

核技术利用建设项目

浙江省肿瘤医院
核医学科扩建项目
环境影响报告表
(公示稿)

浙江省肿瘤医院

2023年4月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

浙江省肿瘤医院
核医学科扩建项目
环境影响报告表

建设单位名称：浙江省肿瘤医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：浙江省杭州市拱墅区半山东路 1 号

邮政编码：310000

联系人：

电子邮箱：/

联系电话：

目 录

表 1 项目基本情况	2
表 2 放射源	19
表 3 非密封放射性物质	20
表 4 射线装置	21
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	23
表 6 评价依据	25
表 7 保护目标与评价标准	27
表 8 环境质量和辐射现状	41
表 9 项目工程分析与源项	46
表 10 辐射安全与防护	72
表 11 环境影响分析	99
表 12 辐射安全管理	122
表 13 结论与建议	130
表 14 审批	136

表 1 项目基本情况

建设项目名称		浙江省肿瘤医院核医学科扩建项目			
建设单位		浙江省肿瘤医院			
法人代表		联系人		联系电话	
注册地址		浙江省杭州市拱墅区半山东路 1 号			
项目建设地点		浙江省杭州市拱墅区半山东路 1 号			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		5000	项目环保投资（万元）	560	投资比例（环保投资/总投资） 11.20%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积(m ²)	-
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类		
	其他	/			
	1.1 项目概况				
1.1.1 建设单位简介					
<p>浙江省肿瘤医院（以下简称“医院”）始建于 1963 年 10 月，是新中国成立最早的四所肿瘤医院之一，集肿瘤预防、医疗、科研、教学、康复于一体，承担着国家肿瘤防治重任，是浙江省唯一的一所集临床、科研、教学及培训为一体的三级甲等肿瘤专科医院。2019 年 5 月，浙江省人民政府与中国科学院签署医学合作协议，医院正式挂牌“中国科学院肿瘤与基础医学研究所、中国科学院大学附属肿瘤医院、中国科学院大学杭州临床医学院”。浙江省肿瘤医院分为总院半山院区（位于杭州市拱墅区半山东路 1 号）及机场路院区（位于杭州市机场路 30 号）两个院区，本项目位于总院半山院区。</p>					

1.1.2 项目建设目的和任务由来

由于核医学科使用的 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 等正电子核素半衰期较短，外购需要额外准备很多备药量，为了更好地为患者服务，医院拟在总院（杭州市拱墅区半山东路1号）3号楼核医学科东北侧扩建回旋加速器楼（拟建临时建筑，3F），其建设工程规划许可证见附件5，《浙江省肿瘤医院核医学科楼回旋加速器机房改造工程》已于2021年10月完成了建设项目环境影响备案系统备案登记，备案号为202133010500000134，见附件4。

医院现有核医学科在2004年获得原浙江省环境保护局的环评批复（浙环建[2004]58号），同意迁建同位素场所至3号楼；核医学科2011年进行扩建并获得原浙江省环境保护厅的环评批复（浙环辐[2011]89号），2015年进行了竣工环境保护验收（浙环辐验[2015]7号）；核医学科2016年再扩建并获得原浙江省环境保护厅的环评批复（浙环辐[2016]24号），2018年完成自主验收。核医学科2022年改扩建项目《浙江省肿瘤医院核医学科、介入科与直线加速器改扩建项目环境影响报告表》并获得杭州市生态环境局的环境影响批复（杭环辐评批[2022]11号），该项目暂时未实施。现有核医学科一层使用1台PET/CT进行 ^{18}F 显像标记，使用3台SPECT/CT进行 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{201}Tl 、 ^{67}Ga 显像标记，使用 ^{32}P 进行敷贴治疗，使用 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 、 ^{188}Re 进行肿瘤治疗，为乙级非密封性物质工作场所。现有核医学科二层使用 ^{131}I 进行甲状腺治疗，为乙级非密封性物质工作场所。

现有核医学科工作场所平面布局情况、使用射线装置、放射性同位素和放射源情况、人员配置及工作班制、屏蔽防护情况、“三废”治理措施、工作场所存在的主要环境问题及本项目“以新带老”措施详见本报告表9。

医院拟在总院（杭州市拱墅区半山东路1号）3号楼核医学科东北侧扩建回旋加速器楼，拟在回旋加速器楼1层西侧新增核素制备区域（新增1台16.5MeV的PETtrace800型回旋加速器，生产 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 等正电子核素用于PET显像，属于II类射线装置）；拟在回旋加速器楼1层东侧、2层西侧新增小动物标记显像区域，新增1台uMR 9.4T型小动物PET/MR；新增1台IRIS型PET/CT，其最大管电压为80kV，最大管电流为0.7mA，属于III类射线装置；新增1台U-SPECT⁶/CT型SPECT/CT，其最大管电压为65kV，最大管电流为0.7mA，属于III类射线装置。小动物标记显像工作场所拟使用 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 共7种放射性核素，对小动物进行显像诊断研究实验。回旋加速器楼工作场所日等效操作量为

4.27×10⁸Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。

医院拟在核医学科 1 层工作场所新增 ¹¹C、¹³N 等正电子核素用于 PET 显像，待核医学科 2022 年改扩建项目《浙江省肿瘤医院核医学科、介入科与直线加速器改扩建项目环境影响报告表》实施后，其日等效操作量为 3.02×10⁹Bq，仍为乙级非密封放射性物质工作场所。

为了改善原治疗病房的拥挤状况，提高医疗服务质量，医院拟在回旋加速器楼 2 层增设 9 间治疗病房，使用放射性核素 ¹³¹I 进行甲癌治疗与使用放射性核素 ¹⁷⁷Lu 进行神经内分泌癌或前列腺癌治疗，放射性核素 ¹³¹I 和 ¹⁷⁷Lu 使用规模不变，增设的 9 间治疗病房与原核医学科 2 层工作场所为一个单独的工作场所，其日等效操作量仍为 3.90×10⁹Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。

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——使用Ⅱ类射线装置、乙级非密封放射性物质工作场所”，环境影响评价文件形式应为环境影响报告表。

为此，浙江省肿瘤医院委托卫康环保科技（浙江）有限公司对“浙江省肿瘤医院核医学科扩建项目”（2023 年 3 月 15 日单位名称变更为“卫康环保科技（浙江）有限公司”，变更材料见附件 1）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、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，编制完成了《浙江省肿瘤医院核医学科扩建项目环境影响报告表》。

1.1.3 建设内容及规模

1.1.3.1 回旋加速器楼工作场所

（1）核素制备区域

医院拟在回旋加速器楼 1 层西侧建设核素制备场所，建设 1 间回旋加速器机房、1 间热室、1 间质控室等配套用房，新增 1 台 PETtrace800 型回旋加速器，制备 ¹⁸F、¹¹C、¹³N、⁶⁴Cu、⁶⁸Ga、⁸⁹Zr 等正电子核素用于 PET 显像，根据《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（原环境保护部 国家卫生和计划生育委员会 公告 2017 年第 66 号），回旋加速器属于Ⅱ类射线装置。

（2）小动物标记显像区域

医院拟在回旋加速器楼 1 层东侧、2 层西侧建设小动物标记显像场所，回旋加速

器楼 1 层东侧建设 1 间小动物 PET/MR 机房及设备间、1 间动物房、1 间固废间、注射台、操作间等配套设施；回旋加速器楼 2 层西侧建设 1 间小动物 PET/CT 机房与 1 间小动物 SPECT/CT 机房，新增 1 台 IRIS PET/CT 型 PET/CT，其最大管电压为 80kV，最大管电流为 0.7mA，属于 III 类射线装置；新增 1 台 U-SPECT⁶/CT 型 SPECT/CT，其最大管电压为 65kV，最大管电流为 0.7mA，属于 III 类射线装置。小动物标记显像工作场所拟使用 ¹⁸F、¹¹C、¹³N、⁶⁴Cu、⁶⁸Ga、⁸⁹Zr、^{99m}Tc 等放射性核素对小老鼠进行标记成像，用于开展生物分布、药代动力学等各种放射性同位素动物实验；每日进行研究的小鼠数量每种核素最大均为 10 只，每种核素年使用小鼠最多 200 只，每只小鼠使用核素量均为 3.70×10⁶Bq。

本项目回旋加速器楼工作场所日等效操作量为 4.27×10⁸Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。回旋加速器楼工作场所放射性同位素生产、使用情况见表 1-1，回旋加速器楼工作场所射线装置使用情况见表 1-2。

表 1-1 回旋加速器楼工作场所放射性同位素生产、使用情况

核素	计划日最大生产或使用量 (Bq)	计划年最大生产或使用量 (Bq)	毒性因子	操作因子	日等效最大操作量 (Bq)	用途
¹⁸ F	3.33×10 ¹⁰	8.33×10 ¹²	0.01	1	3.33×10 ⁸	核素制备，用于核医学科 1 层工作场所
	3.70×10 ⁷	7.40×10 ⁸	0.01	1	3.70×10 ⁵	核素制备，用于小动物 PET 显像
¹¹ C	7.40×10 ⁸	3.70×10 ¹⁰	0.01	1	7.40×10 ⁶	核素制备，用于核医学科 1 层工作场所
	3.70×10 ⁷	7.40×10 ⁸	0.01	1	3.70×10 ⁵	核素制备，用于小动物 PET 显像
¹³ N	7.40×10 ⁸	3.70×10 ¹⁰	0.01	1	7.40×10 ⁶	核素制备，用于核医学科 1 层工作场所
	3.70×10 ⁷	7.40×10 ⁸	0.01	1	3.70×10 ⁵	核素制备，用于小动物 PET 显像
⁶⁴ Cu	7.40×10 ⁸	3.70×10 ¹⁰	0.01	1	7.40×10 ⁶	核素制备，用于核医学科 1 层工作场所
	3.70×10 ⁷	7.40×10 ⁸	0.01	1	3.70×10 ⁵	核素制备，用于小动物 PET 显像
⁶⁸ Ga	7.40×10 ⁸	3.70×10 ¹⁰	0.01	1	7.40×10 ⁶	核素制备，用于核医学科 1 层工作场所
	3.70×10 ⁷	7.40×10 ⁸	0.01	1	3.70×10 ⁵	核素制备，用于小动物 PET 显像
⁸⁹ Zr	5.92×10 ⁸	2.96×10 ¹⁰	0.1	1	5.92×10 ⁷	核素制备，用于核医学科 1 层工作场所
	3.70×10 ⁷	7.40×10 ⁸	0.1	1	3.70×10 ⁶	核素制备，用于小动物 PET 显像
合计					4.27×10 ⁸	/

备注：1、本报告中回旋加速器生产的核素即产即用，不考虑备药量。
2、¹⁸F、⁶⁴Cu、⁶⁸Ga、⁸⁹Zr 四种正电子核素在核医学科 1 层工作场所使用量已在环评批复杭环辐（2022）11 号中审批，¹¹C、¹³N 两种正电子核素为本项目核医学科 1 层工作场所新增使用。

表 1-2 回旋加速器楼工作场所射线装置使用情况

设备名称	数量	主要技术参数	类别	工作场所	用途
自屏蔽式回旋加速器	1	最大质子能量为 16.5MeV，最大质子束流强度为 100μA	II类	回旋加速器机房	¹⁸ F、 ¹¹ C、 ¹³ N、 ⁶⁴ Cu、 ⁶⁸ Ga、 ⁸⁹ Zr 制备
IRIS PET/CT 型小动物 PET/CT	1	最大管电压为 80kV，最大管电流为 0.7mA	III类	回旋加速器楼 2 层小动物 PET/CT 机房	PET 显像
U-SPECT ⁶ /CT 型小动物 SPECT/CT	1	最大管电压为 65kV，最大管电流为 0.7mA	III类	回旋加速器楼 2 层小动物 SPECT/CT 机房	SPECT 显像

1.1.3.2 核医学科 1 层工作场所

本项目建成后，核医学科 1 层原 PET 工作场所使用的正电子核素停止外购，均由回旋加速器生产自用，同时新增 ¹¹C、¹³N 两种正电子核素用于 PET 显像，均为回旋加速器生产自用。待本项目建成后，叠加核医学科已审批核素日等效最大操作量，其日等效操作量为 $3.02 \times 10^9 \text{Bq}$ ，仍为乙级非密封放射性物质工作场所。核医学科 1 层工作场所新增非密封放射性物质已审批使用情况见表 1-3，核医学科 1 层工作场所新增非密封放射性物质拟使用情况见表 1-4。

表 1-3 核医学科 1 层工作场所非密封放射性物质已审批使用情况

核素	日最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	毒性因子	操作因子	日等效最大操作量 (Bq)	工作场所
¹⁸ F	3.33×10^{10}	8.33×10^{12}	0.01	1	3.33×10^8	核医学科 1 层工作场所
⁶⁴ Cu	7.40×10^8	3.70×10^{10}	0.01	1	7.40×10^6	
⁶⁸ Ga	7.40×10^8	3.70×10^{10}	0.01	1	7.40×10^6	
⁸⁹ Zr	5.92×10^8	2.96×10^{10}	0.1	1	5.92×10^7	
¹²⁴ I	1.48×10^8	7.40×10^9	0.1	1	1.48×10^7	
^{99m} Tc (ECT)	7.40×10^{10}	1.85×10^{13}	0.01	10	7.40×10^7	
^{99m} Tc (肝癌)	4.44×10^8	4.44×10^{10}	0.01	10	2.96×10^5	
⁶⁷ Ga	7.40×10^8	1.85×10^{11}	0.1	1	7.40×10^7	
¹²³ I	1.85×10^9	5.55×10^{10}	0.01	1	1.85×10^7	
²⁰¹ Tl	1.85×10^9	4.63×10^{11}	0.01	1	1.85×10^7	
¹³¹ I (甲状腺扫描)	2.40×10^9	3.60×10^{11}	0.1	1	2.40×10^8	
¹²⁵ I	8.88×10^7	2.22×10^{10}	0.1	1	8.88×10^6	
¹²⁵ I 粒子	5.18×10^9	3.99×10^{11}	0.1	10	5.18×10^7	
³² P	1.48×10^8	1.48×10^{10}	0.1	1	1.48×10^7	
⁸⁹ Sr	9.25×10^8	2.31×10^{11}	0.1	1	9.25×10^7	

¹⁵³ Sm	5.55×10 ⁹	1.39×10 ¹²	0.1	1	5.55×10 ⁸	
¹⁸⁸ Re	5.55×10 ⁹	1.39×10 ¹²	0.1	1	5.55×10 ⁸	
²²³ Ra	3.70×10 ⁷	5.55×10 ⁹	10	1	3.70×10 ⁸	
²²⁵ Ac	3.70×10 ⁷	9.25×10 ⁹	10	1	3.70×10 ⁸	
⁹⁰ Y(分装)	6.00×10 ⁹	6.00×10 ¹¹	0.1	10	6.00×10 ⁷	
¹⁷⁷ Lu 扫描	8.40×10 ⁸	4.00×10 ¹⁰	0.1	1	8.00×10 ⁷	
合计					3.01×10 ⁹	

表 1-4 核医学科 1 层工作场所新增非密封放射性物质拟使用情况

核素	计划日最大生产或使用量 (Bq)	计划年最大生产或使用量 (Bq)	毒性因子	操作因子	日等效最大操作量 (Bq)	工作场所
¹¹ C	7.40×10 ⁸	3.70×10 ¹⁰	0.01	1	7.40×10 ⁶	核医学科 1 层工作场所 PET/CT 机房
¹³ N	7.40×10 ⁸	3.70×10 ¹⁰	0.01	1	7.40×10 ⁶	
核医学科 1 层工作场所 2022 年改扩建项目实施后					3.01×10 ⁹	
本项目实施后					3.02×10 ⁹	

1.1.3.3 核医学科 2 层工作场所

医院拟在回旋加速器楼 2 层增设 9 间治疗病房，使用放射性核素 ¹³¹I 进行甲癌治疗与使用放射性核素 ¹⁷⁷Lu 进行神经内分泌癌或前列腺癌治疗，放射性核素 ¹³¹I 和 ¹⁷⁷Lu 使用规模不变，增设 9 间治疗病房与原核医学科 2 层工作场所为一个单独的工作场所，其日等效操作量仍为 3.90×10⁹Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。由于增设 9 间治疗病房后整个工作场所核素治疗的规模不变，因此本项目仅考虑新增 9 间治疗病房的辐射影响评价。

本项目核医学科 2 层工作场所放射性同位素使用情况见表 1-5。

表 1-5 本项目核医学科 2 层工作场所非密封放射性物质使用情况

核素	单人次平均使用量 (Bq)	扩建前计划日最大操作量 (Bq)	扩建前计划年最大操作量 (Bq)	扩建后计划日最大操作量 (Bq)	扩建后计划日等效操作量 (Bq)	扩建后计划年最大操作量 (Bq)
¹³¹ I	4.33×10 ⁹	3.90×10 ¹⁰	5.20×10 ¹²	3.90×10 ¹⁰	3.90×10 ⁹	5.20×10 ¹²
¹⁷⁷ Lu	3.70×10 ⁹	/	/	7.40×10 ⁹	7.40×10 ⁸	3.70×10 ¹¹

注：核医学科 2 层工作场所甲癌住院治疗时间为每周一至周五，周六与周日为 ¹⁷⁷Lu 患者住院治疗时间（医院承诺本项目实施前拟制定核医学科 2 层工作场所放射性核素使用管理制度，明确同天不能同时使用两种核素进行治疗），因此核医学科 2 层工作场所的日等效最大操作量仍为 3.90×10⁹Bq。

1.1.3.4 劳动定员及工作制度

(1) 劳动定员

本项目拟新增辐射工作人员 10 名，所有拟新配备辐射工作人员从医院内部调配，均不兼任其他辐射工作。其中核医学科 1 层工作场所原有辐射工作人员保持不变，核医学科 2 层工作场所现有 5 名辐射工作人员继续担任 ¹³¹I 核素治疗工作，新增 1 名辐射工作人员担任 ¹⁷⁷Lu 核素治疗工作。核素制备区域拟新增辐射工作人员 5 名，其中制药等操作人员 2 名，质控等操作人员 2 名，药物运送操作人员 1 名；小动物显像标记

区域拟新增辐射工作人员 4 名，其中饲养、注射操作人员 1 名，各机房扫描等操作人员共 3 名。

(2) 工作制度

本项目辐射工作人员每天工作 8 小时，核医学科 2 层工作场所每年工作 350 天，其他工作场所每年工作 250 天。

1.2 产业政策、实践正当性、规划等符合性分析

1.2.1 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第 29 号令《产业结构调整指导目录(2019 年本)》及国家发展和改革委员会第 49 号令《关于修改<产业结构调整指导目录(2019 年本)>的决定》，本项目核医学科扩建项目属于第六项核能中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

1.2.2 实践正当性结论符合性

本项目回旋加速器制备 PET 用放射性药物，可以根据患者的需求随用随制备，有效提高了放射性药物供应的稳定性，提升了医院的医疗服务质量；同时开展小动物显像标记研究，能够提升医院对疾病的诊治能力。本项目的开展，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。

1.2.3 项目与规划、条例符合性分析

本项目核医学科辐射工作场所东侧 10m 为景区道路与杭州半山国家森林公园，东北侧 40m 为杭州基督教会半山堂，因此本项目 50m 评价范围内涉及杭州半山国家森林公园一般游憩区，杭州半山国家森林公园分区图以及与本项目的相对位置关系图见附图 17。

根据《国家级森林公园管理办法》（国家林业局令第 27 号）、《浙江省公益林和森林公园条例》（2018 年浙江省人大常委会）与《杭州半山国家森林公园总体规划》（2018~2027 年）的相关规定，本项目与规划、条例符合性分析见表 1-6。

表 1-6 本项目与规划、条例符合性分析

规划或条例	规划或条例的相关规定	本项目与规定符合性分析
《国家级森林公园管理办法》	在国家级森林公园内禁止从事擅自采折、采挖花草、树木、药材等植物、非法猎捕、杀害野生动物与未经处理直接排放生活污水和超标准的废水、废气，乱倒垃圾、废渣、废物及其他污染物等活动。	本项目不位于杭州半山国家森林公园内，且本项目产生的废水与固废不向公园排放，本项目产生的臭氧及氮氧化物排放满足相关标准要求。
《浙江省公益林和森林公园条例》	森林公园内除法律、法规禁止的行为外，禁止下列行为： (一)新建、改建坟墓； (二)擅自围、填、堵、截自然水系； (三)擅自建设建筑物、构筑物和工程设施。	本项目距离杭州半山国家森林公园一般游憩区 10m，不位于杭州半山国家森林公园内，不涉及相关行为。
《杭州半山国家森林公园总体规划》	(一)森林公园内严禁乱砍滥伐，尽量保持森林植被的原生状态； (二)森林公园内禁止大填大挖、大平大造，严禁大面积改变原生地貌； (三)森林公园内严禁焚烧垃圾、树叶、枯草污染空气。	本项目距离杭州半山国家森林公园一般游憩区 10m，不位于杭州半山国家森林公园内，不涉及相关行为。

综上所述，本项目的建设符合《国家级森林公园管理办法》（国家林业局令第 27 号）、《浙江省公益林和森林公园条例》（2018 年浙江省人大常委会）与《杭州半山国家森林公园总体规划》（2018~2027 年）的相关规定。

1.2.4“三线一单”符合性分析

(1) 生态保护红线

根据《杭州市“三线一单”生态环境分区管控方案》，项目所在地属于拱墅区拱墅城镇生活重点管控单元（ZH33010520001），对照浙江省生态保护红线图，本项目不涉及生态保护红线。

(2) 环境质量底线

根据环境质量现状监测结果，本项目拟建场址周围环境 X-γ 辐射剂量属于正常本底范围，本项目拟建场地及周围各监测点位表面污染水平低于检测限，未见异常。在落实本环评提出的各项污染防治措施后，不会对周围环境产生不良影响，能维持周边环境质量现状，满足该区域环境质量功能要求，因此本项目符合环境质量底线要求。

(3) 资源利用上线

本项目运营过程中主要消耗一定量的电能，消耗量相对区域资源利用总量较少，且项目不使用高耗能、低效率的设备，符合资源利用上线的要求。

(4) 生态环境准入清单

根据《杭州市“三线一单”生态环境分区管控方案》，项目所在地属于拱墅区拱墅城镇生活重点管控单元（ZH33010520001）。本项目不属于生产型项目，不属于《浙江省工业污染项目（产品、工艺）禁止和限制发展目录（第一批）》中规定的禁止类和限制类项目，本项目满足生态环境准入清单要求。

表1-7 本项目所在管控单元分类生态环境准入清单

序号	内容	符合性分析	是否符合
1	空间布局引导 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。除工业功能区（小微园区、工业集聚点）外，原则上禁止新建其他二类工业项目，现有二类工业项目改建、扩建，不得增加污染物排放总量。严格执行畜禽养殖禁养区规定	本项目不属于工业项目与畜禽养殖项目。	是
2	污染物排放管控 完善污水管网，加强对现有雨污合流管网的分流改造，推进生活小区“零直排”区建设。	本项目雨污分流，雨水排入雨水管网，放射性废水经衰变池衰变满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中废水衰变时间和 GB18466-2005 规定的总β限值后进入医院污水处理站，进一步处理后排入市政管网。	是
3	环境风险防控 合理布局工业、商业、居住、科教等功能区块，严格控制噪声、恶臭、油烟等污染排放较大的建设项目布局。	医院对工作场所进行合理布局，本项目不属于污染排放较大的建设项目	是
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。	项目运行过程推进清洁生产理念，节约资源，提高能源有效利用。	是

综上所述，本项目不涉及生态保护红线、符合环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单的要求，本项目的建设符合“三线一单”的要求。

1.3 项目选址与环境保护目标

1.3.1 医院地理位置

浙江省肿瘤医院总院半山院区位于杭州市拱墅区半山东路1号，医院东侧靠近杭州半山国家森林公园，东南侧靠近秋石高架路、浙江建设技师学院，南侧靠近杭州市半山实验小学，西侧与田园公寓相邻，北侧与杭州自富汽车修理有限公司、杭州基督教教会半山堂相邻。地理位置示意图见附图1。

1.3.2 项目周边环境关系

本项目回旋加速器机房1层工作场所与2层工作场所东侧紧邻景区道路，东侧10m

为杭州半山国家森林公园；南侧紧邻为停车场，南侧 42m 为 2 号楼，西南侧紧邻 3 号楼；西侧紧邻为医院内部道路，北侧 10m 为杭州自富汽车修理有限公司，东北侧 40m 为杭州基督教会半山堂。北侧 12m 为杭州自富汽车修理有限公司。本项目周围环境关系示意图见附图 2。

本项目辐射工作场所实体边界外 50m 评价范围主要为医院内部建筑、内部道路、杭州自富汽车修理有限公司、杭州基督教会半山堂、景区道路与杭州半山国家森林公园。本项目环境保护目标主要为本项目辐射工作人员和工作场所周围的公众人员。

1.3.3 选址合理性分析

本项目拟建于医疗机构内单独的建筑物内，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的选址要求；本项目位于医院现有院区内，符合《国家级森林公园管理办法》（国家林业局令第 27 号）等相关法规的规定；本项目选址已获得《杭州市临时建设规划工程许可证》，符合杭州市主体功能区划及土地利用规划。本项目各辐射工作场所实体边界外 50m 评价范围主要为医院内部建筑、内部道路、杭州自富汽车修理有限公司、杭州基督教会半山堂、景区道路与杭州半山国家森林公园，本项目不在生态保护红线范围内。环境影响预测分析表明，在严格执行本评价中提出的辐射管理和辐射防护措施前提下，本项目的开展对周围环境造成的辐射影响在可接受范围内，故本项目的选址是合理的。

1.4 原有核技术利用项目情况

1.4.1 医院原有项目许可情况

医院已取得《辐射安全许可证》，证书编号：浙环辐证[A0001]（见附件 3）；发证日期：2023 年 01 月 11 日，有效期至 2027 年 3 月 27 日；许可的种类和范围：使用 III 类、V 类放射源；使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。

医院原有已许可的放射源、非密封放射性物质及射线装置情况见表 1-8~表 1-10。

1.5.2 原有核技术利用项目管理情况

（1）医院已成立了辐射安全管理委员会，制定了一系列的辐射工作管理制度，其中包括《放射防护委员会职责与分工》、《放射工作人员培训计划》、《放射人员体检及健康管理制度》、《放射防护监测方案》、《核医学科岗位职责》、《核医学安全操作规程》、《核医学科防护措施》、《放射性同位素使用登记制度》、《储源场

所安全管理制度》《放射性同位素变更及注销制度》、《SPECT 操作规程》、《放射性同位素使用期满后的处理安案》、《自行查对检查制度》、《辐射安全应急预案》、《¹³¹I 药物分装室操作规程》、《¹³¹I 药物分装室岗位职责》、《¹³¹I 药物分装室应急预案》、《受检者放射危害告知与防护制度》与《辐射防护检查制度和年度评估制度》等。

医院原有管理制度内容较为全面，符合相关要求，原有规章制度基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。医院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。

(2) 医院已组织现有辐射工作人员通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核并获得合格成绩单，已组织现有辐射工作人员进行职业健康检查，辐射工作人员检查结论为“未见职业健康损害，可继续原放射工作”或“复查结果正常，可继续原放射工作”。

(3) 辐射工作期间，要求辐射工作人员佩戴个人剂量计，建立个人剂量档案并终生存档保存，个人剂量计每三个月送检一次。医院开展了 2022 年度辐射工作人员剂量监测。由结果可以看出：医院现有辐射工作人员 2022 年度个人剂量有 14 人监测异常，异常原因经调查为个人剂量计落在机房中，其他现有辐射工作人员个人剂量监测结果符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对辐射工作人员要求的剂量限值。

(4) 医院现有核医学科工作场所出入口设置有单向门禁系统，并设置电离辐射警告标志；工作场所设置有卫生通过间，工作人员通过表面污染监测合格后方可离开工作场所；工作场所内设置患者专用厕所，产生的放射性废水收集支衰变池；工作场所内设置手套箱，产生的放射性废气经高效过滤器+活性炭吸附二级处理设施处理后在 3 号楼楼顶排放等。医院其他辐射工作场所设置有电离辐射警示牌、报警装置和工作状态指示灯等辐射安全防护措施。各工作场所根据不同项目实际情况划分辐射防护控制区和监督区，采取分区管理，进行积极、有效的管控。

(5) 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，根据建设单位提供的监测报告，各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求，医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展核技术利用项目的辐射安全防护要求。

(6) 辐射应急演练和年度评估医院已制定《辐射事故应急预案》，医院每年均定期开展辐射事故应急演练，并对演练结果进行总结，及时对辐射事故应急预案进行完善和修订。经与医院核实，自核技术利用项目开展以来，未发生过辐射事故。

医院每年编制有《辐射安全和防护状况年度评估报告》，对现有放射性同位素和射线装置辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、放射性同位素和射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况、监测仪器情况等年度总结和评估，并及时提交至发证机关。

表 1-8 医院现有射线装置一览表

序号	装置名称	类别	数量	型号	工作场所	环评情况	验收情况
1	直线加速器	II	1	ACCURAY(安科锐) Tomo H-0000-0003	4 号楼一层 放射物理科三号机房	浙环建(2001)152 号	2003 年验收
2	直线加速器	II	1	VarianTruebeam	4 号楼一层 放射物理科四号机房	浙环建(2004)58 号	浙环辐验[2009]61 号
3	直线加速器	II	1	瓦里安 Trilogy	4 号楼一层 放射物理科一号机房	浙环建 [2004]58 号	浙环辐验[2009]61 号
4	直线加速器	II	1	Halcyon	4 号楼一层 放射物理科二号机房	浙环建(2004)58 号	浙环辐验[2009]61 号
5	直线加速器	II	1	ElektaSynergy	4 号楼一层 放射物理科五号机房	浙环建(2004)58 号	浙环辐验(2009)61 号
6	CT 定位机	III	1	PHILIPS BIG Bore	4 号楼三层放射物理科机房	杭环辐评批(2009)0105 号	浙环辐验(2015)7 号
7	CT 定位机	III	1	GE LightSpeed RT	4 号楼三层放射物理科机房	杭环辐评批(2008)0163 号	浙环辐验(2015)7 号
8	CT	III	1	上海联影 uCT760	6 号楼三层放射科机房	浙环建(2004)58 号	浙环辐验(2009)61 号
9	CT 机	III	1	GE OptimACT680E xpert	6 号楼二层放射科机房	浙环建(2004)58 号	浙环辐验(2009)61 号
10	DSA	II	1	GE OEC9800	6 号楼四层放射科机房	浙环建(2004)58 号	浙环辐验(2009)61 号
11	DSA-CT (DSA)	II	1	西门子 ArtisQceiling	6 号楼五层 DSA-CT 机房	杭环辐(2022)11 号	正在验收 (验收监测已完成)
12	DSA-CT (CT)	III	1	西门子 SOMATOMConfidence	6 号楼五层 DSA-CT 机房	杭环辐(2022)11 号	正在验收 (验收监测已完成)
13	X 光机 (DR)	III	1	西门子 Aristos Mx	6 号楼二层放射科机房	杭环辐评批(2008)0163 号	浙环辐验(2009)61 号
14	X 光诊断机	III	1	OPTIMUS	6 号楼二层放射科机房	浙环建(2004)58 号	浙环辐验(2009)61 号
15	X 光诊断机	III	1	西门子 Multix Fusion	机场路 30 号分院	杭环辐评批(2007)0100 号	浙环辐验(2009)61 号
16	TOMO	II	1	TomoH	4 号楼一层放射物理科机房 八号机房	杭环辐评批(2009)0105 号	浙环辐验(2015)7 号
17	直线加速器	II	1	Elektanfinity	4 号楼一层放射物理科机房 六号机房	杭环辐评批(2009)0105 号	浙环辐验(2015)7 号

续表 1-8 医院现有辐射装置一览表

序号	装置名称	类别	数量	型号	工作场所	环评情况	验收情况
18	直线加速器	II	1	VARIAN Clinac 23EX	4号楼一层 放射物理室六号机房	杭环辐评批(2009)0105号	浙环辐验(2015)7号
19	直线加速器	II	1	VARIAN Trilogy	4号楼一层 放射物理室七号机房	杭环辐评批(2009)0105号	浙环辐验(2015)7号
20	模拟定位机	III	1	瓦里安 Acuity	放射物理室	杭环辐评批(2009)0105号	杭环辐验(2016)1号
21	CT定位机	III	1	Brilliance CT Big Bore	放射物理室	杭环辐评批(2009)0105号	正在验收 (验收监测已完成)
22	16排CT	III	1	Brightspeed Elite	6号楼三层放射科机房	浙环建(2004)58号	浙环辐验(2009)61号
23	数字乳腺机	III	1	HOLOGIC Selenia	6号楼二层放射科机房	浙环辐(2011)89号	杭环辐验(2015)7号
24	PET/CT	III	1	BiographVision	核医学科1层工作场所(本院)	杭环辐(2022)11号	正在验收
25	SPECT/CT	III	1	Infinia Hawkeye4	3号楼一层核医学科机房	浙环辐(2011)89号	杭环辐验(2015)7号
26	DSA	II	1	飞利浦 Allura Xper FD20C	6号楼五层	浙环辐(2015)23号	浙环辐验(2016)36号
27	移动X光机	III	1	西门子 Mobilett XP Digital	病房内移动使用	浙环辐(2015)23号	浙环辐验(2016)36号
28	螺旋CT	III	1	西门子 Definition Flash	6号楼二层	浙环辐(2015)23号	浙环辐验(2016)36号
29	X射线骨密度仪	III	1	OSTEOSYS Dexxum T	3号楼1层骨密度仪室	备案号:202033010500000261	
30	C臂机	III	1	飞利浦 BV Endura	手术室内移动使用	浙环辐(2015)23号	浙环辐验(2016)36号
31	PET/CT	III	1	GE PET/CT 710	3号楼一层	浙环辐(2016)24号	2018年4月2号自主验收

续表 1-8 医院现有辐射装置一览表

序号	装置名称	类别	数量	型号	工作场所	环评情况	验收情况
32	SPECT/CT	III	1	GE Discovery NM/CT 670	3 号楼一层	浙环辐〔2016〕24 号	2018 年 4 月 2 号自主验收
33	CT	III	1	西门子 Perspective	6 号楼三层	浙环辐〔2016〕24 号	浙环辐验〔2016〕36 号
34	64 排 CT	III	1	IngenuityCT	6 号楼三层放射科机房	浙环建〔2004〕58 号	2021 年 1 月 6 日自主验收
35	胃肠机	III	1	岛津 Univision	6 号楼四层	浙环辐〔2016〕24 号	浙环辐验〔2016〕36 号
36	数字乳腺机	III	1	MAMMOMATR elevation	6 号楼二层	浙环辐〔2016〕24 号	2021 年 1 月 6 日自主验收
37	移动 DR	III	1	GE Optima XR220amx	病房内移动使用	浙环辐〔2016〕24 号	浙环辐验〔2016〕36 号
38	CT	III	1	GEOPTIMACT540	机场路分院（杭州市机场路 30 号）	杭江环辐评批〔2016〕004 号	2018 年 4 月 2 号自主验收
39	数字乳腺机	III	1	HOLOGIC Selenia Dimensions	机场路分院（杭州市机场路 30 号）	杭江环辐评批〔2016〕004 号	2018 年 4 月 2 号自主验收
40	小动物精确辐 照仪	III	1	SARRP	4 号楼二楼	浙环辐 〔2017〕6 号	2018 年 4 月 2 号自主验收
41	ERCP	III	1	/	1 号楼二楼内镜中心	浙环辐 〔2017〕6 号	正在验收 （验收监测已完成）
42	赛博刀	II	1	Accuray Incorporated	4B 一层放射物理科赛博刀 机房	杭江环辐评批〔2020〕28 号	正在验收 （验收监测已完成）
43	X-ray	III	1	X-ray	其他不能被豁免的 X 射线 装置：定位、图像引导	杭江环辐评批〔2020〕28 号	正在验收 （验收监测已完成）
44	DSA	II	1	东软 NeuAngio30C	6 号楼五层	杭环辐〔2022〕11 号	正在验收 （验收监测已完成）
45	车载 CT	III	1	ScintCareBlue 755	车载 CT 机房(浙 FQ5308)	备案号： 202233010500000124	2018 年 4 月 2 号自主验收
46	直线加速器	II	1	Radixact X5 螺旋断层 放射治疗系统	4 号楼一楼放射物理科 机房	杭环辐〔2022〕11 号	待安装

表 1-9 医院现有非密封放射性物质一览表

序号	核素	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	工作场所	环评情况	验收情况
1	^{153}Sm	5.55×10^8	1.39×10^{12}	核医学科 1 层工作场所 (本院)	浙环辐 (2016) 24 号/杭环辐 (2022) 11 号	自主验收 二次环评: 正在验收
2	^{32}P	1.48×10^7	1.49×10^{10}			
3	^{18}F	3.33×10^8	8.33×10^{12}			
4	^{188}Re	5.55×10^8	1.39×10^{12}			
5	^{67}Ga	7.40×10^7	1.85×10^{11}			
6	^{125}I 粒子	1.55×10^8	3.99×10^{11}	核医学科 1 层工作场所 (本院)	浙环辐 (2015) 23 号/杭环辐 (2022) 11 号 /202233010500000260	浙环辐验 (2016) 36 号 二次环评: 正在验收
7	^{125}I 粒子	1.11×10^8	2.66×10^{11}	介入治疗科 (本院)	浙环辐 (2015) 23 号/202233010500000260	浙环辐验 (2016) 36 号
8	^{125}I 粒子	2.66×10^7	7.99×10^{10}	手术室 (本院)	浙环辐 (2015) 23 号/202233010500000260	浙环辐验 (2016) 36 号
9	^{125}I 粒子	1.78×10^7	5.33×10^{10}	9 号楼 2 楼超声介入室 (本院)	备案号: 202233010500000260	
10	^{89}Sr	9.25×10^7	2.31×10^{11}	核医学科 1 层工作场所 (本院)	浙环辐 (2016) 24 号	自主验收
11	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	7.40×10^7	1.85×10^{13}	核医学科 1 层工作场所 (本院)	浙环辐 (2016) 24 号	自主验收
12	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	4.44×10^5	4.44×10^{10}	6 号楼 5 层 Y-90 工作场所 (本院)	杭环辐 (2022) 11 号	正在验收
13	^{131}I	3.90×10^9	5.20×10^{12}	核医学科 2 层工作场所 (本院)	浙环辐 (2011) 89 号	浙环辐验 (2015) 7 号
14	^{131}I	2.40×10^9	3.60×10^{11}	核医学科 1 层工作场所 (本院)	杭环辐 (2022) 11 号	自主验收
15	^{125}I	8.88×10^6	2.22×10^{10}	核医学科 1 层工作场所 (本院)	浙环辐 (2011) 89 号	浙环辐验 (2015) 7 号
16	^{201}Tl	1.85×10^7	4.63×10^{11}	核医学科 1 层工作场所 (本院)	浙环辐 (2016) 24 号	自主验收
17	^{223}Ra	3.70×10^8	5.55×10^9	核医学科 1 层工作场所 (本院)	杭环辐 (2022) 11 号	正在验收
18	^{177}Lu	7.40×10^8	5.55×10^9	核医学科 2 层工作场所 (本院)	杭环辐 (2022) 11 号	正在验收
19	^{177}Lu	8.40×10^7	4.0×10^{10}	核医学科 1 层工作场所 (本院)	杭环辐 (2022) 11 号	正在验收
20	^{64}Cu	7.40×10^6	3.70×10^{10}	核医学科 1 层工作场所 (本院)	杭环辐 (2022) 11 号	正在验收
21	^{68}Ga	7.40×10^6	3.70×10^{10}	核医学科 1 层工作场所 (本院)	杭环辐 (2022) 11 号	正在验收
22	^{89}Zr	5.92×10^7	2.96×10^{10}	核医学科 1 层工作场所 (本院)	杭环辐 (2022) 11 号	正在验收
23	^{124}I	1.48×10^7	7.40×10^9	核医学科 1 层工作场所 (本院)	杭环辐 (2022) 11 号	正在验收
24	^{123}I	1.85×10^7	5.55×10^{10}	核医学科 1 层工作场所 (本院)	杭环辐 (2022) 11 号	正在验收
25	^{225}Ac	3.70×10^8	9.25×10^9	核医学科 1 层工作场所 (本院)	杭环辐 (2022) 11 号	正在验收
26	^{90}Y	6.70×10^7	6.70×10^{11}	核医学科 1 层工作场所 (本院)	杭环辐 (2022) 11 号	正在验收
27	^{90}Y	6.70×10^7	6.70×10^{11}	6 号楼 5 层 Y-90 工作场所 (本院)	杭环辐 (2022) 11 号	正在验收

表 1-10 医院现有密封源一览表

核素名称	活度 (Bq)	数量	理化性能	分类	存储方式	环评情况	验收情况
$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$	1.5×10^9	1 枚	$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ 的半衰期为 28.5 年, 衰变时主要发射能量为 0.546MeV 的 β 射线, 常温下为固态金属, 毒性分组为高毒组; ^{90}Y 的半衰期为 64 小时, 衰变时主要发射 2.284MeV 的 β 射线, 常温下为固态金属, 毒性分组为中毒组。当 β 射线被源的自身物质及周围介质阻止时会产生几率为 β 射线总量 3% 的韧致辐射。	V类	放射源配置在敷贴器表层	浙环建 (2004) 58 号	以评代验
^{192}Ir	3.7×10^{11}	1 枚	^{192}Ir 的半衰期为 74.2 天, 衰变时主要发射 0.136~1.062MeV 的 γ 射线, 常温下为固态, 毒性分组为中毒组。	III类	放射源配置在后装机内	浙环建 (2004) 58 号)	杭环辐评批 (2009) 0105 号
	3.7×10^{11}	1 枚				浙环辐 (2016) 24 号	待购买
^{68}Ge	3.5×10^6	1 枚	^{68}Ge 的半衰期为 287 天, 衰变方式为 β^+ 衰变, 衰变时主要发射出能量为 0.511MeV 的 γ 射线。常温下为固态, 毒性分组为中毒组。	V类	PET/CT 机头	浙环辐 (2016) 24 号	2018 年 4 月 2 号 自主验收
	1.85×10^7	1 枚		V类	PET/CT 机头		
^{68}Ge	-	1 枚		V类	PET/CT 机头		待购买
	-	1 枚		V类	PET/CT 机头		
^{68}Ge	4.6×10^7	2 枚		V类	PET/CT 机头	备案号: 202233010500000008	
	1.11×10^8	1 枚		V类	PET/CT 机头		

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
无	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量(Bq)	日等效最大操作量(Bq)	年最大用量(Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	¹⁸ F	液态低毒 半衰期 109.7min	生产	3.334×10 ¹⁰	3.334×10 ⁸	8.34×10 ¹²	核素制备	简单操作	回旋加速器楼1层核素制备区域	热室分装柜分装在注射器中,套上防护套,放置于铅罐通过通道送至核医学科储源室和小动物标记显像区域进行注射。
			使用	3.70×10 ⁷	3.70×10 ⁴	7.40×10 ⁸	小动物PET显像	很简单操作	小动物标记显像工作场所	
2	¹¹ C	液态低毒 半衰期 20.39min	生产	7.77×10 ⁸	7.77×10 ⁶	1.11×10 ⁹	核素制备	简单操作	回旋加速器楼1层核素制备区域	热室分装柜分装在注射器中,套上防护套,放置于铅罐通过通道送至核医学科储源室和小动物标记显像区域进行注射。
			使用	3.70×10 ⁷	3.70×10 ⁵	7.40×10 ⁸	小动物PET显像	简单操作	小动物标记显像工作场所	
			使用	7.40×10 ⁸	7.40×10 ⁶	3.70×10 ⁸	PET显像	简单操作	核医学科1层工作场所	
3	¹³ N	液态低毒 半衰期9.96min	生产	7.77×10 ⁸	7.77×10 ⁶	1.11×10 ⁹	核素制备	简单操作	回旋加速器楼1层核素制备区域	热室分装柜分装在注射器中,套上防护套,放置于铅罐通过通道送至核医学科储源室和小动物标记显像区域进行注射。
			使用	3.70×10 ⁷	3.70×10 ⁵	7.40×10 ⁸	小动物PET显像	简单操作	小动物标记显像工作场所	
			使用	7.40×10 ⁸	7.40×10 ⁶	3.70×10 ⁹	PET显像	简单操作	核医学科1层工作场所	
4	⁶⁴ Cu	液态低毒 半衰期12.7h	生产	7.77×10 ⁸	7.77×10 ⁶	3.89×10 ¹⁰	核素制备	简单操作	回旋加速器楼1层核素制备区域	热室分装柜分装在注射器中,套上防护套,放置于铅罐通过通道送至核医学科储源室和小动物标记显像区域进行注射。
			使用	3.70×10 ⁷	3.70×10 ⁵	7.40×10 ⁸	小动物PET显像	简单操作	小动物标记显像工作场所	

表 3 非密封放射性物质-续表

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
5	^{68}Ga	液态低毒 半衰期68.3min	生产	7.77×10^8	7.77×10^6	3.89×10^{10}	核素制备	简单操作	回旋加速器楼1层核素制备区域	热室分装柜分装在注射器中,套上防护套,放置于铅罐通过通道送至核医学科储源室和小动物标记显像区域进行注射。
			使用	3.70×10^7	3.70×10^5	7.40×10^8	小动物PET显像	简单操作	小动物标记显像工作场所	
6	^{89}Zr	液态中毒 半衰期78.41h	生产	6.29×10^8	6.29×10^7	3.15×10^{10}	核素制备	简单操作	回旋加速器楼1层核素区域	热室分装柜分装在注射器中,套上防护套,放置于铅罐通过通道送至核医学科储源室和小动物标记显像区域进行注射。
			使用	3.70×10^7	3.70×10^6	7.40×10^8	小动物PET显像	简单操作	小动物标记显像工作场所	
7	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液态低毒 半衰期为6.02h	使用	3.70×10^7	3.70×10^4	7.40×10^8	小动物SPECT显像	很简单操作	小动物标记显像工作场所	按需订购,由专业供应商分装好送至小动物标记显像区域进行注射。
8	^{131}I	液态中毒 半衰期8.04d	使用	3.90×10^{10}	3.90×10^9	5.20×10^{12}	甲癌治疗	简单操作	核医学科2层工作场所	按需订购,贮存于给药室。
9	^{177}Lu	液态中毒 半衰期 6.71d	使用	7.40×10^9	7.40×10^8	3.70×10^{11}	神经内分泌癌、前列腺癌治疗	简单操作	核医学科2层工作场所	按需订购,贮存于给药室。

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	回旋加速器	II	1	PETtrace800	质子	16.5MeV	使用	100μA	制备 PET 用放射性药物	回旋加速器楼 1 层核素制备区域	本次新增

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	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	小动物 PET/CT	III	1	IRIS	80	0.7	显像标记、实验研究	小动物标记显像区域 PET/CT 机房	本次新增
2	小动物 SPECT/CT	III	1	U-SPECT ⁶ /CT	65	0.7	显像标记、实验研究	小动物标记显像区域 SPECT/CT 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 (μA)	中子强度(n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
无													

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
核素制备区域放射性废气	气态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr	/	/	/	/	/	设置独立排风装置排入大气，拟设置高效过滤器+活性炭吸附二级处理装置。
小动物标记区域放射性废气	气态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	/	/	/	
核医学科 2 层工作场所放射性废气	气态	^{131}I 、 ^{177}Lu	/	/	/	/	/	
核素制备区域放射性废水	液态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr	/	/	57m ³	总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$	放射性废水暂存于 3 号楼东侧的衰变池，暂存 364 天后经监测达标后排入医院污水处理站。	经监测满足排放标准（总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ ，总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ，碘-131 活度浓度 $\leq 10\text{Bq/L}$ ），经审管部门认可后排入医院污水处理站。
小动物标记显像区域小动物尿液、清洗废水	液态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	25m ³	总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$		
核医学科 2 层工作场所放射性废水	液态	^{131}I 、 ^{177}Lu	/	/	560m ³	总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$		
核素制备区域放射性固废	维修更换的回旋加速器靶废料等	固态	感生放射性核素	/	/	50kg/a	/	按不同核素分类收集，其中含 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 等短半衰期的放射性固废暂存衰变 30 天，含 ^{89}Zr 放射性固废暂存衰变 10 个半衰期。
	放射性残留物及操作药物产生的放射性固废	固态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr	/	/	140kg/a	/	
	废活性炭	固态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr	/	/	20kg/a	/	
小动物标记显像区域放射性固废	沾有放射性核素的棉棒、注射器等放射性固废	固态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	14kg/a	/	按不同核素分类收集，其中含 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等短半衰期的放射性固废暂存衰变 30 天，含 ^{89}Zr 放射性固废暂存衰变 10 个半衰期。

	小动物尸体	固态	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	140kg/a	/	暂存于铅防护冰柜，其中含 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等短半衰期核素的小动物尸体暂存衰变30天，含 ^{89}Zr 核素的小动物尸体暂存衰变10个半衰期。	清洁解控后 委托有资质单位处置
核医学科2层工作场所放射性固废	沾有放射性核素的棉棒、注射器等放射性固废	固态	^{177}Lu 、 ^{131}I	/	/	2650kg/a	/	按不同核素分类收集，其中含 ^{131}I 的放射性固废暂存衰变180天，含 ^{177}Lu 放射性固废暂存衰变10个半衰期。	经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可进行清洁解控并作为医疗废物由有资质单位统一回收处理
	废活性炭	固态	^{131}I	/	/	10kg/a	/		
	感生放射性气体	气态	感生放射性核素	/	极少量	极少量	/	/	经排风管道排至回旋加速器楼顶排放
	非放气态废弃物	气态	臭氧(O_3)、氮氧化物	/	极少量	极少量	/	/	经各排风管道排至回旋加速器楼顶排放

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^3 ；年排放总量用 kg 。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度(Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m^3)和活度(Bq)。

3.核医学科1层工作场所新增使用的 ^{11}C 、 ^{13}N 放射性核素用量较少，产生的少量放射性三废依托核医学科1层工作场所的设施进行处理，不做定量描述。

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法(2014年修订)》，主席令第九号，2015年1月1日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法(2018年修订)》，主席令第二十四号，2018年12月29日起施行；</p> <p>(3) 《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，2003年10月1日起施行)；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》(国务院令第682号，2017年10月1日起施行)；</p> <p>(5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021年版)》(中华人民共和国生态环境部令第16号)，自2021年1月1日起施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第709号修订，2019年3月2日施行)；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法(2021年修正本)》(生态环境部令第20号，2021年1月4日施行)；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(原环境保护部令第18号，2011年5月1日起施行)；</p> <p>(9) 《放射工作人员职业健康管理办法》，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>(10) 《关于发布射线装置分类的公告》(原环境保护部国家卫生和计划生育委员会2017年第66号，2017年12月5日施行)；</p> <p>(11) 《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>(12) 《国家级森林公园管理办法》(国家林业局令第27号)；</p> <p>(13) 《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>(14) 《关于发布<建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部公告2019年第38号，2019年10月24日施行；</p> <p>(15) 《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>(16) 《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，2019年12月24日施行；</p> <p>(17) 《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》(国家环保总局，环发[2006]145号)；</p> <p>(18) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》，2021年省政府令第388号修订，2021年2月10日修订；</p> <p>(19) 《浙江省辐射环境管理办法》，2021年省政府令第388号，2021年2月10日修订；</p>
------	---

	<p>(20) 《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日起施行；</p> <p>(21) 《浙江省公益林和森林公园条例》（2018年浙江省人大常委会）；</p> <p>(22) 《杭州半山国家森林公园总体规划》（2018~2027年）。</p>
<p style="text-align: center;">技 术 标 准</p>	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(3) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）；</p> <p>(4) 《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）；</p> <p>(5) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；</p> <p>(6) 《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85）；</p> <p>(7) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）；</p> <p>(8) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>(9) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(10) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）。</p>
<p style="text-align: center;">其 他</p>	<p>(1) 环评委托书；</p> <p>(2) 建设单位提供的其它相关技术资料。</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》（HJ 10.1-2016）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），确定本项目的评价范围为本项目回旋加速器楼、3 号楼工作场所的实体边界外 50m 区域，评价范围示意图见附图 2。

7.2 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。具体详见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标一览表

方位	敏感点位置描述	环境保护目标	规模	与场所边界最近距离
工作场所内	回旋加速器控制室、热室、质控室	辐射工作人员	5 人	/
	小动物实验控制室、注射台	辐射工作人员	4 人	/
	碘分装操作室、抢救室	辐射工作人员	6 人	
	核医学科 1 层工作场所内	辐射工作人员	依托现有	/
东侧	景区道路	公众	流动人群	紧邻
	杭州半山国家森林公园	公众	流动人群	10m
	3 号楼 1 层候诊室	公众	流动人群	紧邻
东北侧	杭州基督教会半山堂	公众	约 5 人	40m
南侧	停车场	公众	500 人/天	紧邻
	2 号楼	公众	约 50 人	20m
西侧	院内道路	公众	100 人/天	紧邻
北侧	杭州自富汽车修理有限公司	公众	约 30 人	10m
四周	回旋加速器楼、3 号楼内其他工作人员与公众	公众	约 15 人	50 米范围内
上方	回旋加速器楼、3 号楼内	公众	约 30 人	紧邻

	其他工作人员与公众			
<p>注：本项目环境保护目标中含有杭州半山国家森林公园，本项目位于医院现有院区内，不跨越杭州半山国家森林公园，符合《国家级森林公园管理办法》（国家林业局令第 27 号）等相关法规的规定；本项目选址已获得《杭州市临时建设规划工程许可证》，符合杭州市主体功能区划及土地利用规划；且本项目主要污染因子为电离辐射，对杭州半山国家森林公园影响极小，故本项目不设生态专项评价。</p>				

7.3 评价标准

7.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

（1）豁免和解控

4.2.4 豁免

4.2.4.1 如果源符合下列条件之一，并经审管部门确认和同意，则该源或利用该源的实践可以被本标准的要求所豁免：

- a) 符合本标准附录 A（标准的附录）中所规定的豁免要求；
- b) 符合审管部门根据本标准附录 A（标准的附录）规定的豁免准则所确定的豁免水平。

4.2.4.2 对于尚未被证明为正当的实践不应予以豁免。

4.2.5 解控

4.2.5.1 已知或已获准实践中的源（包括物质、材料和物品），如果符合审管部门规定的清洁解控水平，则经审管部门认可，可以不在遵循本标准的要求，即可以将其解控。

4.2.5.2 除非审管部门另有规定，否则清洁解控水平的确定应考虑本标准附录 A（标准的附录）所规定的豁免准则，并且所定出的清洁解控水平不应高于本标准附录 A（标准的附录）中规定的或审管部门根据该附录规定的准则所建立的豁免水平。

（2）剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

B1.1 职业照射

B1.1.1.1 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

- 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

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

- a) 年有效剂量，1mSv；

本项目辐射工作人员和公众人员取国家标准的 1/10~1/4 作为剂量约束值（即：辐射

工作人员年有效剂量不超过 5mSv；根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)，公众人员年有效剂量不超过 0.1mSv。

(3) 分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 要求，应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

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

6.4.2 监督区

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

(4) 表面放射性污染的控制

工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B（标准的附录 B）B2 所规定的限制要求。

B2 表面污染控制水平

工作场所的表面污染控制水平如表 B11 所列。

表 B11 工作场所的放射性表面污染控制水平 (Bq/cm²)

表面类型		β 放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4×10 ¹
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻¹
1) 该区内的高污染子区除外		

(5) 非密封源工作场所的分级

C1 非密封源工作场所分级

应按表 C1 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 C1 非密封源工作场所的分级

级 别	日等效最大操作量/Bq
甲	>4×10 ⁹
乙	2×10 ⁷ ~4×10 ⁹
丙	豁免活度值以上~2×10 ⁷

7.3.3 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

4.2 辐射工作场所分级

应按照 GB18871 的规定，将辐射工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分为甲级、乙级和丙级。核医学常用放射性核素的毒性与操作方式修正因子可参考附录 A。

4.3 辐射工作场所分区

4.3.1 应按照 GB18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。

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、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。

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。

4.4 剂量限值与剂量约束值

4.4.1 剂量限值

核医学工作人员职业照射剂量限值应符合 GB18871 附录 B 中 B1.1 的相关规定，核医学实践使公众成员所受到的剂量照射限值应符合 GB18871 附录 B 中 B1.2 的相关规定。

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照 GB18871 执行。

4.5 服药患者出院要求

4.5.1 为确保放射性核素治疗患者出院后，不至于使接触患者的家庭成员及公众超过相关的剂量约束或剂量限值，出院患者体内放射性核素活度应符合附录 B 的相关规定。

4.5.2 接受碘-131 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至 400 MBq 以下或距离

患者体表 1 米处的周围剂量当量率不大于 $25 \mu\text{Sv/h}$ 方可出院。

5 选址和布局

5.1 选址

5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。

5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

5.2 布局

5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。

5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。

5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。

6 工作场所的辐射安全与防护

6.1 屏蔽要求

6.1.1 核医学场所屏蔽层设计应适当保守，按照可能使用的最大放射性活度、最长时间和最短距离进行计算。

6.1.3 回旋加速器机房的建造应避免采用富含铁矿物质的混凝土，避免混凝土中采用重晶石或铁作为骨料；不带自屏蔽的回旋加速器应有单独的设备间，机房选择不易中子活化的混凝土材料。

6.1.4 回旋加速器机房的电缆管沟、通风管道等穿过屏蔽体时，应采用地沟或 S 型、V 型、Z 型穿过墙壁，并进行屏蔽补偿，确保满足屏蔽体墙外的防护要求。防护门与墙

体连接处应进行有效搭接，避免出现防护薄弱环节。

6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

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

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

6.2 场所安全措施要求

6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。

6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。

6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。

6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。

6.2.8 回旋加速器机房应设置门机联锁装置和延时开门措施，机房内应设置紧急停机开关、紧急开门按钮及清场措施，并安装固定式剂量率报警仪。机房门口应有声光报警装置和工作状态指示灯，并与加速器联锁。

6.3 密闭和通风要求

6.3.1 核医学工作场所应保持有良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

6.3.2 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。

6.3.3 碘-131 治疗病房应设有单独的通风系统，病房的门窗应有封闭措施，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。

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

7 放射性废物的管理

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.1 固体放射性废物收集

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

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

7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过 20 kg。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

7.2.2 固体放射性废物贮存

7.2.2.1 产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。

7.2.2.2 放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

7.2.2.3 废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。

7.2.2.4 含放射性的实验动物尸体或器官应装入废物袋做好防腐措施（如存放至专用冰柜内），并做好屏蔽防护。不需要特殊防护措施即可处理的尸体含放射性常用核素的

上限值见附录 C。

7.2.2.5 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08 Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8 Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

- a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；
- b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；
- c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

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

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

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.1 放射性废液收集

7.3.1.1 放射性废液收集核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。

7.3.1.2 医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。

7.3.1.3 核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应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、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

7.3.1.4 放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。

7.3.2 放射性废液贮存

7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。

7.3.2.2 含碘-131 治疗病房的核医学工作场所应设置槽式废液衰变池。槽式废液衰变池应由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为 2 组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上预设取样口。有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10 Bq/L。

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

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

7.4 气态放射性废物的管理

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。

7.3.4 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）

7.1.2 应从源头控制，减少放射性废物的产生，防止污染扩散。

7.1.3 应分类收储废物，采取有效方法尽可能进行减容或再利用，努力实现废物最小化。

7.1.4 应做好废物产生、处理、处置（包括排放）的记录，建档保存。

7.2.1 不得将放射性废液排入普通下水道；不允许利用生活污水系统洗涤被放射性污染的物品。

7.2.2 废液应妥善地收集在密闭的容器内。盛装废液的容器，除了其材质应不易吸附放射性物质外，还应采取适当措施保证在容器万一破损时其中的废液仍能收集处理。遇有强外照射时，废液收集地点应有外照射防护措施。

7.2.3 经过处理的废液在向环境排放前，应先送往监测槽逐槽分析，符合排放标准后方可排放。

7.3.5 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)

该标准适用于医疗机构污水排放的控制，医疗机构建设项目的环境影响评价、环境保护设施设计、竣工验收及验收后的排放管理。

4.1.2 县级及县级以上或 20 张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表 2 的规定。直接或间接排入地表水体和海域的污水执行排放标准，排入终端已建有正常运行城镇污水处理厂的下水道的污水，执行预处理标准。

5.4 医疗机构的各种特殊排水应单独收集并进行处理后，再排入医院污水处理站。

5.4.1 低放射性废水应经衰变池处理

表 2 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放标准（日均值）

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

6.1 污水取样与及监测

6.1.1 应按规定设置科室处理设施排出口和单位污水外排口，并设置排放口标志。

6.1.2 总 α 、总 β 在衰变池出口取样监测。

本项目适用于上述表 2 中预处理标准，医院衰变池排放口排放限值执行该标准：放射性废水衰变池排放口总 β 小于 10Bq/L。

7.3.6 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)

5 工作场所的放射防护要求

5.1 工作场所平面布局和分区

5.1.1 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻

接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。

5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：

- a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；
- b) 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰；
- c) 在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射；
- d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。

5.1.3 核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。其功能设置要求如下：

a) 对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室（可含质控室）、给药后患者或受检者候诊室(根据放射性核素防护特性分别设置)、质控（样品测量）室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房；

b) 对于单一的治疗工作场所应设置放射性药物贮存室、分装及药物准备室、给药室、病房（使用非密封源治疗患者）或给药后留观区、给药后患者专用卫生间、值班室和放置急救设施的区域等功能用房；

c) 诊断工作场所和治疗工作场所都需要设置清洁用品储存场所、员工休息室、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房；

d) 对于综合性的核医学工作场所，部分功能用房和辅助用房可以共同利用；

e) 正电子药物制备工作场所至少应包括回旋加速器机房工作区、药物制备区、药物分装区及质控区等。

5.1.5 核医学工作场所的布局应有助于开展工作，避免无关人员通过。治疗区域和诊断区域应相对分开布置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定核医学治疗区(病房)的位置及其放射防护要求，给药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和给药后患者或受检者通过非放射性区域。

5.1.6 通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者

不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理；便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。

5.1.7 应通过工作场所平面布局的设计和屏蔽手段，避免附近的辐射源（核医学周边场所内的辐射装置、给药后患者或受检者）对诊断区设备成像、功能检测的影响。

5.2 放射防护措施要求

5.2.1 核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应防护措施。

5.2.2 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为I、II、III三类。不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表 1。

表 1 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本方式防护要求

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

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。

核医学工作场所分类见表 G.1。

表 G.1 核医学工作场所分类一览表

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

核医学工作场所分类的加权活度计算方法如下：

$$\text{加权活度} = \frac{\text{计划的日操作最大活度} \times \text{核素的毒性权重因子}}{\text{操作性质修正因子}}$$

核医学常用放射性核素的毒性权重因子相关参数见表 G.2，不同操作性质的修正因子取值见表 G.3。

表 G.2 核医学常用放射性核素的毒性权重因子

类别	放射性核素	核素的毒性因子
A	^{75}Se 、 ^{89}Sr 、 ^{125}I 、 ^{131}I	100
B	^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F 、 ^{51}Cr 、 ^{67}Ge 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{111}In 、 ^{123}I 、 ^{201}Tl	1
C	^3H 、 ^{14}C 、 $^{81\text{m}}\text{Kr}$ 、 ^{127}Xe 、 ^{133}Xe	0.01

表 G.3 不同操作性质的修正因子

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

5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内屏蔽体外表面 0.3 m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，宜不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。

8 医用放射性废物的放射防护管理要求

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

8.2 设废物储存登记表，记录废物主要特性和处理过程，并存档备案。

8.3 放射性废液衰变池应合理布局，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，并有防泄漏措施。

8.4 开展放射性药物治疗的医疗机构，应为住院治疗患者或受检者提供有防护标志的专用厕所，专用厕所应具备使患者或受检者排泄物迅速全部冲入放射性废液衰变池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

8.5 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。在注射室、注射后

病人候诊室、给药室等位置放置污物桶。

8.6 污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，及时转送存储室，放入专用容器中存储。

8.7 对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内。

8.8 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，质量不超过 20kg。

8.9 储存场所应具有通风设施，出入口设电离辐射警告标志。

8.10 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器应安全可靠，并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。

8.11 废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

7.3.7 工作场所中臭氧、氮氧化物浓度限值

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)及第 1 号修改单：

工作场所空气中臭氧的最高容许浓度为 0.3mg/m^3 、氮氧化物的时间加权平均容许浓度为 5mg/m^3 。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置和场所位置

浙江省肿瘤医院总院半山院区位于杭州市拱墅区半山东路 1 号,医院东侧靠近杭州半山国家森林公园,东南侧靠近秋石高架路、浙江建设技师学院,南侧靠近杭州市半山实验小学,西侧与田园公寓相邻,北侧与杭州自富汽车修理有限公司、杭州基督教会半山堂相邻。地理位置示意图见附图 1。

本项目回旋加速器楼位于 3 号楼东北侧,回旋加速器楼东侧紧邻为景区道路,东侧 10m 为杭州半山国家森林公园,南侧紧邻为停车场,南侧 42m 为 2 号楼,西南侧紧邻 3 号楼,西侧紧邻为医院内部道路,北侧 10m 为杭州自富汽车修理有限公司,东北侧 40m 为杭州基督教会半山堂,北侧 12m 为杭州自富汽车修理有限公司。本项目 3 号楼东北侧紧邻回旋加速器楼,东侧为停车场,南侧 20m 为 2 号楼,西侧紧邻为医院内部道路,北侧 20m 为杭州自富汽车修理有限公司,东北侧 50m 为杭州基督教会半山堂。

8.2 医院空气与土壤监测情况

根据浙江国辐环保科技有限公司出具的《中国科学院大学附属肿瘤医院(浙江省肿瘤医院)重离子治疗系统项目环境现状检测》(浙国辐(WT)字 2020 第 283 号),医院东南侧区域气溶胶中总 α 放射性活度浓度为 0.02mBq m^{-3} ,总 β 放射性活度浓度为 0.54mBq m^{-3} ,气溶胶中 ^7Be 、 ^{40}K 等核素含量以及气碘中 ^{131}I 、气氚中 ^3H 核素含量均未见异常。医院附近地表水中总 α 放射性活度浓度为 $<0.03\text{Bq/L}$,总 β 放射性活度浓度为 0.03Bq/L ,地表水中 ^7Be 、 ^{40}K 等核素含量均未见异常。医院东南侧区域土壤中总 α 放射性比活度为 384Bq/kg ,总 β 放射性比活度为 780Bq/kg ,土壤中 ^7Be 、 ^{40}K 等核素含量均未见异常。

8.3 贯穿辐射现状水平

8.3.1 环境现状评价对象

辐射工作场所周围环境辐射水平。

8.3.2 监测因子

γ 辐射剂量率、 β 表面污染、中子当量剂量率。

8.2.3 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~图 8-2。

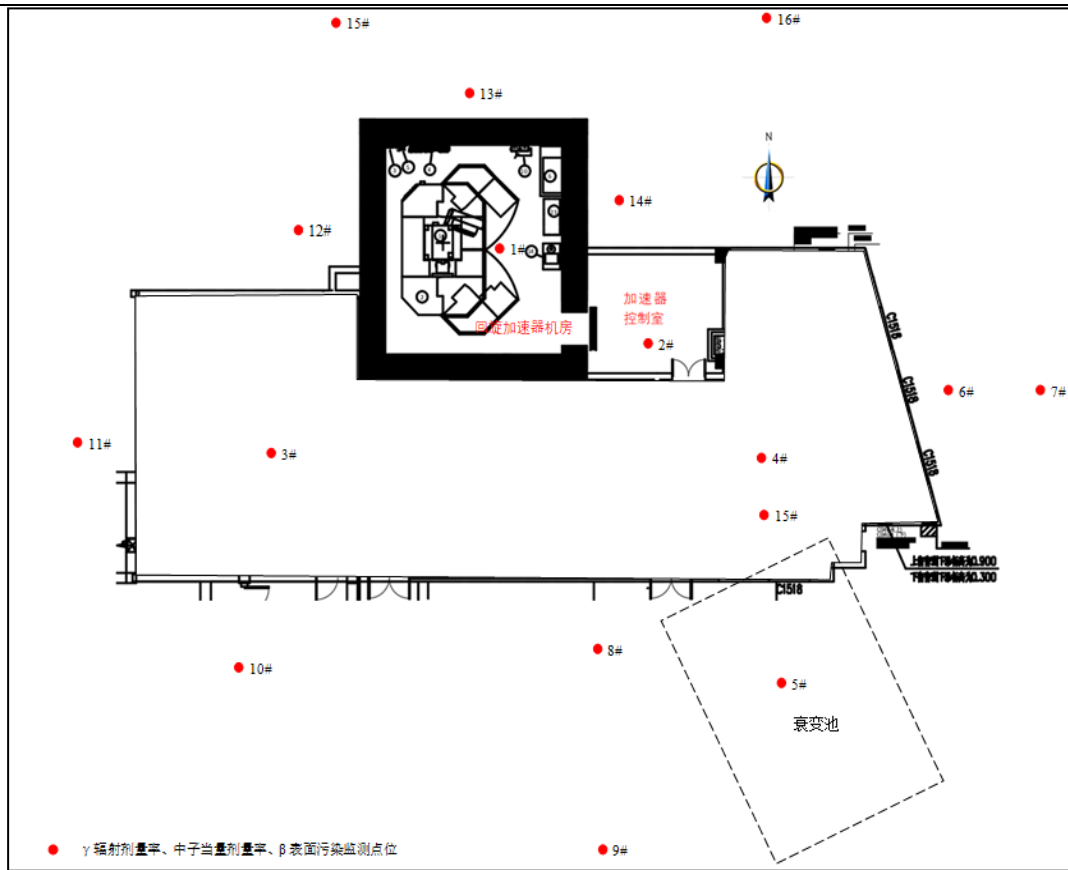


图 8-1 回旋加速器楼 1 层辐射质量现状监测点位图

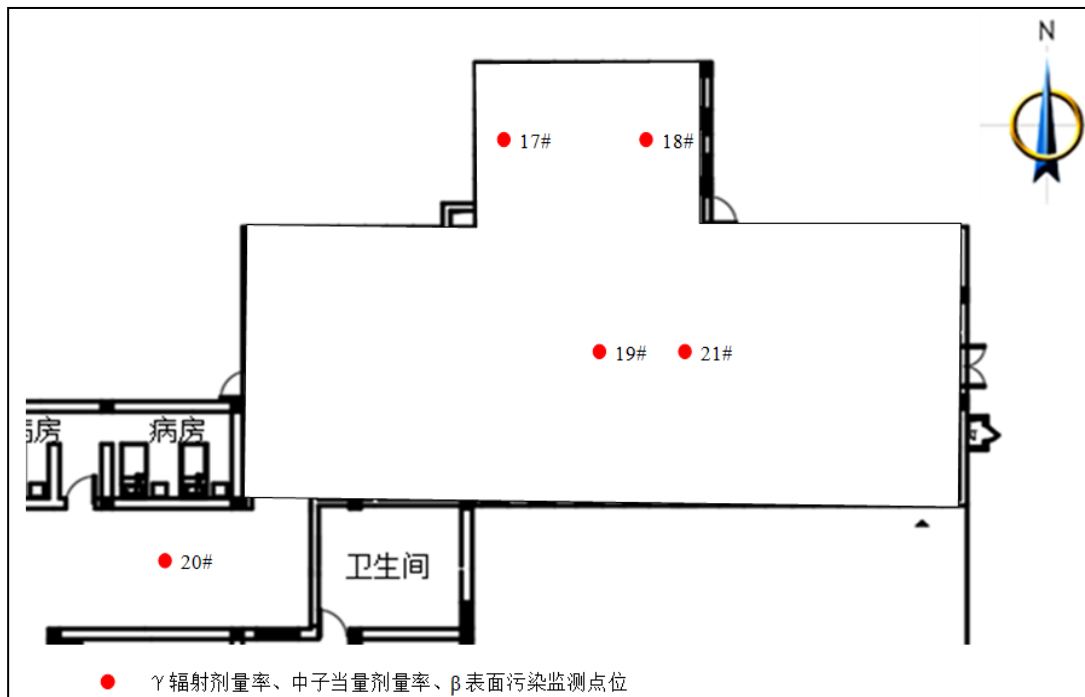


图 8-2 回旋加速器楼 2 层辐射质量现状监测点位图

8.3 监测方案、质量保证措施及监测结果

8.3.1 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：2022 年 12 月 22 日。

(3) 监测方式：现场检测。

(4) 监测依据：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《表面污染测定 第 1 部分： β 发射体（ $E_{\beta_{\max}} > 0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/T14056.1-2008）。

(5) 监测频次：依据上述标准予以确定。

(6) 监测工况：本项目工作场所未进行建设，均为辐射背景值监测。

(7) 天气环境条件：天气，阴；温度，12℃；相对湿度：32%。

(8) 监测报告编号：浙亿检（放）字 FH2022 第 0195 号

(9) 监测设备

表 8-1 监测设备

检测仪器	x、 γ 辐射周围剂量当量率仪	α 、 β 表面污染仪	中子剂量当量率仪
仪器型号	6150 AD 6/H (内置探头：6150 AD-b/H 外置探头： 6150 AD 6/H)	CoMo-170	BH3105
仪器编号	167510+165455	9950	001
生产厂家	Automess	德国 NUZIA	中核（北京）核仪器厂
量 程	内置探头：0.05 $\mu\text{Sv/h}$ ~ 99.99 $\mu\text{Sv/h}$	β/γ ：0-20000cps	0.1 $\mu\text{Sv/h}$ ~999.9 mSv/h
能量范围	内置探头：20keV-7MeV $\leq\pm 30\%$ 外置探头：60keV-1.3MeV $\leq\pm 30\%$	---	热中子~14MeV
检定证书编号	2022H21-20-3813605002	2022H21-20-4005339001	DLjs2022-01514
检定证书有效期	2022 年 02 月 18 日~ 2023 年 02 月 17 日	2022 年 07 月 18 日 ~2023 年 07 月 17 日	2022 年 07 月 28 日 ~2023 年 07 月 27 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	中国计量科学研究院
校准因子 C_f /表	1.09	(β ：49.54) $\text{s}^{-1}\text{Bq}^{-1}\text{cm}^2$	1.140
探测限	$\geq 10\text{nSv/h}$	β ： $\geq 0.06\text{Bq/cm}^2$	0.1 $\mu\text{Sv/h}$

8.3.2 质量保证措施

根据《环境 γ 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。

8.3.3 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 本项目拟建场所及周围辐射监测结果

监测的环境条件	天气：晴	环境温度：12°C		相对湿度：32%	
点位编号	点位描述	γ 辐射空气吸收剂量率 (nGy/h)		β 表面污染 (Bq/cm ²)	中子剂量当量率 (μSv/h)
		平均值	标准差		
1#	回旋加速器机房	156	3	0.09	<LLD ₂
2#	控制室	162	2	0.11	<LLD ₂
3#	拟建热室等场址	161	2	0.10	<LLD ₂
4#	拟建小动物显像标记工作场所 (1 层) 场址	154	2	0.09	<LLD ₂
5#	拟建衰变池	81	4	0.15	<LLD ₂
6#	东侧景区道路	90	2	0.16	<LLD ₂
7#	杭州半山国家森林公园	93	2	0.13	<LLD ₂

8#	南侧停车场	95	2	0.17	<LLD ₂
9#	南侧 2 号楼	161	2	0.15	<LLD ₂
10#	西南侧 3 号楼	148	2	0.68	<LLD ₂
11#	西侧内部道路	89	1	0.12	<LLD ₂
12#	加速器机房西侧	94	3	0.16	<LLD ₂
13#	加速器机房北侧	92	3	0.19	<LLD ₂
14#	加速器机房东侧	95	1	0.18	<LLD ₂
15#	杭州自富汽车修理有限公司	90	4	0.19	<LLD ₂
16#	杭州基督教会半山堂	92	1	0.16	<LLD ₂
17#	拟建小动物显像标记区域（2 层）场址	158	2	0.12	<LLD ₂
18#	拟建加速器辅助房间	155	1	0.16	<LLD ₂
19#	拟建治疗病房	163	2	0.15	<LLD ₂
20#	2 号楼 2 层工作场所	162	1	0.99	<LLD ₂
21#	回旋加速器楼 3 层	135	2	0.08	<LLD ₂

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 ¹³⁷Cs 作为检定/校准参考辐射系数取 1.20Sv/Gy；

3、 γ 辐射空气吸收剂量率均已扣除宇宙射线响应值 30nGy/h，本样品中建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子，1#~4#、9#~11#点位取 0.8，5#~8#、11#~16#点位取 1；

4、 β 表面污染的探测限为 0.06 Bq/cm²，记为 LLD₁；

5、中子剂量当量率仪的探测下限为 0.1 μ Sv/h，记为 LLD₂。

8.4 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中子剂量当量率低于检测限，未见异常； β 表面污染水平监测值为 0.08~0.99 Bq/cm²，未见异常。各监测点位室内的 γ 辐射剂量率 135nGy/h~163nGy/h 之间，室外的 γ 辐射剂量率在 81nGy/h~95nGy/h 之间。根据《浙江省环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，杭州市室内 γ 辐射剂量率范围为（56-443）nGy/h，杭州市道路上 γ 辐射剂量率范围为（28-220）nGy/h，可见项目所在地的天然贯穿辐射水平为正常本底水平。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 建设阶段工程分析

9.1.1 建设阶段工程分析

本项目建设阶段工艺流程及产污环节如下：

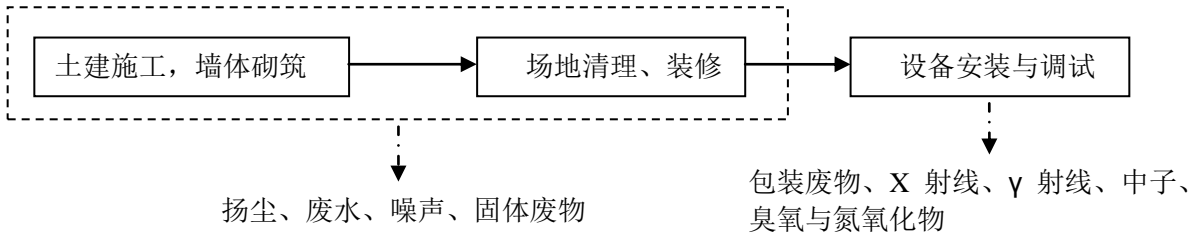


图 9-1 本项目建设阶段工艺流程及产污环节图

本项目施工期污染物主要包括：

(1) 扬尘

建设单位应加强施工场地管理，施工采取湿法作业，尽量降低建筑粉尘对周围环境的影响，现场堆积建筑垃圾应采取一定的遮盖措施，避免风力扬尘。

(2) 噪声

施工设备应考虑选择低噪音设备，施工过程防止机械噪声的超标。

(3) 废水

施工期产生的废水主要为施工人员的生活污水，生活污水产量较小，可依托建设单位化粪池等生活污水处理设施处理后纳入市政污水管网，不得随意排放。

(4) 固体废物

装修过程中产生的装修垃圾堆放在住建部门指定的地点，严禁随意堆放和倾倒。施工人员产生的生活垃圾可依托市政垃圾收运系统收集处理。

(5) 设备调试阶段

本项目调试阶段回旋加速器会产生 γ 射线、中子、臭氧和氮氧化物，小动物射线装置会产生 X 射线、臭氧和氮氧化物，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，张贴电离辐射警告标志，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。

9.1.2 建设阶段污染源项

本项目施工期污染因子主要为扬尘、废水、噪声、固体废物；设备调试期污染因子主要为 γ 射线、X 射线、中子、臭氧和氮氧化物。

9.2 营运期工程分析

9.2.1 原有核医学科工程分析

由于医院《浙江省肿瘤医院核医学科、介入科与直线加速器改扩建项目环境影响报告表》虽获得杭州市生态环境局的环评批复（杭环辐评批[2022]11号），但是该项目核医学科工作场所暂时未实施，因此原有核医学科工作场所仍然以实际的运行情况来介绍。

9.2.1.1 原有核医学科1层工作场所工程分析

(1) 平面布局情况

原核医学科 1 层主要为放射性废物库（1 间）、患者专用卫生间（1 间）、SPECT 候诊室（1 间）、PET 候诊室（1 间）、分装注射室（2 间）、待注室（1 间）、卫生通过间（1 间）、注射前候诊区（1 处）、SPECT 机房（3 间）、SPECT 控制室（2 间）、备用室（3 间）、输液室（1 间）、咨询预约室（1 间）、配电间（1 间）、PET/CT 机房（1 间）、PET 控制室（1 间）等。平面布局情况见图 9-2。

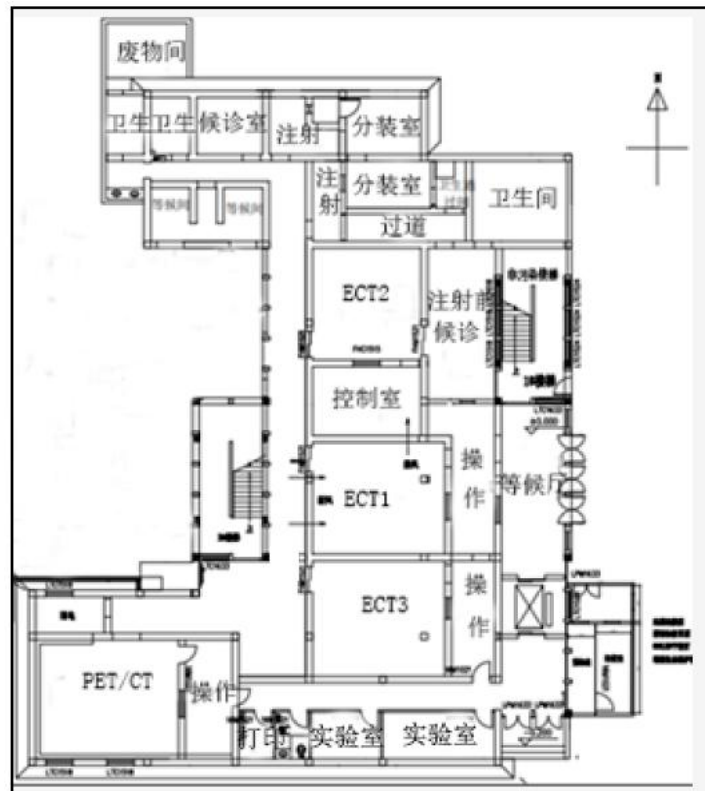


图 9-2 原核医学科 1 层平面布置图

(2) 原有核医学科 1 层射线装置、放射性同位素、放射源使用情况

原有核医学科 1 层射线装置、放射性同位素、放射源使用情况见表 9-1，表 9-2 和表 9-3。

表 9-1 原核医学科 1 层工作场所使用的射线装置情况

装置名称	数量	型号	类别	用途	场所
SPECT/CT	1	InfiniaHawkeye4	Ⅲ类	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	院内核医学科: 3 号楼 1 楼 SPETCT 机房 1
双探头 ECT	1	PhilipsForte	Ⅲ类	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	院内核医学科: 3 号楼 1 楼 SPETCT 机房 2
SPECT/CT	1	GEDiscovery NM/CT670	Ⅲ类	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	院内核医学科: 3 号楼 1 楼 SPETCT 机房 3
PET/CT	1	GEPET/CT710	Ⅲ类	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	院内核医学科: 3 号楼 1 楼 PET/CT 机房

表 9-2 原核医学科 1 层工作场所使用放射性同位素情况

放射性同位素	年使用量 (Bq)	日等效最大操作量	工作场所级别
¹⁸ F	4.63×10^{12}	1.85×10^7	乙级
^{99m} Tc	1.85×10^{13}	7.40×10^7	
⁶⁷ Ga	4.63×10^{11}	1.85×10^8	
²⁰¹ Tl	4.63×10^{11}	1.85×10^7	
¹²⁵ I	2.22×10^{10}	8.88×10^6	
¹²⁵ I (粒子)	3.99×10^{11}	/	
³² P	1.78×10^{12}	7.12×10^8	
⁸⁹ Sr	2.31×10^{11}	9.25×10^7	
¹⁵³ Sm	2.31×10^{12}	9.25×10^8	
¹⁸⁸ Re	2.31×10^{12}	9.25×10^8	

表 9-3 原核医学科 1 层工作场所使用放射源情况

序号	核素	类别	总活度 (贝可) / 活度 (贝可) × 枚数	使用场所
1	⁶⁸ Ge	V	$4.63 \times 10^7 \times 2$	院内核医学科
2	⁶⁸ Ge	V	$9.25 \times 10^7 \times 2$	院内核医学科

(3) 原有核医学科 1 层工作场所人员配置及工作班制

原有核医学科 1 层工作场所由核医学科 15 名工作人员承担, 年工作 250 天, 每天工作 8 小时。

(4) 原有核医学科 1 层工作场所屏蔽防护情况

表 9-4 原核医学科 1 层工作场所主要用房屏蔽情况

名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
SPECT 机房	四周墙体	37cm 实心砖+3mmPb 防护涂料
	顶棚	15cm 混凝土+3mmPb 铅板
	地坪	土层
	防护门	5mmPb
	观察窗	5mmPb 铅玻璃

PET 机房	四周墙体	37cm 实心砖+3mmPb 防护涂料
	顶棚	15cm 混凝土+3mmPb 铅板
	地坪	土层
	防护门	5mmPb
	观察窗	5mmPb 铅玻璃
ECT 机房 1	四周墙体	37cm 实心墙+4mmPb 防护涂料
	顶棚	15cm 混凝土+4mmPb 铅板
	地坪	土层
	防护门	5mmPb
	观察窗	5mmPb 铅玻璃
ECT 机房 2	四周墙体	37cm 实心墙+4mmPb 防护涂料
	顶棚	15cm 混凝土+4mmPb 铅板
	地坪	土层
	防护门	5mmPb
	观察窗	5mmPb
分装注射室	四周墙体	24cm 实心砖+2mmPb 防护涂料
	顶棚	15cm 混凝土
	地坪	土层
	防护门	5mmPb
	注射窗	5mmPb 铅玻璃
候诊室	四周墙体	37cm 实心砖
	顶棚	15cm 混凝土+3mmPb 防护涂料
	地坪	土层
	防护门	5mmPb
	观察窗	5mmPb 铅玻璃
放射性废物库	四周墙体	37cm 实心砖+3mmPb 防护涂料
	顶棚	15cm 混凝土+3mmPb 铅板
	地坪	土层
	防护门	5mmPb

(5) 原有核医学科 1 层工作场所“三废”治理措施及落实情况

① 现有放射性废气处理措施

a、核医学科 1 层工作场所设置了 1 个通风柜，通风橱有足够风速（不小于 1m/s），通风柜有独立的通风管道，排气口位于 3 号楼北侧楼顶，且高于本建筑屋脊，排气口前设有过滤器+活性炭吸附处理装置；

b、核医学科 1 层工作场所控制区设置了通排风系统，排风量为 1850m³/h；

c、过滤器+活性炭吸附处理装置的活性炭每半年请设备厂家更换一次，废活性炭作为放射性固废处理。

② 现有放射性废水处理措施

a、根据医院提供的资料和现场踏勘，在核医学楼东南侧设有 1 套的衰变池处理系统，有 4 只地理式衰变池，总有效容积为 78.8m³，用于存放核医学科 1 层工作场所产生的废

水。东南侧 4 只衰变池底部、池壁及顶板混凝土均为 25cm 混凝土浇筑，内表面做耐酸碱处理，通往衰变池的管道均埋于地下。

b、以往年度医院委托浙江中一检测研究院股份有限公司对衰变池废水进行检测，并出具合格报告，确保废水排放能够满足 GB18871-2002 的排放要求。

c、总务科安排专职人员定期对废液流经路线进行检查，并做好相关重要位置检查记录，时刻做好防渗、防漏工作，确保放射性废水流经路径和衰变池周边环境正常。如发现异常情况，请及时上报放射防护安全管理委员会。

d、核医学科做好放射性废水和衰变池周边剂量监测工作，并记录监测时间，监测地点，监测数据，监测人，形成台账。如发现异常情况，请及时上报放射防护安全管理委员会。

③现有放射性固废处理措施

核医学科相关工作场所的放射性固体废物收集在专用污物桶内，再将污物桶内的固体废物连同垃圾袋存放到放射性废物库内，集中收储 30 天或 10 个半衰期达到清洁解控标准后，再与医院的其他固体废物一起作为普通医疗废物委托杭州大地维康医疗环保有限公司处理处置。

a、放射性废物与非放射性废物分类收集，设置了专门的放射性废物暂存库。

b、不同场所、不同类型放射性核素的固体废物先收集在各自相关工作场所的专用污物桶内，再将污物桶内的固体废物连同垃圾袋分期存放到放射性废物库内，集中收储 30 天或 10 个半衰期达到清洁解控标准后作为普通医疗废物处置。

c、供收集的专用污物桶具有外防护层并设置了电离辐射标志，内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋外加不易刺破的外套包装。

e、污物桶放置于放射性废物库内，设置了废物处理台账，记录封袋日期与处理日期、核素名称、废物重量、封袋时剂量率与处理时剂量率、暂存时间、处理人与核对人等信息。

(6) 达标排放情况

根据《浙江省肿瘤医院医用放射性同位素应用项目（扩建）建设项目竣工环境保护验收监测表》（浙辐监（YS）字（2013）第 149 号），正常运行工况下医务人员在注射时穿戴铅衣，并且有铅玻璃屏风屏蔽。在 ECT1、ECT2 扫描室有病人在检查时，机房周围环境 γ 剂量当量率与环境本底水平相当，表明扫描室的屏蔽能力符合防护要求；在分装和注射 ^{99m}Tc 时，医生穿戴好铅衣等辐射防护用品，放射性药物分装室和给药台、地

面、洗手间等 β 表面污染均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中所规定的控制区限制要求。PET/CT 机房工作前, 机房及周围环境辐射剂量率在 0.10~0.16 $\mu\text{Sv/h}$ 之间; 开机作业时, 机房及周围环境辐射剂量率在 0.13~0.30 $\mu\text{Sv/h}$ 之间。监测结果表明, 该 PET-CT 机房周围剂量率小于《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)的 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 控制目标值。

废物桶表面辐射剂量率在 0.16~0.37 $\mu\text{Sv/h}$ 之间, 小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。工作场所工作前, 控制区边界各监测点辐射剂量率在 0.14~0.15 $\mu\text{Sv/h}$ 之间, 监督区边界各监测点辐射剂量率在 0.12~0.15 $\mu\text{Sv/h}$ 之间。工作时, 控制区边界各监测点辐射剂量率在 0.15~0.70 $\mu\text{Sv/h}$ 之间, 监督区边界各监测点辐射剂量率在 0.13~0.16 $\mu\text{Sv/h}$ 之间。控制区、监督区边界辐射剂量率均小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$, 符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)的相关要求。

控制区各监测点位的 β 表面污染在 <0.09~2.192 Bq/cm^2 之间, 监督区各监测点位的 β 表面污染在 <0.09~0.229 Bq/cm^2 之间, 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的放射性污染控制标准要求。

外排废水中总 β 放射性为 0.52 \pm 0.02 Bq/L 。监测结果表明, 外排废水放射性小于《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)规定的总 β 放射性为 10 Bq/L 限值标准。

(8) 原有核医学科 1 层工作场所存在的主要问题及改进措施

原有核医学科 1 层工作场所存在的主要问题及改进措施已在核医学科 2022 年改扩建项目《浙江省肿瘤医院核医学科、介入科与直线加速器改扩建项目环境影响报告表》中进行了详细的分析。

9.2.1.2 原有核医学科 2 层工作场所工程分析

(1) 平面布局情况

主要为核素治疗病房 (16 个床位)、开水间 (1 间)、病人卫生间 (1 间)、给药室 (1 间)、卫生通过间 (1 间)、控制室 (1 间)、护士站、普通病房 (2 间) 等工作用房。

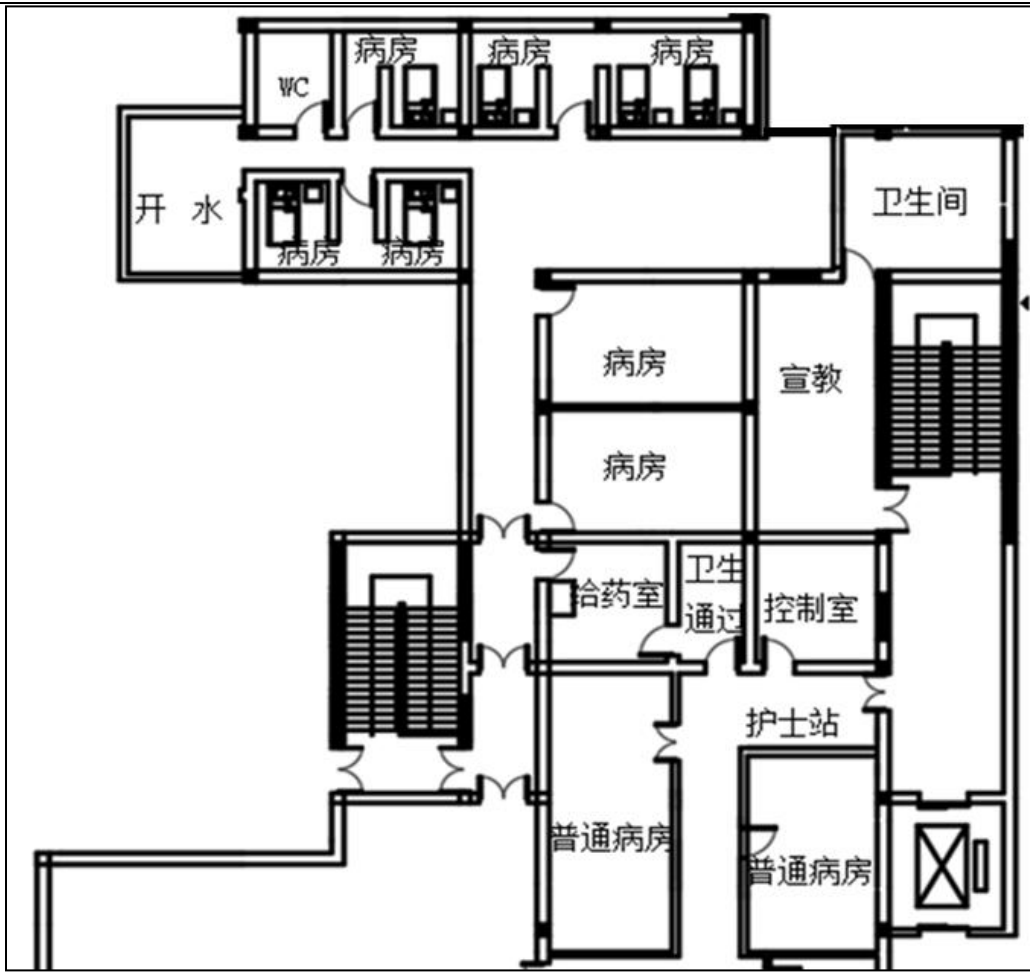


图 9-3 原核医学科 2 层平面布置图

(2) 原有核医学科 2 层放射性同位素使用情况

表 9-5 原核医学科 2 层工作场所使用放射性同位素情况

放射性同位素	年最大使用量 (Bq)	日等效最大操作量	工作场所级别
^{131}I	5.20×10^{12}	3.9×10^9	乙级

注：甲癌病人 ^{131}I 平均单人用量为 $4.33 \times 10^9 \text{Bq}$ ，每日最大入住 9 人，日最大操作量为 $3.9 \times 10^{10} \text{Bq}$ ；医院考虑发展余量，年最大使用量为 $5.2 \times 10^{12} \text{Bq}$ 。

(3) 原有核医学科 2 层工作场所人员配置及工作班制

原有核医学科 2 层工作场所由核医学科 5 名工作人员承担，年工作 250 天，每天工作 8 小时。

(4) 原有核医学科 2 层工作场所屏蔽防护情况

表 9-6 原核医学科 2 层工作场所屏蔽情况

名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
^{131}I 分装室	东、南、北三侧墙体	37cm 实心砖墙+3mmPb 防护涂料
	西侧墙体	37cm 实心砖墙+6mmPb 防护涂料
	顶棚	15cm 混凝土
	地坪	30cm 混凝土
	防护门	内衬 3mm 铅板

2层卫生通过间	四侧墙体	37cm 实心砖墙+3mmPb 防护涂料
	顶棚	15cm 混凝土
	地坪	15cm 混凝土+3mmPb 防护涂料
	防护门	内衬 3mm 铅板
现有核素治疗病房	四侧墙体	37cm 实心砖墙+3mmPb 防护涂料
	顶棚	15cm 混凝土
	地坪	15cm 混凝土或 15cm 混凝土+4mmPb 铅板
	防护门	内衬 5mm 铅板

(5) 原有核医学科 2 层工作场所“三废”治理措施

①现有放射性废气处理措施

a、原有核医学科 2 层工作场所给药室设置通风橱，自动分碘仪设于通风橱内，通风橱风速为 1.96m/s；服药区、通风橱和给药室设置独立的机械排风装置，排气口位于 3 号楼北侧楼顶，且高于本建筑屋脊，排气口前设有过滤器+活性炭吸附处理装置；

b、核医学科 2 层工作场所控制区设置了通排风系统，排风量为 1850m³/h；

c、过滤器+活性炭吸附处理装置的活性炭每半年请设备厂家更换一次，废活性炭作为放射性固废处理。

②现有放射性废水处理措施

a、根据医院提供的资料和现场踏勘，在 3 号楼东侧设有 1 套衰变池处理系统，用于暂存核医学科 2 层工作场所的放射性废水。4 个衰变池尺寸均为 12.9m×4.2m×4.0m，有效容积取总体积的 90%，则单个衰变池的有效容积均为 195.05m³。衰变池四侧墙壁设计厚度为 30cm 的混凝土，池底设计厚度为 50cm 的混凝土，顶盖设计厚度为 40cm 的混凝土，并拟对墙壁、池底做防酸碱、防渗漏处理。

b、总务科安排专职人员定期对废液流经路线进行检查，并做好相关重要位置检查记录，时刻做好防渗、防漏工作，确保放射性废水流经路径和衰变池周边环境正常。如发现异常情况，请及时上报放射防护安全管理委员会。

c、核医学科做好放射性废水和衰变池周边剂量监测工作，并记录监测时间，监测地点，监测数据，监测人员，形成台账。如发现异常情况，请及时上报放射防护安全管理委员会。

③现有放射性固废处理措施

核医学科工作场所的放射性固体废物收集在专用污物桶内，再将污物桶内的固体废物连同垃圾袋存放到核医学科 1 层的放射性废物库内，集中收储 180 天达到清洁解控标准后，再与医院的其他固体废物一起作为普通医疗废物委托杭州大地维康医疗环保有限公司处理处置。

a、放射性废物与非放射性废物分类收集，设置了专门的放射性废物暂存库。

b、含放射性核素的固体废物先收集在各自相关工作场所的专用污物桶内，再将污物桶内的固体废物连同垃圾袋分期存放到放射性废物库内，集中收储 180 天达到清洁解控标准后作为普通医疗废物处置。

c、供收集的专用污物桶具有外防护层并设置了电离辐射标志，内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋外加不易刺破的外套包装。

e、污物桶放置于放射性废物库内，设置了废物处理台账，记录封袋日期与处理日期、核素名称、废物重量、封袋时剂量率与处理时剂量率、暂存时间、处理人与核对人等信息。

(6) 达标排放情况

根据 2021 年《浙江省肿瘤医院 ^{131}I 治疗辐射工作场所检测报告》，核医学科 2 层工作场所核素治疗病房周围剂量当量率为 $0.10\sim 1.75\mu\text{Sv/h}$ ，符合 HJ1188-2021 的要求；给药室、卫生通过间、服药区以及工作人员皮肤表面、铅衣表面、工作服表面、鞋面 β 表面污染 $<0.13\text{Bq/cm}^2$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的污染控制标准要求。

根据《浙江省肿瘤医院医用放射性同位素及射线装置应用项目（扩建）建设项目竣工环境保护验收监测表》，外排废水中总 β 放射性为 $0.52\pm 0.02\text{Bq/L}$ ，外排废水放射性小于 GB18466-2005《医疗机构水污染物排放标准》规定的总 β 放射性为 10Bq/L 限值标准。

(7) 原有核医学科 2 层工作场所存在的主要问题及改进措施

原有核医学科 2 层工作场所存在的主要问题及改进措施已在核医学科 2022 年改扩建项目《浙江省肿瘤医院核医学科、介入科与直线加速器改扩建项目环境影响报告表》中进行了详细的分析。

9.2.2 本项目工艺和设备分析

9.2.2.1 回旋加速器楼工作场所核素制备区域

核素制备区域所位于回旋加速器楼 1 层西侧，拟新增 1 台 GE 医疗集团当代最先进的 PETtrace800 型回旋加速器，最大能量为 16.5MeV ，束流强度为 $100\mu\text{A}$ ，PETtrace800 型回旋加速器用于 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 等正电子核素的制备。

(1) PETtrace800 型回旋加速器设备组成

PETtrace800 型回旋加速器是一套带有自屏蔽的正电子药物生产系统，主要由磁场系

统、高频系统、离子源系统、真空系统、引出系统、靶系统、冷却系统、控制系统等组成，加速器的外观示意图如图 9-4 所示。

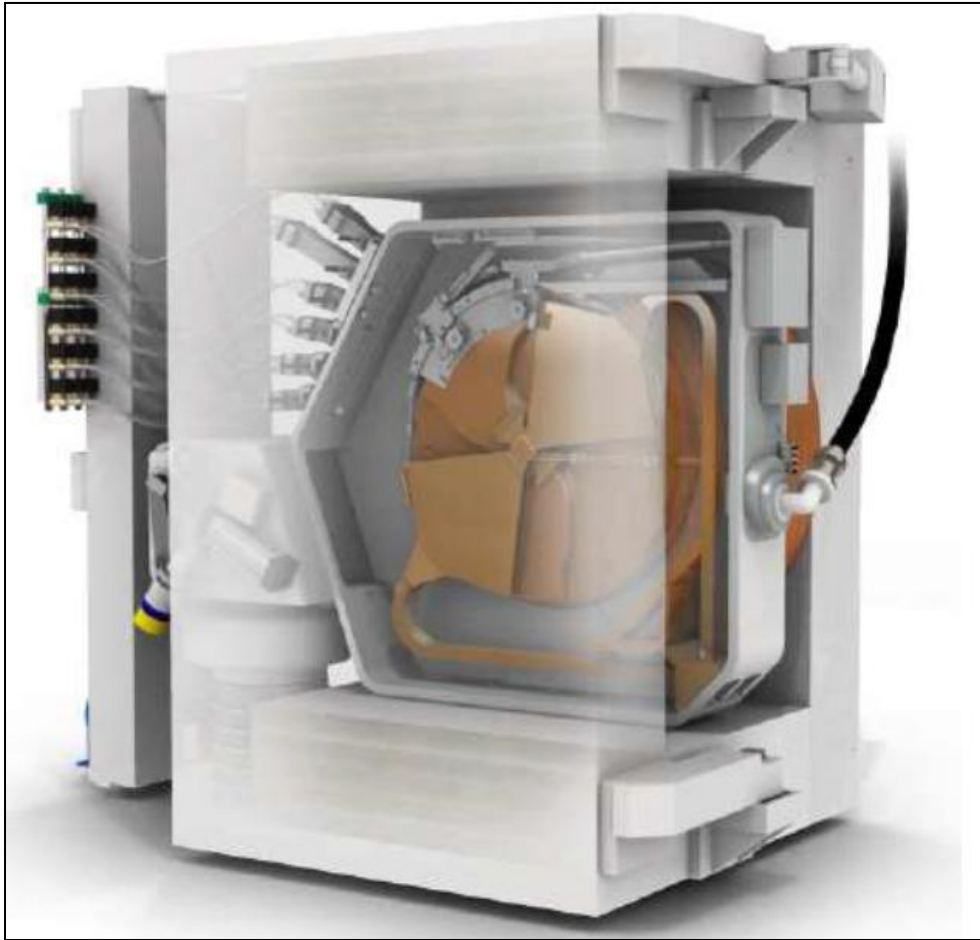


图 9-4 本项目回旋加速器外观示意图

(2) PETtrace800 型回旋加速器的工作原理

在回旋加速器中心部位的离子源经高压电弧放电而使气体电离，从离子源中出来的阴离子进入D型盒时受高频电场作用获得加速，进入D型盒后，电场作用消失，束流在磁场洛伦兹力的作用下做近似圆周运动；束流从D型盒另一端出来时再次受到高频电场作用获得加速。随着束流速度的增加，束流旋转的半径越来越大，但是束流的旋转频率为一个常数，并与电极极性变化频率保持一致。当束流被加速到一定程度时，束流被引出经过萃取剥离掉 2 个电子成为质子束流，经准直器进入指定的靶进行核素生产。以生产 ^{18}F -FDG 为例，它是利用本回旋加速器将质子加速到最大能量 16.5MeV，使其撞击 ^{18}O 发生反应 $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$ 而产生 ^{18}F 。

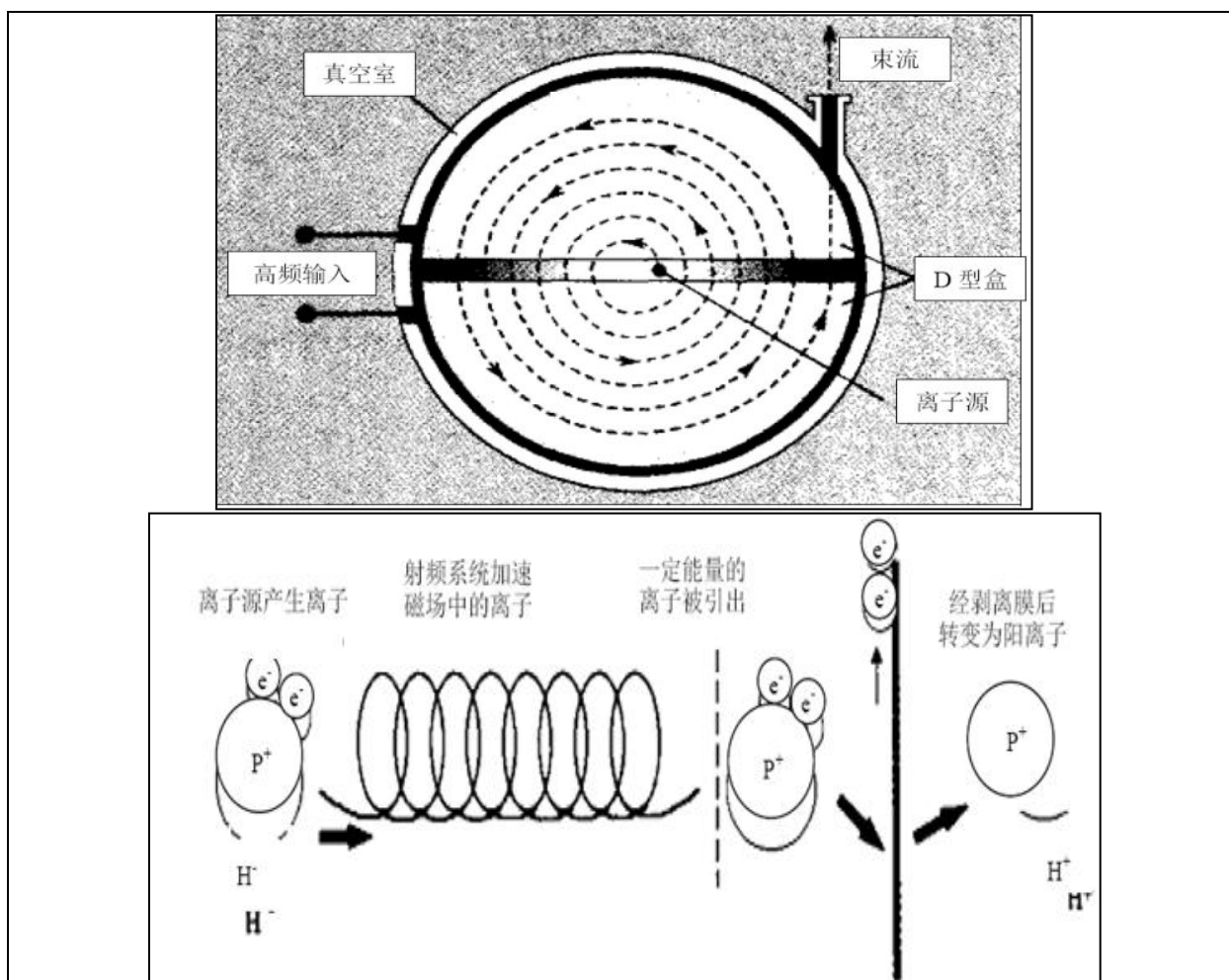


图 9-5 回旋加速器工作原理示意图

(3) PETtrace800 型回旋加速器的工艺流程

①核素制备规划

PETtrace800 型回旋加速器其主要技术参数见表 9-7。

表 9-7 拟使用的回旋加速器主要技术参数

项目	基本情况/技术参数
最大质子束流能量	≤16.5MeV
引出质子束流强度 (μA)	≤100μA
屏蔽情况	自屏蔽
束流粒子	质子
靶位数	6 个
离子源位置	内置

PETtrace800型回旋加速器用于¹⁸F、¹¹C、¹³N、⁶⁴Cu、⁶⁸Ga、⁸⁹Zr 等正电子核素的制备，其中核素¹⁸F 的制备每天安排2个批次，上午与下午各一批次；核素¹¹C、¹³N 每周安排1个批次，按需制备；其他核素⁶⁴Cu、⁶⁸Ga、⁸⁹Zr 每周安排1个批次。回旋加速器生产核素一览表见表9-8。

表 9-8 回旋加速器生产核素一览表

核素	物理、化学性状	实际日最大操作量 (Bq)	年工作天数
¹⁸ F	液态	3.34×10 ¹⁰	250 天
¹¹ C	液态	7.41×10 ⁸	50 天
¹³ N	液态	7.41×10 ⁸	50 天
⁶⁴ Cu	液态	7.41×10 ⁸	50 天
⁶⁸ Ga	液态	7.41×10 ⁸	50 天
⁸⁹ Zr	液态	5.93×10 ⁸	50 天

②人流、药物路径规划

A、药物路线

回旋加速器生产的药物经地沟(地沟尺寸为 100mm×100mm,屏蔽为 60mm 厚铅板)进入热室合成,经药物传递窗口进行质控合格后分装,分装后在外包间打包经药物传递窗口送至原核医学科 1 层工作场所储源室或通过洁净通道送至小动物实验区域的注射间。

B、工作人员路线

核素制备工作人员由南侧经过道进入回旋加速器控制室、热室、质控室等工作用房,工作完成后原路返回离开。

C、污物路径

回旋加速器机房产生的放射性固废、热室产生的放射性固废均暂存至热室南侧的污物间。

核素制备区域人流、物流路径规划图见附图 9。

③回旋加速器核素制备流程

回旋加速器工艺流程及产污位置图如图 9-6 所示。

A、放射性同位素制备

根据确定生产的核素及核素量,选择合适的靶及清洗靶和核素传输管,设定相应核素生产的相关参数,然后回旋加速器开机、定时辐照,最后轰击靶材料,得到核素,关机。

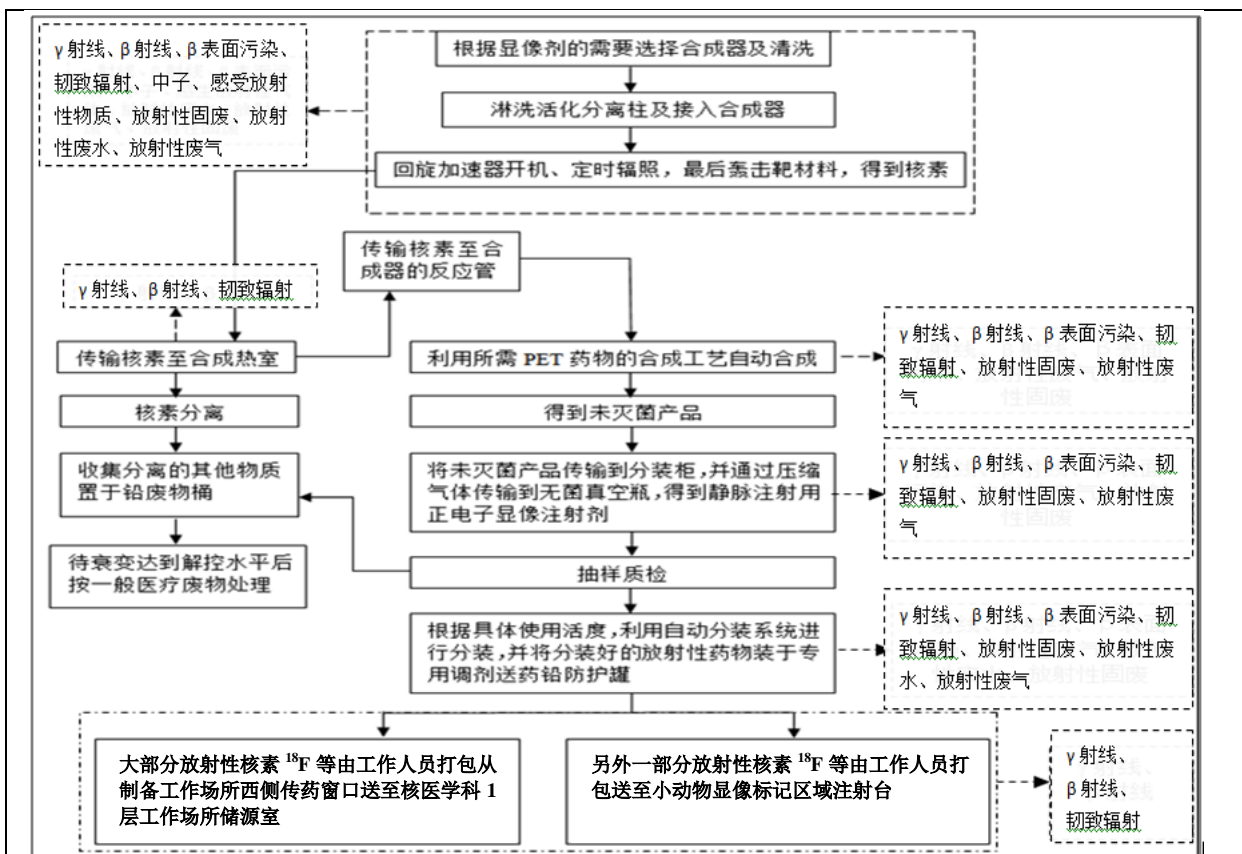


图 9-6 回旋加速器工艺流程及产污环节图

B、放射性药物合成

回旋加速器生产出的核素通过地沟（地沟尺寸为 100mm×100mm，屏蔽为 60mm 厚铅板）传送到热室的药物合成器内，合成器均是放置在带有铅屏蔽的合成柜中（六面屏蔽 70mmPb），工作人员通过控制热室外面的工作站（计算机操作系统）控制合成器。通过自动控制进行溶解、过滤、氧化、分离等步骤，最后生成放射性药物，并通过压缩气体传输到无菌真空收集瓶内。抽取少量放射性药物由传递窗送至外包间静置 10 个半衰期以上至质控室进行质检。

C、放射性药物分装

合成后的药物自动传送到分装柜中，利用自动分装系统分装成需要的活度。分装系统均是放置在带有铅屏蔽的分装柜中（六面屏蔽 70mmPb），根据具体使用活度规格，利用自动分装系统进行分装，药物在自动分装模块中根据预先设计的程序，分装到各个注射器中，注射器套入钨合金防护套，分装结束后自动掉入 40mm Pb 厚度的转运防护罐中。

D、放射性同位素质控

放射性药物分装后，进行的质控项目有：观察药物的澄明度，测量其 pH 值，再检

测其放射化学纯度，活度可以在自动分装或活度计中直接测定。

E、放射性药物运送

分装好的药物在转运防护罐中通过成品间传药窗口送至核医学科 1 层工作场所的核医学科储源室或直接送至小动物同位素实验区域注射室。

因此，核素制备区域污染因子主要是： γ 射线、 β 射线、韧致辐射、 β 表面污染、中子、感生放射性气体、放射性废水、放射性废气与放射性固废（含废靶等）。

9.2.2.2 回旋加速器楼工作场所小动物标记显像区域

小动物标记显像区域位于回旋加速器楼 1 层东侧区域与回旋加速器 2 层西侧区域，使用非密封放射性物质 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 用于小动物核医学 PET 显像，使用非密封放射性物质 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行小动物 SPECT 显像，进行核医学诊疗研究。拟使用的放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 均来自回旋加速器生产提供，采取当天制备当天使用的方式；放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 拟从外订购，采取当天进药当天使用的方式。

(1) 设备组成与工作原理

① 小动物 PET/MR

本项目 uMR 9.4T 型 PET/MR 主要由磁体、动物床、滤波板、电子电气机柜、梯度功率放大柜、控制台、主机柜、主配电箱等设备组成。

小动物 PET/MR 检查原理：是将 PET 与 MR 联合在一起组成的功能代谢与分子影像诊断设备，扫描过程中 PET 对进入小动物体内的正电子核素进行扫描并显像，可获得代谢显像，而 MR 可对 PET 图像做放射性的衰减校正，提供解剖学和组织学特征，两者结合可以看到组织功能和新陈代谢，提供比传统成像方式更优质的影像结果。系统还可以分别收集 PET 和 MR 影像。

小动物 uMR 9.4T 型 PET/MR 设备外观示意图见图 9-7。



图 9-7 小动物 uMR 9.4T 型 PET/MR 设备外观图

② 小动物 PET/CT

本项目 IRIS 型 PET/CT 主要由自屏蔽机架、PET 部分、CT 部分、操作控制系统、小动物麻醉系统、心脏和呼吸门控系统、动物舱等组成。

PET 检查原理：小动物注射正电子放射性核素，将放射性核素标记到能够参与动物组织血流或代谢过程的化合物上。利用正电子核素及其标记的具有携带生物信息的生物活性物质如糖、氨基酸、脂肪、核酸、配基或抗体等作为示踪剂注入动物体内，让动物在 PET 的有效视野范围内和 CT 结合进行 PET 显像。

IRIS 型 PET/CT 设备外观示意图见图 9-8。



图 9-8 小动物 IRIS 型 PET/CT 设备外观图

③小动物 SPECT/CT

本项目小动物 U-SPECT⁶/CT 型 SPECT/CT 主要由自屏蔽机架、SPECT 部分、CT 部分、操作控制系统、小动物麻醉系统、心脏和呼吸门控系统、动物舱等组成。

SPECT 检查原理：将能够发出 γ 射线的放射性核素或药物注入小动物体内后，用测量仪器的探头对准所要检查的部位或脏器检测被检查部位发出的 γ 射线，并将测量到的 γ 射线转换成光信号，再通过光电倍增管将光电脉冲放大转化成电信号，经计算机连续采集该类信号，然后进行图像处理和重建，从而构成放射性同位素在小动物体内不同部位或脏器分布密度的图像。

小动物 U-SPECT⁶/CT 型 SPECT/CT 设备外观示意图见图 9-9。



图 9-9 小动物 U-SPECT⁶/CT 型 SPECT/CT 设备外观图

(2) 工作流程及产污环节

①小动物标记显像规划

本项目小动物标记显像区域拟使用 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 七种核素开展相关实验研究，每日进行研究的小鼠数量每种核素最大均为 10 只，每种核素年使用小鼠最多 200 只，每只小鼠使用核素量均为 $3.70 \times 10^6 \text{Bq}$ 。

②人流和物流路径规划

A、送药路线

小动物实验用的正电子放射性核素均为医院自行生产药物，根据小动物显像研究需要，正电子放射性核素在热室分装好后放置于铅罐即时送至小动物注射台进行注射，小

动物实验用的 ^{99m}Tc 为外购，由专业供货商分装好直接送至小动物注射台，注射后的小动物放置于铅罐再送至各机房扫描。

B、辐射工作人员路线

辐射工作人员由南侧经过道进入控制室、注射台（含洗手池）、动物房和固废间，工作完成后原路返回离开。

C、小动物路线

新进的小动物办理好登记手续后经南侧窗口进入动物房，显像扫描时经麻醉、注射、扫描等过程完成小动物诊断研究，其中须在回旋加速器楼 2 层的机房扫描的动物注射后放置于铅罐经南侧出口、楼梯、过道运送至机房扫描。

D、污物路径

小动物标记显像区域所产生的放射性固废产生的放射性固废分类收集后均暂存至东侧的固废间。

人流和物流路径规划图见附图 9 与附图 12。

③小动物 PET 工作流程

A、PET 实验用的正电子放射性核素均为医院自行生产药物，根据研究需要，正电子放射性核素在热室分装好后即时送至小动物注射台进行注射。

B、将小动物从动物房抓出麻醉后，通过静脉注射放射性药物。

C、分别于给药后不同时间（根据研究目的不同时间差异较大，通常为 1~120 分钟），将小动物在麻醉状态下置于 PET 机房内，摆位合适后，进行显像扫描。

D、图像采集结束后将小动物处死后，直接收集装袋，贴上标签，注明实验者姓名、所用核素、总活度和时间等信息，置于冷冻冰柜暂存。使用后手套、棉签和注射器（在去除针头后）等投入固体放射性废物桶内。

④产污环节

小动物 PET 实验项目工作流程与产污环节分析见图 9-10。

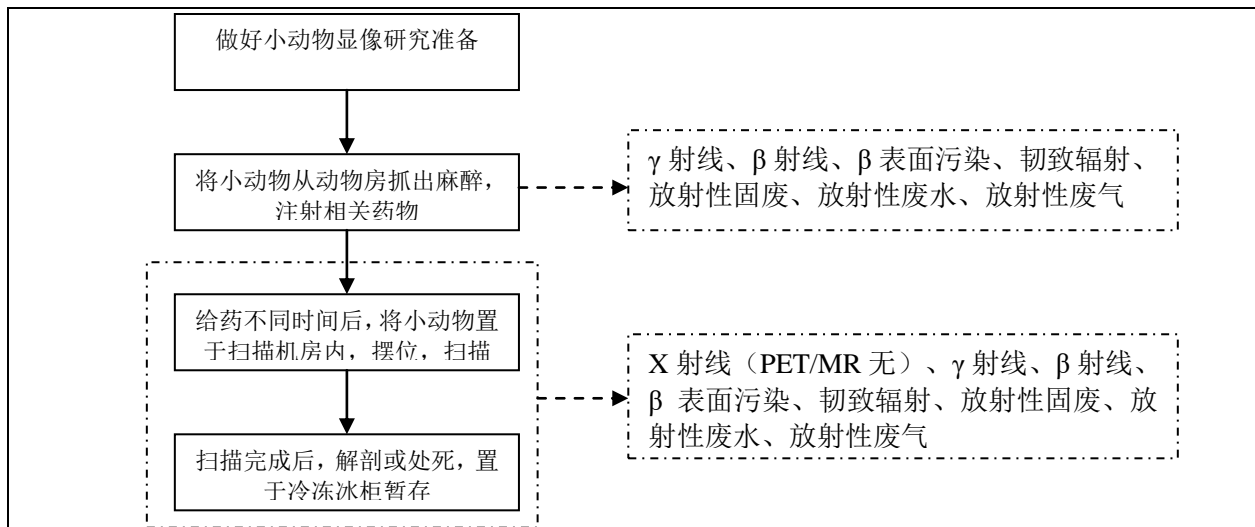


图 9-10 小动物显像标记工艺流程及产污环节示意图

因此，小动物标记显像区域污染因子主要是：X 射线、γ 射线、β 射线、β 表面污染、韧致辐射、放射性废水、放射性废气、放射性固废。

9.2.2.3核医学科1层工作场所

医院拟在核医学科1层工作场所新增¹¹C、¹³N正电子核素用于医院患者PET显像，依托核医学科1层工作场所源库、分装注射室进行注射，依托PET/CT机房进行扫描。

(1) PET/CT设备组成及工作原理

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γ 射线，原理是通过标记参与人体代谢的某些化合物的元素，把氟-18 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γ 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γ 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γ 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，然后采用特殊的体外检测仪(PET) 探测这些正电子核素人体各器官的分布情况，通过计

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 9-11。



图 9-11 PET/CT 外观示意图

(2) 工作流程及产污环节

①工作负荷

根据医院提供的资料， ^{11}C 与 ^{13}N 每天最多接收2名患者，年诊疗量约100人，单人最大用药量均为 10mCi ($3.70\times 10^8\text{Bq}$)，则日最大操作量均为 $7.40\times 10^9\text{Bq}$ ，年最大用量均为 $3.70\times 10^{10}\text{Bq}$ 。

②人流和物流路径规划

A、送药路线

本项目 ^{11}C 、 ^{13}N 正电子核素在热室合成后，装于西林瓶内，置于铅罐中通过成品间的药物传递窗将放射性药物送至源库，由核医学科专职人员接收、登记，做好放射性药物的台账管理。

B、医护人员路线

核医学科 1 层工作场所的医护人员由东北侧大门向西通过卫生通过间进入分装注射室。其中放射性核素操作的护士经卫生通过间进入分装注射室和给药处进行施药分装，在 1 号注射窗口给患者进行 ^{11}C 、 ^{13}N 等药物注射，完成施药后仍需经卫生通过间淋浴更衣，检测表面污染合格，才能回到非放射工作场所，卫生通过间内配置有表面污染监测设备，设置有感应式洗手池和淋浴设施；设备扫描检查操作人员由 1 层东南侧大门往北、

往西经医护走廊进入 PET/CTT 机房控制廊进行显像扫描。

本区域所有工作人员完成工作后均原路返回。

C、患者路线

根据预约安排的时间，受检者/患者通过核医学科 1 层工作场所东侧大门进入，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东侧单向门从病人入口进入核医学工作场所。

PET/CT 检查患者在注射窗口进行药物注射，之后进入 PET/CT 候诊室进行候诊，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（留观室内拟设 10mmPb 的铅屏风分隔不同核素患者）留观，在留观室观察半小时后从西侧出口离开核医学科。

该路径上，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。注射后等候区域设有公共卫生间，受检者除如厕外，不得随意走动。

D、污物通道

核医学科 1 层工作场所放射性废物每天下班后无病人时段，收集于核医学科 1 层工作场所西北侧的污物暂存间暂存，衰变至符合清洁解控水平后由西侧单向门运送至医院医疗废物按医疗废物处置。

9.2.2.4核医学科2层工作场所

医院拟在回旋加速器楼 2 层增设 9 间治疗病房，与现有核医学科 2 层工作场所连接成 1 个工作场所。使用放射性核素 ^{131}I 进行甲癌治疗与使用放射性核素 ^{177}Lu 进行神经内分泌癌或前列腺癌治疗，放射性核素 ^{131}I 和 ^{177}Lu 使用规模不变，增设 9 间治疗病房与原核医学科 2 层工作场所为一个单独的工作场所，其日等效操作量仍为 $3.90 \times 10^9 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

（1）工作流程及产污环节

①工作负荷

核医学科 2 层工作场所使用放射性核素 ^{131}I 进行甲癌治疗，使用放射性核素 ^{177}Lu 进行神经内分泌癌或前列腺癌治疗，其中 ^{177}Lu 患者利用周末无甲癌患者住院的情况下开展治疗。根据医院提供的资料， ^{131}I 患者需住院 5 天，每天最多接收 9 名患者，单人平均用药量为 117mCi ($4.33 \times 10^9 \text{Bq}$)，则日最大操作量为 $3.90 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，年治疗量约 1200 人，则年最大用量为 $5.20 \times 10^{12} \text{Bq}$ 。 ^{177}Lu 患者需住院 2 天。 ^{177}Lu 治疗每次最多接收 2 名患者，单人平均用药量为 100mCi ($3.70 \times 10^9 \text{Bq}$)，则日最大操作量为 $7.40 \times 10^9 \text{Bq}$ ，年治

疗量约 100 人，则年最大用量为 $3.70 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。

②人流和物流路径规划

A、送药路线

^{131}I 、 ^{177}Lu 为装在西林瓶内的成罐药剂并分别放置在铅罐中屏蔽，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送至医院给药室。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。

B、医护人员路线

医护人员由西侧电梯经过道进入分装控制室通过遥控装置完成 ^{131}I 的给药， ^{177}Lu 工作人员在病房完成 ^{177}Lu 的注射。施药后仍需经卫生通过间淋浴更衣，检测表面污染合格，才能回到非放射工作场所，卫生通过间内配置有表面污染监测设备，设置有感应式洗手池和淋浴设施；送餐工作人员将病人餐食送至宣教室后通过屏蔽窗口远程指导病人到取餐窗口按号取餐。本区域所有工作人员完成工作后均原路返回。

C、患者路线

^{131}I 患者服药后进入病房进行住院治疗， ^{177}Lu 患者在病房注射药物，出院时进行扫描效果检查后，出院时在检查室检测病人 1m 处剂量率符合出院要求后，从回旋加速器楼 2 层东侧出口离开核医学科。

本工作场所病人通道出入口和工作人员通道出入口均分开设置，能够有效防止交叉污染；出入口防护门均拟设置门禁系统，只允许单向通行，防止给药后患者进入非放射工作区，或无关人员进入放射性工作区。医院拟在注射前宣教时明确告知相关事项，并设置醒目的路线标示，配合语音系统，引导病人按照拟定路线行进。

D、污物通道

本工作场所的放射性废物每天下班后收集在核医学科 1 层东侧的污物暂存间暂存，衰变至符合清洁解控水平后，选择在下班后无病人时段，由东侧门运送至医院医疗废物库集中收集后按照医疗废物处置。

核医学科2层工作场所人流、物流路径图见附图12。

③工作流程

A、 ^{131}I 甲癌治疗的工作原理

a、甲癌治疗机理

放射性核素 ^{131}I 可以高度选择性聚集在分化型甲状腺癌及转移灶， ^{131}I 衰变时发射出的射程很短的 β 射线和能量跃迁时发出的 γ 射线，从而对病变组织进行内照射治疗，在局

部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或破坏病变组织的目的，而邻近的正常组织的吸收剂量很低，从而达到治疗目的。

b、治疗流程：

I、接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害；

II、医生根据病情确定使用核素的剂量；

III、医生利用分碘仪远程将药物分装，远程指导患者口服，患者在给药室口服药物；

IV、甲癌患者则口服药物后按病房号对号进入甲癌治疗病房住院治疗。接受¹³¹I治疗的患者应在其体内的放射性活度降至400MBq以下或距离患者体表1米处的周围剂量当量率不大于25μSv/h方可出院。

对¹³¹I治疗的甲癌患者，单人次平均用药量为117mCi，¹³¹I进入患者体内后，会随着身体代谢，很快随着尿液、粪便等排出。根据《分化型甲状腺癌患者的¹³¹I有效半衰期》（易艳玲等，原子能科学与技术，Vol44,suppl.10,9）报道，甲癌患者的¹³¹I平均有效半衰期为（14.6±6.5）h，本评价取最大值21.1h，据此计算甲癌患者服药后住院3天后，其体内的放射性活度约为6.4mCi，即可满足出院标准，或经在出院检查室检测病人1m处剂量率满足（小于25μSv/h）要求后即可离开核医学科，并书面告知患者初期与家人保持1m以上的距离，避免出入公共场所。

B、¹⁷⁷Lu 治疗工作原理和治疗流程

¹⁷⁷Lu 的半衰期为 6.73d，发射三种能量的 β 粒子，其粒子能量相对较低，在对病灶发生辐射作用时对骨髓抑制较轻。同时，¹⁷⁷Lu 还发射 γ 射线，可用于成像。本项目拟购入 ¹⁷⁷Lu 标记的放射性药物，用于成人中肠神经内分泌肿瘤治疗，未来也会用于前列腺癌、神经内分泌肿瘤及骨转移癌的治疗。¹⁷⁷Lu 治疗时，患者在注射窗口进行静脉注射，注射药物量为 3.70×10⁹ Bq（100mCi）。注射完成患者进入核素治疗病房住院，参照甲癌患者出院要求，经在出院检查室检测病人 1m 处剂量率满足（小于 25μSv/h）要求后即可离开核医学科，并书面告知患者初期与家人保持 1m 以上的距离，避免出入公共场所。

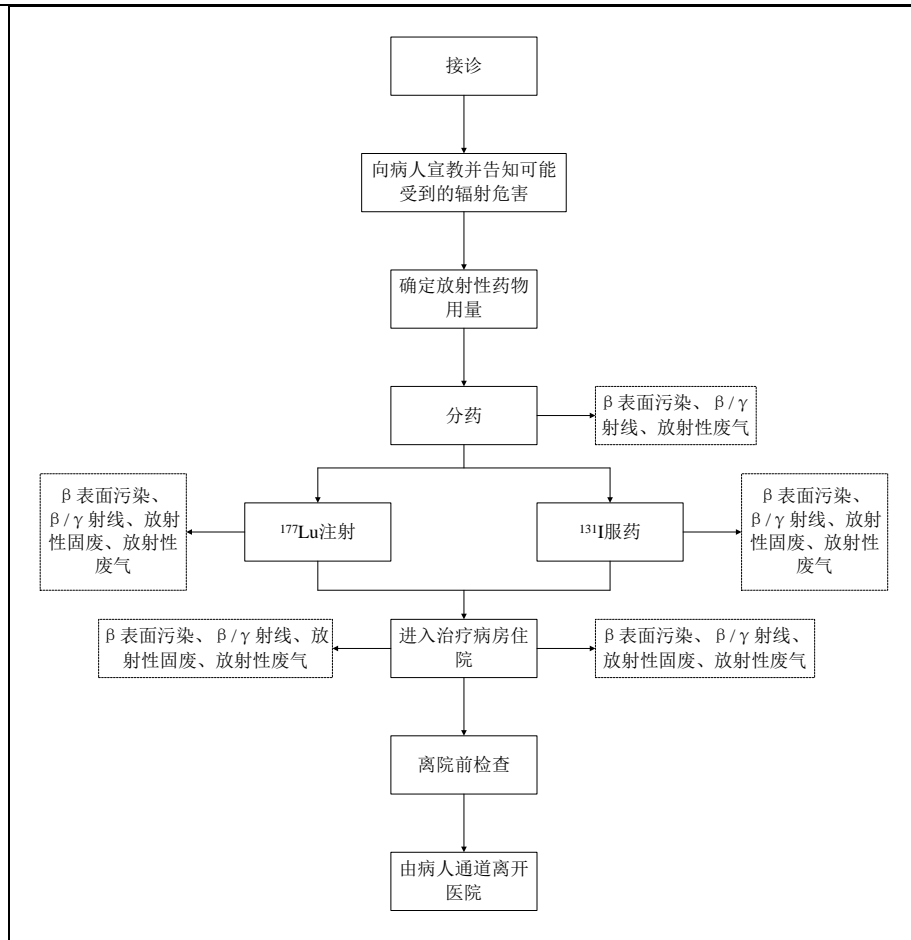


图 9-12 ^{131}I 、 ^{177}Lu 治疗工艺流程及产污环节

9.3 污染源项描述

9.3.1 正常工况

9.3.1.1 放射性污染源项分析

(1) 回旋加速器楼工作场所核素制备区域

①β射线、韧致辐射、γ射线、中子

回旋加速器在制备药物过程中，高速质子与靶物质作用伴随产生中子，中子与靶、部件、屏蔽体等物质相互作用会放出γ射线；放射性药物衰变会产生β射线、韧致辐射与γ射线。

②感生放射性

回旋加速器在运行期间，中子活化空气产生的活化产物主要为： ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{41}Ar ，其中 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 半衰期很短，在很短时间内即可发生衰变，故可以不予考虑。主要考虑 ^{41}Ar 的影响，由于空气中可以生成 ^{41}Ar 的 ^{40}Ar 含量仅为1.3%，加上产生 ^{41}Ar 的活化反应截面很小，所以 ^{41}Ar 的生成率极其微小。

③β 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。

④放射性废气

在放射性药物合成、质控等操作时，药物挥发产生的含放射性核素的废气。

⑤放射性废水

放射性废水主要为含有工作人员清洗废水和工作场所清洗废水等。

⑥放射性固废

回旋加速器固体靶片可重复使用，在意外损坏需要更换时，换下的废靶片按固体放射性废物处理，置于铅废物桶中，暂存于热室南侧的废物间，由设备厂家回收。放射性药物制取时产生放射性废物（硅胶、树脂、滤膜等）置于铅废物桶中，暂存于热室南侧的废物间，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中放射性固废解控要求按普通医疗废物处理。

（2）回旋加速器楼工作场所小动物标记显像区域

①γ 射线、β 射线、X 射线

放射性药物衰变会产生β射线与γ射线，小动物PETCT与小动物SPECT/CT扫描时会产生X射线。

②β 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

在放射性药物注射、扫描等操作时，药物挥发产生的含微量放射性核素的废气。

④放射性废水

放射性废水主要为小动物注射后尿液、工作人员清洗废水和工作场所清洗废水等。

⑤放射性固废

放射性固废主要为注射过程中产生的注射器等放射性固废、废活性炭，暂存于固废间，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中放射性固废解控要求按普通医疗废物处理；小动物尸体暂存于冰柜，满足《核医学辐射防护与安全要求》

（HJ1188-2021）中放射性固废解控要求委托有资质单位处置。

(3) 核医学科 1 层工作场所与核医学科 2 层工作场所

①β 射线、韧致辐射、γ 射线、

放射性药物分装、衰变、注射或服药过程会产生β射线、韧致辐射与γ射线。

②β 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

在放射性药物注射、分装等操作时，药物挥发产生的含微量放射性核素的废气。

④放射性废水

放射性废水主要为患者的排泄物、工作人员清洗废水和工作场所清洗废水等。

⑤放射性固废

放射性固废主要为注射过程中产生的注射器等放射性固废、污被、废活性炭等，暂存于 3 号楼 1 层的废物间，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中放射性固废解控要求按普通医疗废物处理。

9.3.1.2 非放射性污染物

本项目非放射性废气为电离辐射产生极少量的 O₃、NO_x 等废气，经排风管道排至回旋加速器楼屋顶排放。

9.3.2 事故工况

(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) 由于未锁好回旋加速器楼出入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。

(5) 回旋加速器机房由于安全联锁系统失效，加速器运行时无关人员误入机房，发生超剂量照射；或回旋加速器运行时机房内有人未撤离，工作人员误操作加速器出束，发生超剂量照射；或维修时厂家维修人员和运行单位人员管理不当，回旋加速器系统时

发生异常出束，维修人员受到超剂量照射。回旋加速器发生熔靶和靶水吸附事故、合成柜反应器倾翻和破裂事故等。

表 10 辐射安全与防护

10.1 辐射工作场所布局

10.1.1 工作场所布局合理性分析

本项目各辐射工作场所四周布局见表 10-1。

表 10-1 本项目各辐射工作场所四周布局一览表

序号	辐射场所	东	南	西	北	上	下
1	回旋加速器楼工作场所	景区道路、杭州半山国家森林公园	停车场	院内道路	杭州自富汽车修理有限公司与杭州基督教会半山堂	气瓶间、纯水机房、水冷机房、小动物机房、治疗病房	土层
2	核医学科 1 层工作场所	候诊区、停车场	2 号楼	院内道路	杭州自富汽车修理有限公司与杭州基督教会半山堂	核医学科 2 层工作场所	土层
3	核医学科 2 层工作场所	景区道路、杭州半山国家森林公园、停车场	2 号楼	院内道路	气瓶间、纯水机房、水冷机房、小动物机房	平台	回旋加速器楼工作场所

本项目各辐射工作场所均进行了控制区、监督区的明确划分，在进出口均设置门禁，其他无关人员无法进入；

回旋加速器楼工作场所核素制备区域热室周围为质控室、准备间和外包间，且均设有净化传递窗，方便于质控与外包操作；成品间设置传递窗，且紧邻 3 号楼 1 层核医学科；小动物显像标记区域南侧设 2 个传递窗，方便小动物的购入与固废的转移。总体来说，整体布局较为合理。

回旋加速器楼 2 层治疗病房与原 3 号楼 2 层治疗场所连成一体，新增了治疗病房、库房、保洁间等房间，入口位于原 3 号楼 2 层治疗场所东侧，出口位于回旋加速器楼 2 层东侧，下楼梯后主要为室外绿化带等较为空旷区域，非门诊大厅、收费处等人群稠密区域；患者通道与医护人员通道完全分离，不交叉；总体来说，整体布局较为合理。

因此，本项目各辐射工作场所的选址和布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“选址和布局”要求，设计基本合理。

10.1.1.3 辐射分区管理

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）第 6.4 条款规定，辐射工作场所可分为控制区、监督区，其划分原则如下：控制区是指需要和可能需要

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

根据两区划分原则，结合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）规定，本项目拟将各工作场所分为“控制区”和“监督区”，以便于辐射防护管理和职业照射控制，本项目各辐射工作场所的两区划分图见附图 6~附图 8。

表 10-2 本项目各辐射工作场所两区划分情况

场所名称	控制区	监督区	备注
回旋加速器楼工作场所	回旋加速器机房、热室、无菌检测间、阳性对照室、质控室、外包间、成品间、废物间、小动物 PET/MR 机房、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、注射台所在缓冲间、固废间、动物房及衰变池。	回旋加速器机房控制室、小动物显像标记控制室、设备间、弱电间、水冷机房、纯水机房、气瓶间、洗衣间、更衣间、消毒间、洁具间、一更、二更等工作用房及过道。	见附图 6、附图 7
核医学科 2 层工作场所	给药室、核素治疗病房及卫生间、卫生通过间、保洁间	宣教区、碘分装操作室、预处理室、护士站、设备间、弱电间及排风井	见附图 8
注：1、基于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）第 4.3.3 条款将卫生通过间划为监督区，《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）第 5.1.4 条款将卫生通过间划为控制区，本次评价从严处理，保守将卫生通过间划定为控制区。 2、核医学科 1 层工作场所遵循原分区管理。			

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，项目建设单位应做到：

①控制区防护手段与安全措施

a、在控制区进出口及其他适当位置处设置醒目的、符合 GB 18871-2002 附录 F 规定的警告标志，并应给出相应的辐射水平和污染水平的指示；

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）限制进出控制区；

d、在更衣室备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；

e、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。

10.1.3 本项目辐射工作场所分级

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）中关于单独的非密封放射性物质工作场所的界定条件，本项目回旋加速器楼工作场所、核医学科1层工作场所与核医学科2层工作场所分别均可作为一个单独的非密封源工作场所进行日等效操作量核算。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中附录C提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法，可计算出各核素的日等效最大操作量。日等效最大操作量计算公式见公式10-1，修正因子见表10-3与表10-4。

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

表 10-3 本项目各放射性核素毒性组别修正因子判定结果

核素名称	毒性组别	毒性组别修正因子	判定依据
⁸⁹ Zr、 ¹⁷⁷ Lu、 ¹³¹ I	中毒	0.1	GB 18871-2002 附录 D
¹⁸ F、 ¹¹ C、 ¹³ N、 ⁶⁴ Cu、 ⁶⁸ Ga、 ^{99m} Tc	低毒	0.01	

表 10-4 本项目各放射性核素操作方式与放射源状态的修正因子判定结果

核素名称	操作方式	放射源状态	操作方式与放射源状态修正因子	判定依据
¹⁸ F、 ^{99m} Tc	很简单操作	液体	10	HJ 1188-2021 附录 A 表 A.2
¹⁸ F（生产）、 ¹¹ C、 ¹³ N、 ⁶⁴ Cu、 ⁶⁸ Ga、 ⁸⁹ Zr、 ¹⁷⁷ Lu、 ¹³¹ I	简单操作	液体	1	HJ 1188-2021 附录 A 表 A.2

根据式10-1，本项目各工作场所的分级计算见表10-5。

表10-5 本项目各工作场所分级计算结果

工作场所	核素名称	活动种类	计划日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	等效日最大操作量 (Bq)	工作场所分级	
回旋加速器楼工作场所	¹⁸ F	生产、使用	3.334×10 ¹⁰	0.01	1	3.334×10 ⁸	乙级	
	¹¹ C	生产、使用	7.77×10 ⁸	0.01	1	7.77×10 ⁶		
	¹³ N	生产、使用	7.77×10 ⁸	0.01	1	7.77×10 ⁶		
	⁶⁴ Cu	生产、使用	7.77×10 ⁸	0.01	1	7.77×10 ⁶		
	⁶⁸ Ga	生产、使用	7.77×10 ⁸	0.01	1	7.77×10 ⁶		
	⁸⁹ Zr	生产、使用	6.29×10 ⁸	0.1	1	6.29×10 ⁷		
	合计							4.27×10 ⁸
核医学科1层工作场所	¹¹ C	使用	7.40×10 ⁸	0.01	1	7.40×10 ⁶	乙级	
	¹³ N	使用	7.40×10 ⁸	0.01	1	7.40×10 ⁶		
	核医学科1层工作场所2022年改扩建项目实施后							3.01×10 ⁹
	合计							3.02×10 ⁹
核医学科2	¹³¹ I	使用	3.90×10 ¹⁰	0.1	1	3.90×10 ⁹	乙级	

层工作场所	¹⁷⁷ Lu	使用	7.40×10 ⁹	0.1	1	7.40×10 ⁸	
	核医学科2层工作场所甲癌住院治疗时间为每周一至每周五，周六与周日为 ¹⁷⁷ Lu患者住院治疗时间（根据医院提供的资料， ¹⁷⁷ Lu患者住院2天即可出院），因此核医学科2层工作场所的日等效最大操作量仍为3.90×10 ⁹ Bq					3.90×10 ⁹	

因此，保守本项目各辐射工作场所均按照乙级工作场所进行管理和规划设计。

10.1.4 临床核医学工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录G中第G.2条款，本项目辐射工作场所分类的加权活度计算方法见公式（10-2），本项目放射性核素的毒性权重因子见表10-6，不同操作性质的修正因子取值见表10-7。

$$\text{加权活度} = \frac{\text{计划的日操作最大活度} \times \text{核素的毒性权重因子}}{\text{操作性质修正因子}} \quad \text{式 (10-2)}$$

表 10-6 本项目各放射性核素的毒性权重因子

核素名称	核素的毒性权重因子	判定依据
¹³¹ I	100	GBZ 120-2020附录G表G.2
¹⁸ F、 ^{99m} Tc、 ¹¹ C、 ¹³ N	1	
⁸⁹ Zr、 ¹⁷⁷ Lu	100	GBZ120-2020对该部分核素未作出明确规定， ⁸⁹ Zr、 ¹⁷⁷ Lu与 ¹³¹ I均为中毒，参考 ¹³¹ I进行取值； ⁶⁴ Cu、 ⁶⁸ Ga与 ¹⁸ F均为低毒，参考 ¹⁸ F进行取值。
⁶⁴ Cu、 ⁶⁸ Ga	1	

表 10-7 本项目各场所不同操作性质的修正因子

场所名称	操作方式	操作性质修正因子	判定依据
回旋加速器机房、热室	制备、合成、分装	1	GBZ 120-2020附录G表G.3
小动物注射室、扫描机房、给药室	施给药、使用	1	
废物间、固废间	废物处理	10	
治疗病房	治疗病床区	1	

根据公式(10-2)，计算得到本项目各工作用房所用核素的加权活度结果见表10-8。

表 10-8 核医学科放射性核素的加权活度计算

工作用房	核素名称	日操作最大活度 (Bq)	毒性权重因子	操作性质修正因子	放射性核素加权活度 (MBq)	场所分类
回旋加速器机房、热室	¹⁸ F	3.34×10 ¹⁰	1	1	33400	95664 I类
	¹¹ C	7.41×10 ⁸	1	1	741	
	¹³ N	7.41×10 ⁸	1	1	741	
	⁶⁴ Cu	7.41×10 ⁸	1	1	741	
	⁶⁸ Ga	7.41×10 ⁸	1	1	741	
	⁸⁹ Zr	5.93×10 ⁸	100	1	59300	

回旋加速器 废物间	¹⁸ F	3.34×10 ¹⁰	1	10	3340	9566.4	II类
	¹¹ C	7.41×10 ⁸	1	10	74.1		
	¹³ N	7.41×10 ⁸	1	10	74.1		
	⁶⁴ Cu	7.41×10 ⁸	1	10	74.1		
	⁶⁸ Ga	7.41×10 ⁸	1	10	74.1		
	⁸⁹ Zr	5.93×10 ⁸	100	10	5930		
小动物注射台所 在缓冲间	¹⁸ F	7.40×10 ⁷	1	1	74	7844	II类
	¹¹ C	7.40×10 ⁷	1	1	74		
	¹³ N	7.40×10 ⁷	1	1	74		
	⁶⁴ Cu	7.40×10 ⁷	1	1	74		
	⁶⁸ Ga	7.40×10 ⁷	1	1	74		
	⁸⁹ Zr	7.40×10 ⁷	100	1	7400		
	^{99m} Tc	7.40×10 ⁷	1	1	74		
小动物PET/MR 机房、小动物 PET/CT机房	¹⁸ F	3.70×10 ⁷	1	1	37	3885	II类
	¹¹ C	3.70×10 ⁷	1	1	37		
	¹³ N	3.70×10 ⁷	1	1	37		
	⁶⁴ Cu	3.70×10 ⁷	1	1	37		
	⁶⁸ Ga	3.70×10 ⁷	1	1	37		
	⁸⁹ Zr	3.70×10 ⁷	100	1	3700		
小动物 SPECT/CT机房	^{99m} Tc	7.40×10 ⁷	1	1	74	74	II类
小动物固废间	¹⁸ F	7.40×10 ⁷	1	10	7.4	784.4	II类
	¹¹ C	7.40×10 ⁷	1	10	7.4		
	¹³ N	7.40×10 ⁷	1	10	7.4		
	⁶⁴ Cu	7.40×10 ⁷	1	10	7.4		
	⁶⁸ Ga	7.40×10 ⁷	1	10	7.4		
	⁸⁹ Zr	7.40×10 ⁷	100	10	740		
	^{99m} Tc	7.40×10 ⁷	1	10	7.4		
给药室	¹³¹ I	3.90×10 ¹⁰	100	1	3900000	3900000*	I类
	¹⁷⁷ Lu	7.40×10 ⁹	100	1	740000		
治疗病房	¹³¹ I	3.90×10 ¹⁰	100	1	3900000	3900000*	I类
	¹⁷⁷ Lu	7.40×10 ⁹	100	1	740000		
注：*代表甲癌住院治疗时间为每周一至每周五，周六与周日为 ¹⁷⁷ Lu患者住院治疗时间，因此核医学科2层工作场所放射性核素加权活度取最大值。							

本项目工作场所回旋加速器机房、热室、给药室、治疗病房属于I类工作场所，其他工作用房属于II类工作场所。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

要求见下表。

表 10-9 不同类别核医学工作场所的室内表面及装备结构要求

场所分类	地面	表面	通风橱 ²⁾	室内通风	管道	盥洗及去污	结构屏蔽
I	地板与墙壁 接缝无缝隙	易清洗	需要	特殊的强通风	特殊的管道 ^a	洗手盆 ^b 和去污设备	需要
II	地板与墙壁 接缝无缝隙	易清洗	需要	良好通风	普通管道	洗手盆 ^b 和去污设备	需要
III	易清洗	易清洗	不需要	一般自然通风	普通管道	洗手盆 ^b	不需要

注：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。

10.1.1.5 辐射屏蔽设计

本项目辐射工作场所的屏蔽设计见表 10-10。

表 10-10 本项目辐射工作场所的屏蔽设计方案

回旋加速器自屏蔽设计				
名称	四侧主要屏蔽材料及厚度			
回旋加速器自屏蔽设计	300mm 是铅、环氧树脂和碳化硼组成的高密度铸体 +700mm 聚乙烯\碳化硼和承载混凝土构成			
药物传输通道	采用地沟：100mm×100mm，屏蔽为 60mm 厚铅板			
通风管道、线缆管道穿墙	采用水平 45 度穿墙，管道内外侧用硫酸钡封堵。			
回旋加速器楼工作场所核素制备区域				
场所名称	四侧墙体屏蔽材料及厚度	顶棚与地面屏蔽材料及厚度	防护门	传递窗或其他
回旋加速器机房	900mm 砼	顶棚：800mm 砼 地面：/	250mm 含硼聚乙烯+20mm 铅板	药物传输管道： 60mmPb
热室	北墙：900mm 砼 其余：24cm 实心砖墙	顶棚：200mm 砼 地面：/	10mmPb	6mmPb
合成热室	六面：70mmPb	/	/	/
分装热室	六面：70mmPb	/	/	/
污物间	24cm 实心砖	顶棚：200mm 砼 地面：/	6mmPb	/
外包间、准备间、成品间、无菌检测、阳性对照	24cm 实心砖	顶棚：200mm 砼 地面：/	2mmPb	/
回旋加速器楼工作场所小动物显像标记区域				
小动物 PET/MR 机房	24cm 实心砖	顶棚：200mm 砼 地面：/	3mmPb	3mmPb 铅玻璃
小动物 PET/CT 机房	24cm 实心砖	顶棚：200mm 砼 地面：800mm 砼	3mmPb	3mmPb 铅玻璃

小动物 SPECT/CT 机房	24cm 实心砖	顶棚：200mm 砼 地面：800mm 砼	3mmPb	3mmPb 铅玻璃
注射台所在 缓冲间	24cm 实心砖	顶棚：200mm 砼 地面：/	3mmPb	3mmPb 铅玻璃
固废间	24cm 实心砖	顶棚：200mm 砼 地面：/	3mmPb	3mmPb 铅玻璃
核医学科 2 层工作场所				
3 号楼 现有给药室	西侧：37cm 实心 砖墙+6mmPb 防 护涂料 其余：37cm 实心 砖墙+3mmPb 防 护涂料	顶棚：150mm 砼 地面：300mm 砼	3mmPb	/
3 号楼 2 层 卫生通过间	37cm 实心砖墙+ 3mmPb 防护涂料	顶棚：150mm 砼 地面：15cm 混凝土+ 5mmPb 防护涂料	3mmPb	/
现有 核素治疗病 房	37cm 实心砖墙+5 mmPb 防护涂料	顶棚：150mm 砼+ 5mmPb 防护涂料 地面：150mm 砼+ 5mmPb 防护涂料	5mmPb	5mmPb 铅玻璃
新增 核素治疗病 房	37cm 实心砖墙+5 mmPb 防护涂料	顶棚：300mm 砼 地面：300mm 砼	12mmPb	20mmPb 铅玻璃
注：1、核医学科 1 层工作场所仅新增 ^{11}C 、 ^{13}N 两种核素，分装室、注射室、PET/CT 机房等工作用房的屏蔽防护均不变。 2、实心砖密度 $\geq 1.65\text{g/cm}^3$ ；防护涂料密度 $\geq 3.8\text{g/cm}^3$ ；混凝土密度 $\geq 2.35\text{g/cm}^3$ ；铅板纯度不低于 99.9%。				

10.1.1.6 辐射安全防护措施

(1) 辐射安全措施

本项目新增的核医学用房均拟按《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中乙级工作场所来进行设计施工，具体如下：

①本项目回旋加速器楼工作场所拟设置工作人员专用出入口，专用出入口设置门禁，无关人员不能进入；核医学科2层工作场所中回旋加速器楼2层拟设置病人专用的出口，出口防护门均设单向门禁（只出不进），新增的核素治疗病房设置专用厕所，且患者通道内的相应位置拟设置视频监控系统，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。

②核医学用房装修时，控制区和监督区的地面与工作台面均拟铺设塑料地坪，地面平整光滑无缝，易于清洗不渗漏，有利于表面污染的防治。

③核医学科2层工作场所拟利用原有卫生通过间与给药室等配套房间，有利于工作

人员污染的防治。

④回旋加速器楼工作场所淋浴间、新增核素治疗病房卫生间均设置为感应式水龙头，便池拟设为感应式节水座便马桶。

⑤放射性废液收集的管道走向、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，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。

(2) 安全防护设施

①回旋加速器楼工作场所辐射安全措施

A、回旋加速器机房辐射安全措施

a、安全联锁：回旋加速器机房拟设置门机联锁装置和延时开门措施，当防护门未关闭到位时，加速器无法开启高压出束；当加速器工作过程中误操作打开防护门时，加速器立即停止出束；控制台和大厅门钥匙控制；辐射报警灯和报警与加速器准备出束状态联锁，准备出束时发出警示；回旋加速器运行启动与辐照参数预选数联锁；控制台设有参数联锁，如水冷、真空度、气压、磁场等运行参数，只有当各项参数给出预选值显示，回旋加速器才能启动，否则不得启动。

b、工作指示灯警示装置：机房门口拟设置声光报警装置和工作状态指示灯，并与加速器联锁。工作状态指示灯为红、绿，当回旋加速器未工作时，绿灯亮（红灯不亮）；正常工作时，红灯亮且灯光闪烁（绿灯不亮），防止无关人员逗留和误入。

c、电离辐射警告标志：回旋加速器机房防护门醒目位置设置电离辐射警告标志；

d、开门开关：加速器机房入口门内侧及外侧，靠近防护门处设置 1 个开门开关，当人员被关在机房内紧急情况下按下开关，可实现防护门从内部打开，同时加速器停止出束；

e、急停开关及清场措施：加速器机房进出口、控制台操作台合适位置上各设置 1 个急停开关，人员滞留在机房内时就可以按下开关，实现加速器停止出束；回旋加速器运行前必须清场，确定无人后方可出束。

f、固定式辐射监测报警装置：回旋加速器机房拟设置固定式辐射监测报警装置，探头位于机房内，监测装置位于控制室。

g、视频监控：回旋加速器机房内拟安装视频监控，监视器设置于控制室内，工作人员可及时掌握回旋加速器机房内部情况。

h、回旋加速器机房的建造拟一次性浇筑，不采用富含铁矿物质的混凝土，不采用重晶石或铁作为混凝土的骨料。

B、热室辐射安全措施

a、电离辐射警告标志：合成热室入口与合成、分装柜表面醒目位置设置电离辐射警告标志。

b、当回旋加速器制备出核素之后，放射性核素传输之前，热室设备将根据程序设定，自动检测合成热室的门是否已经关闭，合成热室里面的压力是否满足负压要求；只有这两项条件均满足的情况下，放射性核素才能通过管道进行传送，同时在控制室内操作台上有相应的核素传输工作状态指示灯。

c、剂量监测：合成热室所在房间内安装固定式剂量率仪，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。

d、视频监控：拟安装视频监控系统，便于辐射工作人员观察操作场所内及周边的情况。

C、质控室辐射安全措施

电离辐射警告标志：质控室入口与手套箱表面醒目位置设置电离辐射警告标志；核素制备区域的辐射安全措施示意图见图10-1。

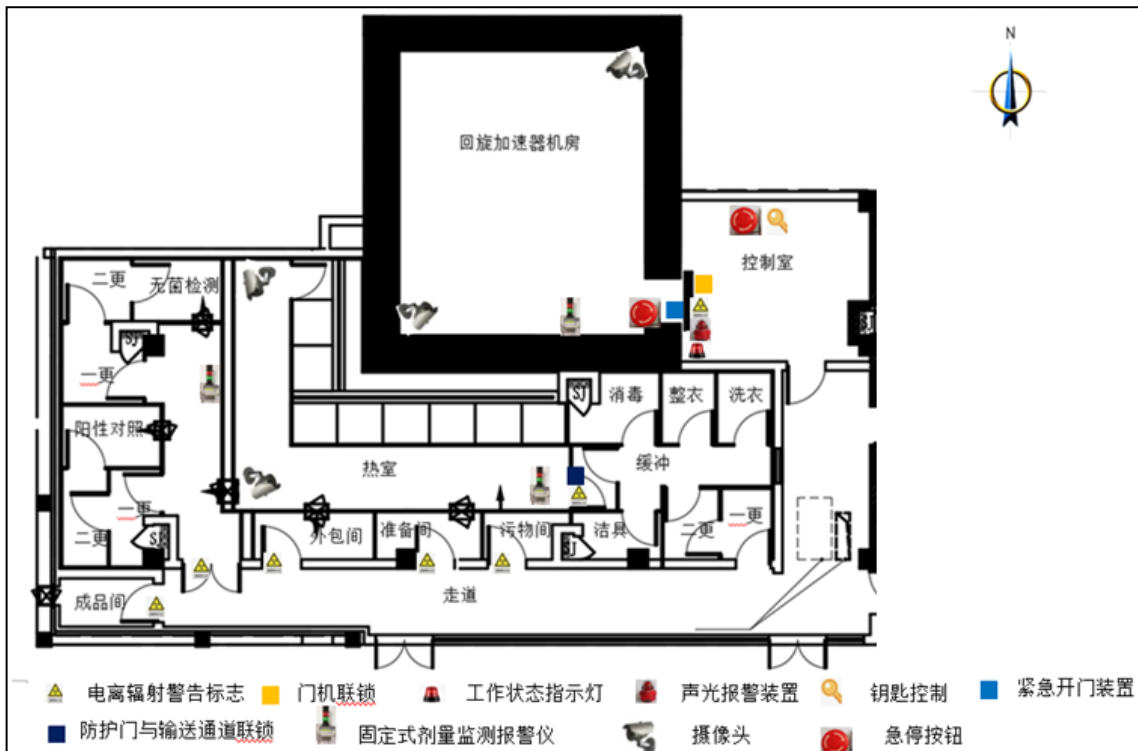


图10-1 核素制备区域的辐射安全措施示意图

D、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》（GB 18871-2002）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。

b、操作放射性药物时，须在有负压的热室分装柜内或手套箱内进行，防止放射性物质飞散；

c、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》（GB 18871-2002）中规定的标准值。

d、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；

E、外照射防护措施

a、操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。

b、控制区内不进行无关工作及存放无关物品。

c、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，如其污染水平如超过《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）表2要求，应采取相应去污措施。

d、从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过GBZ 120-2020表2规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

e、放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。

f、贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的固定措施。

g、当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，参照使用GBZ 120-2020中6.1.2和附录K所列用品，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。

F、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、热室操作放射性核素在负压的热室分装柜内进行，质控室使用放射性药物均在手套箱中进行，通风速率不低于0.5m/s，且设置了高效过滤器和活性炭过滤器，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。

G、安保措施

核素制备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。

②回旋加速器楼工作场所小动物显像标记区域

A、警告设施

拟在小动物 PET/MR 机房、小动物 PET/CT 机房与小动物 SPECT/CT 机房防护门外及射线装置外表面设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。

B、急停开关

拟在小动物 PET/MR、小动物 PET/CT 与小动物 SPECT/CT 各自控制台上安装供紧急情况使用的强制终止照射的急停开关。一旦在检查过程中出现紧急情况，工作人员按动紧急停止按钮即可让小动物 PET/MR、小动物 PET/CT 与小动物 SPECT/CT 停止运行。

C、视频监控

在小动物显像标记区域范围内每层设置 1 套视频监控系统，便于观察小动物的情况、工作场所进出/口情况。

D、放射性药物的存放控制措施

小动物显像标记区域使用的正电子放射性核素药物均为西侧核素制备区域生产，辐射工作人员在热室分装好在有防护套的注射器中，装入转运铅罐，由辐射工作人员转运至小动物显像标记区域的注射台待注射使用；小动物显像标记区域使用的 ^{99m}Tc 放射性核素由供应商分装好在有防护套的注射器中，装入转运铅罐，由专人转运至小动物显像标记区域的注射台待注射使用；并建立健全放射性物质的领用、运送登记和

定期检查制度。

E、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，环评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，防止意外撒漏。

b、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，工作人员人员进入控制区，应穿工作服，涉及放射性同位素的操作佩戴乳胶手套。

c、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。

F、外照射防护措施

a、装有放射性药物的给药注射器，拟设置注射防护套的适当屏蔽。

b、辐射工作人员在进行小动物注射、小动物扫描摆位等操作时，须在铅玻璃屏风后进行操作，并穿好防护铅衣。

c、在满足实验质量的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。保持与辐射源尽可能大的距离，使距离最大化。

d、控制区内不进行无关工作及存放无关物品。

e、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，如其污染水平如超过《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）表2要求，应采取相应去污措施。

f、从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过GBZ 120-2020表2规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

g、放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。

h、贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污染容器，容器在运输时应有适当的固定措施。

i、当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，参照使用GBZ 120-2020中6.1.2和附录K所列用品，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，同时对于近距离操作放射性药物的工作人员，宜进行手部剂量和眼晶状体剂量监测。

G、内照射防护措施

a、注射台面和扫描台面光滑易去污，操作处设置承接盘、隔尿垫。

b、制定各项操作规程制度和操作规程，要求工作人员严格遵守规章制度，按操作规程进行操作。一旦发现放射性污染，组织一旦发现放射性污染，组织相关人员应立即收集污染物，采用擦洗方法处理，监测表面污染状况，采取措施确保表面污染水平低于控制限值，并将擦拭物作为放射性固废处置。

c、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。

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、辐射工作人员离开辐射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。

H、安保措施

小动物显像标记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。

③核医学科 1 层工作场所

核医学科 1 层工作场所仅新增 ^{11}C 、 ^{13}N 两种核素，分装室、注射室、PET/CT 机房等工作用房的辐射安全防护设施或措施均不变。

④核医学科 2 层工作场所

A、警告设施

a、在治疗病房防护门外、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、在现有卫生通过间门口已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工作场所控制区域。

B、视频监控和对讲装置

在工作场所范围内设置视频监控系统，便于观察住院病人的情况、核医学科工作场所进出口情况；服药窗口与分装控制室之间拟安装对讲装置，便于工作人员通过对讲装置与患者联系。

C、门禁系统

核医学科 2 层工作场所进出口均设单向门禁（只进不出或只出不进），严禁住院患

者随意进出，也严禁无关人员滞留或误入。

a、在工作场所入口处和通道中已设置专用门禁系统，只允许单向通行，防止住院患者进入监督区和病人家属及其他无关人员等进入控制区；

b、在工作场所出口处拟设置专用门禁系统，防止住院患者不遵循医生要求，擅自离开控制区。

D、外照射防护措施

a、装有放射性药物（ ^{177}Lu ）的给药注射器，拟设置注射防护套的适当屏蔽。

b、操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。

c、操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在手套箱内进行，手套箱保持良好通风。

d、控制区内不进行无关工作及存放无关物品。

e、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，如其污染水平如超过《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）表2要求，应采取相应去污措施。

f、从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过GBZ 120-2020表2规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

g、专业供应商将放射性药物 ^{131}I 送至给药室的自动分碘仪，将分装好的放射性药物 ^{177}Lu 装于注射器，送至给药室的保险柜，给药室按储源库进行管理，采取双人双锁，且设有带有报警功能的视频监控装置。

h、贮存的放射性药物 ^{131}I 与 ^{177}Lu 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。

i、当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，参照使用GBZ 120-2020中6.1.2和附录K所列用品，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。

E、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¹³¹I的分装通过遥控装置控制自动分碘仪进行，手套箱通风速率不低于0.5m/s，且设置了高效过滤器和活性炭过滤器，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。

F、安保措施

核医学科 2 层工作场所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

本项目各辐射工作场所拟设置的防护设备与防护用品设置情况详见表 10-11。

表 10-11 本项目各辐射工作场所防护设备及防护用品设置情况表

回旋加速器楼工作场所核素制备区域				
序号	种类名称	设置场所	数量	规格
1	洗靶防护工作台	回旋加速器机房	1 个	50mmPb
2	药物转运防护罐	热室	4 个	40mmPb
3	手套箱	质控室	2 个	20mmPb
4	铅衰变桶	回旋加速器机房、热室、质控室	3 个	20mmPb, 10L
5	铅衰变柜	废物间	1 个	20mmPb, 100L
6	表面污染监测仪	控制室、热室缓冲间、质检室缓冲间	3 台	型号待定
7	固定式辐射剂量率检测仪	热室和回旋加速器机房	2 台	型号待定
8	X、γ 剂量率检测仪	控制室	1 台	/
9	个人剂量报警仪	人员随身携带	5 台	/
10	个人剂量计	人员随身携带	5 支	/
回旋加速器楼工作场所小动物显像标记区域				
1	铅衰变桶	注射台、PET/MR 机房 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房	4 个	10mmPb, 10L
2	铅衰变柜	固废间	1 个	10mmPb, 50L
3	铅衰变冰柜	缓冲间	1 个	10mmPb, 50L

4	表面污染监测仪	注射间	1台	型号待定
5	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	各控制室	4套	0.5mmPb
6	个人剂量报警仪	人员随身携带	3台	/
7	个人剂量计	人员随身携带	4支	/
核医学科 2 层工作场所				
1	手套箱 (¹³¹ I)	给药室	1台	25mmpb
2	自动分碘仪 (现有)	给药室	1台	/
3	铅衰变桶 (部分现有)	服药窗口、核素治疗病房	20个	20mmPb, 10L
4	铅衰变柜 (现有)	3号楼1层废物间	3个	20mmPb, 50L
5	注射器防护套	给药室	1个	10mmPb
6	去污工具组	卫生通过间	1套	/
7	个人剂量报警仪	/	2台	/
8	个人剂量计	/	1支/人	/
9	表面污染监测仪 (现有)	卫生通过间	1台	/
10	X、γ 剂量率检测仪 (现有)	卫生通过间	1台	/
注: 核医学科 1 层工作场所仅新增 ¹¹ C、 ¹³ N 两种核素, 工作场所防护设备及防护用品均依托现有。				

本项目各工作场所核医学辐射防护与安全要求符合性分析表详见表 10-12。由表 10-12 可知, 本项目各辐射工作场所均满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 的要求。

表 10-12 核医学辐射防护与安全要求符合性分析表

《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ1188-2021)的要求	回旋加速器楼工作场所	核医学科 1 层工作场所	核医学科 2 层工作场所
<p>核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。</p> <p>核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所所有明确的分界隔离。</p> <p>核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。</p>	<p>回旋加速器楼工作场所位于单独的回旋加速器楼内，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并与非放射性工作场所所有明确的分界隔离。本项目工作场所排风口的位置远离周边高层建筑。</p>	<p>核医学科 1 层工作场所位于单独的 3 号楼内，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并与非放射性工作场所所有明确的分界隔离。本项目工作场所排风口的位置远离周边高层建筑。</p>	<p>核医学科 1 层工作场所位于 3 号楼与回旋加速器楼内，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并与非放射性工作场所所有明确的分界隔离。本项目工作场所排风口的位置远离周边高层建筑。</p>
<p>核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。</p>	<p>该场所有相对的工作人员、放射性药物和放射性废物路径。</p>	<p>该工作场所是门诊诊断场所，设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。</p>	<p>该工作场所是住院治疗场所，设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。</p>
<p>回旋加速器机房的建造应避免采用富含铁矿石的混凝土，避免混凝土中采用重晶石或铁作为骨料；回旋加速器机房的电缆管沟、通风管道等穿过屏蔽体时，应采用地沟或 S 型、V 型、Z 型穿过墙壁，并进行屏蔽补偿，确保满足屏蔽体墙外的防护要求。</p>	<p>回旋加速器机房的建造采用普通混凝土；电缆管沟、通风管道等穿过屏蔽体时，拟采用地沟穿过墙壁，并进行屏蔽补偿。</p>	<p>/</p>	<p>/</p>
<p>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 2.5μSv/h，放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h。</p>	<p>经表 11 核算，工作场所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小于 2.5μSv/h；放射性药物合成和分装的箱体、手套箱等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h。</p>	<p>经表 11 分析，工作场所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小于 2.5μSv/h；手套箱等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。</p>	<p>经表 11 分析与核算，工作场所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小于 2.5μSv/h；手套箱等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。</p>

表 10-12 续表 核医学辐射防护与安全要求符合性分析表

《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ1188-2021) 的要求	回旋加速器楼工作场所	核医学科 1 层工作场所	核医学科 2 层工作场所
操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行, 丙级可在通风橱内进行。	该工作场所属于乙级场所, 在合成箱与手套箱内操作放射性药物。	该工作场所属于乙级场所, 在手套箱内操作放射性药物。	该工作场所属于乙级场所, 在手套箱内操作放射性药物。
回旋加速器机房应设置门机联锁装置和延时开门措施, 机房内应设置紧急停机开关、紧急开门按钮及清场措施, 并安装固定式剂量率报警仪。机房门口应有声光报警装置和工作状态指示灯, 并与加速器联锁。	回旋加速器机房设置门机联锁装置和延时开门措施, 机房内设置紧急停机开关、紧急开门按钮及清场措施, 并安装固定式剂量率报警仪。机房门口有声光报警装置和工作状态指示灯, 并与加速器联锁	/	/
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; 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶, 尽可能远离邻近的高层建筑	该工作场所均设有单独的通风系统, 加速器自屏蔽区内均有单独排气管道, 并相对加速器室呈负压状态; 手套箱风速不小于 1m/s。通风系统排气口高于本建筑物屋顶, 并远离邻近的高层建筑	工作场所内均设有单独的通风系统, 保持治疗区域内的负压, 工作场所内的空气均经单独的排气管道有组织排放; 手套箱风速不小于 1m/s。排气口高于本建筑物屋顶, 并远离邻近的高层建筑。	工作场所内均设有单独的通风系统, 病房的门窗均有封闭措施, 保持治疗区域内的负压, 治疗区域内的空气均经单独的排气管道有组织排放; 手套箱风速不小于 1m/s。排气口高于本建筑物屋顶, 并远离邻近的高层建筑。

10.2 “三废”处理措施

核医学科 1 层工作场所仅新增 ^{11}C 、 ^{13}N 两种核素，每日诊断最多 2 人，每日操作量仅为 $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ ，新增的放射性废气、放射性废水与放射性固废极少，对现有“三废”处理措施不构成数据冲击，依托核医学科 1 层工作场所的“三废”处理措施是可行的。

10.2.1 放射性废气

(1) 回旋加速器楼核素制备区域废气处理措施

① 废气管道风量、走向及排放口

本项目回旋加速器楼工作场所核素制备区域 1 号通风管道单独连接回旋加速器机房，设计使用总排风量为 $3000 \text{m}^3/\text{h}$ 的排风机；2 号通风管道单独连接热室，设计使用总排风量为 $3000 \text{m}^3/\text{h}$ 的排风机；3 号通风管道单独连接质控室手套箱，设计使用总排风量为 $400 \text{m}^3/\text{h}$ 的排风机；4 号通风管道连接准备间、外包间等控制区房间，设计使用总排风量为 $3000 \text{m}^3/\text{h}$ 的排风机；各排风管内保持负压，拟安装防回流装置。排风井位于回旋加速器机房西侧，工作场所所产生的放射性气体、臭氧和氮氧化物经由排风井通至回旋加速器楼楼屋顶 FDA1 排气筒统一排放，高度约 15m，周围 10m 范围内无遮挡物，同时手套箱顶壁安装活性炭，在排风口配置高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施（净化效率 99%）。FDA1 排气筒放射性废气过滤装置内的活性炭需定期更换，半年更换一次，更换下来的活性炭按放射性废物处理。

② 废气排放浓度达标性分析

^{18}F 等核素为非挥发性核素，本项目不进行定量分析，含微量核素的放射性废气经手套箱顶壁与排风口的废气处理设施处理后，其对周围环境的影响可以忽略。

(2) 回旋加速器楼小动物显像标记区域废气处理措施

① 废气管道风量、走向及排放口

回旋加速器楼工作场所 5 号通风管道连接小动物 PET/MR 机房、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、动物房、缓冲间、固废间等房间，设计使用总排风量为 $2000 \text{m}^3/\text{h}$ 的排风机；排风管内保持负压，拟安装防回流装置。排风井位于回旋加速器机房西侧，本项目小动物显像标记区域所产生的微量放射性气体、臭氧和氮氧化物经由排风井通至回旋加速器楼楼屋顶 FDA1 排气筒统一排放，高度约 15m，周围 10m 范围内无遮挡物，在排风口配置高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施（净化效率 99%）。FDA1 排气筒放射性废气过滤装置内的活性炭需定期更换，半年更换一次，更换下来的活性炭按放射

性废物处理。

②废气排放浓度达标性分析

^{18}F 等核素为非挥发性核素，本项目不进行定量分析，放射性核素已经分装好在注射台对小动物进行注射，含微量核素的放射性废气经排风口的废气处理设施处理后，其对周围环境的影响可以忽略。

(3) 核医学科 2 层工作场所废气处理措施

①废气管道风量、走向及排放口

核医学科2层工作场所排风井位于回旋加速器机房西侧，6号通风管道连接新增核素治疗病房、保洁间、患者通道以及原有甲癌治疗工作场所，设计使用总排风量为 $6000\text{m}^3/\text{h}$ 的排风机；7号通风管道单独连接给药室手套箱，设计使用总排风量为 $1000\text{m}^3/\text{h}$ 的排风机；各排风管内保持负压，拟安装防回流装置。工作场所所产生的放射性气体、臭氧和氮氧化物经由排风井通至回旋加速器楼屋顶FDA1排气筒统一排放，周围10m范围内无遮挡物，高度约15m，周围10m范围内无遮挡物，同时手套箱顶壁安装活性炭，在排风口配置高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施（净化效率99%）。FDA1排气筒放射性废气过滤装置内的活性炭需定期更换，半年更换一次，更换下来的活性炭按放射性废物处理。

②废气排放浓度达标性分析

含微量 ^{131}I 的放射性废气经手套箱顶壁与排风口的废气处理设施处理后，其对周围环境的影响可以忽略。

10.2.2 放射性废水

(1) 衰变时间可行性分析

①废水量的计算

A、回旋加速器楼核素制备区域

本项目放射性药物合成、分装过程本身不产生放射性废液。放射性废液主要来自于药物合成、分装前对生产装置进行清洗，清洗废液中可能含有前一次工作时沾在设备表面的放射性物质。按照每种核素每次操作产生 2L 放射性废液进行估算，且 ^{18}F 按操作 500 次/年估算， ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{98}Zr 各按操作 50 次/年估算，则放射性药物合成前共产生放射性废液 $1500\text{L}/\text{a}$ ($1.5\text{m}^3/\text{a}$)；另外质检废水约为 $20\text{L}/\text{d}$ ，工作场所清洗废水约 $200\text{L}/\text{d}$ ，事故应急废水约为 2 次/a、 $200\text{L}/\text{次}$ 。因此，本项目一年放射性废水排放

量共约为 $57\text{m}^3/\text{a}$ ，日均量约为 $0.16\text{m}^3/\text{d}$ （以 365 天计）。

B、回旋加速器楼小动物显像标记区域废水量

本项目小动物显像标记区域放射性废水主要来自于小动物的尿液和工作人员的清洗废水。每年检查小动物最多为 1400 只，按每只小动物每次扫描排尿 50mL 计算，则每年分别产生尿液 70L（平均每天产生尿液约 0.2L）；工作场所清洗废水约 100L/d，事故应急废水约为 2 次/a、100L/次。则小动物显像标记区域每天产生放射性废水约 0.1m^3 ，年产生放射性废水约 25m^3 。

c、核医学科 2 层工作场所废水量

根据医院提供的资料，甲癌、 ^{177}Lu 住院病人最大共 600 人次/年，保守全按住院 7 天，年工作 50 周。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，则核素治疗病房工作场所患者每年产生放射性废水 420m^3 ；另外核素治疗病房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，废水排放系数取 0.8，则年产生清洗废水 140m^3 。因此核素治疗病房工作场所每年产生放射性废水 560m^3 ，平均每天产生量约 1.54m^3 （以 365 天计）。

综上所述，本项目 3 个工作场所每日产生废水量共为 1.8m^3 ，放射性废水均排入回旋加速器楼南侧新建的衰变池进行衰变。

（2）衰变时间可行性分析

3 号楼东侧的新建废水处理设施由 4 个衰变池并联而成，4 个衰变池尺寸均为 $12.9\text{m}\times 4.2\text{m}\times 4.0\text{m}$ ，有效容积取总体积的 90%，则单个衰变池的有效容积均为 195.05m^3 。衰变池四侧墙壁设计厚度为 30cm 的混凝土，池底设计厚度为 50cm 的混凝土，顶盖设计厚度为 40cm 的混凝土，并拟对墙壁、池底做防酸碱、防渗漏处理。

本项目 3 个工作场所产生的放射性废水拟全部排入回旋加速器楼南侧衰变池，每日平均产生放射性废水总量为 1.8m^3 ，第一个衰变池存储满后，废水开始注入第二个衰变池，待第二个衰变池注满时，废水开始注入第三个衰变池，待第三个衰变池注满时，废水开始注入第四个衰变池，忽略废水在生物降解池沉淀的时间，第一个衰变池最后进入的废水存储时间为： $216.72\text{m}^3 \times 3 \div 1.8\text{m}^3 \approx 364$ 天（即为第 4 个衰变池注满的时间）。

本项目放射性废水含有 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 等 9 种放射性核素，其中 ^{131}I 半衰期最长为 8.04d，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），含碘-131 核素的暂存超过 180 天，放射性废水量已考虑了核医学科

2层核素治疗场所产生的全部放射性废水，因此本项目衰变池的容积满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天、含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期、含碘-131核素的暂存超过180天的要求。

②排放废水浓度达标性分析

本项目辐射工作场所每日平均产生放射性废水总量为 1.8m^3 ，第一个衰变池存储满后，废水开始注入第二个衰变池。第一个衰变池最后进入的废水存储时间为： $216.72\text{m}^3/1.8\text{m}^3=120$ 天（即为第1个衰变池注满的时间）。

回旋加速器楼工作场所核素排入衰变池的最大活度按照当日其使用量的20%计，核医学科2层工作场所核素排入衰变池的最大活度按照当日其使用量的80%计，估算放射性废水中各核素经364天衰变后的排放量。 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等6种放射性核素半衰期较短，不进行活度浓度的计算， ^{89}Zr 、 ^{131}I 、 ^{177}Lu 等3种放射性核素计算结果见表10-13。

表 10-13 排放废水中 ^{131}I 等核素的 ALI_{min} 估算一览表

核素名称	排入衰变池核素量 (Bq)	核素半衰期	存放天数	剩余核素活度 (Bq)	排入废水中核素活度 (Bq) *		ALI_{min} (Bq)	活度浓度 (Bq/L)
					每次	每月		
^{89}Zr	9.75×10^9	3.27d	364d	< 0.01	< 0.01	< 0.01	1.52×10^6	< 0.01
^{131}I	1.39×10^{12}	8.02d	364d	< 0.01	< 0.01	< 0.01	2.27×10^5	< 0.01
^{177}Lu	9.87×10^{10}	6.73d	364d	< 0.01	< 0.01	< 0.01	4.55×10^6	< 0.01
合计								< 0.01

注：根据GB18871-2002附录B中B1.3.4和B1.3.5条规定，对于职业照射，在一定的假设下，可将 $I_{j,L}$ 用作ALI。计算公式为： $I_{j,L}=D_L/e_j$ ，其中， D_L 为相应的有效剂量的年剂量限值，本次评价取 5mSv/a ； e_j 为GB18871-2002附录表B3中给出的放射性核素j的单位摄入量所致的待积有效剂量的相应值，本次评价取吸入值和食入值中的最大值。

放射性废水经衰变池衰变后，废水中各放射性核素一次排放量均小于相应核素的 1ALI_{min} ，月排放量小于相应核素的10倍 ALI_{min} ，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，同时排放浓度满足满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中总 β 不大于 10Bq/L 、碘-131的放射性活度浓度不大于 10Bq/L 的要求。

放射性废水排放每次排放须监测符合排放标准经审管部门同意或批准，废水排放应做好排放台账，详细记录排放时间、监测数据、排放量等内容。

(3) 衰变池平面设计

回旋加速器楼南侧的废水处理设施由4个衰变池并联而成，4个衰变池尺寸均为

12.9m×4.2m×4.0m,有效容积取总体积的90%,则单个衰变池的有效容积均为195.05m³。衰变池四侧墙壁设计厚度为30cm的混凝土,池底设计厚度为50cm的混凝土,顶盖设计厚度为40cm的混凝土,并拟对墙壁、池底做防酸碱、防渗漏处理。

本项目产生的放射性废水混合收集,四个衰变池按序轮流收贮、存放、排放,经第一衰变池收贮存满,再开启第二衰变池开始收贮废水,当第二池收贮存满,再开启第三池收贮,当第三池收贮存满,再开启第四池收贮,而当第四个衰变池收贮废水临近存满时,则可将第一个衰变池内的废水(此时第一池内废水放射性水平应已降至排放限值以下)排入医院废水处理系统进一步处理,此过程采用自动控制方式。

① 衰变池选址

本项目衰变池分别拟建于回旋加速器楼南侧地下,为地理式设计,标高低于核医学科工作场所。衰变池四周主要为绿化带、停车场,该选址属于人员较少居留位置。因此从辐射防护考虑,选址合理。

② 废水管道敷设计

废水管道裸露部分拟用6mmPb铅皮包裹,控制区内同位素产生的放射性废水通过自流方式(废水管道地下敷设有坡度)沿由废水管道流向室外的衰变池。放射性废水管道走管区域均属人员居留较少区域,布置走向合理。建议放射性废水收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区,下水道宜短,大水流管道应有标记,避免放射性废水集聚,便于检测和维修。

③ 预期治理效果

放射性废水在衰变池停留衰变,达到解控水平,经检测衰变池出口的废水总β满足标准要求后方可排入医院普通污水处理系统作进一步处理。

为保障放射性废液衰变处理系统的长效可靠运行,本次评价要求:

a、衰变后的废水需经过有监测资质的单位监测达标(总β<10Bq/L)并经过监管部门核准后方可排入医院普通污水处理系统。

b、放射性废液的暂存和处理应安排专人负责,并建立废液暂存和处理台账,详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、每次排放时间、排放量、监测结果等信息并建档备查。同时,建立排水计划。

c、衰变池需设立明显的电离辐射警示标志。

d、衰变池的池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏

措施。衰变池四周设置排水沟防止雨水灌入池体，同时衰变池应作为重点防渗区进行管理，其防渗系数需 $\leq 10^{-8}$ cm/s。

衰变池的建设应满足以下要求：

衰变池的池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性。四个衰变池并联连接，衰变池废水排放口应设置放射性废液监控装置，经检测符合排放标准后方可排放。同时对放射性废水衰变池还应建立定期检查制度，防止泄漏。

10.2.3 放射性固废

(1) 放射性固废产生量及收集措施

①回旋加速器楼核素制备区域

本项目核素制备区域产生的回旋加速器靶废料，即靶窗、废弃的离子源灯丝等，一年产生约50kg，为感生放射性废物。本项目将其置于铅废物桶中，暂存在热室南侧的废物间内，后交由回旋加速器厂家回收。

本项目放射性药物制取时产生放射性残留物如硅胶、树脂、氧化铝、碳柱、滤膜和废活性炭等，每年产生约120kg；操作药物时主要产生的手套、口罩和清洁时用过的抹布、托布等，年产生量约20kg。另外活性炭1次装量约5kg，约半年更换1次，核素制备区域共有2个活性炭吸附装置，则每年产生废活性炭约20kg。

本项目核素制备区域拟配置3个容积为10L、防护当量为20mmPb的放射性铅废物桶和1个容积为100L、防护当量为20mmPb的铅衰变柜，铅衰变柜放置于废物间暂存放射性固废，其余3个放射性铅废物桶分别放置于回旋加速器机房、热室和质控室用于收集放射性固废。这些放射性废物暂存于热室南侧的废物间内，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，含 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等6种放射性核素的放射性固废衰变30天后达到解控标准后按普通医疗废物处理，含 ^{98}Zr 放射性核素的放射性固废衰变10个半衰期后达到解控标准后按普通医疗废物处理。

②回旋加速器楼小动物显像标记区域

小动物显像标记区域放射性固废主要为残留注射器、手套等固废和小动物尸体。

残留注射器、手套等固废按每只小动物产生10g计算，每年检查小动物最多为1400只，则每年分别产生固废约14kg，废物中主要核素为 ^{18}F 等短半衰期放射性核素，暂存于固废间内。年产生1400只小动物尸体，重约140kg，暂存于铅防护冰柜。

本项目小动物实验区域拟配置4个容积为10L、防护当量为10mmPb的放射性铅废

物桶与 1 个防护当量为 10mmPb 铅衰变柜以及 1 个防护当量为 10mmPb 铅防护冰柜。3 个放射性铅废物桶分别放置于小动物 PET/MR 机房、小动物 PET/CT 机房与小动物 SPECT/CT 机房用于收集放射性固废，1 个放射性铅废物桶放置于注射台用于收集放射性固废，铅衰变柜放置于固废间用于暂存放射性固废，铅防护冰柜放置于缓冲间用于暂存小动物尸体。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，含 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等 6 种放射性核素的放射性固废衰变 30 天后达到解控标准后按普通医疗废物处理，含 ^{98}Zr 放射性核素的放射性固废衰变 10 个半衰期后达到解控标准后按普通医疗废物处理，小动物尸体达到解控标准后定期交有资质单位处理。

③ 核医学科 2 层工作场所

核医学科 2 层工作场所产生的放射性废物主要为：注射过程产生的一次性注射器、手套、空药瓶；服药过程中病人产生的含 ^{131}I 的一次性口杯、擦拭纸巾；病人呕吐物、擦拭纸、住院期间的污被与废活性炭等。

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。本项目设有 16 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，2 层工作场所 1 周接待甲癌患者与 ^{177}Lu 患者最多共 18 人，产生污被每周约 18 套，约 18kg/周，900kg/年；扣除污被产生量则核医学科 2 层工作场所放射性固废产生量为 35kg/周，1750kg/年。另外活性炭 1 次装量约 5kg，约半年更换 1 次，核医学科 2 层工作场所共有 1 个活性炭吸附装置，则每年产生废活性炭约 10kg。所有废物暂存在核医学科 1 层的固废间内，达到解控标准后按普通医疗废物处理，废活性炭按放射性固废委托有资质单位处理。

核医学科 2 层工作场所已配置 18 个容积为 10L、防护当量为 20mmPb 的放射性铅废物桶，本项目新增 2 个容积为 10L、防护当量为 20mmPb 的放射性铅废物桶来收集废物。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，暂存于 1 层工作场所的废物间，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 1 层工作场所废物间暂存 180 天后外包洗涤，废活性炭按放射性固废处理。

（2）放射性固废处置措施

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、核医学实践中产生的短寿命放射性废物，应尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。

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

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

F、放射性废物每袋重量不超过 20kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

G、产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不超过审管部门批准的限制要求。

H、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。

I、废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

J、核素制备区域放射性固废暂存超过 30 天或核素最长半衰期的 10 倍后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

K、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。

L、放射性废物封存时需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。

M、含放射性的实验动物尸体或器官应装入废物袋做好防腐措施（如存放至专用冰柜内），并做好屏蔽防护。

N、小动物显像标记区域放射性固废暂存时间暂存时间超过 30 天或核素最长半衰

期的 10 倍后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

O、核医学科 2 层工作场所的放射性固废暂存超过 180 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

10.3 环保投资估算一览表

本项目总投资 5000 万元，其中项目环保投资约 560 万元，占项目总投资的 11.20%。该项目具体环保投资估算详见表 10-14。

表 10-14 环保投资估算一览表

项目		设施（措施）	金额（万元）
回旋加速器楼	屏蔽措施	核医学科屏蔽措施详见表 10-10。	450
	辐射安全防护措施	回旋加速器机房与热室安全联锁、工作指示灯与警示装置、电离辐射警告标志、开门开关、急停开关、视频监控及固定式辐射监测报警装置等辐射安全防护措施；小动物显像标记区域的工作状态指示灯、急停开关、视频监控等辐射安全防护措施；核医学科 2 层工作场所的视频监控和对讲装置、专用门禁系统等辐射安全措施。	10
	放射性废气处理	回旋加速器楼共设置 6 条独立通风管道，其中包括回旋加速器机房、热室、手套箱单独设置通风管道。项目核医学科所产生的放射性气体、臭氧和氮氧化物经由排风井通至回旋加速器楼屋顶的排气口统一排放，并设置高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施。	30
	放射性废水处理	回旋加速器楼南侧的废水处理设施由 4 个衰变池并联而成，4 个衰变池尺寸均为 $12.9\text{m}\times 4.2\text{m}\times 4.0\text{m}$ ，有效容积取总体积的 90%，则单个衰变池的有效容积均为 195.05m^3 。衰变池四侧墙壁设计厚度为 30cm 的混凝土，池底设计厚度为 50cm 的混凝土，顶盖设计厚度为 40cm 的混凝土，并拟对墙壁、池底做防酸碱、防渗漏处理。	利旧
	放射性固废处理	本项目核素制备区域拟配置 3 个容积为 10L、防护当量为 20mmPb 的放射性铅废物桶和 1 个铅衰变柜，小动物显像标记区域拟配置 4 个容积为 10L、防护当量为 10mmPb 的放射性铅废物桶、1 个防护当量为 10mmPb 铅衰变柜以及 1 个防护当量为 10mmPb 铅防护冰柜。核医学科 2 层工作场所新增 2 个容积为 10L、防护当量为 20mmPb 的放射性铅废物桶，其他固废处理设施依托现有设施。	10
	防护设备及防护用品	防护设备及防护用品详见表 10-11。	39
	警示标识	电离辐射警示标志，控制区、监督区标示牌等，	1
环评与验收			20
合计			560

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 施工期环境影响分析

本项目回旋加速器楼施工期主要环境影响因素包括施工扬尘、废水、噪声和固体废物。

(1) 施工扬尘主要产生于施工过程中粉状物料运输、暂存,属无组织排放,在施工过程中应做好粉状物料的遮盖、防风和洒水等防治措施。

(2) 施工期废水主要来自施工过程的少量物料拌和用水,物料拌和用水随物料用于建筑施工,通过自然蒸发耗散;施工人员少量的生活污水将依托医院现有的生活、卫生设施。

(3) 噪声主要是运输车辆、切割机等施工机械运行时的噪声,均为间歇性运行,运行时间短,并且均在本项目场地内施工。

(4) 施工期间固体废物主要为施工人员的生活垃圾。施工期的生活垃圾及时清运或定期运至环卫部门指定的地点合理处理处置。

施工单位应遵守生态环境部门对工程施工的有关规定和管理要求。建设单位应对施工单位进行有效监督。

11.1.2 设备安装调试阶段对环境的影响

医院新增设备的安装、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。在设备安装调试阶段,应加强辐射防护管理,保证各屏蔽体及防护措施到位,在机房门外设立电离辐射警告标志,禁止无关人员靠近,防止辐射事故发生。由于设备的安装和调试均在机房内进行,不涉及放射性同位素的使用,经过墙体及防护门窗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,医院方应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 β 射线辐射环境影响分析

本项目回旋加速器楼工作场所与核医学科 1 层工作场所涉及使用的 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 等放射性核素在衰变过程中会有 β 粒子, β 粒子与正电子核素衰变产生的正电子迅速发生湮灭反应而转化成一光子,所以本次评价可不考虑其 β 射线影响和 β 射线所致韧致辐射的影响。

本项目核医学科2层工作场所涉及使用的¹³¹I与¹⁷⁷Lu核素衰变过程中会产生β射线。

(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/cm³；

E_{MAX}：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 1.29×10⁻³g/cm³；砖墙密度取 1.8g/cm³；铅玻璃密度取 4.6g/cm³；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	¹³¹ I	¹⁷⁷ Lu
β射线能量（MeV）	0.6065	0.4968
空气密度（g/cm ³ ）	1.29×10 ⁻³	
空气中的射程（cm）	235	193
砖墙密度（g/cm ³ ）	1.8	
砖墙中的射程（cm）	0.168	0.138
铅玻璃密度（g/cm ³ ）	4.6	
铅玻璃中射程（cm）	0.066	0.051

由上表可知，放射性核素¹³¹I、¹⁷⁷Lu产生的β射线在空气中的射程很短，最大为235cm，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0.066cm，医护人员在操作过程中穿戴0.5mmPb的防护服，故放射性核素¹³¹I、¹⁷⁷Lu产生的β射线对周围环境影响很小。

11.2.2 β表面污染环境的影响分析

β表面沾污的影响主要来源于辐射工作人员操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对职业人员和公众造成辐射影响，因此，为了使本项目非密封放射性物质工作场所的β表面污染水平达到GB18871-2002规定的要求，环评要求建设方要做到以下防护措施：

- ①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，

工作人员人员进入控制区，应穿工作服，涉及放射性同位素的操作佩戴乳胶手套。

②放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存，防止意外撒漏；

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；

⑤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。

⑥如 β 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）。

11.2.3 γ 射线（含中子、X 射线）环境影响分析

11.2.3.1 回旋加速器楼核素制备区域

本项目拟使用的回旋加速器是一套完整的全自动的，具有一定屏蔽功能的正电子药物生产系统，最大质子束流能量不高于 16.5MeV ，引出质子束流强度不高于 $100\mu\text{A}$ 。

（1）关注点位选取

本项目核素制备区域共选取了10个关注点位，其中回旋加速器机房周围共选取了6个关注点位，核素制备区域关注点位如图11-1所示。

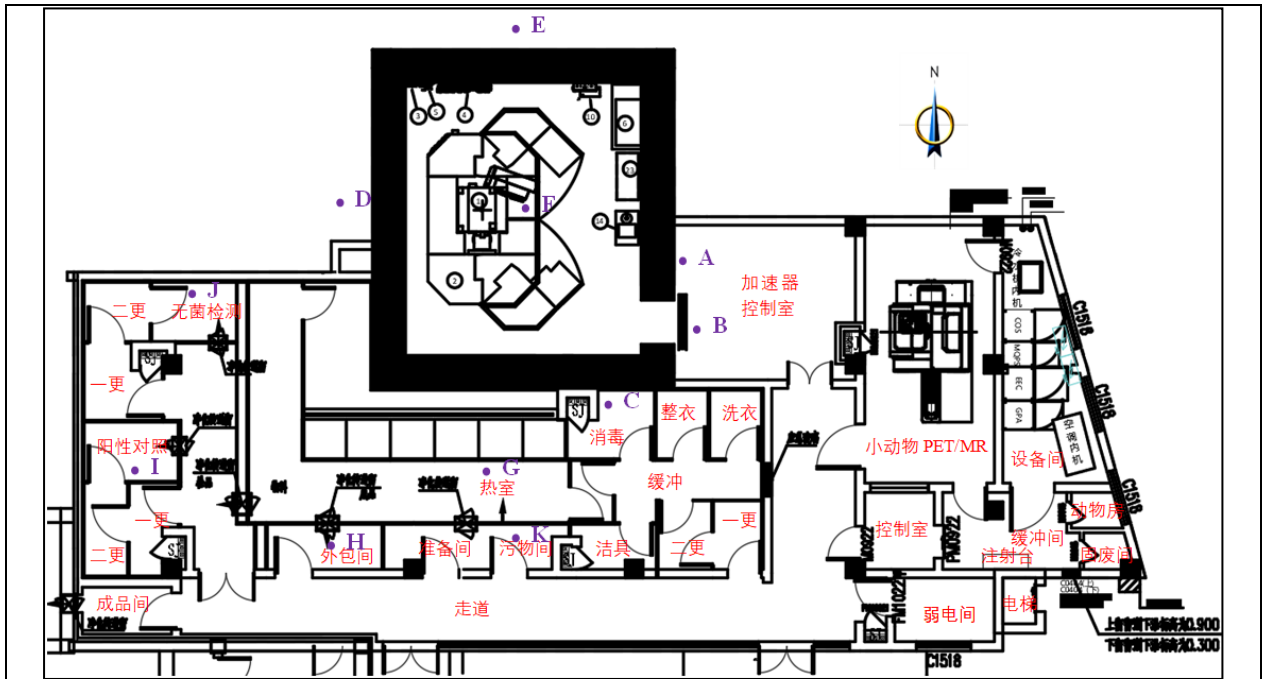


图 11-1 核素制备区域关注点位图

(2) 计算公式选取

A、回旋加速器屏蔽室外的剂量率计算公式

根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)附录 I, 回旋加速器屏蔽室外的剂量率可采用生产厂家提供的泄漏辐射剂量等高线, 采用近似方法估算。估算公式见式(11-2)。

$$H_R = \left(\frac{r_0}{R}\right)^2 \cdot (H_n \times 10^{-x/TVL_n} + H_\gamma \times 10^{-x/TVL_\gamma}) \quad (\text{式 11-2})$$

式中:

H_R : 在关注点处的中子和 γ 射线剂量率的总和, $\mu\text{Sv/h}$;

r_0 : 参考点到源的距离, m, 本报告取 1m;

R : 源到屏蔽体外 30cm 关注点的距离, m;

x : 屏蔽层的厚度, cm;

H_n : 设备表面 1m 处的中子剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

H_γ : 设备表面 1m 处 γ 剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

TVL_n 、 TVL_γ : 屏蔽材料对中子和 γ 射线的十分之一减弱厚度, cm。

B、热室与质控室剂量率估算公式

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 γ 辐射剂量率计算公式。

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

式中:

H: γ 辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

A: 放射性药物的活度, MBq;

Γ : 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) 计算参数选取

① 设备表面剂量率

由厂家提供的设备参数可知, 该设备自带屏蔽系统, 回旋加速器中子剂量等高线分布图见图 11-2, 回旋加速器 γ 剂量等高线分布图见图 11-3, 回旋加速器自屏蔽体外 1m 处的剂量率见表 11-2。

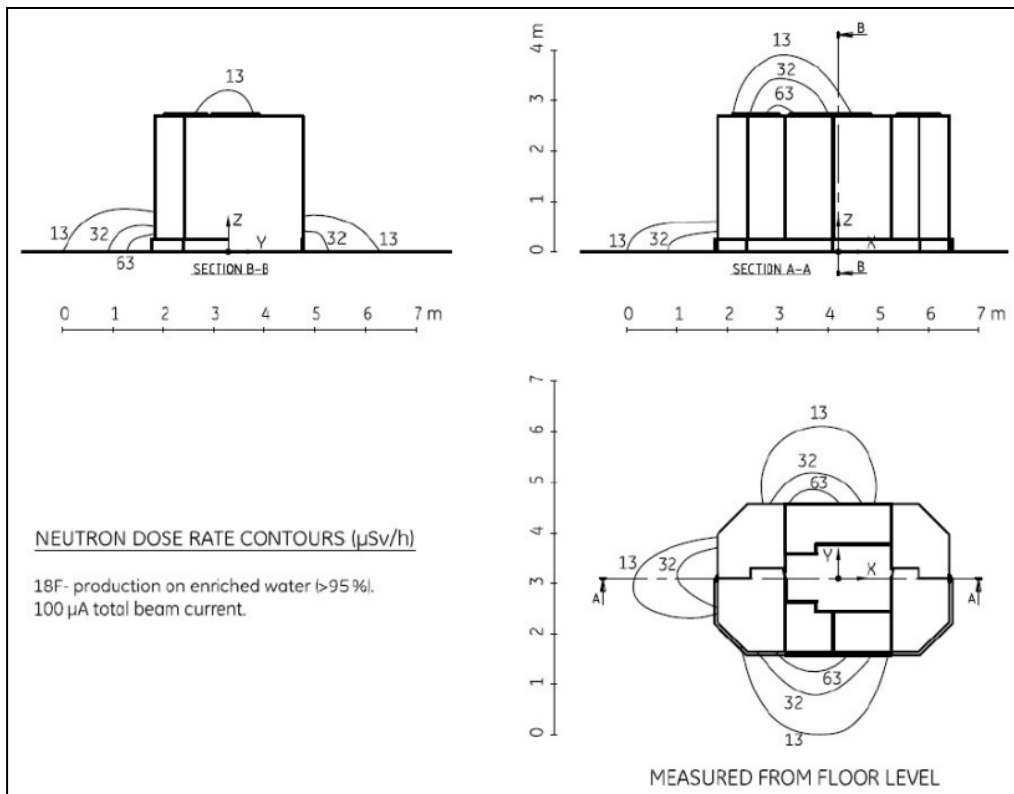


图 11-2 回旋加速器中子剂量等高线分布图

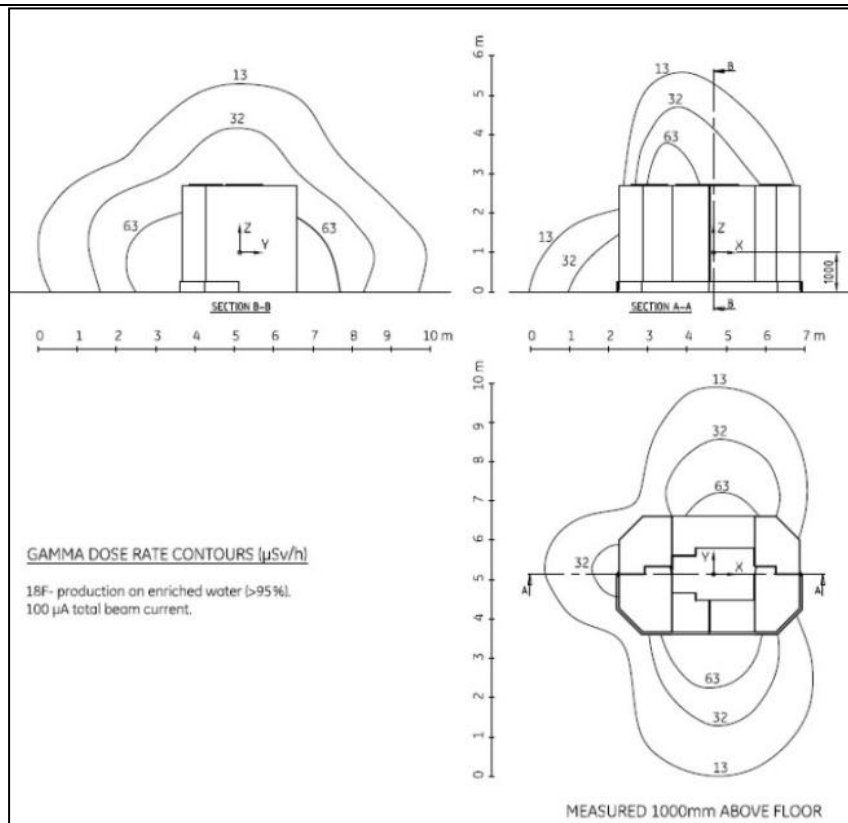


图 11-3 回旋加速器 γ 剂量等高线分布图

表 11-2 回旋加速器自屏蔽体外 1m 处的剂量率

点位	中子($\mu\text{Sv/h}$)	平均中子能量	γ ($\mu\text{Sv/h}$)	平均 γ 能量
前侧 (南)	28	5MeV	80	8MeV
后侧 (北)	25		55	
上方	22		63	
左侧 (东)	13		13	
右侧 (西)	28		37	

② 什值层的选取

根据设备厂家提供的资料，该回旋加速器泄漏辐射中子和 γ 射线最大能量分别为 5MeV 和 8MeV，对应的混凝土、铅、聚乙烯的 TVL 值见表 11-3。核素单次生产量和相关参数见表 11-4。

表 11-3 不同屏蔽物质对 5MeV 中子和 8MeV γ 射线的 TVL 值

材料名称	中子 (5MeV) 的 TVL 值 (cm)	γ (8MeV) 的 TVL 值 (cm)
混凝土	43	38
铅	47.8	5
聚乙烯	24	80

注：数值来源于 GBZ120-2020 表 I.3。

表 11-4 核素单次生产量和相关参数

核素	单次最大生产量 (MBq)	裸源剂量率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	TVL (mm)		
			铅 (11.3g/cm ³)	混凝土 (2.35g/cm ³)	实心砖 (1.65g/cm ³)
¹⁸ F	16700	0.143	16.6	176	263

注：¹⁸F 周围剂量当量率常数和 TVL 值来源于《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)。

③核素制备区域生产放射性核素 ¹⁸F、¹¹C、¹³N、⁶⁴Cu、⁶⁸Ga 与 ⁸⁹Zr，其中各核素光子能量和裸源剂量率常数相当且其生产量较 ¹⁸F 小得多，¹⁸F 其生产量最大，具有代表性。因此可以以 ¹⁸F 作为评价依据，即若 ¹⁸F 满足评价要求，则其他核素也满足评价要求。本次评价以 ¹⁸F 的单次生产量 (1.67×10¹⁰Bq) 和相关参数对热室的剂量率进行计算，质控室每次质控 (阳性对照和无菌检测) 核素用量最大为 500μCi (18.5MBq)。

④关注点 γ 剂量率计算

由式 11-2~11-3 可以估算得出各关注点 γ 剂量率，结果详见表 11-5。

表 11-5 核素制备区域各关注点 γ 剂量率计算结果

关注点位置		源的活度 (MBq)	周围剂量当量率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$	距离 (m)	屏蔽物质及厚度	剂量率 (μSv/h)
回旋加速器机房	A 东墙外 30cm	中子剂量率 13μSv/h γ 剂量率 13μSv/h		2.8	90cm 砼	0.11
	B 东侧防护门外 30cm	中子剂量率 28μSv/h γ 剂量率 80μSv/h		3.7	25cm 聚乙烯+ 20mm 铅	0.07
	C 南墙外 30cm	中子剂量率 28μSv/h γ 剂量率 80μSv/h		4.7	90cm 砼	0.24
	D 西墙外 30cm	中子剂量率 28μSv/h γ 剂量率 37μSv/h		2.8	90cm 砼	0.25
	E 北墙外 30cm	中子剂量率 25μSv/h γ 剂量率 55μSv/h		4.7	90cm 砼	0.21
	F 顶棚 30cm 处	中子剂量率 22μSv/h γ 剂量率 63μSv/h		2.65	80cm 砼	0.37
	药物通道外表面 30cm	¹⁸ F1670	0.143	0.35	60mmPb	0.47
G 热室	合成柜/分装柜表面 30cm 处	¹⁸ F16700	0.143	0.8	各面 70mmPb	0.23
	东墙外 30cm			0.9	70mmPb+24cm 砖墙	0.02
	南墙外 30cm			2.5	70mmPb+24cm 砖墙	2.84×10 ⁻³
	西墙外 30cm			2.5	70mmPb+24cm 砖墙	2.84×10 ⁻³

	北墙外 30cm			1.1	70mmPb+90cm 砼	9.22×10^{-7}
	顶棚			2.8	70mmPb+20cm 砼	3.65×10^{-4}
	传递窗外			2.5	70mmPb+6mm 铅	8.04×10^{-3}
	防护门外 30cm			1.7	70mmPb+10mm 铅	1.25×10^{-2}
H	转运铅盒前	^{18}F 18.5	0.143	0.8	10mm 铅	1.03
外	转运防护罐前	16700	0.143	0.8	20mm 铅+50mm 铅	0.23
包						
间						
I	手套箱前*	^{18}F 18.5	0.143	0.3	20mmPb	1.83
阳						
性						
对						
照						
J	手套箱前*	^{18}F 18.5	0.143	0.3	20mmPb	1.83
无						
菌						
检						
测						
K	墙外 30cm	0.2mSv（污物间按 2 包放射性固废进行计算）		1.5	24cm 实心+20mmPb	0.67
固	防护门外 30cm			1.8	6mm 铅+20mmPb	1.68
废	顶棚离地 30cm			2.8	20cm 砼+20mmPb	0.12
间						
注：*代表：阳性对照室与无菌检测室通常是放置一段时间等核素衰变后进行检测，本项目保守还是按不衰变进行评价，质控室用药量较低且在手套箱内进行质检，考虑到墙壁屏蔽和距离衰减，质控室四周及顶棚的剂量率可忽略，不进行具体相关计算。						

由估算结果可知：回旋加速器正常运行时，机房周边辐射剂量率为 $0.07\mu\text{Sv/h} \sim 0.37\mu\text{Sv/h}$ 之间，其他房间周边辐射剂量率最大为 $1.68\mu\text{Sv/h}$ ，合成柜/分装柜表面30cm处各面剂量率为 $0.23\mu\text{Sv/h}$ ，外包间转运铅盒前剂量率为 $1.03\mu\text{Sv/h}$ ，手套箱前剂量率为 $1.70\mu\text{Sv/h}$ 。

本项目核素制备区域运行时周围剂量定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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ”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 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

⑤感生放射性的影响分析

当加速器加速粒子能量大于 10MeV 时，机房内会产生感生放射性。加速器感生放

射性包括：

加速器冷却水被活化将产生的感生放射性核素主要是 ^{15}O 、 ^{16}N ，半衰期分别是 2.1min 和 7.3s，一般采取放置一段时间其活度可衰减到可豁免的水平。放射性固体废物有靶废料，即有靶窗、废弃的离子源灯丝等，为感生放射性废物。在加速器运行时，由于有足够的结构屏蔽，所以由靶废料产生的感生放射性不会对屏蔽体外的工作人员造成危害。但在停机后，工作人员必须等待一段时间并佩戴个人剂量报警仪进入。加速器检修时，工作人员必须佩带个人剂量报警仪和巡测仪，穿戴铅衣等防护用品。

11.2.3.2 回旋加速器楼小动物显像标记区域

(1) 关注点位的选取

本项目小动物显像标记区域共选取了 5 个关注点，关注点位如图 11-4 与图 11-5 所示。

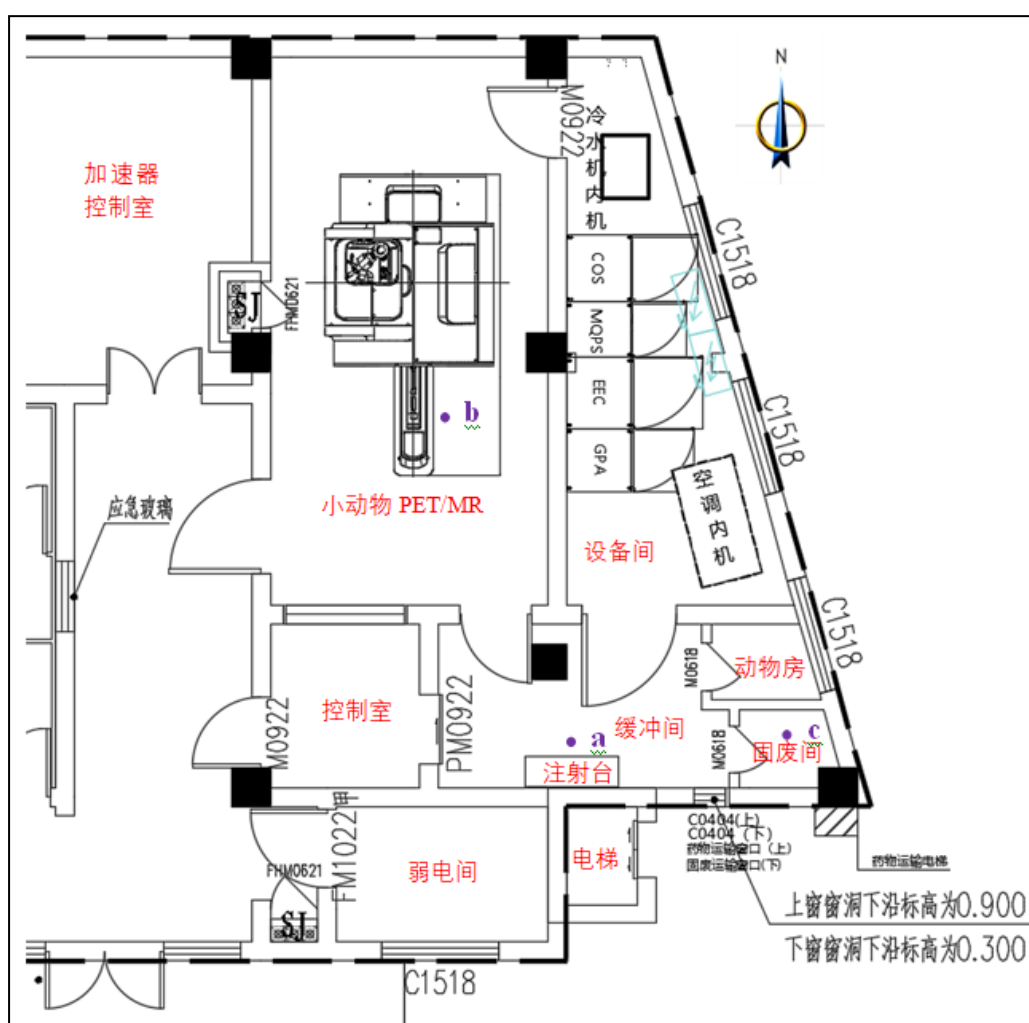


图 11-4 小动物显像标记区域回旋加速器楼 1 层关注点位图

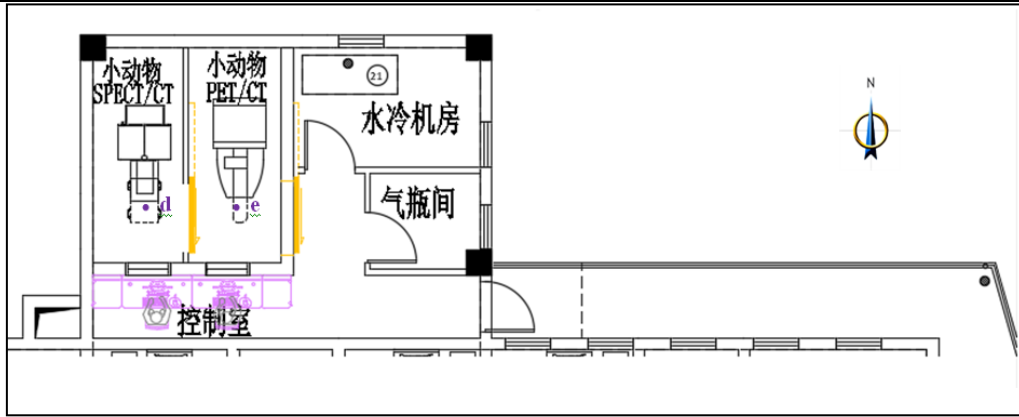


图 11-5 小动物显像标记区域回旋加速器楼 2 层关注点位图

②公式的选取

采用式11-3进行辐射剂量率的计算。

③参数的选取

由公式 11-18 可知，关注点的 γ 辐射剂量率与放射性药物的活度 A 、周围剂量当量率常数 Γ 和什值层 TVL 有关，相关屏蔽材料的什值层见表 11-5。

本项目小动物显像标记区域使用放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 与 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，其中正电子核素中 ^{18}F 照射量常数相当，各核素使用量一样，因此可以以 ^{18}F 作为评价依据，即若 ^{18}F 满足评价要求，则其他核素也满足评价要求。本次评价以 ^{18}F 为代表对关注点位的空气比释动能率进行计算，小动物显像标记 1 间机房 1 次最多同时做 3 只小老鼠的扫描，因此除注射台、固废间以外的关注点均以 3 只小老鼠的最大源强进行计算。

④剂量率的计算

各个关注点的辐射剂量率预测结果见表 11-6。

表 11-6 关注点的辐射剂量率预测结果

关注点		源强 (MBq)	衰减 距离 r (m)	防护措施	预测结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
1# 注射台	1 注射位	^{18}F : 3.7	0.3	10mmPb 铅屏风+ 4mmPb 注射防护套	0.84
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$: 3.7	0.3	10mmPb 铅屏风+ 4mmPb 注射防护套	1.25×10^{-14}
	2 东侧墙外 30cm	^{18}F : 3.7	2.5	24cm 实心砖	0.01
	3 东侧门外 30cm		2.5	3mmPb	0.06
	4 南墙外 30cm		0.9	24cm 实心砖	0.08
	5 南侧传递窗外 30cm		2.0	3mmPb	0.09
	6 西墙外 30cm		2.0	24cm 实心砖	0.02
	7 西侧防护外 30cm		2.0	3mmPb	0.09
	8 北墙外 30cm		2.1	24cm 实心砖	0.02
9 北侧防护外 30cm	2.1	3mmPb	0.08		

	10	楼上地面 30cm		4.1	20cm 砼	0.01
2# PET/ MR 机房	1	摆位处	$^{18}\text{F} : 3.7 \times 3$	0.3	10mmPb 铅屏风	4.41
	2	南墙外 30cm		3.0	24cm 实心砖	0.01
	3	南侧窗外 30cm		3.0	3mmPb	0.12
	4	南侧防护门外 30cm		3.2	3mmPb	0.10
	5	东墙外 30cm		2.3	24cm 实心砖	0.01
	6	西墙外 30cm		2.3	24cm 实心砖	0.01
	7	西侧防护门外 30cm		2.5	3mmPb	0.17
	7	北墙外 30cm		4.8	24cm 实心砖	2.10×10^{-3}
	8	楼上地面 30cm		4.1	20cm 砼	0.01
3# 固废间	1	东墙外 30cm	$^{18}\text{F} : 296$	1.0	24cm 实心砖+20mmPb	0.32
	2	南墙外 30cm		1.0	24cm 实心砖+20mmPb	0.32
	3	西墙外 30cm		1.0	24cm 实心砖+20mmPb	0.32
	4	西侧防护门外 30cm		1.0	3 mmPb +20mmPb	1.74
	5	北墙外 30cm		1.0	24cm 实心砖+20mmPb	0.32
	6	楼上地面 30cm		4.1	20cm 砼+20mmPb	0.01
4# PET/CT 机房	1	送药位	$^{18}\text{F} : 3.7 \times 3$	0.3	20mmpb 铅罐	1.10
	2	摆位处		0.3	10mmPb 铅屏风	4.41
	3	南墙外 30cm		1.9	24cm 实心砖	0.05
					叠加 SPECT/CT 影响 9.32×10^{-5}	
	4	南侧窗外 30cm		1.9	3mmPb	0.29
					叠加 SPECT/CT 影响 9.32×10^{-5}	
	5	东侧防护门外 30cm		1.4	3mmPb	0.53
	6	东墙外 30cm		1.5	24cm 实心砖	0.10
	7	西墙外 30cm		1.5	24cm 实心砖	0.10
	8	北墙外 30cm		3.1	24cm 实心砖	0.02
9	楼下地面 170cm	4.1	20cm 砼	0.01		
			叠加 SPECT/CT 影响 3.04×10^{-4}			
10	楼上地面 30cm	4.1	20cm 砼	0.01		
			叠加 SPECT/CT 影响 3.04×10^{-4}			
5# SPECT/ CT 机房	1	送药位	$^{99\text{m}}\text{Tc} : 3.7 \times 3$	0.3	5mmpb 铅罐	3.74×10^{-5}
	2	摆位处		0.3	10mmPb 铅屏风	3.74×10^{-10}
	3	南墙外 30cm		1.9	24cm 实心砖	0.29
					叠加 PET/CT 影响 0.29	
	4	南侧窗外 30cm		1.9	3mmPb	0.29
					叠加 PET/CT 影响 0.29	
	5	东侧防护门外 30cm		1.4	3mmPb	1.72×10^{-4}
	6	东墙外 30cm		1.5	24cm 实心砖	4.73×10^{-3}
	7	西墙外 30cm		1.5	24cm 实心砖	4.73×10^{-3}
	8	北墙外 30cm		3.1	24cm 实心砖	1.11×10^{-3}
9	楼下地面 170cm	4.1	20cm 砼	0.01		
			叠加 PET/CT 影响 0.01			
10	楼上地面 30cm	4.1	20cm 砼	0.01		
			叠加 PET/CT 影响 0.01			
注：考虑到 ^{11}C 、 ^{13}N 的半衰期很短，固废间可不考虑其对周围的影响， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 在衰变柜或衰变冰柜的 20mmPb 的防护下，对周围的影响极小；因此固废间的核素量以 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 日最大操作量之和、且保守以 ^{18}F 进行计算。						
本项目小动物显像标记区域运行时周围剂量定量率预测值能够满足《核医学辐射防						

护与安全要求》(HJ1188-2021)中“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

⑤ X 射线环境影响分析

本项目小动物 PET/CT、SPECT/CT 为全自屏蔽机架，根据设备厂家提供的资料，设备外表面任何一点的剂量率小于或等于 $1\mu\text{Sv/h}$ ，通过 24cm 实心砖或 3mmPb 门窗的屏蔽和距离衰减，本项目小动物 PET/CT、SPECT/CT 出束过程中 X 射线对机房的辐射影响可以忽略。

11.2.3.3 核医学科 1 层工作场所

(1) X 射线环境影响分析

核医学科 1 层工作场所 PET/CT 额定参数保守均按管电压 150kV，管电流 800mA 进行预测；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 ”，故本项目泄漏辐射比释动能率保守取值为 $1000\mu\text{Gy/h}$ 。根据《辐射防护导论》表 3.5，保守考虑取 150kV 宽束 X 射线铅当量层 0.96mm。各侧屏蔽墙体的辐射剂量率计算结果见表 11-7。

表 11-7 PET/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 ($\mu\text{Sv/h}$)
PET/CT 机房 1	观察窗外 30cm	8mmPb 铅玻璃	8	4.2	2.63×10^{-7}
	防护门外 30cm	内衬 8mm 铅板	8	4.0	2.90×10^{-7}
	墙外 30cm	37cm 实心砖墙+3mm 铅当量硫酸钡涂料	5.9	3.9	4.70×10^{-5}
	楼上地面 30cm	15cm 混凝土+3mm 铅板	4.4	5.1	1.00×10^{-3}

注：换算系数，近似 $1\text{Sv}=1\text{Gy}$ 。

(2) γ 射线环境影响分析

本项目核医学科 1 层工作新增 ^{11}C 、 ^{13}N 两种正电子核素进行 PET 标记显像，工作用房、人员、设备、屏蔽措施与辐射安全管理措施都依托工作场所现有。 ^{11}C 、 ^{13}N 患者每天最多 2 人，每人每次用量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ，全年最多 100 人。保守按 ^{18}F 进行新增核素的关键岗位的剂量率计算。根据式 11-3，关键岗位的辐射剂量率预测结果见表 11-8。

表 11-8 关注岗位的辐射剂量率预测结果

关注点	源强 (MBq)	衰减距离 r (m)	防护措施	预测结果 (μSv/h)
手套箱外表面 30cm 处 (分装时)	¹⁸ F : 7.4×10 ¹⁰	0.3	60mmPb 手套箱	0.29
取药时	¹⁸ F : 3.7×10 ¹⁰	0.3	30mmPb 转运铅盒+10mmPb 注射防护套	2.29
注射时	¹⁸ F : 3.7×10 ¹⁰	0.3	30mmPb 注射窗+10mmPb 注射防护套	2.29
PET/CT 机房	¹⁸ F: 3.7×10 ⁸	1	0.5mmPb 铅衣	49.36
		3.9	37cm 实心砖墙+3mm 铅当量硫酸钡涂料	0.09
		叠加 X 剂量率 4.70×10 ⁻⁵ μSv/h		
		4.2	8mm 铅当量铅玻璃	0.99
		叠加 X 剂量率 2.63×10 ⁻⁷ μSv/h		
		4.0	8mmPb	1.10
叠加 X 剂量率 2.90×10 ⁻⁷ μSv/h				
5.1	15cm 混凝土+3mm 铅板	0.19		
叠加 X 剂量率 1.00×10 ⁻³ μSv/h				

核医学科 1 层工作场所新增核素 ¹¹C、¹³N 运行时周围剂量当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 2.5μSv/h,放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h”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 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μSv/h”的要求。

11.2.3.4 核医学科 2 层工作场所

回旋加速器楼 2 层新增 9 间治疗病房,与原核医学科 2 层工作场所构成 1 个新的核医学科 2 层工作场所。

原核医学科 2 层工作场所区域的平面布局、屏蔽防护与甲癌治疗的规模不变。甲癌治疗已经 2017 年迁建到 3 号楼 2 层并获得原浙江省环境保护厅的环评批复(浙环辐[2017]6 号),根据 2021 年《浙江省肿瘤医院 ¹³¹I 治疗辐射工作场所检测报告》,核医学科 2 层工作场所核素治疗病房周围剂量当量率为 0.10~1.75μSv/h,符合 HJ1188-2021 的要求;给药室、卫生通过间、服药区以及工作人员皮肤表面、铅衣表面、工作服表面、鞋面 β 表面污染 <0.13Bq/cm²,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的污染控制标准要求。

本项目 ¹⁷⁷Lu 核素治疗,最大日接诊量为 2 人,患者的最大用药量为 100mCi, ¹³¹I 核素治疗,最大日接诊量为 9 人,患者的平均用药量为 117mCi, ¹³¹I 核素衰变产生的 γ

射线能量高于 ^{177}Lu 衰变能量, ^{177}Lu 用药量小于 ^{131}I 核素, 因此 ^{131}I 核素使用满足防护要求时, ^{177}Lu 核素也同样可以满足防护要求。因此, 本项目核医学科 2 层工作场所仅仅计算 ^{177}Lu 在送药、病房注射与查房时的辐射剂量率以及新病房的辐射剂量率。

①关注点的选取

考虑到新增治疗病房的面积有 2 种类型, 本项目取新病房 2 个关注点位(1 个为 ^{177}Lu 关注点位, 仅计算送药位、查房与注射的辐射剂量率, 2#病房为面积最小病房, 其周围的辐射剂量率满足要求, 两种核素所有病房周围的辐射剂量率均满足要求), 关注点位见图 11-6。

②公式的选取

采用式11-3进行辐射剂量率的计算。

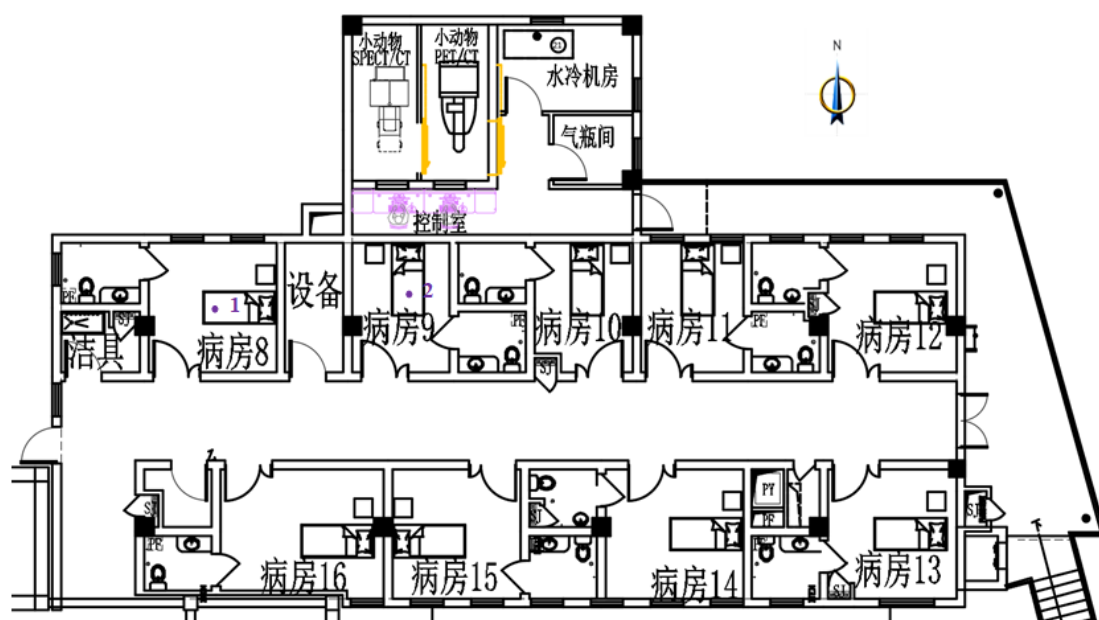


图 11-6 核医学科 2 层工作场所关注点位图

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 γ 辐射剂量率与放射性药物的活度 A 、周围剂量当量率常数 Γ 和什值层 TVL 有关。本项目参数详见下表。

表 11-9 核医学科 2 层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 ($1.65\text{g}/\text{cm}^3$)
^{177}Lu	3700	0.00227	7.5	165	218
^{131}I	4330	0.0595	11	170	240

注: 周围剂量当量率常数与 ^{131}I 的 TVL 取值来源于《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020); 表中 ^{177}Lu 的 TVL 取值参考《辐射防护手册》(第三分册)中的图 2.16 几种常用屏蔽材料对宽

束 γ 射线的十分之一值层厚度。

表 11-10 核医学科 2 层工作场所关注点位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 ($\mu\text{Sv/h}$)
1#	送药位	$^{177}\text{Lu} : 3.70 \times 10^9$	0.3	10mmPb 铅罐+10mmPb 防护套 +0.5mmPb 铅衣	0.17
	^{177}Lu 注射位		0.3	10mmPb 铅屏风+10mmPb 防护套 +0.5mmPb 铅衣	0.17
	查房		1	0.5mmPb 铅衣	80.04
2#	墙外	$^{131}\text{I} : 4.33 \times 10^9$	2.3	37cm 实心砖墙+5mmPb 防护涂料	0.49
	窗外		2.3	20mmPb 铅玻璃	0.74
	防护门外		3.0	12mmPb	2.32
	顶棚 30cm		4.1	300mm 砼	0.26
	地面 30cm		4.1	300mm 砼	0.26

本项目核医学科 2 层工作场所新建病房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 $2.5\mu\text{Sv/h}$,放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ”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 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

11.2.4 患者离开医院对环境的影响

根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021),患者体内放射性活度满足以下限值方可出院。 ^{177}Lu 参照 ^{131}I 执行。

表 11-11 放射治疗患者出院时体内放射性活度的要求

放射性核素	患者出院时体内放射性活度要求 (MBq)	患者出院前甲状腺扫描活度要求 (MBq)	是否符合
^{131}I	≤ 400	≤ 400	符合

医院应对患者离院做出书面指导,短期内禁止到公共场活动,避免与家人亲密接触,则患者离院后对周围环境影响不大。

11.2.5 年有效剂量估算

年有效剂量根据式 11-4 进行计算。

$$H = D_r \times t \times U \times T \times 10^{-3} \quad (\text{式 11-4})$$

式中:

H: X 射线外照射人均年有效剂量, mSv;

D_r : 关注点处的辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

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。

(1) 回旋加速器楼核素制备区域

PETtrace800 型回旋加速器用于 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 等正电子核素的制备, 其中核素 ^{18}F 的制备每天安排 2 个批次, 上午与下午各一批次, 其他核素每周安排 1 个批次, 随要随制备。则回旋加速器年开机约 750 批次, 每次制备时间约为 1h, 则全年受照时间为 750h; 每次全部核素总质控时间为 30min, 全年质控最多为 750 次, 则全年受照时间为 375h; 辐射工作人员使用机械手将分装完成的药物装入专用的铅罐中, 人员的有效操作时间为 10min/次, 一年操作 750 次, 则总操作时间为 125h。药物 1 次转运需 1min, 全年质检转运 750 次, 则全年受照时间约 12.5h; 全年药物转运 750 次, 则全年受照时间约 12.5 h。

核素制备区域回旋加速器机房所致工作人员和公众最大年有效剂量估算情况见表 11-12, 热室和质控室所致工作人员和公众最大年有效剂量估算情况见表 11-13。

表 11-12 回旋加速器机房所致工作人员和公众最大年有效剂量估算情况

对象	最大辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留 因子	年曝光(工作) 时间(h)	最大年有效剂量 (mSv/a)
机房东侧 加速器操作人员	0.11	1	750	0.10
PET/MR 机房对操作人 员的影响	0.10	1	年扫描 600 次, 每 次 20min	
机房南侧 热室工作人员	0.24	1	750	0.18
机房上层公众人员	0.37	1/16	750	0.02
西墙室外公众人员	0.25	1/16	750	0.01
北墙室外公众人员	0.21	1/16	750	9.84×10^{-3}
杭州自富汽车修理有 限公司公众人员	$0.21 * (2.8/10)^2$	1	750	0.01
杭州基督教会半山堂 公众人员	$0.21 * (2.8/40)^2$	1	750	7.72×10^{-4}

注: 杭州自富汽车修理有限公司和杭州基督教会半山堂公众人员的剂量率根据距离的衰变推算出。

表 11-13 热室和质控室所致工作人员和公众最大年有效剂量估算情况

对象	最大辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留 因子	年曝光(工作) 时间(h)	最大年有效剂量 (mSv/a)
热室合成、分装工作人员	0.23	1	125	0.03
药物运送人员	1.03	1	12.5	0.02
	0.23	1	12.5	
质检工作人员	1.83	1	375	0.69
热室上层公众人员	3.65×10^{-4}	1/16	750	1.71×10^{-5}

由估算结果可见，本项目核素制备区域所致辐射工作人员受照年有效剂量为 0.69mSv，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；

本项目核素制备区域所致公众人员受照年有效剂量最大为 0.02mSv，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《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过 1mSv/a 的剂量限值要求。

（2）回旋加速器楼小动物显像标记区域

本项目小动物显像标记区域新增 1 台小动物 PET/MR、1 台 PET/MR 使用放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 与 ^{89}Zr 开展 PET 显像标记工作，使用 1 台 SPECT/CT 使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展 SPECT 显像标记工作。工作场所年最大注射使用 1400 只老鼠，其中 PET/MR 机房年最多扫描 600 只老鼠，PET/CT 机房年最多扫描 600 只老鼠，SPECT/CT 机房年最多扫描 200 只老鼠两间扫描机房均担负荷。

根据各参考点处辐射剂量率估算值，并结合各参考点处人员停留时间，根据式（11-4）即可得到各参考点处工作人员及公众的年受照剂量，计算结果见表 11-14。

表 11-14 本项目小动物显像标记区域工作人员及周围公众年有效剂量估算

关注对象		参考点位置 (参考点)	参考点辐射 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	受照时间 (h)	居留 因子	人员年有 效剂量 (mSv)
辐射 工作 人员	小动物注射工作人员	注射位	0.84	年注射 1400 次， 每次 1min	1	0.47
		治疗病房的影响	0.26	日工作 8 小时，年工 作 250 天	1	

	小动物 PET/MR 控制室工作人员	控制室	0.12	PET/MR 年扫描 600 次, 每次 20min	1	0.54
		机房	4.41	年摆位 600 次, 每次 1min		
		治疗病房的影响	0.26	日工作 8 小时, 年工作 250 天	1	
	小动物 PET/CT 控制室工作人员	控制室	0.29	PET/CT 年扫描 600 次, 每次 20min		0.38
		机房	4.41	年摆位 600 次, 每次 1min		
		回旋加速器的影响	0.37	750h		
	小动物 SPECT/CT 控制室工作人员	控制室①	0.29	PET/CT 年扫描 600 次, 每次 20min		0.34
		机房	3.74×10^{-10}	年摆位 200 次, 每次 1min		
		回旋加速器的影响	0.37	750h		
公众人员	弱电间工作人员	弱电间	0.08	年注射 1400 次, 每次 1min	1/16	0.03
		治疗病房的影响	0.26	日工作 8 小时, 年工作 250 天		
	东侧景区道路、森林公园公众人员	固废间室外	0.32	年 250 天, 每天 8 小时	1/40	0.05
		治疗病房的影响	0.74	年 250 天, 每天 8 小时		
	南侧停车场公众人员	室外	0.09	年 250 天, 每天 8 小时	1/40	0.04
		治疗病房的影响	0.74	年 250 天, 每天 8 小时		
	杭州自富汽车修理有限公司公众人员	PET/MR 的影响	$2.10 \times 10^{-3} \times (4.8/15)^2$	PET/MR 年扫描 600 次, 每次 20min	1	2.20×10^{-4}
		PET/CT 的影响	$0.02 \times (3.1/15)^2$	PET/CT 年扫描 600 次, 每次 20min		
		SPECT/CT 的影响	$1.11 \times 10^{-3} \times (3.1/15)^2$	PET/CT 年扫描 600 次, 每次 20min		
	杭州基督教会半山堂公众人员	PET/MR 的影响	$2.10 \times 10^{-3} \times (4.8/15)^2$	PET/MR 年扫描 600 次, 每次 20min	1	3.10×10^{-5}
		PET/CT 的影响	$0.02 \times (3.1/15)^2$	PET/CT 年扫描 600 次, 每次 20min		
		SPECT/CT 的影响	$1.11 \times 10^{-3} \times (3.1/15)^2$	PET/CT 年扫描 600 次, 每次 20min		
注: ① 考虑剂量率的叠加影响, 工作时间取 PET/CT 机房较长的扫描时间。						
② 小动物注射后或扫描后工作人员使用长镊子将老鼠进行短暂移动, 可忽略其受到的辐射剂量影响。						
③ 实验区域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, 距离实验区域越远, 辐射剂量率越低, 因此实验区域 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。						
由估算结果可见, 本项目小动物显像标记区域所致辐射工作人员受照年有效剂量最						

大为 0.54mSv，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；

本项目小动物显像标记区域所致公众人员受照年有效剂量最大为 0.05mSv，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《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求的实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过 1mSv/a 的剂量限值要求。

（3）核医学科 1 层工作场所

叠加核医学科 2022 年改扩建项目《浙江省肿瘤医院核医学科、介入科与直线加速器改扩建项目环境影响报告表》中表 11 核算的辐射工作人员有效剂量数据与新增的核素所致相关辐射工作人员的有效剂量数据为本项目实施后的总的有效剂量数据，具体计算结果如表 11-15 所示。本项目核医学科 1 层工作场所新增的 2 种核素对公众人员影响极小，故不计算其对公众人员的影响。

表 11-15 本项目核医学科 1 层工作场所辐射工作人员年有效剂量估算

关注对象	关注点辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	受照时间 (h)	居留 因子	人员年有效 剂量(mSv/a)
核医学科 1 层工作场所 注射工作人员	原环评中核算的有效剂量 1.77mSv			
	^{11}C 、 ^{13}N 分 装	0.29	年分装 200 次， 每次 1min	1
	^{11}C 、 ^{13}N 取 药	2.29	年取药 200 次， 每次 0.5min	
	^{11}C 、 ^{13}N 注 射	2.29	年注射 200 次， 每次 1min	
PET/CT 操作人员	原环评中核算的有效剂量 2.46mSv			
	^{11}C 、 ^{13}N 摆位	49.36	年摆位 200 次， 每次 1min	1
	^{11}C 、 ^{13}N 扫描	1.10	年扫描 200 次， 每次 15min	

由估算结果可见，本项目核医学科 1 层工作场所新增两种核素所致注射工作人员受照年有效剂量增量为 0.01mSv，总和为 1.78mSv；所致 PET/CT 操作人员受照年有效剂量增量为 0.22mSv，总和为 2.68mSv；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。

（4）核医学科 2 层工作场所

原核医学科 2 层工作场所现配置 5 名辐射工作人员，负责甲癌病人的治疗工作。本

项目建成后，新增 1 名医生负责 ^{177}Lu 治疗工作。本项目仅评价负责 ^{177}Lu 治疗辐射工作人员的有效剂量，甲癌病人辐射工作人员及公众人员的有效剂量已在医院以前环评报告中详细评价，且 ^{177}Lu 核素的药物用量、剂量率常数以及 TVL 取值均小于 ^{131}I 核素，因此 ^{131}I 核素使用满足防护要求时， ^{177}Lu 核素也同样可以满足防护要求。

核医学科 2 层工作场所有效剂量计算结果见表 11-16。

表 11-16 本项目核医学科 2 层工作场所年有效剂量估算

关注对象		关注点辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	受照时间 (h)	居留 因子	人员年有效剂 量(mSv/a)	
^{177}Lu 核素治疗 辐射工作人员	送药	0.17	年送药 100 次， 每次 5min	1	0.67	
	注射	0.17	年注射 100 人次， 每人次 5min	1		
	查房	80.04	年查房 100 次， 每次 5min	1		
纯水机房、设备间		0.49	日工作约 8h， 年工作日 250 天	1/16	0.06	
杭州自富汽车修理有限公 司公众人员		叠加核素制备区域 $0.01\text{mSv} + \text{小动物显像标记}$ $2.20 \times 10^{-4} \text{mSv}$			1	0.045
		$0.74 \times (2.3/15)^2$	日工作约 8h， 年工作日 250 天			
杭州基督教会半山堂 公众人员		叠加核素制备区域 $7.72 \times 10^{-4} \text{mSv} + \text{小动物显像标}$ $3.10 \times 10^{-5} \text{mSv}$			1	5.70×10^{-3}
		$0.74 \times (2.3/40)^2$	日工作约 8h， 年工作日 250 天			

根据估算结果可知，本项目核医学科 2 层工作场所 ^{177}Lu 核素治疗辐射工作人员的年受照剂量为 0.67mSv ，小于本评价项目提出的剂量约束值 5mSv/a 。叠加核素制备 1 层工作场所与小动物显像标记区域对公众人员的年受照剂量后，杭州自富汽车修理有限公司公众人员与杭州基督教会半山堂公众人员受照年有效剂量分别为 0.045mSv 与 $5.70 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，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。

11.2.5 放射性“三废”影响分析

核医学科 1 层工作场所仅新增 ^{11}C 、 ^{13}N 两种核素，每日诊断最多 2 人，每日操作量仅为 $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ ，新增的放射性废气、放射性废水与放射性固废极少，对现有“三废”处理措施不构成数据冲击，依托核医学科 1 层工作场所的“三废”处理措施是可行的。

(1) 放射性废气影响分析

本项目回旋加速器楼工作场所共用一个排风井，排风井位于回旋加速器机房西侧。回旋加速器楼 2 层新增病房与原核医学科 2 层工作场所共用一个排风井，排风井位于回旋

加速器楼2层中部。废气管道风量、走向及排放口、废气排放浓度达标性分析详见表10放射性“三废”影响分析。

本项目 ^{18}F 、 ^{177}Lu 等核素为非挥发性核素， ^{131}I 相对挥发性较强，含微量核素的放射性废气经手套箱顶壁与排风口的废气处理设施处理后，其对周围环境的影响可以忽略。

(2) 放射性废水影响分析

本项目回旋加速器楼工作场所与核医学科 2 层工作场所产生的放射性废水通过放射性废水收集管道（管道裸露处采用 6mm 铅皮包裹）排放至回旋加速器楼南侧的衰变池，暂存 364 天，满足满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天、含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期、含碘-131 核素的暂存超过 180 天的要求。

放射性废水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“三废”处理措施，放射性废水经衰变池衰变后，废水中各放射性核素一次排放量均小于相应核素的 1ALI_{min} ，月排放量小于相应核素的10倍 ALI_{min} ，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，同时排放浓度满足《医疗机构水污染物排放标准》中总 β 小于或等于 10Bq/L 的要求，对周围环境的影响是可接受的。放射性废水排放每次排放须监测符合排放标准经审管部门同意或批准，废水排放应做好排放台账，详细记录排放时间、监测数据、排放量等内容。

(3) 放射性固废影响分析

本项目回旋加速器楼核素制备区域产生的回旋加速器靶废料、放射性药物制取时产生的放射性残留物与废活性炭暂存于热室南侧的污物间内，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，含 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等 6 种放射性核素的放射性固废衰变 30 天后达到解控标准后按普通医疗废物处理，含 ^{98}Zr 放射性核素的放射性固废衰变 10 个半衰期后达到解控标准后按普通医疗废物处理。

本项目回旋加速器楼小动物显像标记区域产生的残留注射器、手套等暂存于固废间的衰变柜，小动物尸体暂存于固废间的铅防护冰柜。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，含 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等 6 种放射性核素的放射性固废衰变 30 天后达到解控标准后按普通医疗废物处理，含 ^{98}Zr 放射性核素的放射性固废衰变 10 个半衰期后达到解控标准后按普通医疗废物处理，小动物尸体达到解控标准后定期交有资质单位处理。

本项目核医学科 2 层工作场所产生的放射性废物主要为：注射过程产生的一次性注

射器、手套、空药瓶；服药过程中病人产生的含 ^{131}I 的一次性口杯、擦拭纸巾；病人呕吐物、擦拭纸、住院期间的污被与废活性炭等。所有废物暂存在核医学科 1 层的固废间内，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 1 层工作场所废物间暂存 180 天后外包洗涤，废活性炭按放射性固废处理。

11.3 辐射事故影响分析

11.3.1 辐射事故风险因素

(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) 由于未锁好回旋加速器楼出入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。

(5) 回旋加速器机房由于安全连锁系统失效，加速器运行时无关人员误入机房，发生超剂量照射；或回旋加速器运行时机房内有人未撤离，工作人员误操作加速器出束，发生超剂量照射；或维修时厂家维修人员和运行单位人员管理不当，回旋加速器系统时发生异常出束，维修人员受到超剂量照射。回旋加速器发生熔靶和靶水吸附事故、合成柜反应器倾翻和破裂事故等。

11.3.2 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。给药室等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；向当地生态环境主管部门、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、生态环境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。

⑥回旋加速器开机前加强设备的检查与联锁系统的检查，确定机房内无人员才开机。加速器操作、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，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。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。一旦回旋加速器发生熔靶和靶水吸附事故、合成柜反应器倾翻和破裂事故，应立即关闭回旋加速器，关闭门窗及通风设施，立即离开核素制备场所，同时向医院辐射防护领导小组报告。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

12.1.1 机构设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《关于做好2020年核技术利用辐射安全与防护培训考核工作有关事项的通知》等法律法规要求，使用核素及II类射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

浙江省肿瘤医院已经成立了辐射安全管理委员会，并明确了领导小组及各成员的职责。小组成员大部分为本科以上学历，其人员设置满足辐射安全与环境保护管理工作要求。

辐射安全和防护管理领导小组的主要职责是：负责起草、制定及修订医院辐射防护和环境保护的相关规章制度；负责对医院放射诊疗项目的立项、建设、放射设备引进及防护设施配置进行论证和监管；负责协调和监督各相关科室贯彻落实医院放射诊疗和防护管理制度及日常管理工作。

本项目建成后，医院的科室、人员均会有一定调整，要求医院根据人事变动情况及时调整，明确人员职责，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并应以文件形式明确各成员管理职责。

12.1.2 辐射人员管理

(1) 根据生态环境部《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(2019年，第57号)的相关要求，自2020年1月1日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部培训平台(<http://fushe.mee.gov.cn>)报名并参加考核。2020年1月1日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。医院现有辐射工作人员中有340人已取得辐射防护与安全培训的合格证书，医院应根据后续人员变动情况，及时安排新增辐射工作人员在生态环境部辐射安全与防护培训平台上参加培训，考核合格后方可上岗；在项目运行过程中按要求定期组织辐射工作人员进行再培训和考核，确保所有辐射工作人员培训合格后上岗。

(2) 本项目所有辐射工作人员应配备个人剂量计，每三个月委托有资质单位进行个人剂量检测，并建立个人剂量档案；应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，在岗

期间每一年或两年委托相关资质单位对辐射工作人员进行职业健康检查，建立完整的职业健康档案；个人剂量档案和职业健康档案应终生保存。

(3) 本项目辐射工作人员的职业健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量检测档案三个文件上的人员信息应统一。

12.1.3 年度评估报告

建设单位应按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，每年对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度评估报告。

12.2 辐射安全管理规章制度

12.2.1 原有辐射防护工作管理制度情况

根据医院提供的资料显示，医院已建立了一系列辐射安全与防护管理制度，如《放射防护委员会职责与分工》、《放射工作人员培训计划》、《放射人员体检及健康管理制度》、《放射防护监测方案》、《核医学科岗位职责》、《核医学安全操作规程》、《核医学科防护措施》、《放射性同位素使用登记制度》、《储源场所安全管理制度》、《放射性同位素变更及注销制度》、《SPECT 操作规程》、《放射性同位素使用期满后的处理安案》、《自行查对检查制度》、《辐射安全应急预案》、《¹³¹I 药物分装室操作规程》、《¹³¹I 药物分装室岗位职责》、《¹³¹I 药物分装室应急预案》、《受检者放射危害告知与防护制度》与《辐射防护检查制度和年度评估制度》等。

12.2.2 本项目应补充的辐射防护工作管理制度

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，使用核素、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，并有完善的辐射应急措施”。

医院本次项目包括：乙级非密封放射性物质工作场所、II类射线装置。医院应根据本项目新开展的场所情况，结合辐射工作人员变更情况，尽快建立健全和落实相应的规章制度和操作规程，加强对辐射工作人员的安全防护培训和意识教育。

应完善和补充的制度主要内容如下：

(1) 操作规程：针对本项目新增的回旋加速器、小动物扫描机房等制定相应的操作规程，明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及操作程序等，重点是工作时必须佩戴个人剂量计和剂量报警仪或检测仪器，避免事故发生。

(2) 岗位职责：明确本项目新增工作场所辐射管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

(3) 设备维修制度：根据本项目新增的回旋加速器、小动物扫描机房等设备更新医院设备维护保养制度，补充完善监测仪器维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保本项目新增设备的安全装置、安全联锁、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

(4) 根据本项目建设内容制定台账管理制度，建立核素与射线装置台账，记载核素的核素名称、出厂时间和活度、标号、编码、来源和去向，及射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向等事项。

(5) 事故应急预案：根据本项目建设内容完善辐射事故应急预案。

(6) 放射性核素使用管理制度：医院承诺本项目实施前拟制定核医学科2层工作场所放射性核素使用管理制度，明确同天不能同时使用两种核素进行治疗。

(7) 应补充的其他制度：放射性药物质量控制规程，放射性药物取药及注射给药规程，临床核医学诊断质量保证管理制度，放射源的购买、运输、使用、退役制度，放射性废物治理制度等。

12.3 辐射监测

12.3.1 现有项目监测情况

医院现有辐射项目均委托浙江建安检测院有限公司等单位进行验收监测与年度监测，现有辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求，企业医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。

12.3.2 本项目监测计划

12.3.2.1 监测仪器和防护设备

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，医院应为本项目回旋加速器楼核素制备区域配备3台固定式辐射剂量率检测仪、1台X、 γ 剂量率检测仪与3台表面污染监测仪，并为辐射工作人员5支个人剂量计与5台个人剂量报警仪；本项目回旋加速器楼小动物显像标记区域配备1台表面污染监测仪，并为辐射工作人员4支个人剂量计与3台个人剂量报警仪；核医学科1层工作场所与核医学科2层工作场所的监测仪器依托现有设备。

12.3.2.2 日常监测计划

日常工作中，每次制药结束或其他相关操作（取药或注射等）完成后，需使用表面污染监测仪对核医学科放射性污染情况进行监测。工作人员离开核医学工作场所，需监

测工作服、体表的污染水平；该日常监测工作由核医学科工作人员自行完成。此外，每个辐射工作场所均应采用自购辐射巡测仪定期监测，以确保屏蔽防护性能的良好。

12.3.2.3 年度常规监测

医院应对本项目相关辐射工作场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；医院不具备自行监测能力的，可以委托第三方有资质的环境监测机构进行监测。

医院应委托有资质的单位，定期（每年1次）对辐射工作场所周围环境进行辐射监测，监测数据每年年底须向当地生态环境主管部门上报备案。

（1）监测频度：每年常规监测1次。

（2）监测范围：本项目所有辐射工作场所屏蔽墙外，防护门及缝隙处，缓冲区、操作台等，核医学用房内部使用核素的区域。

（3）监测项目：周围剂量当量率与 β 表面污染，回旋加速器机房还应监测中子等。

（4）监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

医院应将本项目辐射工作场所的监测结果写入医院《辐射安全和防护状况评估报告》中，并于每年1月31日前向辐射安全许可证发证机关提交上一年度的评估报告。

12.3.2.4 个人剂量监测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量计，监测周期为一般为1个月，最长不超3个月。

（1）如果在单个季度出现个人剂量超过1.25mSv时需进行干预，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并本人签字。年剂量超过5mSv的管理限值时，暂停该辐射工作人员继续从事辐射工作，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并本人签字，并上报当地生态环境主管部门。单年剂量超过20mSv标准时，构成辐射事故，按事故应急预案处理，立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并上报生态环境主管部门。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向卫生主管部门报告。

（2）个人剂量检测报告（连续四个季度）应当作为医院《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辐射安全许可证发证机关。

（3）辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应终生保存。

12.3.2.5 放射性废物监测

（1）医院现有放射性三废监测情况

①过滤器+活性炭吸附处理装置的活性炭每半年请设备厂家更换一次，废活性炭作为

放射性固废处理，衰变解控后按普通医疗废物处理。

②每年度请有放射性废水检测资质的机构对核医学科放射性废水检测 1-2 次，并出具合格报告，确保废水排放能够满足 GB18871-2002 的排放要求，并做好监测记录。

③污物桶放置于专用废物贮存室内，设置了废物处理台账，记录封袋日期与处理日期、核素名称、废物重量、封袋时剂量率与处理时剂量率、暂存时间、处理人与核对人等信息。

(2) 医院放射性三废监测要求

①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。

②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）后，排水前进行监测，监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1 Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10 Bq/L。

③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，含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天后经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08 Bq/cm²、 β 表面污染小于 0.8 Bq/cm² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

12.3.2.6 监测计划建议

根据以上分析，本环评建议医院参考表12-1开展监测。

表12-1 辐射工作场所监测计划建议

场所名称	监测内容	监测范围		监测类别	监测频度
核医学科工作场所	周围剂量当量率	核医学科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。		年度监测	1次/年
				自主监测	不少于1次/月
				验收监测	竣工验收
	β 表面污染水平	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，核医学工作场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。		年度监测	1次/年
				自主监测	1次/4周
				验收监测	竣工验收
总 β	废水监测	衰变池专用检测口	年度监测	委托有资质单位监测	

				常规排放	放射性废液总排放口总 α 不大于 1 Bq/L、总 β 不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10 Bq/L
	周围剂量当量率、 β 表面污染	固废监测	废物间	年度监测	委托有资质单位监测
				常规排放	经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm ² 、 β 表面污染小于0.8Bq/cm ² ，可进行清洁解控并作为医疗废物由有资质单位统一回收处理
回旋加速器机房	周围剂量当量率、中子	回旋加速器机房防护门及四周门缝处、控制室和加速器机房四侧墙体和顶棚处、各电缆管道口。	年度监测	1次/年	
			自主监测	安装调试时全面监测、其他时间1次/月	
			验收监测	竣工验收	
本项目所有辐射场所	个人剂量当量	所有辐射工作人员	个人剂量检测	1次/三个月	

监测质量保证：

①制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测部门的监测数据与本单位监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核；

②采用的国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法；

③制定辐射环境监测管理制度和方案。

此外，医院需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。

12.4 环保措施竣工验收

医院应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》（生态环境部公告2018年第9号）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目

配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

12.5 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第四十三条规定，应急预案主要包括下列内容：

- (一) 应急机构和职责分工（具体人员和联系电话）；
- (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) 辐射事故的调查、报告和处理程序；
- (五) 辐射事故信息公开、公众宣传方案。

医院应对现有辐射应急预案进行补充和完善，内容应包括：应急机构和职责分工、应急和救助装备、物资准备、辐射事故分级、辐射事故应急救援应遵循的原则、辐射事故应急措施和处理程序、辐射事故的调查和报告、人员培训和演习计划、应急联系电话和应急处理流程图等。

(1) 本项目实施前，把本项目的相关内容加入辐射事故应急预案，报送生态环境主管部门重新备案。

(2) 在预案的实施中，应根据国家发布新的相关法规内容，结合医院实际及时对预案作补充修改，使之更能符合实际需要。

12.6 “三同时”验收一览表

表 12-2 “三同时”验收一览表

项目	“三同时”措施	验收要求
辐射安全管理机构	设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者指派 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	建设单位按规定成立了放射防护安全管理委员会，并以文件形式明确了放射防护安全管理委员会的工作职责。
辐射安全和防护措施	本项目各辐射工作场所的屏蔽设计方案详见表 10-10。	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 μ 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 μ Sv/h”的要求。
	本项目各辐射工作场所在控制区的进出口及适当位置处设置醒目的电离辐射警告标志和	满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要

	工作状态指示灯等多项安全防护措施。配备铅衰变桶、铅衰变柜、铅防护冰柜、铅防护服、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、个人剂量报警仪、个人剂量计等防护设备。	求》（HJ1188-2021）的要求。
人员 配备	本项目辐射工作人员均已参加了辐射防护培训，均取得了合格证书或成绩报告单，且均在有效期内。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核的管理要求。
	本项目辐射工作人员已配置个人剂量计，个人剂量计监测周期一般为一个月，最长不超过三个月，并建立个人剂量监测档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展个人剂量监测及建立个人剂量监测档案的管理要求。
	本项目辐射工作人员均进行了职业健康检查，并建立了个人健康档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员定期进行职业健康体检及建立职业健康监护档案的管理要求。
监测仪 器和防 护用品	本项目各辐射工作场所的监测仪器和防护用品详见表 10-11。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射监测仪器配置要求。
辐射安 全管理 制度	建设单位已根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定制定了一系列辐射安全管理制度，内容包括放射防护委员会职责与分工》、《放射工作人员培训计划》、《放射人员体检及健康管理制度》、《放射防护监测方案》、《核医学科岗位职责》、《核医学安全操作规程》、《核医学科防护措施》、《放射性同位素使用登记制度》、《储源场所安全管理制度》《放射性同位素变更及注销制度》、《SPECT 操作规程》、《放射性同位素使用期满后的处理安案》、《自行查对检查制度》、《辐射安全应急预案》、《 ¹³¹ I 药物分装室操作规程》、《 ¹³¹ I 药物分装室岗位职责》、《 ¹³¹ I 药物分装室应急预案》、《受检者放射危害告知与防护制度》与《辐射防护检查制度和年度评估制度》等辐射管理制度。建设单位应针对本项目新增的回旋加速器、小动物扫描机房等补充制定相应的操作规程、岗位职责、设备维修制度、台账管理制度、事故应急预案等辐射管理制度。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中的有关要求，使用射线装置的单位要健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、台账登记制度、人员培训计划、监测方案等，需完善辐射事故应急预案。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 辐射安全与防护分析结论

(1) 项目概况

医院拟在总院（杭州市拱墅区半山东路 1 号）3 号楼核医学科东北侧扩建回旋加速器楼，拟在回旋加速器楼 1 层西侧新增核素制备区域（新增 1 台 16.5MeV 的 PETtrace800 型回旋加速器，生产 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 等正电子核素用于 PET 显像，属于 II 类射线装置）；拟在回旋加速器楼 1 层东侧、2 层西侧新增小动物标记显像区域，新增 1 台 uMR 9.4T 型小动物 PET/MR；新增 1 台 IRIS 型 PET/CT，其最大管电压为 80kV，最大管电流为 0.7mA，属于 III 类射线装置；新增 1 台 U-SPECT⁶/CT 型 SPECT/CT，其最大管电压为 65kV，最大管电流为 0.7mA，属于 III 类射线装置。小动物标记显像区域拟使用 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 共 7 种放射性核素，对小动物进行显像诊断研究实验。回旋加速器楼工作场所日等效操作量为 $4.27 \times 10^8 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

医院拟在核医学科 1 层工作场所新增 ^{11}C 、 ^{13}N 等正电子核素用于 PET 显像，待核医学科 2022 年改扩建项目《浙江省肿瘤医院核医学科、介入科与直线加速器改扩建项目环境影响报告表》实施后，其日等效操作量为 $3.02 \times 10^9 \text{Bq}$ ，仍为乙级非密封放射性物质工作场所。

为了改善原治疗病房的拥挤状况，提高医疗服务质量，医院拟在回旋加速器楼 2 层增设 9 间治疗病房，使用放射性核素 ^{131}I 进行甲状腺治疗与使用放射性核素 ^{177}Lu 进行神经内分泌癌或前列腺癌治疗，放射性核素 ^{131}I 和 ^{177}Lu 使用规模不变，增设的 9 间治疗病房与原核医学科 2 层工作场所为一个单独的工作场所，其日等效操作量仍为 $3.90 \times 10^9 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 项目位置

本项目核医学科辐射工作场所位于回旋加速器楼 1 层与 2 层。本项目各辐射工作场所东侧紧邻景区道路，东侧 10m 为杭州半山国家森林公园；南侧紧邻为停车场，南侧 42m 为 2 号楼，西南侧紧邻 3 号楼；西侧紧邻为医院内部道路，北侧 10m 为杭州自富汽车修理有限公司，东北侧 40m 为杭州基督教会半山堂。北侧 12m 为杭州自富汽车修理有限公司。本项目周围环境关系示意图见附图 2。

(3) 项目所在地区环境质量现状结论

本项目辐射工作场所周围环境的 γ 辐射剂量率、中子辐射剂量率及 β 表面污染本底水平未见异常。

(4) 辐射安全防护措施结论

①本项目各辐射工作场所的辐射屏蔽设计详见表10-10,本项目工作用房及各机房的防护设计已考虑了其周边工作人员和公众的辐射安全。核医学科用房其室内表面及装备结构设计均满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)与《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)的相关要求。

②项目拟采取的污染防治措施详见本报告表10章节。

(5) 辐射安全管理结论

①医院已成立辐射安全管理委员会,负责辐射安全与环境保护管理工作。医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。

②医院现有辐射工作人员均已进行放射防护知识培训。医院已对现有辐射工作人员进行了职业健康监护和个人剂量监测,同时也应将本项目新增辐射工作人员纳入管理范围内。

浙江省肿瘤医院在严格执行相关法律法规、标准规范等文件,严格落实各项辐射管理制度、落实辐射管理措施或设施、完善辐射工作人员管理的前提下,其从事辐射活动的技术能力基本符合相应法律法规的要求。

13.1.2 环境影响分析结论

(1) 主要污染因子

本项目回旋加速器楼核素制备区域产生的主要污染因子是 β 射线、韧致辐射、 γ 射线、中子、感生放射性、 β 放射性表面污染、放射性废水、放射性废气、放射性固废、臭氧与氮氧化物等;回旋加速器楼小动物显像标记区域产生的主要污染因子是 β 射线、 γ 射线、X射线、 β 放射性表面污染、放射性废水、放射性废气、放射性固废、臭氧与氮氧化物等;核医学科1层工作场所所产生的主要污染因子是 β 射线、韧致辐射、 γ 射线、X射线、 β 放射性表面污染、放射性废水、放射性废气、放射性固废、臭氧与氮氧化物等;核医学科2层工作场所产生的主要污染因子是 β 射线、韧致辐射、 γ 射线、 β 放射性表面污染、放射性废水、放射性废气、放射性固废、臭氧与氮氧化物等

(2) 辐射剂量率预测结论

本项目各辐射工作场所周围当量剂量率预测值能够满足《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)中“在核医学控制区外人员可达处,距屏蔽体外表面0.3m处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$,控制区内屏蔽体外表面0.3m处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ”标准要求,合成箱外表面、注射位的周围剂量当量率满足《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 $2.5\mu\text{Sv/h}$,放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。”的要求。

(3) 有效剂量预测结论

本项目各辐射工作场所所致辐射工作人员受照年有效剂量均能满足本项目职业人员剂量约束值不超过 5mSv/a 的要求,均能满足《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。

本项目各辐射工作场所所致公众人员受照年有效剂量均能满足本项目公众人员剂量约束值不超过 0.1mSv/a 的要求,均能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)要求的实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过 1mSv/a 的剂量限值要求。

(4) “三废”影响分析

核医学科1层工作场所仅新增 ^{11}C 、 ^{13}N 两种核素,每日诊断最多2人,每日操作量仅为 $7.4\times 10^8\text{Bq}$,新增的放射性废气、放射性废水与放射性固废极少,对现有“三废”处理措施不构成数据冲击,依托核医学科1层工作场所的“三废”处理措施是可行的。

①放射性废气影响分析

本项目回旋加速器楼工作场所共用一个排风井,排风井位于回旋加速器机房西侧。回旋加速器楼2层新增病房与原核医学科2层工作场所共用一个排风井,排风井位于回旋加速器楼2层中部。废气管道风量、走向及排放口、废气排放浓度达标性分析详见表10放射性“三废”影响分析。

本项目 ^{18}F 、 ^{177}Lu 等核素为非挥发性核素, ^{131}I 相对挥发性较强,含微量核素的放射性废气经手套箱顶壁与排风口的废气处理设施处理后,其对周围环境的影响可以忽略。

②放射性废水影响分析

本项目回旋加速器楼工作场所与核医学科2层工作场所产生的放射性废水通过放射性废水收集管道（管道裸露处采用6mm铅皮包裹）排放至回旋加速器楼南侧的衰变池，暂存364天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天、含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期、含碘-131核素的暂存超过180天的要求。

放射性废水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“三废”处理措施，放射性废水经衰变池衰变后，废水中各放射性核素一次排放量均小于相应核素的 $1ALI_{min}$ ，月排放量小于相应核素的10倍 ALI_{min} ，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，同时排放浓度满足《医疗机构水污染物排放标准》中总 β 小于或等于 $10Bq/L$ 的要求，对周围环境的影响是可接受的。放射性废水排放每次排放须监测符合排放标准经审管部门同意或批准，废水排放应做好排放台账，详细记录排放时间、监测数据、排放量等内容。

③放射性固废影响分析

本项目回旋加速器楼核素制备区域产生的回旋加速器靶废料、放射性药物制取时产生的放射性残留物与废活性炭暂存于热室南侧的污物间内，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，含 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{99m}Tc 等6种放射性核素的放射性固废衰变30天后达到解控标准后按普通医疗废物处理，含 ^{98}Zr 放射性核素的放射性固废衰变10个半衰期后达到解控标准后按普通医疗废物处理。

本项目回旋加速器楼小动物显像标记区域产生的残留注射器、手套等暂存于固废间的衰变柜，小动物尸体暂存于固废间的铅防护冰柜。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，含 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{99m}Tc 等6种放射性核素的放射性固废衰变30天后达到解控标准后按普通医疗废物处理，含 ^{98}Zr 放射性核素的放射性固废衰变10个半衰期后达到解控标准后按普通医疗废物处理，小动物尸体达到解控标准后定期交有资质单位处理。

本项目核医学科2层工作场所产生的放射性废物主要为：注射过程产生的一次性注射器、手套、空药瓶；服药过程中病人产生的含 ^{131}I 的一次性口杯、擦拭纸巾；病人呕吐物、擦拭纸、住院期间的污被与废活性炭等。所有废物暂存在核医学科1层的固废间内，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 1 层工作场所废物间暂存 180 天后外包洗涤，废活性炭按放射性固废处理。

13.1.3可行性分析结论

(1) 产业政策符合性分析结论

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第 29 号令《产业结构调整指导目录(2019 年本)》及国家发展和改革委员会第 49 号令《关于修改<产业结构调整指导目录(2019 年本)>的决定》，本项目核医学科扩建项目属于第六项核能中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，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

本项目回旋加速器制备 PET 用放射性药物，可以根据患者的需求随用随制备，有效提高了放射性药物供应的稳定性，提升了医院的医疗服务质量；同时开展小动物显像标记研究，能够提升医院对疾病的诊治能力。本项目的开展，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。

(3) 选址合理性分析

本项目拟建于医疗机构内单独的建筑物内，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的选址要求；本项目位于医院现有院区内，符合《国家级森林公园管理办法》（国家林业局令第 27 号）等相关法规的归定；本项目选址已获得《杭州市临时建设规划工程许可证》，符合杭州市主体功能区划及土地利用规划。本项目各辐射工作场所实体边界外 50m 评价范围主要为医院内部建筑、内部道路、杭州自富汽车修理有限公司、杭州基督教会半山堂、景区道路与杭州半山国家森林公园，本项目不在生态保护红线范围内。环境影响预测分析表明，在严格执行本评价中提出的辐射管理和辐射防护措施前提下，本项目的开展对周围环境造成的辐射影响在可接受范围内，故本项目的选址是合理的。

(4) “三线一单”符合性分析

根据《杭州市“三线一单”生态环境分区管控方案》，项目所在地属于拱墅区拱墅城

镇生活重点管控单元（ZH33010520001），不在杭州市生态红线保护区内，不涉及生态保护红线符合环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单的要求，本项目的建设符合《杭州市“三线一单”生态环境分区管控方案》的要求。

（5）项目可行性

综上所述，浙江省肿瘤医院核医学科扩建项目在落实本报告提出的各项辐射防护措施、污染防治措施和辐射环境管理要求后，具备从事相应辐射活动的技术能力，本项目运行时对周围环境的影响均能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.2 建议和承诺

1、医院承诺将根据报告表和生态环境主管部门的要求落实相应的污染防治措施和管理要求。

2、本项目报批后并建成，医院承诺及时向生态环境主管部门重新申领辐射安全许可证。

3、医院承诺按照相关法律法规要求严格履行环评制度、辐射安全许可制度，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）的要求自行验收，加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。

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