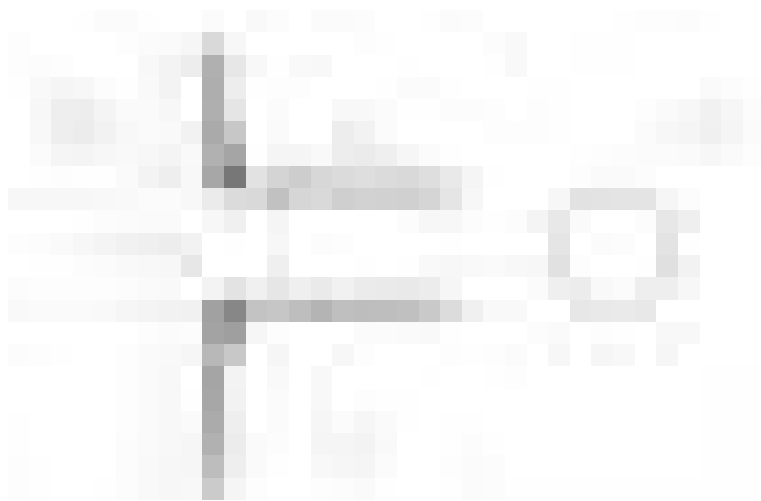


图 10.1-12 风管穿墙屏蔽补偿示意图

②电缆管线穿墙设计及屏蔽补偿

本项目机房通向设备间与控制室电缆拟采用下沉穿越的穿墙方式，通过地面下沉电缆沟穿出机房，电缆通过设备间和控制室的出线口穿出，电缆沟穿墙部分覆盖 4.0mm 铅板的方式穿过机房与设备间和控制室之间的防护墙，以防止射线泄漏。电缆沟屏蔽防护示意图见图 10.1-13。

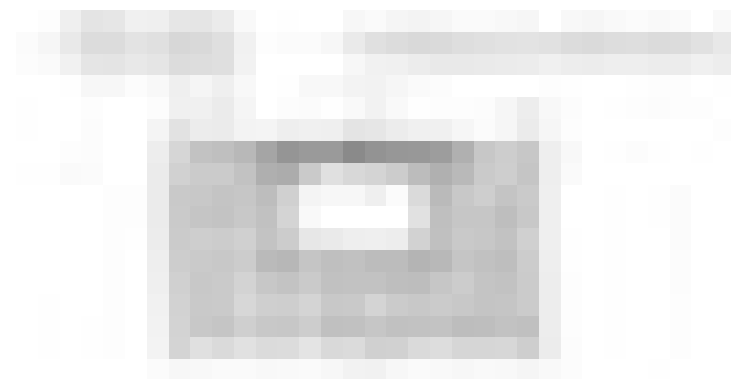


图 10.1-13 电缆管线穿墙屏蔽补偿示意图

(7) 辐射工作场所安防措施

为确保本项目辐射工作场所的使用安全，本项目采取的安全保卫措施见表 10.1-29。

表 10.1-29 各机房拟采取的安全保卫措施

工作场所	措施类别	对应措施
DSA 机房	防盗、防抢和防破坏	①本项目 DSA 机房将纳入医院日常安保巡逻的重点工作范围，加强巡视管理以防遭到破坏； ②工作场所安装监控系统实行 24h 实时监控； ③DSA 射线装置将安排专人进行管理和维护，并进行台账记录，一旦发生盗抢事件，立即关闭设备和防护门，并立即向公安机关报案； ④射线装置机房和邻近房间禁止存放易燃、易爆、腐蚀性物品等物品。
	防泄漏	①本项目拟新购使用 1 台 DSA，型号未定，设备各项安全措施齐备；设置有不同的联锁装置确保运行过程中的辐射泄漏； ②本项目射线装置工作场所将按照有关规范要求进行了辐射防护设计，只要按照设计和环评要求进行落实，机房不存在辐射泄漏的情况。

10.2 三废的治理

10.2.1 核医学科

本项目拟建核医学科使用非密封性同位素过程中会产生放射性废气、放射性废水和固体放射性废物。核医学科工作场所三废治理遵循以下原则：

(1) 根据核医学科产生废物的形态及放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求进行分类收集和分别处理。

(2) 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，尽量控制和减少放射性废物产生量。

(3) 核医学科产生的短寿命放射性废物，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，送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。

(4) 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。

10.2.1.1 放射性废气

本项目核医学科场所共设有7套排风管道，1号管道单独连接污物间1和污物间2，设计使用总排风量为350m³/h的排风机；2号管道单独连接分装注射室、PET/CT机房、SPECT/CT机房、候诊室和留观室等区域，设计使用总排风量为6450m³/h的排风机；3号管道单独连接肺通气室，设计使用总排风量为400m³/h的排风机；4号、5号、6号和7号管道分别单独连接分装注射室的4个手套箱，各手套箱设计使用总排风量均为1200m³/h的排风机。核医学科7套排风管道最终在排风井内合并为3根管道（1号和2号管道合并为1根，4号、5号、6号和7号管道合并为1根）分别引至温岭市高端医学中心楼（排放高度

约47m) 楼顶高出屋脊排放, 排放口尽量远离了邻近的高层建筑, 排风管设置止回阀, 防止气流倒灌, 手套箱顶壁和排风口均设活性炭吸附装置, 共设有7套活性炭吸附装置, 每套吸附装置活性炭1次装填量约为25kg, 平均每半年更换一次。本项目排风管线图见附图3-18。

对照《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 6.3密闭和通风要求, 本项目核医学科废气处理措施符合性分析见表10.2-1。

表 10.2-1 核医学科废气处理措施符合性分析表

序号	标准要求	本项目分析	符合性
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。	本项目核医学科工作场所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, 防治放射性气体及气溶胶对场所造成交叉感染, 场所内共设有 7 套排风管道, 7 套排风管道最终在排风井内合并为 3 根管道 (1 号和 2 号管道合并为 1 根, 4 号、5 号、6 号和 7 号管道合并为 1 根) 分别引至温岭市高端医学中心楼 (排放高度约 47m) 楼顶高出屋脊排放。	符合
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。	本项目不涉及。	/
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。	本项目不涉及碘-131治疗病房。	/
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。	本项目核素的分装测活均在手套箱内进行, 且场所 4 号、5 号、6 号和 7 号管道分别单独连接分装注射室的 4 个手套箱, 设计使用总排风量均为 1200m ³ /h 的排风机。排风管设置止回阀, 防止气流倒灌, 手套箱顶部和排风口均设活性炭吸附装置。	符合
5	通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、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。	本项目核医学科场所产生的废气经由排风井内密闭管道排至温岭市高端医学中心楼楼顶高出屋脊排放, 并远离邻近的高层建筑排放。	符合

10.2.1.2 放射性废水

本项目核医学科产生的放射性废水主要为核素操作人员淋洗废水、患者候诊或留观

期间产生的如厕废水以及工作场所清洗废水。放射性废水通过独立下水管道统一接入衰变池中衰变后排入医院污水处理站，本项目新建衰变池系统位于温岭市高端医学中心地下二层，为成品不锈钢衰变池。衰变池组位置见附图 3-2，衰变池组平面布置见图 10.2-1，剖面图见图 10.2-2。

(1) 核医学放射性废水收集管线

核医学科患者产生的废水主要在候诊和留观时产生，工作台面、地面去污时产生的放射性废水以及工作人员操作过程中手部受到微量污染的清洁废水主要在卫生间产生，上述区域产生的放射性废水涉及核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I ，废水经管道引至温岭市高端医学中心地下二层衰变池中。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）以及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）要求，本项目放射性废水经衰变池暂存超过 180 天后清洁解控，排入医院污水处理站统一达标处理。核医学科放射性废水管线走向见附图 3-17。

放射性废水排放时应在台账上详细记录放射性废水所含的核素名称、体积、废水产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

核医学科放射性废水管道均要求抗酸碱、耐腐蚀，并有一定防辐射功能。本项目的放射性废水管道裸露部分拟采用 6mmPb 铅皮包裹进行屏蔽防护并做上标记。

(2) 衰变池设计

本项目衰变池组由 4 个并联衰变池组成，交替使用，新增衰变池均为成品不锈钢衰变池，材质均为底板、侧板 2.5mm 厚和顶板 2.0mm 厚 304 不锈钢，单个衰变池尺寸为 4.5m×3.0m×3.0m，单个衰变池有效容积为 37.1m³，总容积为 148.4m³。衰变池安装前做防渗和压力试验，确保池体不渗漏。

衰变池组前端设置 2 个沉淀池，交替使用，后端设置 1 个集水井，整个衰变组合池采用“槽式”排放，通过阀门切换并联运行，进水管上设电磁阀，出水采用潜水泵压力排出。运行时先关闭第二、三、四池进水管上电磁阀，打开第一池进水管上的电磁阀，使废水进入第一池；待第一池达到设计液位后，打开第二池进水管上的电磁阀，关闭第一池进水管上的电磁阀，使废水进入第二池；按照同样的操作方法，使废水依次进入第三、四池；待第四池达到设计液位后，关闭第四池进水管上的电磁阀，打开第一池潜水泵，将经过衰变后的废水排入医院污水处理站进一步处理，经处理达标后纳入市政污水管网。

衰变池进水管上的电磁阀和衰变池排水泵采用PLC可编程控制器自动控制。衰变池组的自动化控制系统除能自动控制电磁阀开关及自动启停排水泵外，还能实时监控池内液位状态，水位超过设定正常水位能自动报警，各衰变池的液位、衰变时间自动显示在电脑的显示屏和控制柜的文本显示器上，并可随时查阅或打印当前和历史的相关记录。

衰变池的管理应做到以下几个方面：

- ①衰变池池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，放射性衰变池应加以密封，应有防水、防渗和防漏的措施；
- ②规定患者诊断期间使用专用厕所，不得使用其他厕所；
- ③专用厕所应具备使患者排泄物迅速全部冲洗入池的条件，而且随时保持便池周围清洁；
- ④衰变池末端设置标准取样检测口，以方便取样检测；
- ⑤衰变池间周边设置栅栏，并设置电离辐射警告标志和中文警示说明。
- ⑥设置专人管理放射性废水的暂存和处理，并建立放射性废水暂存和处理台账，详细记录放射性废水所含的核素名称、体积、废水产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。



图 10.2-1 衰变池组平面布置图



图 10.2-2 衰变池组剖面图

(3) 衰变池容量可行性分析

本项目核医学科放射性废水主要为核素操作人员淋洗废水、患者候诊或留观期间产生的如厕废水以及工作场所清洗废水。根据 9.3.1.1 核医学科污染源项分析可知，核医学科场所产生的放射性废水量为 $4.325\text{m}^3/\text{周}$ ， $216.25\text{m}^3/\text{a}$ 。

核医学科放射性废水涉及核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I ，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）以及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）要求，经衰变池暂存超过 180 天后可以直接解控排入医院污水处理站处理。

核医学科衰变池组由 4 个并联衰变池组成，交替使用，单个衰变池有效容积为 37.1m^3 ，则第 1 个衰变池最后进入的废水存储时间为： $37.1\text{m}^3 \times 3 \div 4.325\text{m}^3/\text{周} \approx 25.73$ 周（即约 180 天，为第 4 个衰变池注满的时间），放射性废水可以在衰变池组内暂存 180 天，可满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）放射性废水暂存要求。

10.2.1.3 固体放射性废物

医院拟将下述固体放射性废物收集于铅桶内的专用塑料包装袋，包装袋、废物桶显著位置要标明废物所含核素的名称、种类、收贮时间及数量等内容，做好固体废物排放台账，每次固体废物排放应详细记录固体废物排放量、固体废物种类、核素种类、监测数据、贮存时间等参数，并存档备查。每袋废物的表面剂量率控制在 0.1mSv/h 以下，重量不超过 20kg 。专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于废物衰变箱中，废物衰变箱采用铅屏蔽防护。

本项目核医学科运行过程会产生废弃的一次性杯子、玻璃药瓶、一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破损杯皿、塑料薄膜、废乳胶手套、移液管、废 ^{32}P 敷贴器、擦拭污染地面的物品以及废气处理更换的废活性炭等固体放射性废物。

固体放射性废物按照暂存时间相近原则实施分类存放，分别暂存于废物衰变箱中（含核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的固体放射性废物暂存于一个废物衰变箱；含 ^{131}I 、 ^{89}Sr 和 ^{32}P 的固体放射性废物暂存于另一个废物衰变箱），暂存时间满足标准要求后（含核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的固体放射性废物暂存时间超过 30 天；含 ^{131}I 核素的固体放射性废物暂存超过 180 天；含核素 ^{89}Sr 的固体放射性废物暂存时间超过 506 天；含核素 ^{32}P 的固体放射性废物暂存时间超过 143 天），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 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物清洁解控并作为医疗废物处置。

PET/CT 更换校准源 ^{68}Ge 和敷贴治疗更换放射源 ^{90}Sr 产生的废旧放射源，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，医院应送交有相应资质的单位收贮，如医院与生产厂家或原出口方签订废旧放射源返回合同，可将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方。医院应当在退役放射源交回、返回或者送交活动完成之日起 20 日内，向其所在地省级生态环境主管部门备案。

医院应做到：

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

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

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令 第 612 号）的“放射性固体废物贮存单位应当建立放射性固体废物贮存情况记录档案，如实完整地记录贮存的放射性固体废物的来源、数量、特征、贮存位置、清洁解控、送交处置等与贮存活动有关的事项”等相关规定。

本项目核医学各场所固体放射性废物，还应满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求：

①根据固体放射性废物的形态及其中的放射性核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按照《放射性废物分类》和放射性废物的可燃与不可燃、可压实与不可压实、有无病原体毒性进行分类收集和分别处理。

②各场所放射性废物收集桶外防护层采用铅屏蔽，并张贴电离辐射警告标志。放射性废物收集桶放置点应避开工作人员工作和经常走动的区域。

③固体放射性废物收集桶内放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后应密封，应无破漏，并及时转送至污物间贮存。

④若利用贮存衰变方式处理固体放射性废物，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。

⑤核医学科污物间暂存场所的建造结构应符合辐射安全与防护要求，且安装有单独排风管道的通风换气装置，出入口设置电离辐射警告标志，并采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

⑥污物间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别的废物应分开存放。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。放射性废物暂存场所内不得存放易燃、易爆、易腐蚀物品。

10.2.2 放疗科

10.2.2.1 废气

本项目直线加速器机房、射波刀机房和后装治疗机机房设有强制排风系统（排风和新风管线图见附图 3-19），采取全排全送的通风方式。臭氧密度大于空气平均密度，因此，排风口拟设置在机房非主束投照部位墙角处，风管底部（吸风口）离地 30cm，进风口和排风口对角设置，上进风，下排风，排风管再沿墙体内壁向上接近顶板处，排风口未设置在有门、窗或人口流动较大的过道等位置，产生的臭氧和氮氧化物对机房内外环境影响较小。风管拟以“U”字型穿墙。直线加速器机房内排风量为 2190m³/h，机房有效容积约 411m³，通风换气次数不小于 5.3 次/h；射波刀机房内排风量为 2800m³/h，机房有效容积约 324m³，通风换气次数不小于 8.6 次/h；后装治疗机机房内排风量为 1430m³/h，机房有效容积约 186m³，通风换气次数不小于 7.6 次/h。因此，各机房均能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“放射治疗室换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

10.2.2.2 废水

直线加速器、射波刀和后装治疗机运行过程中均不产生放射性废水。

10.2.2.3 固体废物

直线加速器和射波刀正常运行时，若冷却水循环系统出现故障，可能会导致靶体散热受阻，引发靶体被打穿，进而产生废靶件；同时，设备报废时也会有废靶件产生。射波刀在检修更换靶件过程中或设备退役时会有废靶件产生。对于更换下来的废靶件和退

役时拆卸下来的废靶件，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）对废靶件等组件进行监测，若满足《放射性废物分类》豁免与解控要求，可按一般固体废物处置，并做好存档记录；若监测异常，作为固体放射性废物处理，然后委托具有固体放射性废物收贮资质的单位收贮。

后装治疗机使用的 ^{192}Ir 属于 III 类放射源， ^{192}Ir 放射源半衰期为 74.0d，使用达到 1.5 个半衰期时需更换，约 4 个月更换一次，每年更换 3 次，产生 3 枚废旧放射源。

针对更换掉的废 ^{192}Ir 放射源，医院应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第三十八条规定执行，与放射源生产单位或原出口方签订废旧放射源返回合同，在放射源闲置或者废弃后 3 个月内将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方。确实无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。

医院应当在退役放射源交回、返回或者送交活动完成之日起 20 日内，向其所在地省级生态环境主管部门备案。

后装治疗机配套使用 UPS 电源，该 UPS 电源采用铅蓄电池供电，会产生废铅蓄电池，其更换周期约 5 年一次，根据《国家危险废物名录》（2025 年版），属于危险废物，危废代码为 HW31，900-052-31，更换下的废铅蓄电池交由有资质单位处置。

10.2.3 介入科

本项目运营期 DSA 射线装置无放射性废气、废水、固体废物产生，仅在曝光过程中产生少量臭氧和氮氧化物，介入手术过程产生少量废药棉、废纱布、废手套、废试剂瓶等医疗废物，器械清洗废水和医护手部清洗废水。

10.2.3.1 废气

本项目 DSA 机房设有动力通风装置，进风口和排风口均位于机房吊顶处，管道布设于机房吊顶处，臭氧和氮氧化物最终经排风管道引至室外，能够保证机房内有效地通风换气，设置情况满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中第 6.4.3 款“机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风”的要求，对周围环境影响较小。

10.2.3.2 废水

本项目 DSA 采用数字成像，无废显影液、定影液产生。介入手术产生的器械清洗废水、医护手部清洗废水以及医护人员产生的生活污水依托医院污水处理站处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 预处理排放标准要求后，纳入市

政污水管网集中处理。

10.2.3.3 固体废物

介入手术产生的医疗废物待手术结束后收集至本楼层医疗废物暂存间，并委托医疗废物处置单位进行处置；医护人员产生的生活垃圾分类收集后委托当地环卫部门定期清运处理。

10.2.4 核医学科场所和射线装置退役要求

根据《浙江省辐射环境管理办法》要求，终结运行后产生放射性污染的非密封放射性物质使用场所和射线装置，需要终止或者部分终止相关活动的，应当编制退役环境影响评价文件，报原颁发辐射安全许可证的生态环境主管部门审批，并按照审批要求落实污染治理、场所修复和保护等各项退役措施。完成退役并经原颁发辐射安全许可证的生态环境主管部门终态验收后，依法注销或者变更辐射安全许可证。

按照《浙江省辐射环境管理办法》要求：本项目 DSA、PET/CT、SPECT/CT 和模拟定位 CT 机射线装置报废时，建设单位应对射线装置内的高压射线管进行拆解，并报颁发辐射安全许可证的生态环境部门核销。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 施工期环境影响分析

本项目主体土建工程已编制《温岭市高端医学中心项目、温岭市公共卫生临床中心项目环境影响报告表》，由台州市生态环境局以台环建（温）〔2025〕1号进行了批复，其评价内容包含了除辐射以外的建设内容。

有关主体工程施工期环境影响内容详见《温岭市高端医学中心项目、温岭市公共卫生临床中心项目环境影响报告表》有关章节，本次评价不再做相关的环境影响评价。本项目施工期主要为屏蔽材料施工及设备安装、调试。

11.1.2 屏蔽材料施工期间的环境影响

本项目屏蔽材料施工工程量较少，主要的污染因子为：扬尘、施工人员生活污水及固体废物，建设单位应采取污染防治措施，减轻对周边环境的影响。

①施工扬尘主要产生于施工过程中粉状物料运输、暂存，属无组织排放，在施工过程中应对施工现场实行合理化管理，使砂石料、水泥统一堆放，用苫布遮盖，并尽量减少搬运环节，搬运时做到轻举轻放，防止包装袋破裂。

②施工人员产生的少量生活污水经工程现场厕所和化粪池处理后纳管。

③固体废物主要为施工人员的生活垃圾和建筑垃圾。施工期的生活垃圾和建筑垃圾应分别堆放，生活垃圾委托环卫部门及时清运处理，建筑垃圾定期运至城管部门指定的地点堆放。

本项目屏蔽材料施工区域较小，且均在室内施工，施工期较短，在采取一定的施工防护措施情况下，建设阶段环境影响范围较小，并且随施工期的结束而消失。

11.1.3 设备安装调试期间的环境影响分析

本项目射线装置在安装调试过程中会产生 X 射线、臭氧和氮氧化物，因安装调试时间短，各污染物产生量很少，且调试结束关机后，X 射线将即时消除，因此，本项目设备安装调试造成的环境影响很小。

本项目设备的安装、调试应请设备厂家专业人员进行，医院不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。由于设备的安装和调

试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，医院需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 核医学科辐射影响分析

11.2.1.1 β 表面污染环境的影响分析

β 表面污染的影响主要来源于医生操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面产生放射性沾污，造成小面积的 β 表面污染。因此，医护人员执行 10.1.1.9 中的表面污染防治和管理措施后，可将 β 表面污染水平降至《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关规定要求，对周围环境影响较小。

11.2.1.2 β 射线辐射环境影响分析

本项目涉及使用的骨转移癌治疗核素 ^{89}Sr 、敷贴治疗核素 ^{32}P 和放射源 ^{90}Sr 核素为纯 β 衰变，在衰变过程中仅产生 β 射线。根据《辐射防护导论》（方杰，北京，1991）P127-P128， β 粒子射程公式和屏蔽厚度公式如下：

$$R=0.412E^{(1.265-0.09541\ln E)} \quad 0.01 < E < 2.5\text{MeV} \quad (\text{式 } 11.2-1)$$

$$R=0.53E-1.06 \quad 2.5 \leq E < 20\text{MeV} \quad (\text{式 } 11.2-2)$$

式中：

R——电子在低原子序数物质中的射程， g/cm^2 ；

E—— β 粒子最大能量，MeV，本项目 ^{89}Sr 为 1.46MeV， ^{32}P 为 1.71MeV， ^{90}Sr 为 0.546MeV。

$$d=R/\rho \quad (\text{式 } 11.2-3)$$

式中：

d——屏蔽厚度，cm；

ρ ——物质密度， g/cm^3 。

根据式 11.2-1，计算得 ^{89}Sr 、 ^{32}P 和 ^{90}Sr 放出的 β 粒子在物质中的射程 R 分别为 $0.66\text{g}/\text{cm}^2$ 、 $0.79\text{g}/\text{cm}^2$ 和 $0.19\text{g}/\text{cm}^2$ 。根据式 11.2-3，计算得不同材料下屏蔽 β 粒子所需的厚度，计算结果见表 11.2-1。

本项目 ^{89}Sr 单次最大使用量为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日最大操作量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ ； ^{32}P 核素单次最大使用量为 $3.70 \times 10^7 \text{Bq}$ ，日最大操作量为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ ；放射源 ^{90}Sr 单枚源活度为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ 。核素产生的韧致辐射剂量率情况见表 11.2-2。

表 11.2-2 核素产生的韧致辐射剂量率计算结果

序号	关注点		距离 (m)	源强 (Bq)	屏蔽厚度	透射比	辐射剂量率 (μSv/h)	
1-1		东、西、北侧墙外 30cm	1.78	⁸⁹ Sr 9.25×10 ⁸	10mmPb铅罐+240mm实心砖+30mm硫酸钡涂料	1.78E-03	1.23E-04	2.53E-04
				³² P 3.70×10 ⁸		3.45E-03	1.30E-04	
				⁹⁰ Sr 1.85×10 ⁹		2.46E-11	4.29E-13	
1-2		南侧墙外 30cm	1.91	⁸⁹ Sr 9.25×10 ⁸	10mmPb铅罐+240mm实心砖+60mm硫酸钡涂料	8.82E-04	5.30E-05	1.11E-04
				³² P 3.70×10 ⁸		1.77E-03	5.81E-05	
				⁹⁰ Sr 1.85×10 ⁹		8.87E-12	1.34E-13	
1-3	储源室	北侧防护门外 30cm	1.78	⁸⁹ Sr 9.25×10 ⁸	10mmPb铅罐+内衬 8mm铅板	1.60E-02	1.11E-03	2.44E-03
				³² P 3.70×10 ⁸		3.53E-02	1.33E-03	
				⁹⁰ Sr 1.85×10 ⁹		3.05E-15	5.31E-17	
1-4		顶棚正上方 30cm	4.70	⁸⁹ Sr 9.25×10 ⁸	10mmPb铅罐+330mm混凝土+30mm硫酸钡涂料	7.34E-05	7.29E-07	1.64E-06
				³² P 3.70×10 ⁸		1.69E-04	9.15E-07	
				⁹⁰ Sr 1.85×10 ⁹		2.39E-13	5.97E-16	
1-5		楼下距地面 1.7m	5.15	⁸⁹ Sr 9.25×10 ⁸	10mmPb铅罐+180mm混凝土+30mm硫酸钡涂料	1.42E-03	1.17E-05	2.42E-05
				³² P 3.70×10 ⁸		2.78E-03	1.25E-05	
				⁹⁰ Sr 1.85×10 ⁹		1.77E-11	3.68E-14	
2-1		东、西、北侧墙外 30cm	1.88	⁸⁹ Sr 9.25×10 ⁶	20mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料	1.80E-04	1.12E-07	1.83E-05
				³² P 3.70×10 ⁸		5.38E-04	1.82E-05	
				⁹⁰ Sr 1.85×10 ⁹		2.12E-19	3.31E-21	
2-2		南侧墙外 30cm	1.91	⁸⁹ Sr 9.25×10 ⁶	20mmPb 衰变箱+240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料	8.89E-05	5.35E-08	9.14E-06
				³² P 3.70×10 ⁸		2.77E-04	9.09E-06	
				⁹⁰ Sr 1.85×10 ⁹		7.64E-20	1.16E-21	
2-3	污物间 1	北侧防护门外 30cm	1.88	⁸⁹ Sr 9.25×10 ⁶	20mmPb 衰变箱+内衬 8mm 铅板	1.62E-03	1.01E-06	1.87E-04
				³² P 3.70×10 ⁸		5.50E-03	1.86E-04	
				⁹⁰ Sr 1.85×10 ⁹		2.63E-23	4.11E-25	
2-4		顶棚正上方 30cm	4.70	⁸⁹ Sr 9.25×10 ⁶	20mmPb 衰变箱+330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	7.39E-06	7.34E-10	1.44E-07
				³² P 3.70×10 ⁸		2.64E-05	1.43E-07	
				⁹⁰ Sr 1.85×10 ⁹		2.06E-21	5.15E-24	
2-5		楼下距地面 1.7m	5.15	⁸⁹ Sr 9.25×10 ⁶	20mmPb 衰变箱+180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	1.43E-04	1.18E-08	1.97E-06
				³² P 3.70×10 ⁸		4.34E-04	1.96E-06	
				⁹⁰ Sr 1.85×10 ⁹		1.53E-19	3.18E-22	
3-1	分装注	手套箱表 正面操作位	0.5	⁸⁹ Sr 9.25×10 ⁸	10mmPb铅罐+20mmPb手套箱	1.02E-03	8.95E-04	

3-2	射室	面 30cm 处	非正面位	0.5	^{89}Sr 9.25×10^8	10mmPb铅罐+10mmPb手套箱	1.01E-02	8.86E-03
			正面操作位	0.5	^{32}P 3.70×10^8	10mmPb铅罐+10mm有机玻璃手套箱	1.56E-01	7.47E-02
			非正面位	0.5	^{32}P 3.70×10^8	10mmPb铅罐+10mm有机玻璃手套箱	1.56E-01	7.47E-02
3-3		^{89}Sr 注射位		0.5	^{89}Sr 1.85×10^8	注射窗 20mmPb+4mmPb防护套+0.5mmPb铅衣	3.61E-03	6.33E-04
3-4		四侧墙外 30cm		2.00	^{89}Sr 1.85×10^8	240mm实心砖+30mm硫酸钡涂料	1.77E-02	1.94E-04
3-5		西侧防护门外 30cm		4.30	^{89}Sr 1.85×10^8	内衬 6mm铅板	2.52E-01	5.98E-04
3-6		顶棚正上方 30cm		4.70	^{89}Sr 1.85×10^8	330mm混凝土+30mm硫酸钡涂料	7.29E-04	1.45E-06
3-7		楼下距地面 1.7m		5.15	^{89}Sr 1.85×10^8	180mm混凝土+30mm硫酸钡涂料	1.41E-02	2.33E-05
4-1		四侧墙外 30cm		0.92	^{32}P 3.70×10^7	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料	2.21E-02	3.12E-04
				0.92	^{90}Sr 1.85×10^9		2.86E-03	1.87E-04
4-2	西侧防护门外 30cm		1.23	^{32}P 3.70×10^7	内衬 6mm铅板	3.28E-01	2.59E-03	
			1.23	^{90}Sr 1.85×10^9		1.45E-05	5.29E-07	
4-3	东侧防护门外 30cm		2.73	^{32}P 3.70×10^7	内衬 6mm铅板	3.28E-01	5.27E-04	
			2.73	^{90}Sr 1.85×10^9		1.45E-05	1.07E-07	
4-4	顶棚正上方 30cm		4.70	^{32}P 3.70×10^7	330mm混凝土+30mm硫酸钡涂料	1.09E-03	5.90E-07	
			4.70	^{90}Sr 1.85×10^9		2.78E-05	6.95E-08	
4-5	楼下距地面 1.7m		5.15	^{32}P 3.70×10^7	180mm混凝土+30mm硫酸钡涂料	1.79E-02	8.08E-06	
			5.15	^{90}Sr 1.85×10^9		2.05E-03	4.27E-06	
4-6	给药敷贴位		0.5	^{32}P 3.70×10^7	/	1.00E+00	4.79E-02	
			0.5	^{90}Sr 1.85×10^9		1.00E+00	2.21E-01	
5-1	四侧墙外 30cm		0.92	^{32}P 3.70×10^7	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料	2.21E-02	3.12E-04	
			0.92	^{90}Sr 1.85×10^9		2.86E-03	1.87E-04	
5-2	西侧防护门外 30cm		1.23	^{32}P 3.70×10^7	内衬 6mm铅板	3.28E-01	2.59E-03	
			1.23	^{90}Sr 1.85×10^9		1.45E-05	5.29E-07	
5-3	东侧防护门外 30cm		2.73	^{32}P 3.70×10^7	内衬 6mm铅板	3.28E-01	5.27E-04	
			2.73	^{90}Sr 1.85×10^9		1.45E-05	1.07E-07	
5-4	顶棚正上方 30cm		4.70	^{32}P 3.70×10^7	330mm混凝土+30mm硫酸钡涂料	1.09E-03	5.90E-07	
			4.70	^{90}Sr 1.85×10^9		2.78E-05	6.95E-08	
5-5	楼下距地面 1.7m		5.15	^{32}P 3.70×10^7	180mm混凝土+30mm硫酸钡涂料	1.79E-02	8.08E-06	
			5.15	^{90}Sr 1.85×10^9		2.05E-03	4.27E-06	
注：注：①由于无硫酸钡涂料和实心砖的什值层参数，因此硫酸钡涂料和实心砖防护效果根据混凝土按密度进行折算，折算公式为 $d_1/d_2=p_2/p_1$ ，混凝土密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，硫酸钡水泥密度为 $2.79\text{g}/\text{cm}^3$ ，实心砖密度为 $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ ，即 30mm 和 60mm 硫酸钡涂料分别折算为 35.62mm 和 71.23mm 混凝土，240mm 实心砖折算为 168.51mm 混凝土。②各辐射工作场所同样防护措施的保护按最短距离计。								

由表 11.2-2 估算结果可知，本项目核素产生的韧致辐射所致的屏蔽体外周围剂量当量率均小于 2.5 μ Sv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）标准中“实体屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率均小于 2.5 μ Sv/h，控制区内人员居留因子小于 1/2 的场所周围剂量当量率小于 10 μ Sv/h，手套箱和注射窗外表面 30cm 处人员操作位周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h，手套箱表面 30cm 处非正对人员操作位周围剂量当量率小于 25 μ Sv/h”的要求，因此，对周围辐射环境影响较小。

11.2.1.3 γ 射线辐射环境影响分析

辐射工作人员在放射性药物操作区进行相关放射性药物的操作和给患者注射放射性核素，这个过程主要是放射性核素产生的 γ 射线引起的辐射照射。当患者注射了放射性药物之后，患者又成为一个活动的辐射体，其所在的工作场所则要考虑来自患者身体的射线辐射。

(1) 工作场所屏蔽体外剂量率计算公式

核医学科场所屏蔽计算公式参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），辐射剂量率估算见下式。

$$H=10^{-X/TVL} \cdot A \cdot \Gamma / R^2 \dots \dots \dots \text{（式 11.2-5）}$$

式中：

H——屏蔽体外关注点剂量率，单位为 μ Sv/h；

X——屏蔽厚度，单位为 mm；

TVL—— γ 射线的十分之一值层厚度，单位为 mm；

A——单个患者或受检者所用放射源的最大活度，单位为 MBq；

Γ ——距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为 μ Sv \cdot m²/（h \cdot MBq）；

R——参考点与放射源间的距离，m。

表 11.2-3 本项目涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	¹⁸ F	^{99m} Tc	¹³¹ I
铅什值层厚度 mm ($\rho=11.3\text{g}/\text{cm}^3$)	16.6	1	11
混凝土什值层厚度 mm ($\rho=2.35\text{g}/\text{cm}^3$)	176	110	170
砖什值层厚度 mm ($\rho=1.65\text{g}/\text{cm}^3$)	263	160	240
周围剂量当量率常数（裸源） $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	0.143	0.0303	0.0595
患者体外 1m 处的周围剂量当量率 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	0.092	0.0207	0.0583

注：①¹⁸F、^{99m}Tc 和 ¹³¹I TVL 来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表 I.1；
 ②¹⁸F、^{99m}Tc 和 ¹³¹I 周围剂量当量率常数来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表 H.1；
 ③¹⁸F、^{99m}Tc 和 ¹³¹I 患者体外 1m 处的周围剂量当量率来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表 L.1。

居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）附录 A 选取，具体数值见表 11.2-4。

表 11.2-4 不同场所的居留因子一览表

场所	居留因子 (T)		停留位置
	典型值	范围	
全停留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分停留	1/4	1/2-1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然停留	1/16	1/8-1/40	1/8: 各治疗门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场, 车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

(2) 工作场所 γ 射线辐射水平分析及预测

甲状腺吸碘率测定 ^{131}I 用量较小，单个患者最大用量仅为 $5\mu\text{Ci}$ ，对环境影响较小。因此，甲状腺吸碘率测定主要考虑甲测室的辐射影响分析。

1) 储源室

医院根据与患者预约情况向药物供应商订货，由药物供应商将药物放置于铅罐，放射性药物置于铅罐内送至储源室。其中 ^{18}F 使用 50mmPb 铅罐、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 使用 20mmPb 铅罐、 ^{131}I 使用 40mmPb 铅罐，核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 储存源强分别为 $3.70\times 10^{10}\text{Bq}$ 、 $2.78\times 10^{10}\text{Bq}$ 、 $3.70\times 10^9\text{Bq}$ 。

2) 污物间 1 和污物间 2

本项目核医学科为方便固体放射性废物收集，设置 2 间污物间，设有 20mmPb 的废物衰变箱暂存固体放射性废物，本次评价保守按照所有固体放射性废物集中收集至污物间进行预测分析。源强保守按实际日最大操作量 1%转移至废物衰变箱中考虑，即核素源强分别为 $^{18}\text{F}7.40\times 10^7\text{Bq}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}2.78\times 10^8\text{Bq}$ 、 ^{131}I 甲亢 $3.70\times 10^7\text{Bq}$ 。

3) 分装注射室

医护人员给药前，将放射性药物从储源室连同铅罐拿到分装注射室，放置于手套箱内，给药前的相关操作均在手套箱内进行。药物进行分装测活后（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 不开展分装）放入注射器防护套内（其中 ^{131}I 核素放在碘手套箱内的自动分碘仪，通过电脑控制系统远程遥控操作自动分碘仪自动分装药物，患者于服碘室内口服），注射前医护人员在手套箱内（PET/CT 手套箱正面为 50mmPb ，侧面为 30mmPb ；SPECT/CT 手套箱正面为 20mmPb 侧面为 10mmPb ；碘手套箱六面为 40mmPb ）直接拿出带有铅防护套的注射器。分装测

活操作时源强以实际日最大操作量计，即核素源强分别为 $^{18}\text{F}3.70\times 10^{10}\text{Bq}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}2.78\times 10^{10}\text{Bq}$ 、 ^{131}I 甲亢 $3.70\times 10^9\text{Bq}$ 。

给药方式为静脉注射的核素分装测活后放入注射器防护套内，在PET/CT或SPECT/CT注射窗口为患者注射，给药过程源强以单次最大使用量计，即给药操作时源强分别为 $^{18}\text{F}3.70\times 10^8\text{Bq}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}9.25\times 10^8\text{Bq}$ 。

PET/CT诊断患者注射时，药物置于 10mmPb注射器防护套内，工作人员在 40mmPb铅玻璃注射窗后进行，并穿戴有 0.5mmPb铅橡胶围裙。

SPECT/CT诊断患者注射时，药物置于 4mmPb注射器防护套内，工作人员在 20mmPb铅玻璃注射窗后进行，并穿戴有 0.5mmPb铅橡胶围裙。

4) 肺通气室

做肺通气显像的患者需要在肺通气室内的气溶胶雾化器吸入呈雾化的放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，患者吸入药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $9.25\times 10^8\text{Bq}$ ，偏保守的角度仍按单个患者 $9.25\times 10^8\text{Bq}$ 的点源计算。

5) 运动负荷兼抢救室

作为运动室时，存在使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的患者；作为抢救室时，患者在显像诊断和治疗过程中遇到抢救的情况，需及时进入抢救室实施抢救。因此，运动/抢救室可能存在使用各个核素的患者，以照射量常数及什值层厚度最大的核素 ^{18}F 进行估算，故按单个患者 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ 点源计算。抢救过程中工作人员穿着 0.5mmPb当量的铅橡胶围裙，按身体距离患者约 0.5m进行估算。

6) 注射后候诊室、PET/CT机房、SPECT/CT机房和留观室

PET/CT、SPECT/CT显像诊断患者注射完放射性药物后，经患者通道进入对应的候诊室，等候时间一般为 1.5h，随后进入相应机房进行显像和诊断；诊断患者结束检查后经患者通道进入对应的留观室，留观时间一般为 10min，无特殊情况发生则由患者通道离开核医学科。

本项目核医学科拟设置 2 间PET/CT候诊室，PET/CT候诊室 1 设置 2 张候诊座位，座位均匀分布，候诊室设置有 10mmPb的铅防护屏风 1 个；PET/CT候诊室 2 设置 1 张候诊座位。PET/CT每次仅能扫描一个患者，患者注射 ^{18}F 药物后经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $3.70\times 10^8\text{Bq}$ ，偏保守的角度仍按单个患者 $3.70\times 10^8\text{Bq}$ 的点源计算。即PET/CT候诊室 1 等候室核素源强为 $7.40\times 10^8\text{Bq}$ ；PET/CT候诊室 2 等候室核素源强为

$3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

本项目核医学科拟设置 1 间 SPECT/CT 候诊室, SPECT/CT 候诊室设置 5 张候诊座位, 座位均匀分布, 候诊室设置有 4mmPb 的铅防护屏风 4 个。SPECT/CT 每次仅能扫描一个患者, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 扫描患者注射药物经过一段时间的等待, 药物活度已经小于 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$, 保守的角度仍按单个患者 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ 的点源计算。即 SPECT/CT 候诊室核素源强为 $4.625 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

本项目核医学科拟设置 PET/CT 留观室和 SPECT/CT 留观室各一间, 均为单人留观室, 患者扫描后进入留观室短暂留观。即 PET/CT 留观室和 SPECT/CT 留观室核素源强分别为 $^{18}\text{F} 3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc} 9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

摆位过程工作人员穿着 0.5mmPb 当量的铅橡胶围裙, 在防护屏风 (PET/CT 机房为 10mm 铅当量, SPECT/CT 机房 4mm 铅当量) 后进行摆位工作, 按身体距离患者约 1m 进行估算。

7) 甲测室和碘留观室

甲测患者经医护人员指示后进入甲测室进行甲功能测定, 同一时间甲测室内仅存在一名患者, 保守按单个患者 $1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ 计算, 则甲测室核素源强为 $1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ 。

甲亢患者服碘后在医生的语音指导下在碘留观室短暂留观, 同一时间留观室内仅存在一名患者, 保守按单个患者 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ 计算, 则碘留观室核素源强为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

根据式 11.2-5, 拟建核医学科关注点位置见图 11.2-1, 辐射剂量率计算结果见表 11.2-5。

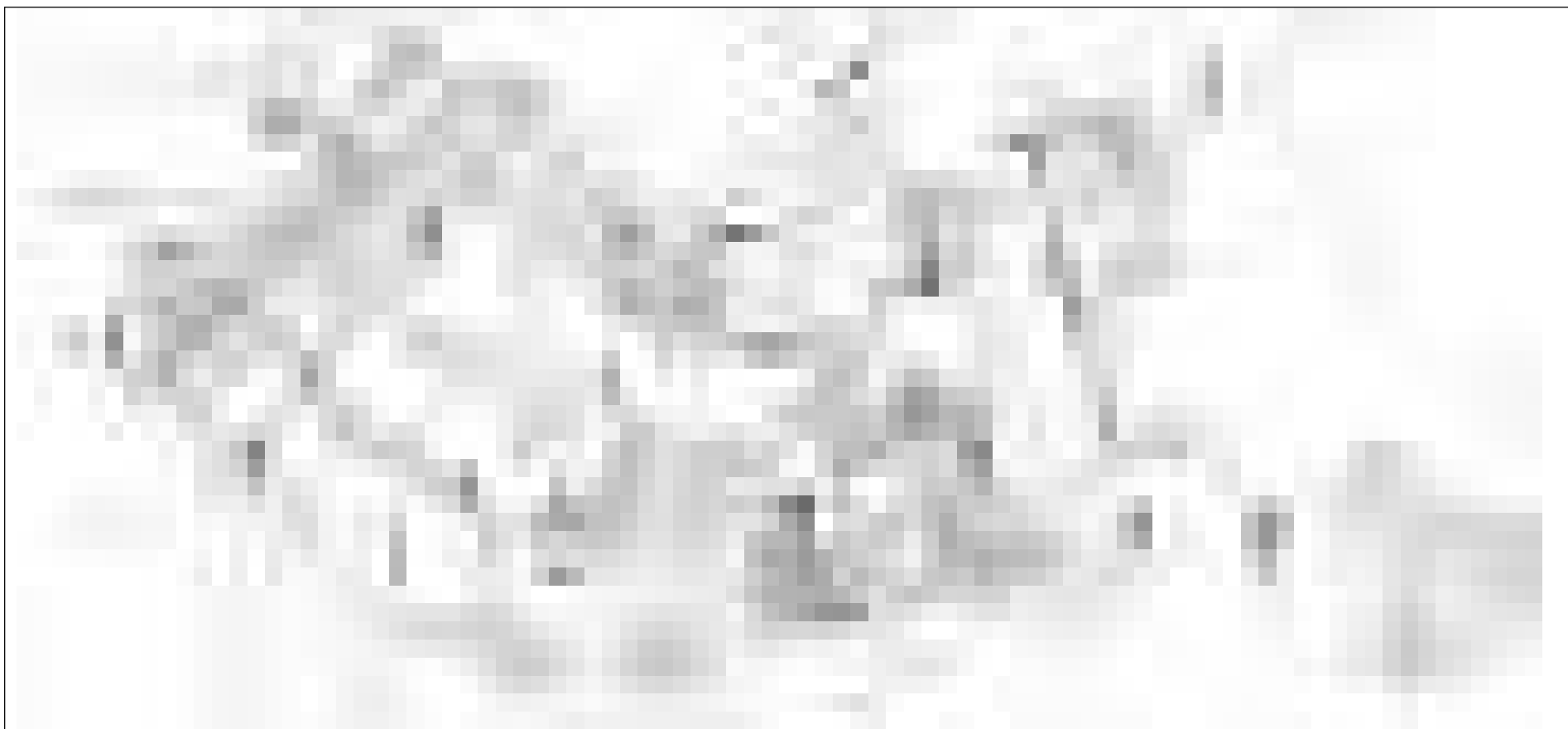


图 11.2-1 核医学科关注点位图

表 11.2-5 核医学科工作场所关注点 γ 辐射剂量率预测结果

序号	关注点		预测条件			屏蔽措施	距离 (m)	预测结果 ($\mu\text{Sv/h}$)		备注
			核素	源强 (Bq)	Γ					
1-1		东、西、北侧墙外 30cm	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.78×10^{10}	0.0303	20mmPb 铅防护罐+240mm 实心砖 +30mm 硫酸钡涂料	1.78	3.99E-20	1.26E-01	源强取日 实际最大 操作量
			^{18}F	3.70×10^{10}	0.143	50mmPb 铅防护罐+240mm 实心砖 +30mm 硫酸钡涂料		1.25E-01		
			^{131}I	3.70×10^9	0.0595	40mmPb 铅防护罐+240mm 实心砖 +30mm 硫酸钡涂料		9.94E-04		
1-2		南侧墙外 30cm	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.78×10^{10}	0.0303	20mmPb 铅防护罐+240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂料	1.91	1.64E-20	6.84E-02	
			^{18}F	3.70×10^{10}	0.143	50mmPb 铅防护罐+240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂料		6.79E-02		
			^{131}I	3.70×10^9	0.0595	40mmPb 铅防护罐+240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂料		5.31E-04		
1-3	储源室 (裸源)	北侧防护门外 30cm	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.78×10^{10}	0.0303	20mmPb 铅防护罐+内衬 8mm 铅板	1.78	2.66E-26	5.39E-01	
			^{18}F	3.70×10^{10}	0.143	50mmPb 铅防护罐+内衬 8mm 铅板		5.36E-01		
			^{131}I	3.70×10^9	0.0595	40mmPb 铅防护罐+内衬 8mm 铅板		3.01E-03		
1-4		顶棚正上方 30cm	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.78×10^{10}	0.0303	20mmPb 铅防护罐+330mm 混凝土 +30mm 硫酸钡涂料	4.70	1.81E-22	1.97E-03	
			^{18}F	3.70×10^{10}	0.143	50mmPb 铅防护罐+330mm 混凝土 +30mm 硫酸钡涂料		1.95E-03		
			^{131}I	3.70×10^9	0.0595	40mmPb 铅防护罐+330mm 混凝土 +30mm 硫酸钡涂料		1.62E-05		
1-5		楼下距地面 1.7m	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.78×10^{10}	0.0303	20mmPb 铅防护罐+180mm 混凝土 +30mm 硫酸钡涂料	5.15	3.49E-21	1.17E-02	
			^{18}F	3.70×10^{10}	0.143	50mmPb 铅防护罐+180mm 混凝土 +30mm 硫酸钡涂料		1.16E-02		
			^{131}I	3.70×10^9	0.0595	40mmPb 铅防护罐+180mm 混凝土 +30mm 硫酸钡涂料		1.04E-04		

2-1	污物间 1 (裸源)	东、西、北侧墙外 30cm	^{99m} Tc	2.78×10 ⁸	0.0303	20mmPb 衰变箱+240mm 实心砖 +30mm 硫酸钡涂料	1.88	3.57E-22	1.49E-02	按不超过 使用量的 1%计
			¹⁸ F	7.40×10 ⁷	0.143			1.43E-02		
			¹³¹ I	3.70×10 ⁷	0.0595			5.84E-04		
2-2		南侧墙外 30cm	^{99m} Tc	2.78×10 ⁸	0.0303	20mmPb 衰变箱+240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂料	1.91	1.64E-22	9.08E-03	
			¹⁸ F	7.40×10 ⁷	0.143			8.73E-03		
			¹³¹ I	3.70×10 ⁷	0.0595			3.49E-04		
2-3		北侧防护门外 30cm	^{99m} Tc	2.78×10 ⁸	0.0303	20mmPb 衰变箱+内衬 8mm 铅板	1.88	2.38E-28	6.35E-02	
			¹⁸ F	7.40×10 ⁷	0.143			6.17E-02		
			¹³¹ I	3.70×10 ⁷	0.0595			1.78E-03		
2-4		顶棚正上方 30cm	^{99m} Tc	2.78×10 ⁸	0.0303	20mmPb 衰变箱+330mm 混凝土 +30mm 硫酸钡涂料	4.70	1.81E-24	2.61E-04	
	¹⁸ F		7.40×10 ⁷	0.143	2.50E-04					
	¹³¹ I		3.70×10 ⁷	0.0595	1.07E-05					
2-5	楼下距地面 1.7m	^{99m} Tc	2.78×10 ⁸	0.0303	20mmPb 衰变箱+180mm 混凝土 +30mm 硫酸钡涂料	5.15	3.49E-23	1.55E-03		
		¹⁸ F	7.40×10 ⁷	0.143			1.48E-03			
		¹³¹ I	3.70×10 ⁷	0.0595			6.80E-05			
2-6	污物间 2 (裸源)	东、南、北侧墙外 30cm	^{99m} Tc	2.78×10 ⁸	0.0303	20mmPb 衰变箱+240mm 实心砖 +30mm 硫酸钡涂料	1.40	6.45E-22	2.70E-02	
			¹⁸ F	7.40×10 ⁷	0.143			2.59E-02		
			¹³¹ I	3.70×10 ⁷	0.0595			1.05E-03		
2-7		西侧墙外 30cm	^{99m} Tc	2.78×10 ⁸	0.0303	20mmPb 衰变箱+360mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂料	2.25	2.11E-23	2.27E-03	
			¹⁸ F	7.40×10 ⁷	0.143			2.19E-03		
			¹³¹ I	3.70×10 ⁷	0.0595			7.96E-05		
2-8		东侧防护门外 30cm	^{99m} Tc	2.78×10 ⁸	0.0303	20mmPb 衰变箱+内衬 8mm 铅板	1.83	2.52E-28	6.70E-02	
			¹⁸ F	7.40×10 ⁷	0.143			6.51E-02		
			¹³¹ I	3.70×10 ⁷	0.0595			1.87E-03		
2-9		顶棚正上方 30cm	^{99m} Tc	2.78×10 ⁸	0.0303	20mmPb 衰变箱+330mm 混凝土 +30mm 硫酸钡涂料	4.70	1.81E-24	2.61E-04	
	¹⁸ F		7.40×10 ⁷	0.143	2.50E-04					
	¹³¹ I		3.70×10 ⁷	0.0595	1.07E-05					
2-10	楼下距地面 1.7m	^{99m} Tc	2.78×10 ⁸	0.0303	20mmPb 衰变箱+180mm 混凝土 +30mm 硫酸钡涂料	5.15	3.49E-23	1.55E-03		
		¹⁸ F	7.40×10 ⁷	0.143			1.48E-03			
		¹³¹ I	3.70×10 ⁷	0.0595			6.80E-05			
3-1	分装注 射室 (裸源)	手套 箱表 面 30c m处	正面操作位	^{99m} Tc	2.78×10 ¹⁰	0.0303	20mmPb 铅罐+20mmPb 手套箱	0.5	3.37E-37	源强取日 实际最大 操作量
非正面位			^{99m} Tc	2.78×10 ¹⁰	0.0303	20mmPb 铅罐+10mmPb 手套箱	3.37E-27			
正面操作位			¹⁸ F	3.70×10 ¹⁰	0.143	50mmPb 铅罐+50mmPb 手套箱	2.00E-02			
非正面位			¹⁸ F	3.70×10 ¹⁰	0.143	50mmPb 铅罐+30mmPb 手套箱	3.22E-01			
正面操作位			¹³¹ I	3.70×10 ⁹	0.0595	40mmPb 铅罐+40mmPb 手套箱	4.70E-05			

3-3		^{99m} Tc 注射位	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0303	注射窗 20mmPb+4mmPb 防护套 +0.5mmPb 铅衣	0.5	3.54E-23		源强取单 次给药最 大量，其 中 ¹³¹ I 取 日实际最 大操作量	
3-10		¹⁸ F 注射位	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.143	注射窗 40mmPb+10mmPb 防护套 +0.5mmPb 铅衣		1.92E-01			
3-4		四侧墙外 30cm	^{99m} Tc	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0303	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料 +4mmPb 防护套	2.00	1.05E-05		2.55E-01
			¹⁸ F	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.143	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料 +10mmPb 防护套		2.54E-01		
			¹³¹ I	¹³¹ I	3.70×10 ⁹	0.0595	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料 +40mmPb 手套箱		7.87E-04		
3-5		西侧防护门外 30cm	^{99m} Tc	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0303	内衬 6mm 铅板+4mmPb 防护套	4.30	1.52E-10		3.13E-01
			¹⁸ F	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.143	内衬 6mm 铅板+10mmPb 防护套		3.12E-01		
			¹³¹ I	¹³¹ I	3.70×10 ⁹	0.0595	内衬 6mm 铅板+40mmPb 手套箱		7.83E-04		
3-6		顶棚正上方 30cm	^{99m} Tc	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0303	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料 +4mmPb 防护套	4.70	6.01E-08		5.03E-03
			¹⁸ F	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.143	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料 +10mmPb 防护套		5.01E-03		
			¹³¹ I	¹³¹ I	3.70×10 ⁹	0.0595	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料 +40mmPb 手套箱		1.62E-05		
3-7		楼下距地面 1.7m	^{99m} Tc	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0303	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料 +4mmPb 防护套	5.15	1.16E-06		2.98E-02
			¹⁸ F	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.143	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料 +10mmPb 防护套		2.97E-02		
	¹³¹ I		¹³¹ I	3.70×10 ⁹	0.0595	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料 +40mmPb 手套箱	1.04E-04				
6-1	肺通气 室（裸 源）	四侧墙外 30cm	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0303	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料	1.27	2.61E-01			
6-2		防护门外 30cm	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0303	内衬 6mm 铅板	1.43	1.37E-05			
6-3		顶棚正上方 30cm	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0303	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	4.70	6.01E-04			
6-4		楼下距地面 1.7m	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0303	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	5.15	1.16E-02			
7-1	运动负 荷兼抢 救室	东、西、北侧墙外 30cm	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.092	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料	1.95	6.87E-01			
7-2		南侧墙外 30cm	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.092	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料	2.95	1.89E-01			
7-3		东侧防护门外 30cm	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.092	内衬 6mm 铅板	2.49	2.39			
源强取单 次给药最 大量											

7-4	(患者)	顶棚正上方 30cm	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.092	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	4.70	1.29E-02	
7-5		楼下距地面 1.7m	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.092	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	5.15	7.65E-02	
7-6		抢救位	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.092	0.5mmPb 铅橡胶围裙	0.5	1.27E+02	
8-1	PET/CT 候诊室 1 (患者)	东、南侧墙外 30cm	¹⁸ F	7.40×10 ⁸	0.092	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料	2.13	1.15	源强取单 次注射最 大量, 按 2 个患者 等待取值
8-2		西侧墙外 30cm	¹⁸ F	7.40×10 ⁸	0.092	360mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料	5.99	4.36E-02	
8-3		北侧墙外 30cm	¹⁸ F	7.40×10 ⁸	0.092	360mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料	2.16	2.45E-01	
8-4		防护门外 30cm	¹⁸ F	7.40×10 ⁸	0.092	内衬 8mm 铅板	2.13	4.95	
8-5		顶棚正上方 30cm	¹⁸ F	7.40×10 ⁸	0.092	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	4.70	2.58E-02	
8-6		楼下距地面 1.7m	¹⁸ F	7.40×10 ⁸	0.092	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	5.15	1.53E-01	
9-1	PET/CT 候诊室 2 (患者)	东、南侧墙外 30cm	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.092	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料	2.10	5.92E-01	源强取单 次注射最 大量, 按 1 个患者 等待取值
9-2		西侧墙外 30cm	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.092	360mm 实心砖+50mm 硫酸钡涂料	2.11	1.51E-01	
9-3		防护门外 30cm	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.092	内衬 8mm 铅板	2.10	2.55	
9-4		顶棚正上方 30cm	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.092	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	4.70	1.29E-02	
9-5		楼下距地面 1.7m	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.092	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	5.15	7.65E-02	
10-1	SPECT/ CT 候诊 室 (患者)	东、南、西侧墙外 30cm	^{99m} Tc	4.625×10 ⁹	0.0207	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料	2.13	3.17E-01	源强取单 次注射最 大量, 按 5 个患者 等待取值
10-2		北侧墙外 30cm	^{99m} Tc	4.625×10 ⁹	0.0207	360mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料	2.16	2.61E-02	
10-3		南侧防护门外 30cm	^{99m} Tc	4.625×10 ⁹	0.0207	内衬 6mm 铅板	2.13	2.11E-05	
10-4		顶棚正上方 30cm	^{99m} Tc	4.625×10 ⁹	0.0207	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	4.70	2.06E-03	
10-5		楼下距地面 1.7m	^{99m} Tc	4.625×10 ⁹	0.0207	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	5.15	3.97E-02	
11-1	PET/CT 机房 (患者)	四侧墙外 30cm	¹⁸ F	3.7×10 ⁸	0.092	360mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料	3.59	7.08E-02	源强取单 次注射最 大量
11-2		南侧防护门外 30cm	¹⁸ F	3.7×10 ⁸	0.092	内衬 8mm 铅板	4.56	5.40E-01	
11-3		南侧观察窗外 30cm	¹⁸ F	3.7×10 ⁸	0.092	8mmPb 铅玻璃	4.56	5.40E-01	
11-4		顶棚正上方 30cm	¹⁸ F	3.7×10 ⁸	0.092	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	4.70	1.29E-02	
11-5		楼下距地面 1.7m	¹⁸ F	3.7×10 ⁸	0.092	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	5.15	7.65E-02	
11-6		PET/CT 摆位处	¹⁸ F	3.7×10 ⁸	0.092	铅防护屏风 10mmPb+铅防护衣 0.5mmPb	0.5	3.17E+01	
12-1	SPECT/ CT 机房 (患者)	四侧墙外 30cm	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0207	360mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料	3.64	3.86E-03	
12-2		南侧防护门外 30cm	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0207	内衬 6mm 铅板	4.56	9.21E-07	
12-3		南侧观察窗外 30cm	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0207	6mmPb 铅玻璃	4.56	9.21E-07	
12-4		顶棚正上方 30cm	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0207	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	4.70	4.11E-04	
12-5		楼下距地面 1.7m	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0207	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	5.15	7.94E-03	

12-6		SPECT/CT 摆位处	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0207	铅防护屏风 4mmPb+铅防护衣 0.5mmPb	0.5	2.42E-03	
13-1	PET/CT 留观室 (患者)	东、南、北侧墙外 30cm	¹⁸ F	3.7×10 ⁸	0.092	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料	2.10	5.92E-01	
13-2		西侧墙外 30cm	¹⁸ F	3.7×10 ⁸	0.092	360mm 实心砖+50mm 硫酸钡涂料	2.24	1.34E-01	
13-3		东侧防护门外 30cm	¹⁸ F	3.7×10 ⁸	0.092	内衬 8mm 铅板	2.10	2.55	
13-4		顶棚正上方 30cm	¹⁸ F	3.7×10 ⁸	0.092	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	4.70	1.29E-02	
13-5		楼下距地面 1.7m	¹⁸ F	3.7×10 ⁸	0.092	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	5.15	7.65E-02	
14-1	SPECT/ CT 留观 室 (患者)	东、南、北侧墙外 30cm	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0207	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料	2.10	6.51E-02	
14-2		西侧墙外 30cm	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0207	360mm 实心砖+50mm 硫酸钡涂料	2.24	6.18E-03	
14-3		东侧防护门外 30cm	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0207	内衬 6mm 铅板	2.10	4.34E-06	
14-4		顶棚正上方 30cm	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0207	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	4.70	4.11E-04	
14-5		楼下距地面 1.7m	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0207	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	5.15	7.94E-03	
15-1	碘留观 室 (患者)	东、南、西侧墙外 30cm	¹³¹ I	3.70×10 ⁸	0.0583	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料	1.86	3.85E-01	
15-2		北侧墙外 30cm	¹³¹ I	3.70×10 ⁸	0.0583	360mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料	2.31	4.89E-02	
15-3		南侧防护门外 30cm	¹³¹ I	3.70×10 ⁸	0.0583	内衬 6mm 铅板	1.92	1.67	
15-4		顶棚正上方 30cm	¹³¹ I	3.70×10 ⁸	0.0583	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	4.70	6.90E-03	
15-5		楼下距地面 1.7m	¹³¹ I	3.70×10 ⁸	0.0583	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	5.15	4.38E-02	
16-1	甲测室 (患者)	四侧墙外 30cm	¹³¹ I	1.85×10 ⁵	0.0583	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料	1.75	2.17E-04	
16-2		东侧防护门外 30cm	¹³¹ I	1.85×10 ⁵	0.0583	内衬 3mm 铅板	1.99	1.45E-03	
16-3		顶棚正上方 30cm	¹³¹ I	1.85×10 ⁵	0.0583	330mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	4.70	3.45E-06	
16-4		楼下距地面 1.7m	¹³¹ I	1.85×10 ⁵	0.0583	180mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料	5.15	2.19E-05	
16-5		护士位	¹³¹ I	1.85×10 ⁵	0.0583	0.5mmPb 铅橡胶围裙	0.5	3.89E-02	
注：①由于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中无硫酸钡涂料的什值层参数，因此硫酸钡涂料防护效果根据混凝土按密度进行折算，折算公式为 $d_1/d_2=\rho_2/\rho_1$ ，混凝土密度为 2.35g/cm ³ ，硫酸钡水泥密度不低于 2.79g/cm ³ ，即 30mm、40mm、50mm 和 60mm 硫酸钡水泥分别折算为 35.62mm、47.49mm、59.36mm 和 71.23mm 混凝土。									

由表 11.2-5 估算结果可知，本项目核医学科实体屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率均小于 2.5 μ Sv/h；控制区内人员居留因子小于 1/2 的场所周围剂量当量率均小于 10 μ Sv/h；手套箱和注射窗外表面 30cm 处人员操作位周围剂量当量率均小于 2.5 μ Sv/h；手套箱表面 30cm 处非正对人员操作位周围剂量当量率小于 25 μ Sv/h。因此，本项目核医学科辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）标准要求，对周围辐射环境影响较小。

实际上，患者在注射或服用药物后的候诊室等待过程中，由于衰变作用导致患者体内核素的活度不断减少，因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

11.2.1.4 X射线辐射环境影响分析

本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 进行 CT 扫描时，场所周围存在 CT 散射与患者释放的 γ 射线的叠加辐射贡献，故单独进行分析。参考西门子厂家 140kV 工况下 CT 周围的剂量率分布曲线，1m 处的杂散辐射为 0.052 μ Gy/mAs（垂直）和 0.051 μ Gy/mAs（水平），CT 扫描通常不超过 300mA，故 1m 处的杂散辐射剂量率最高约 56.16mGy/h，其他型号设备的 CT 散射辐射水平也在相同量级。

本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 机房周围环境辐射剂量率计算结果见表 11.2-6。

表 11.2-6 PET/CT 和 SPECT/CT 机房周围环境辐射剂量率计算结果一览表

机房	关注点	杂散辐射剂量率 mGy/h	有效屏蔽厚度 mmPb	B	靶点距关注点距离 m	辐射剂量率 μ Sv/h
PET/CT 机房	四侧墙体	56.16	4.5	5.29E-06	3.59	2.31E-02
	顶棚		4.5		4.70	1.34E-02
	地坪		3.4	4.31E-09	5.15	1.13E-01
	工作人员防护门外		8.0		4.56	1.16E-05
	患者防护门外		8.0		4.56	1.16E-05
	观察窗外		8.0		4.56	1.16E-05
PET/CT 机房	四侧墙体	56.16	4.5	5.29E-06	3.64	2.24E-02
	顶棚		4.5		4.70	1.34E-02
	地坪		3.4	4.31E-09	5.15	1.13E-01
	工作人员防护门外		6.0		4.56	6.62E-04
	患者防护门外		6.0		4.56	6.62E-04
	观察窗外		6.0		4.56	6.62E-04

根据表 11.2-6 可知，PET/CT 和 SPECT/CT 设备运行所致的泄漏辐射剂量率最大为 1.13 $\times 10^{-1}$ μ Sv/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定的 2.5 μ Sv/h 控制剂量率要求。

根据表 11.2-5 中 PET/CT 机房控制区边界外的 γ 剂量率估算结果最大值（预测点

11-2) 为 $5.40 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$, 叠加 CT 运行所致辐射剂量率后最大值约为 $6.53 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$, 也不超过设定的 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平。

根据表 11.2-5 中 SPECT/CT 机房控制区边界外的 γ 剂量率估算结果最大值 (预测点 12-5) 为 $7.94 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$, 叠加 CT 运行所致辐射剂量率后最大值约为 $1.21 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$, 也不超过设定的 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的剂量率控制水平。

11.2.1.5 PET/CT 配套校准源辐射影响分析

本项目 PET/CT 拟配置 1 枚 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}^{68}\text{Ge}$ 校准源和 1 枚 $5.55 \times 10^7 \text{Bq}^{68}\text{Ge}$ 校准源, 均为 V 类放射源, 贮存在储源室保险柜中。

^{68}Ge 校准时放置于 PET/CT 扫描床, PET/CT 机房均采取足够的辐射屏蔽。职业人员能在较短的时间内完成校准准备操作, 因此 ^{68}Ge 校准源对周围环境的影响和对辐射工作人员造成的年有效剂量可忽略不计。

11.2.1.6 工作人员年有效剂量估算

根据医院提供的资料, 本项目正式开展后, 每年工作 250 天, 每周工作 5 天, 每天工作 8h。核医学科工作场所各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见表 9.2-8。

根据表 11.2-5 预测的各关注点处辐射剂量率, 结合医院预估工作量, 关注点处人员居留因子等参数, 由式 11.2-6 计算即可得到辐射工作人员的年有效剂量, 计算结果见表 11.2-7。关注点人员的有效剂量参考 NCRP (美国国家辐射防护委员会) Report No.151 中外照射有效剂量理论基础, 推导得出本项目人员有效剂量计算公式如下:

$$D_{\text{Eff}} = D_r \times t \times T \times U \dots \dots \dots \text{(式 11.2-6)}$$

式中:

D_{Eff} ——辐射外照射人均年有效剂量, Sv;

D_r ——辐射剂量率, Sv/h;

t ——年工作时间, h;

T ——居留因子;

U ——使用因子, U 取 1。

居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 选取, 具体数值见表 11.2-4。

表 11.2-7 核医学科工作人员个人年有效剂量估算

工作场所	人员	排班情况	操作	关注点位	辐射剂量率(μSv/h)	年工作时间	年有效剂量(mSv)	合计			
分装注射室	护士	2 组轮岗	核素分装、测活和制备	^{99m} Tc	3-1	3.37E-37	62.50h (30s/次×7500 人次)	2.11E-38	0.34 mSv/人		
				¹⁸ F	3-8	2.00E-02	41.67h (30s/次×5000 人次)	8.33E-04			
				¹³¹ I	3-9	4.70E-05	41.67h (30s/次×5000 人次)	1.96E-06			
				⁸⁹ Sr	3-1	8.95E-04	10.42h (30s/次×1250 人次)	9.33E-06			
				³² P	3-2	7.47E-02	208.33h (5min/次×2500 人次)	1.56E-02			
			药物转运	4-6	³² P	4.79E-02	4.17h (1min/次×250 次/年)	2.00E-04			
					⁹⁰ S	2.21E-01	4.17h (1min/次×250 次/年)	9.22E-04			
			核素注射	^{99m} Tc	3-3	3.54E-23	62.50h (30s/次×7500 人次)	2.21E-24			
				¹⁸ F	3-10	1.92E-01	41.67h (30s/次×5000 人次)	8.00E-03			
				⁸⁹ Sr	3-3	6.33E-04	10.42h (30s/次×1250 人次)	6.60E-06			
			I ¹³¹ 自动分装仪操作、指导服碘				3-9	4.70E-05		416.67h (5min/次×5000 人次)	1.96E-05
			运动负荷兼抢救室			抢救	7-6	1.27E+02		5h (每次抢救按30分钟计, 一年不超过10次)	6.35E-01
			甲测室			甲状腺功能测定	16-5	3.89E-02		166.7 (1min/次×4×2500 次)	6.48E-03
敷贴治疗室			敷贴治疗	4-6	³² P	4.79E-02	83.33h (2min/次×2500 人次)	3.99E-03			
					⁹⁰ Sr	2.21E-01	41.67h (2min/次×1250 人次)	9.21E-03			
登记台			预约登记	4-1	3.12E-04	2000(8h/天×250天)	6.24E-04				
PET/CT 机房	技师	2 人轮班	摆位	11-6	3.17E+01	83.3h (1min/次×5000 次)	2.64	1.66 mSv/人			
				11-3	5.40E-01	1250h (15min/次×5000 次)	6.75E-01				
SPECT/CT 机房	技师	2 人轮班	扫描	X 射线辐射	1.16E-05		1875h (15min/次×7500 次)	1.45E-05	7.70E-04 mSv/人		
				12-6	2.42E-03	3.03E-04					
				12-3	9.21E-07		1.73E-06				
				X 射线辐射	6.62E-04		1.24E-03				

根据表 11.2-7 可知：辐射工作人员年有效剂量最大为 1.66mSv，可满足本项目职业人员年剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

11.2.1.7 公众受照剂量估算

根据表 11.2-5 预测的各关注点处辐射剂量率，结合核医学科周围公众情况、关注点处人员居留因子、关注点与预测点的距离等参数，由式 11.2-6 计算即可得到核医学科周围公众的年有效剂量，计算结果见表 11.2-8。

表 11.2-8 核医学科公众人员年有效剂量估算

关注场所	方位	距离 (m)	辐射剂量率 (μSv/h)②	居留因子	受照时间 (h)	年有效剂量 (mSv)	
预处理室公众	东侧	紧邻	4.89E-02 (15-2)	1	2000 (8h/天×250天)	9.78E-02	
走廊公众	东侧	紧邻	1.45E-03 (16-2)	1/5	2000 (8h/天×250天)	5.80E-04	
院内道路公众①	南侧	紧邻	5.48E-02 (1-2)	1/16	2000 (8h/天×250天)	6.85E-03	6.86E-03
	南侧	紧邻	1.11E-04 (1-2)	1/16	2000 (8h/天×250天)	1.39E-05	
出入院办理窗口和更衣休息室公众	西侧	紧邻	6.18E-03 (14-2)	1	2000 (8h/天×250天)	1.24E-02	
走廊公众	西侧	紧邻	1.51E-01 (9-2)	1/5	2000 (8h/天×250天)	6.04E-02	
庭院公众	北侧	紧邻	2.45E-01 (8-3)	1/16	2000 (8h/天×250天)	3.06E-02	
体检中心公众	正上方	紧邻	2.58E-02 (8-5)	1	2000 (8h/天×250天)	5.16E-02	
地下停车场公众	正下方	紧邻	1.53E-01 (8-6)	1/16	2000 (8h/天×250天)	1.91E-02	

注：①院内道路公众年有效剂量考虑韧致辐射剂量率和γ辐射剂量率同时作用影响；②四周关注场所辐射剂量率选取原则为该场所存在计算点位时，选取该点位辐射剂量率计算；无计算点位时，则选取该方位计算点位辐射剂量率最大值进行计算。

由表 11.2-8 可知，核医学科公众年有效剂量最大为 9.78×10^{-2} mSv，满足本项目公众成员年剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

对于核医学科屏蔽物边界外 50m 范围内的其他公众，由于剂量率与距离平方成反比以及评价范围内固有建筑物的屏蔽，随着距离的增加，周围 50m 范围内公众所受年有效剂量更小，因此，也能够满足本项目核医学科周围公众成员年剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

11.2.1.8 核医学科“三废”影响分析

(1) 放射性废气影响分析

本项目核医学科场所共设有7套排风管道。本项目7套排风管道最终在排风井内合并为3根管道（1号和2号管道合并为1根，4号、5号、6号和7号管道合并为1根）分别引至温岭市高端医学中心楼（排放高度约47m）楼顶高出屋脊排放，排放口尽量远离了邻近的高层建筑，排风管设置止回阀，防止气流倒灌，手套箱顶壁和排风口均设活性炭吸附装置。因此，放射性废气对周围环境影响较小。

(2) 放射性废水影响分析

本项目核医学科放射性废水通过专门的管道进行统一收集，并经管道排入温岭市高端医学中心地下二层的衰变池组进行衰变，根据 10.2.1.2 分析，放射性废水可以在衰变池组内暂存 180 天，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中放射性废水暂存要求，暂存至满足衰变要求的放射性废水排入医院污水处理站处理，最终纳入市政污水管网。

放射性废水管道拟采用地埋设置，管道裸露部分外包装 6mmPb 铅皮进行屏蔽防护。本项目衰变池组位于温岭市高端医学中心地下二层，衰变池组上方为广电机房、运营商机房、停车位以及地下停车场道路，为人员居留较短的场所，且衰变池间四侧墙体和顶棚采取混凝土进行屏蔽防护。因此，放射性废水收集管道和衰变池对周围环境影响较小。

综上所述，核医学科场所产生的放射性废水对周围环境影响较小。

(3) 固体放射性废物影响分析

本项目固体放射性废物均暂存在核医学科污物间的衰变箱中，暂存时间满足标准要求后（含核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的固体放射性废物暂存时间超过 30 天；含 ^{131}I 核素的固体放射性废物暂存超过 180 天；含核素 ^{89}Sr 的固体放射性废物暂存时间超过 506 天；含核素 ^{32}P 的固体放射性废物暂存时间超过 143 天），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 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可对废物清洁解控并作为医疗废物处置。PET/CT 更换校准源 ^{68}Ge 和敷贴治疗更换放射源 ^{90}Sr 产生的废旧放射源，根据相关法律法规要求，应返回放射源生产厂家或原出口方，确定无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮。因此，固体放射性废物对周边环境影响较小。

医院应做到：

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

②对所有固体放射性废物采用先收集在各自相关工作场所的铅桶内，再将铅桶内的

固体放射性废物连同专用塑料包装袋，存放至废物间的衰变箱内，集中收储一段时间后（视不同的核素，控制不同的收贮时间，以减少放射性废物的收贮量）再分类处理。受不同核素污染的固体废物分开收储，包装袋、废物桶显著位置要标明废物类型、收贮时间、核素种类及数量等内容，做好台账记录，内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如硬牛皮纸外套）。

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令 第 612 号）的相关规定。

11.2.2 放疗科

11.2.2.1 直线加速器运行时环境影响分析

本项目直线加速器设备配套使用 1 套锥形束 CT (CBCT) 影像引导设备，最大管电压不超过 150kV，用于图像引导定位。CBCT 是近年发展起来的基于大面积非晶硅数字化 X 射线探测板的锥形束 CT，具有体积小，重量轻，开放式架构的特点，可以直接整合到直线加速器上，其设备主要由影像拍摄系统、计算机系统、固定支架和配套软件系统组成。设备机架旋转一周就能获取和重建一个体积范围内的 CT 图像。这个体积内的 CT 影像重建后的三维患者模型可以与治疗计划的患者模型匹配比较并得到治疗床需要调节的参数。平板探测器的读数装置和探测器结合在一起，本身就具有提高空间分辨率的优势，达到比传统的 CT 更高的空间分辨率，密度分辨率也足以分辨软组织结构，可以通过肿瘤本身成像引导放疗。

本项目机房屏蔽体在满足直线加速器（X 射线）屏蔽要求的情况下，完全可以满足对 CBCT 开机产生 X 射线的防护，因此本项目进行评价时，主要进行直线加速器治疗过程中使用 X 射线过程中的环境影响。

(1) 直线加速器技术参数及机房设计情况

本项目新增 1 台直线加速器，位于温岭市高端医学中心地下二层放疗科直线加速器机房。根据医院提供的资料，直线加速器机房四侧墙体、顶棚拟采用标准混凝土（ $\rho=2.35\text{g/cm}^3$ ）浇筑而成，防护门拟采用铅板+含硼聚乙烯制作。直线加速器机房上方为医院道路，下方为岩土层。本项目直线加速器机房设计空间几何尺寸见表 11.2-9。

表 11.2-9 直线加速器机房设计空间几何尺寸

机房	所在部位	净尺寸 (mm)
直线加速器机房	机房南北长度 (不含迷路)	8400
	机房东西宽度	9000
	迷路内入口宽度	2400

	迷路外入口宽度（门洞）	1600
	迷路长度	9100
	迷路宽度	2400
	机房净高	4400

本项目采用最大加载条件进行估算，即直线加速器最高标称能量、常用最大剂量率、最大照射野、最大工作负荷等参数进行，具体参数见表 11.2-10。

表 11.2-10 直线加速器设备参数

参数名称	参数值
能量	最大 X 射线能量：15MV；电子线能量：22MeV
X 射线泄漏率	X 射线：≤0.1%
正常治疗距离	100cm
常用最大剂量率	X 射线能量：10/15MV，距靶 1m 处的最大剂量率 360Gy/h FFF 模式下 X 射线能量：10MV，距靶 1m 处的最大剂量率 1440Gy/h
最大照射野大小	400mm×400mm
机架旋转角度	±180°
等中心高度	1.3m
源轴距（SAD）	1m

（2）工作负荷

本项目直线加速器投入使用后预计每天放射治疗患者最多为 60 人次，平均每名患者治疗照射最大时间为 1.5min，每周工作 5 天，则直线加速器日照射时间为 1.5h，周照射时间为 7.5h，年照射时间为 375h。

（3）关注点选取

关注点选取详见图 11.2-2 与图 11.2-3。

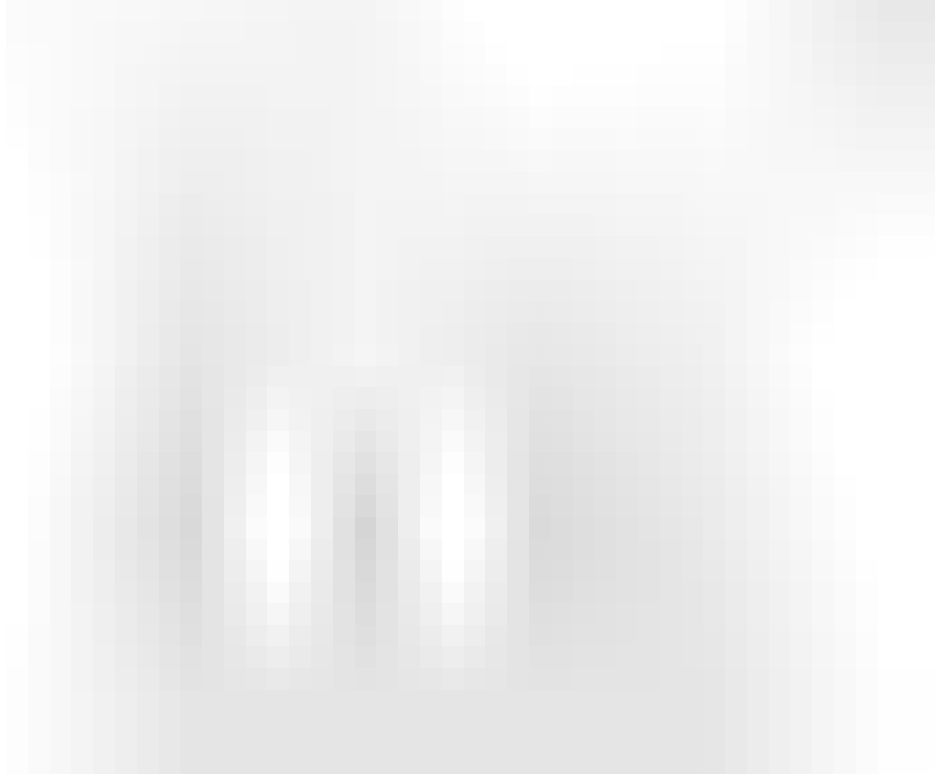


图 11.2-2 直线加速器机房关注点示意图（平面）



图 11.2-3 直线加速器机房关注点示意图（剖面）

（4）屏蔽体外剂量的计算

本项目评价采用《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）及《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/T201.2-2011）中给出的方法计算。

①有用线束主屏蔽区宽度计算

依据《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/T201.2-2011）中相应的计算模式及相关参数。

主屏蔽墙体的宽度计算公式：

$$Y_p=2[(a+SAD) \times \tan\theta+0.3] \dots\dots\dots \text{（式 11.2-7）}$$

式中：

Y_p ——机房有用射线束主屏蔽区的宽度，m；

θ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；射线最大出射角 28° ， θ 取 14° ；

SAD——源轴距，m；（对于医用加速器 SAD=1m）

a——等中心至“墙”的距离；

当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽墙向机房外凸时，“墙”指与主屏蔽区墙（或顶）的外表面。

本项目直线加速器机房需考虑东墙、西墙、顶棚主防护区，计算结果见表 11.2-11。

表 11.2-11 主屏蔽墙体的宽度计算一览表

机房名称	主屏蔽墙位置	a (m)	计算值 (m)	设计值 (m)	评价结果
直线加速器机房	东墙主屏蔽墙宽度（内凸）	4.00	3.09	4.00	满足
	西墙主屏蔽墙宽度（内凸）	5.00	3.59	4.00	满足
	顶棚主屏蔽墙宽度（外凸）	6.10	4.14	4.80	满足

本项目直线加速器机房下方为岩土层，因此，地坪的防护不予考虑，由表 11.2-11 可知，本项目直线加速器机房东侧、西侧和顶部主屏蔽区宽度符合计算要求。

设备厂家和建设单位在进行直线加速器安装时，必须严格按照既定的摆位方式进行安装，即主射束为东侧、西侧、地坪及顶棚，杜绝安装后主射方向超出屏蔽范围的情况出现。

②有用线束主屏蔽区关注点的剂量率估算（关注点：a 点、b 点、I 点）

A、有效屏蔽厚度

当 X 射线束以 θ 角斜入射厚度为 X 的防护材料时，射线束在斜射路径上的防护材料有效 X_e 见下式。

$$X_e = X \sec \theta \dots\dots\dots \text{（式 11.2-8）}$$

式中：

X_e ——防护材料有效厚度，cm；

X—防护材料厚度，cm；

θ—为斜射角（即入射射线与防护材料平面的垂直线之间的夹角）；

B、有效屏蔽厚度的辐射屏蔽透射因子：

$$B = 10^{-(X_e+TVL-TV L_1)/TVL} \dots\dots\dots \text{（式 11.2-9）}$$

式中：

B——辐射屏蔽透射因子；

X_e——有效屏蔽厚度，cm；

TVL₁——第一个十分之一值层厚度，cm；

TVL——平衡十分之一值层厚度，cm。

C、屏蔽体外关注点的剂量率：

引用《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）第5.2.1节对于给定防护材料厚度时，防护墙体外关注点的剂量率计算公式如下。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots \text{（式 11.2-10）}$$

式中：

\dot{H} ——相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率，μSv/h；

\dot{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，μSv·m²/h；

f——比例因子，对有用线束为1，对泄漏辐射为泄漏辐射比率；

R——辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

B——透射因子，无量纲。

表 11.2-12 有用线束主屏蔽外关注点辐射剂量率计算参数及结果

关注点	\dot{H}_0 (μSv·m ² /h)	X _e (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	f	R (m)	\dot{H} (μSv/h)
a 点	3.6×10 ⁸ (15MV)	300	44	41	1	7.80	3.37E-01
O ₂ →a	1.44×10 ⁹ (10MV)	300	41	37	1	7.80	2.37E-01
b 点	3.6×10 ⁸ (15MV)	300	44	41	1	7.80	3.37E-01
O ₁ →a	1.44×10 ⁹ (10MV)	300	41	37	1	7.80	2.37E-01
l 点	3.6×10 ⁸ (15MV)	300	44	41	1	9.45	2.30E-01
O ₃ →l	1.44×10 ⁹ (10MV)	300	41	37	1	9.45	1.61E-01

注：TVL₁和TVL源于《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）表B.1。

③侧屏蔽墙及迷路外墙关注点的剂量率估算（关注点：f点、k点、e点）

本项目直线加速器机房f点、k点和e点主要考虑直线加速器泄漏辐射，泄漏辐射

的辐射剂量估算公式同式 11.2-10，其中泄漏辐射比率 f 为 0.001，计算参数及结果见表 11.2-13。

表 11.2-13 侧屏蔽墙关注点辐射剂量率计算参数及结果

关注点	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	Xe (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	f	R (m)	\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
f 点	3.6×10^8 (15MV)	127+123	36	33	0.001	9.80	1.23E-04
O→f	1.44×10^9 (10MV)	127+123	35	31	0.001	9.80	1.74E-04
k 点	3.6×10^8 (15MV)	158	36	33	0.001	10.35	6.75E-02
O ₂ →l	1.44×10^9 (10MV)	158	35	31	0.001	10.35	1.45E-01
e 点	3.6×10^8 (15MV)	150	36	33	0.001	5.60	4.03E-01
O→l	1.44×10^9 (10MV)	150	35	31	0.001	5.60	8.95E-01

注：本表中Xe有效屏蔽厚度根据CAD图纸测量得知；TVL₁和TVL源于《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）表B.1。

④与主屏蔽相连的次屏蔽墙外及迷路外墙关注点的剂量率估算（关注点：c1 点、c2 点、d1 点、d2 点、m1 及 m2 点）

对于与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区，除了考虑有用线束的泄漏辐射外，还需考虑有用线束水平或向顶部照射时，人体散射辐射穿过次屏蔽区后的剂量影响。

A、患者体表的散射辐射

散射辐射主要考虑患者一次散射辐射的剂量率，利用以下公式计算患者体表的散射辐射在防护实体外关注点的剂量率。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{\text{ph}} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \dots \dots \dots \text{（式 11.2-11）}$$

式中：

\dot{H} —防护实体外关注点的剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

\dot{H}_0 —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R_s —患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

α_{ph} —患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm² 面积上的散射因子；

B—透射因子，无量纲；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²。

次屏蔽墙外关注点的散射辐射剂量率参数及结果见表 11.2-14。

表 11.2-14 次屏蔽墙外及迷路外墙关注点散射辐射剂量率计算参数及结果

关注点	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	Xe (cm)	TVLs (cm)	α_{ph}	F	R_s (m)	$\dot{H}_{\text{散}}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
c1点	3.6×10^8	609	31	3.18×10^{-3}	1600	10.99	8.57E-16

O→c1	(15MV)						
	1.44×10 ⁹ (10MV)	609	28	3.18×10 ⁻³	1600	10.99	2.70E-17
c2点 O→c2	3.6×10 ⁸ (15MV)	288	31	3.18×10 ⁻³	1600	7.78	3.87E-05
	1.44×10 ⁹ (10MV)	288	28	3.18×10 ⁻³	1600	7.78	1.57E-05
d1/d2点 O→d1 O→d2	3.6×10 ⁸ (15MV)	173	31	3.18×10 ⁻³	1600	7.78	1.99E-01
	1.44×10 ⁹ (10MV)	173	28	3.18×10 ⁻³	1600	7.78	2.01E-01
m1/m2点 O→m1 O→m2	3.6×10 ⁸ (15MV)	169	31	3.18×10 ⁻³	1600	9.50	1.79E-01
	1.44×10 ⁹ (10MV)	169	28	3.18×10 ⁻³	1600	9.50	1.87E-01

注：本表中Xe有效屏蔽厚度根据CAD图纸测量得知。

B、泄漏辐射

泄漏辐射的辐射剂量估算公式同式 11.2-10，其中泄漏辐射比率 f 为 0.001。次屏蔽墙外泄漏辐射剂量率计算参数及结果见表 11.2-15。

表 11.2-15 次屏蔽墙外及迷路外墙关注点泄漏辐射剂量率计算参数及结果

关注点	\dot{H}_o ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	Xe (cm)	TVL_1 (cm)	TVL (cm)	f	R (m)	$\dot{H}_{漏}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
c1点 O→c1	3.6×10 ⁸ (15MV)	609	36	33	0.001	10.99	1.29E-15
	1.44×10 ⁹ (10MV)	609	35	31	0.001	10.99	3.64E-16
c2点 O→c2	3.6×10 ⁸ (15MV)	288	36	33	0.001	7.78	1.37E-05
	1.44×10 ⁹ (10MV)	288	35	31	0.001	7.78	1.64E-05
d1/d2点 O→d1 O→d2	3.6×10 ⁸ (15MV)	173	36	33	0.001	7.78	4.19E-02
	1.44×10 ⁹ (10MV)	173	35	31	0.001	7.78	8.40E-02
m1/m2点 O→m1 O→m2	3.6×10 ⁸ (15MV)	169	36	33	0.001	9.50	3.72E-02
	1.44×10 ⁹ (10MV)	169	35	31	0.001	9.50	7.59E-02

注：本表中Xe有效屏蔽厚度根据CAD图纸测量得知；TVL₁和TVL源于《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）表B.1。

与主屏蔽相连的次屏蔽墙外及迷路外墙关注点的剂量率见表 11.2-16。

表 11.2-16 与主屏蔽相连的次屏蔽墙外关注点的剂量率

关注点		$\dot{H}_{散}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$\dot{H}_{漏}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
c1点	15MV	8.57E-16	1.29E-15	2.15E-15
	10MV	2.70E-17	3.64E-16	3.91E-16
c2点	15MV	3.87E-05	1.37E-05	5.24E-05
	10MV	1.57E-05	1.64E-05	3.21E-05
d1/d2点	15MV	1.99E-01	4.19E-02	2.41E-01
	10MV	2.01E-01	8.40E-02	2.85E-01
m1/m2点	15MV	1.79E-01	3.72E-02	2.16E-01
	10MV	1.87E-01	7.59E-02	2.63E-01

⑤防护门外辐射剂量（关注点：g 点）

A、10MV

直线加速器在 10MV 下运行时有用线束不向迷路照射，直线加速器迷路入口处的辐射剂量主要考虑散射辐射和泄漏辐射。

a、泄漏辐射

泄漏辐射的辐射剂量估算公式同式 11.2-10，其中泄漏辐射比率 f 为 0.001。防护门外泄漏辐射剂量率计算参数及结果见表 11.2-17。

表 11.2-17 迷路外口关注点泄漏辐射剂量率计算参数及结果

关注点	\dot{H}_o ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	Xe (cm)	TVL_l (cm)	TVL (cm)	f	R (m)	\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
g点 O ₁ →g	1.44×10^9 (10MV)	153	35	31	0.001	10.00	2.25E-01

注：本表中Xe有效屏蔽厚度根据CAD图纸测量得知；TVL_l和TVL源于《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）表B.1。

b、入口处的散射辐射剂量率 \dot{H}_g

入口处的散射辐射剂量率 \dot{H}_g

按下式计算：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph}\cdot(F/400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2\cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \dots\dots\dots \text{(式 11.2-12)}$$

式中：

\dot{H}_g —g 处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

α_{ph} —患者 400cm² 面积上的散射因子，通常取 45°散射角的值；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²；

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，通常取 i（本项目为 B）处的入射角为 45°，散射角为 0°， α 值见（GBZ/T201.2-2011）附录 B 表 B.6，通常使用其 0.5MeV 栏内的值；

A—i 处（本项目为 B）的散射面积，m²；

R₁—“o-i”（本项目为 o-B）之间的距离，m；

R₂—“i-g”（本项目为 B-P+P-g）之间的距离，m；

\dot{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， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

表 11.2-18 关注点 g 点处的散射辐射剂量率计算参数及结果（10MV）

关注点	\dot{H}_o ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	α_{ph}	α_2	A (m ²)	F (cm ²)	R ₁ (m)	R ₂ (m)	\dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
G O→B →P→g	1.44×10^9 (10MV)	1.35×10^{-3}	2.2×10^{-2}	14.916	1600	7.79	6.80+3.00	437.8

c、防护门外辐射剂量率计算

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

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-\left(\frac{X}{\text{TVL}}\right)} + \dot{H}_{og} \dots\dots\dots \text{(式 11.2-13)}$$

式中:

\dot{H} —防护门外的辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

\dot{H}_g —g 处的散射辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

\dot{H}_{og} —g 处的泄漏辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

X—防护门厚度, mm;

TVL—十分之一值层厚度, cm; 在 g 处散射的辐射能量约 0.2MeV, 铅中的 TVL 为 5mm。

表 11.2-19 防护门外的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	\dot{H}_g ($\mu\text{Sv/h}$)	X (mm)	TVL (mm)	\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv/h}$)	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
g	437.8	20	5	2.25E-01	0.27

B、15MV

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/T201.2-2011) 第 4.3.2.6 要求, 对于 >10MV 的加速器机房, 迷路入口处应估算中子辐射在迷路内产生的散射中子及中子俘获 γ 射线在迷路入口 g 点位置的辐射剂量。此外, 还需要估算加速器的泄漏辐射经过迷路内墙屏蔽后在 g 处的辐射剂量。

a、泄漏辐射

泄漏辐射的辐射剂量估算公式同式 11.2-10, 其中泄漏辐射比率 f 为 0.001。防护门外泄漏辐射剂量率计算参数及结果见表 11.2-20。

表 11.2-20 迷路外口关注点泄漏辐射剂量率计算参数及结果

关注点	\dot{H}_o ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	Xe (cm)	TVL_l (cm)	TVL (cm)	f	R (m)	\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv/h}$)
g点	3.6×10^8 (15MV)	153	36	33	0.001	10.00	1.03E-01

注: 本表中Xe有效屏蔽厚度根据CAD图纸测量得知。

b、散射辐射

(a) 总中子注量 (Φ_B)

图 11.2-2 迷路的中子散射路径为“o-B-P-g”。B 点是从等中心点与迷路内墙端的连

线和迷路长轴中心线之间的交点。在 B 点的总中子注量 Φ_B 按式 11.2-14 计算：

$$\Phi_B = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \dots\dots\dots \text{(式 11.2-14)}$$

式中：

Φ_B —等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量，（中子数/m²）/Gy；

Q_n —等中心处每 1Gy 治疗照射时加速器机头发射出的总中子数，根据 NCRPNO.151 表 B.9（P172~173），本项目型号未定，因此保守取 7.6×10^{11} ；

d_1 —等中心 O 至 B 的距离，m；

S —治疗机房的总内表面积（m²），包括四壁墙、顶面和底面，不包括迷路内各面积。

表 11.2-21 总中子注量

参数	Q_n (中子数/Gy)	d_1 (m)	S (m ²)	Φ_B (中子数/m ²) /Gy)
总中子注量	7.6×10^{11}	7.79	305.82	3.61E+09

(b) 机房入口处中子俘获 γ 射线剂量率 (\dot{H}_γ)

机房内及迷路内的中子与屏蔽物质作用时产生中子俘获 γ 射线，机房入口门外 30cm（g 点）处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率 \dot{H}_γ 按式 11.2-15 计算：

$$\dot{H}_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \cdot \Phi_B \cdot 10^{-d_2/TVD} \cdot \dot{H}_0 \dots\dots\dots \text{(式 11.2-15)}$$

式中：

6.9×10^{-16} —该方法中的经验因子，Sv/（中子数/m²）；

d_2 —B 点至机房入口 g 点的距离，m；本项目为 B-P-g 距离；

TVD—将 γ 辐射剂量减至其十分之一的距离（称为什值距离），对于 15MV 电子直线加速器为 3.9m；

\dot{H}_0 —等中心点处治疗 X 射线剂量率（ μ Gy/h），依据《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）的 4.8.3，屏蔽计算中可视为 μ Sv/h。

各参数选取及估算结果见表 11.2-22。

表 11.2-22 机房入口门外 30cm 处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率

关注点	Φ_B (中子数/m ²) /Gy)	\dot{H}_0 (μ Sv/h)	d_2 (m)	TVD (m)	\dot{H}_γ (μ Sv/h)
g 点	3.61E+09	3.6×10^8 (15MV)	6.80+3.00	3.9	2.75

(c) 机房入口的中子剂量率 (\dot{H}_n)

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm (g 点) 处无防护门时的剂量率 \dot{H}_n 按式 11.2-16 计算:

$$\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \Phi_B \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \cdot \dot{H}_o \dots\dots \text{(式 11.2-16)}$$

式中:

2.4×10^{-15} —该计算方法中的经验因子, Sv/ (中子数/m²) ;

S_0 —迷路内口的面积, $S_0=2.40 \times 4.4=10.56\text{m}^2$;

S_1 —迷路横截面积, $S_1=2.39 \times 4.4=10.52\text{m}^2$;

d_2 —B 点到迷路入口 (g) 的距离, m;

T_n —迷路中能量相对高的中子剂量组分式 (式 11.2-16) 方括号中的第二项衰减至十分之一行径的距离 (m), 称为什值距离。 T_n 是一个经验值, 与迷路横截面积有关, T_n 按下式计算:

$$T_n = 2.06 \sqrt{S_1} \dots\dots\dots \text{(式 11.2-17)}$$

各参数选取及估算结果见表 11.2-23。

表 11.2-23 中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm (g 点) 处无防护门时的剂量率

关注点	Φ_B (中子数/m ²) /Gy	\dot{H}_o (μSv/h)	S_0 (m ²)	S_1 (m ²)	d_2 (m)	T_n (m)	\dot{H}_n (μSv/h)
g 点	3.61E+09	3.6×10^8 (15MV)	10.56	10.52	6.80+3.00	6.68	106.56

(d) 防护门外散射辐射剂量率计算

迷路入口防护门屏蔽设计时, 通常使用中子和中子俘获γ射线屏蔽后有相同的辐射剂量率, 对于中子俘获γ射线, 以铅屏蔽; 对于中子, 以含硼 (5%) 聚乙烯屏蔽; 对于防护门屏蔽厚度 X_γ 和 X_n 已经确定时, 防护门外的辐射剂量率按式 11.2-18 计算:

$$\dot{H} = \dot{H}_\gamma \cdot 10^{-(x_\gamma / TVL_\gamma)} + \dot{H}_n \cdot 10^{-(x_n / TVL_n)} + \dot{H}_{og} \cdot B_{og} \dots\dots\dots \text{(式 11.2-18)}$$

式中:

\dot{H} 、 \dot{H}_γ 、 \dot{H}_n 、 \dot{H}_{og} 意义同前文;

X_γ —防护门铅屏蔽厚度, mm;

X_n —防护门含硼 (5%) 聚乙烯屏蔽厚度, mm;

B_{og} —防护门对 \dot{H}_{og} 的屏蔽透射因子, \dot{H}_{og} 相对防护门入口处的总剂量率较小, 可以忽略 $\dot{H}_{og} \cdot B_{og}$ 项;

TVL_{γ} —中子俘获 γ 射线铅屏蔽中的什值层, cm, 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》(GBZ/T201.2-2011)附录C, 查得 $TVL_{\gamma}=31\text{mm}$;

TVL_n —中子在含硼(5%)聚乙烯屏蔽中的什值层, cm, 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》(GBZ/T201.2-2011)附录C, 查得 $TVL_n=45\text{mm}$;

各参数选取及估算结果见表 11.2-24。

表 11.2-24 机房入口门外 30cm (g 点) 的总辐射剂量率

关注点	\dot{H}_{γ} ($\mu\text{Sv/h}$)	X_{γ} (mm)	TVL_{γ} (mm)	\dot{H}_n ($\mu\text{Sv/h}$)	X_n (mm)	TVL_n (mm)	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
g点	2.75	20	31	106.56	130	45	0.76

⑥直线加速器机房辐射防护评价小结

直线加速器机房周边关注点处辐射剂量率估算结果汇总见表 11.2-25。

表 11.2-25 各关注点剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较

关注点	预测剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子	剂量率参考控制水平值 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否满足控制要求
a 点	3.37E-01	1/2	1.33	满足
b 点	3.37E-01	1/2	1.33	满足
I 点	2.30E-01	1/16	10	满足
f 点	1.74E-04	1	2.5	满足
k 点	1.45E-01	1/16	10	满足
e 点	8.95E-01	1/16	10	满足
c1 点	8.57E-16	1/16	10	满足
c2 点	3.87E-05	1/2	1.33	满足
d1 点	2.01E-01	1/16	10	满足
d2 点	2.01E-01	1/2	1.33	满足
m1/m2 点	1.87E-01	1/16	10	满足
g	0.76	1/8	5.33	满足

注: ①预测剂量率取 15MV 和 10MV 条件下最大值; ②剂量率参考控制水平值源于表 7.3-5。

综上所述, 经理论预测, 本项目直线加速器运行时, 直线加速器机房各屏蔽体外表面 30cm 处辐射剂量率均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 相应的剂量率参考控制水平。

(5) 年有效剂量预测分析

根据各关注点的剂量率对直线加速器机房辐射工作人员及周围的公众人员进行年有效剂量估算。关注点人员的年有效剂量根据式 11.2-6 进行计算。直线加速器辐射工作

人员及公众年有效剂量估算结果见表 11.2-26。

表 11.2-26 直线加速器辐射工作人员及公众年有效剂量估算结果

机房	关注点	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	t (h/a)	U	T	年有效剂 量 (mSv/a)	备注
直 线 加 速 器 机 房	a 点	3.37E-01	375	1	1/2	6.32E-02	公众
	b 点	3.37E-01	375	1	1/2	6.32E-02	公众
	I 点	2.30E-01	375	1	1/16	5.39E-03	公众
	f 点	1.74E-04	375	1	1	6.53E-05	职业
	k 点	1.45E-01	375	1	1/16	3.40E-03	公众
	e 点	8.95E-01	375	1	1/16	2.10E-02	公众
	c1 点	8.57E-16	375	1	1/16	2.01E-17	公众
	c2 点	3.87E-05	375	1	1/2	7.26E-06	公众
	d1 点	2.01E-01	375	1	1/16	4.71E-03	公众
	d2 点	2.01E-01	375	1	1/2	3.77E-02	公众
	m1/m2 点	1.87E-01	375	1	1/16	4.38E-03	公众
	g	0.76	375	1	1/8	3.56E-02	公众

根据表 11.2-26 可知，直线加速器机房辐射工作人员在控制室进行设备操作时的年有效剂量最大值为 $6.53 \times 10^{-5} \text{mSv}$ ，满足辐射工作人员年剂量约束值不超过 5mSv 的要求；直线加速器机房外公众的年有效剂量最大值为 $6.32 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，满足本项目公众成员年有效剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

对于直线加速器机房屏蔽物边界外 50m 范围内的其他公众，由于剂量率与距离平方成反比以及评价范围内固有建筑物的屏蔽，随着距离的增加，周围 50m 范围内公众所受年有效剂量更小，因此，也能够满足本项目直线加速器机房周围公众成员年剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

(6) 电子线和感生放射性的影响分析

本项目直线加速器处于电子束模式下使用初始电子线进行浅层治疗时，会产生电子线。本项目加速器最大 X 射线能量为 15MV ，电子线最大能量为 22MeV ，由于电子束的穿透能力远小于 X 射线，对治疗 X 射线的屏蔽机房完全满足屏蔽电子束的要求。电子束治疗时，平均束流为 nA 量级，X 射线治疗时平均束流为 μA 量级，治疗电子束所产生的韧致辐射远小于 X 射线治疗时的辐射，即使电子能量大于治疗 X 射线的最大能量，对屏蔽电子束的韧致辐射所需要的厚度也低于对于 15MV X 射线的屏蔽要求。

当治疗电子线能量大于 10MeV 时，会产生光核反应，从而产生感生放射性。它主要包括两个方面：1) 加速器结构材料等（主要为加速器靶）的感生放射性；2) 气态感生放射性核素。感生放射性气体产生量较少，且产生的气态感生放射性核素主要为 ^{15}O ， ^{13}N 和 ^{41}Ar ，其半衰期分别为 2.0min ， 10.0min 和 1.82h ，一般在正常通风情况下，感生

放射性气体不会对机房外的环境产生辐射污染。但每次治疗结束后，辐射工作人员需进入机房引导治疗后患者离开并对下一位患者进行摆位。往往由于患者较多，辐射工作人员一般在直线加速器停机后 2min 左右就进入治疗室内，此时大部分感生放射性核素未能充分衰变。本项目按照平均每位患者摆位时间为 30s 考虑，则年总摆位时间为 125h，本项目直线加速器配有 2 名技师，则单名技师的年摆位时间保守按 62.5h 考虑，保守采用《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS674-2020）标准规定限值最大值（距离外壳表面 1m 处 $\leq 20\mu\text{Sv/h}$ ）进行估算，则本项目辐射工作人员在摆位时受到的年有效剂量最大为 1.25mSv，叠加辐射工作人员在控制室进行设备操作时的年有效剂量 $6.53 \times 10^{-5} \text{mSv}$ ，则本项目直线加速器机房辐射工作人员年有效剂量为 1.26mSv 满足辐射工作人员年剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

（7）废靶件对环境的影响分析

对于更换下来的废靶件和退役时拆卸下来的废靶件，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）对废靶件等组件进行监测，若满足《放射性废物分类》豁免与解控要求，可按一般固体废物处置，并做好存档记录；若监测异常，作为固体放射性废物处理，然后委托具有固体放射性废物收贮资质的单位收贮。因此，正常情况下不会对环境造成明显影响。

（8）臭氧和氮氧化物对环境的影响分析

本项目直线加速器开机运行时，产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧（ O_3 ）和氮氧化物（ NO_x ）。氮氧化物的产率约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高，同时国家对空气中臭氧浓度的标准严于氮氧化物。因此，本次评价考虑有害气体的影响时，仅考虑臭氧的影响。

参照《辐射防护手册》（第三分册）（P130），电子加速器运行时臭氧的产生率按下式计算：

$$C_{\text{O}_3} = 3.25 \times \left[\frac{S_{\text{coj}} \times I \times t \times d}{v} \right] \times 10^{-3} \dots\dots \text{（式 11.2-19）}$$

式中：

C_{O_3} ——臭氧生产浓度，ppm；

S_{coj} ——标准状况下电子在空气中的线碰撞阻止本领，其数值与电子能量的关系见《辐射防护手册——第三分册》（李德平、潘自强主编）表 4.20，本项目保守取 3.0keV/cm；

- I ——加速器外电子束流强度，mA；本项目保守取 0.1mA；
- d ——加速器外电子束在空气中所通过的距离，cm；取 100cm；
- t ——辐照时间，s；单人次取 60s；
- v ——加速器机房容积， m^3 ，本项目直线加速器机房容积约为 411 m^3 ；

由上式计算出本项目直线加速器在无通风、臭氧无分解条件下照射一个病人臭氧的浓度为： $C_{O_3}=0.014\text{ppm}$ ，相当于 $0.028\text{mg}/\text{m}^3$ （ O_3 ：1ppm=1.960 mg/m^3 ），能够满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》中臭氧最高允许浓度 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 的要求。

本项目直线加速器机房拟安装有效通风量不小于 2190 m^3/h 的风机进行通风，直线加速器机房有效容积约 411 m^3 ，通风换气次数不小于 5.3 次/h，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）治疗室的通风换气次数应不小于 4 次/小时的要求。因此，可有效的将机房内臭氧和氮氧化物排入大气环境自然分解，对周围环境影响较小。

11.2.2.2 射波刀运行时环境影响分析

本项目射波刀带有定位装置，辐射源由最大管电压 150kV 的 X 射线管产生，对周围环境辐射影响远小于 6MV 的 X 射线，经机房屏蔽后射波刀带有的定位装置不会对周围工作场所辐射工作人员和公众造成额外的辐射照射，因此，本次评价仅考虑射波刀最大 X 射线能量为 6MV 时对关注点的辐射影响。根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）中相关内容，本项目射波刀 X 射线能量为 6MV，小于 10MV，因此不考虑中子和感生放射性的防护问题；射波刀机房屏蔽计算全部按 6MV X 射线工况下的有用束（ $U<0.05$ ）计算。

(1) 射波刀技术参数及机房设计情况

本项目新增 1 台射波刀，位于温岭市高端医学中心地下二层放疗科射波刀机房。根据医院提供的资料，射波刀机房四侧墙体、顶棚拟采用标准混凝土（ $\rho=2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ）浇筑而成，防护门拟采用铅板制作。射波刀机房上方为医院道路，下方为岩土层。本项目射波刀机房设计空间几何尺寸见表 11.2-27。

表 11.2-27 射波刀机房设计空间几何尺寸

机房	所在部位	净尺寸（mm）
射波刀机房	机房南北长度（不含迷路）	7000
	机房东西宽度	7000
	迷路内入口宽度	2100
	迷路外入口宽度（门洞）	1600
	迷路长度	8100

	迷路宽度	2100
	机房净高	4400

本项目采用最大加载条件进行估算，即射波刀最高标称能量、常用最大剂量率、最大照射野、最大工作负荷等参数进行，具体参数见表 11.2-28。

表 11.2-28 射波刀设备参数

参数名称	参数值
最大 X 射线能量	6MV
X 射线泄漏率	≤0.1%
常用最大剂量率	距靶 0.8m 处最大剂量率为 600Gy/h
最大照射野大小	10cm×11.5cm
等中心高度	0.92m
源轴距 (SAD)	0.8m

在进行机房外关注点辐射剂量率水平等估算时，距靶 1m 处最大剂量率 H_0 取值为 $6 \times 10^8 \times 0.8^2 = 3.84 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ 。

(2) 工作负荷

本项目射波刀投入使用后预计每天放射治疗患者最多为 12 人次，平均每名患者治疗照射最大时间为 30min，每周工作 5 天，则射波刀日照射时间为 6h，周照射时间为 30h，年照射时间为 1500h。

(3) 关注点选取

关注点选取详见图 11.2-4 与图 11.2-5。



图 11.2-4 射波刀机房关注点示意图 (平面)



图 11.2-5 射波刀机房关注点示意图（剖面）

（4）屏蔽体外剂量的计算

本项目评价采用《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）及《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/T201.2-2011）中给出的方法计算。

①有用线束关注点的剂量率估算

根据前文式 11.2-8、式 11.2-9 和式 11.2-10 计算，本项目射波刀机房屏蔽外关注点辐射剂量率计算参数及结果见表 11.2-29。

表 11.2-29 有用线束主屏蔽外关注点辐射剂量率计算参数及结果

关注点	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	X_e (cm)	TVL_1 (cm)	TVL (cm)	f	R (m)	\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
a 点	3.84×10^8	300	37	33	1	7.85	6.67E-03
c1 点	3.84×10^8	272	37	33	1	7.91	4.64E-02
c2 点	3.84×10^8	255	37	33	1	7.48	1.70E-01
e 点	3.84×10^8	250	37	33	1	7.1	2.67E-01
b 点	3.84×10^8	250	37	33	1	7.35	2.49E-01
d1 点	3.84×10^8	350	37	33	1	9.94	1.27E-04
k 点	3.84×10^8	221	37	33	1	10.82	8.72E-01
f 点	3.84×10^8	160+159	37	33	1	9.89	1.12E-03
g 点	3.84×10^8	221	37	33	1	10.76	8.82E-01
I 点	3.84×10^8	250	37	33	1	9.63	1.45E-01

注：本表中 X_e 有效屏蔽厚度根据 CAD 图纸测量得知； TVL_1 和 TVL 源于《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）表 B.1。

②防护门外剂量率估算

根据前文式 11.2-12 计算，本项目射波刀机房关注点 g 点处的散射辐射剂量率计算

参数及结果见表 11.2-30。

表 11.2-30 射波刀机房关注点 g 点处的散射辐射剂量率计算参数及结果

关注点	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	a_{ph}	a_2	A (m^2)	F (cm^2)	R_1 (m)	R_2 (m)	\dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
g	3.84×10^8	1.39×10^{-3}	2.2×10^{-2}	14.52	115	7.20	6.99+2.95	9.6

根据前文式 11.2-13 计算，本项目射波刀机房防护门外的辐射剂量率计算参数及结果见表 11.2-31。

表 11.2-31 防护门外的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	\dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	X (mm)	TVL (mm)	\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
g	9.6	10	5	8.82E-01	9.78E-01

注： \dot{H}_{og} 剂量率源于表 11.2-29。

③射波刀机房辐射防护评价小结

射波刀机房周边关注点处辐射剂量率估算结果汇总见表 11.2-32。

表 11.2-32 各关注点剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较

关注点	预测剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	居留因子	剂量率参考控制水平值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	是否满足控制要求
a 点	6.67E-03	1/2	6.67	满足
c1 点	4.64E-02	1/2	6.67	满足
c2 点	1.70E-01	1/2	6.67	满足
e 点	2.67E-01	1/16	10	满足
b 点	2.49E-01	1/16	10	满足
d1 点	1.27E-04	1/20	10	满足
k 点	8.72E-01	1/16	10	满足
f 点	1.12E-03	1	2.5	满足
g 点	9.78E-01	1/8	10	满足
I 点	1.45E-01	1/16	10	满足

注：剂量率参考控制水平值源于表 7.3-5。

综上所述，经理论预测，本项目射波刀运行时，射波刀机房各屏蔽体外表面 30cm 处辐射剂量率均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相应的剂量率参考控制水平。

(5) 年有效剂量预测分析

根据各关注点的剂量率对射波刀机房辐射工作人员及周围的公众人员进行年有效剂量估算。关注点人员的年有效剂量根据式 11.2-6 进行计算。射波刀辐射工作人员及公众年有效剂量估算结果见表 11.2-33。

表 11.2-33 射波刀辐射工作人员及公众年有效剂量估算结果

机房	关注点	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	t (h/a)	U	T	年有效剂量 (mSv/a)	备注
射	a 点	6.67E-03	1500	0.05	1/2	2.50E-04	公众

波 刀 机 房	c1 点	4.64E-02	1500	0.05	1/2	1.74E-03	公众
	c2 点	1.70E-01	1500	0.05	1/2	6.38E-03	公众
	e 点	2.67E-01	1500	0.05	1/16	1.25E-03	公众
	b 点	2.49E-01	1500	0.05	1/16	1.17E-03	公众
	d1 点	1.27E-04	1500	0.05	1/20	4.76E-07	公众
	k 点	8.72E-01	1500	0.05	1/16	4.09E-03	公众
	f 点	1.12E-03	1500	0.05	1	8.40E-05	职业
	g 点	9.78E-01	1500	0.05	1/8	9.17E-03	公众
	I 点	1.45E-01	1500	0.05	1/16	6.80E-04	公众

根据表 11.2-33 可知，射波刀机房工作人员在控制室进行设备操作时的年有效剂量最大值为 $8.40 \times 10^{-5} \text{mSv}$ ，满足辐射工作人员年剂量约束值不超过 5mSv 的要求；射波刀机房外公众的年有效剂量最大值为 $9.17 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，满足本项目公众成员年有效剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

对于射波刀机房屏蔽物边界外 50m 范围内的其他公众，由于剂量率与距离平方成反比以及评价范围内固有建筑物的屏蔽，随着距离的增加，周围 50m 范围内公众所受年有效剂量更小，因此，也能够满足本项目射波刀机房周围公众成员年剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

(6) 废靶件对环境的影响分析

对于更换下来的废靶件和退役时拆卸下来的废靶件，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）对废靶件等组件进行监测，若满足《放射性废物分类》豁免与解控要求，可按一般固体废物处置，并做好存档记录；若监测异常，作为固体放射性废物处理，然后委托具有固体放射性废物收贮资质的单位收贮。因此，正常情况下不会对环境造成明显影响。

(7) 臭氧和氮氧化物对环境的影响分析

本项目射波刀开机运行时，产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧（ O_3 ）和氮氧化物（ NO_x ）。与直线加速器同理，本次评价考虑有害气体的影响时，仅考虑臭氧的影响。

本项目射波刀机房容积约为 324m^3 ，根据式 11.2-19 计算出本项目射波刀在无通风、臭氧无分解条件下照射一个病人臭氧的浓度为： $C_{\text{O}_3} = 0.018 \text{ppm}$ ，相当于 $0.035 \text{mg}/\text{m}^3$ （ O_3 ： $1 \text{ppm} = 1.960 \text{mg}/\text{m}^3$ ），能够满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》中臭氧最高允许浓度 $0.3 \text{mg}/\text{m}^3$ 的要求。

本项目射波刀机房拟安装有效通风量不小于 $2800 \text{m}^3/\text{h}$ 的风机进行通风，射波刀机房有效容积约 324m^3 ，通风换气次数不小于 8.6 次/h，满足《放射治疗辐射安全与防护

要求》(HJ1198-2021)治疗室的通风换气次数应不小于4次/小时的要求。因此,可有效的将机房内臭氧和氮氧化物排入大气环境自然分解,对周围环境影响较小。

11.2.2.3 后装治疗机运行时环境影响分析

本项目后装治疗机机房¹⁹²Ir放射源衰变产生的β射线比γ射线穿透力弱很多,在空气中传播距离很短,经治疗室墙体屏蔽后,对周边环境影响较γ射线可以忽略。因此,本次环境影响分析仅对γ射线进行评价。

(1) 后装治疗机技术参数

本项目新增1台后装治疗机,采用¹⁹²Ir核素为放射源,放射源¹⁹²Ir的主要技术参数见表11.2-34。

表 11.2-34 放射源¹⁹²Ir的技术参数

放射源	活度 (Bq)	γ射线能量均值	空气比释动能率常数 K_r	源距地面高度
¹⁹² Ir	5.55×10^{11}	0.37MeV	$0.111 \mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$	1.0m

注：¹⁹²Ir的空气比释动能率常数来自《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/T201.3-2014)中表C.1。

(2) 工作负荷

后装治疗机预计最大工作量情况：20人(次)/天,100人(次)/每周,5000人(次)/年。新装源(活度 $5.55 \times 10^{11} \text{Bq}$)时,每人次治疗照射时间为5-10min(平均治疗照射时间约6min)。¹⁹²Ir放射源半衰期较短(74.0d),通常4个月左右更换一次放射源,换源前经过约1.5个半衰期,活度将逐渐降低,故每人次治疗时间相应延长,大概需要30-40min。

为了便于估算,本次评价以新装放射源活度计算屏蔽外关注点的周围剂量当量率,出束治疗时间折合为新装放射源的治疗时间,即周治疗照射时间约为10h,年治疗照射时间约500h。

(3) 关注点选取

关注点选取详见图11.2-6与图11.2-7。

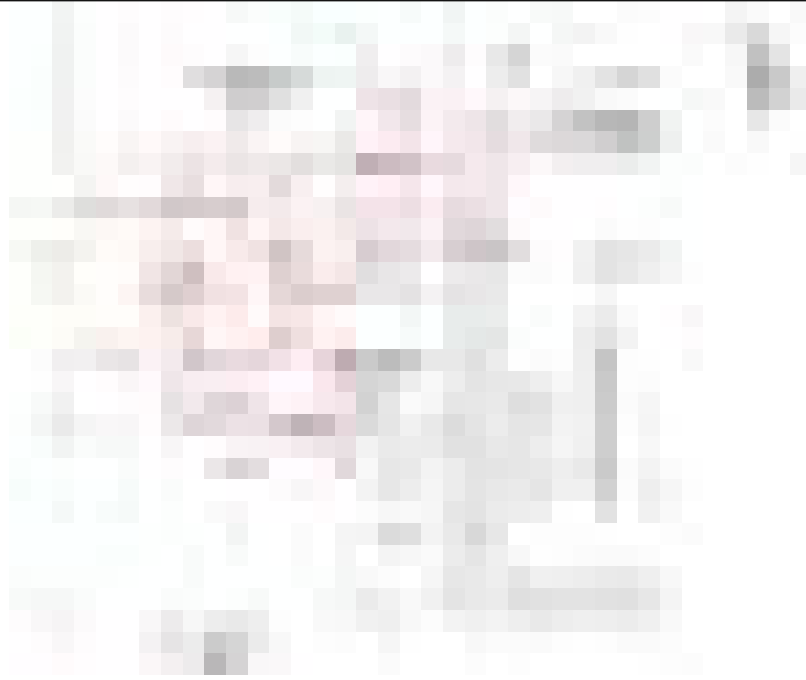


图 11.2-6 后装治疗机机房关注点示意图（平面）



图 11.2-7 后装治疗机机房关注点示意图（剖面）

（4）屏蔽体外剂量的计算

根据拟建后装治疗机的技术参数和治疗机房的设计方案，参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中使用的什值层（TVL）计算方法，预测后装治疗机最大装载放射源活度时，治疗机房外各关注点的辐射剂量率水平。

①初级辐射的影响预测

首先，根据公式 11.2-20 计算，当 γ 射线束以 θ 角斜射入厚度为 X （mm）的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 X_e （mm）。

$$X_e = X \cdot \sec \theta \quad (\text{式 11.2-20})$$

式中：

X ——屏蔽物质厚度，mm；

X_e ——有效屏蔽厚度，mm；

θ ——斜射角，即入射线与物质平面的法线的夹角。

按式 11.2-21 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按式 11.2-22 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} （ $\mu\text{Sv/h}$ ）。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (\text{式 11.2-21})$$

式中：

B ——辐射屏蔽透射因子；

X_e ——有效屏蔽厚度，mm；

TVL ——辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度，单位为毫米（mm）；

TVL_1 ——辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度，单位为毫米（mm）；

参照《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/T201.3-2014）附录 C 表 C.1， ^{192}Ir 产生的 γ 射线在密度为 2.35g/cm^3 的标准混凝土中的什值层厚度， $TVL=TVL_1=152\text{mm}$ ；在密度为 11.34g/cm^3 的铅中的什值层厚度， $TVL_1=TVL=16\text{mm}$ 。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{式 11.2-22})$$

式中：

\dot{H}_0 ——活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率，单位为微希每时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

f ——对有用线束为 1 ；

R ——辐射源（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）；

B ——屏蔽物质的辐射屏蔽透射因子。

其中 \dot{H}_0 按式 11.2-23 计算。

$$\dot{H}_0 = A \cdot K_\gamma \quad (\text{式 11.2-23})$$

式中：

A——放射源的活度，单位为兆贝可（MBq）；本项目为 $5.55 \times 10^5 \text{MBq}$ 。

K_γ ——放射源的空气比释动能率常数，单位为 $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）附录 C 表 C.1， ^{192}Ir 空气比释动能率常数 K_γ 为 $0.111 \mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ 。

根据公式 11.2-23 可计算 $\dot{H}_0 = 5.55 \times 10^5 \times 0.111 = 6.16 \times 10^4 \mu\text{Sv/h}$ 。

根据公式 11.2-20 至公式 11.2-22 计算，本项目后装治疗机机房屏蔽外关注点辐射剂量率计算参数及结果见表 11.2-35。

表 11.2-35 后装治疗机关注点初级辐射剂量率预测结果

关注点	点位描述	辐射类型	屏蔽墙混凝土厚度 (mm)	距离 R (m)	B	TVL ₁ /TVL (mm)	预测值 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
a 点	北墙外 30cm 处，即 CT 模拟定位机房控制室	初级	800	2.08	5.46E-06	152	7.77E-02
e 点	东墙外 30cm 处，即直线加速器机房	初级	1500	2.79	1.35E-10	152	1.07E-06
b 点	南侧墙外 30cm 处，即停车位	初级	800	4.40	5.46E-06	152	1.74E-02
f 点	西侧墙外 30cm 处，即控制室	初级	600+800	4.90	6.16E-10	152	1.58E-06
g 点	防护门外 30cm 处	初级	663	5.41	4.35E-05	152	9.16E-02
I 点	顶棚外 30cm 处，即地下停车场道路	初级	900	4.30	1.20E-06	152	4.00E-03

注：关注点 g 的屏蔽厚度直接从 CAD 图中量出。

② 散射辐射的影响预测

治疗机房入口（迷路口）的辐射主要来自经迷路多次反射的散射辐射。根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中对后装治疗机机房迷路口散射辐射屏蔽计算方法，迷路入口处的散射辐射剂量率 \dot{H}_g 采用公式 11.2-24 计算，计算参数和结果见表 11.2-36。

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_r \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (\text{式 11.2-24})$$

式中：

A ——放射源的活度，单位为兆贝可（MBq）；

K_γ ——放射源的空气比释动能率常数，单位为 $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）附录C表C.1， ^{192}Ir 空气比释动能率常数 K_γ 为 $0.111\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。

S_w ——迷路内口墙的散射面积，其为放射源和机房入口共同可见的墙区面积，单位为平方米（ m^2 ）；本项目为 $2.79\text{m}\times 4.10\text{m}=11.439\text{m}^2$ 。

α_w ——散射体的散射因子，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）附录C表C.4， α_w 取 3.39×10^{-2} ；

R_1 ——放射源至散射体中心点的距离，单位为米（m）；

R_2 ——散射体中心点至计算点的距离，单位为米（m）；

表 11.2-36 迷路口 γ 射线散射辐射计算参数及结果

参数	A (MBq)	K_γ $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	S_w (m^2)	α_w	R_1 (m)	R_2 (m)	\dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
数值	5.55×10^5	0.111	11.439	3.39×10^{-2}	4.27	5.60+2.19	21.59

防护门外关注点的辐射剂量率按下式计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-\left(\frac{X}{\text{TVL}}\right)} + \dot{H}_{og} \quad (\text{式 } 11.2-25)$$

式中：

X ——屏蔽体厚度，mm；本项目为10mm；

\dot{H}_g ——防护门入口处的g处的散射辐射剂量率，单位为 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，由表11.2-36可知为 $21.59\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

TVL ——辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度，单位为毫米（mm），TVL值取5mm。

\dot{H}_{og} ——图11.2-6中 O_1 位置穿越迷路内墙的泄漏辐射在g处的辐射剂量率，单位为 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，由表11.2-35可知为 $9.16\text{E}-02\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

表 11.2-37 防护门外的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	\dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	X (mm)	TVL (mm)	\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
g	21.59	10	5	9.16E-02	3.08E-01

③后装治疗机机房辐射防护评价小结

后装治疗机机房周边关注点处辐射剂量率估算结果汇总见表11.2-38。

表 11.2-38 各关注点剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较

关注点	预测剂量率（ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	居留因子	剂量率参考控制水平值（ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	是否满足控制要求
a点	7.77E-02	1	0.5	满足

e 点	1.07E-06	1/2	1	满足
b 点	1.74E-02	1/16	8	满足
f 点	1.58E-06	1	2.5	满足
g 点	3.08E-01	1/8	4	满足
I 点	4.00E-03	1/16	8	满足

注：剂量率参考控制水平值源于表 7.3-5。

综上所述，经理论预测，本项目后装治疗机运行时，后装治疗机机房各屏蔽体外表面 30cm 处辐射剂量率均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相应的剂量率参考控制水平。

（5）年有效剂量预测分析

根据各关注点的剂量率对后装治疗机机房辐射工作人员及周围的公众人员进行年有效剂量估算。关注点人员的年有效剂量根据式 11.2-6 进行计算。后装治疗机辐射工作人员及公众年有效剂量估算结果见表 11.2-39。

表 11.2-39 后装治疗机辐射工作人员及公众年有效剂量估算结果

机房	关注点	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	t (h/a)	U	T	年有效剂量 (mSv/a)	备注
后装治疗机机房	a 点	7.77E-02	500	1	1	3.89E-02	公众
	e 点	1.07E-06	500	1	1/2	2.68E-07	公众
	b 点	1.74E-02	500	1	1/16	5.44E-04	公众
	f 点	1.58E-06	500	1	1	7.90E-07	职业
	g 点	3.08E-01	500	1	1/8	1.93E-02	公众
	I 点	4.00E-03	500	1	1/16	1.25E-04	公众

根据表 11.2-39 可知，后装治疗机机房工作人员在控制室进行设备操作时的年有效剂量最大值为 $7.90 \times 10^{-7} \text{mSv}$ ，满足辐射工作人员年剂量约束值不超过 5mSv 的要求；后装治疗机机房外公众的年有效剂量最大值为 $3.89 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，满足本项目公众成员年有效剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

由于辐射工作人员需要进入后装机治疗室内协助患者进行摆位，在摆位过程中会受到放射源的照射。辐射工作人员进入治疗室之前，必须确保放射源处于后装机的工作储源器中，并佩戴个人剂量报警仪进入机房。辐射工作人员协助患者摆位时在治疗室内的停留时间按 2min 计，与工作储源器的平均距离按 1m 考虑。根据厂家提供的资料，工作贮源器内装载最大容许活度即 $5.55 \times 10^{11} \text{Bq}$ 时，距离贮源器表面 1m 处的球面上，任何一点的泄漏辐射的空气比释动能率不大于 $5 \mu\text{Gy/h}$ 。以该剂量率值作为辐射工作人员摆位工作的最大辐射剂量率，则辐射工作人员全年摆位过程所受的个人剂量：

$$H=5\mu\text{Gy/h}\times 2\text{min}\times 1/60\div 1000\times 20\text{人/天}\times 250\text{d/a}=0.84\text{mSv/a}。$$

因此，摆位过程对辐射工作人员的影响较大，辐射工作人员应熟悉摆位流程，在满足治疗质量要求的前提下，尽量减少治疗室内停留时间。本项目辐射工作人员叠加控制室内受照剂量和摆位时受照剂量后，辐射工作人员年有效剂量最大估算值为 0.85mSv。仍满足辐射工作人员年剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

对于后装治疗机机房屏蔽物边界外 50m 范围内的其他公众，由于剂量率与距离平方成反比以及评价范围内固有建筑物的屏蔽，随着距离的增加，周围 50m 范围内公众所受年有效剂量更小，因此，也能够满足本项目后装治疗机机房周围公众成员年剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

(6) 废铅蓄电池对环境的影响分析

后装治疗机配套使用 UPS 电源，该 UPS 电源采用铅蓄电池供电，会产生废铅蓄电池，其更换周期约 5 年一次，根据《国家危险废物名录》（2025 年版），属于危险废物，危废代码为 HW31，900-052-31，更换下的废铅蓄电池不暂存，直接交由有资质单位处置。因此，正常情况下不会对环境造成明显影响。

(6) 废 ^{192}Ir 放射源对环境的影响分析

本项目废 ^{192}Ir 放射源根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第三十八条规定，将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方。因此，正常情况下不会对环境造成明显影响。

(7) 臭氧和氮氧化物对环境的影响分析

本项目后装治疗机开机运行时，产生的 γ 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧 (O_3) 和氮氧化物 (NO_x)。与直线加速器同理，本次评价考虑有害气体的影响时，仅考虑臭氧的影响。

参照《辐射防护手册（第三分册）》P52-53， γ 辐照室空气中臭氧的产额按下式计算：

$$Q_0=6.33\times 10^{-4}AGV^{1/3}\dots\dots\text{（式 11.2-26）}$$

式中：

Q_0 —臭氧的辐射化学产额，mg/h；

A—放射源的活度，Ci，本项目 ^{192}Ir 放射源总活度为 15Ci；

G—空气每吸收 100eV 辐射能量所产生的臭氧分子数，本项目取 6；

V—治疗室体积， m^3 ，本项目后装机治疗机机房容积约为 186m^3 ；

由此计算后装机治疗室臭氧的产额为 0.33mg/h。

室内臭氧浓度由下式计算：

$$C=Q_0 \times T_v / V \cdots \cdots \text{ (式 11.2-27)}$$

式中：

C—室内臭氧浓度，mg/m³；

T_v—臭氧有效清除时间，h，计算公式见式 11.2-28，即 T_v取 0.11h；

V—治疗室内空间体积 m³，本项目后装机治疗机机房容积约为 186m³；

$$T_v = t_v \times t_a / (t_v + t_a) \cdots \cdots \text{ (式 11.2-28)}$$

式中：

t_v—换气一次所需时间，h，后装机治疗机机房换气频率为 7.6 次/h，则换气一次需时约为 0.132h

t_a—臭氧分解时间，h，此处取 50min，即 0.83h。

由上式计算后装治疗机机房内臭氧的浓度为 1.99×10⁻⁴mg/m³，能够满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》中臭氧最高允许浓度 0.3mg/m³ 的要求。

本项目后装治疗机机房拟安装有效通风量不小于 1430m³/h 的风机进行通风，机房有效容积约 186m³，通风换气次数不小于 7.6 次/h，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）治疗室的通风换气次数应不小于 4 次/小时的要求。因此，可有效的将机房内臭氧和氮氧化物排入大气环境自然分解，对周围环境影响较小。

11.2.2.4CT 模拟定位机运行时环境影响分析

本项目 CT 模拟定位机进行 CT 扫描时，场所周围存在 CT 散射与患者释放的γ射线的叠加辐射贡献，故单独进行分析。参考西门子厂家 140kV 工况下 CT 周围的剂量率分布曲线，1m 处的杂散辐射为 0.052μGy/mAs（垂直）和 0.051μGy/mAs（水平），CT 扫描通常不超过 300mA，故 1m 处的杂散辐射剂量率最高约 56.16mGy/h。其他型号设备的 CT 散射辐射水平也在相同量级。

本项目 CT 模拟定位机机房周围环境辐射剂量率及年有效剂量计算结果见 11.2-40。

表 11.2-40 CT 模拟定位机机房周围环境辐射剂量率及年有效剂量计算结果

机房	关注点	杂散辐射剂量率 mGy/h	有效屏蔽厚度 mmPb	B	靶点距关注点距离 m	辐射剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	T	年工作时间	年有效剂量 mSv/a
CT 模拟定位机机房	东侧墙体	56.16	4.0	1.50 E-05	4.48	4.20E-02	1	2000h	8.40E-02
	北侧墙体		4.0		3.19	8.28E-02	1/5	2000h	3.31E-02
	顶棚		3.0	1.28 E-04	3.80	4.98E-01	1/16	2000h	6.23E-02
	防护门		5.0	1.89 E-06	4.48	5.29E-03	1	2000h	1.06E-02
	观察窗		5.0		4.48	5.29E-03	1	2000h	1.06E-02

根据表 11.2-40 可知，CT 模拟定位机设备运行所致的泄漏辐射剂量率最大为 $4.98 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定的 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求；CT 模拟定位机机房工作人员在控制室进行设备操作时的年有效剂量最大值为 $8.40 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，满足辐射工作人员年剂量约束值不超过 5mSv 的要求；CT 模拟定位机机房外公众的年有效剂量最大值为 $6.23 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，满足本项目公众成员年有效剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

对于 CT 模拟定位机机房屏蔽物边界外 50m 范围内的其他公众，由于剂量率与距离平方成反比以及评价范围内固有建筑物的屏蔽，随着距离的增加，周围 50m 范围内公众所受年有效剂量更小，因此，也能够满足本项目；CT 模拟定位机机房周围公众成员年剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

11.2.3.5 放疗科各机房叠加影响分析

根据本项目放疗科直线加速器机房、射波刀机房、后装治疗机机房以及 CT 模拟定位机机房平面布局，本次评价考虑各机房对辐射工作人员以及公众的叠加影响，辐射工作人员及公众年有效剂量叠加估算结果见表 11.2-41。

表 11.2-41 辐射工作人员及公众年有效剂量叠加估算结果

位置描述	选取关注点位		叠加年有效剂量 (mSv/a)	年剂量约束值 (mSv)
	关注点	年有效剂量 (mSv/a)		
CT 模拟定位机房控制室辐射工作人员	直线加速器机房 k 点	3.40E-03	5.29E-02	5
	后装治疗机机房 a 点	3.89E-02		
	CT 模拟定位机机房观察窗	1.06E-02		
直线加速器机房控制室辐射工作人员	直线加速器机房 f 点	6.53E-05	6.45E-03	5
	射波刀机房 c2 点	6.38E-03		

射波刀机房控制室辐射工作人员	射波刀机房 f 点	8.40E-05	6.33E-02	5
	直线加速器机房 a 点	6.32E-02		
直线加速器和射波刀机房南侧地下停车场道路公众	直线加速器机房 e 点	2.10E-02	2.23E-02	0.1
	射波刀机房 e 点	1.25E-03		
直线加速器和射波刀机房防护门外公众	直线加速器机房 g 点	3.56E-02	4.48E-02	0.1
	射波刀机房 g 点	9.17E-03		
直线加速器和射波刀机房上方室外地面道路公众	直线加速器机房 I 点	5.39E-03	6.07E-03	0.1
	射波刀机房 I 点	6.80E-04		
后装治疗机机房南侧停车位公众	直线加速器机房 b 点	6.32E-02	6.37E-02	0.1
	后装治疗机机房 b 点	5.44E-04		

根据表 11.2-41 可知,放疗科各机房对周围辐射工作人员以及公众的叠加影响较小,仍能满足辐射工作人员年剂量约束值不超过 5mSv 和公众成员年有效剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

11.2.4 介入科

11.2.4.1 DSA 运行时环境影响分析

DSA 设备在手术中分为透视和摄影两种模式。DSA 摄影模式是指 DSA 的 X 射线系统曝光时,工作人员位于操作间,即为隔室操作方式。DSA 透视模式是指在透视条件下,医护人员近台同室进行介入操作。本次评价分别对摄影、透视两种工况下机房周围的辐射水平进行了预测。

在介入手术过程中,机头有用线束直接照向患者,根据《Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities》(NCRP147 号出版物)第 4.1.6 节指出,在血管造影术中将使用图像增强器,可阻挡主射线,初级辐射的强度会大幅度地被患者、影像接收器和支撑影像接收器的结构减弱,因此,DSA 屏蔽估算时可不考虑主束照射。因此,本次评价重点考虑泄漏辐射和散射辐射对周围环境的辐射影响。

(1) DSA 技术参数及机房设计情况

本项目新增 1 台 DSA, DSA 射线装置额定参数最大管电压 125kV,最大管电流 1250mA,型号未定。根据 DSA 设备的工作原理,设备在正常工况时,项目 DSA 设备参数无法同时达到最大管电压 125kV,最大管电流 1250mA,正常工况时,不同手术类型和不同患者身体状况都会影响管电压和管电流的参数,实际使用时管电压通常在 90kV 以下,透视管电流通常为十几毫安,摄影时功率较大,管电流通常为几百毫安。根据目前一些医院的实际值统计,摄影模式下,普遍情况下 DSA 设备的管电压和管电

流为 60~100kV/300~500mA；透视模式下管电压和管电流为 60~90kV/5~15mA，本环评拟进行保守估算，采用摄影工况下的设备参数：管电压 100kV，管电流 500mA；透视工况下的设备参数：管电压 90kV，管电流 15mA。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），介入设备等效总滤过不小于 2.5mmAl，项目购置正规生产厂家生产的设备，滤过参数满足标准要求，本次计算总滤过取 2.5mmAl 保守读数，根据摄影工况下的设备参数：管电压 100kV，管电流 500mA，透视模式下的设备参数：管电压 90kV，管电流 15mA。根据《辐射防护手册》（第三分册）P58 图 3.1（见图 11.2-8），可以查得摄影模式下距靶 1m 处空气中的空气比释动能率为 0.090mGy/mAs，透视模式下距靶 1m 处空气中的空气比释动能率为 0.075mGy/mAs。

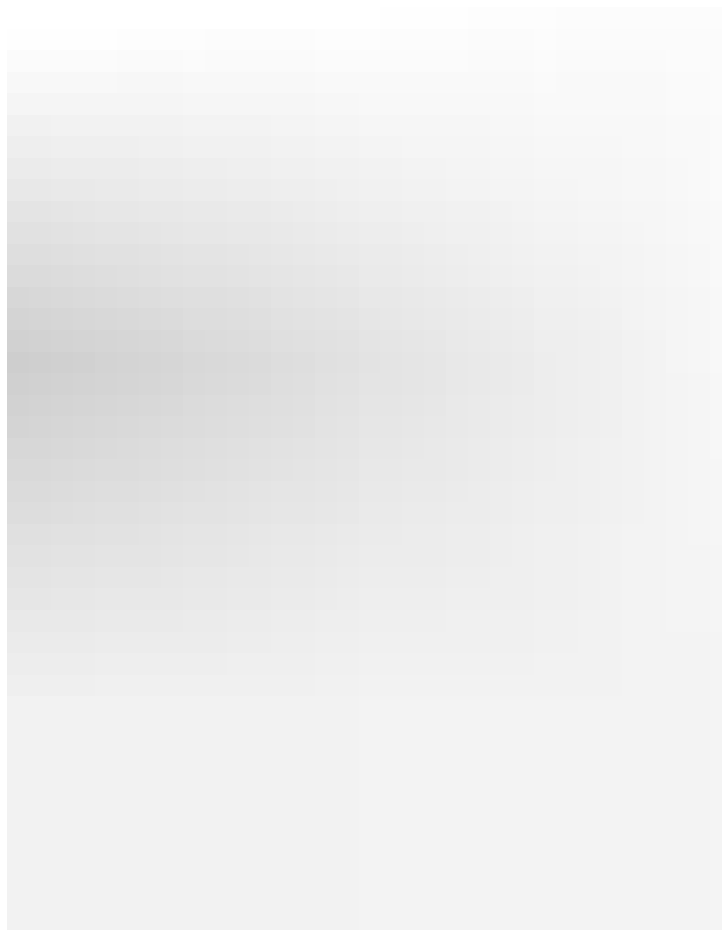


图 11.2-8 距 X 射线源 1m 处的照射量率随管电压及总滤过厚度变化的情况

根据《辐射防护导论》射线装置距靶 1m 处的空气比释动能率，按公式 11.2-29 计算：

$$\dots\dots\dots \text{（式 11.2-29）}$$

式中：

—离靶 r (m) 处由 X 射线机产生的初级 X 射线束造成的空气比释动能率, mGy/min;

I ——管电流 (mA) ;

—管电流为 1mA, 距靶 1m 处的发射率常数, mGy/(mA·s);

$r_0=1\text{m}$;

r ——源至关注点的距离, m。

表 11.2-42 DSA 不同运行模式下距靶 1m 处空气比释动能率一览表

设备	运行模式	过滤材料厚度	距靶 1m 处的空气比释动能 (mGy/mA·s)	最大常用电压 (kV)	最大常用电流 (mA)	距靶 1m 处的空气比释动能率 ($\mu\text{Gy/h}$)
DSA	摄影	2.5mmAl	0.09	100	500	1.62×10^8
	透视	2.5mmAl	0.075	90	15	4.05×10^6

(2) 工作负荷

本项目 DSA 工作负荷见表 9.2-14。

(3) 关注点选取

本项目 DSA 未确定设备型号, 无法确定准确的球管位置, 结合机房情况, 保守按照如下情况进行理论预测计算: 在机房中心设置 $2.5\text{m} \times 0.8\text{m}$ 较大规格手术床, X 射线球管距地面 0.4m, 患者距地面 1.1m, 关注点选取机房门外 30cm 处、墙外 30cm 处、观察窗外 30cm 处、顶棚上方距顶棚地面 1m 处和地面楼下距楼下地面 1.7m 处。关注点示意图见图 11.2-9, DSA 机房关注点位情况见表 11.2-43。

表 11.2-43 DSA 机房关注点位情况表

关注点位		方位	与散射体(患者体表)的距离 (m)	与辐射源点(靶点)的距离 (m)
DSA 机房	1#: 机房东侧观察窗外 30cm 处 (控制区)	东侧	4.05	4.05
	2#: 机房南侧墙外 30cm 处 (走廊)	南侧	3.88	3.88
	3#: 机房南侧防护门外 30cm 处 (走廊)	南侧	3.88	3.88
	4#: 机房楼上 1m 处 (走廊和办公室)	上方	5.00	5.70
	5#: 机房楼下距地 1.7m 处 (走廊、CT 机房 VIP 等候室以及 DR 机房和控制室)	下方	3.90	3.20
	6#: 第一术者位 (手术医生位铅衣外)	机房内	0.5	0.6
	7#: 第一术者位 (手术医生位铅衣内)	机房内	0.5	0.6
	8#: 第二术者位 (铅衣外)	机房内	0.9	1.0
	9#: 第二术者位 (铅衣内)	机房内	0.9	1.0



*注：DSA 机房只有 1 扇观察窗，取观察窗外 30cm 处的 1#进行计算；机房各侧墙体的防护屏蔽相同，取距离最短的 2#作为墙外剂量率代表点进行计算；机房的各个防护门防护屏蔽相同，取距离最短的 3#作为防护门外剂量率代表点进行计算。

图 11.2-9 DSA 机房关注点示意图

(4) 泄漏辐射的影响预测

参考国际放射防护委员会第 33 号出版物《医用外照射源的辐射防护》：“(77) 用于诊断目的的每一个X射线管必须封闭在管套内，以使得位于该套管内的X射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1m处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1mGy/h”。

根据《辐射防护手册》第一分册（李德平、潘自强主编，原子能出版社，1987 年），计算公式如公式 11.2-30 所示：

$$H_L = \frac{H_0 \cdot B}{d^2} \dots\dots\dots \text{(式 11.2-30)}$$

式中：

H_L —预测点处的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

H_0 ——距靶 1m处的泄漏辐射在空气中的比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ，项目取 1mGy/h；

d ——靶点距关注点的距离，m；第一术者位身体取 0.6m，第二术者位身体取 1.0m。

B ——屏蔽透射因子。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）计算屏蔽透射因子，公式如下：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \dots\dots\dots \text{(式 11.2-31)}$$

式中：

B——给定铅厚度的屏蔽透射因子；

α ——铅对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数；

β ——铅对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数；

γ ——铅对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数；

X——铅厚度；

铅、混凝土、铁对不同管电压X射线辐射衰减的有关的三个拟合参数见表 11.2-44。

表 11.2-44 不同材料对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的三个拟合参数一览表

管电压 (kv)	材料	α	β	γ
90	铅	3.067	18.83	0.7726
	混凝土	0.04228	0.1137	0.469
	砖	0.0375	0.082	0.892
100 (主束)	铅	2.500	15.28	0.7557
	混凝土	0.03925	0.08567	0.4273
	砖	0.0352	0.088	1.149
100 (散射)	铅	2.507	15.33	0.9124
	混凝土	0.0395	0.0844	0.5191

注：拟合参数均取自《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。

DSA 机房各预测点泄漏辐射剂量率计算参数及结果见表 11.2-45。

表 11.2-45 DSA 机房各预测点的泄漏辐射剂量率计算参数及结果

工作模式	关注点位	H ₀ (μSv/h)	屏蔽材料及厚度	靶点距关注点距离 (m)	B	辐射剂量率 (μSv/h)
摄影	1#: 机房东侧观察窗外 30cm 处 (控制区)	1.0×10 ³	4mmPb 铅玻璃	4.05	3.39E-06	2.07E-04
	2#: 机房南侧墙外 30cm 处 (走廊)	1.0×10 ³	4.0mm 铅板	3.88	3.39E-06	2.25E-04
	3#: 机房南侧防护门外 30cm 处 (走廊)	1.0×10 ³	内衬 4.0mm 铅板	3.88	3.39E-06	2.25E-04
	4#: 机房楼上 1m 处 (走廊和办公室)	1.0×10 ³	150mm 混凝土+3mm 铅板	5.70	8.74E-09	2.69E-07
	5#: 机房楼下距地 1.7m 处 (走廊、CT 机房 VIP 等候室以及 DR 机房和控制室)	1.0×10 ³	130mm 混凝土+3mm 铅板	3.20	2.02E-08	1.97E-06
透视	1#: 机房东侧观察窗外 30cm 处 (控制区)	1.0×10 ³	4mmPb 铅玻璃	4.05	3.69E-07	2.25E-05
	2#: 机房南侧墙外 30cm 处 (走廊)	1.0×10 ³	4.0mm 铅板	3.88	3.69E-07	2.45E-05
	3#: 机房南侧防护门外 30cm 处 (走廊)	1.0×10 ³	内衬 4.0mm 铅板	3.88	3.69E-07	2.45E-05
	4#: 机房楼上 1m 处 (走廊和办公室)	1.0×10 ³	150mm 混凝土+3mm 铅板	5.70	9.36E-10	2.88E-08
	5#: 机房楼下距地 1.7m 处 (走廊、CT 机房 VIP 等候室以及 DR 机房和控制室)	1.0×10 ³	130mm 混凝土+3mm 铅板	3.20	2.27E-09	2.22E-07
	6#: 第一术者位 (手术医生位铅衣外)	1.0×10 ³	0.5mmPb 床侧防护帘	0.6	2.52E-02	70.00
	7#: 第一术者位 (手术医生位铅衣内)	1.0×10 ³	0.5mmPb 床侧防护帘+0.5mmPb 铅衣	0.6	4.08E-03	11.33
	8#: 第二术者位 (铅衣外)	1.0×10 ³	0.5mmPb 床侧防护帘	1.0	2.52E-02	25.20
	9#: 第二术者位 (铅衣内)	1.0×10 ³	0.5mmPb 铅衣+0.5mmPb 防护帘	1.0	4.08E-03	4.08

(5) 患者体表散射辐射环境影响分析

对于患者体表的散射的X射线可以采用反照射率法估算，引用李德平、潘自强主编的《辐射防护手册》第一分册——《辐射源与屏蔽》（[M]北京：原子能出版社，1987）。可按以下公式进行估算。

$$H_s = \frac{H_0 \cdot \alpha \cdot B \cdot s}{(d_0 \cdot d_s)^2} \dots\dots\dots \text{(式 11.2-32)}$$

式中：

H_s——关注点处的患者散射辐射剂量率，μSv/h；

H_0 ——距靶点 1m 处的最大剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

α ——患者对 X 射线的散射比, $\alpha=a/400$ 查《辐射防护手册 第一分册》P437 表 10.1 得 100kV X 射线 $a=0.0013$ (90° 散射);

S——散射面积, 取 100cm^2 ;

d_0 ——源与患者的距离, m; 取 0.7m;

d_s ——患者散射点与关注点的距离, m; 第一术者位身体取 0.5m, 第二术者位身体取 0.9m;

B——屏蔽透射因子。

表 11.2-46 DSA 机房各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果

工作模式	关注点位	H_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	屏蔽材料及厚度	S (cm^2)	d_0 (m)	d_s (m)	B	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
摄影	1#: 机房东侧观察窗外 30cm 处 (控制区)	1.62×10^8	4mmPb 铅玻璃	100	0.7	4.05	5.14×10^{-6}	3.37×10^{-2}
	2#: 机房南侧墙外 30cm 处 (走廊)	1.62×10^8	4.0mm 铅板	100	0.7	3.88	5.14×10^{-6}	3.67×10^{-2}
	3#: 机房南侧防护门外 30cm 处 (走廊)	1.62×10^8	内衬 4.0mm 铅板	100	0.7	3.88	5.14×10^{-6}	3.67×10^{-2}
	4#: 机房楼上 1m 处 (走廊和办公室)	1.62×10^8	150mm 混凝土+3mm 铅板	100	0.7	5.00	1.98×10^{-8}	8.51×10^{-5}
	5#: 机房楼下距地 1.7m 处 (走廊、CT 机房 VIP 等候室以及 DR 机房和控制室)	1.62×10^8	130mm 混凝土+3mm 铅板	100	0.7	3.90	4.51×10^{-8}	3.19×10^{-4}
透视	1#: 机房东侧观察窗外 30cm 处 (控制区)	4.05×10^6	4mmPb 铅玻璃	100	0.7	4.05	3.69×10^{-7}	6.04×10^{-5}
	2#: 机房南侧墙外 30cm 处 (走廊)	4.05×10^6	4.0mm 铅板	100	0.7	3.88	3.69×10^{-7}	6.58×10^{-5}
	3#: 机房南侧防护门外 30cm 处 (走廊)	4.05×10^6	内衬 4.0mm 铅板	100	0.7	3.88	3.69×10^{-7}	6.58×10^{-5}
	4#: 机房楼上 1m 处 (走廊和办公室)	4.05×10^6	150mm 混凝土+3mm 铅板	100	0.7	5.00	9.36×10^{-10}	1.01×10^{-7}
	5#: 机房楼下距地 1.7m 处 (走廊、CT 机房 VIP 等候室以及 DR 机房和控制室)	4.05×10^6	130mm 混凝土+3mm 铅板	100	0.7	3.90	2.27×10^{-9}	4.01×10^{-7}
	6#: 第一术者位 (手术医生位铅衣外)	4.05×10^6	0.5mmPb 床侧防护帘	100	0.7	0.5	2.52×10^{-2}	270.77
	7#: 第一术者位 (手术医生位铅衣内)	4.05×10^6	0.5mmPb 床侧防护帘+0.5mmPb 铅衣	100	0.7	0.5	4.08×10^{-3}	43.84
	8#: 第二术者位 (铅衣外)	4.05×10^6	0.5mmPb 床侧防护帘	100	0.7	0.9	2.52×10^{-2}	83.57
	9#: 第二术者位 (铅衣内)	4.05×10^6	0.5mmPb 铅衣+0.5mmPb 防护帘	100	0.7	0.9	4.08×10^{-3}	13.53

(6) 预测结果及评价

DSA机房各预测点总辐射剂量率结果见表 11.2-47。

表 11.2-47 DSA 机房各预测点总辐射剂量率

工作场所	工作模式	关注点位置描述	泄漏辐射剂量率 (μSv/h)	散射辐射剂量率 (μSv/h)	总辐射剂量率 (μSv/h)
DSA 机房	摄影	1#: 机房东侧观察窗外 30cm 处 (控制区)	2.07E-04	3.37E-02	3.39E-02
		2#: 机房南侧墙外 30cm 处 (走廊)	2.25E-04	3.67E-02	3.69E-02
		3#: 机房南侧防护门外 30cm 处 (走廊)	2.25E-04	3.67E-02	3.69E-02
		4#: 机房楼上 1m 处 (走廊和办公室)	2.69E-07	8.51E-05	8.54E-05
		5#: 机房楼下距地 1.7m 处 (走廊、CT 机房 VIP 等候室以及 DR 机房和控制室)	1.97E-06	3.19E-04	3.21E-04
	透视	1#: 机房东侧观察窗外 30cm 处 (控制区)	2.25E-05	6.04E-05	8.29E-05
		2#: 机房南侧墙外 30cm 处 (走廊)	2.45E-05	6.58E-05	9.03E-05
		3#: 机房南侧防护门外 30cm 处 (走廊)	2.45E-05	6.58E-05	9.03E-05
		4#: 机房楼上 1m 处 (走廊和办公室)	2.88E-08	1.01E-07	1.30E-07
		5#: 机房楼下距地 1.7m 处 (走廊、CT 机房 VIP 等候室以及 DR 机房和控制室)	2.22E-07	4.01E-07	6.23E-07
		6#: 第一术者位 (手术医生位铅衣外)	70.00	270.77	340.77
		7#: 第一术者位 (手术医生位铅衣内)	11.33	43.84	55.17
		8#: 第二术者位 (铅衣外)	25.20	83.57	108.77
		9#: 第二术者位 (铅衣内)	4.08	13.53	17.61

由表 11.2-47 计算结果可知：本项目 DSA 在摄影模式下，控制室操作位的辐射剂量率最大值为 $3.39 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，机房外周围关注点的辐射剂量率最大值为 $3.69 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ；在透视模式下，控制室操作位的辐射剂量率最大值为 $8.29 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h}$ ，机房周围关注点的辐射剂量率最大值为 $9.03 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h}$ 。

综上所述，本项目 DSA 在正常运行情况下，机房各屏蔽体外辐射剂量率在透视模式下不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，在摄影模式下不大于 $25 \mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中对“具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；具有短时、高剂量率曝光的摄影程序机房外的周围剂量当量率应不大于 $25 \mu\text{Sv/h}$ 。”的要求。

(7) 年有效剂量预测分析

① 辐射工作人员年有效剂量

根据医院预计最大工作量保守假设，DSA每年的最大手术量为 800 台。本项目 DSA 最大运行工况和工作负荷见表 9.2-14。

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）对于工作人员穿戴铅围裙的情况，按照以下公式进行估算有效剂量：

$$E_{\text{外}} = \alpha H_U + \beta H_O \quad (\text{式 11.2-33})$$

$E_{\text{外}}$ ——有效剂量 E 中的外照射分量，单位为 mSv；

α ——系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.84，本项目取 0.79；

β ——系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.100，本项目取 0.051；

H_U ——铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_P(10)$ ，本项目取理论计算的医生铅衣内的年剂量，单位为 mSv；

H_O ——铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 $H_P(10)$ ，本项目采取理论计算医生铅衣外的年剂量，单位为 mSv。

职业人员居留因子均取 1，根据式 11.2-6 和式 11.2-33 进行计算，辐射工作人员年有效剂量估算结果见表 11.2-48。

表 11.2-48 辐射工作人员年有效剂量估算结果一览表

工作人员	操作方式	工作时间 (h)	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		居留因子	年有效剂量 (mSv)	剂量约束值 (mSv)
			第一术者位 (铅围裙外)	第一术者位 (铅围裙内)			
医生	同室	66.67	第一术者位 (铅围裙外)	340.77	1	4.06	5
			第一术者位 (铅围裙内)	55.17			
	隔室	3.33	机房外最大值	3.39E-02			
护士	同室	66.67	第二术者位 (铅围裙外)	108.77	1	1.30	5
			第二术者位 (铅围裙内)	17.61			
	隔室	3.33	机房外最大值	3.39E-02			
技师	隔室	140	观察窗外	3.39E-02	1	4.7E-03	5

根据表 11.2-48 可知，本项目辐射工作人员年有效剂量最大值为 4.06mSv，能够满足辐射工作人员年剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

本项目设备型号未定，设备运行时的 X 射线辐射剂量率保守按最小固有滤过 2.5mmAl 进行计算，未考虑附加滤过材料的影响，因此估算结果是偏保守的。DSA 射线装置在固有滤过材料的基础上，均配备有 Al、Cu 等附加滤过材料，实际运行过程中，辐射工作人员只要严格按照操作规程规范使用设备、正确使用防护用品和设施，正常情况下辐射工作人员实际年有效剂量值将小于上述保守预测结果。

②公众年有效剂量

根据 DSA 机房周围公众的可到达性及停留时间对公众的年受照剂量进行分析。公众年有效剂量按照式 11.2-6 计算，根据表 11.2-47，公众年有效剂量保守考虑，关注点剂量率分别取摄影模式和透视模式下机房周围关注点的辐射剂量率最大值 $3.69 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ 和 $9.03 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h}$ 。公众年有效剂量计算结果见下表 11.2-49。

表 11.2-49 公众年有效剂量一览表

场所	位置描述	相对机房方位	透视模式辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年出束时间 (h)	摄影模式辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年出束时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv)
DSA 机房	换床间公众	东侧	9.03×10^{-5}	266.67	3.69×10^{-2}	13.33	1	5.16E-04
	走廊公众	南侧	9.03×10^{-5}	266.67	3.69×10^{-2}	13.33	1/5	1.03E-04
	设备间和医疗废物暂存间公众	西侧	9.03×10^{-5}	266.67	3.69×10^{-2}	13.33	1/16	3.22E-05
	走廊公众	北侧	9.03×10^{-5}	266.67	3.69×10^{-2}	13.33	1/5	1.03E-04
	走廊和办公室公众	正上方	9.03×10^{-5}	266.67	3.69×10^{-2}	13.33	1	5.16E-04
	走廊、CT 机房 VIP 等候室以及 DR 机房和控制室公众	正下方	9.03×10^{-5}	266.67	3.69×10^{-2}	13.33	1	5.16E-04

由表 11.2-49 可知：本项目 DSA 在正常运行时，DSA 机房周围公众受照的最大年有效剂量为 $5.16 \times 10^{-4} \text{mSv}$ ，满足本项目公众受照的年有效剂量不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求。

对于 DSA 机房屏蔽物边界外 50m 范围内的其他公众，由于剂量率与距离平方成反比以及评价范围内固有建筑物的屏蔽，随着距离的增加，周围 50m 范围内公众所受年有效剂量更小，能够满足本项目 DSA 机房周围公众受照的年有效剂量不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求。

③DR 机房叠加影响分析

本项目 DSA 机房下方区域为 DR 机房，本次评价考虑 DR 机房对 DSA 机房辐射工作人员的叠加影响，由于各厂商 DR 的最大管电压均未超过 150kV ，本次评价参考院内综合楼一号楼 DR 机房（最大管电压： 150kV ；最大管电流： 1000mA ；型号：DRX-Compass）对周围环境的影响，根据 DR 机房年度场所监测报告（报告编号：BG-GACF24235743H）可知，DR 运行时，机房屏蔽体外表面 30cm 处辐射剂量率最大值为 $0.164 \mu\text{Sv/h}$ ，本次评价保守以 DR2000h 出束进行估算，则 DR 机房对 DSA 机房辐射工作人员受照的年有效

剂量为 0.328mSv，叠加 DSA 机房辐射工作人员年有效剂量 4.06mSv，则辐射工作人员年有效剂量为 4.39mSv，能够满足辐射工作人员年剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

(8) 运营期臭氧和氮氧化物影响分析

本项目 DSA 在曝光过程中，会产生少量臭氧和氮氧化物，DSA 机房设置动力通风装置，产生的臭氧和氮氧化物最终从楼顶排放。臭氧和氮氧化物排入大气环境后，经自然分解，对周围环境影响较小。

11.3 事故影响分析

11.3.1 环境风险评价的目的

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

11.3.2 事故等级分析

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，辐射事故从重到轻分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，其中一般辐射事故是指IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。管理不当本项目可能会发生以上两种事故，事故等级分别为一般辐射事故。

11.3.3 核医学科工作场所

11.3.3.1 可能发生的事故

主要考虑电离辐射损伤和药物失控对环境的影响。

①PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房门灯联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房，对人员造成误照射。

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

③由于未锁好核医学科进出口的大门、取用药物或校准后未及时锁好防护门以及保险柜等药物保管工作不到位等情况致使放射性药物和校准源丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

④敷贴治疗结束后，患者意外携带敷贴器离开，致使公众和周围环境造成辐射污染。

⑤医院未管理好给药后患者，患者给药后随意进出核医学科区域，对周边候诊公众及家属造成辐射影响；患者家属误入核医学科注射后候诊区等高活区，造成意外照射。

11.3.3.2 应急处置措施

发生事故时，采取的应急处理措施如下：

①由于操作不慎，有少量的液体药物溅洒。发生这种事故应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后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沿向中心擦抹，直到擦干污染区。最后用表面沾污仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到解控标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。若大量放射性物质撒漏，医院应立即封锁相关场所，并向上级有关部门报告，等待专业人员前来处理。事故处理结束后，使用表面污染检测仪器对撒漏放射性液体的区域进行表面污染监测，符合国家相关标准后，结束应急状态。事后及时总结经验，形成纸质报告并存档。处理药物撒漏的擦拭物收集放到固体放射性废物衰变箱中，作为固体放射性废物进行管理。

②因不慎造成放射性核素污染了地面或台面时，应先用吸收滤纸将其吸干，以防扩散，并立即标记污染范围，注明放射性核素名称、日期。根据污染程度及时报告上级领导和有关部门。人体溅污放射性核素时，应先用吸水纸吸干体表，避免污染面积扩大。之后根据不同核素分别去污。

③若发生放射性药物丢失、被盗，事故发生者应立即报告医院辐射事故应急指挥领导小组，保护现场。领导小组立即启动本单位辐射事故应急预案，疏散现场无关人员，设置警戒区及警示标志，第一时间将事故情况通报生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门等，在2小时内填写《辐射事故初始报告单》；分析确定丢失、被盗事故的具体时间及原因，向相关部门提供信息，根据有关线索，组织人员协同相关部门查找丢失、被盗放射性同位素，在查找过程中携带辐射监测仪器，防止事故处理人员受到照射；对放射性同位素丢失前存放场所进行监测，根据现场辐射剂量率的大小确定是否受污染。如现场受到污染出现辐射剂量率异常情况，根据辐射剂量率大小划定警戒线，撤离警戒区域内的所有人员，事故处理人员应穿戴防护用品，佩戴个人剂量计进入事故现场。

④放射性废物处置或管理不当造成污染时，立即划定警戒区，并设置放射性污染标

识，限制无关人员靠近，由专业人员处理，经监测满足解控要求后再解除警戒。

11.3.4 直线加速器机房和射波刀机房

11.3.4.1 可能发生的事故

本项目直线加速器和射波刀的安装、检修由设备厂家负责，医院只负责日常安全使用及管理。由于设备自身的屏蔽措施以及设备固有的安全联锁装置，设备在正常使用的情况下发生事故的极小，可能发生的辐射事故主要包括：

①安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行直线加速器或射波刀，则可能造成误照射事故；

②除受治疗患者以外，机房中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认机房中环境便运行直线加速器或 CBCT 或射波刀，则会造成机房中人员误照射；

③控制系统出现故障，照射治疗不能停止，患者受到计划外照射。

④维修期间，设备维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

11.3.4.2 工作场所防范措施

一旦发现有人误入直线加速器机房和射波刀机房，工作人员应立即利用最近的急停开关切断设备电源，启动医院辐射事故应急预案。为防止直线加速器辐射事故发生，应采取多种防范措施：

①控制台上显示有辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数的显示装置，操作人员可随时了解设备运行情况。

②条件显示联锁：直线加速器具有联锁装置，只有当射线能量、吸收剂量选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当治疗室与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行。

③剂量控制联锁：安装有剂量监测系统，当吸收剂量未达到预选值时，照射终止。

④控制台上配置有独立于其他任何控制辐照终止系统的辐照控制计时器，当辐照终止后能保留计时器读数，计时器复零，才能启动下次辐照。

⑤有控制超剂量的联锁装置，当剂量超过预选值时，可自动终止照射。

⑥有剂量分布监测装置与辐照终止系统联锁，当剂量分布偏差超过预选值时，可自动终止辐照。

⑦有全部安全联锁设施检查装置，能保证所有安全联锁系统保持良好的运行状态。

⑧有门机安全联锁，机房门关闭后设备才能开机，被打开时会自动关机。

⑨有时间控制联锁，当预选照射时间已定时，定时器能独立地使照射停止。

⑩控制台和治疗室内均安有急停开关。

⑪机房门外设置有声音警示作用的工作状态指示灯和电离辐射警告标志。

⑫视频监控、对讲装置：治疗室和控制室之间安装有电视监控、对讲装置，控制室能通过电视监视治疗室内患者治疗的情况，并通过对讲机与室内人员联系，以便医师在操作时观察患者在治疗室的状态，及时处理意外情况。

11.3.5后装治疗机机房

11.3.5.1可能发生的事故

本项目后装治疗机的安装、检修由设备厂家负责，医院只负责日常安全使用及管理。由于设备自身的屏蔽措施以及设备固有的安全联锁装置，设备在正常使用的情况下发生事故的概率极小，可能发生的辐射事故主要包括：

①放射源密封壳意外破损时，导致治疗装置、机房甚至人员受到放射性污染；

②后装治疗机操作系统发生故障，到达预置治疗时间，放射源无法自动收回，导致患者受到超剂量照射；

③运行情况下意外断电，且设备不间断电源系统故障无法启动，致放射源不能复位。该事故工况发生时，依照应急预案，人工摇转应急回源手柄退源。

④运行过程中发生卡源或源脱落故障。该事故工况发生时，依照应急预案，立即停止放射治疗工作，人工摇转应急回源手柄退源，或进入辐射场排除故障。之后及时通知厂家维修。

⑤因设备检修或更换放射源期间，将放射源贮源器拆卸下来，由于保管不善，可能会发生放射源丢失或被盗事故。

⑥在安全联锁系统出现故障时，治疗期间人员意外进入治疗室并停留，将受到过量照射的情况。

11.3.5.2工作场所防范措施

一旦发现有人误入后装治疗机机房，工作人员应立即利用最近的急停开关切断设备电源，启动医院辐射事故应急预案。为防止直线加速器辐射事故发生，应采取多种防范措施：

①治疗过程如果发生卡源事故，首先尝试自动回源，如自动回源失败，工作人员立即进入治疗室将患者推出治疗床，并封锁现场。同时打电话给厂家，由厂家安排专业人

员来现场进行处理。

②一旦发生放射源丢失、被盗，发现人员应立即上报给医院辐射安全防护管理领导小组，管理小组及时报警（拨打 110），并上报当地生态环境、卫生部门，同时全力配合调查。

③本项目后装治疗机机房配置了一系列防护措施，如有智能化控制台、有条件显示联锁、剂量控制联锁、门机安全联锁、视频监控、对讲装置、紧急停机开关等。机房的设计也满足防火、防水、防盗、防丢失和防破坏以及防射线泄漏。

11.3.6安全保卫措施

为确保放疗科辐射工作场所的安全，本项目拟采用的安全保卫措施如下：

①防火措施：直线加速器机房四周为混凝土结构墙体，机房周围均没有易燃、易爆、腐蚀性等其他一切物品。

②防水措施：机房四周墙体防水性强，防水设计施工由专业施工队伍进行施工，对容易造成局部损坏的薄弱部位设置增强层。

③防盗措施：设置全自动防护铅门，放疗科拟安装摄像头，和医院保卫科监控系统连接起来，且有保安人员24h巡逻和值班。

④防丢失和破坏措施：放疗科机房设置在地下二层，纳入医院日常安保巡逻工作范围，并划为重点区域，加强巡视管理，以防遭到破坏。一旦可能盗抢事件，立即关闭机房防护门，并立即向公安机关报案。

⑤防射线泄漏措施：本项目机房由具有资质的单位设计、经计算满足环保要求。本项目直线加速器固有安全性良好。

综上所述，本项目加速器机房、射波刀机房和后装治疗机机房的防火、防水、防盗、防丢失和防破坏以及防射线泄漏六防措施可行。

11.3.7DSA和CT模拟定位机

11.3.7.1可能发生的事故

射线装置事故工况主要包括以下三种情况：

- ①装置在运行时，由于门-灯联锁系统失效，人员误入或滞留在机房内而造成误照射；
- ②工作人员或患者家属还未全部撤离治疗机房，控制室人员启动设备，造成滞留人员的误照射；
- ③X射线装置工作状态下，没有关闭防护门对人员造成的误照射。

11.3.7.2 预防措施

将射线装置放置于专用机房内，机房墙体采用实心砖、硫酸钡防护涂料进行屏蔽，观察窗采用铅玻璃，并设置工作人员防护铅门、受检者防护铅门。受检者防护门处安装工作状态指示灯、设置电离辐射警告标志，防护门关闭时，工作状态指示灯亮，警示人员勿入，同时装置操作台处设置急停开关，操作人员可通过急停开关等停机操作来确保人员安全。因此射线装置发生的辐射事故及风险主要原因是管理上出现的问题，工作人员平时必须严格执行各项管理制度，遵守操作规程，进行辐射工作前检查是否已按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查设备性能及有关安全警示标志和设施是否正常。对可能发生的辐射事故，应及时采取应急措施，妥善处理，以减少和控制事故的危害影响，同时上报生态环境部门和卫生行政部门，并接受监督部门的处理。

11.3.8 辐射事故应急预案

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条及《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关规定，医院已制定辐射事故应急预案，应针对本项目新增内容对辐射事故应急预案进行更新修订，并在以后辐射工作开展过程中定期进行演练，及时进行整改。同时医院应配置必要的应急装备、器材以及应急资金。

医院在落实本次环评提出的环境事故风险防范措施，并落实辐射事故应急预案中提出的各项应急措施和设施的前提下，本项目辐射事故影响可控制在可接受水平内。

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 机构设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等有关法律法规，使用放射性同位素、射线装置的单位应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

医院已成立辐射安全与环境保护管理小组（见附件 8），全面负责医院的辐射安全管理工作及相关工作。组成人员如下：

主任：丁有泉

成员：江晓勇、王德顺、林毅杰、许永明、陈胜军、方春养、叶泳成

该文件中明确了管理小组成员组成及相关职责，故医院现有辐射安全与环境保护管理机构能够满足现有辐射安全管理工作的要求。本项目实施后，医院应将本项目核医学科、放疗科和介入科的负责人纳入现有放射防护安全领导小组中。若辐射安全与环境保护管理小组成员发生变动，医院应及时更新、调整管理机构的人员组成。

12.1.2 辐射工作人员管理

（1）职业健康检查

医院现有辐射工作人员建有职业健康档案，辐射工作人员岗前、在岗期间和离岗前均进行职业健康体检，在岗期间体检周期不超过 2 年。根据医院提供的职业健康体检报告可知，医院每两年对辐射工作人员进行体检以及对需要复查的辐射工作人员进行复检，体检结果为在岗辐射工作人员均可继续从事放射性工作。

本项目新增辐射工作人员应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，每两年委托有相关资质的单位对现有辐射工作人员进行职业健康检查，建立职业健康档案。

（2）辐射工作人员培训

本项目辐射工作人员均为新增，医院应严格执行辐射工作人员培训制度，根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号）和《关于进一步优化辐射安全考核公告》（生态环境部公告第 2021 年第 9 号），医院应及时组织仅从事Ⅲ类射线装置的辐射工作人员参加医院自行组织的辐射安全与防护考核，取得合格成绩，并建立成绩档案；操作使用其他类别的辐射工作人员应

在生态环境部国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加相应类别培训学习，考核合格后上岗，并按时接受再培训。

从事使用II类射线装置、非密封放射性物质和放射源操作的辐射工作人员在生态环境部国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加相应类别培训学习，考核合格后上岗，并按时接受再培训。仅从事III类射线装置的辐射工作人员应参加医院自行组织的辐射安全与防护考核，并取得合格成绩，并建立成绩档案。

(3) 个人剂量检测

本项目新增辐射工作人员均应配备个人剂量计，并按期（至少每3个月1次）委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案。

本项目辐射工作人员的职业健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量检测档案三个文件上的人员信息应统一；医院应当为辐射工作人员建立职业健康监护档案和职业照射个人剂量档案并终生保存。建设单位应设专人进行环保档案的整理、存档，项目环保档案应包括：项目环境影响评价资料、相关环保会议纪要、辐射安全许可证申请资料、项目竣工环境保护验收资料、日常监测资料（或台账）、辐射工作人员培训资料、体检报告、个人剂量检测报告及相关调查资料。以上资料按年度进行整理、规范化保存，发现问题及时上报、解决，以满足生态环境主管部门档案检查的要求。

当工作人员职业外照射个人监测结果超过5mSv（季度超过1.25mSv）时，医院按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）附录C中所示内容进行调查，采取相应的措施避免同类情况再次发生。检测报告及有关调查报告应存档备查。

12.1.3年度评估

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用放射性同位素和射线装置的单位，应当对本单位放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，编写辐射安全和防护状况年度评估报告，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。医院年度评估报告包括：射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容。

医院已按要求进行了辐射安全与防护状况评估，编制了《辐射安全和防护状况年度评估报告》，并上报至发证机关。本项目运行后，医院应将本项目纳入现有评估体系。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用放射性同位素、射线装置的单位，应有“健全的操作规程、岗位职责、辐射防护与安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，还应有完善的辐射应急措施”。

医院已制定《放射（辐射）事故应急预案》、《放射职业防护管理制度》、《放射影像设备及场所定期检测制度》和《辐射防护铅产品管理制度》等辐射防护管理制度。

医院已制定的辐射防护相关环境管理办法与制度，内容较为全面，符合相关要求，现有规章制度基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。医院应认真落实各项规章制度，鉴于医院目前核医学科和放疗科尚未建设，在本项目建设后运行中，医院应根据本项目的特点，制定和完善辐射防护和安全保卫制度、岗位职责、操作规程、放射源使用台账制度等，并对现有制度进行补充和完善，以保证本项目工作安全有序开展。具体要求如下：

（1）操作规程：根据本项目特点制定核医学科和放疗科等设备的操作规程，明确操作人员的权限以及操作时必须采取的防护措施，明确工作中的控制措施以及操作程序等。

（2）岗位职责：明确辐射工作人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

（3）辐射防护和安全保卫制度：根据各科室的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是：定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换；工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护。环境辐射监测仪和表面污染监测仪必须保持良好工作状态。

（4）设备检修维护制度：明确监控设备以及监测仪器在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，剂量报警仪和监测仪器必须保持良好工作状态。

（5）台账管理制度：医院应当建立放射性核素、放射源与射线装置台账，记载放射性同位素的核素名称、出厂时间和活度、标号、编码、来源和去向，及射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向等事项。

（6）放射性“三废”管理制度：明确医院运营过程中产生的放射性“三废”，明确放射性“三废”的收集、处理、处置等事项。

(7) 放射诊疗质量保证大纲制度：根据本项目特点制定不同诊疗类型放射诊疗质量保证大纲，避免过多的用药或照射，使用最少的剂量完成诊断。

(8) 质量控制监测计划制度：根据本项目特点以及参考表 12-2 自行监测计划，对不同辐射工作场所制定对应的监测计划，防止机房和场所防护削弱导致的辐射泄漏。

(9) 应急预案：对应急措施、事故后续处理等作出要求，明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急，辐射事故分类与应急响应的措施。

12.3 辐射监测

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

12.3.1 监测仪器和防护设备

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使用放射性同位素、射线装置的单位应该配置与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。根据以上要求，建议本项目辐射工作场所辐射仪器配置情况详见表 12.3-1。

表 12.3-1 本项目辐射工作场所辐射监测仪器拟配置情况

工作场所		监测仪器	配置情况说明	备注
核医学科		便携式 X-γ 射线监测仪	配置 1 台	依托现有，全院共用 1 台
		表面污染监测仪	配置 2 台	增配
放疗科	直线加速器机房	便携式 X-γ 射线监测仪	配置 1 台	依托现有，全院共用 1 台
		中子剂量监测仪	配置 1 台	增配
		固定式剂量报警装置	配置 1 台	增配
	射波刀机房	便携式 X-γ 射线监测仪	配置 1 台	依托现有，全院共用 1 台
		固定式剂量报警装置	配置 1 台	增配
	后装治疗机机房	便携式 X-γ 射线监测仪	配置 1 台	依托现有，全院共用 1 台
		固定式剂量报警装置	配置 1 台	增配
	CT 模拟定位机房	便携式 X-γ 射线监测仪	配置 1 台	依托现有，全院共用 1 台
DSA 机房	便携式 X-γ 射线监测仪	配置 1 台	依托现有，全院共用 1 台	

本项目运行期间主要污染物为 X-γ 射线、β 表面污染和中子等，根据项目特点，医院拟增配 1 台中子剂量监测仪和 2 台表面污染监测仪，需要定期对监测仪器进行检定或校准，项目配备的监测仪器符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对监测

仪器的配置要求。

12.3.2 监测计划

(1) 年度监测

继续委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为1次/年；年度监测报告应作为《辐射安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

(2) 日常自行监测

日常工作中，每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测），需使用表面污染监测仪对本项目辐射工作场所放射性污染情况进行监测，工作人员离开辐射工作场所时，需监测手、皮肤暴露部分以及工作服、手套、鞋、帽等的污染水平，这部分日常监测工作由本项目辐射工作人员自行完成。此外，本项目辐射工作场所应采用辐射监测仪进行定期监测，频次不少于1次/月，以确保屏蔽防护性能的良好。

(3) 验收监测

本项目建成、设备调试正常后，医院需委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，出具验收监测报告。

(4) 监测内容和要求

监测依据：《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。

监测内容：表面放射性污染、周围剂量当量率和中子剂量当量率；放射性废水、固体放射性废物。

监测布点及数据管理：监测布点应参考环评提出的监测计划或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

监测范围：控制区和监督区域及周围环境。

表 12.3-2 辐射工作场所监测计划一览表

工作场所	监测内容	监测点位	监测频次		
			自行监测	委托监测	验收监测
核医学科	β表面污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	1次/年	项目建设完成3个月内
	周围剂	控制区和监督区所有工作人员和	1次/月	1次/年	

	量当量率	公众可能居留的有代表性点位和存有放射性物质的装置/设备的表面			
	放射性废水	衰变池排放口总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$	/	排放前（首次排放委托有资质的单位监测，后续排放做好记录，每年根据排放计划委托一次年度监测）	
	固体放射性废物	废物间（建议每袋废物表面剂量率处于本底水平， β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 ）	每次排放前	1次/年	
直线加速器机房	周围剂量当量率、中子剂量当量率	直线加速器机房防护门外、门缝、电缆线沟、进排风管口、控制室操作位、四侧墙体外30cm处、顶棚100cm处及周围需要关注的监督区	1次/月	1次/年	
射波刀机房	周围剂量当量率	射波刀机房防护门外、门缝、电缆线沟、进排风管口、控制室操作位、四侧墙体外30cm处、顶棚100cm处及周围需要关注的监督区	1次/月	1次/年	
后装治疗机机房	周围剂量当量率	后装治疗机机房防护门外、门缝、电缆线沟、进排风管口、控制室操作位、四侧墙体外30cm处、顶棚100cm处及周围需要关注的监督区	1次/月	1次/年	
CT模拟定位机机房	周围剂量当量率	防护门外、门缝、观察窗、控制室操作位、各侧屏蔽墙外30cm处、顶棚100cm处、楼下170cm处及周围需要关注的监督区	1次/月	1次/年	
DSA机房	周围剂量当量率	防护门外、门缝、观察窗、控制室操作位、各侧屏蔽墙外30cm处、顶棚100cm处、楼下170cm处及周围需要关注的监督区	1次/月	1次/年	
个人剂量监测	个人剂量当量	每个辐射工作人员配备的个人剂量计	/	至少每3个月1次	/

12.4 竣工环保验收

医院应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）、《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ1326-2023）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套

建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

12.5 辐射事故应急

12.5.1 应急预案的要求

医院按照国务院令第 449 号《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和生态环境主管部门的要求已制定《放射科辐射事故应急预案》，对应急措施、事故后续处理等作出要求，明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急，辐射事故分类与应急响应的措施。医院应针对本项目建设内容，更新现有辐射事件应急处理预案，辐射事故应急预案应当包括下列内容：

- （一）应急机构和职责分工；
- （二）应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- （三）辐射事故分级与应急响应措施；
- （四）辐射事故调查、报告和处理程序。

本项目投入运行前，医院应依据本项目情况修订《放射（辐射）事故应急预案》。同时医院应定期、具有针对性的对可能发生的辐射事故进行演习和辐射安全的法律、法规知识的培训，演习内容包括辐射事故应急处理预案的可操作性、针对性、完整性，相关演习和培训记录存档。在预案的实施中，应根据国家发布新的相关法规内容，结合实际及时对预案做补充修改，使之更能符合实际需要。

12.5.2 辐射事故上报要求

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况的，应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》等要求，向生态环境主管部门报告。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并根据要求在 2h 内填写《辐射事故初始报告表》，向生态环境主管部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生部门报告。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

医院拟在温岭市高端医学中心一层建设核医学科，拟购置 1 台 PET/CT（配置 1 枚 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}^{68}\text{Ge}$ 校准源和 1 枚 $5.55 \times 10^7 \text{Bq}^{68}\text{Ge}$ 校准源；最大管电压为 150kV，最大管电流为 1300mA），并使用核素 ^{18}F 进行显像诊断；拟购置 1 台 SPECT/CT（最大管电压为 150kV，最大管电流为 1300mA），并使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行显像诊断；使用核素 ^{131}I 进行甲状腺吸碘率测定、甲亢治疗；使用核素 ^{89}Sr 进行骨转移癌治疗；使用核素 ^{32}P 和放射源 ^{90}Sr （拟配备 1 枚 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}^{90}\text{Sr}$ ）进行敷贴治疗。本项目建成后核医学科场所非密封放射性物质日等效最大操作量为 $7.48 \times 10^8 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。为满足核医学科场所放射性废水的暂存要求，于温岭市高端医学中心地下二层设置衰变池，拟设置 4 个有效容积均为 37.1m^3 的并联衰变池。

医院拟在温岭市高端医学中心地下二层建设放疗科，拟购置 1 台直线加速器（15MV）、1 台射波刀（6MV）、1 台后装治疗机（配置 1 枚 $5.55 \times 10^{11} \text{Bq}^{192}\text{Ir}$ 放射源）和 1 台 CT 模拟定位机（最大管电压为 150kV，最大管电流为 1300mA），开展放射治疗。

医院拟在温岭市高端医学中心三层增设 1 间 DSA 机房，拟购置 1 台 DSA（为单球管设备，最大管电压为 125kV，最大管电流为 1250mA），用于介入治疗和影像诊断。

13.1.2 辐射安全与防护分析结论

（1）辐射安全防护措施结论

本项目核医学科场所设计了满足防护要求的实体屏蔽，能够有效屏蔽 X 射线、 γ 射线和 β 射线等的辐射影响。核医学科分装注射室拟配备专用手套箱、放射药物专用注射窗，放射性核素操作人员拟配备铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品；核医学科工作场所拟设置电离辐射警示标识、工作状态指示灯、对讲及监控设施，配有表面污染仪、个人剂量报警仪等监测设备；设置有满足要求的并联衰变池组、固体放射性废物收集铅桶、放射性废气专用排风管线及活性炭吸附装置。

本项目放疗科直线加速器机房、射波刀机房和后装治疗机机房四侧屏蔽墙体及顶棚为现浇混凝土防护，直线加速器机房防护门为铅门+含硼聚乙烯材料，射波刀机房防护门为铅门，后装治疗机机房防护门为铅门，其防护效果满足要求。机房内配置有钥匙开

关联锁、剂量联锁、门联锁等联锁装置，电离辐射警示标志、固定式剂量率报警仪、急停按钮、视频监控等辐射安全设施；放疗科 CT 模拟定位机机房四侧墙体采用实心砖墙+硫酸钡防护涂料进行屏蔽，顶棚和地坪采用混凝土+硫酸钡防护涂料进行屏蔽，各防护门均采用铅防护门，观察窗为铅玻璃，并配有个人防护用品。

本项目 DSA 机房四侧墙体采用铅板进行屏蔽，顶棚和地坪采用混凝土+铅板进行屏蔽，各防护门均采用铅防护门，观察窗为铅玻璃，并配有个人防护用品。

综上所述，在满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护，减少不必要的照射，根据理论估算分析结果，本项目拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。

(2) 辐射安全管理结论

医院已成立辐射安全与环境防护管理小组，全面负责医院的辐射安全管理工作及相关工作；本项目实施后，医院应将本项目核医学科、放疗科和介入科的负责人纳入现有放射防护安排领导小组中。若辐射安全与环境防护管理小组成员发生变动，医院应及时更新、调整管理机构的人员组成。医院已对辐射工作人员进行了职业健康监护和个人剂量监测，并建立了个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

13.1.3 环境影响分析结论

(1) 辐射影响分析结论

根据本报告表 11 章节对本次核技术利用项目运行过程中对周边环境及人员的辐射影响分析可知，在正常工况下，本项目核医学科辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）标准要求；项目直线加速器机房、射波刀机房和后装治疗机机房各机房屏蔽体外剂量率控制水平符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）标准要求；CT 模拟定位机机房和 DSA 机房屏蔽体外剂量率控制水平符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）标准要求；本项目辐射工作人员和周围的公众所受外照射年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于职业照射剂量限值的要求，同时满足本项目环评提出的年剂量约束值即工作人员 5mSv 和公众 0.1mSv 的要求。

(2) 核医学科“三废”影响分析

本项目核医学科7套排风管道最终在排风井内合并为3根管道（1号和2号管道合并为1根，4号、5号、6号和7号管道合并为1根）分别引至温岭市高端医学中心楼（排放高度

约47m)楼顶高出屋脊排放,排放口尽量远离了邻近的高层建筑,排风管设置止回阀,防止气流倒灌,手套箱顶壁和排风口均设活性炭吸附装置。因此,放射性废气对周围环境影响较小。

本项目核医学科放射性废水通过专门的管道进行统一收集,并经管道排入温岭市高端医学中心地下二层的衰变池组进行衰变,根据 10.2.1.2 分析,放射性废水可以在衰变池组内暂存 180 天,符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中放射性废水暂存要求,暂存至满足衰变要求的放射性废水排入医院污水处理站处理,最终纳入市政污水管网。因此,核医学科场所产生的放射性废水对周围环境影响较小。

本项目固体放射性废物均暂存在核医学科污物间的衰变箱中,暂存时间满足标准要求后(含核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的固体放射性废物暂存时间超过 30 天;含 ^{131}I 核素的固体放射性废物暂存超过 180 天;含核素 ^{89}Sr 的固体放射性废物暂存时间超过 506 天;含核素 ^{32}P 的固体放射性废物暂存时间超过 143 天),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 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$,可对废物清洁解控并作为医疗废物处置。PET/CT 更换校准源 ^{68}Ge 和敷贴治疗更换放射源 ^{90}Sr 产生废旧放射源,根据相关法律法规要求,应返回放射源生产厂家或原出口方,确定无法交回生产单位或者返回原出口方的,送交有相应资质的单位收贮。因此,固体放射性废物对周边环境影响较小。

(3) 放疗科“三废”影响分析

直线加速器、射波刀、后装治疗机和 CT 模拟定位机运行过程产生的臭氧、氮氧化物经机房动力排风系统排入大气环境后,经自然分解,可达标排放,对周围环境影响较小。

直线加速器感生放射性气体产生量较少,一般在正常通风情况下,感生放射性气体不会对机房外的环境产生辐射污染。

直线加速器和射波刀更换下来的废靶和退役时拆卸下来的废靶,由厂家回收;若放射性超标,则委托有资质单位收贮。

后装治疗机产生的废旧 ^{192}Ir 放射源交回生产单位或返回出口方,更换下的废铅蓄电池直接交由有资质单位处置。

综上所述,放疗科各机房对周围环境影响较小。

(4) 介入科“三废”影响分析

本项目 DSA 在曝光过程中,会产生少量臭氧和氮氧化物,DSA 机房设置动力通风

装置，产生的臭氧和氮氧化物最终从楼顶排放。臭氧和氮氧化物排入大气环境后，经自然分解，可达标排放，对周围环境影响较小。

13.1.4 可行性分析结论

(1) 实践的正当性

本项目的建设可以更好地满足患者就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，对保障人民群众身体健康、拯救生命起到了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。

医院在放射诊疗过程中，对放射性核素、放射源和射线装置的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对放射性核素、放射源和射线装置的安全管理将建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术利用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

(2) 产业政策符合性

本项目属于核技术在医学领域内的运用。根据国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目不属于限制类和淘汰类，因此，本项目建设符合国家产业政策要求。

(3) 项目选址合理性

本项目核医学科位于温岭市高端医学中心一层，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区。核医学科放射性废气由排风管线引至温岭市高端医学中心楼（排放高度约 47m）楼顶高出屋脊排放，排放口尽量远离了邻近的高层建筑，排风管设置止回阀，防止气流倒灌，手套箱顶壁和排风口均设活性炭吸附装置。衰变池位于温岭市高端医学中心地下二层，周围活动人员较少，其选址便于核医学科放射性废水的收集衰变。因此，核医学科选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于核医学工作场所选址的相关要求。

本项目放疗科直线加速器机房、射波刀机房、后装治疗机机房和 CT 模拟定位机机房均位于温岭市高端医学中心地下二层。各机房选址不在居民、写字楼和商住两用楼内，选址避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中关于放射治疗场所选址的相关要求。

本项目 DSA 机房位于温岭市高端医学中心三层手术中心内，相邻区域没有产科、儿科病房等敏感人群长时间集中停留的场所。因此介入科机房选址合理。

综上所述，整个核技术利用项目布置在满足医疗流程完整、顺畅运行的前提下，充分考虑了周围环境的影响和辐射类项目尽量集中设置的原则，因此，医院的整体布局及主要辐射工作场所的位置选择较为合理。

(4) 温岭市生态环境分区管控动态更新方案符合性分析

本项目位于温岭市城西街道川安南路 333 号温岭市第一人民医院内，根据《温岭市人民政府关于印发温岭市生态环境分区管控动态更新方案的通知》（温政发〔2024〕13 号），本项目所在地属于“台州市温岭市温岭城市城镇生活重点管控单元（生态环境管控单元编码：ZH33108120025）”。本项目为医院核技术利用项目，经分析，项目的实施符合《温岭市生态环境分区管控动态更新方案》的要求。

综上所述，温岭市第一人民医院温岭市高端医学中心核技术利用建设项目符合实践的正当性，符合国家产业政策和《温岭市生态环境分区管控动态更新方案》的管控要求，选址合理可行，在落实本评价报告所提出的各项污染防治和辐射环境管理措施后，医院具备从事相应的辐射工作技术能力。本项目运行对周围环境产生的辐射影响符合环境保护的要求，从辐射安全和环境保护的角度论证，本项目建设是可行的。

13.2 建议与承诺

13.2.1 建议

1、辐射监测仪器和其他辐射防护设备要落实专人负责定期检查、维护，确保其状况良好，以确保监测数据的可靠，为单位辐射防护提供可靠依据。

2、强化管理、加强辐射工作人员的培训学习，个人剂量计应严格按照规定正确佩戴。另外合理安排辐射工作人员工作分组，降低某一工作人员因长时间操作所致剂量。

3、认真学习贯彻国家相关的环保法律、法规，进行核与辐射安全知识宣传，不断提高遵守法律的自觉性和安全文化素养，切实做好各项环保工作。

13.2.2 承诺

1、按照国家相关法律法规及环评报告的要求补充和更新相关辐射安全管理规章制度及辐射事故应急预案，保证各种规章制度和操作规程的有效执行，并对应急预案定期进行演练、总结。

2、医院承诺加强辐射工作人员的管理，相关辐射工作人员配备个人剂量仪，每三

个月委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案；相关辐射工作人员进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，每一年或两年委托相关资质单位对其进行职业健康检查，建立职业健康档案。

3、医院承诺严格按照本报告提出的屏蔽防护设计方案、辐射安全措施、辐射安全设施及装置、“三废”治理装置及措施等辐射环保内容进行建设，发现问题及时整改。加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用具的使用。

4、医院应严格执行辐射监测计划，发现问题及时整改

5、在本次环评报告取得批复后及时重新申领辐射安全许可证；及时组织开展项目工程竣工环境保护验收，编制验收报告，经验收合格后方可正式投入运行。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人：

公章
年 月 日

审批意见：

经办人：

公章
年 月 日