

核技术利用建设项目

绍兴市上虞人民医院  
放疗科与核医学科改扩建项目  
环境影响报告表  
(公示稿)

绍兴市上虞人民医院(绍兴市上虞人民医院医共体总院)

2024年12月

生态环境部监制

# 核技术利用建设项目

## 绍兴市上虞人民医院 放疗科与核医学科改扩建项目 环境影响报告表

建设单位名称：绍兴市上虞人民医院（绍兴市上虞人民医院医共体总院）

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：浙江省绍兴市上虞区百官街道市民大道517号

邮政编码：

联系人：

电子邮箱： /

联系电话：

# 目 录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	15
表 3 非密封放射性物质.....	15
表 4 射线装置.....	16
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	17
表 6 评价依据.....	18
表 7 保护目标与评价标准.....	21
表 8 环境质量和辐射现状.....	31
表 9 项目工程分析与源项.....	38
表 10 辐射安全与防护.....	63
表 11 环境影响分析.....	105
表 12 辐射安全管理.....	144
表 13 结论与建议.....	150
表 14 审批 .....	155

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		绍兴市上虞人民医院放疗科与核医学科改扩建项目			
建设单位		绍兴市上虞人民医院（绍兴市上虞人民医院医共体总院）			
法人代表		联系人		联系电话	
注册地址		浙江省绍兴市上虞区百官街道市民大道517号			
项目建设地点		浙江省绍兴市上虞区百官街道市民大道517号科技综合楼负二层至负一层			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)		7500	项目环保投资 (万元)	248	投资比例 (环保投资/总投资)  3.31%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积 (m <sup>2</sup> )	/
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 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		
	其他	<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类		
/					

**1.1项目概述**

**1.1.1建设单位简介**

绍兴市上虞人民医院（绍兴市上虞人民医院医共体总院）创建于1941年，注册地位于绍兴市上虞区百官街道市民大道517号，经过70多年的建设和发展，现已成为全区一家集医疗、教学、科研、预防、保健于一体的现代化三级乙等综合性医院，属绍兴文理学院附属上虞医院、浙大二院上虞分院，系上海瑞金医院和浙江省儿童医院协作医院。医院占地面积150亩，总建筑面积18万平方米，设有34个病区、46个专科、14个医技科室，开放床位1500张。医院现有职工1829人，其中高级职称323人，中级职称533人。2023年，医院门急诊总量184万人次，出院7.58万人次。上虞区急救中心、中心血库、临床病理诊断中心、放射影像诊断中心、临床检验中心附设于院内。

绍兴市上虞人民医院建设项目于2003年9月由绍兴市上虞区环境保护局批复，批复文号为虞环管（2003）7号，该项目于2017年7月31日取得绍兴市上虞区环境保护局出具的《绍兴市上虞人民医院新建上虞市人民医院工程项目竣工环保验收意见》（虞环建验（2017）80号）；

2015年6月企业实施了直线加速器、DSA等医用射线装置及核磁共振项目（扩建），该项目于2015年7月由绍兴市上虞区环境保护局批复，批复文号为虞环审[2015]28号，现已建成并于2017年7月31日取得绍兴市上虞区环境保护局出具的《上虞人民医院DSA等医用射线装置建设项目（阶段性）竣工环保验收意见》（虞环建验（2015）14号）；2017年8月，医院实施了科技综合楼工程项目，该项目于2017年9月由绍兴市上虞区环境保护局批复，批复文号为虞环审（2017）228号，已建成于2022年通过了自主验收。

目前绍兴市上虞人民医院（绍兴市上虞人民医院医共体总院）持有浙江省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》，许可种类和范围为：使用II类、III类射线装置。发证日期为2023年9月7日，有效期至2028年9月6日。

### 1.1.2 项目建设目的和任务由来

2017年10月，医院委托核工业二七〇研究所编制了《绍兴市上虞人民医院放射性同位素及射线装置应用项目环境影响报告表》，绍兴市环境保护局于2018年2月26日出具了《关于绍兴市上虞人民医院放射性同位素及射线装置应用项目环境影响报告表的审查意见》（绍市环审[2018]11号），原项目审批内容、建设或实施情况以及本项目拟改扩建情况详见表1-1。

**表1-1 原项目审批内容、建设或实施情况以及本项目拟改扩建情况**

工作场所位置	原项目审批内容	原项目建设情况	本项目拟改扩建情况
科技综合楼负二层放疗科	2间加速器机房，配置2台15MV直线加速器；1间后装机机房，配置1台后装治疗机（配套1枚 <sup>192</sup> IrIII类放射源）	已建设2间加速器机房与1间后装机房，直线加速器与后装机均未购买。	新建1间模拟定位机房，新增1台CT模拟定位机；利用已建机房配置2台15MV直线加速器（含CBCT），配置1台后装治疗机（配套1枚 <sup>192</sup> IrIII类放射源）。
科技综合楼负一层核医学科	新建PET/CT机房等配套用房，购置1台PET/CT（配套使用 <sup>18</sup> F与3枚 <sup>68</sup> Ge）用于显像诊断。	未建设配套用房，未购买PET/CT。	扩建核医学科诊疗区域，新增使用 <sup>18</sup> F、 <sup>99m</sup> Tc用于显像诊断，使用 <sup>90</sup> Sr敷贴器用于皮肤病治疗；新增1间甲测室，使用 <sup>131</sup> I用于甲测；新增4间核医学治疗病房及配套房间，使用 <sup>131</sup> I用于甲亢、甲癌治疗。
科技综合楼负四层DSA机房	建设DSA机房等用房，购置2台DSA用于介入治疗	已在2019年10月开展了自主验收工作。	/

原批复项目科技综合楼负一层核医学科未建设未实施，且审批时间已超过5年；科技综合楼负二层2间直线加速器机房、科技综合楼负二层1间后装治疗机机房虽已建成，但2台直线加速器、1台后装治疗机均未实施，且新增1台CT模拟定位机。因此，本项目对放疗科与核医学科重新进行环境影响评价。

本项目为使用II射线装置、乙级非密封放射性物质工作场所、医疗使用III类放射源，根据《中华人民共和国环境保护法》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等相关

规定，本项目需要进行环境影响评价，并依照国家规定程序报具有审批权限的生态环境部门审批。按照《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——医疗使用III类放射源的；使用II类射线装置；乙级非密封放射性物质工作场所”，应编制环境影响报告表。

为此，绍兴市上虞人民医院（绍兴市上虞人民医院医共体总院）委托卫康环保科技（浙江）有限公司对“绍兴市上虞人民医院放疗科与核医学科改扩建项目”开展环境影响评价工作（委托书见附件1）。评价单位接受委托后对项目现场进行了踏勘，实地调查了项目所在地的环境情况，在收集项目相关资料并进行分析后，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）的相关要求，编制完成《绍兴市上虞人民医院放疗科与核医学科改扩建项目环境影响报告表》。

### 1.1.3 项目建设内容和规模

#### 1.1.3.2 放疗科

本项目放疗科位于科技综合楼负二层东北侧，利用已建2间直线加速器机房及配套用房与1间后装机房及配套用房，新建1间CT模拟定位机房及配套用房。

2间直线加速器机房各配套使用1台15MV电子直线加速器带CBCT功能（最大X射线能量15MV，最大电子线能量22MeV，主射方向均为南、北、顶棚与地面方向，等中心处最大剂量率分别为6Gy/min（15MV X射线）、14Gy/min（10MV X射线），直线加速器属于II类射线装置，CBCT功能系统属于III类射线装置）；后装机房拟配备1台后装机（型号未定，内含1枚活度为 $3.7 \times 10^{11}$ Bq（10Ci）的 $^{192}\text{Ir}$ 放射源，属于III类放射源）；CT模拟定位机房拟新增使用1台额定管电压为140kV，额定管电流为800mA的CT模拟定位机，属于III类射线装置。

本项目 $^{192}\text{Ir}$ 主要参数见表1-2，放射诊疗设备参数及工作量一览表见表1-3。

表 1-2  $^{192}\text{Ir}$  主要参数表

核素名称	数量	类别	半衰期 (d)	衰变类型及其分支比 (%)	出厂活度 (Bq)	平均 $\gamma$ 射线能量 (MeV)	空气比释动能率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$
$^{192}\text{Ir}$	1	III	74.02	$\gamma$ 衰变, $\beta$ 衰变 (95.22%) 电子俘获 (4.78%)	$3.70 \times 10^{11}$	0.37	0.111

注：数据来源于《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分： $\gamma$  射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中表 C.1。

表 1-3 放疗科拟配置放射诊疗设备参数及工作量一览表

设备	参数	内容	备注
医用电子直线加速器	数量	2	拟新增设备型号未定，直线加速器属于II类射线装置，CBCT功能系统属于III类射线装置
	加速粒子	电子	/
	源轴距	100cm	/

	最大输出能量	X 射线	≤15MV	其中 CBCT 系统 X 射线参数为 150kV、1000mA
		电子线	≤22MeV	
	最大剂量率	15MV X 射线：距靶中心 1m 处的最高吸收剂量率为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$		
		10MV X 射线：距靶中心 1m 处的最高吸收剂量率为 $8.4 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$		
		22MeV 电子线：距靶中心 1m 处的最高吸收剂量率为 $6.0 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$		
	最大照射野	40×40cm		/
	机架旋转角度	±180°		/
	等中心点高度	≤1295mm		/
	最大出束角	28°		/
	X 射线漏射率	≤0.1%		/
	年总出束时间	250h/台		/
单日治疗病人次	40人次/台		/	
年治疗病人次	10000人次/台		/	
后装治疗机	数量	1		型号未定
	放射源种类	$^{192}\text{Ir}$		/
	放射源活度	$3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$		/
	放射源技术参数	放射源 $\gamma$ 射线能量： 0.37MeV		III类放射源
	装源数量	1 枚		/
	年使用量	2 枚		/
	年总出束时间	150h		/
	每日治疗病人次	6 人次		/
年治疗病人次	1500 人次		/	
CT 模拟定位机	数量	1		/
	设备参数	最大管电压 140kV 最大管电流 800mA		/
	年定位人次	约5000人次		/
	年出束时间	约83h		/

### 1.1.3.2 核医学科

本项目核医学科建设内容为在科技综合楼负一层核医学科新增使用 $^{18}\text{F}$ 核素在PET/CT机房进行PET显像诊断，使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 核素在SPECT/CT机房进行SPECT显像诊断，使用 $^{131}\text{I}$ 核素在治疗室进行甲亢（在治疗室仅留观）、甲癌治疗，在甲测室进行甲测。核医学科主要辐射工作场所包括：建设1间敷贴室（使用 $^{90}\text{Sr}$ 敷贴器进行皮肤病治疗）、1间SPECT/CT机房、1间PET/CT机房、1间储源室、1间分装注射室、2间污物间、2间清洁间、1间SPECT注射候诊室、1间PET/CT注射候诊室、1间VIP注射候诊室、1间运动负荷兼抢救室、1间留观室、4间治疗室、1间救治室及配套用房，核医学科衰变池位于科技综合楼负2层西侧。

#### (1) 放射源与射线装置使用情况

PET/CT 机房拟配置使用 1 台 PET/CT，型号尚未确定，仅确定其中使用的 CT 额定管电压 140kV，额定管电流 800mA，属于III类射线装置。SPECT/CT 机房拟配备使用 1 台 SPECT/CT，型号尚未确定，仅确定其中使用的 CT 额定管电压 140kV，额定管电流 800mA，属于III类射线装置。PET/CT 涉及校准使用的  $^{68}\text{Ge}$  放射源，为V类放射源，待放射

源活度确定后另行环评备案。

核医学科放射源使用情况见表 1-4，射线装置使用情况见表 1-5。

**表1-4 核医学科放射源使用情况**

核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) ×枚数	类别	用途	贮存方式与地点
<sup>90</sup> Sr敷贴器	1.85×10 <sup>9</sup> Bq	V	敷贴治疗	核医学科储源室

**表1-5 核医学科射线装置使用情况**

装置名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	工作场所
PET/CT	III	1	未定	140	800	科技综合楼负一层PET/CT机房
SPECT/CT	III	1	未定	140	800	科技综合楼负一层SPECT/CT机房

**(2) 非密封放射性物质使用情况**

核医学科涉及使用非密封放射性物质包括<sup>18</sup>F（日等效最大操作量为8.88×10<sup>6</sup>Bq，年最大操作量为5.55×10<sup>12</sup>Bq）、<sup>131</sup>I（日等效最大操作量为3.15×10<sup>9</sup>Bq，年最大操作量为1.67×10<sup>12</sup>Bq）和<sup>99m</sup>Tc（日等效最大操作量为2.78×10<sup>7</sup>Bq，年最大操作量为6.94×10<sup>12</sup>Bq）。本项目使用的非密封放射性物质<sup>18</sup>F、<sup>131</sup>I与<sup>99m</sup>Tc半衰期较短且均外购。<sup>18</sup>F半衰期较短，为保证每批次最后一位患者注射<sup>18</sup>F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，既要考虑放射性药物的使用量和备用量，本项目<sup>18</sup>F核素拟暂定一天送2次药（上、下午各1次），按照日用药量的2倍进行备药。本项目<sup>18</sup>F核素实际日最大操作量为7.40×10<sup>9</sup>Bq，按2倍进行备药，则<sup>18</sup>F核素备药量为1.48×10<sup>10</sup>Bq；<sup>99m</sup>Tc、<sup>131</sup>I半衰期比<sup>18</sup>F长，不考虑备药量，两种核素均需分装。本项目核医学科工作场所放射性核素性能参数见表1-6。核医学科病人就诊量及非密封放射性物质使用情况见表1-7。

**表 1-6 本项目核医学科 1 层工作场所放射性核素的性能参数**

核素	半衰期	衰变类型	毒性	β 最大能量 /MeV	γ 光子能量 (MeV)	用途
<sup>18</sup> F	109.8min	β <sup>+</sup> 、EC	低毒	0.63(+)	0.511	PET 显像诊断
<sup>99m</sup> Tc	6.02h	同质异能跃迁	低毒	/	0.140	SPECT显像诊断
<sup>131</sup> I	8.02d	β	中毒	0.602	0.284, 0.365, 0.637	甲癌、甲亢、甲测

注：数据来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表H.1。

**表1-7 核医学科就诊病人量及非密封放射性物质使用情况**

核素名称	用途	单人次最大使用量/Bq	日最大诊疗人数	年最大诊疗人数	日最大操作量 /Bq	年最大操作量 /Bq
<sup>18</sup> F	PET 显像	3.70×10 <sup>8</sup>	20人	5000人	7.40×10 <sup>9</sup>	5.55×10 <sup>12</sup>
<sup>18</sup> F	贮存（备药）	/	/	/	1.48×10 <sup>10</sup>	
<sup>99m</sup> Tc	SPECT 显像	9.25×10 <sup>8</sup>	30人	7500人	2.78×10 <sup>10</sup>	6.94×10 <sup>12</sup>
<sup>131</sup> I	甲癌	7.40×10 <sup>9</sup>	4人	200人	2.96×10 <sup>10</sup>	1.48×10 <sup>12</sup>
<sup>131</sup> I	甲亢	3.70×10 <sup>8</sup>	5人	500人	1.85×10 <sup>9</sup>	1.85×10 <sup>11</sup>

$^{131}\text{I}$	甲测	$3.70 \times 10^5$	20人	2000人	$7.40 \times 10^6$	$7.40 \times 10^8$
------------------	----	--------------------	-----	-------	--------------------	--------------------

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），满足以下3个特点的放射性药物使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：A、有相对独立、明确的监督区和控制区划分；B、工艺流程连续完整；C、有相对独立的辐射防护措施。根据该条件要求，本项目核医学科整体划为1个非密封放射性物质工作场所，具体场所分级计算如下：

放射性同位素的日等效最大操作量根据其毒性组别、操作方式、放射源状态和实际日最大操作量确定，见式1-1。核医学科放射性药物日最大等效操作量计算见表1-8。

$$\text{日最大等效操作量} = \frac{\text{日操作量} \times \text{毒性修正因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \quad (\text{式1-1})$$

表 1-8 本项目核医学科放射性药物日最大等效操作量计算表\*

核素名称	$^{18}\text{F}$ (用药)	$^{18}\text{F}$ (备药)	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$^{131}\text{I}$ (甲癌)	$^{131}\text{I}$ (甲亢)	$^{131}\text{I}$ (甲测)
日最大操作量/Bq	$7.40 \times 10^9$	$1.48 \times 10^{10}$	$2.78 \times 10^{10}$	$2.96 \times 10^{10}$	$1.85 \times 10^9$	$7.40 \times 10^6$
毒性分组	低毒		低毒	中毒	中毒	中毒
毒性组别修正因子	0.01		0.01	0.1	0.1	0.1
性状	液态		液态	液态	液态	液态
操作方式 <sup>①</sup>	很简单的操作	源的贮存	很简单的操作	简单操作	简单操作	简单操作
方式与状态修正因子	10	100	10	1	1	1
日等效最大操作量/Bq	$7.4 \times 10^6$	$1.48 \times 10^6$	$2.78 \times 10^7$	$2.96 \times 10^9$	$1.85 \times 10^8$	$7.4 \times 10^5$
工作场所级别	$3.18 \times 10^9$ 乙级					

\*注：①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）：放射性药品生产中，分装，标记等活动视为“简单操作”；医疗机构使用 $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 相关活动视为“很简单操作”，使用 $^{131}\text{I}$ 核素相关活动视为“简单操作”。

各核素日等效操作量叠加后确定该核医学科的场所等级，经计算得出整个核医学科日等效最大操作量为 $3.18 \times 10^9 \text{Bq}$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全标准》（GB18871-2002）规定，本项目核医学科属于乙级非密封放射性物质工作场所。

## 1.2 项目选址及周围环境保护目标

### 1.2.1 项目地理位置

本项目位于绍兴市上虞人民医院科技综合楼负一、负二层。绍兴市上虞人民医院东侧为保驾山路，隔路为绿地及百崧河；南侧为西横公园及西横河；西侧为凤鸣路，隔路为锦茂大厦、绍兴上虞雷迪森云锦大酒店、大润发等商业用地；北侧为王充路，隔路为华维公寓及沿街商业用房。

从总平面布置而言，本项目核医学科、放疗科均位于科技综合楼地下室，投影位置东侧为停车场；南侧为消防登高带及科技综合楼；西侧为消防登高带，距放疗科投影位置20m为4层

门诊医技楼；北侧为停车场，隔停车场距投影位置60m处为15层住院楼。由此可见，本项目除科技综合楼、门诊医技楼外，投影位置50m范围内，无其他建筑物。

### 1.2.2 项目周围环境概况

核医学科位于科技综合楼负一北部，所在区域东侧为排风机房、过道、步梯间及备用机房；南侧为备用机房、配电房；西侧为过道、地下室边界及电梯厅；北侧为备用机房、库房、采光井等，核医学科顶部为科技综合楼一层急诊室、急诊化验室、输液室等，下方为生活水泵房、空调泵房、消防泵房、消防水池等设备间。

放疗科位于科技综合楼负二东北侧，所在区域东、北侧为地下室边界；南侧为进风机房、排风机房、电梯间、步梯间、生活水泵房、空调泵房、消防泵房、消防水池等设备间；西侧为备用机房及地下室边界，放疗科放疗机房顶部为消防登高带，其余区域顶部为进风机房及库房等，无地下层。

本项目地理位置示意图详见附图1，绍兴市上虞人民医院项目周围环境示意图见附图2。

本项目拟建核医学科、放疗科周围50m范围内主要为绍兴市上虞人民医院内部建筑物，无居民区等环境敏感保护目标。本项目环境保护目标主要为辐射工作人员、机房周围的其他工作人员和公众人员。

### 1.2.4 项目与规划、条例符合性分析

本项目核医学科、放疗科分别位于绍兴市上虞人民医院科技综合楼地下一层北部及地下二层东北侧。医院现有用地已取得土地证（上虞市国用（2006）第01200017号）。因此，本项目符合土地利用规划。

此外，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）及《自然资源部办公厅关于依据“三区三线”划定成果报批建设项目用地用海有关事宜的函》（自然资办函[2022]2072号），三区三线中“三区”是指城镇空间、农业空间生态空间三种类型的国土空间。“三线”分别对应城镇空间、农业空间、生态空间划定的城镇开发边界、永久基本农田、生态保护红线三条控制线。

本项目位于绍兴市上虞区百官街道市民大道517号现有院区内，用地性质为医疗卫生用地；本项目不在永久基本农田保护红线、生态保护红线范围内，项目建设符合“三区三线”的要求。

本项目利用绍兴市上虞人民医院科技综合楼负一、负二层，不新增用地，核医学科、放疗科位于负一层北部、负二层东北侧，衰变池位于负二层西侧，四周及上下主要为各类机

房、辅助用房，均为人员偶然居留场所，不毗邻儿科、妇科、食堂等部门，项目选址充分考虑了周围场所的安全，边界外50m 范围主要为医院内部建筑，无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区等环境敏感区，项目选址符合《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）相关要求。项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的防护治理措施后对周围环境造成的辐射影响是可接受的，故本项目的选址是合理的。

### 1.2.6与绍兴市生态分区管控动态更新方案符合性分析

根据《绍兴市生态环境分区管控动态更新方案》（绍市环发[2024]36号），生态环境分区管控是以改善生态质量为核心，明确生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线，划定生态环境管控单元，在一张图上落实“三线”的管控要求，编制生态环境准入清单，构建生态环境分区管控体系。本项目与绍兴市生态分区管控动态更新方案符合性分析判定情况见表1-9。

表1-9 与绍兴市生态分区管控动态更新方案符合性分析

内容	符合性分析
生态保护红线	根据浙江省自然资源厅文件《关于启用“三区三线”划定成果的通知》（浙自然资发[2022]18号），项目选址不涉及永久基本农田保护红线和生态保护红线。
资源利用上线	本项目营运过程中会消耗一定量的电源、水资源等，主要来自工作人员的日常办公和设施用电，但项目资源消耗量相对区域资源利用总量较少，符合资源利用上线要求。
环境质量底线	经监测，本项目相关辐射工作场所拟建址及周围环境的 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率均处于当地本底水平， $\beta$ 放射性表面污染水平均未见异常。经环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。“三废”污染物均采取了合理的处理措施，可以做到达标排放，符合环境质量底线要求。
生态环境准入清单	<p>根据《绍兴市生态环境分区管控动态更新方案》（绍市环发[2024]36号），本项目位于浙江省绍兴市上虞区中心城镇生活重点管控单元（编码：ZH33060420010），该管控单元生态环境准入清单内容如下：</p> <p>①空间布局约束：1、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，鼓励现有三类工业迁出或关闭。2、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，不得新增控制单元污染物排放总量。工业功能区（小微园区、工业集聚点）外的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。3、严格执行畜禽养殖禁养区规定，城镇建成区内禁止畜禽养殖。4、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。5、推进既有建筑绿色化改造，高质量发展零碳低耗绿色建筑。</p> <p>②污染物排放管控：1、管控单元内工业污染物排放总量不得增加。2、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排污口，现有的入河排污口应限期纳管。但相关法律法规和标准规定必须单独设置排污口的除外。3、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，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。4、加强噪声和臭气异味防治，强化餐饮油烟和机动车尾气治理，严格施工扬尘监管，依法严禁秸秆、垃圾等露天焚烧。5、加强土壤和地下水污染防治与修复。</p> <p>③环境风险管控：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。</p>

④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，推进生活节水降损，实施城市供水管网优化改造，到2025年，全市城市公共供水管网漏损率控制在8%以内。

本项目为核技术在医学领域的应用，不属于工业类项目，且项目利用绍兴市上虞人民医院主体建筑开展，无新增用地，不改变土地现状。运营过程中污染物简单，排放量较小，放射性“三废”污染物皆可控制和处理，故项目运营后对周围环境不会产生较大影响。同时，绍兴市上虞人民医院已制定有《辐射事故应急预案》，并设置辐射事故应急小组和应急物资，具备完善的风险防范措施。因此，本项目的实施符合《绍兴市生态环境分区管控动态更新方案》的管控要求，符合生态环境准入清单要求。

因此，本项目的建设符合绍兴市生态环境分区管控动态更新方案的要求。

### 1.2.7与《浙江省大运河核心监控区建设项目准入负面清单》符合性分析

根据《浙江省大运河文化保护传承利用实施规划》与《绍兴市大运河核心监控区国土空间管控细则》，京杭大运河（绍兴段）核心监控区范围为大运河绍兴段遗产河道两岸起始线至同岸终止线距离 2000m 范围内。

本项目拟建址与河道相距约 230m，故属于大运河核心监控区。对照《浙江省大运河核心监控区建设项目准入负面清单》（浙发改社会[2023]100 号），本项目建设符合性分析见表 1-10。

**表1-10 本项目与《浙江省大运河核心监控区建设项目准入负面清单》符合性分析一览表**

编号	内容	本项目状况	符合性分析
1	核心监控区内禁止建设不符合设区市及以上港航相关规划的航道及码头项目。	本项目不属于航道及码头建设项目。	符合
2	核心监控区内产业项目准入必须依据《产业结构调整指导目录（2019年本）》《市场准入负面清单（2022年版）》《浙江省限制用地项目目录（2014年本）》和《浙江省禁止用地项目目录（2014年本）》等文件相关要求。项目选址空间上必须符合各级围土空间规划、《浙江省大运河核心监控区国土空间管控通则》、浙江省“三线一单”编制成果和岸线保护与利用相关规划规定。	本项目不属于相关文件中限制类与淘汰类项目，项目用地性质为医疗卫生用地，位于浙江省绍兴市上虞区中心城镇生活重点管控单元（编码：ZH33060420010），不涉及生态保护红线。	符合
3	核心监控区内一律不得新建、扩建不符合《浙江省工业等项目建设用地控制指标（2014）》的项目。	本项目建设于已建医院内，不新增建设用地。	符合
4	核心监控区内禁止新建、扩建高风险、高污染、高耗水的建设项目。	本项目为核技术利用项目，不属于高风险、高污染、高耗水的建设项目。	符合

综上所述，本项目符合《浙江省大运河核心监控区建设项目准入负面清单》的要求。

### 1.2.8选址合理性分析

#### (1) 核医学科选址合理性分析。

本项目核医学科工作场所位于科技综合楼负一层，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及

人员密集区。核医学科进出口直接与电梯厅、楼梯间相连，不设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。所有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。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，核医学科选址合理。

## （2）放疗科选址合理性分析

本项目放疗科工作场所选址与标准要求对照分析表见表 1-11。

表1-11 放疗科选址与标准要求对照分析表

序号	标准	要求	设计情况	评价
1	《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）	治疗机房一般设于单独的建筑或建筑物底层的一端。	本项目放疗科机房位于科技综合楼负二层东北侧一端，东、北侧为地下室边界。	符合
2	《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）	放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端。	本项目放疗科机房位于科技综合楼负二层东北侧一端。	符合
3	《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）	放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	本项目放疗科机房所在科技综合楼属于医疗用楼，不属于民居、写字楼和商住两用的建筑物。	符合
		放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避免儿科治疗室、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。	本项目放疗科机房位于科技综合楼负二层东北侧一端，避开了儿科治疗室、产房等特殊人群及人员密集区域，不涉及商业活动区域。	符合

由此可见，本项目放疗科选址符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）等相关法规中选址的要求，经后续章节计算，评价范围内职业人员和公众人员关注点处剂量率满足评价标准要求，同时 50m 评价范围内无自然保护区、风景名胜区和生态保护红线等生态敏感目标，因此本项目放疗科选址合理。

综上所述，本项目利用绍兴市上虞人民医院科技综合楼负一、负二层，不新增用地，核医学科、放疗科位于负一层北部、负二层东北侧，四周及上下主要为各类机房、辅助用房，均为人员偶然居留场所，不毗邻儿科、妇科、食堂等部门，项目选址充分考虑了周围场所的安全，边界外50m范围主要为医院内部建筑，无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区等环境敏感区，项目选址符合《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）相关要求。项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的防护治理措施后对周围环境造成的辐射影响是可接受的，故本项目的选址是合理的。

## 1.3 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令第7号（《产业结构调整指导目录（2024年本）》），本项目属于第六项核能中第6条核技术应用，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

### 1.4 实践正当性结论符合性

本项目在使用时患者、医生及周围的公众会受到一定的照射剂量，但是本项目的建设更能满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，可达到一般非放射性诊治方法所不能及的诊断及治疗效果，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，本项目开展所带来的利益是大于所付出的代价的，同时对周围环境、公众的辐射影响满足国家辐射防护安全标准的要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践正当性”的要求。

### 1.5 原有核技术利用项目情况

#### 1.5.1 原有核技术利用许可证情况

绍兴市上虞人民医院（绍兴市上虞人民医院医共体总院）已取得辐射安全许可证，证书编号为“浙环辐证[D2232]”，种类和范围为“使用II类、III类射线装置”，有效期至：有效期至2028年9月6日，见附件4。绍兴市上虞人民医院（绍兴市上虞人民医院医共体总院）目前正在用的III类射线装置项目共有25台，已许可的II类射线装置共有4台。

表1-12 现已审批射线装置汇总表

序号	设备名称	型号	类别	数量	工作场所	环评情况	验收情况
1	口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备	Planmeca ProMax 3D Mid	III类	1台	放射科	202133060400000062	/
2	直线加速器	瓦里安 23EX	II类	1台	放疗科	绍市环审（2015）28号	虞环建验（2015）14号
3	DSA	西门子 Artiszee III	II类	1台	DSA机房		
4	DSA	Azurion 7M20	II类	1台	科技综合楼	绍市环审[2018]11号	2019年10月自主验收
5	DSA	Azurion 7M20	II类	1台	科技综合楼		
6	16排CT	SOMATOM go now	III类	1台	传染治疗室楼	202133060400000062	/
7	大孔径CT	Brilliance CT Big Bore	III类	1台	放射科	绍市环审（2015）28号	虞环建验（2015）14号
8	CT	Optima CT680	III类	1台	放射科		
9	CT	GE BrightSpeed Elite	III类	1台	放射科		
10	CT	Optima CT540	III类	1台	放射科	202033060400000195	/
11	CT	Incisive CT Power	III类	1台	科技综合楼	201833060400000104	/
12	CT	uCT550	III类	1台	科技综合楼	202133060400000062	/
13	CT	uCT710	III类	1台	体检中心	202333060400000422	/
14	移动DR	uDR380i	III类	1台	传染治疗室楼	202333060400000422	/
15	移动DR	uDR370i	III类	1台	传染治疗室楼	202133060400000062	/

16	移动 DR	uDR370i	III类	1台	放射科		
17	C 臂机	Ziehm Vision FD	III类	1台	放射科：手术室	绍市环审（2015）28号	虞环建验（2015）14号
18	立式胸片机	西班牙E7884	III类	1台	放射科		
19	DR	NOVA FA-C	III类	1台	放射科		
20	数字化乳腺机	GE Senographe DS	III类	1台	放射科		
21	C 臂机	Digiarc 100AC	III类	1台	放射科：手术室		
22	拍片机	东芝KX50R	III类	1台	放射科		
23	C 臂机	PHILIPS BV Libra	III类	1台	放射科：手术室		
24	X 射线骨密度检测仪	Prodlgy	III类	1台	放射科	绍市环审（2015）28号	虞环建验（2015）14号
25	拍片机	艾克瑞 AKHX-50/200B	III类	1台	放射科：体检车		
26	拍片机	Yiso	III类	1台	放射科		
27	体外冲击波碎石机	HK.ESWL-V	III类	1台	放射科：碎石室		
28	数字胃肠机	SONIALVISION safire PLUS	III类	1台	放射科		
29	DR	uDR780i	III类	1台	科技综合楼	202133060400000062	/

### 1.5.2原有核技术利用项目辐射安全管理情况

#### 1、放射安全与防护工作组

医院已发文成立以俞栋、赵志刚为组长的放射安全与防护工作组，负责全单位的辐射安全与防护监督管理工作。委员会人员组成上涵盖了现有核技术利用项目涉及的部门，在框架上基本符合要求，见附件 6。

#### 2、辐射安全制度的制定与落实

医院已开展辐射工作多年，日常工作中制定了《辐射防护和安全保卫制度》、《辐射装置操作规程》、《设备检修维护制度》、《放射性同位素和射线装置使用登记制度》、《放射性同位素和射线装置台账管理制度》、《放射治疗设备质量控制制度》、《受检者放射危害告知与防护制度》、《直线加速器辐射安全和防护制度》、《导管室安全制度》、《放射防护检测与评价制度》、《放射工作人员岗位职责》、《放射工作人员培训计划》、《个人剂量和辐射环境监测方案》、《辐射事故报告制度及应急处理方案》、《质量保证大纲和质量控制计划》等辐射安全规章制度（见附件 6），相关制度均张贴上墙于辐射工作场所现场。

医院现有辐射管理制度较为全面，符合相关要求。医院严格落实各项规章制度，各放射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实及档案管理等方面运行较好。

#### 3、现有辐射工作人员管理

①所有辐射工作人员均参加了卫生部门或生态环境部的辐射安全与防护培训并通过考

核，符合持证上岗的要求，所有证书均在有效期内。

②医院已委托浙江亿达检测技术有限公司定期进行个人剂量检测，所有辐射工作人员均配备了个人剂量计，并建立了个人剂量档案。根据医院提供最近一年的个人剂量检测报告，辐射工作人员一年个人监测剂量值最大为0.618mSv，年有效剂量远低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员“剂量限值”的要求（职业人员 $\leq 20\text{mSv/a}$ ），也符合剂量约束限值要求（职业人员 $\leq 5\text{mSv/a}$ ）。

③所有辐射工作人员均已开展职业健康体检，并建立了职业健康监护档案。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，根据医院提供的职业健康体检报告，在岗辐射工作人员均可继续从事放射性工作，健康无异常。

#### 4、现有辐射防护措施落实情况

①医院所有辐射工作场所均已根据项目实际情况划分了控制区和监督区，实行两区管理。

②普通放射机房（DSA 和III类射线装置机房）：射线设备工作场所机房、防护门、电离辐射警告标志、工作状态指示灯等均按标准要求设置。

③加速器机房治疗室和控制室之间已安装监视和对讲设备；治疗室入口处设置了防护门和迷道；防护门与加速器联锁，迷道内设置了紧急停机、开门按钮；防护门安装了工作状态指示灯并张贴了电离辐射警告标志，防护门划定了 1m 的黄色警戒线。

因此，现有项目各项辐射安全防护措施均落实到位，可保证现有辐射活动的安全开展。

#### 5、现有“三废”处理情况

医院现有核技术利用项目运行过程中产生的“三废”主要为放疗机房和普通放射机房产生的臭氧和氮氧化物等非放射性气体，现状处理措施和治理效果如下：

医院加速器机房已设置机械排风设施，可保证有效通风换气次数不小于 4 次/h；普通放射机房（DSA和III类射线装置机房）设有机械通风装置，确保室内具有良好通风。

因此，现有核技术利用项目“三废”污染物均得到合理、有效、可行地处置，影响可控。

#### 6、现有场所检测与年度评估

医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，检测结果均满足相关标准要求。同时，医院已配备相应的辐射检测仪器，日常内部常规检测已执行。相关辐射环境监测记录或报告档案均妥善保存备查。

#### 8、现有辐射事故应急

医院已制定《绍兴市上虞人民医院辐射事故报告制度及应急处理方案》，见附件 6。医院每年均定期开展辐射事故应急预案演练，并对演练结果进行总结，及时对放射事件应急处理预案进行完善和修订。经与建设单位核实，医院自辐射活动开展以来，无辐射事故发生，事故应急小组处于正常运行状态。

**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	<sup>192</sup> Ir	3.7×10 <sup>11</sup> /3.7×10 <sup>11</sup> ×1	III	使用	放射治疗	放疗科后装机房	贮存于机头源罐内	新购
2	<sup>90</sup> Sr- <sup>90</sup> Y 敷贴器	1.85×10 <sup>9</sup> Bq×1	V	使用	敷贴治疗	核医学科敷贴室	核医学科储源室	新购

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	<sup>18</sup> F	液态，低毒 半衰期109.8min	使用	7.40×10 <sup>9</sup>	7.4×10 <sup>6</sup>	5.55×10 <sup>12</sup>	PET 显像	很简单操作	科技综合楼负 一层核医学科 工作场所	按需购买， 贮存于储源室
				1.48×10 <sup>10</sup>	1.48×10 <sup>6</sup>		贮存（备药）	源的贮存		
2	<sup>99m</sup> Tc	液态，低毒 半衰期为6.02h	使用	2.78×10 <sup>10</sup>	2.78×10 <sup>7</sup>	6.94×10 <sup>12</sup>	SPECT 显像	很简单操作		
3	<sup>131</sup> I	液态，中毒 半衰期为8.02d	使用	2.96×10 <sup>10</sup>	2.96×10 <sup>9</sup>	1.48×10 <sup>12</sup>	甲癌	简单操作		
4	<sup>131</sup> I	液态，中毒 半衰期为8.02d	使用	1.85×10 <sup>9</sup>	1.85×10 <sup>8</sup>	1.85×10 <sup>11</sup>	甲亢	简单操作		
5	<sup>131</sup> I	液态，中毒 半衰期为8.02d	使用	7.40×10 <sup>6</sup>	7.4×10 <sup>5</sup>	7.40×10 <sup>8</sup>	甲测	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》（GB 18871-2002）

**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	装置名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大能量 (MeV)	活动 种类	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用电子 直线加速器	II	2	未定	电子	最大X射线能量15MV	使用	15MVX射线： $3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$	放射 治疗	放疗科加速 器机房	本次 新增
						最大电子线能量22MeV		10MVX射线： $8.4 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$			
								22MeV电子线： $6.0 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$			

(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	装置名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	PET/CT	III	1	未定	140	800	显像诊断	科技综合楼负一层核医学科PET/CT机房	本次新增
2	SPECT/CT	III	1	未定	140	800	显像诊断	科技综合楼负一层核医学科SPECT/CT机房	本次新增
3	CT模拟定位机	III	1	未定	140	800	模拟定位	科技综合楼负二层放疗科CT模拟定位机房	本次新增

(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 ( $\mu\text{A}$ )	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
核医学科工作场所放射性废气	气态	$^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$	/	/	/	/	/	核医学科通风管道利用高效过滤器+活性炭吸附二级处理装置处理后在科技综合楼楼顶排放。
放疗机房废气	气态	$^{11}\text{C}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{41}\text{Ar}$	/	极少量	极少量	/	/	排风管道经排风并于科技综合楼楼顶排放
核医学科工作场所放射性废水	液态	$^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$	/	约39m <sup>3</sup>	约468m <sup>3</sup>	总β≤10Bq/L	核医学科废水暂存于科技综合楼负二层西侧的4个并联衰变池，暂存衰变185天。	放射性废水暂存时间超过180天后可直接解控排入医院污水处理站，经处理废水达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）后，最终通过市政管网排入城市污水处理厂进一步处理。
核医学科工作场所沾有放射性核素的棉棒、注射器等放射性固废	固态	$^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$	/	约80kg	约961kg	/	暂存于各工作场所废物间内。	经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于0.08Bq/cm <sup>2</sup> ，β表面污染小于0.8Bq/cm <sup>2</sup> ，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。
核医学科废活性炭	固态	$^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$	/	/	约100kg	/		
直线加速器废靶件	固态	/	/	/	/	/	在机房铅桶内暂存，铅桶外剂量率应处于辐射环境本底水平	加速器靶在更换或退役时，按放射性固体废物处理，拆卸后先放进机房的铅桶衰变暂存，最终送交有资质单位收贮。
废放射源	固态	$^{90}\text{Sr}$	/	/	/	/	暂存于源室	废 $^{90}\text{Sr}$ 敷贴器整备后交城市放射性废物库处置。
	固态	$^{192}\text{Ir}$	/	/	约2枚	更换时活度约6.86E+10Bq	暂存于后装机房	废 $^{192}\text{Ir}$ 放射源放置于贮源器暂存于25mmPb保险柜中，废放射源由源生产厂家回收，购买前须与源生产厂家签订回收协议。

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/m<sup>3</sup>；年排放总量用kg。

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/m<sup>3</sup>）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》，中华人民共和国主席令第9号，自2015年1月1日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，中华人民共和国主席令第24号，自2018年12月29日起施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法（2020年修订）》，中华人民共和国主席令第43号，自2020年9月1日起施行；</p> <p>(4) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第6号，自2003年10月1日起施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，中华人民共和国国务院令第682号，自2017年10月1日修订并施行；</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），生态环境部令第16号，自2021年1月1日起施行；</p> <p>(7) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》中华人民共和国国家发展和改革委员会第7号令，2024年2月1日起施行；</p> <p>(8) 《关于印发&lt;生态环境分区管控管理暂行规定&gt;的通知》，环环评〔2024〕41号，生态环境部，2024年7月6日印发；</p> <p>(9) 《浙江省生态环境保护条例》，浙江省人民代表大会常务委员会第71号公告，自2022年8月1日施行。</p> <p>(10) 《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）；</p> <p>(11) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019年修改）》，国务院令第709号，2019年3月2日起施行；</p> <p>(12) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令第18号，自2011年5月1日起施行；</p> <p>(13) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修改），生态环境部令第20号，2021年1月4日起施行；</p> <p>(14) 关于发布《放射性废物分类》的公告（原环保部公告2017年第65号）；</p> <p>(15) 《放射性废物安全管理条例》，国务院令第612号，2012年3月1日起施</p>
----------	---

	<p>行；</p> <p>(16) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145号，原国家环保总局、公安部、卫生部文件），自2006年9月26日起施行；</p> <p>(17) 《国家危险废物名录（2025年版）》，2024年11月26日生态环境部、国家发展和改革委员会、公安部、交通运输部、国家卫生健康委员会令第36号公布，自2025年1月1日起施行；</p> <p>(18) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》（2021年修正），浙江省人民政府令第388号，2021年4月1日起施行；</p> <p>(19) 《放射工作人员职业健康管理辦法》，中华人民共和国卫生部令第55号，2007年3月23日经卫生部部务会议讨论通过，自2007年11月1日起施行；</p> <p>(20) 《关于发布射线装置分类的公告》（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会 2017年第66号，2017年12月5日施行）；</p> <p>(21) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第9号，2019年11月1日施行；</p> <p>(22) 《关于发布&lt;建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法&gt;配套文件的公告》，生态环境部公告2019年第38号，2019年10月24日施行；</p> <p>(23) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告2019年第39号，2019年10月25日施行。</p> <p>(24) 《浙江省辐射环境管理办法》（2021年修正），浙江省人民政府令第388号，2021年4月1日起施行；</p> <p>(25) 《浙江省生态环境厅关于发布&lt;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（2023年本）&gt;的通知，浙环发〔2023〕33号；</p> <p>(26) 《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》，浙环函[2019]248号，浙江省生态环境厅、浙江省卫生健康委员会，2019年7月18日起施行。</p>
<p><b>技术标准</b></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) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）；</p> <p>(4) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）；</p> <p>(5) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；</p> <p>(6) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）；</p> <p>(7) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>(8) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）；</p> <p>(9) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）；</p> <p>(10) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：<math>\gamma</math> 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）；</p> <p>(11) 《后装 <math>\gamma</math> 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS 262-2017）</p> <p>(12) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；</p> <p>(13) 《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>(14) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(15) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；</p> <p>(16) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函（2023）20号）。</p>
其他	<p>(1) 环评委托书；</p> <p>(2) 建设单位提供的其他与本项目有关的技术资料。</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）的规定：“以项目实体为中心，放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，乙、丙级取半径50m的范围。放射源和射线装置的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外50m的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于100m的范围）”，结合本项目的辐射污染特点（乙级非密封性放射性物质工作场所、放射源和射线装置），确定评价范围为核医学科工作场所边界、后装机机房、直线加速器机房边界外50m范围内区域。评价范围示意图见附图2。

### 7.2 环境保护目标

本项目环境保护目标为本项目辐射工作人员、周围其他非辐射工作人员和公众成员，本项目核医学科环境保护目标详见表7-1，放疗科环境保护目标详见表7-2。

表7-1 本项目核医学科环境保护目标一览表

方位	关注区域	环境保护目标	与本项目场所边界的最近距离		规模	人员类别
			水平/m	垂直/m		
内部	核医学科控制区	辐射工作人员	/	0	11人	职业
	控制室等		0.3	0		
	护士站		0.3	0		
北侧	过道	公众	紧邻	0	约50人次/天	公众
	库房等房间	公众	2.1	0	约5人次/天	
	备用机房	公众	2.1	0	约1人次/天	
	进风机房、排风机房	公众	10.1	0	约1人次/天	
	库房	公众	10.1	0	约5人次/天	
东侧	过道	公众	紧邻	0	约100人次/天	
	排风机房	公众	紧邻	0	约1人次/天	
	备用机房	公众	2.0	0	约1人次/天	
	污物电梯厅及2号楼梯间	公众	2.0	0	约100人次/天	
南侧	备用机房	公众	1.8	0	约1人次/天	
	配电房	公众	紧邻	0	约1人次/天	
西侧	电梯厅等	公众	2.5	0	约200人次/天	
	排风机房	公众	20.1	0	约1人次/天	
	厕所	公众	20.1	0	约50人次/天	
	过道	公众	紧邻	0	约200人次/天	
上方	科技综合楼急诊室等	公众	紧邻	5.2	约200人次/天	

	科技综合楼2层及以上	公众	紧邻	10.3	约500人次/天
	非机动车停车场	公众	24	5.2	约500人次/天
	门诊医技楼	公众	25	5.2	约800人次/天
	过道	公众	紧邻	5.2	约1000人次/天
下方	空调机房、水泵房、排风机房等	公众	紧邻	-5.3	约5人次/天

表7-2 本项目放疗科、衰变池组环境保护目标一览表

方位	关注区域	环境保护目标	与本项目机房辐射源的最近距离		规模	人员类别
			水平/m	垂直/m		
			1号加速器机房			
南侧	过道	公众	紧邻	0	约50人次/天	公众
	进风机房		紧邻	0	约1人次/天	
	2号楼梯间、消防泵房		3.9	0	约100人次/天	
	4号楼梯间、电梯厅		42	0	约100人次/天	
西侧	控制室、准备间、水冷机房	职业	紧邻	0	3人	职业
	2号加速器机房		6.5	0	约40人次/天	
西南侧	空调机房	公众	3.9	0	约1人次/天	公众
上层	过道及停车场	公众	紧邻	10.3	约1000人次/天	公众
2号加速器机房						
东侧	控制室、准备间、水冷机房	职业	紧邻	0	3人	职业
南侧	过道	公众	紧邻	0	约50人次/天	公众
	空调机房		4	0	约1人次/天	
	生活泵房		20	0	约1人次/天	
	车库		28	0	约100人次/天	
西侧	后装机房	职业	紧邻	0	3人	职业
	控制室、准备间		紧邻	0	约3人次/天	
	门诊医技楼	公众	45	10.3	约800人次/天	公众
西南侧	1#楼梯间、电梯厅等	公众	12	0	约100人次/天	公众
	排风机房等		21	0	约1人次/天	
上层	过道及停车场	公众	紧邻	10.3	约1000人次/天	公众
后装机房						
东侧	2号加速器机房	公众	紧邻	0	约40人次/天	职业
南侧	控制室、准备间	职业	紧邻	0	3人	
	过道	公众	4	0	约50人次/天	
	空调机房		7.8	0	约1人次/天	
	生活泵房		24	0	约1人次/天	
	车库		32	0	约100人次/天	
西侧	铅加工、体模室等	职业	紧邻	0	约10人次/天	职业
	备用机房	公众	5.7	0	约10人次/天	
	热疗室		16	0	约10人次/天	
	门诊医技楼		37	10.3	约800人次/天	
西南侧	进风机房	公众	4.2	0	约1人次/天	公众

	1#楼梯间、电梯厅等	公众	8.2	0	约100人次/天	
	排风机房等		23	0	约1人次/天	
上方	进风机房、排风机房	公众	紧邻	5.3	约1人次/天	
	过道及停车场	公众	紧邻	10.3	约1000人次/天	
模拟定位机房						
南侧	过道	公众	24	0	约100人次/天	公众
	楼梯间、电梯厅等	公众	8.2	0	约100人次/天	
东侧	控制室	职业	紧邻	0	2人	职业
	缓冲间	公众	紧邻	0	约6人次/天	公众
	铅加工、体模室等	公众	3.7	0	约10人次/天	
西侧	热疗诊室	公众	紧邻	0	约50人次/天	公众
上层	库房	公众	紧邻	5.3	约2人次/天	
衰变池组						
南侧	/	/	/	/	/	/
东侧	过道	公众	紧邻	0	约100人次/天	公众
	3#楼梯间、消防电梯等		紧邻	0	约100人次/天	
	吸引机房、送风机房等		2.4	0	约1人次/天	
	1#楼梯间、电梯厅等		2.4	0	约100人次/天	
	车库		32	0	约100人次/天	
西侧	门诊医技楼	/	2	10.3	约800人次/天	公众
上层	过道	公众	紧邻	10.3	约500人次/天	公众

## 7.3 评价标准

### 7.3.1 剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

表7-3 剂量限值的相关内容

相关条款	具体内容
B1.1 职业照射	B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值： a)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；
B1.2 公众照射	B1.2.1 实践使公众中有关关键人群的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值： a) 年有效剂量，1mSv。

参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），本项目职业人员和公众剂量约束值如下：

对于职业人员，本项目取年有效剂量限值的四分之一，即不超过 5mSv 作为年剂量约束值；对于公众，本项目取年有效剂量限值 1mSv 的十分之一，即不超过 0.1mSv 作为年剂量约束值。

### 7.3.2 核医学科辐射工作场所评价标准

#### (1) 辐射防护分区

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装

室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗治疗室、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。

4.3.3 核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。

4.3.4 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。

## (2) 辐射工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C，应按表 7-4 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-4 非密封源工作场所的分级

级别	具体内容
甲	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。

## (3) 表面污染控制水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 B11，对于工作场所的放射性表面污染，应满足表 7-5 的控制水平。

表 7-5 工作场所放射性表面污控制水平

表面类型		$\beta$ 放射性物质 (Bq/cm <sup>2</sup> )
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 <sup>1)</sup>	$4 \times 10$
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		$4 \times 10^{-1}$
<sup>1)</sup> 该区内的高污染子区除外		

## (4) 核医学科工作场所辐射剂量率控制水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中的相关规定及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号），本项目核医学科辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平见表 7-6。

表 7-6 本项目核医学科屏蔽体外周围剂量当量率控制水平

场所	位置	周围剂量当量率控制水平

核医学科	距核医学工作场所控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处；手套箱、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位；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；控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）。	$< 2.5\mu\text{Sv/h}$
	控制区屏蔽墙外的房间为人员偶然居留的设备间等区域；控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院治疗室防护门外以及核医学科患者走廊等位置。	$< 10\mu\text{Sv/h}$
	手套箱或通风橱非正对人员操作位表面	$< 25\mu\text{Sv/h}$

### (5) 放射性废水排放控制要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关规定及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号），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 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总  $\alpha$  不大于 1 Bq/L、总  $\beta$  不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

c) 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 ( $9\text{E}^{+5}$  贝可)，每月排放的废水中碘-131 总活度不超过 10ALImin( $9\text{E}^{+6}$  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。

### (6) 固体放射性废物排放控制要求

参照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录A中A2.1的规定：“任何时间段内在进行实践的场所存在的给定核素的总活度或实践中使用的给定核素的活度浓度不超过表A1所给的或审管部门所规定的豁免水平。”

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， $\alpha$  表面污染小于  $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 $\beta$  表面污染小于  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$  的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

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

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

c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

### **(7) 核医学工作场所通风要求**

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关规定及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号），核医学工作场所通风要求如下：

6.3.3 碘-131 治疗治疗室应设有单独的通风系统，治疗室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。

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（单独的排风系统意为手套箱、通风橱等设备的排风管道在汇入“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）。

6.3.5 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。

### **7.3.3 放射治疗机房评价标准**

#### **(1) 工作场所屏蔽体外剂量率控制水平**

CT 模拟定位机房屏蔽体剂量率控制水平参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关规定：机房外周围剂量当量率水平不大于  $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相关规定，电子直线加速器机房和后装机机房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  $\dot{H}_c$ :

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

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

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

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

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

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

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射,以年剂量  $250 \mu\text{Sv}$  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)。

## (2) 辐射工作场所分区

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021),控制区和监督区分区原则如下:

### 5.2 分区原则

5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下,控制区包括加速器大厅、治疗室(含迷路)等场所,如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室,直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时,术中放射治疗室应确定为临时控制区。

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

与机房相邻区域等)。

### (3) 辐射工作场所布局要求

根据《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020),放射治疗机房布局要求如下:

6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端;放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造,并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。

6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区;其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施,但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求,其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置,治疗设备辅助机械、电器、水冷设备,凡是可以与治疗设备分离的,尽可能设置于治疗机房外。

6.1.5 应合理设置有用线束的朝向,直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室,尽可能避开被有用线束直接照射。

6.1.6 X射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路;γ刀治疗设备的治疗机房,根据场所空间和环境条件,确定是否选用迷路;其他治疗机房均应设置迷路。

### (4) 辐射工作场所安全防护要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021),放射治疗机房安全设施和措施要求如下:

6.2.1 放射治疗工作场所,应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等;

a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志,贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明;

b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯;

c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置,并设置双向交流对讲系统。

6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室(一般在迷道的内入口处)应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能,其显示单元设置在控制室内或机房门附近。

6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全连锁措施：

a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门—机/源连锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；

b) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；

c) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；

f) 安全连锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何连锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行连锁恢复及功能测试。

#### **(5) 放射源操作的辐射安全与防护要求**

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），放射源操作的辐射安全与防护要求如下：

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。

#### **(6) 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。

根据《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）：工作场所空气中臭氧的最高容许浓度为  $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 、氮氧化物的时间加权平均容许浓度为  $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

#### **(7) 放射性废物管理要求**

8.2.2.1 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。

8.2.2.2 低水平的活化部件如质子/重离子加速器治疗头器件、磁铁等，以及处理质子/重离子加速器冷却水的废树脂，集中放置在固体废物暂存间暂存衰变，经衰变后仍超出清洁解控水平的（放射性废物豁免的活度、活度浓度见附录 B）送交有资质的单位收贮。

8.2.2.3 建立放射性固体废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率）、监测日期、去向等相关信息，低于清洁解控水平的可作为一般固体废物处置，并做好存档记录。

## 表 8 环境质量和辐射现状

### 8.1 项目地理和场所位置

本项目核医学科位于科技综合楼负一层北侧，所在区域东侧为排风机房、过道及备用机房；南侧为备用机房、配电房；西侧为过道及地下室边界；北侧为电梯间、步梯间、排风机房、备用机房、库房、采光井等，核医学科顶部为科技综合楼急诊室等，下方为空调机房、水泵房、排风机房等。

放疗科位于科技综合楼负二层东北侧，所在区域东、北侧为地下室边界；南侧为进风机房、排风机房、电梯间、步梯间、生活水泵房、空调泵房、消防泵房、消防水池等设备间；西侧为备用机房及地下室边界，放疗科放疗机房顶部为消防登高带、进风机房及库房等，无地下层。本项目周围环境关系示意图见附图2。

### 8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

项目涉及乙级非密封放射性物质工作场所、II/III类射线装置和III/V类放射源，主要污染因子为电离辐射，对环境空气、地表水、声环境等影响较小，本次环评重点针对评价区域辐射环境进行现状监测评价。

#### 8.2.1 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

医院所在区域及周边环境。

##### (2) 监测因子

X- $\gamma$  辐射剂量率、 $\beta$  表面污染。

##### (3) 监测点位

根据项目的平面布置、项目情况和周围环境情况布设监测点，监测点位见图 8-1 与图 8-2。



图8-1 本项目室外辐射环境质量现状监测点位图

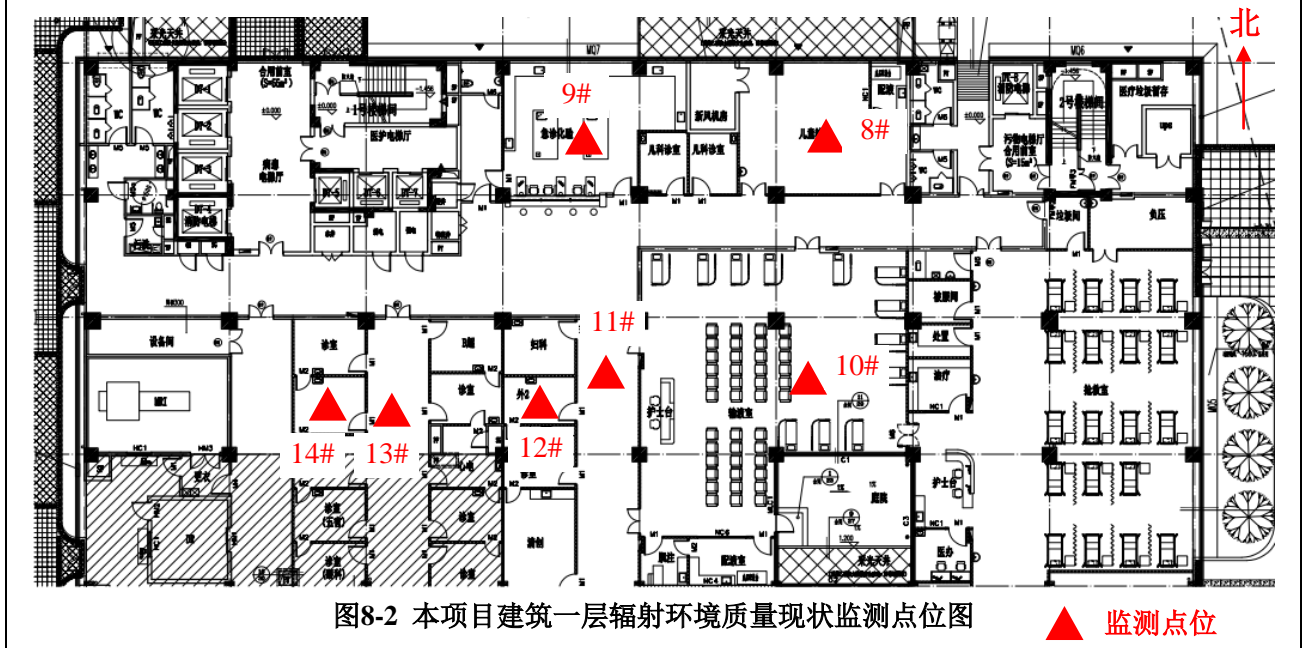


图8-2 本项目建筑一层辐射环境质量现状监测点位图

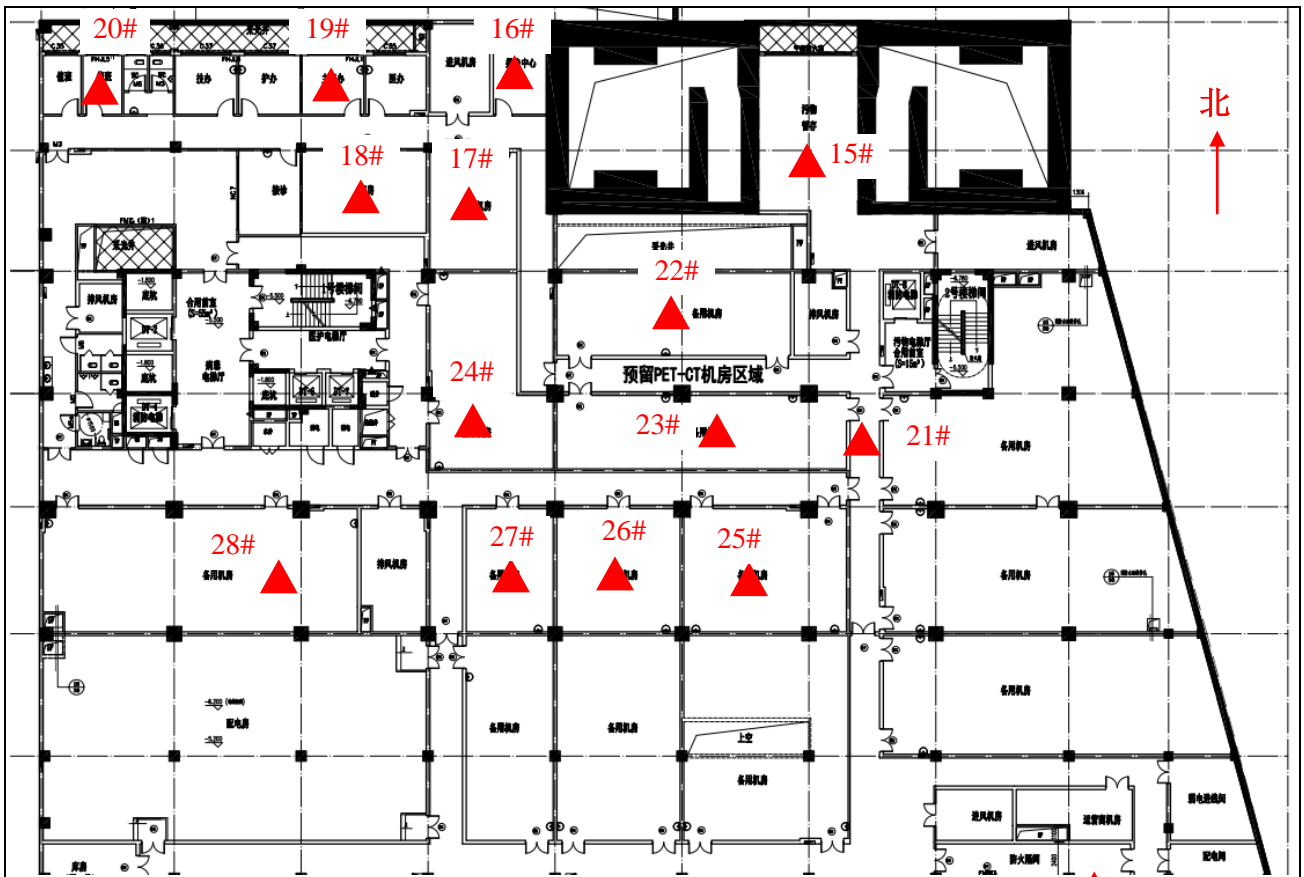


图8-3 本项目建筑负一层辐射环境质量现状监测点位图 ▲ 监测点位

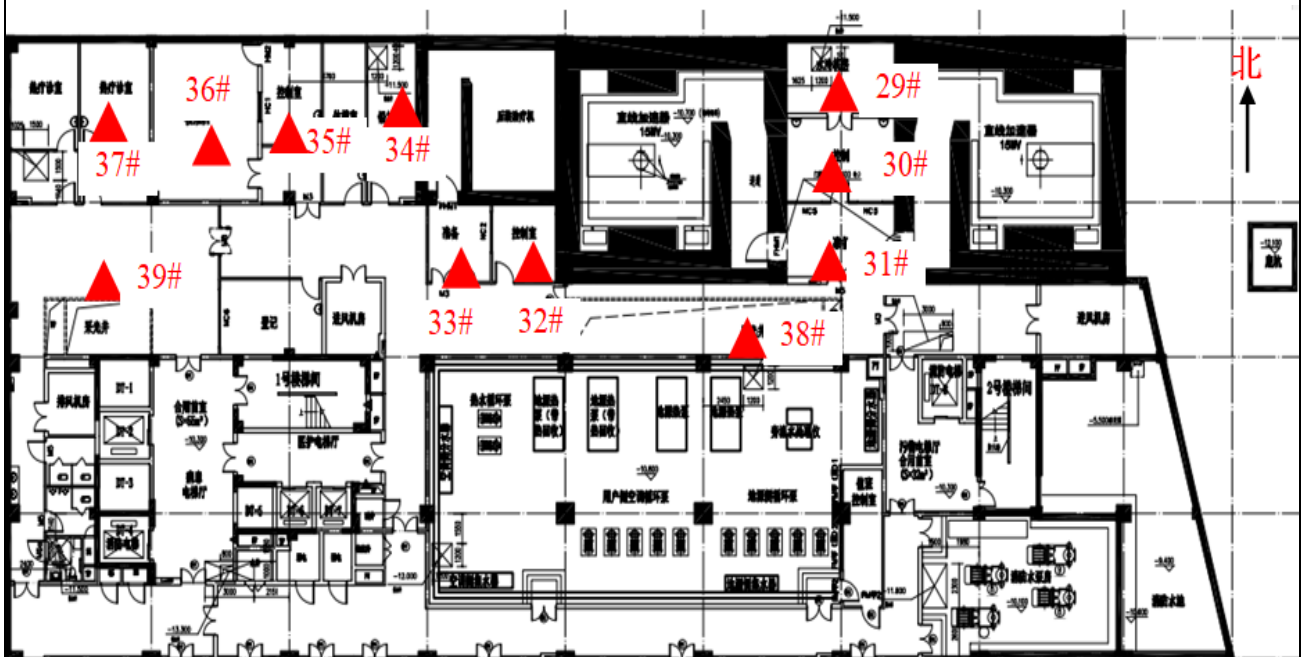


图8-4 本项目建筑负二层放疗科辐射环境质量现状监测点位图 ▲ 监测点位

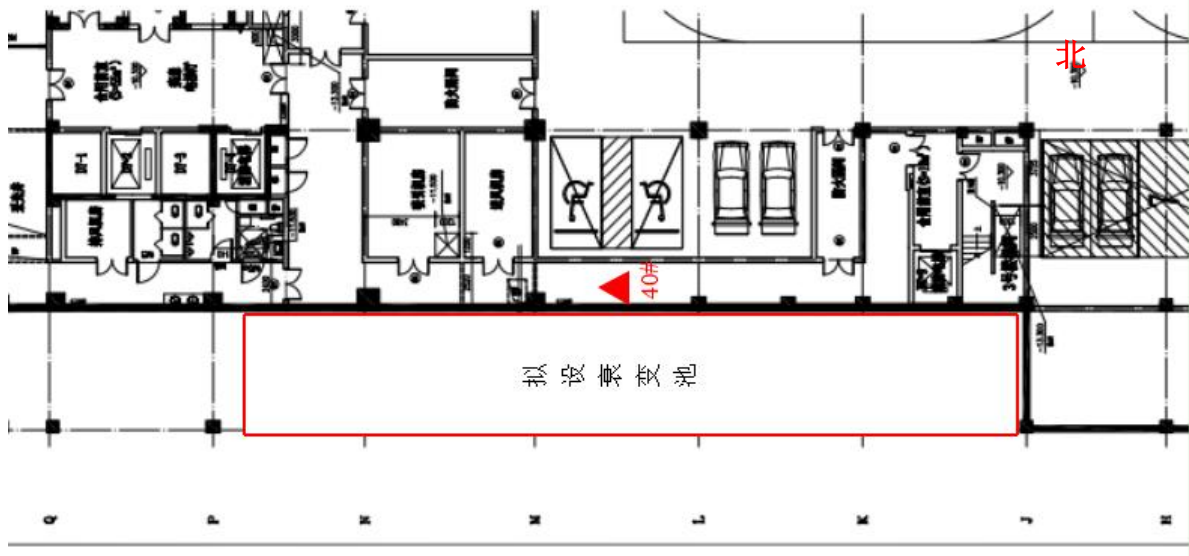


图8-5 本项目建筑负二层衰变池辐射环境质量现状监测点位图 ▲监测点位

### 8.2.2 监测方案

- (1) 监测单位：浙江亿达检测技术有限公司。
- (2) 监测日期：2024年7月29日。
- (3) 监测因子： $\gamma$  辐射空气吸收剂量率、 $\beta$  表面污染。
- (4) 监测依据：《环境  $\gamma$  辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《表面污染测定 第1部分： $\beta$  发射体（ $E_{\beta\max}>0.22\text{MeV}$ ）和  $\alpha$  发射体》（GB/T14056.1-2008）。
- (5) 监测频次：依据上述标准予以确定。
- (6) 监测工况：本项目为辐射背景值监测。
- (7) 监测报告编号：浙亿检（环）字 HJ2024 第 0286 号。
- (8) 监测设备

表 8-1 监测设备

检测仪器	X、 $\gamma$ 辐射周围剂量当量率仪	$\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染仪
仪器型号	6150 AD(内置探头：6150 AD-b/H 外置探头：6150 AD 6/H)	CoMo-170
仪器编号	167510+165455	9950
生产厂家	Automess	德国 NUVIA
量程	内置探头：0.05 $\mu\text{Sv/h}$ ~99.99 $\mu\text{Sv/h}$ 外置探头：0.01 $\mu\text{Sv/h}$ ~10mSv/h	$\beta/\gamma$ : 0-20000cps
能量范围	内置探头：20keV-7MeV $\leq\pm 30\%$ 外置探头：60keV-1.3MeV $\leq\pm 30\%$	---
检定证书编号	2024H21-20-5106288001	2023H21-20-4741654001
检定证书有效期	2024年02月23日至2025年02月22日	2023年08月04日-2024年08月03日

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	上海市计量测试技术研究院华东国家 计量测试中心 华东国家计量测试中心华东国家计量 测试中心华东国家计量测试中心
校准因子 $C_p$ /表面 活度响应	1.04	$(\beta: 50.59) \text{ s}^{-1}\text{Bq}^{-1}\text{cm}^2$
探测限	10nSv/h	$\beta: \geq 0.06\text{Bq}/\text{cm}^2$

### 8.2.3 质量保证措施

根据《环境 $\gamma$  辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中有关辐射环境监测质量保证一般程序和实验室的质量体系文件（包括质量手册、程序文件、作业指导书）实行全过程质量控制，保证此次监测结果科学、有效。本次环境现状监测质量保证主要内容有：

- ①监测机构通过了计量认证；
- ②监测前制定了详细的监测方案及实施细则；
- ③合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性；
- ④监测所用仪器已通过计量部门校准、检定合格，且在校准、检定有效使用期内使用。

监测仪器与所测对象在量程、响应时间等方面相符合，以保证获得准确的测量结果。测量实行全过程质量控制，严格按照《质量手册》和《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行；

- ⑤监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗；
- ⑥每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；

⑦现场监测严格按照规定的监测点位、方法、记录内容等进行，按照统计学原则处理异常数据和监测数据；

⑧建立完整的文件资料。仪器校准说明书、监测方案、监测布点图、测量原始数据、统计处理程序等全部保留，以备复查；

- ⑨监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、审核，签发。

### 8.2.4 监测结果

本项目辐射环境现状各监测点位的监测结果见表 8-2。

表 8-2 本项目辐射工作场所辐射剂量率与  $\beta$  表面污染水平检测结果

点位编号	点位描述		$\gamma$ 辐射空气吸收剂量率(nGy/h)		$\beta$ 表面污染 (Bq/ $\text{cm}^2$ )
			平均值	标准差	
1#	科技综合楼东侧道路	道路	194	2	0.29
2#	科技综合楼南侧道路		95	3	<LLD

3#	科技综合楼西侧道路		111	2	<LLD
4#	科技综合楼北侧道路		119	1	0.12
5#	住院部南侧道路		114	3	<LLD
6#	科技综合楼屋顶		87	2	<LLD
7#	南侧停车场		103	2	<LLD
8#	急诊室	负一层	84	1	<LLD
9#	急诊治疗室		97	4	0.06
10#	治疗室		82	2	<LLD
11#	过道		77	1	<LLD
12#	治疗室		84	3	<LLD
13#	治疗室		79	2	<LLD
14#	治疗室		87	2	<LLD
15#	机房		98	2	0.08
16#	操作中心		115	2	0.10
17#	备用机房		109	1	0.13
18#	库房		107	1	<LLD
19#	主任办		106	2	<LLD
20#	值班室		110	3	<LLD
21#	过道		100	2	<LLD
22#	备用机房		91	3	<LLD
23#	附属机房		109	2	<LLD
24#	备用机房		103	1	<LLD
25#	备用机房		94	1	<LLD
26#	备用机房		107	2	<LLD
27#	备用机房		108	2	<LLD
28#	备用机房		120	2	<LLD
29#	水冷机房	负二层	108	1	<LLD
30#	控制室		107	2	<LLD
31#	缓冲间		97	1	<LLD
32#	后装控制室		109	1	<LLD
33#	准备室		117	2	0.14
34#	铅加工室		108	4	<LLD
35#	控制室		110	2	<LLD
36#	模拟机		110	4	0.09
37#	热疗室		117	1	0.06
38#	过道		99	2	<LLD
39#	过道		124	2	<LLD
40#	拟设衰变池右侧道路		107	3	<LLD

注：1、本次测量时，测量仪器探头垂直向下，距地面的参考高度为1m，仪器读数稳定后，以10s为间隔读取10个数据；

2、本次检测设备测量读数的空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照JJG393,使用<sup>137</sup>Cs作为检定/校准参考辐射源时，换算系数取1.20Sv/Gy；

3、 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率均已扣除宇宙射线响应值31.3nGy/h，本报告中各检测点位的建筑物对

宇宙射线的屏蔽修正因子，1#~7#点位取1，其余点位取0.8；

4、测量 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染时使用直接测量方法，在探测器灵敏窗和待检查表面避免接触的情况下，将探测器在表面上方慢慢地移动，并密切观察并记录数据。 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染仪对 $\beta$ 表面污染的探测限为 $0.06 \text{ Bq/cm}^2$ ，监测结果低于探测限的记为<LLD；

#### 8.2.4.5 辐射环境现状评价

由监测结果可知，本项目拟建场地及周围各监测点位  $\beta$  表面污染水平最大为  $0.29 \text{ Bq/cm}^2$ ，未见异常。本项目拟建场地室外监测点位  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率在  $87 \text{ nGy/h} \sim 194 \text{ nGy/h}$  之间，室内监测点位  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率在  $82 \text{ nGy/h} \sim 120 \text{ nGy/h}$  之间，根据《浙江省环境天然贯穿辐射水平调查研究》，绍兴市室内  $\gamma$  辐射剂量率在  $61 \sim 335 \text{ nGy/h}$  之间，上虞区道路上的  $\gamma$  辐射剂量率在  $71 \sim 116 \text{ nGy/h}$  之间，因此本项目拟建场地及周围  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率属于正常本底水平，科技综合楼东侧道路  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率偏高主要原因可能为地面装饰铺设的花岗岩中天然辐射影响。

#### 8.2.4.6 浙江省辐射环境质量

根据《浙江省生态环境状况公报》（2023 年），全省环境电离辐射水平处于本底涨落范围内，环境 $\gamma$  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。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。

**表 9 项目工程分析与源项**

**9.1 施工期工程分析**

**9.1.1 建设期**

本项目利用已有建筑物，施工期主要包括拟建核医学科、放疗科现有墙体的拆除、新墙体的砌筑、墙面、地面及顶面的装修施工，施工过程中会产生废气、废水、噪声及固废，施工期主要的污染因子有：

噪声、扬尘、废水、固体废物等。

**(1) 扬尘**

主要为拟建核医学科、放疗科装修时机械敲打、钻洞墙体等产生的粉尘和装修废气。

**(2) 废水及防治措施**

施工期间产生的废水主要为施工人员的生活污水。

**(3) 噪声及防治措施**

主要来自设备安装以及室内装修产生的噪声。

**(4) 固体废物及防治措施**

主要为建筑垃圾（主要为现有墙体拆除产生的废弃物、新墙砌筑产生的多余建材）、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。

**9.1.2 调试期**

本项目调试阶段不涉及放射性核素与放射源的使用，射线装置调试会产生X射线，同时设备安装完成后，会有少量的废包装材料产生。调试阶段在已经做好辐射防护的机房内进行，张贴辐射警示标识，避免无关人员靠近，经墙体的屏蔽及距离衰减后对环境的影响可以接受的。

**9.2 营运期工程分析**

**9.2.1 核医学科**

**9.2.1.1 设备组成及工作原理**

**(1) PET/CT**

PET 即正电子扫描仪（Positron Emission Tomography）分子影像设备。由于在核成像中要求能发射 $\gamma$ 射线，原理是通过标记参与人体代谢的某些化合物的元素，把 $^{18}\text{F}$ 等同位素注入人体后成为稳定的化合物，在活体内参与细胞代谢。用这种正电子发射体取代

正常和稳定元素，即形成了此类元素的化合物，此类化合物也是半衰期适合的天然化合物，当此类化合物的正电子与人体内的电子结合时，发生湮灭效应，产生两个能量相同（0.511MeV）、运动相反的 $\gamma$ 射线。根据人体不同组织器官吸收放射性标记化合物能力不同，同位素在人体内各部位的浓聚程度也不同，湮灭反应产生光子的强度亦不同。再用环绕人体的 $\gamma$ 射线检测器 PET，能探测到随位置变化的符合计数，再经过符合计数技术，即可判定这一对 $\gamma$ 光子辐射的轨迹线（该线经过湮灭源或称确定了这种多次蜕变作用的路径），按照一定规律被计算机采集下来。

PET/CT的工作原理是把正电子发射计算机断层显像仪 PET 和射线发射组织同机 CT 放在一起，是一种将 PET(功能代谢显像)和 CT(解剖结构显像)两种先进的影像技术有机地结合在一起的新型的影像设备。它是将微量的正电子核素示踪剂注射到人体内，然后用特殊的体外探测仪(PET)探测这些正电子核素人体各器官的分布情况，通过计算机断层显像的方法显示人体的主要器官的生理代谢功能，同时套用 CT 技术为这些核素分布情况进行精确定位，使这台机器同时具有 PET 和 CT 的优点，发挥出各自的最大优势。

典型 PET/CT 示意图见图 9-1。



图9-1 PET/CT外观示意图

### (3) SPECT/CT

ECT 是指发射型计算机断层成像（Emission Computerized TOMOgraphy），SPECT 是指单光子发射型计算机断层成像（Single photon emission compt），是 ECT 显像的一种。单光子的含义是指探测的放射性核素是发射单光子射线的。当某种放射性核素或其标记物通过注射、口服等方式进入体内后，依其化学及生物学特性不同，随血流等进入某些特定的组织器官，参与或模仿某些生命物质在人体内的病理生理、引流代谢的过

程。由于正常组织和病变组织在这个过程中的差异，使其聚集这种放射性核素或其标记物的能力发生了变化。利用 SPECT 来探测这种放射性核素发射的  $\gamma$  射线在体内的分布状态并还原成图像，其影像不仅可以显示脏器和病变的位置、形态、大小等解剖结构，更重要的是可以显示脏器的功能、代谢情况，提供有关脏器的血流、功能、代谢和引流等方面定性的和定量的信息。而血流、功能和代谢的异常，常是疾病的早期变化，出现在形态结构发生改变之前。因此，SPECT 放射性核素显像有助于疾病的早期诊断。

SPECT/CT 是将 SPECT 和 CT 有机结合在一起，使用同一个检查床和同一个图像处理工作站，将 SPECT 图像和 CT 图像融合，可以同时反映病灶的病理生理变化和形态结构，明显提高诊断的准确性。

典型 SPECT/MR 示意图见图 9-2。



图9-2 SPECT/CT外观示意图

#### (4) 甲测、甲亢、甲癌

**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  $^{131}\text{I}$  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  $^{131}\text{I}$  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  $^{131}\text{I}$  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  $^{131}\text{I}$  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，有效半衰期可达 7.6 天。在患者服用  $^{131}\text{I}$  后，90% 以上的  $^{131}\text{I}$  都会聚集到患者的甲状腺，其余的  $^{131}\text{I}$  随代谢排出体外。 $^{131}\text{I}$  衰变为  $^{131}\text{Xe}$  时放射出 95% 的  $\beta$  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，

<sup>131</sup>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症、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。

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

### 9.2.1.2 工作负荷

根据医院提供的资料，项目正式开展后，诊疗区域每年工作 250 天，治疗区域每年工作 350 天。每周工作 5 天，每天工作 8h。医院暂拟为本次评价核医学科项目配备相关工作人员见表 9-1，后续医院将根据工作需要调整核医学相关专业的辐射工作人员。

表 9-1 各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

核医学科核素诊断区				
分装注射室	测活	药品手动测活 ( <sup>99m</sup> Tc)	1 分钟/次	2 人
	分装	手动分装 ( <sup>18</sup> F)	1 分钟/次	
	取药	从手套箱取药到注射窗	0.5 分钟/次	
	注射	给患者注射药物 ( <sup>99m</sup> Tc、 <sup>18</sup> F)	1 分钟/次	
敷贴室	敷贴	<sup>90</sup> Sr 敷贴治疗	1 分钟/次	
运动负荷室	注射	给患者注射 <sup>99m</sup> Tc 药物	30 秒/次	2 人
	抢救	抢救 <sup>18</sup> F 患者	15 分钟	
PET/CT 机房	摆位	指导患者躺至正确的位置	1 分钟/次	2 人
PET/CT 控制室	扫描	技师在控制室操纵设备进行扫描	15 分钟/次	
SPECT/CT 机房	摆位	指导患者躺至正确的位置	1 分钟/次	2 人
SPECT/CT 控制室	扫描	技师在控制室操纵设备进行扫描	15 分钟/次	
核医学科核素治疗区				
工作场所	工艺	操作内容	操作时间	人员数量
治疗室	甲癌查房	查房	30 分钟/次	5 人
	抢救工作	抢救	15 分钟/次	
分装注射室	指导服药	在控制室通过监控装置，并通过语音系统指导患者在服药室服药，药品自动分装	/	/

本项目实施后，核医学科工作场所使用 <sup>18</sup>F 核素患者日最大门诊量为 20 人、单人平均用药量为 10mCi (3.7×10<sup>8</sup>Bq)，则日最大操作量为 7.40×10<sup>9</sup>Bq (不含备药量)，年门诊量约 5000 人，则年最大用量为 1.85×10<sup>12</sup>Bq (不含备药量)；使用核素 <sup>99m</sup>Tc 患者日最大门诊量为 30 人、单人平均用药量为 25mCi (9.25×10<sup>8</sup>Bq)，则日最大操作量为 2.78×10<sup>10</sup>Bq，年门诊量约 7500 人，则年最大用量为 6.94×10<sup>12</sup>Bq。

甲测项目正式开展后，规划使用放射性核素  $^{131}\text{I}$  进行甲功测定。每年工作 250 天，每周工作 5 天，日最大接诊量为 20 人，年最大诊疗人数 2000 人，每名患者最大服药量为  $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ 。

甲亢治疗项目正式开展后，规划使用放射性核素  $^{131}\text{I}$  进行治疗。单日最大就诊人数为 5 人，年最大诊疗人数 500 人。甲亢治疗核素单人次最大使用量为  $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

甲癌治疗项目正式开展后，规划使用放射性核素  $^{131}\text{I}$  进行治疗。医院单日最大就诊住院人数为 4 人，每周最大就诊住院人数为 4 人。甲癌患者需住院 3~5 天后出院，年最大诊疗人数 200 人。甲癌治疗核素单人次最大使用量为  $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

### 9.2.1.3 人流和物流路径规划

#### A、送药路线

$^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$  均为装在西林瓶内的成罐药剂，并分别放置在铅罐中，按照医院与送药单位的协定，由专业供货商的药物配送人员每天在上班之前由医院大门经科技综合楼南侧内部道路至西侧入口经卫生通过间送至储源室。放射性药物送至后由核医学科专职人员接收、登记，交接过程均在监控下进行。医院拟制定放射性药物管理制度，做好放射性药物的台账管理。

#### B、医护人员路线

治疗区医护人员由西侧入口经卫生通过间进入控制室，诊疗区医护人员由西侧入口经卫生通过间进入分装注射室进行施药分装。下班前先检测表面污染，如发生污染则需要淋浴去污，再次检测合格后才能回到非放射工作场所。卫生通过间内配置表面污染监测设备，并设置感应式洗手池和淋浴设施。进行甲状腺功能测定时，医护人员直接进入甲测室，对患者进行甲状腺功能测定。设备扫描检查操作人员由核医学科南侧入口进入，经医护走廊进入 PET/CT、SPECT/CT 机房控制室进行显像扫描与摆位。

本区域所有工作人员完成工作后均原路返回。

#### C、患者路线

本项目核医学科采用预约和叫号制度，避免  $^{18}\text{F}$  受检者/患者和  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  受检者/患者交叉，受检者/患者通过核医学科西侧大门进入，在护士站咨询和等候厅接受问诊、宣教。准备工作完毕后根据叫号通过西侧单向门从病人入口进入核医学工作场所。

PET/CT 检查患者在 1# 注射窗口进行药物注射，之后进入 PET/CT 候诊室进行候诊（候诊室内患者之间拟设 10mmPb 的铅屏风），候诊 30~60min 待放射性药物代谢到相应的靶器官后，到 PET/CT 机房进行扫描，扫描完毕后再到留观室（留观室内患者之间

拟设 10mmPb 的铅屏风) 留观, 在留观室观察 10min 后离开核医学科。

SPECT/CT 检查患者在 2#注射窗口进行药物注射, 或在运动负荷室加强运动一段时间后进行药物注射, 之后进入 SPECT/CT 注射候诊室进行候诊 (候诊室内患者之间拟设 10mmPb 的铅屏风), 候诊约 120min 或运动负荷待放射性药物代谢到相应的靶器官后, 到 SPECT/CT 机房进行扫描, 扫描完毕后离开核医学科。

该路径受检者/患者出入口 (病人走廊出入口) 均设置为单向门禁, 仅允许受检者/患者单向通行。注射后等候区域与留观区域设有专用卫生间, 受检者除如厕外, 不得随意走动。

甲测患者通过核医学科西侧大门进入, 在护士站登记, 随后甲测患者在甲测室服药, 患者分别于服药后 2h、4h、6h、24h 进入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核素治疗区西侧进入, 在护士站登记, 随后甲亢患者从入口处进入在缓冲间 (服药室) 服药, 服药后在空闲的治疗室留观 30 分钟后从东侧出口离开。

甲癌患者由核医学科核素治疗区西侧进入, 在护士站登记、安排住院, 随后甲癌患者从入口处进入, 在服药室服药, 服药后进入治疗室进行住院。甲癌病人出院前, 经 SPECT/CT 注射候诊室至 SPECT/CT 机房进行甲扫。

甲亢、甲癌患者分时段给药, 二种类型治疗患者不会在核素治疗区进行交叉给药。甲癌患者住院后在治疗室内严格管理, 禁止患者随意进出治疗室。

从某种程度上讲, 给药患者相当于一个流动的放射源, 在一段时间内, 对近距离接触的公众可能产生  $\gamma$  外照射。但是这种影响是暂时的, 其影响将随着时间的推移越来越小, 医院应加强对服药患者管理, 向患者及其家属做出口头及书面的住院期间及出院后的防护措施指导, 给出辐射防护建议, 要求患者在一定时间内避免外出。

#### **D、污物通道**

诊疗区产生的放射性固废, 由注射候诊室、留观室的铅桶收集后, 下班时间由工作人员转移至分装注射室旁边的污物间进行贮存衰变; 治疗区产生的放射性固废转移至污物暂存间进行贮存衰变; 含  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  核素的放射性固体废物暂存时间超过 30 天, 含  $^{131}\text{I}$  核素的放射性固体废物暂存超过 180 天, 经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平,  $\alpha$  表面污染小于  $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ,  $\beta$  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委托有资质单位进行处置。

本项目核医学科工作场所布局分别设计有病人通道、医护人员通道、药物通道、污

物通道，病人出、入口均有单独通道，病人通道与工作人员通道互不交叉，药物通道、污物通道与患者通道时间上互不交叉，可有效避免带有放射性的病人对其他人员造成不必要照射，路径规划合理可行。

核医学科人员路径图见附图6。

### 9.2.1.4 诊疗工作流程及产污环节

(1) PET/CT诊断具体工作流程如下：

PET/CT系统诊断工艺流程及产污位置图如图9-3所示。

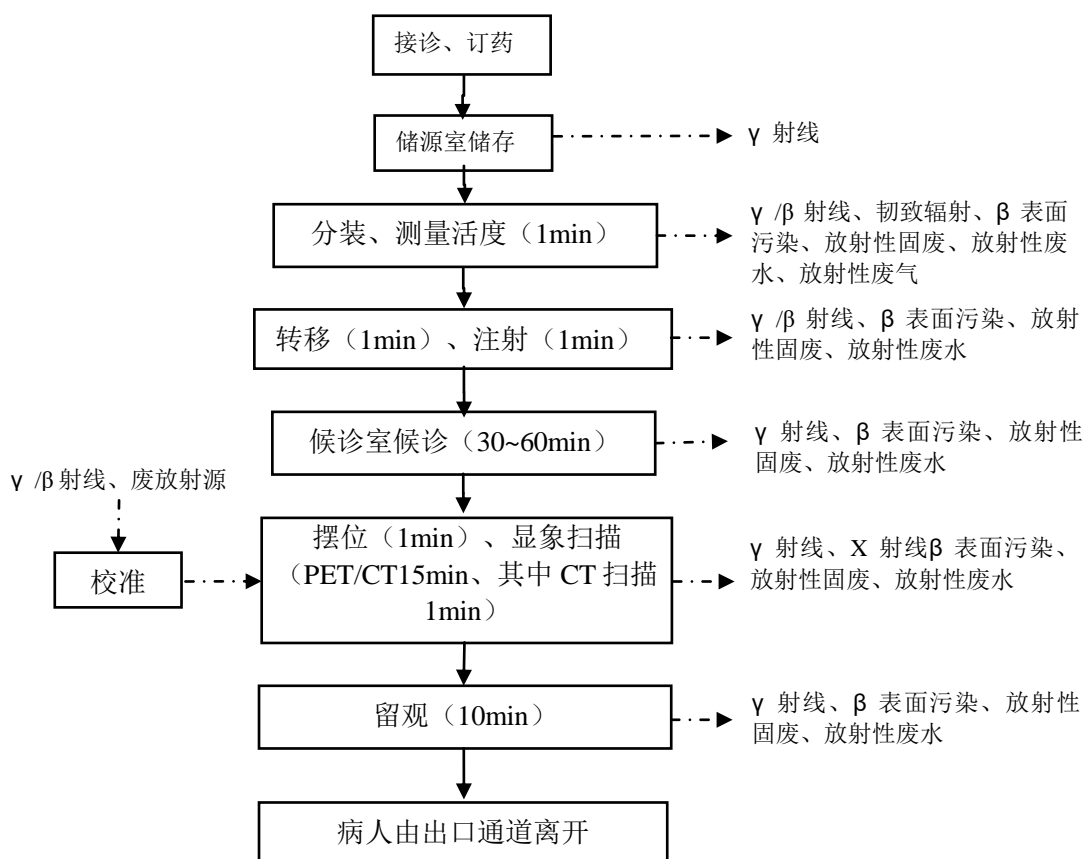


图 9-3 PET/CT 显像诊断工艺流程及产污环节示意图

A、订药：根据预约的病人量向供药公司订购非密封放射性物质，并由供药公司运输到核医学科储源室暂存；

B、分装：本项目辐射工作人员（作好防护措施，穿铅衣、戴铅手套等）将装有放射性核素的铅罐放在手套箱内进行分装，并测量其分装活度，单次分装、活度测量时间约1min。

C、注射：分装后将放射性药物转移到注射窗对病人进行药物注射，单次转移时间约1min；注射时工作人员和病人采用隔离屏蔽操作，并在注射前告知病人辐射危害，单个病人单次注射时间约1min，每位病人注射完药物后进入PET/CT注射候诊室进行静息

观察 30min，期间禁止人员陪护，病人不得离开PET/CT注射候诊室；

D、显像诊断：观察时间结束后，病人进入PET/CT机房进行显像诊断，该过程医生需进入机房进行摆位，摆位时间约1min，整个扫描过程PET/CT约15min（其中CT部分扫描约1min）。

E、诊断结束病人留观约10min后，患者离开核医学科。

## **(2) SPECT/CT显像具体工作流程**

SPECT/CT显像诊断流程见图9-4。

A、订药：根据预约的病人量向供药公司订购非密封放射性物质，并由供药公司运输到核医学科储源室暂存；

B、测活：本项目辐射工作人员（作好防护措施，穿铅衣、戴铅手套等）将装有放射性核素的铅罐放在手套箱内进行测活，单次活度测量时间约1min。

C、注射：分装后将放射性药物转移到注射窗对病人进行药物注射，单次转移时间约0.5min；注射时工作人员和病人采用隔离屏蔽操作，并在注射前告知病人辐射危害，单个病人单次注射时间约1min，每位病人注射完药物后进入候诊室进行静息观察30min；或进入运动负荷室运动，期间禁止人员陪护，病人不得离开候诊室；

D、显像诊断：观察时间结束后，病人进入SPECT/CT机房进行显像诊断，该过程医生需进入机房进行摆位，摆位时间约1min，整个扫描过程持续约15min（其中CT部分扫描约1min）。

E、诊断结束病人留观约10min，出口缓冲区设置固定式环境辐射监测仪，患者经过不报警后离开核医学科；

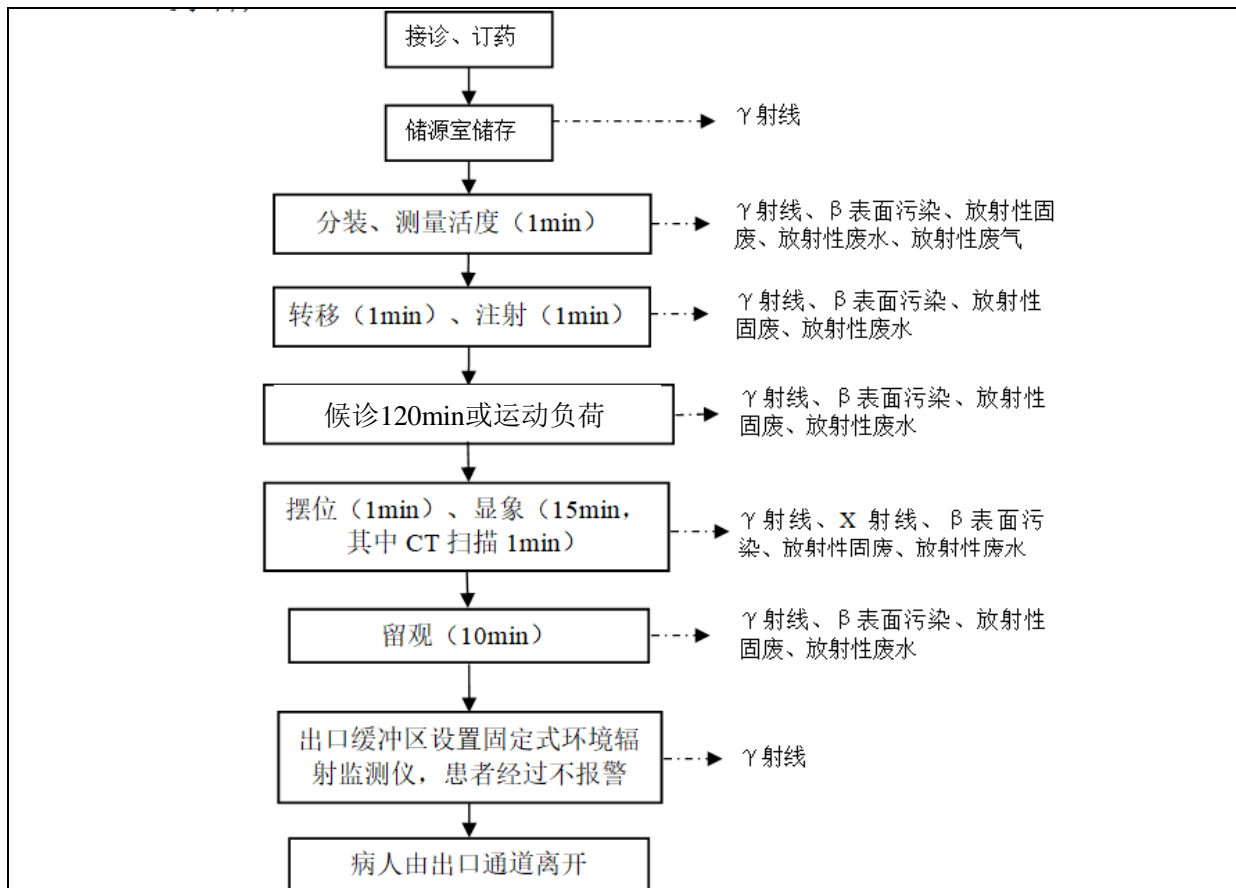


图 9-4 SPECT/CT 显像诊断工艺流程及产污环节示意图

### (3) 甲测、甲亢、甲癌治疗项目具体工作流程

甲测项目工作流程与产污分析见图 9-5，甲亢治疗项目工作流程与产污分析见图 9-6，甲癌治疗项目工作流程与产污分析见图 9-7。

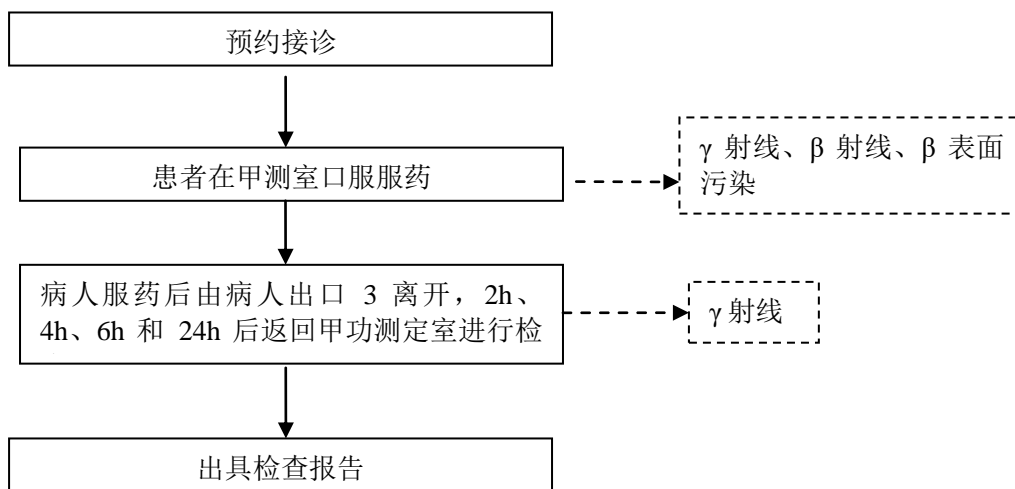


图 9-5 甲功测定工作流程及产污环节分析示意图

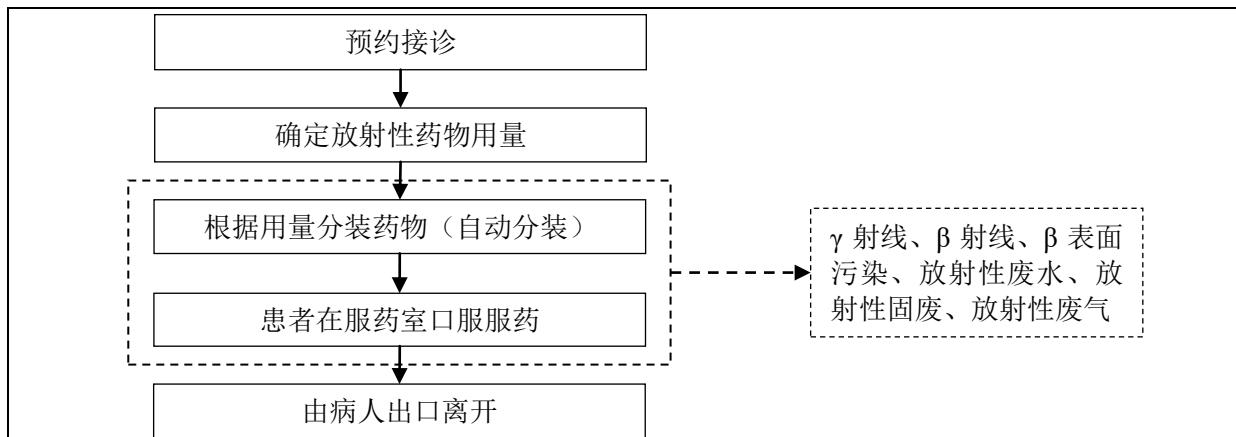


图 9-6 甲亢治疗工艺流程及产污环节分析示意图

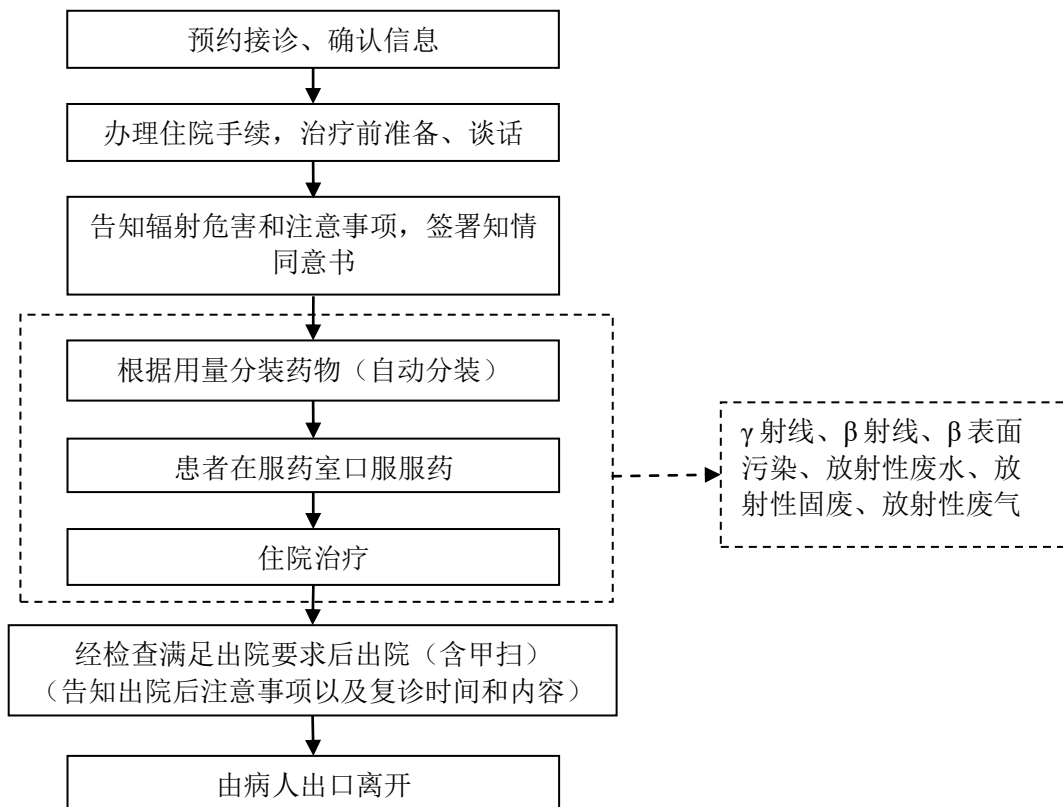


图 9-7 甲癌治疗项目工作流程及产污环节分析示意图

甲测使用购买的碘化钠口服胶囊在甲测室服药；甲亢、甲癌治疗使用  $^{131}\text{I}$  为外购成品药物碘化钠口服液体，医院按需采购放射性药物，在约定的时间由放射性药物供应单位负责将放射性药物运送至储源室，病人进行治疗前，辐射工作人员将装有药物的屏蔽容器放在服药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。

甲测患者经预约问诊后，在甲测室内服用碘化钠口服胶囊。患者分别于服药后 2h、4h、6h、24h 由核医学科入口进入甲测室进行吸碘率的测定，然后打印报告，检查结

束。

甲亢患者经预约问诊后，通过走廊到达缓冲间（服药室），服用放射性药物后在医生的语音指导下在空闲的治疗室短暂留观，如无异常情况，可离开核医学科核素治疗区。本项目  $^{131}\text{I}$  甲亢治疗患者单人用药量为 10mCi，体内放射性活度低于 400MBq，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），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，给出接触同事和亲属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）。

甲癌患者经预约问诊后，通过走廊到达缓冲间（服药室），在服药室内服用放射性药物后在医生的语音指导下进入甲癌治疗室住院，一般住院 2~5 天。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，甲癌患者出院时，体内  $^{131}\text{I}$  放射性活度需低于 400MBq，当甲癌患者在活动室检测体内放射性活度降低至 400MBq（当患者体内  $^{131}\text{I}$  活度为 400MBq 时，距患者 1m 处的辐射剂量率低于 25 $\mu\text{Sv/h}$ ）后方可出院，患者住院时间要视患者病情和手术病灶切除情况而定，患者出院前需进行 SPECT 显像（甲扫）进行治疗效果检查。

#### （4） $^{90}\text{Sr}$ 敷贴器项目具体工作流程

$^{90}\text{Sr}$  敷贴治疗皮肤血管瘤的原理是利用锶-90 经  $\beta$  衰变成钇-90，再经过  $\beta$  衰变成稳定的核素 Zr-90， $^{90}\text{Sr}$  在这些连续衰变过程中释放出的能量主要为 0.65 MeV。 $^{90}\text{Sr}$  敷贴特别适合数毫米的浅表性疾病治疗，对治疗区域的周围及全身器官无损伤，使用安全可靠。本项目  $^{90}\text{Sr}$  敷贴每日治疗患者约 5 人，全年约 1250 人。

$^{90}\text{Sr}$ 敷贴器项目工作流程与产污分析见图9-8。

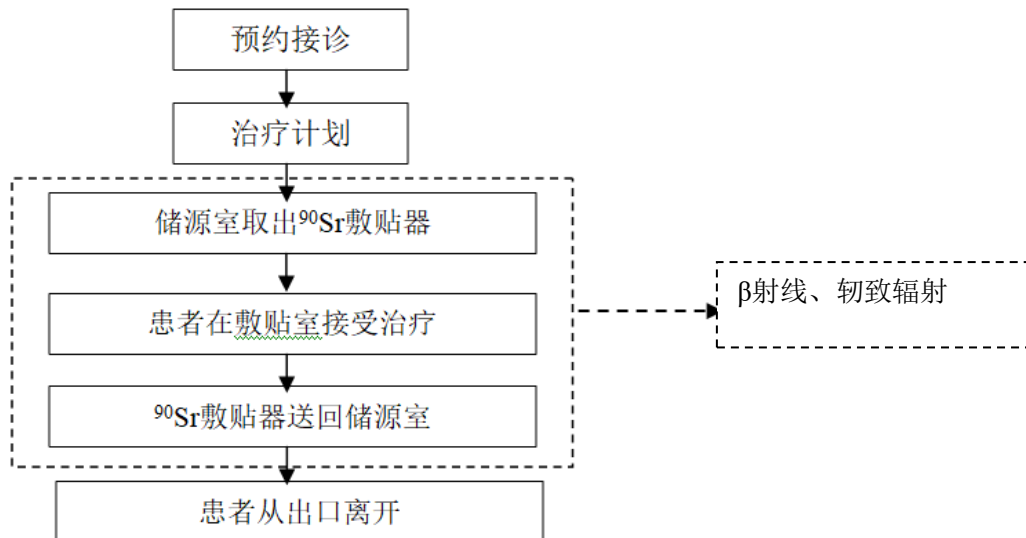


图 9-8  $^{90}\text{Sr}$  敷贴器项目工作流程与产污环节图

## 9.2.2 放疗科

本项目放疗科位于科技综合楼负二层东北侧，包括 2 间直线加速器机房、1 间后装机房。直线加速器机房使用能量不超过 15MV 的医用电子直线加速器（不带 CBCT）开展放疗；后装机房使用后装机开展后装治疗，首次装源活度为  $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$  的  $^{192}\text{Ir}$  放射源；模拟定位机房新增 1 台模拟定位机。

### 9.2.2.1 设备组成及工作原理

#### (1) 医用电子直线加速器

医用直线加速器是产生高能 X 射线和电子束的装置，为远距离治疗机。设备组成主要包括机架组件、辐射头、水冷系统、速调管、真空系统、充气系统、高压脉冲调制器、栅控电子枪电源、控制柜及操作盒、运控机箱、整机动力配电及低压电源、整机连锁保护电路等。

从电子枪发出的同步电子束注入已建立高梯度的驻波加速场中加速，在加速管末端，电子束加速到所需能量后经过漂移管进入 270 度偏转磁场。在偏转磁场中，电子束偏转 270 度后由水平入射变为垂直出射，并同时完成聚集和消除能谱色差形成直径 2mm 左右的平行束流，经过引出窗到达移动靶件处。移动靶件具有不同工位，可根据治疗需要使电子束轰击合金靶产生 X 辐射或直接穿透初级散射箔产生电子辐射。

直线加速器上配备的 CBCT(锥形束 CT)进行图像引导配准，实现患者凸显的在线或离线配准，保证患者每次治疗体位的重复性和一致性，减少由于器官运动位置变化带来的治疗误差，同时观察患者在放疗过程中的变化。CBCT 为放疗的精准摆位提供了技术支持，最大限度减少照射野的偏移，提高了放疗精度，从而减少靶区周围正常组织的受照剂量，提高治疗效果，成为精准放疗不可缺少的重要组成部分。与常规 CT 相同，CBCT 的两大核心部件是球管与探测器，它们决定着摆位过程中的图像质量、准确性和精确度等关键指标，是影响直线加速器工作效率的重要条件。

典型医用直线加速器示意图、内部结构图与典型外观图分别见图 9-9、图 9-10 与图 9-11。

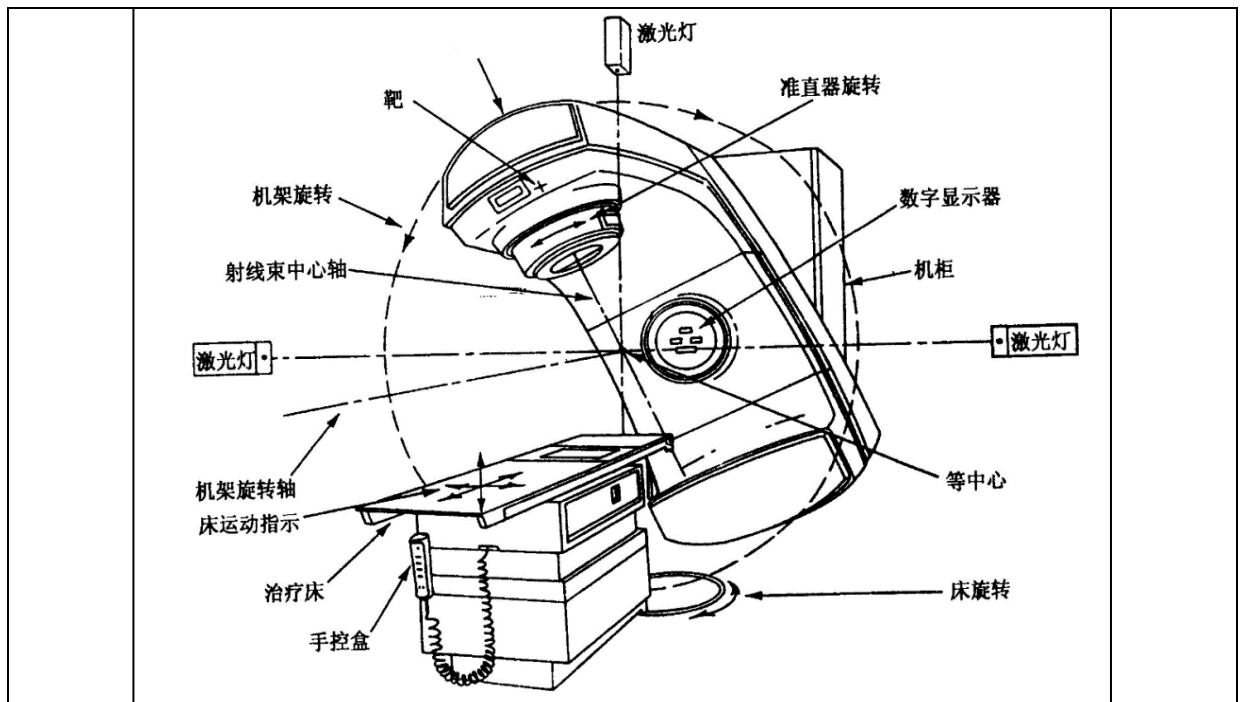


图 9-9 典型医用直线加速器示意图

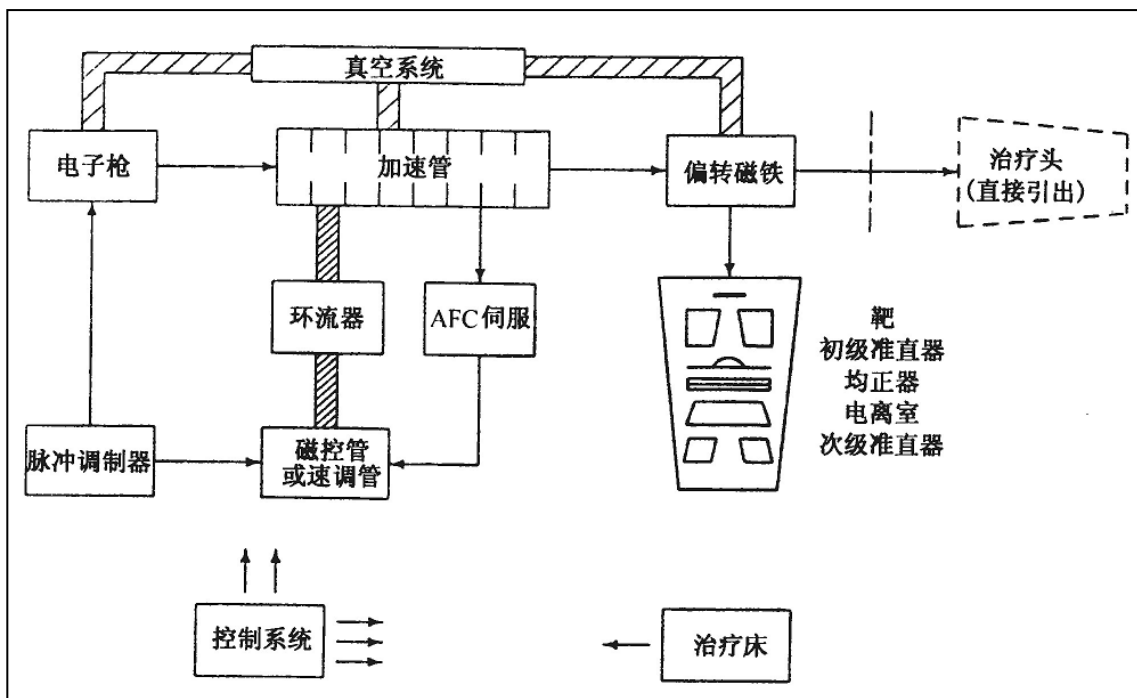


图 9-10 典型医用直线加速器结构图



图 9-11 典型医用直线加速器外观图

## (2) 后装机

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

后装机主要由机座、底座、升降装置、贮源器、分度盘、检修口等组成部分以及根据患者不同腔位及大小而设计的系列施源器组成。后装机有两个相同的绕有钢丝绳的轮，一个是真源轮，一个是假源轮，两个轮的结构和大小相同，在真源轮上放有放射源，两个轮分别由电脑控制的步进电机执行，同时还各装有一个直流电机，用于必要时做快回抽的操作。所载的放射源为高活度微型铱-192源，源运动由电脑控制的步进电机执行，步进距离为2.5mm、5mm及10mm，虽仅为1个放射源，但源可对1~30个通道进行治疗。单一微型源可保证各种功能的执行，易于保护，剂量计算更为精确。

$^{192}\text{Ir}$ 放射源装于机头源罐内，源罐由外而内分别为不锈钢外壳、铅防护、钨合金防

护，防护性能良好。 $^{192}\text{Ir}$ 放射源源罐结构见图9-12，后装机外形和结构如图9-13和图9-14所示。

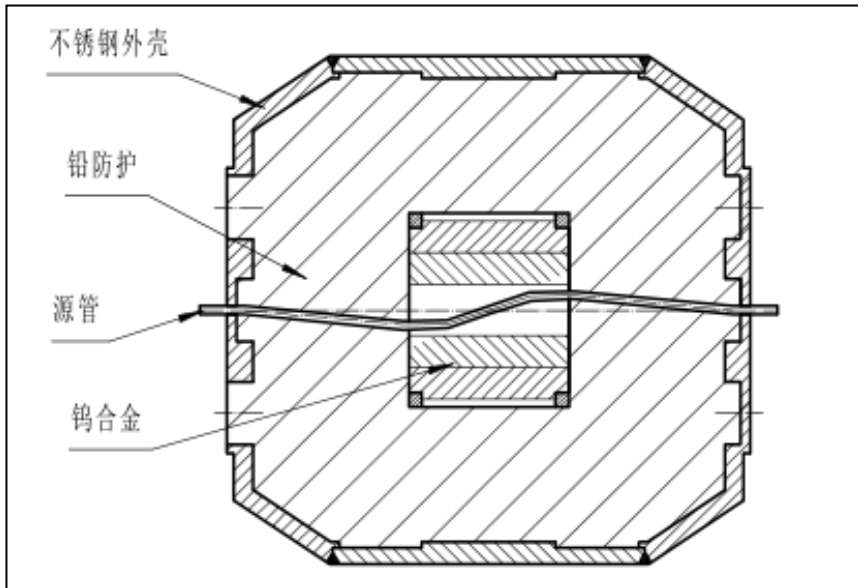


图9-12  $^{192}\text{Ir}$ 放射源源罐结构示意图



图 9-13  $^{192}\text{Ir}$  后装机外形图

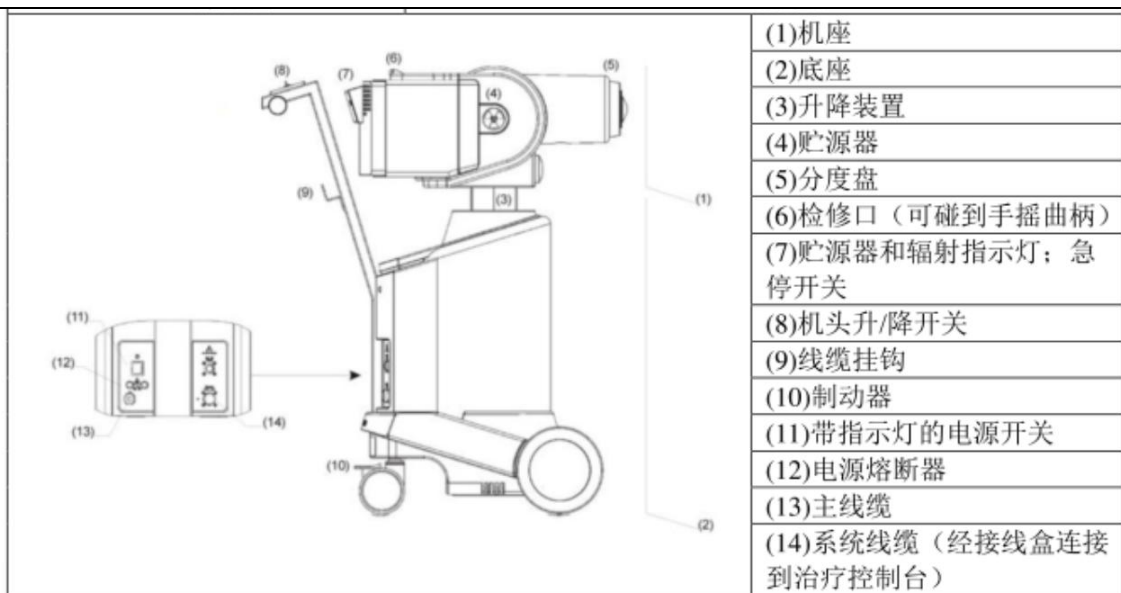


图 9-14 典型  $^{192}\text{Ir}$  后装  $\gamma$  源治疗机结构示意图

### (3) CT模拟定位机

CT模拟定位机属于Ⅲ类射线装置，主要依据X射线的穿透作用、差别吸收、感光作用和荧光作用。由于X射线穿过人体时，受到不同程度的吸收，如骨骼吸收的X射线量比肌肉吸收的量要多，那么通过人体后的X射线量就不一样，这样便携带了人体各部密度分布的信息，在荧光屏引起的荧光作用或感光作用的强弱就有较大差别。因而在荧光屏上将显示出不同密度的阴影。根据阴影浓淡的对比，结合临床表现、化验结果和病理诊断，即可判断人体某一部分是否正常。

CT模拟定位机的主要设备组成为：X射线球管、高频逆变高压发生器、金属影像增强器、数据图像处理器、床体系统等。典型CT模拟定位机外形图9-15所示。



图9-15 CT模拟定位机外观示意图

### 9.2.2.2 辐射工作人员配置与工作负荷

1~2 号加速器机房：每台加速器机房配置 3 名辐射工作人员。单台加速器放射治疗工作量为 40 人次/天，每周工作 5 天，预计每台加速器每天放射治疗患者最多为 40 人次，平均每名患者治疗照射最大时间为 1.5min，则直线加速器日照射时间为 1.0h，周照射时间为 5h，年照射时间为 250h。

后装机房：后装机房配置 3 名辐射工作人员。根据医院提供的资料，后装机每天最大工作量为 6 人次，每周工作 5 天，参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： $\gamma$  射线源放射治疗机房》（GBZ/T203.2-2014）中附录 F.1 的“示例条件与基本参数”，放射源活度处于 370GBq 时，平均每位患者的治疗照射时间为 6min，则周治疗时间为 3h。1 年工作 50 周，则每台年治疗时间为 150h。

模拟单位机房配置 2 名辐射工作人员。CT 扫描每个患者出束时间最大为 0.5min，年治疗病人数量为 5000 人次，年出束时间为 83h。

### 9.2.2.3 人流、物流路径

本项目患者在候诊区等候，叫号后进入 CT 模拟定位机房或加速器机房或后装治疗室进行定位或治疗，定位或治疗完毕后从放疗科南侧出入口离开；本项目放疗科辐射工作人员进入机房控制室，进行摆位工作，工作结束后原路返回。

### 9.2.2.4 操作流程及产污环节

#### （1）直线加速器工作流程（含模拟定位）

- 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预约患者首先在模拟定位机（拟建）上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状；物理师根据定位的情况进行制模；
  - 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确认机房无其他无关人员后，技师离开机房，进入控制室；
  - ⑥确认加速器各系统正常工作，根据 TPS 计划设定好出束时间、角度与剂量，进行出束治疗；
  - ⑦治疗结束后，关机，打开机房防护门，技师进入机房卸载患者，病人离开机房。
- 工艺流程及产污环节如图 9-16 所示。

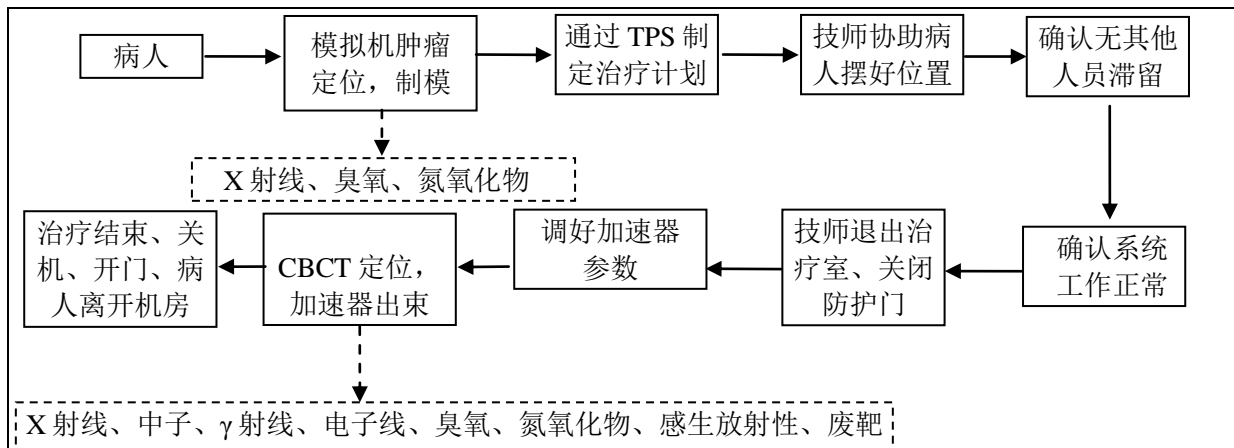


图 9-16 医用电子直线加速器工作流程及产污环节分析图

## (2) 后装机工作流程 (含模拟定位)

本项目后装治疗机使用 1 枚  $^{192}\text{Ir}$  放射源, 新源的活度大约 370GBq(10Ci), 其直径 <1.0mm, 长度 <4.6mm, 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观察后装机及放射源的情况, 系统配有后装机放射源位置模拟尺、放射源位置检查尺和 GAFCHROMIC 胶片条, 后装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机放射源的强度。

- 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预约患者首先在模拟定位机 (拟建) 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;
- ⑤治疗时先由放疗医师根据患者病患情况放置施源器, 然后由工作人员将病人送入后装机房内, 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。
- ⑥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。
- ⑦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, 在机房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, 辐射工作人员将病人送出机房。

本项目后装机治疗流程及产污环节见图 9-17。

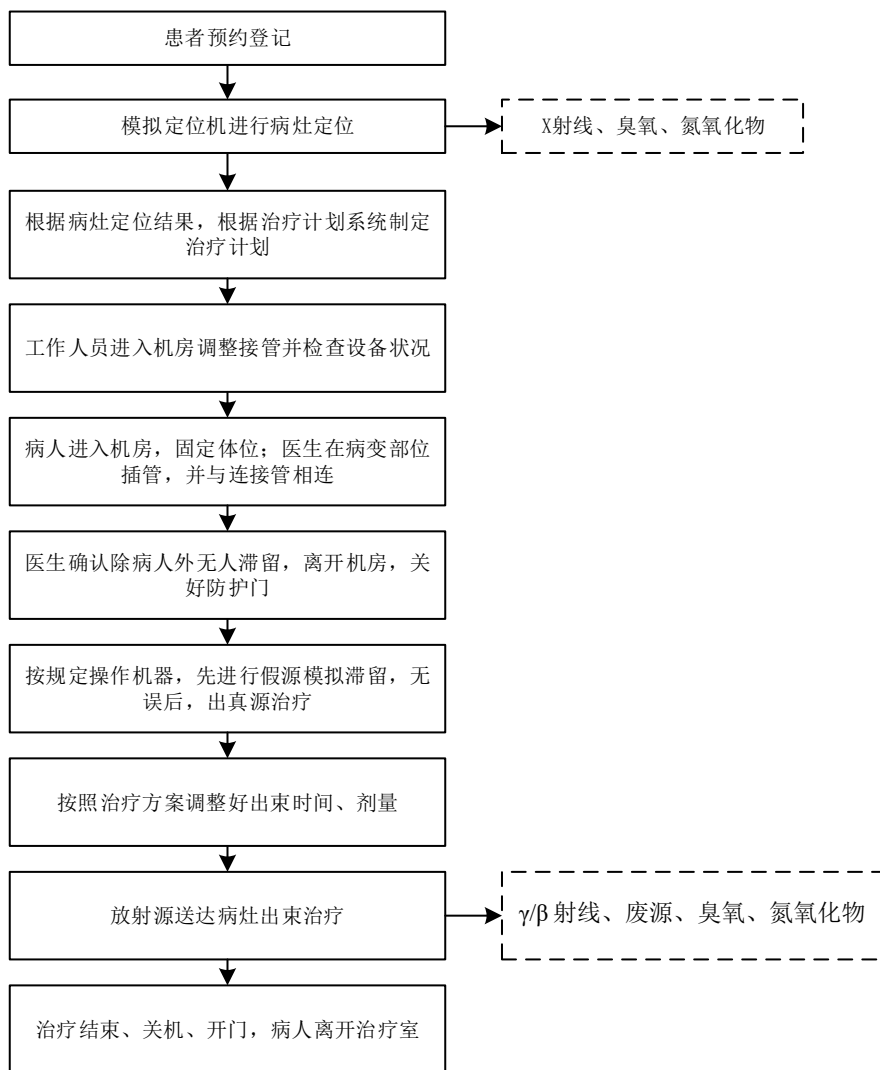


图9-17 后装机工作流程及产污环节分析图

#### (4) 换源操作

根据放射源出厂活度，后装机约四个月需要更新放射源一次。废源由供源单位按照合同协定负责调换、运输、处置，医院负责日常安全使用及管理。<sup>192</sup>Ir 后装机换源时需制定周密的计划，并且报相关部门备案。

换源流程具体如下：换源工作人员先行将专用的贮源器（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）与后装机用输源管连接，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。废源由放射源供货单位负责回收，回收前废源放置于贮源器中，暂存于后装机房内东南角的25mmPb的保险柜内。

## 9.3 源项分析

### 9.3.1 正常工况

#### 9.3.1.1 核医学科污染源项分析

##### (1) $\gamma$ 射线、 $\beta$ 射线、韧致辐射和 X 射线

药物在分装、测活、注射、注射后候诊、扫描及留观等过程中产生的  $\gamma$  射线， $^{18}\text{F}$  分装与注射过程中会有  $\beta$  射线与  $\beta$  射线所致韧致辐射。PET/CT、SPECT/CT 扫描时产生 X 射线。

##### ① $\beta$ 射线与韧致辐射

本项目涉及使用的放射性核素  $^{18}\text{F}$  与  $^{131}\text{I}$  在衰变过程中会有  $\beta$  粒子，其在各介质中的理论最大射程如表 9-2 所示。

表9-2 核素衰变产生的 $\beta$ 射线在各介质中的理论最大射程

核素	$^{18}\text{F}$	$^{131}\text{I}$
$\beta$ 射线能量(MeV)	0.511	0.284, 0.365, 0.637
空气中的射程 (cm)	198.06	248.1
实心砖墙中的射程 (cm)	0.15	0.19
混凝土中射程 (cm)	0.11	0.14
铅玻璃中射程 (cm)	$5.55 \times 10^{-2}$	$6.96 \times 10^{-2}$
铅中射程 (cm)	$2.26 \times 10^{-2}$	$2.83 \times 10^{-2}$

##### ② $\gamma$ 射线源强

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I，保守起见，所有核素工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。以服药病人视为点源，在距源 1m 处周围剂量当量率详见表 9-3。

表 9-3  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  与  $^{131}\text{I}$  源强一览表

源项	核素	病人单次最大使用量 (MBq)	距离	裸源剂量率常数* $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	剂量率 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )
PET/CT 显像	$^{18}\text{F}$	370	1m	0.143	52.91
SPECT/CT 显像	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	925	1m	0.0303	28.03
甲测	$^{131}\text{I}$	0.37	1m	0.0595	0.02
甲亢治疗	$^{131}\text{I}$	370	1m	0.0595	22.02
甲癌治疗	$^{131}\text{I}$	7400	1m	0.0595	440.3

注：裸源剂量率常数来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表 H.1。

##### ③ X 射线源强

本项目核医学科所使用的 CT 额定管电压为 140kV，由于 CT 自身带有屏蔽系统，机房周围主要受泄漏辐射影响，根据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》P23 页：“（77）用于诊断目的的每一个 X 线管必须封闭在管套内，以使得位于该套内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1 米处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1mGy/h”，故本项目泄漏辐射比释动能率保守取值为 1000μGy/h。

### （2）β 放射性表面污染

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

### （3）放射性废气

<sup>18</sup>F 与 <sup>99m</sup>Tc 为非挥发性核素，碘化钠为非挥发性化合物，分装操作整个过程在手套箱内进行，且通过活性炭吸附后经排放口排放，因此放射性气体污染浓度很小。

### （4）放射性废水

核医学科核素诊断场所的诊疗人数为：<sup>18</sup>F，5000 人次/年；<sup>99m</sup>Tc，7500 人次/年。参考《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019）中医院门诊用水定额，核医学科门诊患者每人最高日用水定额 10~15L，本环评取 12.5L，废水排污系数保守取 1，则患者每年产生放射性废水 156.25m<sup>3</sup>。诊疗区每天清洁废水产生量约为 200L，每年工作 250 天，则每年产生放射清洗废水约 50m<sup>3</sup>。考虑每年产生的事故废水约为 500L（每次约 250L，每年 2 次）。

核医学科核素治疗区甲亢治疗人数为 500 人/年，最高日用水定额 10~15L，本环评取 12.5L，废水排污系数保守取 1，则患者每年产生放射性废水 6.25m<sup>3</sup>；甲癌住院人数为 200 人次/年，一般住院 2~5 天（本环评取平均 4 天）。参考《综合医院建筑设计规范》（GB51039-2014）和医院的节水管理措施，每个病人平均每天产生 100L 废水，废水排污系数保守取 1，则患者每年产生放射性废水 80m<sup>3</sup>。另外治疗室工作场所每日清洗用水（含事故废水）以 500L/d 计，年工作 350 个工作日，则年产生清洗废水 175m<sup>3</sup>。

因此核医学科工作场所每年共产生放射性废水 468m<sup>3</sup>，平均每天产生量约 1.3m<sup>3</sup>（以 360 天计）。

表 9-4 核医学科放射性废水产生情况

序号	废水来源	每年废水产生量	每天废水产生量（按 365 天计）
<b>核素诊断区</b>			
1	患者如厕废水等	156.25m <sup>3</sup>	0.43m <sup>3</sup>
2	工作场所清洁废水	50m <sup>3</sup>	0.14m <sup>3</sup>
3	事故废水	0.5 m <sup>3</sup>	0.0014 m <sup>3</sup>

核素治疗区			
1	患者生活废水等	86.25 m <sup>3</sup>	0.24m <sup>3</sup>
2	工作场所清洁废水 (含事故废水)	175 m <sup>3</sup>	0.49m <sup>3</sup>
小计		468m <sup>3</sup>	1.3m <sup>3</sup>
注：放射性废水诊疗区按250工作日计，治疗区按350工作日计，衰变时间按365天计。			

### (5) 放射性固废

核医学科核素诊断场所PET显像诊断与SPECT显像诊断人数共约为12500人次/年，按放射性固废产生量约0.05kg/人次，则每年产生放射性固废625kg。另外项目共设3套活性炭净化装置，活性炭1次装量约10kg，约半年更换1次，核素诊断场所每年产生废活性炭约60kg。废<sup>90</sup>Sr敷贴器整备后交城市放射性废物库处置。

核医学科核素治疗区甲亢治疗人数为500人/年，按放射性固废产生量约0.05kg/人次，则每年产生放射性固废25kg。住院人数共为200人次/年，一般住院3~5天（本环评平均取4天）。参考《第一次全国污染源普查—城镇生活源产排污系数手册》中第四分册进行核算。本项目治疗室工作场所设有4张病床，年工作350天，浙江省属于二类区，医疗废物核算系数取0.42kg/床·天，共产生固废336kg。另外项目共设2套活性炭净化装置（治疗场所通风、治疗室通风）活性炭1次装量约10kg，约半年更换1次，核素治疗区每年产生废活性炭约40kg，废活性炭按放射性固废处理暂存在固废间内，达到解控标准后按危险废物处理。

表9-5 核医学科放射性固废产生情况

序号	固废类型	每年固废产生量	去向
<b>核素诊断区</b>			
1	注射器等固废	625kg	暂存于放射性废物间，达到解控标准后按普通医疗废物处置
2	废活性炭	60kg	暂存于放射性废物间，达到解控标准后按危险废物委托有资质单位处置
小计		685kg	/
<b>核素治疗区</b>			
1	废纸杯等固废	336kg	暂存于放射性废物间，达到解控标准后按普通医疗废物处置
2	废活性炭	40kg	暂存于放射性废物间，达到解控标准后按危险废物委托有资质单位处置
3	废敷贴器	/	暂存于放射性废物间，废 <sup>90</sup> Sr敷贴器整备后交城市放射性废物库处置
小计		376kg	/

### 9.3.1.2 放疗科污染源项分析

#### (1) 直线加速器

##### ①X 射线（电子线）

本项目医用直线加速器的等中心处最大剂量率分别为6Gy/min（15MV X射线）、14Gy/min（10MV X射线），CBCT在定位时间也会产生能量为150kV的X射线。加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于X射线，在X射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。在加速器开机的时间内，产生的X射线为主要辐射环境污染因素。

##### ②中子

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。加速器治疗机头外的杂散中子成为直接光中子，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。

##### ③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（ $\gamma$ , n）反应阈能在 10MeV 以上。加速器处于电子束治疗模式且电子线能量大于 10MeV，为 22MeV，电子线与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  $^{15}\text{O}$ 、 $^{13}\text{N}$ 。一般在正常通风情况下，感生放射性气体不会对辐射工作人员和病人造成危害。

##### ④臭氧和氮氧化物

加速器在运行过程中，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。

##### ⑤废靶

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。此外，加速器报废时，会有废靶产生。废靶由厂家回收，最终交由具有放射性废物收贮资质的单位收贮。

##### ⑥冷却废水

本项目直线加速器运行期间冷却水使用纯水，冷却水可能会活化而产生少量放射性，可能形成的放射性核素主要为 $^{16}\text{N}$ （7.3s）和 $^{15}\text{O}$ （2.1min）。加速器正常运行时，无冷却废水产生。检修时冷却水经监测总 $\beta$ 小于10Bq/L后排入污水处理站。

## (2) 后装机

### ① $\gamma$ 射线、 $\beta$ 射线

$^{192}\text{Ir}$  为密封源， $\beta$  射线被完全屏蔽， $\beta$  射线的影响可以忽略。后装机正常运行时的主要环境污染因子为能量流形式的  $\gamma$  射线。在正常治疗条件下，后装机  $^{192}\text{Ir}$  放射源发出的  $\gamma$  射线经过屏蔽体（包括屏蔽墙、顶棚）屏蔽后对周围工作人员和公众产生外照射影响。放射性核素  $^{192}\text{Ir}$  的源强见表 9-6。

表9-6  $^{192}\text{Ir}$ 放射源源强

名称	核素	活度A (MBq)	空气比释动能率常数 $K_r$ ( $\mu\text{Sv}/(\text{MBq h})$ )	距离	剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
$^{192}\text{Ir}$ 放射源	$^{192}\text{Ir}$	$3.7 \times 10^5$	0.111	1m	$4.11 \times 10^4$

### ② 废源

后装治疗机使用的  $^{192}\text{Ir}$  放射源半年后，需更换放射源，废旧放射源由放射源供货单位负责回收，并签订购源、回收协议。

### ③ 臭氧和氮氧化物

后装机在运行过程中， $\gamma$  射线作用于空气等因素，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) 模拟定位机房

模拟定位机房产生的放射性污染因子为 X 射线。本项目放疗科使用的 CT 模拟定位机额定管电压为 140kV，由于射线装置自身带有屏蔽系统，机房周围主要受泄漏辐射影响，根据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》P23 页：“（77）用于诊断目的的每一个 X 线管必须封闭在管套内，以使得位于该套内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1 米处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过  $1\text{mGy/h}$ ”，故本项目泄漏辐射比释动能率保守取值为  $1000\mu\text{Gy/h}$ 。

### 9.3.1.3 非放射性污染物

#### (1) 非放射性废气

本项目核医学科非放射性废气为电离辐射产生极少量的  $\text{O}_3$ 、 $\text{NO}_x$  等废气，经排风管道至科技综合楼屋顶排放；放疗科非放射性废气为电离辐射产生极少量的  $\text{O}_3$ 、 $\text{NO}_x$  等废气，其中直线加速器机房废气排放浓度  $\leq 0.024\text{mg}/\text{m}^3$ ，后装机房废气排放浓度  $\leq 9.83 \times 10^{-5}\text{mg}/\text{m}^3$ 。

#### ② 非放射性废水

本项目拟新增 22 名辐射工作人员，本项目废水为工作人员产生的少量生活污水，辐射工作人员产生生活污水按每人每天 100L 计，则生活污水产生量为  $803\text{m}^3/\text{a}$ 。本项目辐射工作人员产生的生活污水进入医院污水处理站预处理达标后排放。

### ③非放射性固废

本项目拟新增 22 名辐射工作人员，生活垃圾产生系数按 0.5kg/（人·天）计，则生活垃圾产生量为 4t/a，生活垃圾集中收集并交由环卫部门统一清运。

### ④噪声

本项目设备运行噪声与排风机工作噪声源强 $\leq 65\text{dB(A)}$ ，通过建筑墙体的屏蔽与距离的衰减后，对周围环境的影响可忽略。

## 9.3.2 事故工况

### 9.3.2.1 非密封放射性物质

主要考虑电离辐射损伤和药物失控对环境及公众的影响。

- (1) 显像剂（ $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ ）发生丢失或被盗；
- (2) 显像剂在运输过程、操作使用过程中发生意外洒漏时，会对周围环境及人员造成辐射影响，造成操作台、地面、仪器设备表面污染；
- (3) 发生火灾造成放射性试剂瓶洒漏。

### 9.3.2.2 放射源

- ①暂存放射源或废放射源受外力作用，放射源屏蔽容器破损，造成裸源事故；
- ②暂存放射源或废放射源因管理不善发生丢失、被盗等事故；
- ③辐射工作人员或公众还未全部撤出机房，外面人员启动，造成有关人员被误照，引发辐射事故；
- ④安全联锁装置发生故障，工作时无关人员打开屏蔽门并误入，造成有人员被误照射，引发辐射事故；
- ⑤设备故障，放射源不能正常回落储源容器，造成卡源事故。

### 9.3.2.3 医用电子直线加速器

- (1) 辐射工作人员或公众还未全部撤出机房，外面人员启动射线装置，造成有关人员被误照，引发辐射事故。
- (2) 安全联锁装置发生故障，射线装置工作时无关人员打开屏蔽门并误入，造成有人员被误照射，引发辐射事故。
- (3) 射线装置检修、维护过程，工作人员误操作或者曝光参数设置错误，造成人员被误照射，引发辐射事故。

## 表 10 辐射安全与防护

### 10.1项目安全措施

#### 10.1.1 核医学科工作场所

##### 10.1.1.1 工作场所布局合理性分析

本项目核医学科工作场所南侧为核医学科核素诊断场所，北侧为核素治疗区，为一个非密封放射性物质乙级工作场所。本项目核医学科位于科技综合楼负一层北部，各场所四周相邻环境情况见下表。

表10-1 非密封放射性物质工作场所相邻环境状况

位置	东面	南面	西面	北面	上一层	下一层
核医学科工作场所	排风机房、过道及备用机房	备用机房、配电房	过道及地下室边界	备用机房、库房、采光井	急诊室、急诊化验室、输液室	放疗科门诊

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到衰变池，衰变池为成品衰变池，设置在地下室负二层衰变池间内。

本项目核医学科工作场所位于科技综合楼负一层，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区。核医学科进出口直接与电梯厅、楼梯间相连，不设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。核医学科非密封放射性工作人员进出口处设有卫生通过间、检测去污间，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、固废间、分装注射室，且储源室与分装注射室毗邻，降低了药物操作和转移过程中可能会出现洒落等情况。核素诊断场所设置有单独的PET/CT注射候诊室和SPECT/CT注射候诊室，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；核医学科控制区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。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以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）中关于安全操作的要求，核医学科工作场所布局合理。

##### 10.1.1.2 分区原则及两区划分

###### （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。运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证）和实体屏蔽（包括门锁和门-灯联锁装置）限制进出控制区，并定期控制区的实际状况，确认是否需要改变该区的防护手段或安全措施，或是更改该区的边界。

**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；并定期检查该区工作状况，确认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。

## (2) 两区划分

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，本项目核医学科控制区、监督区的划分如表 10-2 和附图 8 所示。

表 10-2 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
核医学科核	放射性污物间、储源室、敷贴室、分装注射室、抢救室/运动负荷室、患者卫生间、PET/CT 机房、PET/CT 注射候诊室、SPECT/CT 机房、SPECT/CT 注射候诊室及 VIP 注射候诊室、留观室、治疗室、配餐间、保洁间、病人通道、衰变池间等	卫生通过间、控制室、排风机房、过道、采光井及衰变池周边等

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控制区进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志（图 10-1）；

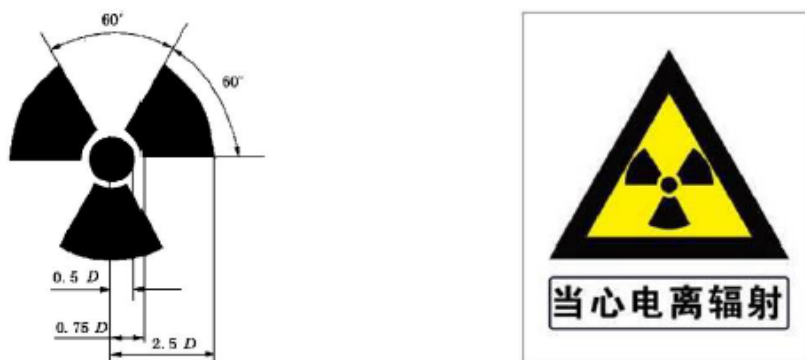


图 10-1 电离辐射标志和电离辐射警告标志

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；

### 10.1.1.3 非密封放射性物质工作场所分级、分类

#### (1) 工作场所分级

本项目核医学科核素诊断场所使用的放射性同位素有  $^{18}\text{F}$  和  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，核素治疗区使用的放射性同位素有  $^{131}\text{I}$ 。

根据 GB18871-2002 非密封源工作场所的分级原则及《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最大操作量计算公式见 10-1。修正因子见表 10.1.1.3-1、10.1.1.3-2，计算见表 10.1.1.3-3。

$$\text{放射性核素的日等效最大操作量} = \frac{\text{放射性核素的实际操作量} \times \text{毒性组别修正因子}}{\text{操作方式修正因子}} \dots\dots \text{（式 10-1）}$$

表 10-3 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 10-4 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：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），医疗机构使用<sup>18</sup>F和<sup>99m</sup>Tc视为“很简单操作”，使用<sup>131</sup>I视为“简单操作”。

**表 10-5 核医学科工作场所分级计算表**

工作场所	核素名称	计划最大日操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	计划日等效最大操作量 (Bq)	分级
核医学科	<sup>18</sup> F	7.40×10 <sup>9</sup>	0.01	10	7.4×10 <sup>6</sup>	乙级
	<sup>18</sup> F 备药	1.48×10 <sup>10</sup>	0.01	100	1.48×10 <sup>6</sup>	
	<sup>99m</sup> Tc	2.78×10 <sup>10</sup>	0.01	10	2.78×10 <sup>7</sup>	
	<sup>131</sup> I 甲癌	2.96×10 <sup>10</sup>	0.1	1	2.96×10 <sup>9</sup>	
	<sup>131</sup> I 甲亢	1.85×10 <sup>9</sup>	0.1	1	1.85×10 <sup>8</sup>	
	<sup>131</sup> I 甲测	7.40×10 <sup>6</sup>	0.1	1	7.4×10 <sup>5</sup>	
合计					3.18×10 <sup>9</sup>	

注：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）：放射性药品生产中，分装，标记等活动视为“简单操作”；医疗机构使用<sup>18</sup>F、<sup>99m</sup>Tc相关活动视为“很简单操作”，使用<sup>131</sup>I核素相关活动视为“简单操作”。

经计算，本项目核医学科日等效最大操作量为 3.18×10<sup>9</sup>Bq，根据《电离辐射防护与辐射源安全标准》（GB18871-2002）规定，本项目核医学科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）一般临床核医学的活性实验室、治疗室、洗涤室、显像室等工作场所属于 GB 18871 规定的乙级或丙级非密封源工作场所。为便于操作，针对临床核医学实践的具体情况，可以依据计划操作最大量放射性核素的加权活度，把工作场所分为I、II、III等三类，见表 10-6。

**表 10-6 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发的加权活度，MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50

注：加权活度=（计划的日最大操作活度×核素毒性权重因子）/操作性质修正因子

本项目放射性核素毒性权重因子和操作性质修正因子见表 10-7、表 10-8。

**表 10-7 核医学科常用放射性核素毒性权重因子**

类别	放射性核素	毒性权重因子
A	<sup>131</sup> I	100
B	<sup>18</sup> F、 <sup>99m</sup> Tc	1

**表 10-8 不同操作性质的修正因子**

操作方式和地区	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

本项目核医学科核素权重活度计算结果见表 10-9。

表 10-9 本项目核医学科非密封放射性物质加权活度计算结果

核医学科核素诊断场所							
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	$^{18}\text{F}$	1	100	$1.48 \times 10^{10}$	$1.48 \times 10^8$	$3.20 \times 10^{10}$	II类
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	100	$2.78 \times 10^{10}$	$2.78 \times 10^8$		
	$^{131}\text{I}$ 甲癌	100	100	$2.96 \times 10^{10}$	$2.96 \times 10^{10}$		
	$^{131}\text{I}$ 甲亢	100	100	$1.85 \times 10^9$	$1.85 \times 10^9$		
	$^{131}\text{I}$ 甲测	100	100	$7.40 \times 10^6$	$7.40 \times 10^6$		
分装注射室	$^{18}\text{F}$	1	1	$7.40 \times 10^9$	$7.40 \times 10^9$	$3.18 \times 10^{12}$	I类
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	1	$2.78 \times 10^{10}$	$2.78 \times 10^{10}$		
	$^{131}\text{I}$ 甲癌	100	1	$2.96 \times 10^{10}$	$2.96 \times 10^{12}$		
	$^{131}\text{I}$ 甲亢	100	1	$1.85 \times 10^9$	$1.85 \times 10^{11}$		
	$^{131}\text{I}$ 甲测	100	1	$7.40 \times 10^6$	$7.40 \times 10^8$		
抢救室/运动负荷室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	1	$2.78 \times 10^{10}$	$2.78 \times 10^{10}$	$2.78 \times 10^{10}$	II类
废物间	$^{18}\text{F}$	1	10	$1.48 \times 10^8$	$1.48 \times 10^7$	$4.26 \times 10^7$	II类
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	$2.78 \times 10^8$	$2.78 \times 10^7$		
PET/CT 机房	$^{18}\text{F}$	1	10	$7.40 \times 10^9$	$7.40 \times 10^8$	$7.40 \times 10^8$	II类
PET/CT 候诊室 (含单人间及专用厕所)	$^{18}\text{F}$	1	10	$7.40 \times 10^9$	$7.40 \times 10^8$	$7.40 \times 10^8$	II类
SPECT/CT 机房	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	$2.78 \times 10^{10}$	$2.78 \times 10^9$	$2.78 \times 10^8$	II类
SPECT/CT 候诊室 (含单人间及专用厕所)	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	$2.78 \times 10^{10}$	$2.78 \times 10^9$	$2.78 \times 10^8$	II类
留观室(含单人间及专用厕所)	$^{18}\text{F}$	1	10	$7.40 \times 10^9$	$7.40 \times 10^8$	$3.52 \times 10^9$	II类
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	$2.78 \times 10^{10}$	$2.78 \times 10^9$		
污物暂存间	$^{131}\text{I}$	100	10	$3.15 \times 10^8$	$3.15 \times 10^9$	$3.15 \times 10^9$	II类
缓冲间 (服碘室)	$^{131}\text{I}$	100	1	$3.15 \times 10^{10}$	$3.15 \times 10^{12}$	$3.15 \times 10^{12}$	I类
治疗室	$^{131}\text{I}$ 甲癌	100	1	$2.96 \times 10^{10}$	$2.96 \times 10^{12}$	$3.15 \times 10^{12}$	I类
	$^{131}\text{I}$ 甲亢	100	1	$1.85 \times 10^9$	$1.85 \times 10^{11}$		
甲测室	$^{131}\text{I}$ 甲测	100	10	$7.40 \times 10^6$	$7.40 \times 10^7$	$7.40 \times 10^7$	II类

注：1、加权活度=（计划最大日操作量×核素的毒性权重因子）/操作性质修正因子；

2、废物间按核素使用量的 1%进行估算。

对照《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”，各类工作场所要求见表 10-10。

**表 10-10 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**

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接触无缝隙	与墙壁接触无缝隙	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	特殊的强通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 <sup>a</sup>	普通管道	普通管道
盥洗及去污	洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备	洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备	洗手盆 <sup>b</sup>

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

医院应按表 10-10 的要求, I 类和 II 类核医学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; 分装注射室设置手套箱; 卫生通过间内配备洗手盆和去污设备。另外核医学工作场所用房设置特殊的强通风装置(通风系统独立设置, 保持核医学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 辐射屏蔽设计

##### (1) 核医学科屏蔽防护设计

根据医院提供的资料, 本项目核医学科各工作场所屏蔽设计情况见表 10-11。

**表 10-11 核医学科辐射防护屏蔽设计方案**

工作场所	屏蔽体	屏蔽设计情况
诊断场所		
分装注射室	北墙	240mm 实心页岩砖+60mm 厚防护涂料
	南、东、西墙	240mm 实心页岩砖+40mm 厚防护涂料
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	地坪	140mm 混凝土+40mm 厚防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
	SPCT-CT 注射窗口	4mmPb
	PET/CT 注射窗口	40mmPb
	服碘窗口	20mmPb
PET/CT 机房	北、西墙	240mm 加气块+80mm 厚防护涂料
	东、南墙	370mm 实心页岩砖+60mm 厚防护涂料
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	地坪	140mm 混凝土+40mm 厚防护涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
	观察窗	8mmPb 铅玻璃
SPECT/CT 机房	北、西墙	240mm 加气块+60mm 厚防护涂料

	东墙	240mm 加气块+80mm 厚防护涂料
	南墙	370mm 实心页岩砖+40mm 厚防护涂料
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	地坪	140mm 混凝土+40mm 厚防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
	观察窗	6mmPb 铅玻璃
清洁间 2	南、西墙	240mm 实心页岩砖+40mm 厚防护涂料
	东、北墙	240mm 加气块+60mm 厚防护涂料
	顶棚	180mm 混凝土+40mm 厚防护涂料
	地坪	140mm 混凝土+40mm 厚防护涂料
	防护门	内衬 6mm/4mm 铅板
抢救室/运动负荷室	北墙	240mm 实心页岩砖+60mm 厚防护涂料
	南、东、西墙	240mm 实心页岩砖+40mm 厚防护涂料
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	地坪	140mm 混凝土+40mm 厚防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
PET/CT 注射后 候诊室	四侧墙体	240mm 实心页岩砖+60mm 厚防护涂料
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	地坪	140mm 混凝土+40mm 厚防护涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
SPECT/CT 注射后 候诊室	北、东墙	240mm 实心页岩砖+60mm 厚防护涂料
	南、西墙	240mm 实心页岩砖+40mm 厚防护涂料
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	地坪	140mm 混凝土+40mm 厚防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
VIP 注射候诊室	四侧墙体	240mm 实心页岩砖+60mm 厚防护涂料
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	地坪	140mm 混凝土+40mm 厚防护涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
留观室	北墙	240mm 加气块+80mm 厚防护涂料
	东、南、西墙	370mm 实心页岩砖+60mm 厚防护涂料
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	地坪	140mm 混凝土+40mm 厚防护涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
留观室卫生间	东墙	370mm 实心页岩砖+40mm 厚防护涂料
	北、南、西墙	240mm 实心页岩砖+60mm 厚防护涂料
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	地坪	140mm 混凝土+40mm 厚防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
固废间	北墙	240mm 实心页岩砖+60mm 厚防护涂料
	南、东、西墙	240mm 实心页岩砖+40mm 厚防护涂料
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	地坪	140mm 混凝土+40mm 厚防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
储源库	北墙	240mm 实心页岩砖+60mm 厚防护涂料
	南、东、西墙	240mm 实心页岩砖+40mm 厚防护涂料
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	地坪	140mm 混凝土+40mm 厚防护涂料

	防护门	内衬 6mm 铅板
通过间 2	南、北墙	240mm 实心页岩砖+40mm 厚防护涂料
	东、西墙	240mm 加气块+40mm 厚防护涂料
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	地坪	140mm 混凝土+40mm 厚防护涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
检测/去污间	北墙	240mm 实心页岩砖+60mm 厚防护涂料
	西墙	240mm 加气块+40mm 厚防护涂料
	东、南墙	240mm 实心页岩砖+40mm 厚防护涂料
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	地坪	140mm 混凝土+40mm 厚防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
患者走廊 2 (含出口)	北墙	240mm 实心页岩砖+4mmPb/60mm 厚防护涂料
	南墙	240mm 加气块+8mmPb/60mm 厚防护涂料
	东、西墙	240mm 实心页岩砖+40mm 厚防护涂料
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	地坪	140mm 混凝土+40mm 厚防护涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
甲测室、敷贴室	四侧墙体	240mm 实心页岩砖
	防护门	内衬 2mm 铅板
	顶棚	180mm 混凝土
	地坪	140mm 混凝土
治疗场所		
缓冲间	北墙	240mm 实心页岩砖+60mm 厚防护涂料
	南、东、西墙	240mm 实心页岩砖+40mm 厚防护涂料
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	地坪	140mm 混凝土+40mm 厚防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
卫生通过间 1	北、西墙	370mm 实心页岩砖+60mm 厚防护涂料
	东墙	240mm 实心页岩砖+60mm 厚防护涂料
	南墙	240mm 实心页岩砖+40mm 厚防护涂料
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	地坪	140mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	防护门	内衬 10mm 铅板
配餐间 (机器人送餐)	北墙	240mm 实心页岩砖+40mm 厚防护涂料
	西墙	370mm 实心页岩砖+40mm 厚防护涂料
	南、东墙	240mm 实心页岩砖+60mm 厚防护涂料
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	地坪	140mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
救治室	北墙	370mm 实心页岩砖+60mm 厚防护涂料
	南、东、西墙	240mm 实心页岩砖+60mm 厚防护涂料
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	地坪	140mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
治疗室 VIP、 治疗室 01~03	北墙	370mm 实心页岩砖+60mm 厚防护涂料
	南、东、西墙	240mm 实心页岩砖+60mm 厚防护涂料
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	地坪	140mm 混凝土+60mm 厚防护涂料

	防护门	内衬 8mm 铅板
污物存放间	北、东墙	370mm 实心页岩砖+40mm 厚防护涂料
	西墙	240mm 实心页岩砖+60mm 厚防护涂料
	南墙	240mm 实心页岩砖+40mm 厚防护涂料
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	地坪	140mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
清洁间 1	西、南墙	240mm 实心页岩砖+60mm 厚防护涂料
	北墙	240mm 实心页岩砖+40mm 厚防护涂料
	东墙	370mm 实心页岩砖+40mm 厚防护涂料
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	地坪	140mm 混凝土+60mm 厚防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
衰变池组 (4 个衰变池)	四侧墙体	240mm 不锈钢板
	顶板	240mm 不锈钢板
	地坪	240mm 不锈钢板
	检修井盖	5mm 铅板
通风设计方案	核医学科共设置4条通风管道，其中第1条通风管道作为总风管，3个分装注射室手套箱废气经活性炭吸附净化后分别排入总风管；第2条通风管道连接4个甲癌治疗室，使用排风量为3000m <sup>3</sup> /h 的排风机；第3条通风管道连接卫生通过间、机器人送餐室、救治室、污物存放室、清洁室等区域，使用排风量为2000m <sup>3</sup> /h 的排风机；第4条通风管道连接诊断场所储源室、固废间、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、注射候诊室、留观室、卫生通过间、患者通道等控制区域，使用排风量为4000m <sup>3</sup> /h 的排风机。各排风管内保持负压，拟安装防回流装置，同时手套箱顶壁安装活性炭，在排风口前配置高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施。废气通过强电井东侧排风井经科技综合楼顶的排风口排放，废气排风口高于屋面，离地高度均约73m。	
废水设计方案	放射性废水管道裸露处采用拟用6mmPb 铅皮包裹，控制区内产生的放射性废水通过自流方式沿由废水管道流向科技综合楼负二层的衰变池。	
注：实心页岩砖密度不小于 1.65t/m <sup>3</sup> ，混凝土密度不小于 2.35t/m <sup>3</sup> ，硫酸钡防护涂料密度不小于 3.80t/m <sup>3</sup> ，铅板密度不小于 11.34t/m <sup>3</sup> ，铅玻璃密度不小于 4.2t/m <sup>3</sup> 。		

### ①手套箱屏蔽防护符合性分析

本项目核医学科分装注射室中 <sup>18</sup>F最大日操作量为 7.40×10<sup>10</sup>Bq，采用六面 50mmPb 的手套箱，分装注射室中 <sup>99m</sup>Tc最大日操作量为 2.78×10<sup>10</sup>Bq，采用六面 20mmPb 的手套箱，分装注射室中 <sup>131</sup>I最大日操作量为 3.15×10<sup>10</sup>Bq，采用六面 35mmPb 的手套箱，均符合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中附录I的表I.2 的相关要求。

### ②核医学科屏蔽防护符合性分析

经辐射影响预测，在上述屏蔽防护措施的基础上，本项目核医学科各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中工作场所防护水平要求；职业人员和周围公众年有效剂量均满足 GB18871-2002 中剂量限值和本项目年剂量约束值的要求。因此，本项目核医学科屏蔽防护设计方案合理可行。

## (2) 核医学科配套的Ⅲ类射线装置

本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 中的 CT 部分属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）符合性如表 10-12 和表 10-13 所示。

表 10-12 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 <sup>2</sup> )	最小单边长度 (m)	最小有效使用面积 (m <sup>2</sup> )	
PET/CT 机房	6.0	45.6	4.5	30	是
SPECT/CT 机房	6.0	49.2	4.5	30	是

表 10-13 PET/CT 和 SPECT/CT 机房屏蔽防护设计评价表

机房名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度	折算后铅当量 (mm)	要求铅当量 (mm)	是否符合要求
PET/CT 机房	北、西墙	240mm 加气块+80mm 防护涂料	4	2.5	是
	东、南墙	370mm 实心页岩砖+60mm 防护涂料	5.8		是
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 防护涂料	4.8		是
	地坪	140mm 混凝土+40mm 防护涂料	3.5		是
	防护门	内衬 8mm 铅板	8		是
	观察窗	8mmPb 铅玻璃	8		是
SPECT/CT 机房	北、西墙	240mm 加气块+60mm 防护涂料	2.8		是
	东墙	240mm 加气块+80mm 防护涂料	4		是
	南墙	370mm 实心页岩砖+40mm 防护涂料	5		是
	顶棚	180mm 混凝土+60mm 防护涂料	4.8		是
	地坪	140mm 混凝土+40mm 防护涂料	3.5		是
	防护门	内衬 6mm 铅板	6		是
	观察窗	6mmPb 铅玻璃	6		是

注：混凝土密度取2.35g/cm<sup>3</sup>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）附录C，得140kV工况下180mm混凝土折算约为2mmPb当量，140mm混凝土折算约为1.5mmPb当量。由于《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C中未提供实心砖在140kV在非有用线束方向上的拟合参数，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/cm<sup>3</sup>核算等效屏蔽厚度，370mm实心砖保守折算为3mmPb当量；150kV管电压下，38mm钡水泥密度等效2mmPb，150kV管电压下，65mm钡水泥密度等效3mmPb，由内插法可得，在150kV管电压下，40mm硫酸钡防护涂料保守等效为2mmPb，60mm硫酸钡防护涂料保守等效为2.8mmPb，80mm硫酸钡防护涂料保守等效为4mmPb。

因此，本项目 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房的布局空间和屏蔽防护水平均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中限值要求，设计合理可行。

### 10.1.1.5 辐射安全措施

#### (1) 辐射安全措施

核医学用房均拟按《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中乙级工作场所和 I 类、II 类工作场所的要求进行设计

施工，具体如下：

①核医学科将加强对病人的管理，拟设置病人专用的进口与出口、进出防护门均设单向门禁（只进不出或只出不进）、专用厕所，明确工作场所“两区”的划分。

②分装注射室与候诊区之间设置叫号系统；在核素诊断区域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、SPECT机房和控制室之间拟安装双向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，通过双向对讲装置于受检者联系。

③在核素治疗区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；护士办和缓冲间（服药室）之间拟安装双向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，通过双向对讲装置与受检者联系。医护人员操作机器人送餐系统给患者送餐。

④核医学用房装修时，放射性核素操作设备的表面、工作台台面应平整光滑，室内地面铺设塑料地坪，地面与墙壁衔接处无缝隙，易于清洗、去污。

⑤核医学工作场所核素诊断场所与核素治疗区拟均设置卫生通过间，卫生通过间设有应急去污用品、表面污染监测仪、去污设施和个人防护用品等，有利于工作人员污染的防治。

⑥分装注射室设置有3个手套箱，放射性核素 $^{18}\text{F}$ 分装、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 测活等操作在手套箱内进行，放射性核素 $^{131}\text{I}$ 由自动分碘仪由辐射工作人员遥控操作自动分碘，手套箱有专用的排风装置，风速不小于 $0.5\text{m/s}$ 。

⑦核医学工作场所拟设置放射性药物注射后受检者等候、检查及检查结束后的走向标识，有效引导受检者走向。

⑧注射候诊室的卫生间洗手台均设置为感应式水龙头，便池拟设为感应式节水座便马桶。

⑨核素诊断场所给药后受检者在各自注射候诊室内进行候诊，严禁串门，注射候诊室设置移动铅屏风，防止患者之间相互照射影响；核素治疗区患者服药后均在治疗室内住院，严禁串门。

⑩核医学工作场所的上水拟配备洗消处理设备（包括洗消毒液）。控制区和卫生通过间内的盥洗水盆、清洗池等选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染，头、眼和面部采用向上冲淋的流动水。

⑪放射性废水收集的管道走向、阀门和管道的连接拟设计成尽可能少的死区，下水

道宜短，大水流管道拟设标记，避免放射性废水集聚，便于检测和维修。

②按相关标准要求设置槽式废水衰变池。废水处理设施由 4 个衰变池并联、2 个生化池组成。4 个衰变池交替贮存、衰变和排放废水。在废水池上预设取样口，并设计有防止废水溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废水衰变池超压的措施。衰变池的容积充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊治中预期产生贮存的废水量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体六面为 240mm 的不锈钢，坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑，具有可靠的防泄漏措施。

## **(2) 储源室设置要求**

①核医学科拟设1间储源室，储源室防护门均拟设计为铅防盗门，钥匙由专人负责保管；日常由值班人员24小时监控。

②核医学科使用的放射性药物向厂商按需订购，生产厂商根据医院订购合同，按时定量将放射性药物直接送达核医学科储源库，使用时工作人员从储源库内拿出，连同铅罐包装放置于手套箱内。

③储源室拟双人双锁，确保其具备“防盗、防丢失、防破坏”的功能，同时还需设置红外监控录像设备，且录像保存时间在30天以上，主要包括：保险柜、防盗门、双人双锁、房间内设置视频监控、门口设置红外报警系统和电离辐射标志。

④应建立放射性药物与放射源的出入库登记制度，贮存、领取、使用放射性药物与放射源时，应当进行登记、检查，做到账物相符。

⑤应定期检查放射性药物与放射源的实际库存数量及贮存场所，储源库应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。

⑥消防安全：储源室内严禁烟火，配置干粉灭火器，建筑物耐火等级按2级设计。

## **(3) 人员防护措施**

人员主要指本项目辐射工作人员、受检者/患者及本次评价范围内其他人员。在实际工作中，为了减少辐射工作人员、受检者/患者及其他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辐射工作人员的防护**

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

B、时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少扫描时间与患者接触的时间，

使照射时间最小化。

C、距离防护：在不影响工作质量的前提下，保持与辐射源或患者尽可能大的距离，使距离最大化。

D、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受检者的防护

A、屏蔽防护：PET/CT、SPECT/CT机房内拟为受检者配备个人防护用品，如铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子等；候诊室与留观室设置铅屏风以防止病人间相互照射。

B、时间防护：在满足检查要求的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

C、距离防护：尽可能增加受检者与射线源的距离，减少受检者的受照剂量。

#### ③其他人员防护

A、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。

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

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

#### （4）操作过程中的防护措施

医护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，包括穿戴铅衣，铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽等，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病人注射。分药时药品、铅罐均放置在垫有滤纸的瓷盘内进行，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染。手套箱底部设有废物铅桶，用于暂时收集放射性废物。注射时注射器外还配有注射器铅防护套，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，医生（采取相应防护措施）与病人及药物分别位于铅玻璃的两侧，病人注射后进入注射候诊室候诊。

医护人员在控制室根据每个患者的用药计划，进行自动分碘仪的遥控操作。

#### （5）患者注射后或服药后防护措施

首先告知病人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，陪护人员不允许在候诊室内驻留，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，同时需要患者在注射候诊室静候，禁止随意走动，呕吐物和排泄物要排入注射候诊室内专用厕所，最终排入衰变池组。

所有患者住院均不允许有陪护人员；陪护人员不允许进入核医学科；服药后禁止随意走动，住院期间的呕吐物和排泄物要排入专用厕所，最终排入本项目拟建衰变池。

## **(6) 安全防护设施**

### **A、警告设施**

a、在核医学科控制区各房间防护门外、核医学科出入口及衰变池处设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。

b、在卫生通过间门口设置明显禁止进入标志，防止给药前病人、病人家属及其他无关人员等进入放射性药物分装注射室、给药处等医务人员工作场所。

c、在 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房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。

d、患者防护门设防夹装置及闭门管理措施。

### **B、紧急止动装置**

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

### **C、操作警示装置**

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

### **D、视频监控和双向对讲装置**

在核素诊断场所范围内设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、核医学科工作场所进出口情况；PET/CT、SPECT/CT 机房和控制室之间拟安装双向对讲装置，便于工作人员通过双向对讲装置与机房内受检者联系。在核素治疗区范围内已设置视频监控系统，便于观察住院病人的情况、核医学科工作场所进出口情况；服药窗口和分装注射室之间已安装双向对讲装置，便于工作人员通过双向对讲装置与受检者联系。

### **E、门禁系统**

核医学科进出防护门均设单向门禁（只进不出或只出不进），严禁带药受检者随意进出，严禁无关人员滞留或误入，在卫生通过间、核医学科控制区出入口均设置固定式

剂量率监测仪，受检者通道内的相应位置均设置视频监控系统，以对辐射工作场所的情况进行实时监控，及时发现突发情况并及时进行处理。

a、在核医学科病人入口处和通道中设置专用门禁系统，只允许单向通行，防止给药后病人进入监督区和给药前病人、病人家属及其他无关人员等进入控制区。

b、在核医学科病人出口处设置专用门禁系统，防止给药后病人不遵循医生要求，未达到规定的留观时间擅自出控制区。

#### **F、表面污染控制措施**

为保证非密封源工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，本次评价提出以下管理措施和要求：

a、放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏。

b、操作放射性药物时，须在有负压的手套箱内进行，防止放射性物质飞散。

c、放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品。

d、操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

#### **G、外照射防护措施**

a、本项目核医学科核素操作人员进入控制区均穿戴好铅衣等个人防护用品，核素操作时有相应的防护措施。如<sup>18</sup>F-药物转运时有30mmPb转运铅盒与10mmPb铅防护套的防护，注射时有40mmPb铅玻璃与10mm铅防护套的防护等防护措施。

b、操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如工作服、手套与工作鞋表面 $\beta$ 放射性物质大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 或手部、皮肤、内衣与工作袜表面 $\beta$ 放射性物质大于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，应采取相应去污措施。

c、从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝表面 $\beta$ 放射性物质大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的物品被带出控制区。

d、贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，容器外有电离辐射警示标志，容器在运输时应有适当的固定措施。

e、贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。

f、当发生放射性物质溢出、洒漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，合理选择使用移动铅屏风、带有屏蔽的容器、托盘、长柄镊子、屏蔽运输容器、放射性废物桶等辅助用品与一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、去污剂、小刷子、一次性毛巾或吸水纸、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带等应急去污用品，及时控制、消除放射性污染；当人员皮肤、伤口被污染时，应迅速去污并给予医学处理。

g、辐射工作人员应进行外照射个人监测。

### H、内照射防护措施

操作非密封放射性药物时，液体洒落、挥发泄漏造成地面、工作台面、操作人员衣服、手套和空气等污染，污染的表面一方面成为外照射的辐射源，一方面通过皮肤渗透、呼吸、进食使放射性物质进入体内形成内照射。为降低内照射对工作场所内辐射工作人员的影响，本次评价要求：

a、放射性药物使用均在手套箱中进行，风速不低于0.5m/s，且设置了高效过滤器和活性炭吸附装置，可以有效降低工作场所空气中的放射性物质浓度。

b、严格规范辐射工作人员工作和生活习惯，禁止在控制区内饮食、饮水、化妆等。

c、辐射工作人员定期进行培训，严格按照操作规程操作，尽量避免放射性药物撒漏，并经常用湿法清洁台面、地面及设备表面。

d、严格遵守个人卫生制度和安全操作规程，穿戴个人防护用品，如工作服、手套、口罩、帽子、防护眼镜等，防止放射性核素沾染手和体表。

e、辐射工作人员离开核医学科工作场所时应进行必要的表面污染监测和污染洗消后才能离开。

### I、安保措施

核医学科区域拟安装防闯入报警系统与火灾报警系统，并配置灭火器材。

#### 10.1.1.7 防护设备与防护用品

本项目核医学科拟设置的防护设备与防护用品设置情况详见表 10-14。

表 10-14 本项目防护设备及防护用品设置情况表

序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
1	储源铅箱	储源室	4个	50mmPb
2	服碘手套箱	分装注射室	1个	35mmPb
3	服碘窗口	分装注射室	1个	20mmPb
4	PET手套箱	分装注射室	1个	50mmPb

5	SPECT手套箱	分装注射室	1个	20mmPb
6	PET注射窗	分装注射室	1个	40mmPb
7	SPECT注射窗	分装注射室	1个	4mmPb
8	注射器防护套	分装注射室	若干	20mmPb
9	注射器防护提盒	分装注射室	2个	30mmPb
10	活度计	分装注射室	2台	/
11	自动分装仪	分装注射室	1台	/
12	脚踏式铅桶	分装注射室、PET/CT注射候诊室、SPECT/CT注射候诊室、留观室、VIP注射候诊室	若干	10mmPb
13	废物衰变桶	清洁间1（诊断场所）	1个	10mmPb
14		固废间	1个	10mmPb
15		清洁间2（治疗场所）	1个	10mmPb
16	人员立式注射防护车	运动负荷室	1个	20mmPb
17	铅防护服、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	分装注射室、控制室	若干	0.5mmPb
18	去污工具组	卫生通过间	1套	/
19	放射性污染防护服	卫生通过间	若干	/
20	铅防护屏风	PET机房、PET/CT注射候诊室	3个	10mmPb
21	铅防护屏风	SPECT机房、SPECT/CT注射候诊室	若干	4mmPb
22	表面污染监测仪	卫生通过间	1台	/
23	环境辐射巡测仪	卫生通过间	1台	/
24	个人剂量报警仪	人员随身携带	6台	/
25	个人剂量计	人员随身携带	1个/人	/

### 10.1.2 放疗科

本项目放疗科位于科技综合楼负二层东北侧，现已设有 2 间加速器机房、1 间后装机房，拟新增 2 台 15MV 医用电子直线加速器、1 台后装机。

#### 10.1.2.1 工作场所布局合理性分析

机房六面情况（东、南、西、北、上、下）如表 10-15 所示。

表 10-15 放疗科机房周边场所布局一览表

所在区域	辐射场所	东侧	南侧	西侧	北侧	上层	下层
放疗科	1#直线加速器机房	土层	过道、进风机房	水冷机房、控制室、准备室	土层	消防登高带	土层
	2#直线加速器机房	水冷机房、控制室、准备室	过道	后装机房、后装机房控制室	土层	消防登高带	土层
	后装机房	2#直线加速器机房	准备间、控制室	铅加工室	土层	进风机房、排风机房	土层
	CT 模拟定位机房	控制室、准备间	过道	热疗诊室、准备间	土层	医生办公室	土层

医院放疗科位于科技综合楼的负二层，无地下层。直线加速器机房、后装机房均由钢筋混凝土整体一次性浇筑而成。

1#直线加速器机房、2#直线加速器机房东向西布置，之间布置有控制室、水冷机房、准备室；西侧布置后装机房、铅加工室、体模式间和备用机房等辅助用房，南侧为过道，北侧为土层。直线加速器机房顶部为消防登高带，后装机房上方为进风机房及库房等，无地下层。

本项目加速器机房的面积（不含迷路）约 56m<sup>2</sup>，后装机房的面积（不含迷路）约 37.23m<sup>2</sup>。本项目放疗机房均由治疗室、迷路和防护门组成，本项目放疗科机房与控制室分离，直线加速器机房设置 L 型迷路、后装机房设置直迷路，迷路口均设有防护门对射线进行屏蔽。本项目加速器的主射方向为南、北、顶棚与地面方向，不朝向控制室、迷道照射，相关配套用房齐全，放疗科机房平面布局满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中关于放射治疗工作场所布局要求，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《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路；γ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路”、“治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外”等规定，布局基本合理。直线加速器机房、后装机房与 CT 模拟定位机房相距较近，方便患者的治疗。

综上所述，本项目加速器机房、后装机房工作场所布局基本合理。

#### 10.1.2.2 两区划分

##### （1）“两区”划分

建设单位拟按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）与《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求，把工作场所分为控制区、监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。其定义为“控制区：在辐射工作场所划分的一种区域，在这种区域内要求或可能要求采取专门的防护手段和安全措施；监督区：未被确定为控制区、通常不需要采取专门防护手段和安全措施但要不断检查其职业照射条件的任何区域”。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）与《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），并结合本项目平面布置实际情况，本项目放疗科机房控制区、监督区划分情况见表10-16。

表10-16 放疗科机房控制区和监督区划分

工作场所		控制区	监督区
放疗科	1#~2#直线加速器机房	加速器机房（含迷道）	控制室、准备间、水冷机房、南侧走道、进风机房等区域
	后装机房	后装机房（含迷道）	控制室、准备室、铅加工室等区域
	CT模拟定位机房	CT模拟定位机房	控制室、缓冲间、南侧走道、西侧热诊疗室等区域

此外，本项目拟将放疗科机房四周除监督区外紧邻的房间及楼上、楼下对应区域作为辐射环境影响关注区，建设单位在运行期须加强对上述辐射环境影响关注区的定期监测、年度监测和验收监测，发现问题及时处理。

**(2) “两区”管控要求**

**①控制区防护手段与安全措施**

- a、控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志（图10-1），并以红色地标线警示控制区的边界；
- b、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；
- c、运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁、门禁和联锁装置）限制进出控制区；
- d、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**

- a、以黄线警示监督区的边界；
- b、在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；
- c、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。

**10.1.2.3 放疗机房屏蔽防护设施**

**(1) 放疗机房屏蔽设计**

根据医院提供的资料，本项目放疗机房辐射防护屏蔽设计见表 10-17。

表10-17 放疗机房辐射屏蔽设计技术参数

机房名称	方位	区域	照射线束	材料及厚度
1号加速器机房 (长 8000mm×宽 7040mm×高 6000mm)	南墙	主屏蔽区	有用线束	2900mm 混凝土 (宽度 4150mm)
		次屏蔽区	非有用线束	1700mm 混凝土
	北墙	主屏蔽区	有用线束	2900mm 混凝土 (宽度 4150mm)
		次屏蔽区	非有用线束	1700mm 混凝土
	西墙	迷道内墙	/	1200mm 混凝土

		迷道外墙	/	1200~1400mm 混凝土	
		迷道参数	L 型迷道, 迷道内口宽 2700mm, 迷道外口宽 1500mm, 迷道宽 2200mm, 迷道净高 7600mm		
	东墙	侧墙	非有用线束	1500mm 混凝土	
	顶棚	主屏蔽区	有用线束	2800mm 混凝土 (宽度 4150mm)	
		次屏蔽区	非有用线束	1600mm 混凝土	
	地面	/	有用线束	厚土层, 无地下层	
	防护门		非有用线束	15mm 铅, 含硼聚乙烯 (BPE) 为 200mm	
2 号加速器机房 (长 8000mm×宽 7040mm×高 6000mm)	南墙	主屏蔽区	有用线束	2900mm 混凝土 (宽度 4150mm)	
		次屏蔽区	非有用线束	1700mm 混凝土	
	北墙	主屏蔽区	有用线束	2900mm 混凝土 (宽度 4150mm)	
		次屏蔽区	非有用线束	1700mm 混凝土	
	东墙	迷道内墙	/	1200mm 混凝土	
		迷道外墙	/	1200~1400mm 混凝土	
		迷道参数	L 型迷道, 迷道内口宽 2700mm, 迷道外口宽 1500mm, 迷道宽 2200mm, 迷道净高 7600mm		
	西墙	侧墙	非有用线束	1500mm 混凝土 (与后装机房共用墙体)	
	顶棚	主屏蔽区	有用线束	2800mm 混凝土 (宽度 4150mm)	
		次屏蔽区	非有用线束	1600mm 混凝土	
地面	/	有用线束	厚土层, 无地下层		
防护门		非有用线束	15mm 铅, 含硼聚乙烯 (BPE) 为 200mm		
后装机房 (长 5100mm×宽 7300mm×高 6000mm)	迷道内墙		有用线束	600mm 混凝土	
	迷道外墙		有用线束	700mm 混凝土	
	南侧墙体		有用线束	700mm 混凝土	
	北侧墙体		有用线束	700mm 混凝土	
	东侧墙体		有用线束	1500mm 混凝土 (与加速器共用墙体)	
	迷道参数		直迷道, 迷道内口宽 1500mm, 迷道外口宽 1300mm, 迷道净高 4450mm		
	顶棚		有用线束	700mm	
	地面		有用线束	厚土层, 无地下层	
	防护门		有用线束	7mm 铅	
CT 模拟定位机房 (长 8100mm×宽 6360mm×高 6000mm)	四侧墙体		/	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡砂浆	
	顶棚		/	250mm 混凝土	
	地面		/	土层	
	防护门		/	内衬 3mm 厚铅板	
	观察窗		/	3mmPb 铅玻璃	
通风设计方案	<p>本项目1~2号加速器机房内均设有2个送风口和2个排风口, 送风口位于机房内靠迷道天花板上, 排风口位于远离送风口的西北侧、东北侧对角线, 距地板高度为300mm; 后装机房设有1个送风口和2个排风口, 送风口位于机房内靠迷道天花板上, 排风口位于远离送风口的东北侧, 距地板高度为300mm。新风、排风管采用“S”型预埋管道(4mm铅板四面密封)从迷道防护门上方穿过。废气通过2号楼梯间东北侧排风井经科技综合楼顶的排风口排放, 排气口高出屋面约3m, 离地高度均约73m, 排口位置不属于人流密集区, 并且排放口风管端口进行了防雨、防鸟、防虫设计。2间加速器机房新风机设计值均为3000m<sup>3</sup>/h, 排风量设计值均为4000m<sup>3</sup>/h, 后装机房新风机设计值为1000m<sup>3</sup>/h, 排风量设计值为1500m<sup>3</sup>/h, 模拟定位机房通排风管道采用直穿的方式, 并在穿墙前后用1.5mm铅皮进行补偿。</p>				
电缆管线穿墙设计方案	<p>本项目放疗科机房电缆管线均以地沟形式在地坪以下部位布设, 并在非主射线照射部位以“U”字形从地坪下方穿越墙体, 电缆沟的坑道两侧均用混凝土填充,</p>				

穿墙管线入口和出口处均用硫酸钡封堵作为屏蔽补偿。

注：混凝土密度不小于 2.35g/cm<sup>3</sup>，硫酸钡砂浆密度不小于 3.20g/cm<sup>3</sup>，铅板密度不小于 11.3g/cm<sup>3</sup>。

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”。本项目拟购买的直线加速器的X射线能量最大为15MV，机房的防护门铅当量15mm，含硼聚乙烯（BPE）为200mm，即屏蔽设计已考虑到中子辐射防护。

经辐射影响预测，在上述屏蔽防护措施的基础上，本项目放疗科机房屏蔽体外表面30cm处的周围剂量当量率均满足本项目推导出的剂量率限值的要求；职业人员和周围公众年有效剂量均满足 GB18871-2002 中剂量限值和本项目年剂量约束值的要求。因此，本项目放疗科屏蔽防护设计方案合理可行。

### （2）放疗科配套的III类射线装置

本项目放疗科配套的 CT 模拟定位机属于III类射线装置，对照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020），相关符合性分析见表 10-18 和表 10-19。

表 10-18 模拟定位机房的使用面积、单边长度符合性分析

场所名称	本项目拟设置情况		GBZ 130-2020 标准要求		符合性分析
	有效使用面积 (m <sup>2</sup> )	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m <sup>2</sup> )	最小单边长度 (m)	
CT 模拟定位机房	51.52 (8.10m×6.36m)	6.18	30	4.5	符合

表 10-19 模拟定位机房的屏蔽防护设计评价表

场所名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度	折算后铅当量	GBZ 130-2020 标准要求	符合性分析
CT 模拟定位机房	四侧墙体	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡砂浆	3mmPb	CT 机房的有用线束方向铅当量和非有用线束方向铅当量均≥2.5mmPb	符合
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3mmPb		符合
	防护门	内衬 3mm 铅板	3mmPb		符合
	顶棚	250mm 混凝土	3mmPb		符合
	地坪	土层	/		符合

注：1) 根据 GBZ 130-2020 表 C.7，对 140kV (CT) 的 X 射线，250mm 混凝土保守等效为 3mmPb；

2) 基于 GBZ 130-2020 附录 C 未给出对 140kV 的 X 射线下实心砖等效铅当量的相关数据，参考《放射防护实用手册》（赵兰才、张丹枫主编）P105 页表 6.14，可推导出：对≤150kV 的 X 射线，240mm 实心砖（ρ=1.65g/cm<sup>3</sup>）保守等效为 2mmPb。

3) 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/硫酸钡砂浆在 140kV 在非有用线束方向上的拟合参数，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，硫酸钡砂浆密度为 3.2g/cm<sup>3</sup>，20mm 硫酸钡砂浆折算为 1mmPb。

因此，本项目 CT 模拟定位机房的布局空间和屏蔽防护水平均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中限值要求，设计合理可行。

### （3）通风设计

### ①直线加速器机房

本项目1#直线加速器机房内设有2个送风口和2个排风口，送风口位于机房内靠迷道天花板上，排风口位于远离送风口的东北侧对角线，距地板高度为300mm；2#直线加速器机房内设有2个送风口和2个排风口，送风口位于机房内靠迷道天花板上，距地板高度为300mm，排风口位于远离送风口的西北侧对角线。新风、排风管采用“S”型预埋管道（4mm铅板四面包封）从迷道防护门上方穿过。废气通过2号楼梯间东北侧排风井经科技综合楼顶的排风口排放，排气口高出屋面约3m，离地高度均约73m，排口位置不属于人流密集区，并且排放口风管端口进行了防雨、防鸟、防虫设计，废气最终排至大气环境。新风机设计值均为3000m<sup>3</sup>/h（用于机房的新风输送），排风量设计值均为4000m<sup>3</sup>/h，本项目每间加速器机房体积均约660m<sup>3</sup>（含迷道），有效通风换气次数达到5次/小时以上，加速器机房进风口与排风口位置对角设置，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）与《放射治疗放射防护要求》中的相关规定（不小于4次/小时）。直线加速器机房风管穿墙图见图10-4。

### ②后装机房

本项目后装机房内设有1个送风口和2个排风口，送风口位于机房内靠迷道天花板上，排风口位于远离送风口的东北侧，距地板高度为300mm。新风、排风管采用“S”型预埋管道（4mm铅板四面包封）从迷道防护门上方穿过。废气通过2号楼梯间东北侧排风井经科技综合楼顶的排风口排放，排气口高出屋面约3m，离地高度均约73m，排口位置不属于人流密集区，并且排放口风管端口进行了防雨、防鸟、防虫设计。新风机设计值均为1000m<sup>3</sup>/h（用于机房的新风输送），排风量设计值为1500m<sup>3</sup>/h，后装机房体积约为240m<sup>3</sup>（含迷道），设计通风换气次数达到5次/小时以上，后装机房进风口与排风口位置对角设置，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）与《放射治疗放射防护要求》中的相关规定（不小于4次/小时）。后装机房风管穿墙图见图10-5。

### ③模拟定位机房

本项目模拟定位机房排风管采用直穿墙体的方式（1.5mm铅板四周包封）从防护门上方穿过经排风机房，排风量设计值为1500m<sup>3</sup>/h。排气口高出地面约3m，排气方向不朝向居民区，并且排放口风管端口进行了防雨、防鸟、防虫设计，废气最终排至大气环境。模拟定位机房风管穿墙图见图10-6。

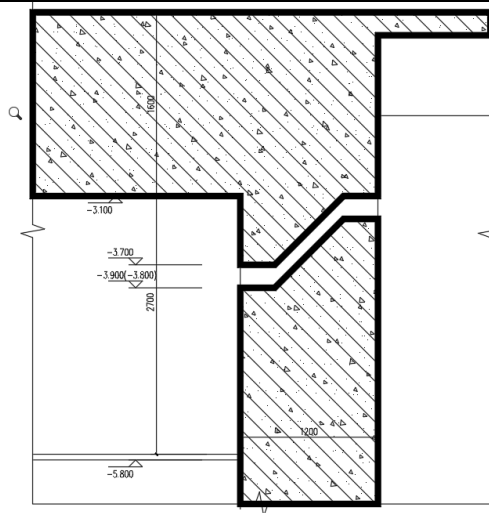


图10-4 直线加速器机房风管穿墙图

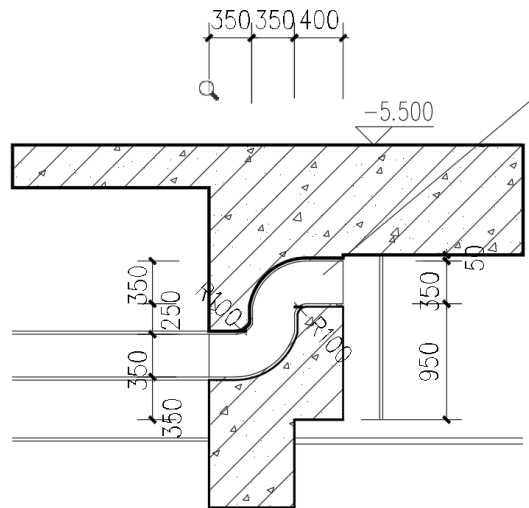


图10-5 后装机房风管穿墙图

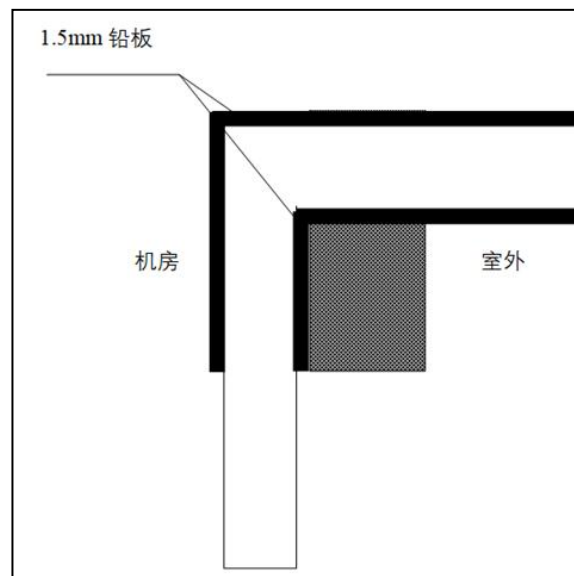


图10-6 模拟定位机房风管穿墙图

本项目放疗科通风管道图见附图10。

#### (4) 电缆管线穿墙设计

本项目放疗科机房电缆以地沟形式在地板以下部位布设，并在非主射线投照部位以“U”字形从地板下方穿越墙体，电缆沟的坑道两侧均用混凝土填充，穿墙管线入口和出口处均用硫酸钡封堵作为屏蔽补偿，保障不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。

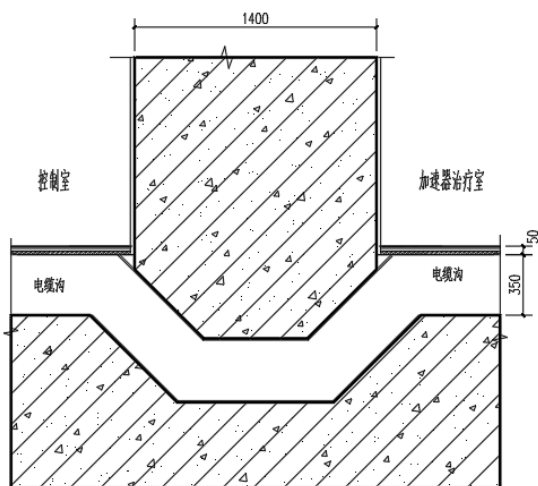


图10-7 加速器机房电缆管线穿墙示意图

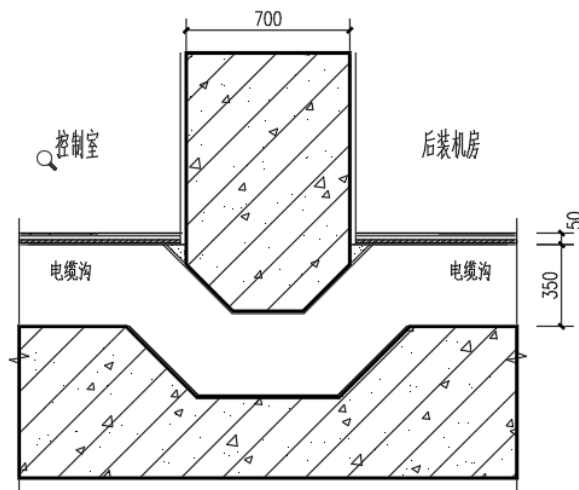


图10-8 后装机房与模拟定位机房电缆管线穿墙示意图

#### 10.1.2.4 放疗科机房辐射安全措施

##### (1) 设备固有安全性

##### ① 医用电子直线加速器固有安全性

本项目直线加速器拟购于正规厂家，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。

a、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。

b、病人剂量监测与治疗控制安全联锁。为保证病人治疗剂量准确，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。

c、运动使能开关。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使能开关，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起动和控制。

d、急停开关。当发现异常后，按下操作盒上此开关，机器将自动切断加速器主电源。

e、剂量测试系统。在控制系统主菜单中有“剂量系统测试”部分，可以随时了解病人剂量情况。

f、密码设置。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。

g、系统操作联锁。加速器设置了硬件联锁，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 10-20。

**表 10-20 加速器硬件联锁一览表**

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后装机固有安全性**

a、本项目<sup>192</sup>Ir治疗机机头贮源部位设置了两层重金属屏蔽体，里层为3cm厚的金属钨，外层为5cm厚的金属铅，最外层为特制的防护钢壳，不易损坏。在贮源状态下，后装机表面100cm处 $\gamma$ 辐射剂量率满足《后装 $\gamma$ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS 262-2017）中“工作贮源器内装载最大容许活度时，距离贮源器表面100cm处的球面上，任何一点的泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于5 $\mu$ Sv/h”的要求。同时机体张贴有醒目的电离辐射警示标识。

b、后装治疗设备的控制系统，必须能准确地控制照射条件，有放射源起动、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。

c、后装治疗设备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条件下运行。

d、实施治疗期间，当发生停电、卡源或意外中断照射时，放射源必须能自动返回工作贮源器。必须同时显示和记录已照射的时间和剂量，直到下一次照射开始，同时发出声光报警信号。当自动回源装置功能失效时，必须有手动回源措施进行应急处理。

e、在控制台上，必须能通过 $\gamma$ 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%。

f、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。

### ③III类射线装置（CT模拟定位机）固有安全性

a、具有安全设备，当设备出现错误或故障时，能中断照射，并有相应故障显示。

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

c、在操作台上设置有“紧急止动”按钮，一旦发现异常情况，工作人员可立即按下此按钮停止照射。

## （2）辐射安全防护措施

### ①加速器机房辐射安全防护措施

a、钥匙开关联锁：加速器放疗装置本身具有电源的钥匙开关，只有该钥匙就位后才能开启电源，启动治疗装置。

b、门机联锁和手动开门装置：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。防护门为电动平开门，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。防护门设防挤压功能，防止人员被夹伤。另外防护门设手动开门装置，在紧急情况下能从机房内开门。

c、紧急停机按钮：加速器设备自带急停开关。医院拟在每台加速器机房的控制室、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。

d、工作状态指示灯、电离辐射警告标志和声光报警器：在加速器机房防护门外拟安装工作状态指示灯和电离辐射警告标志，其中工作状态指示灯具备开机、停机指示，并与医用电子直线加速器联锁。

e、视频监视系统与双向对讲系统：单个加速器机房的治疗室和控制室之间安装有监视器 3 个（防护门迷道内 1 个、迷道内墙 1 个、侧屏蔽墙体 1 个）、双向对讲装置 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道内状况，可以保障治疗室内及迷道不留视频监控死角，因此视频监控布局数量及位置可行。

f、实时辐射水平监测系统：在加速器机房内均设有固定式剂量率仪监测探头，实时监测到辐射剂量率水平显示在控制室中，并具有报警功能，工作人员可以及时了解加速器的工作情况以及机房中的辐射水平。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。

g、机房内拟设烟雾报警装置。

h、机房控制室墙上张贴相应的岗位规章制度、操作规程。上墙制度包括《辐射安全管理规定》、《岗位职责》、《设备操作规程》、《辐射事故应急响应制度》，制度字体醒目，尺寸大小应不小于 400mm×600mm。

医用电子直线加速器的安全联锁逻辑图如图 10-9。

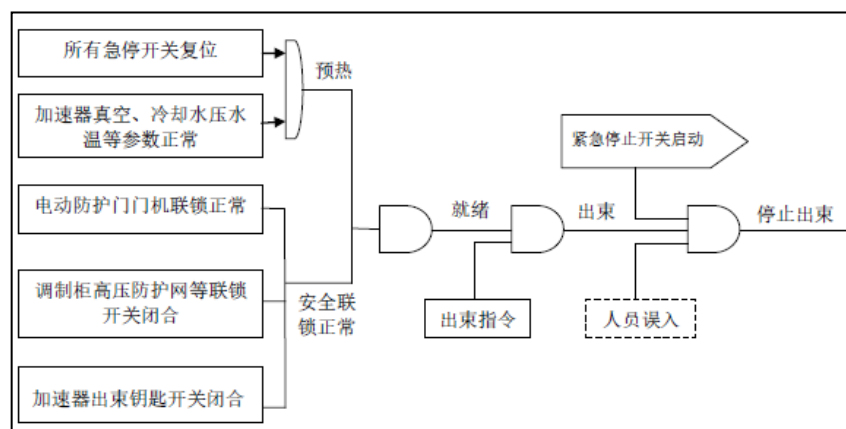


图 10-9 医用电子直线加速器的安全联锁逻辑图

## ②后装机房辐射安全防护措施

a、门源联锁和手动开门装置：后装机房拟设置门源联锁，防护门未完全关闭时不能出源照射，出源状态下开门放射源回到治疗设备的安全位置。机房防护门上方设置工作状态指示灯，指示灯应显示源的工作状态。治疗室内设置放射源迅速返回贮源器的应急开关与放射源监测器。

b、紧急停机按钮：后装机房内四侧墙面、迷路内墙面、控制室内设置了急停按钮，后装机设备上自带急停按钮，并有明显的标志，治疗床侧也设有急停按钮，在紧急情况下，按下任一急停按钮均能够使放射源迅速返回贮源器，紧急情况处理完毕后，须于本地复位后，后装机才能重新启动。

c、辐射安全警示设施：后装机房防护门上拟设置醒目的符合GB18871规定的电离辐

射警示牌、工作状态警示灯，保证后装放疗系统运行工作时，机房外有声、光报警提示。

d、监控系统与双向对讲系统：后装机房内设放射源摄像监视系统和双向对讲系统，使控制室的工作人员能清楚地观察到机房内后装机的运行情况并能与机房内沟通，如发生意外情况可及时处理，并且视频保存时间为30天以上。

e、实时辐射水平监测系统：后装机房内将设置1套固定式辐射剂量仪，并将监测水平实时显示在控制台上，操作人员可以在控制台上通过辐射剂量率的监测显示判断放射源由工作贮源器内输出和返回贮存位置的状态。固定式辐射剂量仪设置有报警功能，只有在源输出时才有报警显示，指示灯闪烁，表示放射源在输出状态，放射源返回贮存位置后，指示灯熄灭。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的设备表面剂量监测报告。

f、倒源、换源：倒装源与换源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；倒装放射源时应对机房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。

g、加强放射工作人员的培训，并佩戴个人剂量计，进出机房佩戴个人剂量报警仪，做好放射源的监控与防盗。

h、防护应急装备：后装机房建成投入使用后，医院拟在机房内配备一个铅储源容器、一个长柄镊子，后装机房防护门拟设置报警装置与当地公安“110”联网，管理上应做到双人双锁，确保其具备“防盗、防丢失、防破坏”的功能，同时还需设置红外监控录像设备，且录像保存时间在30天以上，拟设计为铅防盗门，钥匙由专人负责保管；日常由值班人员24小时监控。

i、密码设置：后装机设置有密码，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。

j、机房内拟设烟雾报警装置。

k、控制室墙上张贴相应的岗位规章制度、操作规程。上墙制度包括《辐射安全管理规定》、《岗位职责》、《设备操作规程》、《辐射事故应急响应制度》，制度字体醒目，尺寸大小应不小于400mm×600mm。

后装机的安全联锁逻辑图如图 10-10。

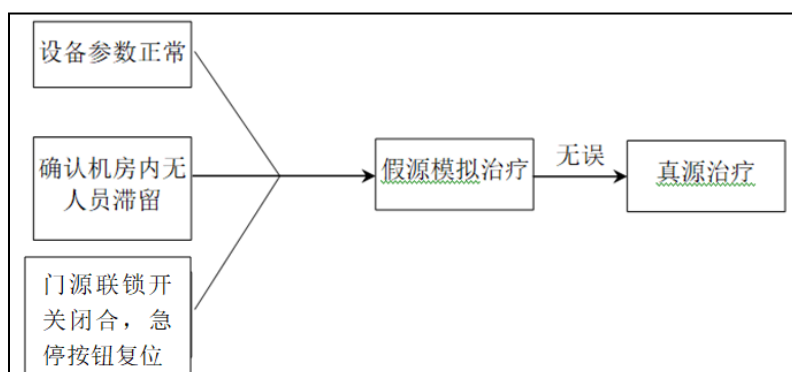


图 10-10 后装机安全联锁逻辑图

### ③模拟定位机房辐射安全防护措施

a、门灯联锁：1 间模拟定位机房拟安装门灯联锁装置或设施，机房内拟设从室内开启防护门的装置。

b、紧急停机按钮：1 间模拟定位机房内关键部位墙面、设备上和控制室内均拟设置紧急停止开关并有明显标志，供紧急停止使用。

c、工作状态指示灯、电离辐射警告标志：在 1 间模拟定位机房防护门外拟安装工作状态指示灯和电离辐射警告标志。

d、监控系统与双向对讲系统：在 1 间模拟定位机房内设有摄像监视系统，使控制室的工作人员可清楚地观察到机房内设备的工作情况，如发生意外情况可及时处理。机房和控制室之间设置双向对讲系统，方便操作人员与患者的交流。

e、机房控制室墙上张贴相应的岗位规章制度、操作规程。上墙制度包括《辐射安全管理规定》、《岗位职责》、《设备操作规程》、《辐射事故应急响应制度》，制度字体醒目，尺寸大小应不小于 400mm×600mm。

本项目放疗科机房的辐射安全设施布置示意图见图10-11与图10-12。

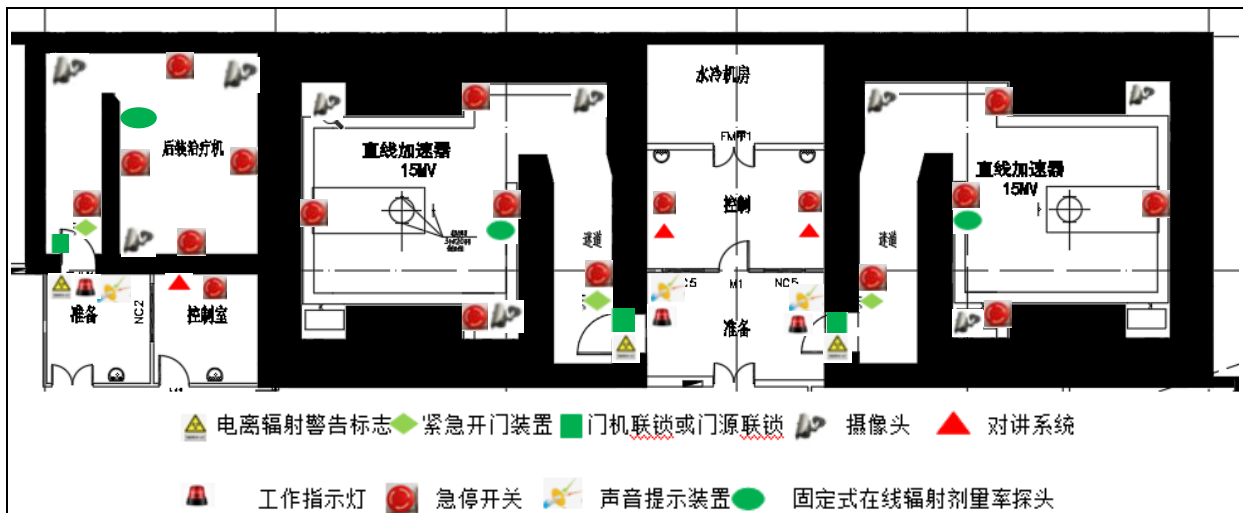


图10-11 直线加速器机房与后装机房的辐射安全设施布置示意图



图10-12 模拟定位机房的辐射安全设施布置示意图

### (3) 辐射安全管理措施

a、本项目放疗科辐射工作人员上岗前均应及时参加国家核技术利用项目辐射安全与防护培训平台的辐射防护与安全培训，经考核合格后方可上岗，并按时接受再培训。

b、操作人员拟定期检查加速器和后装机的安全联锁、紧急停机按钮、钥匙开关、通风换气装置、剂量监测装置与警示标志等，确认其处于正常状态。

c、加速器和后装机操作、安装调试和检修维护人员在工作过程中，应按要求配戴个人剂量计和携带个人剂量报警仪。进行加速器设备的调试和维修期间，本项目辐射工作人员需将设备的控制权暂时移交给设备厂家工作人员，不参与设备的控制与维修，防止维修期间在加速器机房误照射。加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员

值守，在出束的情况下严禁调试、检修人员滞留在控制区。

d、后装治疗室内拟配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。后装机控制室内配备铅衣、铅帽、铅防护眼镜、铅手套等应急防护用品，以备在需要人工手动回源时，工作人员穿戴；废源暂存于治疗室内 25mmPb 的保险柜内。

#### **(4) 安全操作要求**

a、治疗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。

b、治疗室内安装了剂量监测设备、剂量报警设备，能够在控制室随时监控剂量监测值和超剂量报警情况。

c、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。迷道内设置紧急停机、开门按钮。安装手动应急开门装置，以备停电时使用。

d、新购放射源必须有生产厂家提供的说明书及检验证书。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  $\pm 5\%$ 。

e、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的设备表面剂量监测报告。

f、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。

g、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**

本项目后装机初装源/换源均由持有辐射安全许可证并具有相应资质的单位负责，由专业技术人员进行，装源现场在后装机房内。

专业技术人员在穿戴防护衣帽佩戴辐射监测仪器，在机房内将专用换源施源导管一端连接到后装机机头出源口，另一端接入厂家源铅罐，专业工作人员退出机房，关闭防护门后在操作室操作台上执行换源程序，机房内后装机按程序自动将废源送入厂家源铅罐的储源位，随后专业工作人员开启防护门进入机房内，操作厂家源铅罐上的钢丝锁紧装置，并在后装机机头上释放废源钢丝另一端（不带放射源端）的锁紧机构，再将不带源的钢丝一端从机头中取出。

专业工作人员将装有新源的厂家源铅罐搬入机房内，将罐中不带源的钢丝一端通过装源导管插入后装机机头中，随后锁紧机头中的钢丝端头，开启装有新源的厂家源铅罐上的锁紧装置，专业工作人员退出机房，关闭防护门后在控制操作台上执行装源程序，机房内后装机按程序自动将新源收入机头铅罐的储源位，最后，专业工作人员开启防护门进入机房，用辐射监测仪器检查新源是否储存在机头铅罐的储源位，再搬出空源罐。

装源期间医院工作人员不进入装源现场，医院工作人员仅进行辅助工作（运输车辆院内卸车场地准备、车辆引导指挥、放射源运输通道清理、警戒线设置、现场电源准备、现场保卫工作等）。

初装源/换源必须遵循放射防护的操作章程，在有关剂量监护下操作，经过充分准备，周密部署。放射源装入后装机内后对设备表面剂量进行监测，监测合格后方可移交医院使用。后装治疗室防护门日常关闭，无关人员不能进入。后装机更换的废<sup>192</sup>Ir放射源应当按照废旧放射源返回合同规定，将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方。

### (6) 其他防护措施

①防护门为电动平开门，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。

②本项目放疗科配备1台辐射巡测仪、1台中子周围剂量当量率仪、3台固定式辐射剂量监测仪和2台个人剂量报警仪，此外，每个辐射工作人员均配备1枚TLD个人剂量计。

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。

### 10.1.3 放疗科辐射安全与防护措施符合性分析

对照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），本项目机房符合性分析如表 10-19 所示。

表 10-19 放疗科机房符合性分析表

机房名称	防护要求	本项目分析	符合性
选址与布局	放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	本项目加速器机房、后装机房拟建于科技综合楼负二层东北侧，机房位于医院主体建筑内，为医疗用房。	符合
	放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科治疗室、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。	本项目加速器机房、后装机房拟建于科技综合楼负二层东北侧，无地下层，周边不邻近儿科、产科、商业等人群密集及特殊人群区域。	符合

分区原则	放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所；与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监控和评价的区域划定为监督区	项目实行两区划分，将加速器机房（包括迷路）、后装机房（包括迷路）划分为控制区；将控制室、水冷机房、准备间等划分为监督区。	符合
屏蔽要求	放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野能条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射	项目加速器及后装机机房屏蔽设计均按最大工况进行防护屏蔽。	符合
	放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。	项目直线加速器和后装机机房均采用普通钢筋混凝土进行一次性浇筑屏蔽。防护门采取铅门，各屏蔽体厚度满足要求。	符合
	管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。	项目放疗机房通排风管线通过“S”型穿越墙体，电缆沟均以“U”型电缆沟穿越墙体，不影响机房整体屏蔽效果；防护门与墙的搭接处尽可能减小缝隙漏泄辐射，防护门宽与门洞的部分大于“门-墙”间隙的十倍。	符合
	治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平应满足 6.1.4 相关要求	加速器机房和后装机房均采用普通混凝土建设，各侧墙体及防护门外剂量率水平满足参考控制水平。	符合
安全防护设施和措施	放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等；控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和密道区域情况的视频装置，并设置双向对讲系统	拟在机房防护门上方等位置安装醒目指示灯，防护门及墙体设置辐射标志；加速器和后装机机房内及迷道均设置有视频监控，可以实现机房内全监控，并设置双向对讲装置。	符合
	含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近	拟按要求设置，直线加速器机房和后装机机房迷路入口处均设置固定式剂量监测报警装置。	符合
	放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全连锁设施。	加速器机房控制台、设备机架上、治疗床、机房墙体均设置有急停开关；后装机设置紧急回源装置和断电自动回源措施。防护门均设置红外防夹装置和应急开门装置。	符合
	后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具	后装机房内拟按要求配置。	符合

由表可知，放疗科工作场所选址、屏蔽防护设计及安全设施均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）标准要求。

## 10.2项目退役的相关要求

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，本项目核医学科、直线加速器机房与后装机房终结运行后应当依法实施退役。退役完成后，有关辐射工作单位方可申请办理许可证变更或注销手续。

## 10.3 “三废”的治理措施

### 10.3.1 核医学科

#### 10.3.1.1 放射性废气

##### (1) 核医学科废气处理措施

核医学科共设置4条通风管道，其中第1条通风管道连接分装室3个手套箱，使用排风量为2000m<sup>3</sup>/h的排风机；第2条通风管道连接4个甲癌病房，使用排风量为3000m<sup>3</sup>/h的排风机；第3条通风管道连接卫生通过间、机器人送餐室、救治室、污物存放室、清洁室等区域，使用排风量为2000m<sup>3</sup>/h的排风机；第4条通风管道连接诊断场所储源室、固废间、PET/CT机房、SPECT/CT机房、注射候诊室、留观室、卫生通过间、患者通道等控制区域，使用排风量为4000m<sup>3</sup>/h的排风机。各排风管内保持负压，拟安装防回流装置，同时手套箱顶壁安装活性炭，在排风口前配置高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施。废气通过强电井东侧排风井经科技综合楼顶的排风口排放，废气排风口高于屋面3m，离地高度均约73m。

##### (3) 废气处理措施符合性分析

本项目核医学科使用的放射性核素均为化合物液体，为非挥发物质，因此本项目不进行定量分析。少量的放射性气体经高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施吸附后在科技综合楼顶的排风口排放，对环境的影响较小。

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如表 10-20 所示。

表 10-20 核医学科符合性分析表

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。	核医学科设有 4 条通风管道，核医学科产生的废气通过强电井东侧排风井经科技综合楼顶的排风口排放，废气排风口高于屋面 3m，离地高度均约 73m。	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。	符合
3	碘-131 治疗治疗室应设有单独的通风系统，治疗室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。	第2条通风管道连接4个甲癌治疗室，使用排风量为3000m <sup>3</sup> /h的排风机。废气经由排风井内单独密闭管道排至科技综合楼楼顶，并高出屋脊排放。各排风管道内保持负压，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

4	放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的合成、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。	本项目核医学科第 1 条通风管道连接分装室 3 个手套箱，使用排风量为 2000m <sup>3</sup> /h 的排风机，排风风速不低于 0.5m/s；排风管道内保持负压，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 治疗室以及设有通风橱、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。	核医学科产生的废气经由排风井内单独密闭管道排至科技综合楼楼顶，并高出屋脊排放。	符合

### 10.3.1.2 放射性废水

#### (1) 衰变池组平面设计

本项目废水处理设施由4个衰变池中其中2个尺寸均为6.0m×4.5m×3.5m；2个尺寸均为7.5m×3.5m×3.5m，单个衰变池有效容积均不小于80m<sup>3</sup>。

衰变池组前端设置降解池，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。运行时先关闭第二~四池进水管上电磁阀，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池、第四池；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（医院污水处理站位于院区西南侧，地理设置，设计处理规模为800t/d，处理能力能够满足本项目废水排放需求），医院污水处理站经处理达标后排放纳入市政污水管网。核医学科衰变池间内4个衰变池，按照上述程序，轮流反复交替使用。

#### (2) 衰变时间可行性分析

##### A、废水量

根据表 9-3，核医学科核素诊断场所和核素治疗区每年产生放射性废水共约468m<sup>3</sup>，每天最大产生量约 1.3m<sup>3</sup>。

##### B、衰变时间可行性分析

核医学科废水经放射性废水管道接入到科技综合楼负二层西侧的衰变池组。衰变池组由4个衰变池并联组成，4个衰变池中其中2个尺寸均为6.0m×4.5m×3.5m；2个尺寸均为7.5m×3.5m×3.5m，单个衰变池有效容积均不小于80m<sup>3</sup>。则第一个衰变池最后进入的废水存储时间为： $80\text{m}^3 \div 1.3\text{m}^3 \approx 185$ 天（即为第4个衰变池注满的时间），即可存放185天。

衰变池组为埋地式设计，衰变池六面为240mm的不锈钢，检修井盖为5mmPb。废水管道裸露处采用6mm铅皮包裹，保证衰变池池外、废水管道外表面的剂量率小于2.5 $\mu$ Sv/h。

本项目核医学科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；含碘-131核素的放射性废水在衰变池中可以暂存185天，暂存超过180天可直接解控排放，同时应做好相关排放记录。本项目衰变池能够满足项目核医学科工作场所的工作需求，放射性废水的排放能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。

### 10.3.1.3 放射性固废

#### （1）核素诊断区污物暂存间的可行性分析

根据表 9-4，本项目核医学科核素诊断场所共产生放射性固废约 625kg/年，每年产生废活性炭约 60kg。本项目拟将上述放射性固体废物收集于核医学科铅废物桶内专用塑料包装袋，包装袋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。每袋废物的表面剂量率控制在 0.1mSv/h 以下，重量不超过 20kg。装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于固废间的衰变柜中，衰变柜采用 20mmPb 进行屏蔽防护。诊疗区的放射性核素半衰期小于 24 小时，暂存时间超过 30 天可直接解控作为普通医疗废物处置。

废弃的<sup>68</sup>Ge放射源及其包装暂存于储源室保险箱，由供应源商回收，对周围环境影响较小。

核医学科诊疗区固废间设置 1 个衰变柜暂存放射性固废，放射性固废只需暂存 30 天可直接解控作为普通医疗废物处置，1 个衰变柜可以贮存。因此，本项目核医学科固废间满足放射性固废处理的要求。

#### （2）核素治疗区污物暂存间的可行性分析

根据表 9-4，本项目核医学科核素治疗区共产生放射性固废约 136kg/年，污被 200kg/年，每年产生废活性炭约 40kg。本项目拟将上述放射性固体废物收集于铅废物桶内专用塑料包装袋，包装袋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。每袋废物的表面剂量率控制在 0.1mSv/h 以下，重量不超过 20kg。装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于污物暂存间的衰变柜中，衰变柜采用 20mmPb 进行屏蔽防护。治疗场所的放射性核素 <sup>131</sup>I 半衰期大于 24 小时，暂存时间超过 180 天经监测达到解控标准后作为普通医疗废物处置。

废物暂存治疗场所的污物暂存间内，污物暂存间拟设置2个20mmPb的衰变柜，1个

暂存污被，1个暂存其他固废，达到解控标准后按普通医疗废物处理。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，衰变180天后达到解控标准后按普通医疗废物处理，其中污被是一周一换，污被在废物间暂存180天后洗涤，废活性炭按放射性固废处理。

### （3）放射性固废管理措施

对于放射性废物的管理，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）提出如下管理措施：

A、应根据核医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理。

B、应按照废物最小化的原则区分放射性废物与解控废物，不能混同处理，应尽量控制和减少放射性废物产生量。

C、固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内拟放置专用塑料袋直接收纳废物。

D、含尖刺及棱角的放射性废物，拟预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。

E、放射性废物每袋重量不超过 20kg，放射性固体废物包装外表面剂量率不超过 0.1mSv/h，装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

F、放射性废物贮存场所拟安装通风换气装置，入口处拟设置电离辐射警告标志，拟采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

G、废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

H、本项目放射性固体废物含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，含  $^{131}\text{I}$  核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\alpha$  表面污染小于  $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ， $\beta$  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。

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

J、放射性废物封存时需贮存在贮存容器外表面醒目处需张贴电离辐射警告标志，并注明固废的废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等信息。

### 10.3.2 放疗科

#### (1) 放射性固废

加速器靶在更换或退役时，按放射性固体废物处理，拆卸后先放进机房的铅桶衰变暂存，保证铅桶表面剂量率为本底水平，最终送交有资质单位收贮。

本项目后装机运行过程中会产生 1 枚/a 退役的  $^{192}\text{Ir}$  放射源，退役的  $^{192}\text{Ir}$  放射源拟与厂家签订回收协议。拟采用的处置措施符合相关环保要求。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：使用 I 类、II 类、III 类放射源的单位应当按照废旧放射源返回合同规定，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。使用放射源的单位应当在废旧放射源交回、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。

因此，本项目废  $^{192}\text{Ir}$  放射源将交回生产单位，并在送交活动结束后 20 日内到浙江省生态环境厅备案。如确实无法交回生产单位，应送交有相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。

#### (2) 非放射性三废

本项目生活污水、办公垃圾和噪声等在《绍兴市上虞人民医院科技综合楼工程环境影响报告书》中已经进行了详细环境影响评价分析，本项目不再重复定量评价。

加速器运行过程，辐射会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体，相比之下臭氧的危害较氮氧化物大，其产额高，毒性大，氮氧化物  $\text{NO}_x$  产额为  $\text{O}_3$  的 1/3。本项目医用直线加速器机房排风量为  $4000\text{m}^3/\text{h}$ ，采用独立的排风系统，机房体积约为  $660\text{m}^3$ （含迷道），设计通风换气次数达到 5 次/h 以上；本项目后装机房排风量为  $1500\text{m}^3/\text{h}$ ，体积为  $240\text{m}^3$ （含迷道），通风次数达到 5 次/h 以上；机房进风口与排风口位置对角设置；本项目 1 号、2 号加速器机房与后装机房废气分别经 3 根排风管在 2#楼梯间北侧排风井排放，排气口高出屋面约 3m，排气方向不朝向门诊医技楼、住院楼，并且排放口风管端口进行了防雨、防鸟、防虫设计，废气最终排至大气环境。

### 10.4 辐射安全防护措施符合性

结合《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》中相关检查内容，将本项目在设计阶段拟采取的上述防护措施汇总如下。

表10-22 非密封放射性物质医学应用场所辐射安全防护措施汇总表

序号	项目	设计内容	符合情况
1	场所分区布局是否合理及有无相应措施/标识	核医学科平面布局合理，划分为监督区和控制区，并拟设置监督区和控制区标识	符合
2	电离辐射警告标志	核医学出入口、防护门、手套箱、衰变池护栏、铅桶等处拟张贴电离辐射警告标志	符合
3	独立的通风设施	核医学科控制区拟设置独立的排风设施	符合
4	治疗治疗室病人之间防护	各注射候诊室及留观室设置铅屏风	符合
5	给药操作人员屏蔽	核医学科拟设置防护手套箱、转运铅盒和专用防护给药注射窗	符合
6	易去污的工作台面	核医学场所建设拟按 GBZ120 场所分类要求建设	符合
7	病人专用卫生间	各注射候诊室及留观室设有病人专用卫生间	符合
8	放射性核素暂存场所或设施	核医学科设置有储源室和校准源储源室	符合
9	表面污染监测仪	拟配 2 台表面污染监测仪	符合
10	便携式辐射水平监测仪	核医学科拟配 1 台便携性便携式 X-γ 辐射剂量巡测仪。	符合
11	个人剂量计	拟每名辐射工作人员配备 1 支个人剂量计	符合
12	个人剂量报警仪	核医学科拟配 6 台便携式个人剂量报警仪	符合
13	放射性废液处理排放系统及标识	核医学科拟设置 1 套衰变池组，处理含 <sup>99m</sup> Tc 核素、 <sup>18</sup> F 核素和 <sup>131</sup> I 废水，衰变池有效容积满足衰变池贮存要求；衰变池栏杆处设置电离辐射警示标识	符合
14	放射性固体废物暂存场所或设施	核医学科设有铅桶收集放射性固体废物；共设有 1 间固废间和 1 间污物暂存间，用于暂存放射性废物；	符合
15	排入环境废液中的放射性核素、活度或浓度、时间、审批及其他情况的记录	核医学科设有一套放射性废水衰变池，拟设置放射性废水台账。	符合
16	放射性废物送贮或清洁解控档案	拟建立放射性固废台账	符合
17	个人防护用品	拟按需求配置个人防护用品，包括铅衣、铅围裙、放射性污染防护服、远距离操作工具等。	符合
18	放射性表面去污用品和防污染材料	卫生通过间拟配备酒精湿巾、去污剂、安全眼镜、一次性防水手套、塑料袋、胶带、标签、一次性镊子等去污用品和材料	符合

表10-23 后装机场所辐射安全防护设施措施汇总表

序号	检查项目	项目设计内容	符合情况
1	粘贴或悬挂与源对应的放射源编码	放射源粘贴放射源编码	符合
2	场所分区管理	治疗室及迷道内划为控制区，设备间、控制室、风机房及防护门外 1m 划为监督区	符合
3	场所外围电离辐射标志	后装机防护门外张贴电离辐射警告标志	符合
4	屏蔽防护	后装机机房采用 700mm 混凝土实体防护。	符合

5		放射源有固定可靠的安装方式	放射源存储在后装机机头贮源器内，废源暂存于机房内 25mmPb 的保险柜内。	符合
6		防盗措施	后装机机房正门入口处上方拟安装摄像头，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。	符合
7		放射源周围有隔离措施	后装机设置独立机房	符合
8	B 源容器	源容器是否完好	放射源存储在后装机机头贮源器内，废源暂存于机房内 25mmPb 的保险柜内。	符合
9	C	便携式辐射监测仪	放疗科拟配 1 台便携式 X-γ 辐射剂量率仪。	符合
10	监测	个人剂量计	拟每名辐射工作人员配 1 支个人剂量计	符合
11	设备	个人剂量报警仪	拟配 1 台个人剂量报警仪	符合
12	D 应急	应急物资	后装机机房内拟配备长柄工具和应急贮源器，配备铅衣、铅帽、铅防护眼镜、铅手套等应急防护用品。	符合
13	准备	灭火器材	后装机机房内拟配备灭火器材	符合

表10-24 医用电子直线加速器场所辐射安全防护措施汇总表

序号	项目	检查内容	项目设计内容	符合情况
1	A	防止非工作人员操作的锁定开关	控制台设置钥匙开关	符合
2	控制台及安全联锁	控制台有紧急停机按钮	控制台有紧急停机按钮	符合
3		视频监控与对讲系统	治疗室及迷道内设置有视频监控系统和双向对讲装置	符合
4		治疗室门与高压联锁	加速器防护门拟设置门机联锁装置	符合
5	B 警示装置	入口电离辐射警告标志	防护门入口拟设置电离辐射警告标志	符合
6		入口有加速器工作状态显示	防护门上方拟设置工作状态指示灯	符合
7		工作场所分区及标识	加速器治疗室及迷道划为控制区，控制室、水冷机房及设备间划为监督区，并设置标识。	符合
8	C 治疗室紧急设施	屏蔽门内开门按钮	拟设置紧急开门开关，断电情况下可手动开启防护门	符合
9		治疗室门防夹人装置	防护门拟设置红外防夹装置	符合
10		紧急照明或独立通道照明系统	加速器机房内拟设置照明系统	符合
11		治疗室内有紧急停机按钮	加速器机房各侧墙体、迷道、控制室内均设置有急停按钮，相互串联。	符合
12		治疗床有紧急停机按钮	治疗床和设备机头设置有急停按钮	符合
13	D 监测设备	治疗室内固定式剂量报警仪	每间机房均设置 1 个固定式剂量报警仪	符合
14		便携式辐射监测仪器仪表	放疗科拟配 1 台便携式 X-γ 辐射剂量率仪。	符合
15		个人剂量报警仪	拟配 2 台个人剂量报警仪	符合
16		个人剂量计	拟每名辐射工作人员配 1 枚个人剂量计	符合
17	E	个人辐射防护用品	拟按需求配置个人防护用品，包括铅衣、铅围裙、放射性污染防护服等	符合
18	其它	通风系统	加速器机房设置独立通风系统，排风量 4000m <sup>3</sup> /h，通风次数不低于 5 次/h。	符合

表10-25 CT模拟定位机机房辐射安全措施汇总表

序号	检查项目	检查结果	符合情况
1	单独机房	本项目 CT 模拟定位机设置在单独的机房内	符合
2	机房门窗防护	机房墙体 240mm 实心砖+20mm 硫酸钡砂浆，防护门和防护窗均不低于 3mmPb，机房防护屏蔽当量满足 GBZ130 相关要求。	符合
3	候诊位设置	机房外设置候诊区，不在机房内候诊	符合
4	闭门装置	患者防护门设置自动闭门装置；其他防护门设置闭门装置。	符合
5	防护用品和辅助防护设施	机房均配备患者防护用品，数量和防护当量满足 GBZ130 相关要求	符合
6	入口处电离辐射警告标志	防护门入口张贴电离警示标志	符合
7	入口处机器工作状态显示	防护门上方拟设置工作状态指示灯	符合
8	工作场所分区及标识	机房内部划为控制区，控制室及防护门外 1m 划为监督区，拟设置监督区和控制区标识	符合
9	监测仪器	放疗科配 1 台 X-γ 辐射剂量率巡测仪	符合
10	个人剂量计	每名辐射工作人员配 1 支个人剂量计	符合

### 10.5 环保投资概算

本项目总投资预计为 7500 万元，本项目辐射环保投资 248 万元，占总投资的 3.31%。本项目辐射环保投资一览表详见表 10-26。

表 10-26 辐射防护（措施）及投资概算一览表

场所	项目	环保及安全防护措施名称	内容	投资额 (万元)
辐射安全管理机构	已成立	完善辐射防护安全管理小组，并指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作。		/
核医学科	辐射安全防护措施和环保治理措施	屏蔽措施	核医学科屏蔽措施详见表 10-12。	100
		辐射安全防护措施	设置对讲和视频监控设施；储源室设置保险柜，并实行双人双锁和红外报警，与当地 110 联网。医生入口、患者出入口、分装注射室设置固定式环境辐射监测仪。	3
		放射性“三废”处置措施	放射性废气排风设施（含活性炭吸附处理设施）、放射性废水管道、衰变池组、放射性固废处置措施	30
		监测仪器	2 台表面污染监测仪、1 台便携式 X-γ 射线巡测仪；6 台个人剂量报警仪。	8
		个人防护用品	每名辐射工作人员配备 1 枚个人剂量计，其他个人防护用品详见表 10-16。	60
		警示标识	电离辐射警示标志，控制区、监督区标示牌等，	1
医用电子直线加速	辐射安全防护措施和环保治理措施	屏蔽措施	机房各侧墙体及顶棚均采用标准普通混凝土浇筑成型，防护门为内衬铅板防护门。机房屏蔽的设计及施工详见表 10-19。	/
		安全措施	门机联锁装置，紧急制动装置，监视装置，双向对讲装	10.0

器	理措施		置, 工作指示灯, 固定式剂量报警仪等。	
		废气治理	动力排风装置 2 套及配套管网, 进排风管穿墙的屏蔽补充措施。	5.0
		监测仪器	1 台辐射巡测仪、1 台中子周围剂量当量率仪、1 台便携式 X-γ 剂量率监测仪、2 台固定式辐射剂量监测仪	
		个人防护用品	新增 6 支个人剂量计, 配备 2 台个人剂量报警仪。	1
		警示标识	电离辐射警示标志, 控制区、监督区标示牌等。	0.5
后装 机	辐射安全防 护措施和 环保治 理措施	屏蔽措施	机房各侧墙体及顶棚均采用标准普通混凝土浇筑成型, 防护门为内衬铅板防护门。机房屏蔽的设计及施工详见表 10-19。	/
		安全措施	门机联锁装置, 紧急制动装置, 监视装置, 双向对讲装置, 工作指示灯, 1 台固定式剂量报警仪等。	4.0
		废气治理	动力排风装置 1 套及配套管网, 进排风管穿墙的屏蔽补充措施。	5.0
		个人防护用品	新增 3 支个人剂量计, 配备 1 台个人剂量报警仪。	1.0
		警示标识	电离辐射警示标志, 控制区、监督区标示牌等。	0.5
		监测仪器	放疗科共用 1 台便携式 X-γ 剂量率监测仪、1 台中子剂量当量率仪。	1.0
模拟 定位 机房	辐射安全防 护措施和 环保治 理措施	屏蔽措施	屏蔽措施详见表 10-19。	/
		安全措施	门灯联锁装置 1 套, 紧急制动装置 3 套, 监视装置 2 套, 对讲装置 1 套, 工作指示灯 1 套等。	1.0
		废气治理	动力排风装置 1 套及配套管网, 进排风管穿墙的屏蔽补充措施。	3.0
		个人防护用品	新增 2 支个人剂量计。	0.5
		警示标识	电离辐射警示标志, 控制区、监督区标示牌等。	0.5
其他	人员配 备	辐射防护与安全培训和考核	辐射工作人员、辐射安全分管管理领导均应参加环保部平台辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训, 并在通过考核后方可从事相关工作。	2.0
		个人剂量监测和职业健康监护	辐射工作人员应定期健康检查, 定期进行个人剂量监测, 医院建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。	1.5
	制度上墙	操作规程, 设备检维修制度, 辐射事故应急制度, 岗位职责等。	0.5	
	环境监测	委托有资质单位开展各辐射工作场所辐射环境年度监测。	5.0	
	运行维护	监测仪器的维护、校准, 安全设施的维护等。	2.0	
	环境风险投资	购买应急物资, 开展辐射事件应急演练等。	2.0	
	合计			

## 表 11 环境影响分析

### 11.1 建设阶段环境影响分析

#### 11.1.1 施工期

本项目拟建场所室内现有墙体的拆除时产生的扬尘，土建混凝土浇筑及运输车辆装卸材料和行驶时产生的扬尘；建筑材料（商品混凝土、砖等）的现场搬运及堆放扬尘；喷涂产生的少量有机废气。上述废气的影响为暂时性的，项目施工结束后，施工扬尘的影响将会消失。

项目施工期废水主要为施工人员的生活废水，直接依托建设单位已有污水处理设施收集处理后后纳管，对地表影响较小。施工废水主要污染物为悬浮物，采用简易沉淀池沉淀后循环使用，不外排，对地表水环境无影响。

施工期主要为施工期的噪声主要来源于施工现场的各类机械设备噪声，主要有混凝土输送泵、振捣器、电锯、搅拌机、电钻、手工钻、电锤、无齿锯等，这些机械的噪声一般在 75~85dB（A）之间。施工期的噪声影响是短期的，项目建成后，施工期噪声的影响也就此结束。

施工期固体废物包括实验室原有墙体拆除产生的废弃建材、施工过程中产生的建筑垃圾、装修垃圾及施工人员产生的生活垃圾。施工期间产生的废弃建材、建筑垃圾、装修垃圾集中临时堆放，并定期清运至市政部门指定的地点处置，防止二次污染。生活垃圾由环卫部门统一集中处理与处置，对周围环境影响较小。

#### 11.1.2 调试期

设备的安装、调试应请设备厂家专业人员进行，医院方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，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在各个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。由于各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，医院方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

##### 11.2.1.1 $\beta$ 射线辐射环境影响分析

本项目涉及使用的放射性核素<sup>18</sup>F、<sup>131</sup>I在衰变过程中会有β粒子，其中放射性核素<sup>18</sup>F衰变产生的β粒子与衰变产生的正电子迅速发生湮灭反应而转化成一对光子，所以本次评价可不考虑<sup>18</sup>F的β射线所致韧致辐射的影响。放射性核素<sup>131</sup>I也主要考虑γ射线的影响。

### (1) 公式的选取

根据《放射防护实用手册》（主编：赵兰才、张丹枫），β射线在空气中的射程按公式（11-1）计算，计算结果见表11-1。

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

式中：d：β射线在介质中射程，cm；

ρ：介质的密度，g/cm<sup>3</sup>；

E<sub>MAX</sub>：β射线的最大能量，MeV。

### (2) 参数的选取

由公式11-1可知，β射线在介质中射程与介质的密度、β射线的最大能量有关。空气密度取1.29×10<sup>-3</sup>g/cm<sup>3</sup>，砖墙密度取1.65g/cm<sup>3</sup>，混凝土密度取2.35g/cm<sup>3</sup>，铅玻璃密度取4.6g/cm<sup>3</sup>，铅密度取11.3g/cm<sup>3</sup>；β射线的最大能量根据《辐射防护手册》（第一分册）表1.11进行取值。计算结果详见下表。

表11-1 核素衰变产生的β射线在各介质中的理论最大射程

核素	<sup>18</sup> F	<sup>131</sup> I
β射线能量(MeV)	0.511	0.284, 0.365, 0.637
空气中的射程 (cm)	198.06	248.1
实心砖墙中的射程 (cm)	0.15	0.19
混凝土中射程 (cm)	0.11	0.14
铅玻璃中射程 (cm)	5.55×10 <sup>-2</sup>	6.96×10 <sup>-2</sup>
铅中射程 (cm)	2.26×10 <sup>-2</sup>	2.83×10 <sup>-2</sup>

由上表可知，放射性核素<sup>18</sup>F、<sup>131</sup>I产生的β射线在空气中和砖墙中的射程很短，最大分别为248.1cm和0.19cm，而本项目核医学科非密封放射性物质工作场所设置了足够的空间，且有墙体和铅门进行屏蔽，同时β射线在铅玻璃中的射程最大为0.249cm，医护人员在操作过程中穿戴0.5mm铅当量的防护服，故放射性核素<sup>131</sup>I产生的β射线对周围环境影响很小。

#### 11.2.1.2β表面污染环境的影响分析

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 $\beta$ 表面污染水平达到GB18871-2002规定的要求，环评要求建设方要做到以下防护措施：

(1) 使用、操作放射性同位素的人员应经过培训，具备相应的技能与防护知识；

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

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

(4) 吸取液体的操作必须用合适的器具，严禁用口吸取；

(5) 不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；

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

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

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

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

#### **11.2.1.3X 射线辐射环境影响分析**

本项目PET/CT和SPECT/CT的CT自身带有屏蔽系统，机房周围主要受泄漏辐射影响，根据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》P23页：“（77）用于诊断目的的每一个X线管必须封闭在管套内，以使得位于该套内的X射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点1米处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 $1\text{mGy}/\text{h}$ ”，故本项目保守取值为 $1000\mu\text{Gy}/\text{h}$ 。根据《辐射防护导论》表3.5，保守考虑均取150kV宽束X射线铅值层 $0.96\text{mm}$ 。各侧屏蔽墙体的辐射剂量率计算结果见表11-2。

表11-2 CT机房屏蔽体外辐射剂量率计算表

机房	屏蔽体	屏蔽材料	铅当量厚度 (mm)	辐射源点至屏蔽体外30cm处距离 (m)	辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
SPECT/CT机房	观察窗外30cm	6mmPb铅玻璃	6	3.1	$5.85 \times 10^{-5}$
	防护门外30cm	内衬6mm铅板	6	3.6	$4.34 \times 10^{-5}$
	北墙外30cm	240mm加气块+60mm 防护涂料	2.8	3.1	0.13
	顶棚30cm	180mm混凝土+60mm 防护涂料	4.8	5.1	$3.84 \times 10^{-4}$
	地面30cm	140mm混凝土+40mm 防护涂料	3.5	5.1	$8.69 \times 10^{-3}$
PET/CT机房	观察窗外30cm	8mmPb铅玻璃	8	3.1	$4.83 \times 10^{-7}$
	防护门外30cm	内衬8mm铅板	8	3.6	$3.58 \times 10^{-7}$
	北墙外30cm	240mm加气块+80mm 防护涂料	4	3.1	$7.09 \times 10^{-3}$
	顶棚30cm	180mm混凝土+60mm 防护涂料	4.8	5.1	$3.84 \times 10^{-4}$
	地面30cm	140mm混凝土+40mm 防护涂料	3.5	5.1	$8.69 \times 10^{-3}$

注：换算系数，近似 $1\text{Sv}=1\text{Gy}$ 。

### 11.2.1.4y 射线环境影响分析

#### (1) 关注点位的选取

本项目核医学科工作场所共选取了16个关注点，关注点位如图11-1所示。



图11-1 核医学科工作场所关注点位图

#### (2) 公式的选取

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录I中工作场所的屏蔽计算公式（I.1），进行公式转换可得经防护材料屏蔽后关注点的 $\gamma$ 辐射剂量率计算公式（式11-3）。

$$H=10^{-X/TVL} A \Gamma/R^2 \quad (\text{式11-3})$$

式中：

H： $\gamma$ 辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A：放射性药物的活度，MBq；

$\Gamma$ ：周围剂量当量率常数， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ；

R：距放射源的距离，m；

X：屏蔽层的厚度，mm；

TVL：什值层，mm。

### ③参数的选取

由公式11-3可知，在相同的辐射屏蔽设施中，关注点的 $\gamma$ 辐射剂量率与放射性药物的活度A、周围剂量当量率常数 $\Gamma$ 和什值层TVL有关。核素用量和相关参数见表11-3。

表11-3 核素诊治工作场所核素的用量和相关参数

核素	病人单次最大 使用量 (MBq)	裸源剂量率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	TVL (mm)		
			铅 ( $11.3\text{g}/\text{cm}^3$ )	混凝土 ( $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ )	实心砖 ( $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ )
$^{18}\text{F}$	370	0.143	16.6	176	263
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	925	0.0303	1	110	160
$^{131}\text{I}$ (甲测)	0.37	0.0595	11	170	240
$^{131}\text{I}$ (甲亢)	370	0.0595	11	170	240
$^{131}\text{I}$ (甲癌)	7400	0.0595	11	170	240

注：参数来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）。

各个关注点的辐射剂量率预测结果见表11-4。

表11-4 核医学科关注点的辐射剂量率预测结果

关注点		源强 (Bq)	衰减距离 r (m)	防护措施	预测结果 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
分装 注射室	手套箱外表面 30cm处 ( $^{18}\text{F}$ )	$7.40\times 10^9$	0.3	50mmPb手套箱+50mmPb铅罐	0.01
	手套箱外表面 30cm处 ( $^{18}\text{F}$ )	$3.7\times 10^8$	0.3	50mmPb手套箱	0.58
	手套箱外表面 30cm ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ )	$2.78\times 10^{10}$	0.3	20mmPb手套箱+20mmPb铅罐	$9.36\times 10^{-37}$
	手套箱外表面 30cm ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ )	$9.25\times 10^8$	0.3	20mmPb手套箱	$3.11\times 10^{-18}$
	手套箱外表面 30cm处 ( $^{131}\text{I}$ )	$3.15\times 10^{10}$	0.3	35mmPb手套箱+30mmPb铅罐	0.03
	取药 ( $^{18}\text{F}$ )	$3.7\times 10^8$	0.3	20mmPb防护+30mmPb转运盒	0.58

		取药 ( $^{99m}\text{Tc}$ )	$9.25 \times 10^8$	0.3	30mmPb转运盒	$3.11 \times 10^{-28}$
		$^{18}\text{F}$ 注射位	$3.7 \times 10^8$	0.3	40mmPb注射窗	2.29
		$^{99m}\text{Tc}$ 注射位	$9.25 \times 10^8$	0.3	4mmPb注射窗	0.03
		墙外30cm	$^{18}\text{F}: 3.7 \times 10^8$	2.0	240mm实心页岩砖+40mm防护涂料	0.79
		门外30cm		3.2	内衬6mm铅板	2.25
		顶棚30cm		5.1	180mm 混凝土+60mm 防护涂料	0.07
		地面30cm		5.1	140mm 混凝土+40mm 防护涂料	0.16
储源室	2	墙外30cm	$^{99m}\text{Tc} 2.78 \times 10^{10} +$ $^{18}\text{F} 2.22 \times 10^{10}$	1.3	240mm实心页岩砖+40mm防护涂料 +50mmPb铅罐/20mmPb铅罐+30mmPb 保险柜	$1.72 \times 10^{-3}$
		门外30cm		1.3	内衬6mm铅板+50mmPb铅罐/20mmPb铅 罐+30mmPb保险柜	$3.1 \times 10^{-3}$
		顶棚30cm		5.1	180mm混凝土+60mm防护涂料 +50mmPb铅罐/20mmPb铅罐+30mmPb 保险柜	$6.01 \times 10^{-5}$
		地面30cm		5.1	140mm混凝土+40mm防护涂料 +50mmPb铅罐/20mmPb铅罐+30mmPb 保险柜	$1.44 \times 10^{-4}$
固废间	3	墙外30cm	0.5mSv/h (固废间约5袋废 物, 每袋废物的表 面剂量率应不超过 0.1mSv/h)	1.3	240mm实心页岩砖+40mm防护涂料 +20mmPb衰变柜	1.11
		门外30cm		1.3	内衬6mm铅板+20mmPb衰变柜	8.03
		顶棚30cm		5.1	180mm混凝土+60mm防护涂料 +20mmPb衰变柜	0.04
		地面30cm		5.1	140mm混凝土+40mm防护涂料 +20mmPb衰变柜	0.09
运动负 荷兼抢 救	4	墙外30cm	$^{99m}\text{Tc}: 9.25 \times 10^8$	1.5	240mm实心页岩砖+40mm防护涂料	0.13
		门外30cm		1.8	内衬6mm铅板	$8.65 \times 10^{-6}$
		顶棚30cm		5.1	180mm 混凝土+60mm 防护涂料	$4.47 \times 10^{-3}$
		地面30cm		5.1	140mm 混凝土+40mm 防护涂料	$1.82 \times 10^{-2}$
		注射		0.3	4mmPb 注射车	0.03
		抢救位	$^{18}\text{F}: 3.7 \times 10^8$	0.3	0.5mmPb铅衣	548.5
SPECT 候诊室	5	墙外30cm	$^{99m}\text{Tc} 9.25 \times 10^8 \times 6$ (6名用药患者同 时候诊)	1.8	240mm实心页岩砖+40mm防护涂料	0.53
		门外30cm		2.0	6mmPb	$4.20 \times 10^{-5}$
		顶棚30cm		5.1	180mm 混凝土+60mm 防护涂料	0.03
		地面30cm		5.1	140mm 混凝土+40mm 防护涂料	0.11
		卫生间	$^{99m}\text{Tc} 9.25 \times 10^8$	1.0	240mm实心页岩砖+60mm防护涂料	0.29
PET 候诊室	6	墙外30cm	$^{18}\text{F}$ $3.7 \times 10^8 \times 2$ (2名用药患者同 时候诊)	1.6	240mm实心页岩砖+60mm防护涂料	1.73
		门外30cm		2.6	8mmPb	5.16
		顶棚30cm		5.1	180mm 混凝土+60mm 防护涂料	0.13
		地面30cm		5.1	140mm 混凝土+40mm 防护涂料	0.32
		卫生间	$^{18}\text{F}$ $3.7 \times 10^8$	1.0	240mm实心页岩砖+60mm防护涂料	2.21
VIP 候诊室	7	墙外30cm	$^{18}\text{F}: 3.7 \times 10^8$	1.6	240mm实心页岩砖+60mm防护涂料	0.86
		门外30cm		2.6	8mmPb	2.58
		顶棚30cm		5.1	180mm 混凝土+60mm 防护涂料	0.07
		地面30cm		5.1	140mm 混凝土+40mm 防护涂料	0.16
		卫生间		1.0	240mm实心页岩砖+60mm防护涂料	2.21
SPECT/ CT 机房	8	摆位处	$^{99m}\text{Tc} 9.25 \times 10^8$	1	0.5mmPb铅衣	8.86
		墙外30cm		3.3	240mm加气块+60mm防护涂料	0.59
		观察窗外30cm		4.2	6mm铅当量铅玻璃	$6.01 \times 10^{-5}$

					叠加X剂量率 $5.85 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h}$	
		门外30cm		4.2	6mmPb	$4.50 \times 10^{-5}$
		顶棚30cm		5.1	180mm混凝土+60mm防护涂料	$4.85 \times 10^{-3}$
		地面30cm		5.1	140mm混凝土+40mm防护涂料	$2.69 \times 10^{-2}$
					叠加X剂量率 $8.69 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$	
PET/CT 机房	9	摆位处	$^{18}\text{F}: 3.7 \times 10^8$	1	0.5mmPb铅衣	49.36
		墙外30cm		3.3	370mm实心页岩砖+60mm防护涂料	0.07
		观察窗外30cm		4.2	8mm铅当量铅玻璃	0.99
		门外30cm		4.2	8mmPb	0.99
		顶棚30cm		5.1	180mm混凝土+60mm防护涂料	0.08
		地面30cm		5.1	140mm混凝土+40mm防护涂料	0.17
留观室	10	墙外30cm	$^{18}\text{F}: 3.7 \times 10^8$	1.6	370mm实心页岩砖+60mm防护涂料	0.35
		门外30cm		4.0	8mmPb	1.09
		顶棚30cm		5.1	180mm混凝土+60mm防护涂料	0.07
		地面30cm		5.1	140mm混凝土+40mm防护涂料	0.16
患者 通道	11	顶棚30cm	$^{18}\text{F} 3.7 \times 10^8$	5.1	180mm混凝土+60mm防护涂料	0.07
		地面30cm		5.1	140mm混凝土+40mm防护涂料	0.16
甲癌 治疗室	12	查房	$^{131}\text{I}: 7.4 \times 10^9$	1	10mmPb铅屏风	54.28
		墙外30cm		2.2	370mm实心页岩砖+60mm防护涂料	0.86
		门外30cm		4.0	8mmPb	5.16
		顶棚30cm		5.1	180mm混凝土+60mm防护涂料	0.49
		地面30cm		5.1	140mm混凝土+60mm防护涂料	0.84
污物暂 存间	13	墙外30cm	1mSv/h (固废间约10袋废 物, 每袋废物的表 面剂量率应不超过 0.1mSv/h)	1.6	240mm实心页岩砖+60mm防护涂料 +20mmPb衰变柜	0.07
		门外30cm		1.6	6mmPb+20mmPb衰变柜	1.69
		顶棚30cm		5.1	180mm 混凝土+60mm 防护涂料 +20mmPb 衰变柜	0.02
		地面30cm		5.1	140mm 混凝土+60mm 防护涂料 +20mmPb 衰变柜	0.03
抢救位	14	/	$^{131}\text{I}: 7.4 \times 10^9$	0.3	0.5mmPb铅衣	4406
甲测室	15	顶棚30cm	$^{131}\text{I}: 7.4 \times 10^9$	5.1	180mm 混凝土+60mm 防护涂料	0.49
		地面30cm		5.1	140mm 混凝土+60mm 防护涂料	0.84

注：1、有多面墙体时，给出辐射剂量率较大墙体的预测值。手套箱外表面剂量率较小，通过距离的衰变和墙壁的屏蔽，其对外的辐射影响忽略不计，仅考虑医生拿着单人用量注射器的药物对四周的影响。  
2、根据表9-2，甲测药物单人用量1m处剂量率仅为 $0.02 \mu\text{Sv/h}$ ，通过墙壁等屏蔽体进一步衰减，其对周围环境的辐射影响可以忽略，因此不考虑甲测室周围剂量率的计算及有效剂量的计算分析。  
3、根据《放射卫生学》P141，硫酸钡涂料属于低原子序数（ $<56$ ）物质组成材料，可以采用密度比（ $d_{\text{混凝土}}=d_{\text{材料}} \times (\rho_{\text{材料}}/\rho_{\text{混凝土}})$ ）换算成混凝土的厚度，20mm硫酸钡涂料换算成27.23mm混凝土。

从上表可以看出，本项目核医学科工作场所周围辐射剂量率预测值能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”与“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，其中控制区内工作人员较少停留或无

需到达的场所应小于10μSv/h”的要求。

### 11.2.1.5 敷贴室辐射环境影响分析

<sup>90</sup>Sr核素为纯β衰变，屏蔽强β粒子的高原子序数材料会产生韧致辐射。根据《辐射安全手册》（潘自强主编），对β辐射源，韧致辐射采用下式进行计算。韧致辐射的平均能量是入射β粒子最大能量的1/3。

$$H_L = \frac{6 \times A \times E^2}{r^2} (Z + 1) \mu_{en} \quad (\text{式11-4})$$

式中：

$H_L$ —韧致辐射剂量率，μSv/h；

$r$ —参考点至韧致辐射源的距离，cm；

$A$ —为β放射源的放射性活度，MBq；

$Z$ —为吸收β粒子屏蔽材料的原子序数。有机玻璃 $Z$ 取5.9；

$E$ —为β粒子的最大能量，MeV；

$I$ —内韧致辐射贡献的修正因子，有机玻璃取5.4；

$\mu_{en}$ —为韧致辐射的质能吸收系数。查《辐射安全手册》表3.3，保守取12.547E-02cm<sup>2</sup>/g。

本项目<sup>90</sup>Sr敷贴器由医院外购成品敷贴器，<sup>90</sup>Sr敷贴器最大活度1.85×10<sup>9</sup>Bq。<sup>90</sup>Sr敷贴器按韧致辐射能量为0.65MeV进行计算，查NCRP Report No.151中P158 Fig.A.1a，砖的什值层约为40cm，铅的什值层约为2cm。

表11-5 核素诊断区敷贴治疗关注点辐射剂量率估算

关注点		照射类型	源强 (MBq)	距离 (m)	屏蔽材料及厚度	辐射剂量率 (μSv/h)
16#	敷贴治疗室西墙外30cm处	公众照射	1850	2.6	240mm实心页岩砖	6.95×10 <sup>-8</sup>
	敷贴室防护门外30cm处	公众照射	1850	2.6	内衬2mm铅板	0.18
	医生操作位	职业照射	1850	0.5	0.5mmPb当量铅衣	1.06

注：<sup>90</sup>Sr敷贴器在储源室和敷贴室的转移过程中由于有有机玻璃容器的屏蔽，其辐射剂量率可以忽略。

### 11.2.1.6 年有效剂量估算

#### (1) 公式的选取

年有效剂量根据式11-5进行计算。

$$H = D_r \times t \times U \times T \times 10^{-3} \quad (\text{式11-5})$$

式中：

H: X射线外照射人均年有效剂量, mSv;

D<sub>r</sub>: 关注点处的辐射剂量率, μSv/h;

t: 受照射时间, h;

U: 使用因子;

T: 人员在相应关注点驻留的居留因子。

## ②参数的选取

本项目核医学科拟配置11名辐射工作人员, 核素诊断场所共配置6名辐射工作人员, 分装注射室配置2名辐射工作人员, SPECT机房配置2名工作人员, PET机房配置2名工作人员, 机房工作人员还负责诊治方案、抢救等工作; 核素治疗区共配置5名辐射工作人员, 负责甲亢与甲癌病人的治疗工作。根据各关注点处辐射剂量率估算值, 并结合各关注点处人员停留时间, 根据公式(11-5)即可得到各关注点处工作人员及公众的年受照剂量, 计算结果见表11-6。

表11-6 本项目核医学科核素诊治工作场所工作人员及周围公众年有效剂量估算

关注对象	关注点辐射剂量率(μSv/h)	受照时间(h)	居留因子	人员年有效剂量(mSv/a)	
核医学科工作场所辐射工作人员	<sup>18</sup> F分装	0.58	年分装5000次, 每次1min	1	0.048
	<sup>99m</sup> Tc测活	3.11×10 <sup>-18</sup>	年测活7500次, 每次1min	1	3.89×10 <sup>-19</sup>
	<sup>18</sup> F取药	0.58	年取药5000次, 每次0.5min	1	0.024
	<sup>99m</sup> Tc取药	3.11×10 <sup>-28</sup>	年取药7500次, 每次0.5min	1	1.95×10 <sup>-29</sup>
	<sup>18</sup> F注射	2.29	年注射5000次, 每次1min	1	0.19
	敷贴室治疗	1.06	年治疗1250次, 每次1min	1	0.022
	<sup>99m</sup> Tc注射(含注射车)	0.03	年注射7500次, 每次1min	1	3.75×10 <sup>-3</sup>
	PET控制室操作	0.99	年扫描5000次, 每次扫描约15min	1	1.24
	PET摆位	49.36	年摆位5000次, 每次摆位约1min	1	4.12/2人
	核素诊疗抢救工作	548.5	年抢救约3次, 每次抢救约15min	1	0.41
	SPECT控制室操作	0.59	年扫描7500次, 每次扫描约15min	1	1.11
	SPECT摆位	8.86	人均年摆位7500次, 每次摆位约1min	1	1.11/2人
	甲癌查房	54.28	年查房约50次, 每次查房约30min	1	1.36
	核素治疗抢救工作	4406	年抢救约3次, 每次抢救约15min	1	3.30
核医学科工作场所周边公众	北侧备用机房、库房等(参考12点位墙外剂量率)	0.86 (2.2 <sup>2</sup> /4.3 <sup>2</sup> )	日工作约8h, 年工作日250天	1/16	0.03
	东侧排风机房(参考13点位墙外剂量率)	0.07	日工作约8h, 年工作日250天	1/16	8.75×10 <sup>-3</sup>
	东侧备用机房、电梯厅等(参考10点位墙外剂量率)	0.35 (1.6 <sup>2</sup> /3.6 <sup>2</sup> )	日工作约8h, 年工作日250天	1/8	0.02
	南侧备用机房(参考9点位墙外剂量率)	0.07 (3.3 <sup>2</sup> /5.3 <sup>2</sup> )	日工作约8h, 年工作日250天	1/8	6.78×10 <sup>-3</sup>
	西侧排风机房(参考3点位墙外剂量率)	1.11 (1.3 <sup>2</sup> /3.7 <sup>2</sup> )	日工作约8h, 年工作日250天	1/40	0.01

上方科技综合楼输液室等 (参考12点位顶棚剂量率)	0.49	按每年每个病人输液50h	1	0.025
下方空调机房、水泵房、排 风机房等(参考12点位地面 剂量率)	0.84	日工作约8h, 年工作日250天	1/40	0.04

注：核医学科工作场所相邻区域能满足公众剂量约束值不超过0.1mSv/a的要求。根据剂量率与距离平方成反比的关系，距离诊治区域越远，辐射剂量率越低，因此50m评价范围内公众受照剂量也能满足公众剂量约束值不超过0.1mSv/a的要求。

根据表11-6的估算结果可知，本项目核医学科工作场所所致辐射工作人员受照年有效剂量最大为3.71mSv，满足本项目职业人员剂量约束值不超过5mSv/a的要求，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的工作人员所接受的职业照射水平不应超过20mSv/a的剂量限值要求；本项目核医学科工作场所所致公众人员受照年有效剂量最大为0.04mSv，满足本项目公众人员剂量约束值不超过0.1mSv/a的要求，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。

### 11.2.1.6核医学科诊治工作场所“三废”影响分析

#### (1) 放射性废水影响分析

本项目核医学科放射性废水的衰变时间可行性分析与排放废水浓度达标性分析详见表10.2放射性“三废”处理措施，放射性废水经衰变池组衰变后，废水中各放射性核素一次排放量均小于相应核素的1ALImin，月排放量小于相应核素的10倍ALImin，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中放射性废液排放的相关要求，对周围环境的影响是可接受的。本项目核医学科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；含碘-131核素的放射性废水在衰变池中可以暂存185天，暂存超过180天可直接解控排放，同时应做好相关排放记录。本项目衰变池能够满足项目核医学科工作场所的工作需求，放射性废水的排放能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求。

#### (2) 放射性废气影响分析

本项目核医学科工作场所废气管道风量、走向及排放口等分析详见表10.2放射性“三废”处理措施。本项目所涉及放射性药物为非挥发性化合物，本项目不进行定量分析，本项目核医学科通风系统满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中“核医学通风系统独立设置，排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置”的要求，能够有效防止放射性气体对周围环境产生辐射影响。

#### (3) 放射性固废影响分析

本项目核医学科核素诊断场所产生的放射性固废暂存于固废间内，暂存30天达到解控标准后按普通医疗废物处理。核医学科核素治疗区产生的放射性固废暂存于污物

暂存间内，暂存180天达到解控标准后按普通医疗废物处理。废活性炭暂存180天达到解控标准后按危险废物处置。

### **11.2.1.7非放射性三废**

本项目核医学科辐射工作人员产生的生活污水进入医院污水处理站预处理达标后纳管，生活垃圾集中收集交由环卫部门统一清运。本项目设备运行噪声与排风机工作噪声源强 $\leq 65\text{dB(A)}$ ，通过建筑墙体的屏蔽与距离的衰减后，对周围环境的影响可忽略。

### **11.2.1.8核医学科事故影响分析**

#### **(1) 事故风险因素**

①由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因造成的工作是放射性药物撒漏，造成意外照射和辐射污染。

②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丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

③核素治疗患者用药后未经允许离开核医学科，尤其是在用药初期离开候诊区，可能对接近患者的人员造成额外的照射剂量。

④放射性废气：高效过滤器+活性炭吸附二级处理设施处理效率降低或失效造成放射性废气未经处理直接排放，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

#### **(2) 辐射事故防范措施**

①制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物撒漏事故的发生。若少量放射性物质洒漏，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。若大量放射性物质洒漏，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对洒漏放射性液态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；

②制定和完善放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。专用贮存间设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。当发生显像剂（或放射源）丢失事故时，事故发现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；向当地环境保护主管部门、公安部门、卫生主管部门报告，在2小时内填写《辐射事故初始报告单》；协助公安、环保和卫生

主管部门对丢失显像剂（或放射源）进行侦查和追缴，力争在最短时间内将放射性物品找回；

③加强对有药患者的管理，在不影响诊断和治疗的情况下，限制其服药量，限制患者出院时的放射性药物携带量，并对出院的有药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面的指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公众场所活动，并避免与家人近距离密切接触；

④加强对高效过滤器+活性炭吸附的废气处理设施的处理效率检查，建议每季度检测一次；

⑤核医学科个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽子等基本防护用品，以及铅防护衣、防护镜等附加防护用品。工作人员进入监督区必须穿戴放射防护用品，个人剂量仪佩戴于铅衣内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅衣、戴口罩、手套，必要时戴防护眼镜。尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。为病人注射放射性药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应使用注射器屏蔽装置。科主任负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

## **11.2.2 放疗科直线加速器运行时环境影响分析**

### **11.2.2.1 直线加速器运行时环境影响分析**

本项目电子直线加速器带 CBCT 图像引导功能，根据建设单位提供的资料，CBCT 的 X 射线最大参数为 150kV、1000mA。对照 X 射线能量，各屏蔽体满足医用电子直线加速器 15MVX 射线的屏蔽防护，则能够满足 CBCT 系统 150kVX 射线的屏蔽要求。因此本次不再单独对 CBCT 系统运行时的 X 射线进行屏蔽计算。

#### **(1) 电子直线加速器技术参数及机房设计情况**

本项目新增 2 台直线加速器，位于地下室负二层放疗科。根据院方提供的资料，加速器机房四侧墙体、顶棚采用标准混凝土（ $\rho=2.35\text{g/cm}^3$ ）浇筑而成，防护门采用铅板+含硼聚乙烯制作。加速器机房上方为消防登高带，无地下层。本项目 2 间加速器机房设计相同，因此仅计算 2 号加速器机房周围剂量率，其余机房周围剂量率参考 2 号加速器机房。

表 11-7 2号加速器机房设计空间几何尺寸

机房	所在部位	净尺寸 (mm)
2号加速器机房	机房东西长度 (不含迷道)	8000
	机房南北宽度	7040
	迷道内入口宽度	2700
	迷道外入口宽度 (门洞)	1500
	迷道长度	10340
	迷道宽度	2200
	机房净高	6400

注：本项目 2 间加速器机房设计相同，以 2 号加速器机房为例。

### (2) 工作负荷

根据医院提供资料，医院已建有 2 间直线加速器机房，分别安装 1 台电子直线加速器，投入使用后，预计每台加速器每天放射治疗患者最多为 40 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 1.0h，周照射时间为 5h，年照射时间为 250h。本项目采用最大加载条件进行估算，即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 11-8。

表 11-8 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	15MV：有用线束在距靶中心 1m 处的最大治疗剂量率为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ 10MV：有用线束在距靶中心 1m 处的最大治疗剂量率为 $8.4 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$
最大照射野大小	400mm×400mm
机架旋转角度	±180°

### (3) 关注点选取

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求，在本项目直线加速器机房外表面30cm处，人员受照的剂量当量可能最大的位置设定关注点对机房的屏蔽体进行核算。由于本项目2间加速器机房，其中1#和2#加速器机房为对称结构，因此选取2#机房进行示例计算。居留因子选取根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求，具体数值见表11-9，加速器机房各关注点一览表见表11-10。

表11-9 不同场所的居留因子

场所	居留因子 (T)		示例
	典型值	范围	
全居留	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、有人护理的候诊室以及周边建筑中的驻留区。
部分居留	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
偶然居留	1/16	1/8~1/40	1/8: 各治疗室门 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、车辆自动卸货区域、楼梯、无人看管的电梯

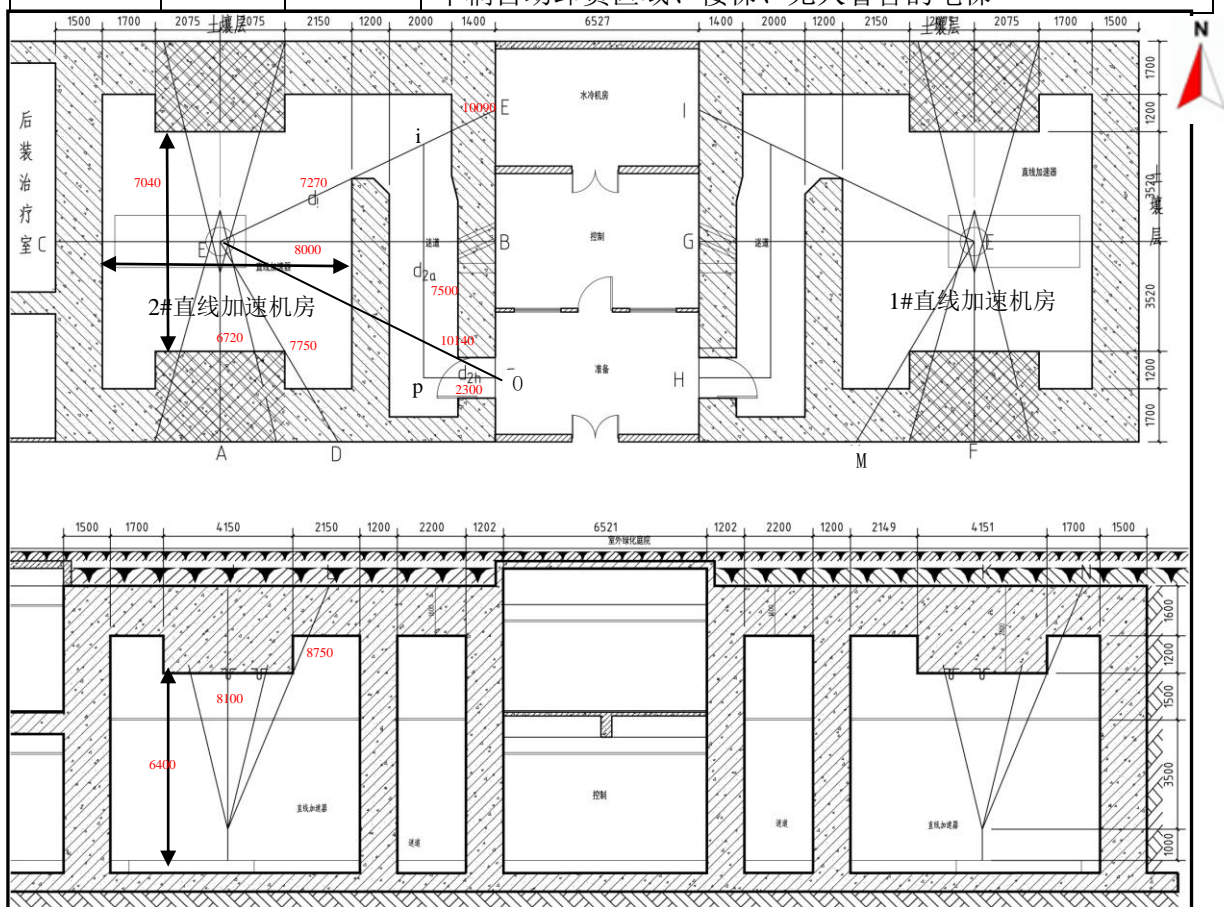


图11-2 加速器机房屏蔽及预测点位设置示意图 (单位: mm)

表11-10 加速器机房各关注点一览表

序号	关注点	点位描述	居留因子	备注
1#加速器机房				
1	F	南墙主屏蔽区外30cm处, 为过道	1/16	偶然居留
2	M	南墙次屏蔽区外30cm处, 为过道	1/16	偶然居留
3	I	西墙迷路外墙外30cm处, 为水冷机房	1/16	偶然居留
4	G	西墙迷路外墙外30cm处, 为控制室	1	全居留
5	H	防护门外30cm处, 为准备间	1/8	偶然居留
6	K	顶棚主屏蔽区外30cm处, 为室外道路	1/16	偶然居留

7	N	顶棚次屏蔽区外30cm处，为室外道路	1/16	偶然居留
2#加速器机房				
1	E	东墙迷路外墙外30cm处，为水冷机房	1/16	偶然居留
2	B	东墙迷路外墙外30cm处，为控制室	1	全居留
3	O	防护门外30cm处，为准备间	1/8	偶然居留
4	A	南墙主屏蔽区外30cm处，为过道	1/16	偶然居留
5	D	南墙次屏蔽区外30cm处，为过道	1/16	偶然居留
6	C	西墙侧屏蔽墙外30cm处，为后装机房	1/2	部分居留
7	J	顶棚主屏蔽区外30cm处，为室外道路	1/16	偶然居留
8	L	顶棚次屏蔽区外30cm处，为室外道路	1/16	偶然居留
注：本项目1#机房东、北侧为土层，2#机房北侧为土层，人员无法到达，故可不设关注点。地下为土层。				

#### (4) 导出剂量率参考控制水平确定

按照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中提出的剂量控制应符合以下要求：

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

2) 所确定的剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$ ：

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

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

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

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

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

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

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量  $250 \mu\text{Sv}$  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100μSv/h加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ：

$$\dot{H}_c \leq H_e / (t \times U \times T) \quad (11-6)$$

式中：

$\dot{H}_c$ ——周围剂量当量率参考控制水平，单位为微希沃特每小时（μSv/h）；

$H_e$ ——周剂量参考控制水平，单位为微希沃特每周（μSv/周）。

$t$ ——设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周（h/周）；

$U$ ——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

$T$ ——人员在关注点位置的居留因子。

由此确定的1#~2#加速器机房各关注点的剂量率参考控制水平见表11-11。

表11-11 加速器机房外关注点剂量率参考控制水平

1#加速器机房								
关注位置		参数			$H_e$ (μSv/周)	$\dot{H}_c$ (μSv/h)	$\dot{H}_{c,max}$ (μSv/h)	$\dot{H}_c$ (μSv/h)
		T (h/周)	T	U				
F	过道	5	1/16	1/4	5	64	10	10
M	过道	5	1/16	1	5	16	10	10
I	水冷机房	5	1/16	1	5	16	10	10
G	控制室	5	1	1	100	20	2.5	2.5
H	准备间	5	1/8	1	5	8	10	8
K	室外道路	5	1/16	1/4	5	64	10	10
N	室外道路	5	1/16	1	5	16	10	10
2#加速器机房								
E	水冷机房	5	1/16	1	5	16	10	10
B	控制室	5	1	1	100	20	2.5	2.5
O	准备间	5	1/8	1	5	8	10	8
A	过道	5	1/16	1/4	5	64	10	10
D	过道	5	1/16	1	5	16	10	10
C	后装机房	5	1/2	1	5	2	10	2
J	室外道路	5	1/16	1/4	5	64	10	10
L	室外道路	5	1/16	1	5	16	10	10

### (5) 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校核

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）附录D，加速器主屏蔽区宽度计算分为以下两种情况，有用线束主屏蔽区示意图见图11-3。本项目主屏蔽墙均为内凸，主屏蔽宽度根据公式（11-7）计算。

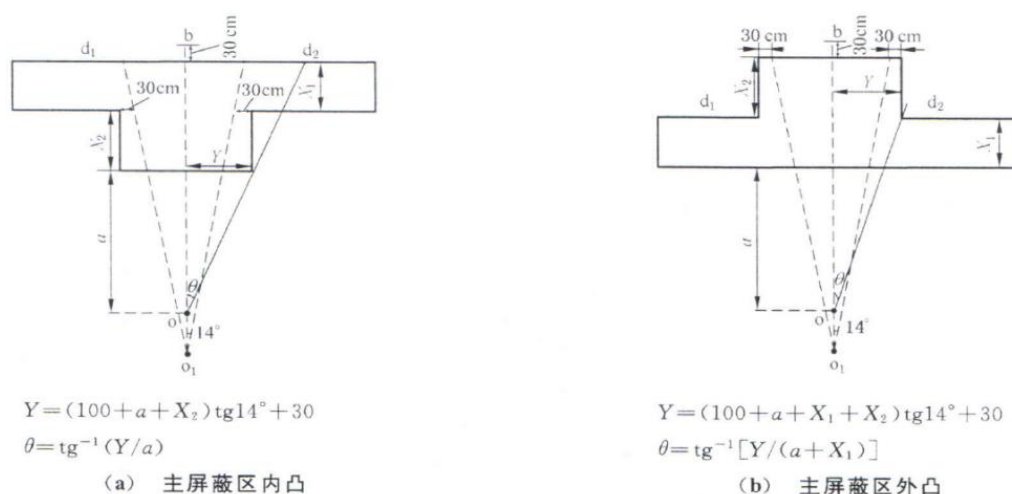


图11-3 加速器机房主屏蔽区示意图

内凸半宽度计算方法：
$$Y = (100 + a + X_2) \tan \frac{\theta}{2} + 30 \dots \dots \dots (11-7)$$

式中：Y——机房有用束主屏蔽区的半宽度，cm；

a——等中心至主屏蔽墙的距离，cm；

$X_1$ ——墙体厚度，cm；

$\theta$ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线）。

经上述公式计算，本项目加速器机房有用线束主屏蔽区宽度核算情况见表11-12。

表 11-12 主屏蔽墙体的宽度计算一览表

机房名称	主屏蔽墙	a (cm)	$X_2$ (cm)	$\theta$	Y (cm)	主屏蔽区宽度2Y (cm)		符合性评价
						理论值	设计值	
2#	南墙	352	120	28°	172.6	345	415	符合
	北墙	352	120	28°	172.6	345	415	符合
	顶棚	480	120	28°	205	410	415	符合

注：由于本项目加速器机房位于地下二层，无地下层，所以地面的防护不予考虑。由于GBZ/T201.2-2011 主线束屏蔽宽度计算已考虑了两侧各30cm的冗余，因此本项目共用墙体宽度能够全部屏蔽主射线束。

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，即主射束为南侧、北侧、顶棚及地面，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、J点）

A、有效屏蔽厚度

当 X 射线束以  $\theta$  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。

$$X_e = X / \cos\theta = X \cdot \sec\theta \dots\dots\dots(\text{式 11-8})$$

式中：

$X_e$ —防护材料有效厚度，cm；

X—防护材料厚度，cm；

$\theta$ —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：

$$B = 10^{-(X_e+TVL-TV L_1)/TVL} \dots\dots\dots(\text{式 11-9})$$

式中：

B——辐射屏蔽透射因子；

$X_e$ ——有效屏蔽厚度，cm；

$TVL_1$ ——辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度，cm；

$TVL$ ——辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度，cm。

C、屏蔽体外关注点的剂量率（关注点：A点、J点）：

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。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots(\text{式 11-10})$$

式中：

$\dot{H}$ ——相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

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

$f$ ——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。

主屏蔽墙外辐射剂量率计算参数及结果见下表11-13。

表 11-13 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	2号机房南墙主屏蔽A点 (F点)	2号机房顶棚主屏蔽J点 (K点)
X (cm)	290cm混凝土	280cm混凝土
Xe (cm)	290	280
TVL (cm)	41 (15MV)	41 (15MV)
	37 (10MV)	37 (10MV)
TVL <sub>1</sub> (cm)	44 (15MV)	44 (15MV)
	41 (10MV)	41 (10MV)
B	$1.0 \times 10^{-7}$ (15MV)	$1.8 \times 10^{-7}$ (15MV)
	$1.9 \times 10^{-8}$ (10MV)	$3.5 \times 10^{-8}$ (10MV)
R (m)	6.72	8.10*
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ )	$3.6 \times 10^8$ (15MV)	$3.6 \times 10^8$ (15MV)
	$8.4 \times 10^8$ (10MV)	$8.4 \times 10^8$ (10MV)
f	1	1
$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	0.797 (15MV)	0.963 (15MV)
	0.347 (10MV)	0.479 (10MV)

注：\*代表从靶点到地面 30cm 的距离。

③侧屏蔽墙及迷道外墙关注点的剂量率估算（关注点：B 点、C 点）

B 点、C 点主要考虑加速器泄漏辐射，泄漏辐射的辐射剂量估算公式同式 11-10，其中泄漏辐射比率 f 为 0.001，偏保守考虑入射角为 0°；计算参数及结果见表 11-14。

表 11-14 侧屏蔽墙关注点辐射剂量率计算参数及结果

关注点	2号机房东墙侧屏蔽B点 (G点)	2号机房西墙侧屏蔽C点
X (cm)	120+120混凝土	150cm混凝土
Xe (cm)	240cm 混凝土	150cm混凝土
TVL (cm)	33 (15MV)	33 (15MV)
	31 (10MV)	31 (10MV)
TVL <sub>1</sub> (cm)	36 (15MV)	36 (15MV)
	35 (10MV)	35 (10MV)
B	$6.58 \times 10^{-8}$ (15MV)	$3.51 \times 10^{-5}$ (15MV)
	$2.44 \times 10^{-8}$ (10MV)	$1.95 \times 10^{-5}$ (10MV)
R (m)	9.13	5.57
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ )	$3.6 \times 10^8$ (15MV)	$3.6 \times 10^8$ (15MV)
	$8.4 \times 10^8$ (10MV)	$8.4 \times 10^8$ (10MV)
f	0.001	0.001
$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	$2.86 \times 10^{-4}$ (15MV)	0.407 (15MV)
	$2.47 \times 10^{-4}$ (10MV)	0.528 (10MV)

④与主屏蔽相连的次屏蔽墙外及迷道外墙关注点的剂量率估算（关注点：D 点、

## E 点、L 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、泄漏辐射

泄漏辐射的辐射剂量估算公式同式 11-5，其中泄漏辐射比率  $f$  为 0.001。

### B、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，利用以下公式计算相患者体表的散射辐射在防护实体外关注点的剂量率。

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

式中：

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

$\dot{H}_0$ —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；

$\alpha_{ph}$ —患者 $400\text{cm}^2$ 面积上垂直入射X射线散射至距其1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 $400\text{cm}^2$ 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， $\text{cm}^2$ 。

次屏蔽墙外关注点的散射辐射剂量率参数及结果见表 11-15。

表 11-15 次屏蔽墙外及迷道外墙关注点散射辐射剂量率计算参数及结果

关注点		2号机房南墙D点 (M点)	2号机房东墙E点 (I点)	2号机房楼顶L点 (N点)
泄漏 辐射	X (cm)	170	140	160
	Xe (cm)	197	155	173
	TVL (cm)	33 (15MV)	33 (15MV)	33 (15MV)
		31 (10MV)	31 (10MV)	31 (10MV)
	TVL <sub>1</sub> (cm)	36 (15MV)	36 (15MV)	36 (15MV)
		35 (10MV)	35 (10MV)	35 (10MV)
	B	$1.32 \times 10^{-6}$ (15MV)	$2.48 \times 10^{-5}$ (15MV)	$7.05 \times 10^{-6}$ (15MV)
		$5.95 \times 10^{-7}$ (10MV)	$1.35 \times 10^{-5}$ (10MV)	$3.53 \times 10^{-6}$ (10MV)
R (m)	7.75	10.09	8.75	
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )	$3.6 \times 10^8$ (15MV)	$3.6 \times 10^8$ (15MV)	$3.6 \times 10^8$ (15MV)	

		$8.4 \times 10^8$ (10MV)	$8.4 \times 10^8$ (10MV)	$8.4 \times 10^8$ (10MV)
	f	0.001	0.001	0.001
	$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$7.92 \times 10^{-3}$ (15MV)	$8.76 \times 10^{-2}$ (15MV)	$3.32 \times 10^{-2}$ (15MV)
		$8.32 \times 10^{-3}$ (10MV)	$1.11 \times 10^{-1}$ (10MV)	$3.88 \times 10^{-2}$ (10MV)
散射辐射	TVL (cm)	31 (15MV)	31 (15MV)	31 (15MV)
		28 (10MV)	28 (10MV)	28 (10MV)
	TVL <sub>1</sub> (cm)	31 (15MV)	31 (15MV)	31 (15MV)
		28 (10MV)	28 (10MV)	28 (10MV)
	B	$4.42 \times 10^{-7}$ (15MV)	$1.00 \times 10^{-5}$ (15MV)	$2.63 \times 10^{-6}$ (15MV)
		$9.21 \times 10^{-8}$ (10MV)	$2.91 \times 10^{-6}$ (10MV)	$6.63 \times 10^{-7}$ (10MV)
	R <sub>s</sub> (m)	8.75	11.09	9.75
	$\alpha_{ph}$	$2.85 \times 10^{-3}$	$2.85 \times 10^{-3}$	$2.85 \times 10^{-3}$
	F (cm <sup>2</sup> )	1600	1600	1600
	$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$2.37 \times 10^{-2}$ (15MV)	$3.34 \times 10^{-1}$ (15MV)	$1.13 \times 10^{-1}$ (15MV)
$1.15 \times 10^{-2}$ (10MV)		$2.27 \times 10^{-1}$ (10MV)	$6.68 \times 10^{-2}$ (10MV)	
泄漏辐射和散射辐射的复合作用( $\mu\text{Sv/h}$ )		$3.16 \times 10^{-2}$ (15MV)	0.422 (15MV)	0.146 (15MV)
		$1.98 \times 10^{-2}$ (10MV)	0.338 (10MV)	0.106 (10MV)

### ⑤防护门外辐射剂量（关注点：O点）

#### 一、10MV

本项目加速器有用线束不向迷路照射，治疗机房迷路入口处g点位置的辐射剂量率，主要考虑人体受有用线束照射时，散射至i处的辐射并再次受墙的二次散射到g处的辐射，以及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 11-10，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 11-16。

表 11-16 泄漏辐射经迷道内墙屏蔽后在迷道外口处的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	机房入口处O点（H点）
X (cm)	120
Xe (cm)	134
TVL (cm)	31
TVL <sub>1</sub> (cm)	35
B	$6.4 \times 10^{-5}$
R (m)	10.14
$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ )	$8.4 \times 10^8$
f	0.001
$\dot{H}_{og}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	0.523

#### 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  $\dot{H}_0$

按下式计算：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \quad (\text{式 11-12})$$

式中：

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

$\alpha_{ph}$ —患者  $400\text{cm}^2$  面积上的散射因子，通常取  $45^\circ$  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， $\text{cm}^2$ ；

$\alpha_2$ —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，通常取 i 处的入射角为  $45^\circ$ ，散射角为  $0^\circ$ ， $\alpha$  值见（GBZ/T201.2-2011）附录 B 表 B.6，通常使用其  $0.5\text{MeV}$  栏内的值；

A—i 处（本项目为 O）的散射面积， $\text{m}^2$ ；

$R_1$ —“o-i”（本项目为 o-i）之间的距离，m；

$R_2$ —“i-O”（本项目为 i-p+p-O）之间的距离，m；

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距靶  $1\text{m}$  处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

表 11-17 关注点g点处的散射辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )	$\alpha_{ph}$	$\alpha_2$	A $\text{m}^2$	F $\text{cm}^2$	$R_1$ m	$R_2$ m	$\dot{H}_g$ $\mu\text{Sv/h}$
O	$8.4 \times 10^8$ (10MV)	$1.35 \times 10^{-3}$	$22 \times 10^{-3}$	$3.4 \times 7.2$	1600	7.27	$7.5+2.4$	481.3

### 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：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-\left(\frac{X}{\text{TVL}}\right)} + \dot{H}_{og} \quad (\text{式 11-13})$$

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  $0.2\text{MeV}$ ，铅中的 TVL 为  $0.5\text{cm}$ 。

表 11-18 防护门外的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_g$ μSv/h	X mm	TVL mm	$\dot{H}_{og}$ μSv/h	$\dot{H}$ μSv/h
O	481.3	20	5	0.523	0.571

二、15MV

根据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O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 11-10，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 11-19。

表 11-19 泄漏辐射经迷道内墙屏蔽后在迷道外口处的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_o$ (μSv·m <sup>2</sup> /h)	Xe (cm)	TVL <sub>l</sub> (cm)	TVL (cm)	f	R (m)	$\dot{H}_{og}$ (μSv/h)
O点	3.6×10 <sup>8</sup> (15MV)	134	36	33	0.001	10.14	0.375

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<sub>B</sub>)

图 11.2.2.1-1 迷路的中子散射路径为“o-i-p-O”。i 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 i 点的总中子注量 Φ<sub>B</sub> 按式 (11-14) 计算：

$$\Phi_B = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \dots\dots\dots \text{(式 11-14)}$$

式中：

Φ<sub>B</sub>—等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量，(中子数/m<sup>2</sup>)/Gy；

Q<sub>n</sub>—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<sup>11</sup>；

d<sub>l</sub>—等中心 O 至 i 的距离，m；

S—治疗机房的总内表面积 (m<sup>2</sup>)，包括四壁墙、顶面和底面，不包括迷路内各面积。

表 11-20 总中子注量

参数	Q <sub>n</sub> (中子数/Gy)	d <sub>l</sub> (m)	S (m <sup>2</sup> )	Φ <sub>B</sub> (中子数/m <sup>2</sup> )/Gy
总中子注量	7.6×10 <sup>11</sup>	7.27	219.56	4.83×10 <sup>9</sup>

(b) 机房入口处中子俘获γ射线剂量率 (H<sub>v</sub>)

机房内及迷路内的中子与屏蔽物质作用时产生中子俘获  $\gamma$  射线，机房入口门外 30cm (g 点) 处无防护门时的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率  $\dot{H}_\gamma$  按式 (11-14) 计算：

$$\dot{H}_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \cdot \Phi_B \cdot 10^{-d_2/TVD} \cdot \dot{H}_0 \dots \dots \dots \text{(式 11-14)}$$

式中：

$6.9 \times 10^{-16}$ —该方法中的经验因子，Sv/（中子数/m<sup>2</sup>）；

$d_2$ —i 点至机房入口 O 点的距离，m；本项目为 i-p-O 距离；

TVD—将  $\gamma$  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（ $\mu\text{Gy/h}$ ），依据 GBZ/T201.1 的 4.8.3，屏蔽计算中可视为  $\mu\text{Sv/h}$ 。

各参数选取及估算结果见表 11-21。

表 11-21 机房入口门外 30cm 处无防护门时的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率

关注点	$\Phi_B$ (中子数/m <sup>2</sup> )/Gy)	$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$d_2$ (m)	TVD (m)	$\dot{H}_\gamma$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )
O 点	$4.83 \times 10^9$	$3.6 \times 10^8$ (15MV)	9.8	3.9	3.28

(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 (O 点) 处无防护门时的剂量率  $\dot{H}_n$  按式 (11.2.2.1-10) 计算：

$$\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \Phi_B \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \cdot \dot{H}_0 \dots \dots \text{(式 11-15)}$$

式中：

$2.4 \times 10^{-15}$ —该计算方法中的经验因子，Sv/（中子数/m<sup>2</sup>）；

$S_0$ —迷路内口的面积， $S_0=9.9\text{m}^2$ ；

$S_1$ —迷路横截面积， $S_1=22.75\text{m}^2$ ；

$d_2$ —B 点到迷路入口 (g) 的距离，9.79m；

$T_n$ —迷路中能量相对高的中子剂量组分式 (式 11-10) 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：

$$T_n = 2.06 \sqrt{S_1} \dots \dots \dots \text{(式 11-16)}$$

各参数选取及估算结果见表 11-22。

表 11-22 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	$\Phi_B$ (中子数/m <sup>2</sup> )/Gy	$\dot{H}_o$ ( $\mu$ Sv/h)	$S_o$ (m <sup>2</sup> )	$S_l$ (m <sup>2</sup> )	$d_2$ (m)	$T_n$ (m)	$\dot{H}_n$ ( $\mu$ Sv/h)
O 点	$4.83 \times 10^9$	$3.6 \times 10^8$ (15MV)	9.9	22.75	9.79	9.83	239

(d) 防护门外辐射剂量率计算

迷路入口防护门屏蔽设计时，通常使用中子和中子俘获  $\gamma$  射线屏蔽后有相同的辐射剂量率，对于中子俘获  $\gamma$  射线，以铅屏蔽；对于中子，以含硼（5%）聚乙烯屏蔽，对于已经定防护门屏蔽厚度  $X_\gamma$  和  $X_n$  时，防护门外的辐射剂量率按式 11-17 计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_\gamma \cdot 10^{-(x_\gamma / TVL_\gamma)} + \dot{H}_n \cdot 10^{-(x_n / TVL_n)} + \dot{H}_{og} \cdot B_{og} \dots \text{ (式 11-17)}$$

式中：

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

$X_\gamma$ —防护门铅屏蔽厚度，15mm；

$X_n$ —防护门中硼聚乙烯 BPE 厚度，200mm；

$B_{og}$ —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  $\dot{H}_{og} B_{og}$  项；

$TVL_\gamma$ —中子俘获  $\gamma$  射线铅屏蔽中的什值层，cm，根据 GBZ/T201.2-2011 附录 C，查得  $TVL_\gamma=6\text{mm}$ ；

$TVL_n$ —中子在含硼（5%）聚乙烯屏蔽中的什值层，cm，根据 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 11-23。

表 11-23 机房入口门外 30cm (g 点) 的总辐射剂量率

关注点	$\dot{H}_\gamma$ ( $\mu$ Sv/h)	$X_\gamma$ (mm)	$TVL_\gamma$ (mm)	$\dot{H}_n$ ( $\mu$ Sv/h)	$X_n$ (mm)	$TVL_n$ (mm)	$\dot{H}$ ( $\mu$ Sv/h)
O 点	3.28	15	6	239	200	45	$2.49 \times 10^{-2}$

⑥ 加速器治疗室辐射防护评价小结

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 11-24。

表 11-24 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	辐射剂量率 $\dot{H}$ ( $\mu$ Sv/h)	剂量率参考控制水平 ( $\mu$ Sv/h)
1号机房南墙主屏蔽外30cm处F点	0.797	10
1号机房南墙次屏蔽外30cm处M点	$2.45 \times 10^{-2}$	10
1号机房西墙次屏蔽外30cm处I点	0.422	10
1号机房西墙次屏蔽外30cm处G点	$2.86 \times 10^{-4}$	2.5

1号机房迷道入口门外30cm处H点	1.094	8
1号机房顶棚主屏蔽外30cm处K点	0.963	10
1号机房顶棚次屏蔽外30cm处N点	0.146	10
2号机房东墙次屏蔽外30cm处E点	0.422	10
2号机房东墙次屏蔽外30cm处B点	$2.86 \times 10^{-4}$	2.5
2号机房迷道入口门外30cm处O点	1.094	8
2号机房南墙主屏蔽外30cm处A点	0.797	10
2号机房南墙次屏蔽外30cm处D点	$2.45 \times 10^{-2}$	10
2号机房西墙次屏蔽外30cm处C点	0.528	2
2号机房顶棚主屏蔽外30cm处J点	0.963	10
2号机房顶棚次屏蔽外30cm处L点	0.146	10

由表 11-24 可知，医院直线加速器机房墙体及防护门外的辐射剂量率值为  $2.86 \times 10^{-4} \sim 1.094 \mu\text{Sv/h}$ ，满足本项目推导出的剂量率参考控制水平，故本评价认为本项目直线加速器机房屏蔽措施能满足辐射防护要求，设计基本可行。

#### (6) 两台加速器同时运行时辐射剂量叠加影响

本项目1#和2#两两不相邻，大部分预测点仅受到单台加速器的辐射影响。结合人员实际可达区域和加速器的主射方向，本次评价考虑2台加速器运行时对控制室、准备室的剂量叠加影响。保守按B（G）点位（预测值为  $2.86 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ ）、O（H）点位（预测值为  $1.094 \mu\text{Sv/h}$ ）的2倍进行剂量叠加，则控制室的综合辐射剂量率为  $5.72 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ ，仍小于  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  的剂量率控制水平；准备室的综合辐射剂量率为  $2.188 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}$ ，仍小于  $8 \mu\text{Sv/h}$  的剂量率控制水平。因此，当1#加速器机房和2#加速器机房同时开机运行时，场所周围辐射剂量率均满足本次评价的标准限值要求。

#### (7) 通风管道、电缆穿墙管孔出口处的辐射影响分析

本项目加速器机房电缆以地沟形式在地坪以下部位布设，并在非主射线投照部位采用“U”型方式穿过屏蔽墙，保障不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。因此，电缆管线穿墙管孔出口处的剂量率不超上述分析的设备间和控制室的剂量率。

进风口由新风管道连接经迷道从防护门洞上方墙体穿出至新风机房送风口，排风口由排风管道连接经迷道从防护门洞上方墙体穿出至排风机房排风口，送风管道和排风管道在防护门洞上采用“S”型方式穿过屏蔽墙，X射线在S型管道中多次折返，不破坏墙体的屏蔽。

#### (8) 年有效剂量预测分析

根据医院提供资料，预计该直线加速器的年病人次数约 10000 次，平均每名患者治

疗照射时间为 1.5min，则年出束时间为 250h。关注点人员的有效剂量根据式 11-5 进行计算。机房外职业人员和周围公众人员可能接受的最大辐射年有效剂量见表 11-25。

表 11-25 电子直线加速器辐射工作人员及公众年有效剂量估算结果

关注区域	辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	t (h/a)	U	T	年有效剂量 (mSv/a)	备注
1号机房南墙主屏蔽外30cm处F点	0.797	250	1/4	1/16	$3.11 \times 10^{-3}$	公众成员
1号机房南墙次屏蔽外30cm处M点	$2.45 \times 10^{-2}$	250	1	1/16	$3.80 \times 10^{-4}$	公众成员
1号机房西墙次屏蔽外30cm处I点	0.422	250	1	1/16	$6.59 \times 10^{-3}$	公众成员
1号机房西墙次屏蔽外30cm处G点	$2.86 \times 10^{-4}$	250	1	1	$7.15 \times 10^{-5}$	职业人员
1号机房迷道入口门外30cm处H点	1.094	250	1	1/8	$3.42 \times 10^{-2}$	公众成员
1号机房顶棚主屏蔽外30cm处K点	0.963	250	1/4	1/16	$3.76 \times 10^{-3}$	公众成员
1号机房顶棚次屏蔽外30cm处N点	0.146	250	1	1/16	$2.28 \times 10^{-3}$	公众成员
2号机房东墙次屏蔽外30cm处E点	0.422	250	1	1/16	$6.59 \times 10^{-3}$	公众成员
2号机房东墙次屏蔽外30cm处B点	$2.86 \times 10^{-4}$	250	1	1	$7.15 \times 10^{-5}$	职业人员
2号机房迷道入口门外30cm处O点	1.094	250	1	1/8	$3.42 \times 10^{-2}$	公众成员
2号机房南墙主屏蔽外30cm处A点	0.797	250	1/4	1/16	$3.11 \times 10^{-3}$	公众成员
2号机房南墙次屏蔽外30cm处D点	$2.45 \times 10^{-2}$	250	1	1/16	$3.80 \times 10^{-4}$	公众成员
2号机房西墙次屏蔽外30cm处C点	0.528	250	1	1/2	$6.60 \times 10^{-2}$	公众成员
2号机房顶棚主屏蔽外30cm处J点	0.963	250	1/4	1/16	$3.76 \times 10^{-3}$	公众成员
2号机房顶棚次屏蔽外30cm处L点	0.146	250	1	1/16	$2.28 \times 10^{-3}$	公众成员

注：机房相邻区域能满足公众剂量约束值不超过0.1mSv/a的要求。根据剂量率与距离平方成反比的关系，距离机房越远，辐射剂量率越低，因此机房边界50m评价范围内公众受照剂量也能满足公众剂量约束值不超过0.1mSv/a的要求。

由上表可知，加速器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  $1.43 \times 10^{-4}$  mSv（B、G 点叠加后年有效剂量），满足辐射工作人员年有效年剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

由上表可知，加速器机房外公众的年有效剂量最大值为 0.066mSv（叠加 O、H 点），为 2 号加速器机房迷道入口门外 30cm 处公众，满足本项目公众成员年有效年剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

综上所述，放疗科直线加速器机房辐射工作人员和周围的公众所受外照射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“限值”的要求和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中关于剂量约束值的要求，也低于本环评提出的年剂量约束值即工作人员 5mSv 和公众 0.1mSv。

#### （9）感生放射性影响分析

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。其辐

射水平取决于加速器粒子的能量、种类、流强和靶材料的性质以及加速器运行时间等。

医用直线加速器感生放射性包括：加速器结构材料的感生放射性、空气活化产生的放射性气体和冷却水的感生放射性。

据《15MV 医用电子直线加速器感生放射性影响分析》（《四川环境》，王庆敏），机头固态感生放射性水平数据见表11-26所示。

**表11-26 某医院加速器机房感生放射性水平监测结果**

测量点位置	X-γ空气吸收剂量率 (×10 <sup>-8</sup> Gy/h)	备注
加速器机房内医生摆位位置	155.9	停机后立即进入监测
	71.4	停机3min后监测
加速器型号：西门子PRIMUSH X射线能量：15MV；X射线剂量率500cGy/min；最大照射野40cm×40cm		

本项目直线加速器最大X射线能量为15MV，能量与类比项目一致，因此以该医院这台直线加速器机房的感生放射性水平进行类比分析是可行的。加速器工作人员每天约对病人进行摆位40次，每个病人需时1min。假设所有的加速器病人摆位均由同一个医生完成则年摆位时间约为（年工作250天）166.7小时。如果停机后医生马上开始对下一个病人进行摆位，辐射剂量率按1.56μGy/h计，则摆位时对工作人员造成的有效剂量为0.26mSv/a。如果停机3分钟后，医生再开始摆位，则工作人员受到的有效剂量为0.12mSv/a。同时叠加机房内隔壁加速器的受照影响，加速器辐射工作人员受照剂量为0.26mSv/a+0.054mSv/a=0.314mSv/a，叠加控制室有效剂量0.14 mSv后仍能满足辐射工作人员年有效剂量不超过5mSv/a的剂量约束值。

实际工作中，本次评价建议医院工作人员适当延缓进入治疗室，尽量缩短摆位时间，注意与机头等产生感生放射性的部位保持适当距离，同时佩戴好个人剂量计和个人剂量报警仪进入治疗室。

### （10）电子线影响分析

此外本项目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 15MVX 射线的屏蔽要求。

### （11）废靶对环境的影响分析

直线加速器的金属靶件更换时会有废靶件产生，废靶由厂家回收，最终交由具有放射性废物收贮资质的单位收贮，对周围环境影响较小。

### (12) 臭氧和氮氧化物对环境的影响分析

加速器运行过程，X 射线或电子线会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物。本项目每间加速器治疗室拟安装有效通风量不小于 4000m<sup>3</sup>/h 的风机进行通风，加速器机房有效容积约 660m<sup>3</sup>（含迷道），通风换气次数不小于 5 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。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。

#### 11.2.2.2 后装机环境影响分析

##### (1) 后装机技术参数及机房设计情况

本项目后装机机房位于科技综合楼负二层 2#直线加速机房西侧。根据院方提供的资料，后装机机房四侧墙体、顶棚拟采用标准混凝土（ $\rho=2.35\text{g/cm}^3$ ）浇筑而成，西侧为迷道，迷道内墙厚度为 0.6m，迷道外墙厚度为 0.7m，南、北二侧屏蔽墙厚度为 0.7m，东侧屏蔽墙厚度为 1.5m，与加速器机房共用，顶棚厚均为 0.7m。拟安装铅当量为 7mm 的防护门；通风管道及穿墙管道均采用迷道式设计。后装机房上方为进风机房、排风机房。

后装机机房楼顶为进风机房、排风机房，后装机机房东面为2#直线加速器机房，南侧为控制室，西侧为铅加工房，北面为土壤层。机房净面积为 $5.1\text{m}\times 7.3\text{m}=37.23\text{m}^2$ ，控制室位于后装机房南侧屏蔽墙外，符合《后装 $\gamma$ 源近距离治疗卫生防护标准》（GBZ121-2002）中“5.1放射治疗室必须经专业人员设计，治疗室必须与准备间和控制室分开设置。治疗室的使用面积应不小于 $20\text{m}^2$ ”的规定。

##### (2) 工作负荷

后装治疗机预计最大工作量情况：6 人（次）/天，1500 人（次）/年。新装源（活度  $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ）时，每人每次照射治疗 5-10min（平均约 6min），即年累积治疗照射时间约 150h。核素  $^{192}\text{Ir}$  的技术参数如表 11-27 所示。

表 11-27 核素  $^{192}\text{Ir}$  的技术参数

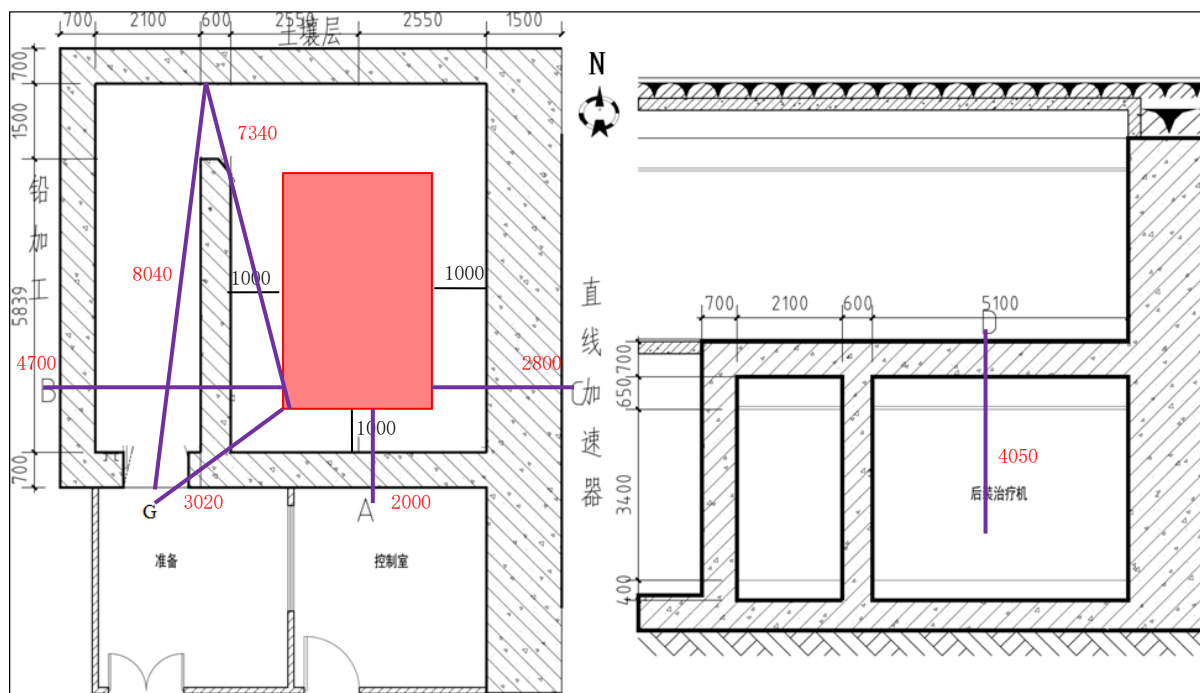
核素	活度 (Bq)	$\gamma$ 射线能量均值	空气比释动能率常数 $K_r$ $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$
$^{192}\text{Ir}$	$3.7\times 10^{11}$	0.37MeV	0.111

##### (3) 关注点选取

后装机  $\gamma$  辐射强度可认为是各向同性照射，后装机机房应考虑放射源发射的  $\gamma$  射

线初级辐射对墙和顶棚的直接照射及其散射辐射在机房入口处的照射。

以机房外 30cm 处作为评价关注点，由于后装机可能的使用位置是不固定的，在治疗机房内一定范围内使用。因此，为保守计算，假定使用区域为距离各墙体内壁 1m 的矩形区域内（详见图 11.2.2.2-1 中的矩形区域）。根据后装机机房的平面布置图，得出放射源到各关注点的距离  $R$ 。居留因子选取根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求，具体数值见表 11-28，加速器机房关注点选取详见图 11-3。



注：摆位时医生与治疗头的距离平均约 1m，设为预测点 I。  设备移动范围

图 11-3 后装机机房平面布局示意图

表11-28 加速器机房各关注点一览表

序号	关注点	点位描述	居留因子	备注
1#加速器机房				
1	A	南墙屏蔽区外30cm处，为控制室	1	全居留
2	B	西墙迷路外墙外30cm处，为铅加工房	1/2	部分居留
3	C	东墙屏蔽区外30cm处，为2#直线加速机房	1/2	部分居留
4	D	顶棚屏蔽区外30cm处，为送排风机房	1/16	偶然居留
5	G	防护门外30cm处，为准备间	1/8	偶然居留

#### (4) 导出剂量率参考控制水平确定

按照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中剂量控制要求确定原则，后装机房各关注点的剂量率参考控制水平见表11-29。

表11-29 加速器机房外关注点剂量率参考控制水平

1#加速器机房								
关注位置		参数			$H_e$ ( $\mu\text{Sv}/\text{周}$ )	$I\dot{K}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	$I\dot{K}_{c,\text{max}}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	$I\dot{K}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )
		T (h/周)	T	U				
A	控制室	3	1	1	100	33.5	2.5	2.5
B	铅加工房	3	1/2	1	5	3.33	10	3.33
C	2#加速器机房	3	1/2	1	5	3.33	10	3.33
D	送排风机房	3	1/16	1	5	26.67	10	10
G	准备室	3	1/8	1	5	13.33	10	10

\*注：后装机周最大累积照射的小时数按 3h/周计。

#### (4) 初级辐射的影响预测

根据拟建后装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： $\gamma$  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。

首先根据公式 11-18 计算当 X 射线束以  $\theta$  角斜射入厚度为 X（cm）的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度  $X_e$ （cm）。

$$X_e = X \sec \theta \dots\dots\dots(\text{式 11-18})$$

式中：

X——屏蔽物质厚度；

$X_e$ ——有效屏蔽厚度；

$\theta$ ——斜射角，即入射线与物质平面的法线的夹角。

按式 11-19 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按式 11-15 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率  $I\dot{K}$  ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \dots\dots\dots(\text{式 11-19})$$

式中：

B——辐射屏蔽透射因子；

$TVL_1$ ——辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度；

TVL——辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度；

参照 GBZ/T201.3-2014 附录 C 表 C.1， $^{192}\text{Ir}$  产生的  $\gamma$  射线在密度为  $2.35\text{g}/\text{cm}^3$  的标准混凝土中的什值层厚度， $TVL=TVL_1=152\text{mm}$ ；在密度为  $11.34\text{g}/\text{cm}^3$  的铅中的什值层

厚度,  $TVL_1=TVL=1.6\text{cm}$ 。

$$\dot{H} = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots(\text{式 11-20})$$

式中:

$\dot{H}_0$ ——活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

f——对有用线束为 1;

R——辐射源点(靶点)至关注点的距离, m;

B——屏蔽物质的屏蔽透射因子。

其中  $H_0$ 按公式 11-21 计算。

$$H_0 = A \cdot K_r \dots\dots\dots(\text{式 11-21})$$

式中:

A: 放射源的活度, 单位为 MBq; 本项目为  $3.7 \times 10^5 \text{MBq}$ 。

$K_r$ : 放射源的空气比释动能率常数, 单位为  $\mu\text{Sv}/(\text{h MBq})$ , 根据 GBZ/T201.3-2014 附录 C 表 C.1 取 0.111。

根据公式 11-21 可计算  $\dot{H}_0=3.7 \times 10^5 \times 0.111=4.11 \times 10^4 \mu\text{Sv/h}$ 。

再使用公式 11-19~公式 11~21 计算出治疗机房各关注点的辐射剂量率水平, 计算因子和结果见表 11-30。

表 11-30 后装机关注点初级辐射剂量率的预测结果

关注点	点位描述	辐射类型	屏蔽墙混凝土有效厚度 $X_e$ (mm)	距离 R (m)	$TVL_1/TVL$ (mm)	预测值 $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )
A	南墙外 30cm 处 (控制室、准备室)	初级	700	2.00	152	$2.55 \times 10^{-1}$
B	西墙外 30cm 处 (铅加工房)	初级	1300 (以迷道内外墙厚度和计)	4.70	152	$5.21 \times 10^{-6}$
C	东墙外 30cm 处 (2号加速器机房)	初级	1500	2.80	152	$7.10 \times 10^{-7}$
D	顶棚外 30cm 处 (送排风机房)	初级	700	4.05	152	$6.22 \times 10^{-2}$
G	防护门外 30cm 处	初级	700	3.02	152	0.112

注: 本表中  $X_e$  有效屏蔽厚度根据 CAD 图纸测量得知。

### (5) 散射辐射的影响预测

治疗机房入口处的辐射主要来自经迷道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:  $\gamma$  射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014) 中对后装治疗机房入口处散射辐射屏蔽计算方法, 入口处的散射辐射剂量率  $\dot{H}_s$  采用公示 11-22 计算, 计算参数和结果见表 11-31。

$$\dot{H}_g = \frac{A \cdot K_r \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \dots\dots\dots(\text{式 11-22})$$

式中：

A——放射源的活度，单位：MBq；

$K_r$ ——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 GBZ/T201.3-2014 附录 C 表 C.1 本次取 0.111。

$S_w$ ——迷道内口墙的散射面积，其为放射源和机房入口共同可视见的墙区面积，单位： $\text{m}^2$ ；

$\alpha_w$ ——散射体的散射因子；

$R_1$ ——放射源至散射体中心点的距离，单位：m；

$R_2$ ——散射体中心点至计算点的距离，单位：m；

表 11-31 关注点 g 点处未经防护门屏蔽的散射辐射剂量率预测结果

参数	A (MBq)	$K_r$ $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	$S_w$ ( $\text{m}^2$ )	$\alpha_w$	$R_1$ (m)	$R_2$ (m)	$\dot{H}_g$ $\mu\text{Sv}/\text{h}$
数值	$3.7 \times 10^5$	0.111	$0.76 \times 3.4$	$3.39 \times 10^{-2}$	7.34	8.04	1.033

经迷道壁散射后迷道口的散射辐射能量约 0.2MeV，铅中的TVL为 5mm。该后装机机房的房防护门为 7mm铅当量，经防护门屏蔽后迷道口的辐射剂量率利用公式 11-23 计算。

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-\left(\frac{X}{\text{TVL}}\right)} + \dot{H}_{\text{og}} \dots\dots\dots(\text{式 11-23})$$

式中：

$\dot{H}_g$ ——防护门入口处的 G 处的散射辐射剂量率，由表 11-31 可知， $1.033\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

X——防护门铅板厚度，mm；本项目为 7mm；

TVL——铅板的什值层，mm；取 5mm；

$\dot{H}_{\text{og}}$ —— $\text{O}_2$  位置穿越迷路内墙的泄漏辐射在 G 处的辐射剂量率，由表 11-30 可知， $\dot{H}_{\text{og}}$ 为  $1.12 \times 10^{-1}\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

经计算，经防护门屏蔽后，防护门外的辐射剂量率可降至  $0.153\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

### (6) 预测结果及评价

后装机机房外的剂量率预测结果与周围剂量当量率参考控制水平比较如表 11-32 所示。

表 11-32 剂量率预测结果与周围剂量当量率控制要求比较

关注点	点位描述	辐射剂量率预测结果 $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	周围剂量当量率控制要求 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	是否满足控制要求
A	南墙外 30cm 处 (控制室)	$2.55 \times 10^{-1}$	2.5	满足
B	西墙外 30cm 处 (铅加工房)	$5.21 \times 10^{-6}$	3.33	满足
C	东墙外 30cm 处 (2号加速器机房)	$7.10 \times 10^{-7}$	3.33	满足
D	顶棚外 30cm 处 (送排风机房)	$6.22 \times 10^{-2}$	10	满足
G	防护门外 30cm 处 (准备室)	0.153	10	满足

\*注：防护门外 30cm 处辐射剂量率预测结果叠加南墙外 30cm 处辐射剂量率预测结果后作为准备室总辐射剂量率预测结果。

从表中可以看出，本项目后装机治疗室各屏蔽体外表面 30cm 处辐射剂量率均满足本项目推导出的剂量率参考控制水平。

### (7) 年有效剂量预测分析

#### ①项目运行对周边辐射工作人员和公众年有效剂量的影响

根据各关注点的剂量率，对后装机机房工作人员及周围的公众人员进行年有效剂量估算。机房外职业人员和周围公众人员可能接受的最大辐射年有效剂量见下表。

表 11-33 辐射工作人员和周围公众年有效剂量估算结果

关注区域或人员	所取参考关注点	位置描述	T	t	$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	年有效剂量 ( $\text{mSv/a}$ )
控制室 (职业)	A	南侧	1	150	$2.55 \times 10^{-1}$	$3.83 \times 10^{-2}$
铅加工室 (公众)	B	西侧	1/2	150	$5.21 \times 10^{-6}$	$3.91 \times 10^{-7}$
2号加速器机房 (职业)	C	东侧	1/2	150	$7.10 \times 10^{-7}$	$5.33 \times 10^{-8}$
进排风机房 (公众)	D	上方	1/16	150	$6.22 \times 10^{-2}$	$5.83 \times 10^{-4}$
准备室 (公众)	G	南侧	1/8	150	0.153	$2.87 \times 10^{-3}$

注：机房相邻区域能满足公众剂量约束值不超过 0.1mSv/a 的要求。根据剂量率与距离平方成反比的关系，距离机房越远，辐射剂量率越低，因此机房边界 50m 评价范围内公众受照剂量也能满足公众剂量约束值不超过 0.1mSv/a 的要求。

#### ①辐射工作人员年有效剂量

由表 11-33 可知，本项目控制室内辐射工作人员年有效剂量最大估算值为  $3.83 \times 10^{-2} \text{mSv}$ 。

由于本项目后装机控制室位于 2 号直线加速器机房西侧，因此治疗室、控制室内辐射工作人员还需要考虑 2 号直线加速器的辐射影响。根据表 11-25 计算结果，后装机治疗室、控制室内辐射工作人员年有效剂量最大估算值为  $6.60 \times 10^{-2} \text{mSv}$ 。

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  $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$  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为  $5 \mu\text{Gy/h} \times 2 \text{min} \times 1/60 \div 1000 \times 1500 \text{人/a} = 0.25 \text{mSv/a}$ ，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。

综合上述，考虑到摆位和控制室工作人员可能的重复性，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  $3.83 \times 10^{-2} + 6.60 \times 10^{-2} + 0.25 = 0.354 \text{mSv}$ ，满足辐射工作人员年有效年剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

#### ②公众年有效剂量

由表11-33可知，本项目后装机运行中公众年有效剂量最大值为  $2.87 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，叠加直线加速器的公众年有效剂量最大值  $0.068 \text{mSv}$ ，公众总年有效剂量最大值为  $0.07 \text{mSv}$ ，满足本项目公众成员年有效年剂量约束值不超过  $0.1 \text{mSv}$  的要求。

综上所述，放疗科后装机机房辐射工作人员和周围的公众所受外照射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“限值”的要求和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中关于剂量约束值的要求，也低于本环评提出的年剂量约束值即工作人员  $5 \text{mSv}$  和公众  $0.1 \text{mSv}$ 。

### 8) “三废”影响分析

#### ①放射性固体废物

本项目废  $^{192}\text{Ir}$  放射源按照废旧放射源返回合同规定，交回生产单位或者返回原出口方，对周边环境无影响。

#### ②β射线

$^{192}\text{Ir}$  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。

#### ③废气

后装机运行过程中，治疗室空气中会产生一定的臭氧和氮氧化物。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/小

时。本项目后装机房治疗室拟安装有效通风量不小于  $1500\text{m}^3/\text{h}$  的风机进行通风，后装机房有效容积约  $240\text{m}^3$ （含迷道），通风换气次数不小于 5 次/h。满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。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。

#### ④固体废物

后装机配套使用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：900-052-31），其更换周期约5年/次，更换下的UPS电源交由有资质单位处置。

### 11.2.2.3CT 模拟定位机房环境影响分析

#### （1）关注点位

本项目CT模拟定位机房北侧、地面为土层，不设置关注点位。共设置4个关注点位，关注点位图见图11-4。



图11-4 CT模拟定位机房点位设置示意图

#### （2）剂量率预测

本项目模拟定位CT自身带有屏蔽系统，机房周围主要受泄漏辐射影响，根据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》P23页：“（77）用于诊断目的的每一个X线管必须封闭在管套内，以使得位于该套内的X射线管在制造厂规定的

每个额定值时，离焦点1米处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过1mGy/h”，故本项目保守取值为1000μGy/h。根据《辐射防护导论》表3.5，保守考虑均取150kV宽束X射线铅当量层0.96mm。

CT模拟定位机房各侧屏蔽墙体的辐射剂量率计算结果见表11-34。

表11-34 CT模拟定位机房屏蔽体外辐射剂量率计算表

机房	屏蔽体	屏蔽材料	铅当量厚度 (mmPb)	辐射源点至屏蔽体外30cm处距离 (m)	辐射剂量率 (μSv/h)
CT 模拟定位机房	东侧控制室操作位	3mmPb 铅玻璃	3	3.5	0.06
	南侧墙外30cm	240mm实心砖+20mm硫酸钡砂浆	3	4.3	0.04
	西侧墙外30cm	240mm实心砖+20mm硫酸钡砂浆	3	3.5	0.06
	顶棚30cm	250mm混凝土	3	5.3	0.03

注：换算系数，近似1Sv=1Gy。

由上表可知，CT模拟定位机房周围辐射剂量率预测值最大为0.06μSv/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的相关要求。

### (3) 工作负荷

CT扫描每个患者出束时间最大为0.5min，年治疗病人数量为5000人次，年出束时间为83h。

### (4) 有效剂量计算

根据各关注点的剂量率，对CT模拟定位机房工作人员及周围的公众人员进行年有效剂量估算。机房外职业人员和周围公众人员可能接受的最大辐射年有效剂量见下表。

表 11-35 辐射工作人员和周围公众年有效剂量估算结果

关注区域或人员	所取参考关注点	位置描述	T	t	$\dot{H}$ (μSv/h)	年有效剂量 (mSv/a)
控制室工作人员 (职业)	1#	东侧	1	83	0.06	$4.96 \times 10^{-3}$
过道公众 (公众)	2#	南侧	1/16	83	0.04	$1.81 \times 10^{-7}$
热疗诊室公众 (公众)	3#	东侧	1/2	83	0.06	$2.47 \times 10^{-8}$
办公室公众 (公众)	4#	上方	1	83	0.03	$2.70 \times 10^{-4}$

注：机房相邻区域能满足公众剂量约束值不超过0.1mSv/a的要求。根据剂量率与距离平方成反比的关系，距离机房越远，辐射剂量率越低，因此机房边界50m评价范围内公众受照剂量也能满足公众剂量约束值不超过0.1mSv/a的要求。

由上表可知，CT模拟定位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 $4.96 \times 10^{-3}$ mSv，满足辐射工作人员年有效年剂量约束值不超过5mSv的要求。公众的年有效剂量最大值为 $2.70 \times 10^{-4}$ mSv，满足本项目公众成员年有效年剂量约束值

不超过 0.1mSv 的要求。

### **(5) 臭氧和氮氧化物**

本项目模拟定位机房产生的臭氧和氮氧化物通过机械排风系统排至室外，机械排风量设计值为1500m<sup>3</sup>/h，保证机房的良好通风，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的相关要求。

#### **11.2.2.4非放射性三废**

本项目放疗科辐射工作人员产生的生活污水进入医院污水处理站预处理达标后纳管，生活垃圾集中收集交由环卫部门统一清运。本项目设备运行噪声与排风机工作噪声源强≤65dB(A)，通过建筑墙体的屏蔽与距离的衰减后，对周围环境的影响可忽略。

#### **11.2.2.5 放疗科辐射事故分析和防范措施**

##### **(1) 直线加速器与 CT 模拟定位机**

###### **A、辐射风险因素**

a、安全连锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时设备出束，则可能造成误照射事故。

b、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设备，则会造成机房中人员误照射。

###### **B、防范措施**

a、工作人员进入机房进行摆位或其它照射前准备工作时，控制台前操作人员疏忽失职误将设备开机出束，会发生工作人员误照射事件。工作人员发现设备已经出束（照射红灯点亮），可就近按红色标志的急停开关，切断电源，迫使设备关机停止出束；

b、治疗病人陪伴者或其它人员误留机房内，在设备开机出束后，操作人员从监控器内发现，可立即在控制台上按急停开关，切断加速器电源；

c、设备操作、安装调试和检修维护人员在工作过程中，应按要求配戴个人剂量计和按要求携带个人剂量报警仪。进行设备的调试和维修期间，本项目辐射工作人员需将设备的控制权暂时移交给设备厂家工作人员，本项目辐射工作人员不参与设备的控制与维修，防止维修期间工作人员在加速器机房误照射。

d、当发生人员受照事件后，应迅速将受照人员撤离现场，并估算人员受照剂量。如受照人员未携带个人剂量计，则可根据人员所在部位，设备照射条件，初步估算人员受照剂量。根据初步剂量估算结果确定受照人员是否要进行医学观察及治疗。

e、当发生或发现辐射事故后，当事人应立即向单位的辐射安全负责人和法定代表人报告。医院应立即启动本单位的辐射事故应急措施，采取必要防范措施，并在规定时间内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

## **(2) 后装机**

### **A、可能发生的辐射事故**

a、放射源密封壳破损，源活性物质泄漏；

b、治疗过程中，发生卡源事故；

c、安全联锁装置失效，人员误入治疗室而受到额外照射，还可能发生放射源阻丝、源位异常等故障；

d、设备检修时，工作人员误将治疗机的屏蔽装置打开或者卸下放射源，对维修人员产生额外照射。

e、工作人员操作不当或设备故障，在设备安装、更换放射源时，放射源由设备或容器中滑落出来，造成安装或操作人员受到额外照射。

### **B、防范措施**

a、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病人推出治疗床，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。

b、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。

C、本项目后装机治疗室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、双向对讲装置、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。

d、当发生或发现辐射事故后，当事人应立即向单位的辐射安全负责人和法定代表人报告。医院应立即启动本单位的辐射事故应急措施，采取必要防范措施，并在规定时间内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

## 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

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，使用放射性同位素的单位，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

根据上述要求，绍兴市上虞人民医院已成立辐射安全管理领导小组，全面负责单位的辐射安全与环境保护管理工作，并配备相应的成员，确定管理机构领导、成员及辐射防护管理专（兼）职人员，做到分工清晰、职责明确，并在日后运行过程中，根据人事变动情况及时调整机构组成。

### 12.2 辐射工作人员管理

#### （1）职业健康检查

本项目辐射工作人员均为新增，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，每一年或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）、《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），医院应及时组织从事使用Ⅱ类射线装置、Ⅲ类放射源及非密封放射性物质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（一般为30天，最长不超过90天）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、个人剂量监测档

案三个文件上的人员信息应统一；个人剂档案应当保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年。绍兴市上虞人民医院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、个人剂量监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。

年度个人剂量超过 5mSv（季度超过 1.25mSv）时，医院要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过 5mSv 时，医院需进行原因调查，并形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关；当单年个人剂量超过 50mSv 时，应立即采取措施，报告发证机关，并开展调查处理。检测报告及有关调查报告应存档备查。

### 12.3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，使用放射性同位素的单位，应当对本单位放射性同位素和射线装置的安全和防护状况进行年度评估，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。医院年度评估报告包括：放射性同位素与射线装置台账、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，医院已按照要求执行年度评估。本项目建成后，将本项目辐射工作场所纳入现有辐射安全与防护状况评估。

### 12.4 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”。

医院已开展辐射工作多年，日常工作中制定了《辐射防护和安全保卫制度》、《辐射装置操作规程》、《设备检修维护制度》、《放射性同位素和射线装置使用登记制度》、《放射性同位素和射线装置台账管理制度》、《放射治疗设备质量控制制度》、《受检者放射危害告知与防护制度》、《直线加速器辐射安全和防护制度》、

《导管室安全制度》、《放射防护检测与评价制度》、《放射工作人员岗位职责》、《放射工作人员培训计划》、《个人剂量和辐射环境监测方案》、《辐射事故报告制度及应急处理方案》、《质量保证大纲和质量控制计划》等辐射安全规章制度（见附件 6），相关制度均张贴上墙于辐射工作场所现场。医院现有辐射管理制度较为全面，符合相关要求。医院严格落实各项规章制度，各辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实及档案管理等方面运行较好。

## 12.5 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，包括工作场所监测和个人剂量监测。

### 12.5.1 医院现有项目监测情况

医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，检测结果均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关标准要求。同时，医院已配备相应的辐射检测仪器，日常内部常规检测已执行。相关辐射环境监测记录或报告档案均妥善保存备查。

### 12.5.2 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 12-1。

表 12-1 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 射线巡测仪	配置 1 台	/
	表面污染监测仪	配置 2 台	/
	个人剂量报警仪	配置 6 台	/
放疗科 2 间直线加速器机房	便携式 X-γ 射线巡测仪	配置 1 台	放疗科共用 1 台
	中子剂量仪	配置 1 台	/
	固定式剂量报警装置	机房内安装 2 台	2 间机房各安装 1 台
	个人剂量报警仪	配置 2 台	/
放疗科后装机房	便携式 X-γ 射线巡测仪	配置 1 台	/
	固定式剂量报警装置	机房内安装 1 台	/
	个人剂量报警仪	配置 1 台	/
放疗科模拟定位机房	便携式 X-γ 射线巡测仪	配置 1 台	放疗科共用 1 台

本项目运行期间主要污染物为 X-γ 射线、β 表面污染、中子等，根据项目特点，医

院拟配置 2 台表面污染监测仪、3 台便携式 X-γ 射线巡测仪、1 台中子剂量仪、2 台固定式剂量报警装置、9 台个人剂量报警仪，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。

### 12.5.3 监测计划

#### A、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。

#### B、日常自行监测

定期自行开展辐射监测，制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案，监测周期至少 1 次/月。

#### C、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），《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。

监测内容：周围剂量当量率、β 表面污染、放射性废水、放射性固废、放射性废气（<sup>131</sup>I 气溶胶浓度）。

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。

表 12-2 辐射工作场所监测计划建议

工作场所	监测内容	监测点位	监测周期	
			自行监测	委托监测
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
	周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和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	1次/月	1次/年
	放射性废水	衰变池排放口总 α≤1Bq/L、总 β≤10Bq/L、 <sup>131</sup> I≤10Bq/L	/	1次/年
	放射性固废	污物间（建议每袋废物表面剂量率处于本底水平，α表面污染小于0.08Bq/cm <sup>2</sup> 、β表面污染小于0.8Bq/cm <sup>2</sup> ）	每次排放前	1次/年
	放射性废气	核素治疗区排气排放口 <sup>131</sup> I气溶胶浓度	/	1次/年
直线加速器	周围剂量当量率	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	1次/月	1次/年
	中子剂量当量率	加速器机房防护门外、门缝、电缆线沟、进排风管口	1次/月	1次/年

	量率	管口、控制室操作位、四侧墙体外30cm处		
后装机房	周围剂量当量率	后装机房防护门外、门缝、电缆线沟、进排风管口、控制室操作位、四侧墙体外30cm处	1次/月	1次/年
CT模拟定位机房	周围剂量当量率	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	1次/月	1次/年

#### D、放射性固废处理

放射性废物应分类收集在废物桶专用的塑料袋，每袋废物表面剂量率应不超过0.1mSv/h，重量不超过20kg。废物袋必须标有废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等说明，废物包装体外表面的污染控制水平满足 $\alpha < 0.08\text{Bq/cm}^2$ ， $\beta < 0.8\text{Bq/cm}^2$ 。装满后及时转送至废物间的衰变柜内贮存，所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30天，所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍，含 $^{131}\text{I}$ 核素的放射性固体废物暂存超过180天。经监测符合清洁解控水平后，作为医疗废物（活性炭作为危险废物）委托有资质单位处置。

医院应建立固废排放台账，每次固废排放应详细记录固废排放量、固废种类、核素种类、监测数据、贮存时间等参数，并存档备查。

#### E、放射性废水排放

本项目核医学科产生的放射性废水中放射性核素 $^{131}\text{I}$ 的半衰期最长，放射性废水在衰变池中可以暂存185天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“对于槽式衰变池，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；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）可直接解控排放，同时应做好相关排放记录。”

医院应建立放射性废水排放台账，排放时在台账上详细记录废水监测结果、排放废水量、废水暂存起始日期，处置人员和处置日期等信息，并存档备查。

### 12.6竣工环境保护验收

本项目竣工后，绍兴市上虞人民医院应根据《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》（HJ 1326-2023）的要求和程序，对配套建设的环境保护设施进行验收，可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。

## 12.7 辐射事故应急

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《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。绍兴市上虞人民医院应根据核技术利用项目的变动情况，对现有《辐射事故应急预案》进行修订，辐射事故应急预案应当包括以下内容：

- （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，绍兴市上虞人民医院应依据本项目情况完成《辐射事故应急预案》的修订。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。

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

本项目拟在科技综合楼负一层北部建设核医学科，利用现有科技综合楼负二层东北侧已建的2间直线加速器机房、1间后装机房和1间CT模拟定位机房建设放疗科。核医学科核素诊断场所使用核素 $^{18}\text{F}$ 进行PET显像诊断，使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 进行SPECT显像诊断，使用 $^{90}\text{Sr}$ 敷贴器进行敷贴治疗；治疗场所使用核素 $^{131}\text{I}$ 进行甲状腺吸碘率测定、甲亢治疗和甲癌治疗，为乙级非密封放射性物质工作场所。放疗科配备2台直线加速器、1台后装机和1台模拟定位机用于放射治疗。

#### 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

本项目核医学科辐射工作场所墙体采用实心页岩砖+防护涂料、顶棚及地坪采用混凝土+防护涂料进行屏蔽，各防护门均采用铅防护门，观察窗为铅玻璃观察窗。核医学科分装注射室拟配备手套箱、放射药物专用注射窗，放射性核素操作人员拟配备铅防护服、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告标志、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、放射性固废收集铅桶、放射性废气专用排风管线及活性炭吸附装置。

直线加速器机房和后装机房四侧屏蔽墙体及顶棚为现浇混凝土防护，CT模拟定位机房采用实心砖墙+防护涂料的复合屏蔽，防护门为铅门+含硼聚乙烯材料或铅门，其防护效果满足要求。各机房内配置有门灯或门机联锁、急停开关、视频监控等辐射安全设施。

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

绍兴市上虞人民医院已成立辐射防护管理领导小组，并指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作；该院应根据实际情况及本报告要求，制定和完善相关辐射安全管理制度，以适应当前环保的管理要求；该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

经模式预测，在正常工况下，本项目核医学科工作场所周围辐射剂量率预测值能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，直线加速器机房与后装机房周围辐射剂量率预测值均小于剂量率参考控制水平，CT模拟定位机房周围辐射剂量率预测值满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的相关要求；本项目所致工作人员和公众年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“限值”的要求，也低于本次评价提出的年剂量约束值即工作人员5mSv/a和公众0.1mSv/a。

#### (2) 核医学科“三废”影响分析

放射性废水排入衰变池中，其中核素诊断和核素制备场所含半衰期小于24h核素的放射性废水在衰变池内贮存超过30天；核素治疗区<sup>131</sup>I核素的放射性废水在衰变池内贮存超过180天后直接解控排放至医院污水处理站，处理达标后纳入市政污水管网，对周围水环境影响可以接受。

核医学放射性固废采用专门的脚踏式铅桶收集后在废物间暂存，放射性固体废物在废物间储存时间满足要求后（所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30天，所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍，含<sup>131</sup>I核素的放射性固体废物暂存超过180天），经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\alpha$ 表面污染小于0.08Bq/cm<sup>2</sup>， $\beta$ 表面污染小于0.8Bq/cm<sup>2</sup>，可对废物清洁解控并作为医疗废物进行处理。

废气处理更换的废活性炭按放射性废物处置，待储存超过180天后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， $\beta$ 表面污染小于0.8Bq/cm<sup>2</sup>，废活性炭清洁解控后作为危险废物，委托有资质单位处理。

本项目核医学科工作场所废气管道风量、走向及排放口等分析详见表10.2放射性“三废”处理措施。本项目所涉及放射性药物为非挥发性化合物，本项目不进行定量分析，本项目核医学科通风系统满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中“核医学通风系统独立设置，排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置”的要求，能够有效防止放射性气体对周围环境产生辐射影响。

### (3) 放疗科“三废”影响分析

放疗科各机房运行过程产生的臭氧、氮氧化物经机房强制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。直线加速器机房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 $^{15}\text{O}$ ， $^{13}\text{N}$ 和 $^{41}\text{Ar}$ ，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辐射工作人员和病人造成危害。

直线加速器的金属靶件更换时会有废靶件产生，废靶由厂家回收，最终交由具有放射性废物收贮资质的单位收贮。后装机更换的废 $^{192}\text{Ir}$ 放射源应当按照废旧放射源返回合同规定，将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方。后装机配套使用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：900-052-31），其更换周期约5年/次，更换下的UPS电源交由有资质单位处置。

### (4) 非放射性三废

本项目辐射工作人员产生的生活污水进入医院污水处理站预处理达标后纳管，生活垃圾集中收集并交由环卫部门统一清运。本项目设备运行噪声与排风机工作噪声源强 $\leq 65\text{dB(A)}$ ，通过建筑墙体的屏蔽与距离的衰减后，对周围环境的影响可忽略。

## 13.1.4 可行性分析结论

### (1) 产业政策分析结论

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令第7号（《产业结构调整指导目录（2024年本）》），本项目属于第六项核能中第6条核技术应用，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

### (2) 实践正当性分析结论

医院实施本项目，目的在于开展放射诊断和放射治疗工作，最终是为了治病救人，其获得的利益远大于辐射所造成的损害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

### (3) 相关规划及选址合理性结论

本项目核医学科、放疗科、衰变间分别位于绍兴市上虞人民医院科技综合楼地下一层北部及地下二层东北侧。医院现有用地已取得土地证（上虞市国用（2006）第01200017号），用地性质为医疗卫生用地。因此，本项目符合土地利用规划。

核医学科和放疗科选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）关于工作场所选址的相关要求。本项目核医学科、放疗科实体屏蔽边界外50m评价范围包括医院内部建筑物和院外道路，不涉及其他环境敏感区域。项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众的辐射影响是可接受的，因此项目选址合理。

#### **（4）与绍兴市生态环境分区管控动态更新方案符合性分析**

根据《绍兴市生态环境分区管控动态更新方案》（绍市环发[2024]36号），本项目位于浙江省绍兴市上虞区中心城镇生活重点管控单元（编码：ZH33060420010），核技术在医学基础研究领域的应用，不属于工业类项目，且项目利用绍兴市上虞人民医院主体建筑开展，无新增用地，不改变土地现状。运营过程中污染物简单，排放量较小，放射性“三废”污染物皆可控制和处理，故项目运营后对周围环境不会产生较大影响。同时，绍兴市上虞人民医院已制定有《辐射事故应急预案》，并设置辐射事故应急小组和应急物资，具备完善的风险防范措施。因此，本项目的实施符合绍兴市生态环境分区管控动态更新方案的管控要求，符合生态环境准入清单要求。

#### **（5）项目可行性**

综上所述，绍兴市上虞人民医院放疗科与核医学科改扩建项目的选址符合国家相关法律法规，总平面布局合理可行。医院在落实本报告提出的各项污染防治措施后，其辐射工作场所辐射安全防护措施及安全管理措施满足从事相应辐射活动的要求，辐射工作人员和公众年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，运营期对周围环境产生的辐射影响在可接受范围内，因此本项目运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射安全和环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

## **13.2 建议和承诺**

### **13.2.1 建议**

医院应加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施自觉性，杜绝放射性事故的发生。

### **13.2.2 承诺**

（1）医院承诺按照相关法律法规要求严格履行环评制度、环保验收制度、辐射安全许可制度，加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。

(2) 医院承诺严格按照本报告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。

(3) 医院承诺加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用具的使用。严格按照本报告提出的要求进行辐射工作人员的培训、个人剂量监测、健康检查，并按要求建立保管辐射工作人员档案。

(4) 医院承诺制定完善各项辐射安全管理制度和辐射事故应急预案，并监督执行各项制度。按照应急预案处理和上报辐射事故，并及时将应急预案向生态环境主管部门备案。

(5) 医院承诺严格执行辐射监测计划，发现问题及时整改。

(6) 医院承诺本项目环评审批后，及时重新申领辐射安全许可证。

## 表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：

经办人：

公章  
年 月 日

审批意见：

经办人：

公章  
年 月 日