

核技术利用建设项目

江阴市人民医院城中院区
扩建核医学科及后装机项目
环境影响报告表
(脱密公示本)

江阴市人民医院 (公章)

2024 年 10 月

生态环境部监制

目录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	13
表 3 非密封放射性物质.....	13
表 4 射线装置.....	14
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	15
表 6 评价依据.....	18
表 7 保护目标与评价标准.....	22
表 8 环境质量和辐射现状.....	31
表 9 项目工程分析与源项.....	36
表 10 辐射安全与防护.....	57
表 11 环境影响分析.....	73
表 12 辐射安全管理.....	106
表 13 结论与建议.....	113
表 14 审批.....	119
辐射污染防治措施“三同时”措施一览表.....	120

附图：

附图 1 江阴市人民医院本项目地理位置图

附图 2 江阴市人民医院本项目周围环境现状图

附图 3 江阴市人民医院改造后院区平面布局图

附图 4 本项目与生态空间管控区域相对位置关系图

核医学科项目

附图 5 3#病房楼核医学科改造前平面布局图

附图 6 3#病房楼 1F 平面布置图

附图 7 3#病房楼-1F 平面布局图

附图 8 3#病房楼 2F 平面布局图

附图 9 3#病房楼核医学科平面布局图

附图 10 核医学科人流物流示意图

附图 11 核医学科两区划分示意图

附图 12 核医学科辐射安全与防护措施分布图

附图 13 核医学科排风及新风设计图

附图 14 核医学科排口设计图

附图 15 核医学科衰变池设计图

附图 16 核医学科排水管道设计图

后装机项目

附图 17 放疗中心-1F 改造前平面布置图

附图 18 放疗中心-1F 改造后平面布置图

附图 19 放疗中心 1F 平面布置图

附图 20 后装机机房及辅房平面布置图

附图 21 后装机机房暖通设计图

附件：

附件 1 委托书

附件 2 承诺书

附件 3 事业单位法人证书

附件 4 《江阴市卫生健康委员会关于同意江阴市妇幼保健院等 10 家医疗机构加入江阴市人民医院医疗集团的批复》（澄卫〔2021〕7 号）

附件 5 本项目所在 3#病房楼环评批复及验收材料

附件 6 原有核技术项目环评批复及验收材料

附件 7 辐射安全许可证正副本

附件 8 本项目拟建址周围环境本底检测报告及原有核医学科年度检测报告

附件 9 本项目拟购射线装置说明书/后装机厂家设计说明/原有设备说明书节选

附件 10 原有辐射工作人员个人剂量及考核证书统计表

附件 11 本项目核医学科及后装机房屏蔽设计确认书

附件 12 设备使用情况说明书

附件 13 双锁卫生间原理说明书

表 1 项目基本情况

建设项目名称		江阴市人民医院城中院区扩建核医学科及后装机项目			
建设单位		江阴市人民医院			
法人代表	**	联系人	***	联系电话	*****
注册地址		江阴市寿山路 163 号			
项目建设地点		江阴市寿山路 163 号			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	*	项目环保投资 (万元)	*	投资比例(环保 投资/总投资)	35.15%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积 (m ²)	/
应用 类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input checked="" type="checkbox"/> V类		
	非密封放 射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类		
	其他	/			
	项目概述:				
1. 建设单位基本情况、项目建设规模、任务由来及原有核技术利用项目许可情况					
<p>江阴市人民医院是一所集医疗、教学、科研、预防保健、康复为一体的三级甲等综合医院(事业单位法人证书见附件3);现为东南大学医学院附属医院、南通大学附属医院、徐州医科大学江阴临床学院、江苏大学江阴临床医学院及江苏省人民医院的“战略合作医院”,是国家住院医师规范化培训基地、国家药物临床试验机构、国家临床药师培训基地,是电子病历系统功能应用水平六级医院、国家医疗健康信息互联互通标准化成熟度四级甲等医院、医院智慧服务分级评估三级医院。</p>					

医院分设城中院区（本部，江苏省无锡市江阴市寿山路163号）和敌山湾院区（新院区，无锡市江阴市迎瑞路3号）两个院区，开放床位2200张，现有职工2886人，其中高级职称847人，博士、硕士研究生654人，博士后3人，博士生导师1人，硕士生导师55人。医院整合优势技术力量，积极创建重点专科。现有江苏省临床重点专科5个（骨科、心血管内科、神经外科、消化内科、肿瘤内科），江苏省中医临床重点专科1个（中西医结合肿瘤科），江苏省临床重点专科建设单位1个（神经内科），无锡市临床医学重点专科10个（呼吸内科、普通外科、胸外科、医学影像科、全科医学科、急诊医学科、妇科、新生儿科、产科、烧伤科），无锡市临床医学重点专科建设单位1个（重症医学科）。

江阴市现已建立由一级法人领导的江阴市人民医院医疗集团紧密型医共体，该医共体是在江阴市公立医院管理委员会和江阴市卫生健康委员会的领导下，集行政管理、医教科研、绩效考核、后勤安全、财务审计、医保管理、数字健康、医疗质量、药品耗材、医防融合等统一管理的实体机构。因此江阴市人民医院的城中院区的2#病房楼的1、7、8、9F是江阴市人民医院和医共体之一的江阴市妇幼保健院共同使用，其余楼层由江阴市人民医院单独使用；城中院区目前正在进行的院区改造工程中，后勤综合楼待建设完成后5楼将划分给江阴市妇幼保健院（江阴市妇幼保健院属于江阴市人民医院医疗集团紧密型医共体）用作办公区域，相关文件见附件4。

1.1 原有核技术利用项目许可情况

江阴市人民医院已开展核技术利用项目多年，医院现已申领辐射安全许可证，许可证编号为苏环辐证[00121]，种类和范围为“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。”，有效期至2027年5月17日，发证机关为江苏省生态环境厅。辐射安全许可证正副本见附件7。

医院目前两个院区均已开展核技术利用项目。城中院区在用1处核医学科工作场所（乙级非密封放射性物质工作场所，获批 ^{99m}Tc ， ^{89}Sr ， ^{131}I （甲癌、甲亢、甲吸），实际目前仅使用 ^{99m}Tc 及 ^{131}I （甲吸））、1台医用直线加速器（II类射线装置）、2台DSA（II类射线装置）及21台III类射线装置；敌山湾院区在用1处核医学科工作场所（丙级非密封放射性物质工作场所， ^{125}I 粒子源），2台DSA（II类射线装置）以及15台III类射线装置。

城中院区：

(1) 部分III类射线装置于2005年8月17日取得原江苏省环保厅的批复,并于2010年3月26日通过原江苏省环保厅竣工验收;

(2) 目前放疗中心在地下1F的西侧机房在用的1台医用直线加速器于2009年5月13日取得原江苏省环保厅的批复(苏环辐射(表)复[2009]132号),并于2011年5月26日通过原江苏省环保厅行政验收;

(3) 部分III类射线装置于2013年8月13日获得原江苏省环保厅批复(苏环辐(登记)审[2013]043号),并于2016年1月20日通过原江苏省环保厅行政验收;

(4) 3#病房楼1F西北角东部正在运营中的核医学科于2013年8月23日获得原江苏省环保厅批复(苏环辐(表)审[2013]341号),获批使用^{99m}Tc, ⁸⁹Sr, ¹³¹I(甲癌、甲亢、甲吸)及1台III类射线装置SPECT-CT,并于2016年1月20日通过原江苏省环保厅行政验收,验收了^{99m}Tc及¹³¹I(甲吸);

(5) 目前在用的2台II类射线装置DSA于2019年1月7日获得江苏省生态环境厅批复(苏环辐(表)审(2019)1号),并于2021年7月14日完成自主验收。

敝山湾院区：目前2号楼3F在用的2台II类射线装置DSA于2021年3月8日获得江苏省生态环境厅批复(苏环辐(表)审(2021)8号),并于2021年7月14日和2021年12月完成自主验收。

上述环评批复及验收材料见附件6,其余III类设备均已完成备案登记。

表 1-1 江阴市人民医院已有核技术利用项目一览表

射线装置									
序号	射线装置名称、型号	数量	装置参数	类别	工作场所	活动种类	环评情况	许可情况	验收情况
1	*	1	150kV/500mA	III	城中院区 3#病房楼放疗科门诊	使用	已环评	已许可	部分设备已行政验收
2	*	1	90kV/14mA	III	城中院区口腔科	使用	已环评	已许可	
3	*	1	70kV/7mA	III	城中院区口腔科	使用	已环评	已许可	
4	*	1	90kV/16mA	III	城中院区口腔科	使用	已环评	已许可	
5	*	1	X射线: 15MV 电子束: 18MeV	II	城中院区放疗中心西侧加速器机房	使用	已环评	已许可	已验收
6	*	1	125kV/1000mA	II	城中院区 3#病房楼 1F 手术室 1	使用	已环评	已许可	已验收
7	*	1	140kV/800mA	III	城中院区放射科 CT 室	使用	已环评	已许可	部分设备已行

8	*	1	140kV/800mA	III	城中院区放射科 CT 室	使用	已环评	已许可	政验收
9	*	1	140kV/500mA	III	城中院区放射科 CT 室	使用	已环评	已许可	
10	*	1	140kV/500mA	III	城中院区放射科 CT 室	使用	已环评	已许可	
11	*	1	140kV/500mA	III	城中院区 3#病房楼核医学科	使用	已环评	已许可	已验收
12	*	1	125kV/100mA	III	城中院区病房	使用	已环评	已许可	
13	*	1	150kV/1000mA	III	城中院区放射科	使用	已环评	已许可	
14	*	1	150kV/1000mA	III	城中院区放射科	使用	已环评	已许可	
15	*	1	150kV/500mA	III	城中院区放射科	使用	已环评	已许可	
16	*	1	86kV/0.4mA	III	城中院区放射科	使用	已环评	已许可	
17	*	1	110kV/24mA	III	城中院区手术室	使用	已环评	已许可	部分设备已行政验收
18	*	1	120kV/20mA	III	城中院区手术室	使用	已环评	已许可	
19	*	1	120kV/20mA	III	城中院区手术室	使用	已环评	已许可	
20	*	1	100kV/200mA	III	城中院区碎石中心	使用	已环评	已许可	
21	*	1	150kV/630mA	III	城中院区体检一科	使用	已环评	已许可	
22	*	1	35kV/100mA	III	城中院区放射科	使用	已环评	已许可	
23	*	1	125kV/1000mA	II	城中院区 3#病房楼 1F 手术室 2	使用	已环评	已许可	已验收
24	*	1	140kV/500mA	III	城中院区放射科 CT 室	使用	已环评	已许可	/
25	*	1	150kV/800mA	III	敌山湾院区放射科	使用	已备案	已许可	/
26	*	1	150kV/800mA	III	敌山湾院区放射科	使用	已备案	已许可	/
27	*	1	150kV/1000mA	III	敌山湾院区放射科	使用	已备案	已许可	/
28	*	1	150kV/400mA	III	敌山湾院区病房	使用	已备案	已许可	/
29	*	1	140kV/500mA	III	敌山湾院区放射科 CT 室	使用	已备案	已许可	/
30	*	1	140kV/360mA	III	敌山湾院区放射科 CT 室	使用	已备案	已许可	/
31	*	1	110kV/15mA	III	敌山湾院区口腔科	使用	已备案	已许可	/
32	*	1	70kV/8mA	III	敌山湾院区口腔科	使用	已备	已许	/

33	*	1	120kV/20mA	III	敌山湾院区内镜中心	使用	已备案	已许可	/
34	*	1	120kV/30mA	III	敌山湾院区手术室	使用	已备案	已许可	/
35	*	1	120kV/30mA	III	敌山湾院区手术室	使用	已备案	已许可	/
36	*	1	120kV/20mA	III	敌山湾院区手术室	使用	已备案	已许可	/
37	*	1	125kV/1000mA	II	敌山湾院区 2 号楼 3F 导管室 1	使用	已环评	已许可	已验收
38	*	1	125kV/1000mA	II	敌山湾院区 2 号楼 3F 导管室 2	使用	已环评	已许可	已验收
39	*	1	140kV/420mA	III	敌山湾院区 7#楼 1F 发热门诊	使用	已备案	已许可	/
40	*	1	140kV/825mA	III	敌山湾院区 7#楼 1F 发热门诊	使用	已备案	已许可	/
41	*	1	110kV/24mA	III	敌山湾院区手术室	使用	已备案	已许可	/
非密封放射性物质									
序号	工作场所等级	核素名称	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	工作场所	活动种类	环评情况	许可情况	验收情况
1	乙级	^{99m} Tc	1.11E+08	1.11E+12	城中院区3#病房楼核医学科	使用	已环评	已许可	已验收
2		⁸⁹ Sr	9.25E+07	9.25E+10		使用	已环评	已许可	未使用、未验收
3		¹³¹ I (甲亢、甲癌)	1.85E+09	1.85E+12		使用	已环评	已许可	未使用、未验收
4		¹³¹ I (甲吸)	3.70E+04	3.70E+07		使用	已环评	已许可	已验收
5	丙级	¹²⁵ I (粒子源)	4.736E+06	9.472E+11	敌山湾院区介入科	使用	已备案	已许可	/

*SPECT-CT 使用的校准源为豁免源

医院已根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等相关法律法规，成立了辐射安全与环境保护管理小组，并制定相关辐射安全管理制度。辐射安全与环境保护管理小组负责辐射防护与安全工作的领导工作，包括制定了相关辐射防护与安全制度、辐射安全与防护措施的定期检查、设备仪器自检、组织辐射工作人员定期参加辐射防护与安全知识考核及自主考核、定期职业健康体检、个人剂量计送检并管理好辐射工作人员个人剂量及职业健康档案、委托有资质单位对建设单位辐射工作场所进行年度检测。

医院现有209名辐射工作人员基本已通过核技术利用辐射安全与防护考核或自主考核（核医学科4人及内镜中心6人计划参加考核，目前正在自主学习中），已委托江阴市疾病预防控制中心对已有人员开展个人剂量检测，均满足职业人员剂量限值要求，已委托江阴市第三人民医院（职业病防治院）定期对已有人员进行职业健康体检，结果均为满足从事放射工作的要求，现有辐射工作人员考核情况、体检结果、23年个人剂量统计结果见附件10。

医院已依据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条，每年对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（2023年委托南京瑞森辐射技术有限公司对现有辐射工作场所进行了年度检测，检测结果均满足相应国家标准限值），并于每年1月31日前向发证机关提交了上一年度的评估报告。

1.2 本项目核技术利用项目情况

因核医学科发展需求，在科室开展诊疗工作十数年后，医院将对江阴市寿山路 163 号的城中院区的核医学科进行扩建。城中院区 3#病房楼 1F 西北角原为放疗科门诊部分诊疗室、核医学科、碎石中心及医保用房，待碎石中心及放疗科门诊迁往影像楼和放疗中心、医保用房迁走后，医院将拆除西北角大部分原有隔墙（仅保留放疗科门诊的热疗机房及辅房、SPECT-CT 机房及控制室）后重新规划核医学科平面布置并进行防护工程施工。同时，医院计划封闭 3#病房楼核医学科下方的原衰变池（待未来核医学科整体退役时一并退役），在北侧绿化下方重新建设智能化的槽式衰变池。

放疗科在数年前曾开展过后装机（ ^{192}Ir 放射源）诊疗工作，后因科室发展调整，将原有设备及机房进行了退役和注销。医院现计划进一步完善放疗中心治疗项目，在地下的放疗中心扩建后装机机房及设备，重新开展后装机放射治疗工作。

项目情况：

核医学科：本项目将在改造后的核医学科区域扩大原有的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I （甲吸）用量，扩建 ^{18}F 、 ^{68}Ga 及 1 台 III 类射线装置 PET-CT（配套使用 2 枚 V 类校准源 ^{68}Ge ）用于开展核素诊断工作，并将使用 ^{131}I 开展甲亢治疗。同时核医学科将继续使用原有的 1 台 III 类射线装置 SPECT-CT 及豁免源，并将注销原已许可的 ^{89}Sr 及 ^{131}I （甲癌）项目。

原核医学科 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 日等效最大操作量 $1.11\text{E}+08\text{Bq}$ ，年最大操作量 $1.11\text{E}+12\text{Bq}$ ，扩建后核医学科 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 日等效最大操作量 $1.39\text{E}+07\text{Bq}$ （日最大操作量增加，操作方式由“简单操作”变更为“很简单操作”），年最大操作量 $3.48\text{E}+12\text{Bq}$ ；原核医学科 ^{131}I

(甲吸)日等效最大操作量 $3.70E+04Bq$ ，年最大操作量 $3.70E+07Bq$ ，扩建后核医学科 ^{131}I (甲吸)日等效最大操作量 $7.40E+04Bq$ ，年最大操作量 $1.85E+08Bq$ 。继续沿用的原有的 1 台 III 类射线装置 SPECT-CT 最大管电压为 140kV，最大管电流为 500mA，配套的为豁免源。

注销甲癌用量前甲癌甲亢合计 ^{131}I 日等效最大操作量 $1.85E+09Bq$ ，年最大操作量 $1.85E+12Bq$ ，注销甲癌用量后 ^{131}I (甲亢)日等效最大操作量 $3.70E+08Bq$ ，年最大操作量 $9.25E+11Bq$ 。

新增的 ^{18}F 日等效最大操作量 $2.52E+07Bq$ ，年最大操作量 $6.29E+12Bq$ ；新增的 ^{68}Ga 日等效最大操作量 $4.44E+06Bq$ ，年最大操作量 $1.11E+12Bq$ ；新增的 1 台 I 类 III 类射线装置 PET-CT 最大管电压为 140kV，最大管电流为 800mA，配套使用的 2 枚 V 类校准源 ^{68}Ge 活度为 $5.55E+08Bq$ 。

原核医学科日等效最大操作量 $2.06E+09Bq$ ，属乙级非密封放射性物质工作场所，扩建后核医学科日等效最大操作量 $4.14E+08Bq$ ，场所等级未变。

本项目核医学科的 5 名辐射工作人员为核医学科原有的所有辐射工作人员，包含 4 名医师和 1 名护师，不兼岗其他核技术利用项目。根据建设单位核医学科介绍使用情况，本项目使用的非密封放射性物质均采用外购形式，不进行任何淋洗工作。

后装机：本项目将利用位于放疗中心工作用房改造出后装机机房及辅房，将使用 1 枚 III 类放射源 ^{192}Ir ，活度为 $3.70E+11Bq$ 。前期模拟定位工作将依托 1#楼中影像楼的模拟定位机及 CT 完成。参与本项目后装机机房工作的 12 名辐射工作人员均从放疗科原有的 20 名辐射工作人员中调配，包含 10 名医师和 2 名物理师，会兼岗放疗科其他核技术利用项目。

本项目核技术利用项目详见下表。

表 1-2 江阴市人民医院本项目核技术利用情况一览表

射线装置									
序号	装置名称、型号	数量	装置参数	类别	工作场所	活动种类	环评情况	许可情况	验收情况
1	PET-CT (GE Discovery 710 Clarity)	1	140kV/800mA	III	城中院区 3#病房楼 1F 核医学科 PET-CT 机房	使用	本次环评	未许可	未验收
非密封放射性物质									
序号	工作场所等级	核素名称	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	工作场所	活动种类	环评情况	许可情况	验收情况
1	乙级	^{99m}Tc	$1.39E+07$	$3.48E+12$	城中院区 3#病房楼 1F 核	使用	本次环评	未许可	未验收

					医学科				
2		¹⁸ F	2.52E+07	6.29E+12	城中院区 3# 病房楼核医 学科	使用	本次 环评	未许可	未验收
3		⁶⁸ Ga	4.44E+06	1.11E+12		使用	本次 环评	未许可	未验收
4		¹³¹ I (甲吸)	7.40E+04	1.85E+08		使用	本次 环评	未许可	未验收
5		¹³¹ I (甲亢)	3.70E+08	9.25E+11		使用	本次 环评	未许可	未验收
合计			4.14E+08	等级	乙级				
放射源									
序号	放射源	数量	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	工作场所	活动 种类	环评 情况	许可 情况	验收 情况
1	¹⁹² Ir	1	3.70E+11×1	III	城中院区放疗中 心后装机机房	使用	本次 环评	未许可	未验收
2	⁶⁸ Ge (刻度 /校准源)	1	5.55E+08×1	V	城中院区 3#病房楼 核医学科 PET-CT 机房	使用	本次 环评	未许可	未验收
3	⁶⁸ Ge (刻度 /校准源)	1	5.55E+08×1	V		使用	本次 环评	未许可	未验收

根据《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《建设项目环境保护管理条例》《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》等法律法规的规定，本项目需进行环境影响评价，依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第16号，2021年版），本项目属于“172 核技术利用建设项目”中“使用III类 V 类放射源、使用III类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。”，本项目应编制环境影响报告表。受江阴市人民医院委托（委托书见附件1，承诺书见附件2），江苏睿源环境科技有限公司承担该项目的环评工作。我公司通过资料调研、现场监测、评价分析，编制该项目环境影响报告表。

根据核医学科原验收监测及历年年度检测，环境γ辐射剂量率检测结果和β表面沾污情况均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）要求，核医学科建立以来未发生过辐射事故。

本项目在保留原有核医学科的部分房间情况下进行进一步扩建，针对原有场所目前并无需要退役的区域，仅为拆除原有辐射工作场所后内部重新分隔为新的核医学科房间，并将周围非核医学科区域扩建为核医学科房间，场所等级未发生变化。

在核医学科停诊后进行拆除前，建设单位将委托有资质单位对需拆除的原有辐射工作场所区域进行现状监测，确保开工前拟拆区域无污染残留。建设单位应在监测辐射剂

量率满足所处环境本底水平， β 表面污染满足国标要求情况下方可动工。针对原有衰变池（原科室应用 ^{99m}Tc 及少量 ^{131}I ），建设单位将在科室停诊181天后排出所有废水，并封锁所有检修口、拆除接入口，待本项目核医学科整体退役时一并进行环评、退役工作、场所注销及验收工作，清除污泥前建设单位将取样监测，确保其辐射剂量率满足国标要求。

2.项目周边保护目标及项目选址情况

江阴市人民医院的城中院区位于江阴市寿山路163号。医院东侧为三元坊巷居民区，南侧为寿山路，西侧为临街商住楼；北侧为环城北路。

院区现有1#楼（门急诊、医技、行政楼、影像楼组成，已建，-1F-6F），2#病房楼（已建，-2F-16F，1、7、8、9F由江阴市人民医院和江阴市妇幼保健院共同使用，其余由江阴市人民医院使用），3#病房楼（已建，-2F-21F，局部4F及15F，与2#病房楼由连廊相连），放疗中心（已建，-1F-1F），后勤综合楼（在建，-2F-10F；1F-2F为厨房、食堂，3F-6F为办公（其中5F为江阴市妇幼保健院工作人员办公区域，区域均为江阴市人民医院使用），7F-10F为宿舍），7#楼（感染科门诊、结合门诊、中医针灸推拿科，4F），8#楼（营养科、营养食堂、大众食堂、职工食堂，5F，待拆，在核医学科建成前将拆除迁往后勤综合楼1F-2F），9#/10#楼（医疗器械科、药库、福音大药房，5F，待拆，核医学科建成前将拆除迁至别处），12#楼（已建，6F），丙类库房（在建中），污水处理房（已建，1F，经现场踏勘日常无人居留，医院仅在非接诊时间检修，因此不作为本项目保护目标考虑），医疗废物暂存地（已建，1F）。

医院地理位置图见附图1，江阴市人民医院本项目周围环境现状图见附图2。院区改造工作完成后平面布置图见附图3。

2.1 核医学科

本项目核医学科位于3#病房楼1F西北角（该区域无病房且最高仅4F），改造后核医学科可分为PET-CT诊断区、SPECT-CT诊断区和甲吸/甲亢区。

3#病房楼四周均为院区道路，相隔院区道路东侧为2#病房楼，东南侧为三元坊巷居民区，南侧为放疗中心及1#楼，西侧为待建的中央花园及下沉庭院（归类为绿化），北侧为环城北路。

核医学科东侧由北往南依次为楼梯、消控中心和走道；南侧为走道和1F大厅，西侧为院区道路，北侧为院区道路及绿化（目前为院区道路及8#楼，在核医学科建成前

将拆除，该区域将恢复为绿化并埋设新建的衰变池），楼上为中心供应室，楼下为停车场、发电机房和配电机房。3#病房楼各楼层科室情况见图 1-1。

本项目核医学科周围 50m 范围无居民区、学校等环境敏感目标。50m 范围内涉及院区内的①3#病房楼部分楼层及连廊，②放疗中心，③院区道路及绿化，④医疗废物暂存地，院区外的⑥环城北路及人行道。本项目周围环境保护目标主要为核医学科的辐射工作人员及周围公众。

3#病房楼 1F 改造前平面布局图见附图 5,3#病房楼 1F 改造后平面布局图见附图 9,3#病房楼-1F 及 2F 平面布置图见附图 7、附图 8，现有衰变池所在位置见附图 7。

*

图 1-1 3#病房楼各楼层科室分布情况（21F 为屋顶机房）

2.2 后装机

本项目拟建的后装机机房及辅房位于 3#病房楼南侧的放疗中心，整体放疗中心位于地下 1F，地上 1F 为电梯厅及楼梯间入口，其周围均为院区道路、绿化及连廊，相隔上述区域东侧为三元坊巷居民区农行宿舍，南侧为 1#楼，西侧为中央花园及下沉庭院（归类为绿化），北侧为 3#病房楼。

拟拆除原通往 1#楼地下的坡道区域、库房和候诊区，改造为后装机机房、控制室、缓冲区、走廊、铅模室、准备室、库房和更衣室。后装机机房西侧、北侧、东侧及下方均为土层，南侧为控制室和缓冲区，上方为院区道路。

本项目后装机机房周围 50m 范围涉及 2 处环境敏感目标（三元坊巷 69 号 2 幢 4F 农行宿舍以及江阴市妇幼保健院办公区域）。50m 范围内涉及院区内的①放疗中心，②3#病房楼部分楼层，③1#楼，④后勤综合楼部分楼层（5 楼为江阴市妇幼保健院办公区域），⑤院区道路及绿化，院区外的⑦三元坊巷 69 号 2 幢 4F 农行宿舍、小区道路及库房。本项目周围环境保护目标主要为从事后装机房工作的辐射工作人员及周围公众。

放疗中心-1F 改造前平面布置图见附图 17，改造后平面布置图见附图 18，放疗中心 1F 平面布置图见附图 19。

3.选址合理性分析

根据《江阴市“十四五”医疗机构设置规划（2021—2025 年）》，江阴市人民医院（城中院区）原址保留，该地块为医疗用地，目前正在根据规划对整个院区进行优化升

级，本项目的建设符合用地性质。核医学科所在 3#病房楼的环评及验收材料见附件 5。

本项目均为在科室原有区域基础上进行的扩建，所在位置周围均为科室原核技术利用项目用房，方便科室就近管理。在院区优化升级中，因拆除了部分原有建筑，周围保护目标相较科室建设初始时有所减少，核医学科新建的衰变池亦能优化医院对于液态放射性废物的管理，重新规划后的核医学科更能满足近年推出的相关国家标准要求。院区周围紧邻交通干道，出行便捷，有利于医院和外界的联系，城市基础配套设施完善，给排水等市政管网完善，电力电缆等埋设齐全，为项目建设提供良好条件。

城中院区人流较多的区域为南侧1#楼周边，距离核医学科所在的3#号楼较远，大楼北侧周围在院区升级优化后毗邻人流较少的院区道路及绿化区域。科室设置于综合体建筑中楼层最少的裙楼的1层端部，正上方主要为工作用房，并无人员会长期居留的病房。3#病房楼的主要入口位于南侧，因此在大楼内部核医学科周围同样人流较少。

原位于核医学科西侧的放疗科门诊的设备以及南侧碎石中心的碎石机迁至 1#楼的影像楼以及放疗中心-1F 后，能够减少其与核医学科项目互相叠加的辐射影响，同时也能够方便地下 1F 的放疗中心病人就近完成前期模拟定位工作。地下 1F 放疗中心原已预留可扩建为诊疗室的区域，后装机房设置于该处，周围紧邻的六面中四面周围均为土层，上方为院区道路，因此整体防护工程量较小，也能减少对地面保护目标的辐射影响。

上述选址能够尽可能减少周围保护目标，且远离了儿科、产科或住院楼层等人群长期居留的区域；核医学科的出入口就近直通建筑出口及僻静处，便于用药后患者离场的同时，减少了其与院区公众接触的可能性。迁走医保用房更是进一步确保了核医学科周围均为人流较少的走道、楼梯间、消控中心等区域，相较原有布局减少了保护目标；放疗设备周围主要为土层，上方紧邻院区道路，同样能够减少对周围公众的影响。本项目拟建址周围50m范围集中在院区红线内仅涉及院区外少数保护目标，而本项目所在区域均为集中管理的辐射工作场所，有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽防护后对周围环境影响较小，**从辐射安全防护的角度分析本项目选址是合理的。**

4.实践正当性

医院原有的SPECT-CT检查与计划新增的PET-CT均为核医学的两种功能性成像技术，SPECT-CT通常可以帮助检查身体各个器官，提供病变部位图像。而PET-CT通常可用于全身检查，相对SPECT-CT图像质量更高；SPECT-CT可广泛用于心、脑，或者是甲状腺等器官的疾病诊断。而PET-CT常用示踪剂主要是 ^{18}F -FDG，对病灶定位更加精准。

SPECT-CT通常可以帮助提供图像，但一般不能确定检查部位性质，而PET-CT通常可以明确病变性质，比如灵敏检查肿瘤等。因此核医学科引入常见的PET-CT检查有助于提高诊断的准确性和及时性。科室原已开展甲吸测定多年，拥有丰富经验，目前根据就诊患者需求已有必要开展甲亢治疗项目，方便患者就近治疗。

本项目的建设可以更好地满足江阴市主城区患者就近诊疗的需求，提高医院对疾病的诊治能力，也有利于科室医疗水平发展。核技术应用项目的开展对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此该项目的实践是必要的。医院原核医学科建成多年，近年来相关部门已陆续发布了针对核医学科设计、建设及管理相关的标准和要求，本次整体的升级换代能够优化核医学科的辐射防护设计，便于日常管理。放疗科多年前已开展过后装机治疗工作，后因科室发展变更进行了退役和注销，近年来妇科肿瘤治疗需求逐年增加，因此科室计划开展妇科相关的后装治疗项目。

医院在放射诊断、放射治疗中，对放射源、射线装置及非密封放射性物质的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对放射源、射线装置和非密封放射性物质的安全管理在建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理放射源、射线装置和非密封放射性物质的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性。符合辐射防护“实践的正当性”原则。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	¹⁹² Ir	3.70E+11×1	III	使用	放射治疗	城中院区放疗中心后装机机房	城中院区放疗中心后装机机房	本次扩建
2	⁶⁸ Ge	5.55E+08×1	V	使用	校准	城中院区 3#病房楼 1F 核医学科 PET-CT 机房	城中院区 3#病房楼 1F 核医学科放射源存储室	本次扩建
3	⁶⁸ Ge	5.55E+08×1	V	使用	校准			

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)	年最大操作量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{99m} Tc	液态、低毒	使用	1.39E+10	1.39E+07	3.48E+12	显像诊断	很简单操作	城中院区 3#病房楼 1F 核医学科	城中院区 3#病房楼 1F 核医学科分装室
4	¹⁸ F	液态、低毒	使用	2.52E+10	2.52E+07	6.29E+12	显像诊断	很简单操作		
5	⁶⁸ Ga	液态、低毒	使用	4.44E+09	4.44E+06	1.11E+12	显像诊断	很简单操作		
2	¹³¹ I	液态、中毒	使用	7.40E+05	7.40E+04	1.85E+08	甲吸诊断	简单操作		城中院区 3#病房楼 1F 核医学科服碘室
3	¹³¹ I	液态、中毒	使用	3.70E+09	3.70E+08	9.25E+11	甲亢治疗	简单操作		

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机：包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
12	PET-CT	III	1	GE Discovery 710 Clarity	140	800	放射诊断	城中院区 3#病房楼 1F 核医学科 PET-CT 机房	本次扩建

(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 (μ A)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
核医学科								
核医学科固体放射性废物：一次性注射器、口罩、口杯、擦拭纸和空药瓶、手套、塑料袋等（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将留存于原容器或专用容器内）	固态	^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{131}I	/	约 115kg	约 1375kg	可以解控的：辐射剂量率满足所处环境本底水平、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ；无法解控的：废物包装体外的表面剂量率不超过 $0.1\text{mSv}/\text{h}$ ，表面污染水平对 β 和 γ 发射体小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。	（1）固态放射性废物均暂存于放射性废物暂存间，污泥暂存于污泥池内。 （2）放射性废物暂存间内设置专用铅桶盛放固体放射性废物袋，不同类别废物分开存放：a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物超过 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 ^{131}I 的放射性固体废物暂存超过 180 天，活性炭视作 ^{131}I 相关废物。	暂存衰变经过监测达标后，针对活性炭和污泥结合 HJ 1188—2021 的 7.2.3.1 和 7.4.2 与其他废物一起作为医疗废物处理。无法达标的废物，适当延长暂存时间，待达标后对应处置。
衰变池系统中污泥池内污泥	固态	^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{131}I	/	50.6kg	607.2kg			
核医学科排风口更换的活性炭（半年更换一次）	固态	^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{131}I	/	约 100kg	约 200kg			
核医学科的排泄废水、清洗废水、淋浴废水	液态	^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{131}I	/	约 9.73m^3	116.75m^3	总 β 不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$ ；暂存 181 天后，衰变池废水直接排放	液态放射性废物通过专用管道排至衰变池暂存。衰变池由污泥池及后续并联的 1#、2#、3#、4#、5#槽式衰变池组成。	经衰变池收集贮存到排水计划周期（暂存 181 天）后排入医院污水处理站
核医学科气态放射性废物	气态	^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{131}I	/	微量	微量	微量	不暂存	经手套箱过滤净化系统净化后通过核医学科独立的排风系统引至屋顶高于屋面排放，并在出口处

								设置雨帽及活性炭过滤装置
臭氧及氮氧化物	气态	/	/	/	少量	/	不暂存	通过排风管道引至屋顶排放，直接进入大气，臭氧在常温条件下约 50min 可自然分解为氧气
退役放射源 (校准源)	固体	⁶⁸ Ge 及豁免源	/	/	/	/	暂存于城中院区 3#病房楼 1F 核医学科放射源存储室	由原生产厂家回收或由城市放射性废物库回收处置
后装机								
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
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	少量	不暂存	直接进入大气，常温常态常压的空气中臭氧分解半衰期为 50 分钟，可自动分解为氧气
退役放射源	固态	¹⁹² Ir	/	/	每 4 个多月更换一次，退役时活度约为 1.11E+11Bq	/	不暂存	由生产厂家回收处置，若生产厂家不能回收，则应交有收贮资质的单位回收处置

医疗废物	固态	/	/	/	少量	少量	暂存在院区医疗废物暂存地	采用专用容器集中收集后按照医疗废物执行转移联单制度，委托当地有资质的单位定期处置
------	----	---	---	---	----	----	--------------	--

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

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

表 6 评价依据

法规 文件	<ol style="list-style-type: none"> 1) 《中华人民共和国环境保护法》（2014年修订本），中华人民共和国2014年主席令第9号，自2015年1月1日起施行； 2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正本），中华人民共和国2018年主席令第24号，自2018年12月29日起施行； 3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国2003年主席令第6号，自2003年10月1日起施行； 4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020年修订本），中华人民共和国2020年主席令第43号，自2020年9月1日起施行； 5) 《建设项目环境保护管理条例》（2017年修正本），中华人民共和国2017年国务院令第682号，自2017年10月1日起施行； 6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，中华人民共和国2011年原环境保护部令第18号公布，自2011年5月1日起施行； 7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019年修正本），中华人民共和国2019年国务院令第709号，自2019年3月2日起施行； 8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正本），中华人民共和国2021年生态环境部令第20号修正，自2021年1月4日起施行； 9) 《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2020年生态环境部令第16号，自2021年1月1日起施行； 10) 《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》，中华人民共和国原国家环保总局环发〔2006〕145号，自2006年9月26日起施行； 11) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，中华人民共和国生态环境部公告2019年第39号，自2019年11月1日起施行； 12) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，中华人民共和国生态环境部2019年部令第9号，自2019年11月1日起施行；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，中华人民共和国生态环境部2019年公告第38号，自2019年11月1日起施行； 13) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》，中华人民共和国生态环境部
----------	--

	<p>2021年第9号公告，自2021年3月15日起施行；</p> <p>14) 《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》，中华人民共和国生态环境部公告2019年第57号，自2020年1月1日起施行；</p> <p>15) 《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正本），江苏省人民代表大会常务委员会公告2018年第2号，自2018年5月1日起施行；</p> <p>16) 《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕74号，自2018年6月9日起施行；</p> <p>17) 《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1号，自2020年1月8日起施行；</p> <p>18) 《省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，苏政发〔2020〕49号，自2020年6月21日起施行；</p> <p>19) 《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》（苏环办〔2021〕187号），2021年5月31日印发；</p> <p>20) 《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，2017年12月5日起施行；</p> <p>21) 《放射源分类办法》，原国家环境保护总局公告2005年第62号，自2005年12月23日起施行；</p> <p>22) 《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》，原环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局2017年公告第65号，自2018年1月1日起施行；</p> <p>23) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，原环境保护部办公厅环办辐射函〔2016〕430号，2016年3月7日公布并实施；</p> <p>24) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，生态环境部辐射源安全监管司，辐射函〔2023〕20号，2023年9月11日社会公开；</p>
<p>技术 标准</p>	<p>1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）；</p> <p>2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；</p> <p>3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；</p> <p>4) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>5) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p>

	<p>6) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；</p> <p>7) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）；</p> <p>8) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>9) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）；</p> <p>10) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；</p> <p>11) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>12) 《表面污染测定 第1部分：β发射体（$E_{\beta \max} > 0.15\text{MeV}$）和α发射体》（GB/T 14056.1-2008）；</p> <p>13) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；</p> <p>14) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）；</p> <p>15) 《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）。</p>
<p>其他</p>	<p>附图：</p> <p>附图 1 江阴市人民医院本项目地理位置图</p> <p>附图 2 江阴市人民医院本项目周围环境现状</p> <p>附图 3 江阴市人民医院改造后院区平面布局图</p> <p>附图4 本项目与生态空间管控区域相对位置关系图</p> <p>核医学科项目</p> <p>附图 5 3#病房楼 1F 改造前平面布局图</p> <p>附图 6 3#病房楼 1F 平面布局图</p> <p>附图 7 3#病房楼-1F 平面布局图</p> <p>附图 8 3#病房楼 2F 平面布局图</p> <p>附图 9 3#病房楼核医学科平面布局图</p> <p>附图 10 核医学科人流物流示意图</p> <p>附图 11 核医学科两区划分示意图</p> <p>附图 12 核医学科辐射安全与防护措施分布图</p> <p>附图 13 核医学科排风及新风设计图</p> <p>附图 14 核医学科排口设计图</p> <p>附图 15 核医学科衰变池设计图</p>

附图 16 核医学科排水管道设计图

后装机项目

附图 17 放疗中心-1F 改造前平面布置图

附图 18 放疗中心-1F 改造后平面布置图

附图 19 放疗中心 1F 平面布置图

附图 20 后装机机房及辅房平面布置图

附图 21 后装机机房暖通设计图

附件：

附件 1 委托书

附件 2 承诺书

附件 3 事业单位法人证书

附件 4 《江阴市卫生健康委员会关于同意江阴市妇幼保健院等 10 家医疗机构加入江阴市人民医院医疗集团的批复》（澄卫〔2021〕7 号）

附件 5 本项目所在 3#病房楼环评批复及验收材料

附件 6 原有核技术项目环评批复及验收材料

附件 7 辐射安全许可证正副本

附件 8 本项目拟建址周围环境本底检测报告及原有核医学科年度检测报告

附件 9 本项目拟购射线装置说明书/后装机厂家设计说明/原有设备说明书节选

附件 10 原有辐射工作人员个人剂量及考核证书统计表

附件 11 本项目核医学科及后装机房屏蔽设计确认书

附件 12 设备使用情况说明书

附件 13 双锁卫生间原理说明书

表 7 保护目标与评价标准

评价范围						
<p>本项目拟使用的射线装置为III类射线装置，拟使用的放射源为III类及 V 类放射源，扩建的非密封放射性物质工作场所为乙级。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）中“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”相关规定，确定为本次核技术利用项目所在所有工作场所实体屏蔽墙体外 50m 范围内作为评价范围，详见附图 3。</p>						
保护目标						
<p>本项目建设地点位于江阴市寿山路 163 号，本次放射诊疗项目所在所有工作场周围 50m 范围主要集中在院区红线范围，涉及 2 处环境敏感目标（医共体的江阴市妇幼保健院以及 2 幢居民楼）。</p> <p>对照《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》（苏政发〔2018〕74号）《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》苏政发〔2020〕1号）《省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（苏政发〔2020〕49号）后可以确定，本项目不涉及江苏省生态空间管控区域、江苏省国家级生态保护红线区域。本项目评价范围内涉及2处《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》第三条中环境敏感区（三元坊巷69号2幢4F农行宿舍与后勤综合楼（与江阴市人民医院结成医共体的江阴市妇幼保健院的办公区域））。本项目的建设符合江苏省及无锡市“三线一单”（生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单）要求。</p> <p>根据本项目评价范围确定本项目环境保护目标为：</p>						
表7-1 本项目保护目标情况一览表						
保护目标名称		方位	最近距离 (m)	人员数量	剂量约束值 (mSv/a)	
核医学科	辐射工作人员	核医学科内	/	/	≤5 人	5.0
	周围公众	3#病房楼及连廊	东侧、南侧、楼上、楼下	紧邻	医护约 150 人；患者及陪护家属约 500 人	0.1
		放疗中心	南侧	约 38m	医护约 20 人；患者及陪护家属	0.1

					约 50 人	
		院区道路及绿化	四周	北侧、西侧紧邻	流动人员	0.1
		医疗废物暂存地	北侧	约 10m	流动人员	0.1
		环城北路及人行道	北侧	约 22m	流动人员	0.1
后装机	辐射工作人员	后装机机房及辅房	/	紧邻及内部	≤12 人	5.0
	周围公众	放疗中心	南侧、楼上 1F 区域	南侧约 9m	医护约 8 人；患者及陪护家属约 50 人	0.1
		3#病房楼	北侧	约 3.8m	医护约 80 人；患者及陪护家属约 150 人	0.1
		后勤综合楼	西侧	西侧约 46m	医护约 20 人	0.1
		1#楼	南侧	南侧约 8m	医护约 200 人；患者及陪护家属约 600 人	0.1
		院区道路及绿化	楼上	紧邻	流动人员	0.1
		三元坊巷69号2幢4F农行宿舍、小区道路及库房	东南侧	距离宿舍外墙约 27m，距楼约 32m	预计进入评价范围不超过 10 户，考虑围墙内流动人员、约 50 人	0.1

评价标准

1) 职业照射和公众照射的照射剂量限值

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

类别	剂量限值
职业照射剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv。
公众照射剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

2) 剂量约束值

参考《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“11.4.3.2 剂量约束值”，结合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“4.4.2 剂量约束值”以及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）“4.9 从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值”要求，本项目剂量约束值如下：

- A) 职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a;
- B) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

非密封放射性物质工作场所

1) 放射性表面污染控制水平

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

6.2.3 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）B11 所规定的限制要求。

表 7-3 工作场所的放射性表面污染控制水平 单位： Bq/cm²

表面类型		β放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4×10
	监督区	4
工作服手套、工作鞋	控制区、监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻¹

*该区内的低污染子区除外。

*β粒子最大能量小于 0.3MeV 的β放射性物质的表面污染控制水平，可为本表 中所列数值的 5 倍。

2) 周围剂量当量率

结合《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）以及生态环境部辐射源安全监管司 2023 年 9 月 11 日《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）确定本项目屏蔽要求如下：

A) 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，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h。

(*控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2），周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h。控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子<1/2），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者通道等位置，周围剂量当量率应小于 10μSv/h)；

B) 放射性药物分装的箱体应设有屏蔽结构，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。

C) 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 2.5μSv/h。

(*结合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）表 J.1 核医学工作场所控制区边界周围剂量当量率检测点的选择及数量，针对楼下关注点取控制区房间下方人员可达处离地 1.7m 位置)

3) 放射性废物管理

(3.1) 固体放射性废物

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) “7.2.3 固体放射性废物处理”及“7.4.2”，结合本项目核素特征确定管理目标：

收集

A) 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。

B) 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。

C) 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贮存。

D) 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。

E) 污泥在衰变池系统的污泥池内暂存。

贮存

A) 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。

B) 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。

C) 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。

D) 含放射性的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。

E) 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

处理

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

B) 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；

C) 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；

D) 含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

E) 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 0.1mSv/h ，表面污染水平对 β 和 γ 发射体应小于 4Bq/cm^2 。

F) 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。

(3.2) 液态放射性废物

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）“7.3.3 放射性废液排放”及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》规定，结合本项目核素特征确定管理目标：

收集

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

B) 核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。

C) 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。

D) 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。

贮存

A) 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。

B) 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。

C) 核医学诊断和门诊 ^{131}I 治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为 3-5 级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。（本项目衰变池均为槽衰变池）

排放

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；含 ^{131}I 的放射性废水暂存 181 天后，衰变池废水可以直接排放。本项目采用 1 套衰变池系统，未有半衰期超过 ^{131}I 的核素，因此计划暂存 181 天后排放；

B) 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、排放时间等信息。

(3.3) 气态放射性废物

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）“6.2.2”“6.3 密闭和通风要求”和“7.4 气态放射性废物的管理”规定确定管理目标：

A) 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。

B) 放射性物质的分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、手套箱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行。手套箱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。

C) 手套箱应有足够的通风能力。设有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。

D) 产生气态放射性废物的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。单独的排风系统意为，作为手套箱等设备的排风管道在汇入“主排风管道前”的部分，应独立设置，防止发生气体回流和交叉污染。经过滤后的气体可汇入一个主管道中排放。

E) 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（通风设计厂家推荐半年一次）。更换下来的过滤器按固体放射性废物进行收集、处理。

PET-CT:

1) 使用面积、单边长度、屏蔽防护铅当量厚度要求

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）6.1.5 和 6.2.2 确定管理目标：

表 7-4 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

机房类型	机房内最小有效使用面积 m ²	机房内最小单边长度 m
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5

表 7-5 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
CT 机房（不含头颅移动 CT）	2.5	

2) 周围剂量当量率

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）“6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平”确定管理目标：

CT 机机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5 μSv/h；

(*机房地面下方（楼下）关注点为距楼下地面 170 cm 处)

后装机:

1) 剂量率参考控制水平

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）6.1.4 及《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121—2020）6.3.1 确定管理目标：

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

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

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

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

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

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

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

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

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

*	*
---	---

图 7-1 后装机机房外关注点

表 7-6 后装机机房外周围剂量当量率参考控制水平

关注点位	位置	居留因子	使用因子	周出束时间 h/周	\dot{H}_c , $\mu\text{Sv/周}$	剂量率参考控制水平 $\mu\text{Sv/h}$			
						$\dot{H}_{c,d}$	$\dot{H}_{c,max}$	\dot{H}_c	
后装机 机房	控制室 (a 点)	控制室	1	1	1.67	100	59.9	2.5	2.5
	治疗机房入口 (g 点)	缓冲区	1/5	1	1.67	100	299.4	2.5	2.5
	院区道路 (I 点)	院区道路	1/16	1	1.75	5	45.7	10	10

2) 废物管理要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）“8 放射性废物管理要求”确定管理目标：

(2.1) 固体废物管理要求

废旧放射源应按法律法规要求返回放射源生产厂家或原出口方。确定无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮，并承担相关费用。

建立放射性固体废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率）、监测日期、去向等相关信息，低于

清洁解控水平的可作为一般固体废物处置，并做好存档记录。

(2.2) 气态废物管理要求

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

参考资料

- 1) 《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（辐射防护 第 13 卷第 2 期，1993 年 3 月），江苏省环境监测站。

表 7-7 江苏省全省环境天然 γ 辐射剂量率调查结果 单位：nGy/h

项目	原野	道路	室内
测值范围	33.1~72.6	18.1~102.3	50.7~129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差 (s)	7.0	12.3	14.0

**现状评价时，参考“测值范围”数值进行评价。表格中数据已扣除宇宙响应值。

- 2) *;
- 3) *;
- 4) *;
- 5) *;
- 6) *;
- 7) *;
- 9) *;
- 10) *;
- 11) *;
- 12) *。

表 8 环境质量和辐射现状

1. 项目地理和场所位置

江阴市人民医院的城中院区位于江阴市寿山路 163 号。医院东侧为三元坊巷居民区，南侧为寿山路，西侧为临街商住楼；北侧为环城北路。

核医学科

3#病房楼四周均为院区道路，相隔院区道路东侧为 2#病房楼，东南侧为三元坊巷居民区，南侧为放疗中心及 1#楼，西侧为待建的中央花园及下沉庭院（归类为绿化），北侧为环城北路。

核医学科东侧由北往南依次为楼梯、消控中心和走道；南侧为走道和 1F 大厅，西侧为院区道路，北侧为院区道路及绿化（目前为院区道路及 8#楼，在核医学科建成前将拆除，该区域将恢复为绿化并埋设新建的衰变池系统），楼上为中心供应室，楼下为停车场、发电机房和配电机房。

本项目核医学科周围 50m 范围无居民区、学校等环境敏感目标。50m 范围内涉及院区内的①3#病房楼部分楼层及连廊，②放疗中心，③院区道路及绿化，④医疗废物暂存地，院区外的⑥环城北路及人行道。本项目周围环境保护目标主要为核医学科的辐射工作人员及周围公众。

后装机

放疗中心位于地下 1F，地上 1F 为电梯厅及楼梯间入口，其周围均为院区道路、绿化及连廊，相隔上述区域东侧为三元坊巷居民区农行宿舍，南侧为 1#楼，西侧为中央花园及下沉庭院（归类为绿化），北侧为 3#病房楼。

后装机机房西侧、北侧、东侧及下方均为土层，南侧为控制室和走廊，上方为院区道路。

本项目后装机机房周围 50m 范围涉及 2 处环境敏感目标（三元坊巷 69 号 2 幢 4F 农行宿舍以及江阴市妇幼保健院办公区域）。50m 范围内涉及院区内的①放疗中心，②3#病房楼部分楼层，③1#楼，④后勤综合楼部分楼层（5 楼为江阴市妇幼保健院办公区域），⑤院区道路及绿化，院区外的⑦三元坊巷 69 号 2 幢 4F 农行宿舍、小区道路及库房。本项目周围环境保护目标主要为从事后装机房工作的辐射工作人员及周围公众。

3#病房楼周围	
*	*
3#病房楼西北侧 10#楼（待拆）	3#病房楼西北侧 9#楼（待拆）
*	*
3#病房楼北侧 8#楼（待拆）	3#病房楼北侧医疗废物暂存地
*	*
3#病房楼东侧连廊及 2#病房楼	3#病房楼东南侧三元坊巷居民区
*	*
3#病房楼南侧放疗中心 1F	3#病房楼南侧 1#楼
*	*
3#病房楼西侧中央花园及下沉庭院拟建址	3#病房楼西侧建设中的后勤综合楼
核医学科周围	
*	*
核医学科北侧院区道路（西）	核医学科北侧院区道路（东）
*	*
核医学科东侧农保工作用房	核医学科东侧消控中心
*	*
核医学科南侧入口现状	核医学科南侧走道
*	*
核医学科南侧大厅（1）	核医学科南侧大厅（2）
*	*
核医学科西侧院区道路	核医学科正上方消毒供应中心
*	*
核医学科楼上麻醉科	核医学科楼上输血科
*	*
核医学科楼下停车场	核医学科出口现状
放疗中心周围	
*	*
放疗中心北侧院区道路	放疗中心东侧绿化及连廊
*	*
放疗中心南侧 1#楼的影像楼	放疗中心西侧中央花园及下沉庭院拟建址
*	*
放疗中心 1F 楼梯间	放疗中心 1F 电梯厅
*	*
后装机机房拟建址南侧（斜坡待拆除）	后装机机房拟建址
*	*
后装机机房拟建址上方区域	后勤综合楼施工信息牌
*	*
放疗中心东侧农行宿舍（1）	放疗中心东侧农行宿舍（2）
*	*
放疗中心东侧农行宿舍（3）	放疗中心东侧农行宿舍（4）
*	*
放疗中心东侧农行宿舍（5）	放疗中心东侧农行宿舍（6）
*	*
放疗中心东侧农行宿舍（7）	放疗中心东侧农行宿舍的库房（8）
日常污水处理房均无人居留，入口均已封锁	
*	*
*	*
工程师现场踏勘照片	
*	*
*	*

* * * *

图 8-1 本项目拟建址周围环境现状及工程师现场踏勘照片

2.环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

评价对象：本项目扩建核医学科及后装机项目拟建址周辐射环境。

监测因子：本项目扩建核医学科及后装机项目拟建址周围环境 γ 辐射剂量率、 β 表面沾污。

监测点位：本项目扩建核医学科及后装机项目拟建址及周围布设 γ 辐射剂量率监测点位、 β 表面沾污监测点位，分别位于本项目扩建核医学科及后装机项目拟建址周围及保护目标处。

3. 监测方案、质量保证措施

监测方案：*。

质量保证措施：*。

4. 监测结果与环境现状调查结果评价

*。

监测结果：本项目拟建址周围现状环境 γ 辐射剂量率监测结果见表 8-1，环境 β 表面沾污检测结果见表 8-2，（报告见附件 8），上述监测点位示意图见图 8-2。

表 8-1 本项目拟建址周围环境 γ 辐射剂量率检测结果

测点号	点位描述	测量结果 (nGy/h)	备注	
1	1F 核医学科拟建址北部（西）	*	楼房	室内
2	1F 核医学科拟建址北部（中）	*	楼房	室内
3	1F 核医学科拟建址北部（东）	*	楼房	室内
4	1F核医学科拟建址南部（西）	*	楼房	室内
5	1F核医学科拟建址南部（中）	*	楼房	室内
6	1F核医学科拟建址南部（东）	*	楼房	室内
7	1F核医学科拟建址东侧（消控中心）	*	楼房	室内
8	1F核医学科拟建址南侧（走廊）	*	楼房	室内
9	1F核医学科拟建址西侧（院区道路）	*	楼房	室内
10	1F核医学科拟建址北侧（院区道路）	*	楼房	室内
11	核医学科拟建址西部楼上2F（污物接收区）	*	楼房	室内
12	核医学科拟建址东部楼上2F（检查打包区）	*	楼房	室内
13	核医学科拟建址中央楼下-1F（停车场）	*	楼房	室内
14	-1F后装机机房拟建址西部	*	平房	室内
15	-1F后装机机房拟建址东部	*	平房	室内
16	-1F后装机机房拟建址南侧（候诊区）	*	平房	室内
17	-1F 放疗中心东部（候诊区）	*	平房	室内

检测日期：2024年5月28日。检测期间核医学科未开展诊疗工作，未开启SPECT-CT或应用核素

18	后装机机房拟建址楼上（院区道路）	*	道路	道路
19	3#楼 5F 重症监护病房	*	楼房	室内
20	3#楼 10F 骨科病房	*	楼房	室内
21	3#楼 9F 儿科病房	*	楼房	室内
22	3#病房楼与 2#病房楼 3F 的连廊	*	楼房	室内
23	3#病房楼南侧院区道路	*	道路	道路
24	1#楼影像楼 1F 东北角	*	楼房	室内
25	1#楼 1F 东北角	*	楼房	室内
26	3#楼西侧院区道路	*	道路	道路
27	中央花园下沉庭院拟建址	*	道路	道路
28	后勤综合楼 1F 东南角	*	楼房	室内
29	院区外人行道	*	道路	道路
30	环城北路	*	道路	道路
31	三元坊巷 69 号农行宿舍北侧	*	道路	道路
32	三元坊巷 69 号农行宿舍一 1F	*	楼房	室内
33	三元坊巷 69 号农行宿舍一 3F	*	楼房	室内
34	三元坊巷 69 号农行宿舍二 1F	*	楼房	室内
35	三元坊巷 69 号农行宿舍二 3F	*	楼房	室内

*已扣除宇宙响应值（仪器的宇宙响应值为 12nGy/h）。

*BG9512P 型 X-γ辐射监测仪直接读数单位为 nGy/h。建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房取值为 0.8，平房取值为 0.9，原野、道路取值为 1。

表 8-2 本项目拟建址周围环境β表面沾污检测结果

测点号	测点位置	β (Bq/cm ²)	备注
1	SPECT-CT 机房地面	*	检测日期：2024 年 7 月 5 日。检测期间核医学科未开展诊疗工作，未应用核素。
2	SPECT-CT 机房诊断床床面	*	
3	SPECT-CT 机房控制室操作台台面	*	
4	SPECT-CT 机房控制室地面	*	
5	运动平板室地面	*	
6	甲功测试室地面	*	
7	分装室地面	*	
8	分装室内手套箱表面	*	
9	注射室台面	*	
10	诊前候诊室地面	*	
11	诊后休息室地面	*	
12	患者卫生间地面	*	
13	核医学科走廊（北）地面	*	
14	核医学科走廊（中）墙面	*	
15	核医学科走廊（南）地面	*	
16	热疗机房地面	*	
17	模拟定位机机房地面	*	
18	物理计划室地面	*	
19	内部走廊地面	*	
20	休息室地面	*	

注：表面污染水平检测下限（LLD）为 0.043Bq/cm²。

*
*
*
*

*
*
*

图 8-2 本项目拟建址检测点位示意图

未运行情况：根据表 8-1 的监测结果可知，江阴市人民医院本项目拟建址周围 X-γ 辐射剂量率在 52nGy/h~73nGy/h（道路）、56nGy/h~83nGy/h（室内）范围内，与江苏省天然γ辐射水平相当。

根据表 8-2、8-3 的监测结果可知，江阴市人民医院核医学科未运行情况下本项目拟建址周围β表面污染辐射水平为（<LLD~0.152） Bq/cm²（探测下限为 0.043Bq/cm²），未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）B11 工作场所的表面污染控制水平。

运行情况：根据附件 8 的年度监测结果可知，江阴市人民医院核医学科运行情况（使用 13mCi^{99m}Tc，CT 扫描工况为 110kV/182mA）下 X-γ辐射剂量率检测结果范围为 0.13μSv/h~0.38μSv/h，β表面污染水平检测结果为<LLD（探测下限为 0.06Bq/cm²），满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）周围剂量当量率限值和放射性表面污染控制水平要求。

因此根据上述监测结果及历年年度检测情况，预计停诊后拆除原有核医学前监测时能够满足国标限值。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

1. 核医学科

1.1 工程设备

本项目核医学科位于 3#病房楼西北角，包括 PET-CT 诊断区（使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga ，配套 1 台 PET-CT 及 2 枚 V 类校准源 ^{68}Ge ）、SPECT-CT 诊断区（使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，原有 1 台 SPECT-CT 配套使用豁免源）和甲吸/甲亢区域（使用 ^{131}I ）。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），核医学科本项目使用核素的参数见下表。

表 9-1 本项目核医学科主要技术参数表

非密封放射性物质					
核素名称	半衰期	主要衰变方式	最大 β 粒子能量/ MeV	光子能量/MeV	用途
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	*	*	*	*	显像诊断
^{18}F	*	*	*	*	显像诊断
^{68}Ga	*	*	*	*	显像诊断
^{131}I	*	*	*	*	甲吸诊断/甲亢治疗

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C1 非密封放射性物质工作场所的分级判据。

表 9-2 非密封放射性物质工作场所的分级

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

根据附录 C2 放射性核素的日等效操作量的计算，放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。

表 9-3 放射性核素毒性组别修正因子

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

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号）：放射性药品生产中，分装，标记等活动视为“简单操作”；医疗机构使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 相关活动视为“很简单的操作”，使用 ^{131}I 核素相关活动视为“简

单操作”。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）“表 A.2 核医学常见放射性核素状态与操作方式修正因子”，医疗机构使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （液态），操作方式界定为“很简单操作”，操作方式修正因子为 10；核素治疗使用 ^{131}I （液态），操作方式界定为简单操作，操作方式修正因子为 1。同样利用 PET-CT 开展显像诊断的核素 ^{68}Ga 操作方式修正因子参照 ^{18}F 视为“很简单的操作”

表 9-4 操作方式与状态修正因子

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

本项目各非密封放射性物质毒性参考《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）表 A.1 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 D。

PET显像通常需要10mCi/人，考虑到 ^{18}F 和 ^{68}Ga 半衰期非常短，结合送药频次（每日早上开诊前送药1次）对两者按照需求量4倍考虑购药量。

表 9-5 本项目非密封放射性物质工作场所工作负荷表

核素名称	单个患者配药消耗实际最大用量（mCi/人/次）	日最大患者量（人）	日最大用量（Bq）	年最多患者（人）	年最大用量（Bq）
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	原有：20mCi 本次扩建后：25mCi	原有：15 本次扩建后：15	1.39E+10	原每年工作时间 100 天，扩建后每年工作时间 250 天，预计接诊人数不超过 3750	3.48E+12
^{18}F	10mCi	17	2.52E+10 (4 倍购药量)	4250 (250d)	6.29E+12
^{68}Ga	10mCi	3	4.44E+09 (4 倍购药量)	750 (250d)	1.11E+12
^{131}I (甲吸)	原有：1 μCi 本次扩建后：2 μCi	原有：10 本次扩建后：10	7.40E+05	原每年工作时间 100 天，扩建后每年工作时间 250 天，预计接诊人数不超过 2500 人	1.85E+08
^{131}I (甲亢)	10mCi	10	3.70E+09	2500 (250d)	9.25E+11

表 9-6 本项目非密封放射性物质工作场所分级表

核素名称	日最大用量/Bq	毒性分组	毒性组别修正因子	性状	操作方式	操作方式修正因子	日等效最大操作量/Bq
^{99m} Tc	1.39E+10	低毒	0.01	液态	很简单操作	10	1.39E+07
¹⁸ F	2.52E+10	低毒	0.01	液态	很简单操作	10	2.52E+07
⁶⁸ Ga	4.44E+09	低毒	0.01	液态	很简单操作	10	4.44E+06
¹³¹ I (甲吸)	7.40E+05	中毒	0.1	液态	简单操作	1	7.40E+04
¹³¹ I (甲壳)	3.70E+09	中毒	0.1	液态	简单操作	1	3.70E+08
合计日等效最大操作量/Bq				4.14E+08			
工作场所级别				乙级			

因此本项目完成扩建核素和注销部分原有核素后，场所等级仍旧为乙级。

PET-CT 是将 PET 与 CT 融为一体，由 PET 提供病灶详尽的功能与代谢等分子信息，而 CT 提供病灶的精确解剖定位。PET 系统的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。CT 主要由扫描部分、计算机系统、图像显示和存储系统组成，其中扫描部分由 X 线管、探测器和扫描架组成。SPECT-CT 设备结合了核医学的放射性核素显像和传统的 CT 扫描技术，通过注射放射性核素到患者体内，利用 SPECT（单光子发射计算机断层扫描）技术检测患者身体内的代谢活动和疾病情况，同时利用 CT 扫描提供患者的解剖结构信息。

*	*
原有SPECT-CT机型外观图	拟购PET-CT机型外观图
*	*
*	*

图 9-1 原有的 SPECT-CT 和拟购的 PET-CT 机器外形图及 CT 扫描方式示意图

SPECT-CT 和 PET-CT 工作时，其 CT 的 X 射线管会产生 X 射线，属于 III 类射线装置，主要技术参数见下表。

表 9-7 本项目核医学科 III 类射线装置主要技术参数表

射线装置：X 射线机							
设备名称	工作模式	有用线束方向	X 射线管/准直器的最低总过滤当量	额定工况		常用最大工况	
				管电压	管电流	管电压	管电流
SPECT-CT	CT 扫描	东侧，西侧，楼上，楼下	≥2.5mmAl	140kV	500mA	120kV	220mA
PET-CT	CT 扫描	东侧，西侧，楼上，楼下	≥2.5mmAl	140kV	800mA	120kV	220mA
设备自身硬件铅当量：≥*							

原有的 SPECT-CT 使用豁免源，本项目新增的 PET-CT 配备 2 枚 $5.55E+08Bq^{68}Ge$ 校准源。密封校准源 ^{68}Ge 主要用于 PET 的能量及图像校准，2 枚 ^{68}Ge 校准源平常存放于核医学科分装室内放射源储存室内。当 PET 图像空间位置不准确时，由专人从校准保险箱内取出，在 PET-CT 机房使用，一般每半年校准一次。工作人员将含密封校准源铅罐推至设备外挂放射源支架上，工作人员退出机房，设备进行校准。校准源使用过程中不产生放射性废物，图像校准及能量校准过程中释放出 γ 射线贯穿屏蔽层对操作人员产生影响甚微。 ^{68}Ge 校准源衰变放出 γ 射线，同时也会产生退役校准源。

为减少对医护人员的辐射影响，医院计划采用全自动分碘仪，通过视频和对讲设备指导病人用药。以市面常见分碘仪为例，其具有以下特点：

主要特点：

*	*	*
A款	B款	B款
*A款		
*B款		
部分设备为放置于手套箱内使用模式，部分设备为全封闭模式（中核高能（天津）装备有限公司联合日本诚进株式会社研发的新型碘化钠口服液全自动分装仪为全封闭式构造，分装时产生的气溶胶可自动收集）。		
*		

图9-2 市面上自动分碘仪示例图及本项目使用方式示意图

市面目前有 A、B 两款自动分碘仪。A 款自动分碘仪需放在手套箱中使用，通过手套箱的通风管排出气溶胶。B 款为全封闭式构造，分装时产生的气溶胶可自动收集。

医院将为服碘室预留可加装手套箱的暖通空间，根据实际招标确定购买的自动分装仪设备需求配备手套箱，无需配备手套箱时将在预留位置加装通风系统，与其他控制区通风相连。

1.2 工作原理

(1) PET-CT诊断区

药物原理：*。

PET-CT 显像工作原理：*。

(2) SPECT-CT诊断区

药物原理：*。

心肌灌注显像：*。

*

图 9-3 心肌负荷室内诊断开展情形示例图
(开始注射核素前医护将穿戴防护用品并使用铅屏风降低来自患者的辐射影响)

SPECT-CT显像工作原理：*。

(3) ¹³¹I甲吸诊断工作原理

*。

(4) ¹³¹I甲亢治疗工作原理

*。

*

*

图 9-4 吸碘率测定开展情形示例图 (医护进入甲功检测室前将穿戴防护用品)

1.3 工作流程及产污环节

(1) PET-CT显像诊断

本项目¹⁸F和⁶⁸Ga放射性药物直接向有资质单位进行购买，本项目不涉及¹⁸F和⁶⁸Ga药物制备，其注射和显像流程如下：

①根据预约的患者数量向供药公司订购非密封放射性物质¹⁸F和⁶⁸Ga，供药公司在早晨核医学科开诊前将订购量的¹⁸F及⁶⁸Ga送往医院，运输过程由供药公司负责，运输过程中¹⁸F及⁶⁸Ga药物放在铅罐内。供药公司送来的药物通过分装室传递窗转交核医学科当日负责的科室医师。¹⁸F和⁶⁸Ga半衰期极短（109.8min及68.3 min），每次订购的放射性药物当天全部用完。该过程可能产生γ射线、β射线及韧致辐射；

②分装室内医师做好防护措施（穿戴防护用品）将装有放射性核素的铅罐放在

50mm铅当量手套箱（PET-CT诊断区专用）内进行分装。该过程可能产生 γ 、 β 射线、 β 表面沾污、韧致辐射、放射性三废；

③医师分装完成后通过对讲机呼叫患者前往注射窗口进行药物注射，注射时，工作人员和患者采用隔室操作，注射窗材质为20mm铅当量。该过程可能产生 γ 、 β 射线、 β 表面沾污、韧致辐射、放射性三废；

④每位患者注射完药物后进入注射后休息大厅或VIP休息室进行静息观察，观察等待期间禁止人员陪护，患者不得离开休息大厅或休息室；注射后休息大厅同时最多容纳2名患者，VIP休息室最多容纳1名患者，各休息室之间不允许串门。该过程可能产生 γ 、 β 射线、 β 表面沾污、韧致辐射、放射性三废；

⑤观察时间结束后，注射了核素的患者进入PET-CT机房进行扫描。该过程可能产生X、 γ 、 β 射线、韧致辐射、臭氧、氮氧化物；

⑥扫描完成后，患者进入留观室静息，期间多喝水排泄，无异常后患者离开。该过程可能产生 γ 、 β 射线、放射性三废、韧致辐射；

⑦无不良反应的患者，护士台通过对讲告知患者离开核医学科。

PET-CT校准过程影响极小且频次极低，日常工作流程及产污环节如下：

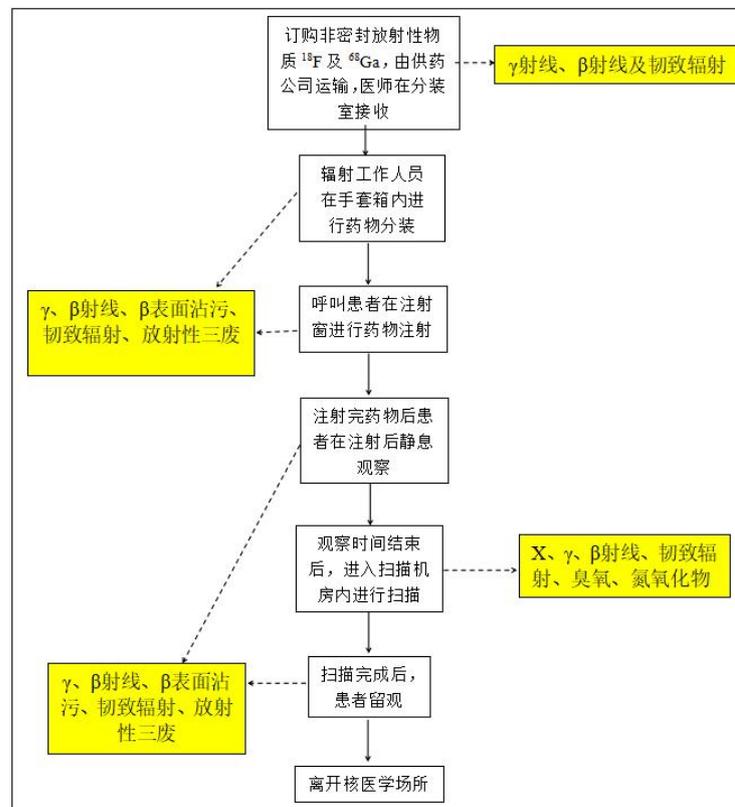


图9-5 PET-CT诊断区工作流程及产污环节图

(2) SPECT-CT 显像诊断

本项目^{99m}Tc放射性药物与原核医学科运行时一样，直接向有资质单位进行购买不涉及药物制备，其注射和显像流程如下：

①根据预约的患者数量向供药公司订购非密封放射性物质^{99m}Tc，供药公司在早晨核医学科开诊前将订购量的^{99m}Tc送往医院，运输过程由供药公司负责，运输过程中^{99m}Tc药物放在铅罐内。供药公司送来的药物通过分装室传递窗转交核医学科当日负责的科室医师，每次订购的放射性药物当天全部用完。该过程可能产生 γ 射线；

②分装室内医师做好防护措施（穿戴防护用品）将装有放射性核素的铅罐放在50mm铅当量手套箱（PET-CT诊断区专用）内进行分装。该过程可能产生 γ 射线、 β 表面沾污、放射性三废；

③针对普通癌症筛查患者，医师分装完成后通过对讲机呼叫患者前往注射窗口进行药物注射，注射时，工作人员和患者采用隔室操作，注射窗材质为5mm铅当量；针对心肌显像患者，医师与患者共同进入心肌负荷室内，医师指导患者进行运动并监测各项指标，在不同阶段利用铅屏风及防护用品屏蔽的情况下同室为患者注射药物。该过程可能产生 γ 射线、 β 表面沾污、放射性三废；

④每位患者注射完药物后进入注射后休息大厅进行静息观察，观察等待期间禁止人员陪护，患者不得离开休息大厅；注射后休息大厅同时最多容纳2名患者，各休息室之间不允许串门。该过程可能产生 γ 射线、 β 表面沾污、放射性三废；

⑤观察时间结束后，注射了核素的患者进入SPECT-CT机房进行扫描。该过程可能产生X、 γ 射线、臭氧、氮氧化物；

⑥扫描完成后，患者进入留观室静息，期间多喝水排泄，无异常后患者离开。该过程可能产生 γ 射线、放射性三废；

⑦无不良反应的患者，护士台通过对讲告知患者离开核医学科。

SPECT-CT校准过程影响极小且频次极低，日常工作流程及产污环节如下：

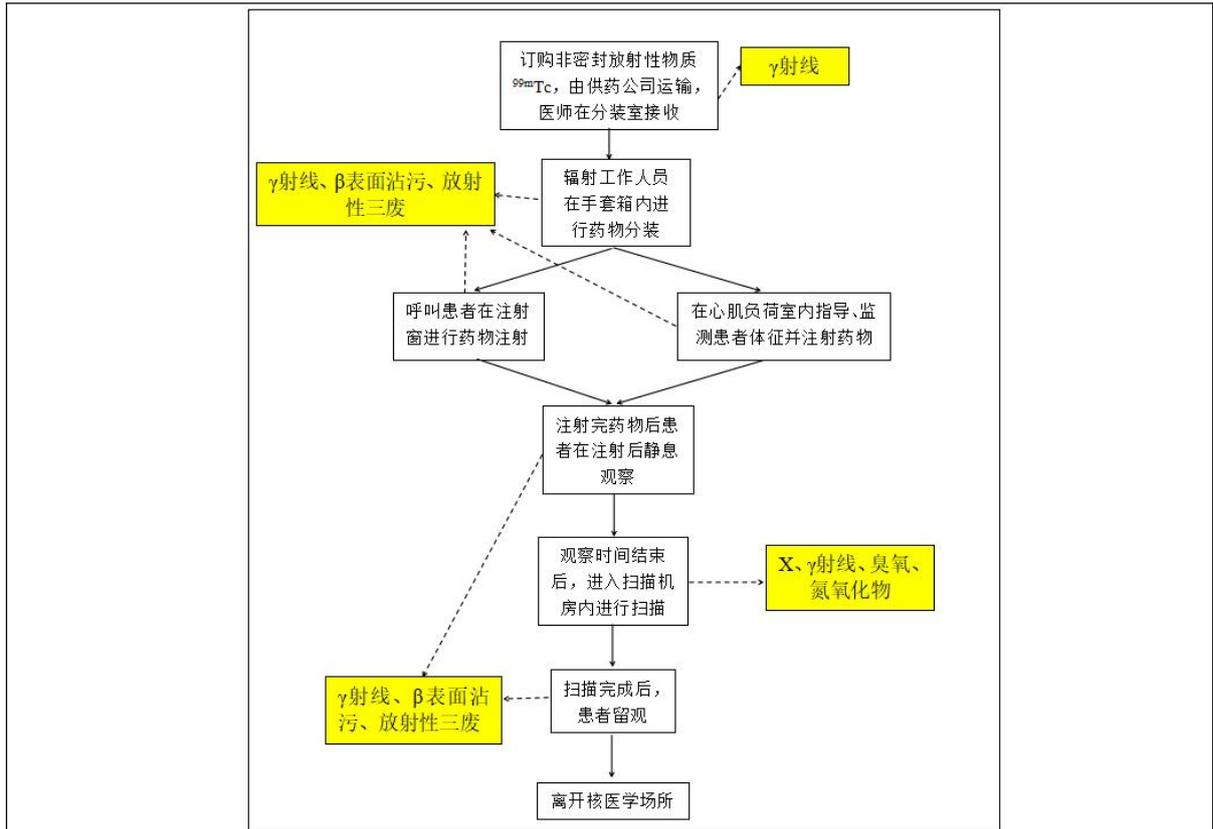


图9-6 SPECT-CT诊断区工作流程及产污环节图

(3) ¹³¹I 甲吸测定

本项目采用全自动分碘仪，因此在药物送入服碘室设备内，各项基础参数设置完成后，医师在分装室内远程指导患者服药即可，随后与患者同室进行测定工作。

①诊断前准备：提前向患者详细说明诊断过程，并说明禁忌症及可能出现的不良反应和副作用，发放流程单，并提醒患者服药后短期内尽可能避免接触他人，减少不必要外出；

②根据预约的患者数量向供药公司订购非密封放射性物质¹³¹I，并由供药公司运输到医院。供药公司在早晨将订购的¹³¹I送往医院，运输过程由供药公司负责，运输过程中¹³¹I药物放在铅罐内。供药公司送来的药物直接送入服碘室，医师清点药物后放入自动分碘仪并进行相应设置。该过程可能产生γ射线、β射线及韧致辐射；

③¹³¹I药物准备：本项目使用自动分碘仪、监控和对讲装置，因此医师可在分装室电脑端利用软件设定远程遥控服碘室内设备进行自动分装。护士台通过对讲机和监控指导患者进入服碘室，由患者根据分装室内医师指令自行服药；服药后患者根据手机通知在2h、6h和24h分别前往甲功检测室由医师进行吸碘率检测和相应检查，完成最后一次检测检查后出具报告。该过程可能产生γ、β射线、韧致辐射、β表面沾污、

放射性三废。

日常工作流程及产污环节如下：

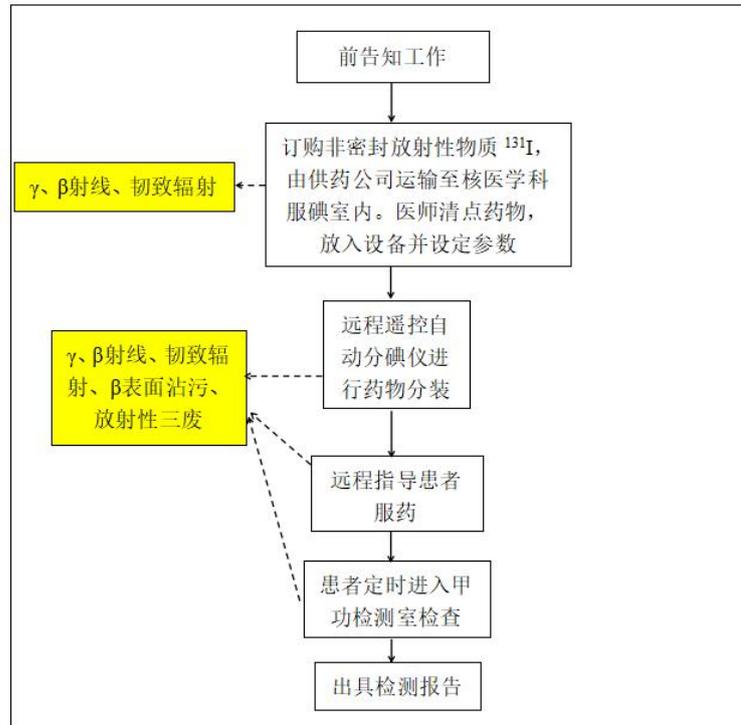


图 9-7 甲吸测定流程图

(4) ¹³¹I 甲亢治疗

本项目采用全自动分碘仪，因此在药物送入服碘室设备内，医师在各项基础参数设置完成后将回到分装室内远程指导患者服药及留观，全程无需接触患者。

①诊断前准备：根据患者病史、病情及相关辅助检查结果进行药物剂量的确定剂量，提前向患者详细说明治疗过程，并说明禁忌症及可能出现的不良反应和副作用，发放流程单，强调用药后居家时间限制；

②根据预约的患者数量向供药公司订购非密封放射性物质¹³¹I，并由供药公司运输到医院。供药公司在早晨将订购的¹³¹I送往医院，运输过程由供药公司负责，运输过程中¹³¹I药物放在铅罐内。供药公司送来的药物直接送入服碘室，医师清点药物后放入自动分碘仪并进行相应设置。该过程可能产生γ射线、β射线及韧致辐射；

③¹³¹I药物准备：本项目使用自动分碘仪、监控和对讲装置，因此医师可在分装室电脑端利用软件设定远程遥控服碘室内设备进行自动分装。护士台通过对讲机和监控指导患者进入服碘室，由患者根据分装室内医师指令自行服药；

④服药后患者进入甲亢留观室内留观2h。该过程可能产生γ、β射线、韧致辐射、

β表面沾污、放射性三废。

⑤无不良反应的患者，护士台通过对讲告知患者离开核医学科。

日常工作流程及产污环节如下：

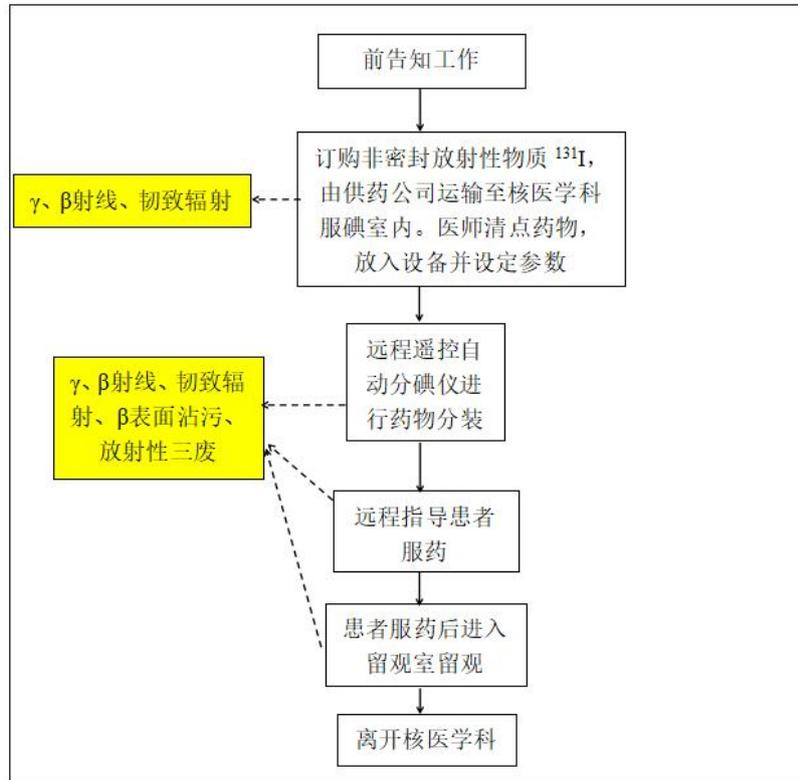


图 9-8 甲亢治疗流程图

1.4 核医学科人员配置及工作制度

人员配置：本项目核医学科相关工作人员为科室原有的5名辐射工作人员，其中医师4名（A/B/C/D），护师1名。

工作制度：本项目辐射工作人员每年工作250天，每周工作5天，实行白班单班制（一班5人）。

表 9-8 职业及公众受不同辐射源辐射影响时间核算表

核素	操作方式		平均单次操作时(min)	数量	年受辐射影响时间(h)	
^{99m} Tc	职业	医师 A	接收药物及分药	*	年接诊 3750 人次	*
		医师 A	注射	*		*
		医师 B	摆位（需辅助摆位的病人不超过 1/4）	*		*
		医师 B	显像	*		*
		护师	处理废物及清洁	*		*
	公众	平均每日在医院停留时间不超过 8h				每年受影响时间不超过 2000h

¹⁸ F	职业	医师 C	接收药物及分药	*	年接诊 4250 人次	*
		医师 C	注射	*		*
		医师 D	摆位（需辅助摆位的病人不超过 1/4）	*		*
		医师 D	显像	*		*
		护师	处理废物及清洁	*		*
	公众	平均每日在医院停留时间不超过 8h		每年 250 天	每年受影响时间不超过 2000h	
⁶⁸ Ga	职业	医师 C	接收药物及分药	*	年接诊 750 人次	*
		医师 C	注射	*		*
		医师 D	摆位（需辅助摆位的病人不超过 1/4）	*		*
		医师 D	显像	*		*
		护师	处理废物及清洁	*		*
	公众	平均每日在医院停留时间不超过 8h		每年 250 天	每年受影响时间不超过 2000h	
¹³¹ I	职业	医师 A	接收药物、放入分碘仪、分药设置及清理出多余药物 (甲吸甲亢药物仅需一次性放入)	*	每年 250 天	*
		医师 A	分装室内隔室指挥服药	*	年接诊甲吸 2500 人次、甲亢 2500 人次	*
		医师 B	同室甲吸测定（单次测定时间为 1min，每位病人测定不超过 3 次。每位病人检测时候总计前期准备工作为 4min）	*	年接诊甲吸 2500 人	*
		护师	处理废物及清洁	*	每年 250 天	*
	公众	平均每日在医院停留时间不超过 8h		每年 250 天	每年受影响时间不超过 2000h	
PET-CT	职业-医师 D	每人扫描*min		年接诊 5000 人次	1063+188=1251	
	公众	患者扫描时间+每年设备校准时间（一年 1-2 次，每次出束时间不超过*min）			*	
SPECT-CT	职业-医师 B	每人扫描*min		年接诊 3750 人次	*	
	公众	患者扫描时间+每年设备校准时间（一年 1-2 次，每次出束时间不超过*min）			938+0.5*2=939	

*针对公众的每日影响时间已考虑住院病人及医护值班的情况。对年受影响时间保守保留整数。校准工作由委托单位完成，本项目辐射工作人员不参与校准工作。

1.5 人流物流路径

(1) 人员流通合理性

①辐射工作人员：

每日医护人员由核医学科南侧3#病房楼门厅进入科室公共区域，通过卫生通过间

进入更衣室更衣并穿戴防护用品。进入分装室完成分装工作，在注射窗或心肌负荷室内完成给药工作，或通过对讲指导服碘室患者用药，随后在更衣室完成表污监测，监测达标后原路离开核医学科。甲吸测定时，控制室内医师经走廊进入甲功检测室为患者完成检查后，在北侧更衣室内完成表污监测然后回到控制室。操作PET-CT的医师经南侧科室公共区域进入控制室更衣区更衣，随后前往控制室，中途可能进入机房帮助病人摆位，在离开之前在更衣区更衣并进行表污监测，监测达标后原路离开。操作SPECT-CT的医师经北侧医护通道，经更衣室更衣穿戴防护用品后进入控制室，中途可能进入机房帮助病人摆位，在离开之前在更衣室更衣并进行表污监测，监测达标后原路离开。

②患者：

登记室内护师根据电子系统排序通知患者离开核医学科并为之开启门禁，每次仅放出1名患者离开核医学科，从而减少患者互相直接辐射影响及对周围的辐射影响。

PET-CT诊断区：患者由核医学科南侧进入科室公共区域，在候诊区候诊，登记室护士台叫号后根据地标进入PET-CT诊断区，在注射窗口进行注射给药；在注射后休息大厅或VIP休息室等待扫描；听到叫号后进入PET-CT机房进行诊断扫描，扫描后进入留观室；留观完成听到叫号后通过出口离开核医学场所；经北侧就近离开医院。

SPECT-CT诊断区：患者由核医学科南侧进入科室公共区域，在候诊区候诊，登记室护士台叫号后根据地标进入SPECT-CT诊断区，在注射窗口进行注射给药或进入心肌负荷室在医师指导下运动后接受给药；接受给药后进入注射后休息大厅等待扫描；听到叫号后进入SPECT-CT机房进行诊断扫描，扫描后进入留观室；留观完成听到叫号后通过出口离开核医学场所；经北侧就近离开医院。

甲吸测定：患者由核医学科北侧进入缓冲区，根据对讲机指令进入服碘室；根据对讲机指令、视频动画或墙上流程图指示服药；因患者的周围剂量当量率通常为本底水平，对周围辐射影响极小，因此服药后经缓冲区离开核医学科，随后根据通知的时间返回核医学科北侧，经缓冲区进入甲功检测室完成一~三次检查。

甲亢治疗：患者由核医学科北侧进入缓冲区，根据对讲机指令进入服碘室；根据对讲机指令、视频动画或墙上流程图指示服药；服药后经缓冲区进入甲亢留观室；留观完成听到叫号后通过出口离开核医学科；经北侧就近离开医院。

(2) 药物及废物通道合理性

药物运入：

医院根据患者预约情况提前向厂家预约，送药当日早上由医护人员在分装室传递窗口处或服碘室接应。厂家在用药当天医护人员上班前将运输车辆停至3#病房楼西北角空地，通过核医学科北侧送药。剩余药物在第二次送药时连同铅罐一并取回。药物运送时医院尚未开诊，能够避开人流集中时间段，不与院区其他科室医护人员、患者出入时间交叉，符合要求。

废物运出：

放射性同位素操作过程中产生的如一次性注射器、手套、棉签、药瓶、吸水纸等带微量放射性同位素的固体废弃物，在分装室、心肌负荷室、服碘室、各休息大厅及留观室内由铅废物暂存桶收集，所有废物集中分类收集工作在患者和医护人员均离开后开展。

核医学科区域放射性废物收集后暂存于放射性废物暂存间内，均在铅废物桶内进行贮存衰变，满足存放周期要求经检测达标后运至院区存放普通医疗废物的医疗废物暂存地。气态放射性废物排风口设置的活性炭更换下的活性炭作为固体放射性废物处理。

因此，在时间上药物早上开诊时间前运入，废物晚上门诊时间结束后运出；在空间上医护及患者人流除同室检查和给药的情况外互不交叉的。上述设计实现了人流物理的分流。

(3) 小结

核医学工作场所已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，能够减少给药后患者对其他人员的照射。通过管理及物理隔离，注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉；时间上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已尽可能短捷。该核医学科路径规划是合理的。核医学科人流物流示意图见附图10。

2. CT/模拟定位机

2.1 工程设备

城中院区 1#楼的影像楼内配置有多台 CT，原位于 3#病房楼放疗科门诊的模拟定位机也将迁入影像楼，本项目后装机的前期模拟定位工作都将依托影像楼的 CT/模拟

定位机完成。

2.2 工作原理

。

2.4 CT模拟定位机人员配置及工作制度

人员配置：影像楼放射科的辐射工作人员将协助放疗科完成模拟定位工作。

工作制度：本项目放疗科辐射工作人员每年工作 250 天，每周工作 5 天，为本项目放疗患者提供治疗前模拟定位服务，每年预计服务病人不超过 250 人。

3. 后装机

3.1 工程设备

本项目后装治疗机内拟配备¹⁹²Ir放射源，最大装源活度为3.70E+11Bq，¹⁹²Ir衰变纲图见图9-1。医院将开展**妇科**相关放射治疗工作。

*

图9-9 ¹⁹²Ir衰变纲图

表 9-9 本项目使用的放射源主要技术参数表

设备参数					
设备名称	类型		数量	备注	
后装机	山东新华医疗器械股份有限公司 XHDR18/XHDR18B/XHDR18F		1 台	拟采购	
源参数					
核素名称	同位素类型	数量	半衰期	活度	类别
¹⁹² Ir	密封源	1 枚	74 天	3.7E+11Bq	III

山东新华医疗器械股份有限公司产品由γ射线密封放射源、治疗机主机、微机自动控制系统、治疗计划系统、施源器组成。

性能/射线类型：γ射线；

放射源：*。

适用范围：*。

*

图 9-10 山东新华医疗器械股份有限公司后装机结构示意图

1. 设备特点：*。

*	*
*	*
*	*

图9-11 施源主机组成部分及放射源信息

- 3. 控制系统：*。
- 4. 监视系统：*。
- 5. 附属安全设备：*。
- 6. 施源器：*。
- 7. 运动控制：*。
- 8. 安全连锁：*。

3.2 工作原理

*。

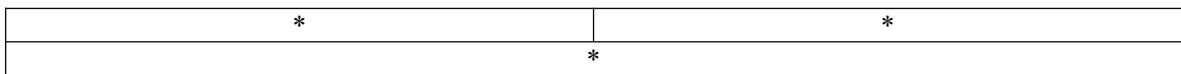


图9-12 后装机治疗示例图

3.3 工作流程及产污环节

①对病人进行确诊，告知辐射危害，需要接受治疗的病人提前预约登记，确定治疗时间；

②在专用妇科检查床上为患者完成肠道处理、膀胱处理、阴道冲洗、术区皮肤消毒和材料准备后，医护人员将施源器插入病人治疗部位并固定好，沿施源器通道放入定位缆；

③将病人送入 CT/模拟定位机机房（依托 1#楼影像楼放射科设备完成），扫描确定施源器是否达到治疗位置（扫描过程产生 X 射线、臭氧及氮氧化物）；CT 扫描结束后，患者就近等待治疗；

④CT 扫描图像传输回放放疗中心后，医师和物理师迅速进行靶区勾画，确定照射范围以及危及器官；物理师根据定位图像和病灶位置、大小制定 TPS 治疗计划，并反复优化出最佳治疗方案，医生评估合格后执行后装治疗。物理师首先用模拟源（非放射源）模拟治疗，检查所用通道是否通畅，完成质控流程；

⑤完成质控模拟后，将患者送入后装机机房，医师和物理师配合启动控制治疗系统，用真源对病人进行治疗。（产生γ射线、臭氧及氮氧化物）；

⑥治疗完毕，放射源经导管由治疗机回收贮源器，关闭后装治疗机。为患者移除施源器后留观 30min，无异常后带患者离开后装机房。

待使用到一定时限后将由厂家更换上新的放射源，并回收产生的退役放射源，诊疗过程将产生少量医疗废物。其治疗流程及产污环节如下图所示：

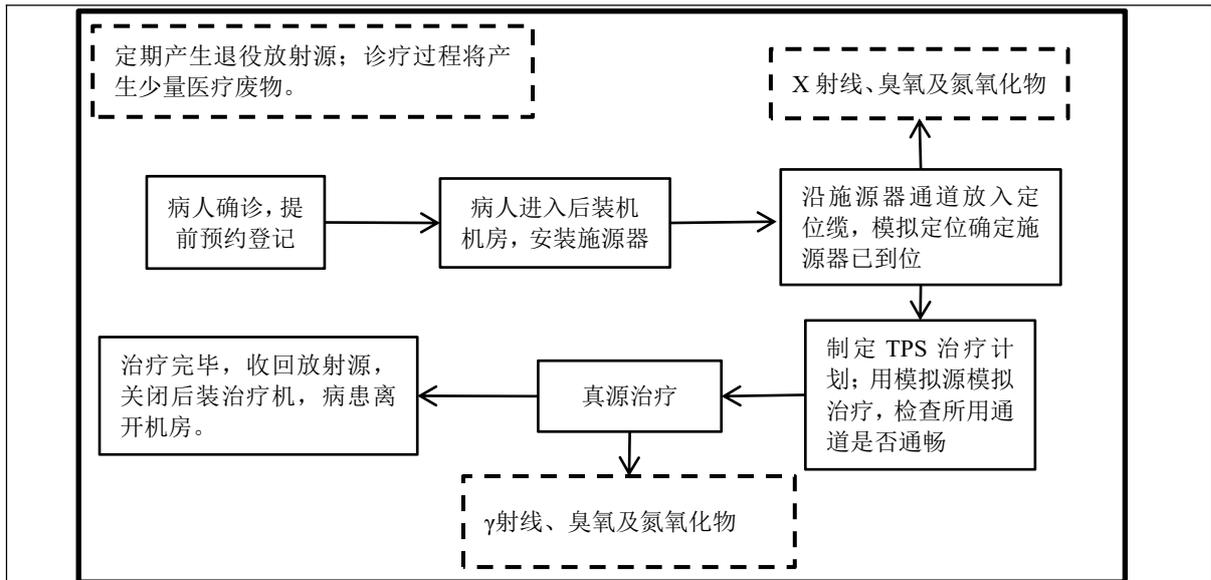


图9-13 后装治疗机诊疗流程及产物流程环节图

3.4 后装机人员配置及工作制度

人员配置：放疗科20名原有辐射工作人员中将有10名医师及2名物理师参与后装机机房相关工作。

工作制度：本项目辐射工作人员每年工作 250 天，每周工作 5 天。本项目后装机年出源时间不超过 83.3 小时，周出束时间不超过 1.67 小时，医护人员采取轮班制，每班人数根据科室安排确定（一次诊疗起码由 1 名医师和 1 名物理师完成），所有医师及物理师均非专职人员，将兼岗放疗科其他放射诊疗项目工作。本项目保守按照所有工作人员均参与每日诊疗工作保守评价辐射影响，并考虑兼岗后的整体职业人员剂量。

3.5 人流物流路径规划

人流：

医护人员：医师、物理师每日可通过放疗中心1F的楼梯间或电梯厅前往-1F办公场所，医师和物理师更衣完成后进入准备室开展准备工作；准备工作完成后带领患者进入后装治疗室内进行连接施源器等工作，所有工作完成后医师和物理师退回控制室内开始治疗工作。工作结束后，医护人员原路返回离开-1F。

患者：患者在通常由放疗中心1F的楼梯间或电梯厅进入-1F放疗中心，配合医生及物理师完成准备工作和前往影像科完成前期模拟定位工作，随后由护工将患者送入后装机机房内开始放疗工作。结束后患者原路返回离开-1F。

物流：

本项目后装机机房运营后产生医疗废物及辐射工作人员和患者的少量生活垃圾，在一天的工作结束后，由清洁人员统一收集，医疗废物运至医院的医疗废物暂存地，定期委托有资质单位外运处置，生活垃圾运至医院的生活垃圾房内，交由环卫部门进行统一清运。

4. 本项目辐射工作人员配置及受辐射影响时间汇总

表9-10 本项目辐射工作人员配置情况一览表

科室	核技术利用项目	辐射工作人员配置	每年受影响时间	兼岗情况
放射科	依托原有的 CT/模拟定位机完成	放射科技师	*	兼岗放射科其他工作
放疗科	后装机	10 名医师，2 名物理师	*	兼岗放疗科其他工作
核医学科	^{99m} Tc、 ¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ¹³¹ I（甲吸）、 ¹³¹ I（甲亢）、SPECT-CT、PET-CT	4 名医师，1 名护师，共同负责 PET-CT 诊断区、SPECT-CT 诊断区和甲吸/甲亢区工作（核医学科医师已经过培训可自行操作 PET-CT 和 SPECT-CT，无需配备技师）	*	仅参与核医学科的核技术利用项目相关工作

5. 原有工艺不足和改进情况

建设单位的原有核技术项目均已履行环保手续，已建设项目已申领辐射安全许可证并完成行政验收或自主验收。

根据原有辐射工作场所年检报告可知，原有核技术项目周围剂量当量率满足标准要求，同时根据各设备性能检测报告可知其符合仪器相关质控评价标准。经过确认，原有辐射工作人员最新连续四个季度个人剂量结果未出现超标情况，且各运营场所辐射防护措施及相关制度齐全。原有辐射工作人员已参加辐射防护与安全知识考核及自主考核（部分未持证人员已计划参加考核）、已定期进行职业健康体检、个人剂量计送检，并有完善的辐射工作人员个人剂量及职业健康档案。院区已配备与原有核技术利用项目相匹配的监测仪器及报警设备。

核医学科的工艺不足和改进情况：建设单位核医学科原有场所设有分装室、注射室、候诊留观区域及配套的卫生间、扫描机房及控制室，甲功测试室及医护更衣淋浴区，该场所已正常运行多年，期间从未发生过辐射事故。现有场所满足开展^{99m}Tc诊断及¹³¹I甲吸测定工作的医护和病人的需求的同时，亦符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）“5 选址和布局”及“6 工作场所的辐射安全与防护”、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）“5 工作场所的放射防护要求”，医护人员日

常操作严格遵循《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）“7 放射性废物的管理”、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）“6 操作中的放射防护要求”及“8 医用放射性废物的放射防护管理要求”，也对应设置有衰变池。且已每年委托有资质单位参照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）“8 辐射监测”、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）“附录J”完成年度检测。原有工艺在原使用需求范围并无不足及需要改进的地方，但由于医院科室发展，急需拓展其他诊疗项目。

医院现有的SPECT-CT通常可以帮助检查身体各个器官，提供病变部位图像。而计划配备的PET-CT通常可用于全身检查，相对SPECT-CT图像质量更高；SPECT-CT可广泛用于心、脑，或者是甲状腺等器官的疾病诊断。而PET-CT常用示踪剂主要是 ^{18}F -FDG，对病灶定位更加精准。SPECT-CT通常可以帮助提供图像，但一般不能确定检查部位性质，而PET-CT通常可以明确病变性质，比如灵敏检查肿瘤等。因此核医学科引入常见的PET-CT检查有助于提高诊断的准确性和及时性，能够完善核医学科诊疗能量，帮助完成对病人身体各部位肿瘤的细致筛查工作。科室原已开展甲吸测定多年，拥有丰富的甲状腺疾病诊疗经验，目前根据就诊患者需求已有必要开展后续的甲亢治疗项目，使得患者无需前往其他医疗机构完成后续治疗。核医学科辐射工作人员均已参加卫健委相应培训课程，具备拓展上述诊疗项目的能力。

放疗科的工艺不足和改进情况：放疗科多年前已开展过后装机治疗工作，后因科室发展变更，医院对场所、设备及放射源进行了退役和注销，目前放疗科主要开展的放射治疗项目仅有医用直线加速器放疗一项。近年来妇科肿瘤治疗需求逐年增加，因此科室计划开展妇科相关的后装治疗项目。以常见宫颈癌治疗为例，如果患者有以下指征：如有手术残端残留，或手术以后有宫旁组织浸润，淋巴转移，术后发生转移复发的可能比较高等情况，均需做阴道腔内后装机放疗清除病灶。后装机治疗相较经腹部放疗优点如下：一、对周围组织损伤小：后装放疗是在阴道和宫腔内直接插管进行局部放疗，放疗的范围比较小，所以对周围组织损伤小。二、降低复发率：后装放疗距离病变组织较近，所以可以直达病灶，能够降低术后复发率。三、延长生存周期：肿瘤复发以及无法进行手术的人群进行后装放疗，可以在一定程度上延长生存周期。因此在已有直线加速器放疗及手术切除的基础上，科室配备后装机已成为必要。科室放疗中心的北侧周围均为土层，有条件改造为适合作为后装机机房及辅房。场所位置、平面布局及防护设计均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）“5 选

址、布局与分区要求”、“6 放射治疗场所辐射安全与防护要求”和《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）“6 工作场所放射防护要求”。放疗科现有科室人员均有相关诊疗经验，具备拓展该项诊疗能力的可能性。

污染源项描述

一. 核医学科场所

1.辐射污染源分析

1.1 外照射

根据核医学科涉及使用的放射性核素的物理特性，运行过程可产生的电离辐射包括： β 、 γ 射线、 β 射线产生的韧致辐射（本项目核素能量见表 9-1），同时 PET-CT 和 SPECT-CT 扫描时 CT 会产生 X 射线，PET-CT 和 SPECT-CT 最大管电压均为 140kV。

1.2表面污染

核医学工作人员操作放射性药物时，有可能出现溢出、滴洒等，均会造成工作台面、地面、设备表面和操作器械的放射性污染；这些表面污染如果及时发现、处理，会对人员产生外照射。

1.3.固体放射性废物

本项目核医学门诊检查、治疗区工作场所产生的固体放射性废物有：因采用注射、口服的方式进行给药后产生的一次性注射器、口罩、口杯、擦拭纸和空药瓶、手套、塑料袋等，平均产生量约 100g/（d·人·次）。

核医学场所专用排风管道通向的排风口设置有活性炭过滤器，共 2 个排口，每个排口一次装填 50kg 活性炭，建设单位将每半年进行校正和更换。

综上所述，本项目固体放射性废物产生量见下表。

表 9-11 核医学科固体放射性废物汇总表

核素名称	半衰期	产生来源	产生量 (kg/d/人)	人数/d	日产生量 (kg/d)	年产生量 (kg/a)
^{99m}Tc	6.02h	一次性注射器、口罩、口杯、擦拭纸和空药瓶、手套、塑料袋等	*	*	*	*
^{18}F	109.8min		*	*	*	*
^{68}Ga	68.3 min		*	*	*	*
^{131}I	8.02d		*	*	*	*
^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{131}I	8.02d（按照半衰期最长的核素考虑）	活性炭	共计 2 个排口，每个排口一次装填*kg 活性炭，每半年进行校正和更换			*

总计	1575
----	------

*医院每年工作 50 周，每周工作 5 天。

另外，固体放射性废物还包括退役放射源：核医学科场所内使用的PET-CT和SPECT-CT配套使用的校准源随着核素的自然衰变，放射源的活度不断降低，当放射源使用到一定时间后，会产生退役的放射源。

参考《医疗机构污水处理工程技术标准》（GB51459-2024）表 10.1.1，按照使用卫生间的病人数量统计污泥量。

表 9-12 污泥产量汇总表

核素名称	半衰期	产生来源	产生量 (kg/d/人)	人数/d	日产生量 (kg/d)	年产生量 (kg/a)
^{99m} Tc	6.02h	门诊患者 及甲亢患 者排泄物	*	*	*	*
¹⁸ F	109.8min		*	*	*	*
⁶⁸ Ga	68.3 min		*	*	*	*
¹³¹ I ()	8.02d		*	*	*	*
总计						607.5

1.4. 液态放射性废物

本项目核医学科产生的液态放射性废物主要为用药患者的排泄物和冲洗水、工作人员的应急淋浴和清洗废水以及工作场所的清洗废水等。本项目 PET-CT 诊断区涉及使用非密封放射性物质 ¹⁸F、⁶⁸Ga；在 SPECT-CT 区涉及使用非密封放射性物质 ^{99m}Tc，甲吸/甲亢区使用非密封放射性物质 ¹³¹I。

参考《建筑给水排水设计标准》（GB 50015-2019）中平均日情况下，门诊患者用水定额取 6~12L/次/人，废水产污取 0.8。工作场所产生的清洗废水根据洗手用水量、单位平方米拖地用水需求和场所面积，预计每日不超过 30L，假设极限情况下辐射工作人员每月应急冲洗/淋浴废水一次 100L，则平均每日 5L。

表 9-13 核医学科液态放射性废物汇总表

核素名称	半衰期	产生来源	用水量 L/d•人	排放量 (L/d•人)	人数/d	平均 日产生量 (L/d)	年产生量 (m ³ /a)
^{99m} Tc	6.02h	排泄、清洗	*	*	*	*	*
¹⁸ F	109.8min	排泄、清洗	*	*	*	*	*
⁶⁸ Ga	68.3 min	排泄、清洗	*	*	*	*	*
¹³¹ I (甲亢)	8.02d	排泄、清洗	*	*	*	*	*
总计						432	108
场所清洁去污		/	/	/	/	*	*
工作人员清洁应急去污		/	/	/	/	*	*
总体总计						467	116.75

*核医学科每年运行 250d

极个别情况核素有剩余时，将暂存于放射源存储室内在厂家下一轮送药时一并待

交还厂家。

1.5 气态放射性废物

本项目涉及的放射性核素在操作过程中，由于空气的流动而“挥发”出的微量气态放射性废物，被医务人员或公众吸入体内造成的内照射影响。本项目分装室拟配备2个手套箱，服碘室根据购买的自动分碘仪需求配置1个手套箱。手套箱保持负压且设有排风系统，风速不小于0.5m/s。核医学场所内各房间拟设置排风系统，废气经配套的专用排风管道排出，排口高于本建筑屋顶。为除去含核素气态放射性废物，在顶部排口设置活性炭过滤装置。整个核医学科的辐射工作场所均拟设置单独的新风系统，保证工作场所内空气循环。

二. 后装机场所

由后装治疗机工作原理可知，后装治疗机使用 ^{192}Ir 放射源，为密封源，活度为 $3.70\text{E}+11\text{Bq}$ 。 ^{192}Ir 的衰变方式主要是 β 衰变，半衰期为74天，同时在衰变时伴随发射 γ 射线。

后装机未使用时，放射源处于储源器内，少量的 γ 射线会穿透屏蔽体，对进入治疗机房的人员及室外公众等产生照射。后装机在治疗过程中，治疗机房内来自放射源释放的 γ 射线会穿透屏蔽墙及防护门，对治疗机房外的工作人员和公众产生外照射影响。

退役放射源：在放射源使用一定时间后（通常为4个月左右一换），放射源衰变至其活度不能满足放射治疗需要时，将更换放射源，从而产生退役的废 ^{192}Ir 放射源（3Ci左右， $1.11\text{E}+11\text{Bq}$ ）。

三.非辐射污染源分析

废气：本项目使用的核素、PET-CT、SPECT-CT及后装机在工作过程中会使周围空气电离并产生极少的臭氧和氮氧化物，臭氧在常温常压下稳定性较差，可自行分解为氧气。

废水：本项目运营过程中会产生少量的医疗废水（不含非密封放射性物质）及辐射工作人员和患者产生的少量生活污水。

固体废物：本项目运营过程中工作过程中产生的固体废物为少量的医疗废物、辐射工作人员和患者产生的生活垃圾和办公垃圾。

表 10 辐射安全与防护

<p>项目安全措施</p> <p>一、核医学科</p> <p>1.工作场所布局及分区</p> <p>选址：核医学工作场位于 3#病房楼 1F，楼上紧邻消毒供应中心，楼下紧邻停车场、发电机房和配电机房。核医学科位于建筑物的一层端部且紧邻区域均无人长期居留，已设置相应的物理隔离的医患通道及尽可能短的物流路径。核医学工作场所未毗邻产科、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。场所有单独出、入口，出口未设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域，而是朝向人群较少的院区道路和绿化区域。核医学工作场所排风口的位置已放置 3#病房楼这一综合体的最高处，亦是院区内最高处，能够尽可能远离周边高层建筑。</p> <p>布局：核医学工作场所已合理布局，已根据诊疗流程合理分离，由南往北设计了各功能区域的布局，能够保持影像设备工作场所处于较低辐射水平以避免对影像质量的干扰。控制区应相对集中，高活室集中在北部和中部，防止交叉污染。核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等将采用平整光滑的材质，室内地面与墙壁衔接处将做到无接缝，采用易于清洗、去污的材质。放射性废物的暂存区域已集中设置为 1 间，尽量减小了放射性药物、放射性废物的存放范围；已分区设置了留观区域，限制了给药后患者的活动空间。核医学科入口已设置候诊区、分装给药区域、控制室、机房、给药后患者卫生间和放射性废物暂存场所等功能用房；也为诊断工作场所设置了拖把池、更衣区、卫生间、抢救室等辅助用房，部分医护人员使用的功能用房和辅助用房能够共同利用。</p> <p>房间设置：</p> <p>医护工作区：卫生缓冲间、南部更衣室、洁具间、分装室、放射源储存室、放射性废物暂存间、北部更衣室、北部医护走廊；</p> <p>PET-CT 诊断区：卫生缓冲区、PET-CT 患者通道、VIP 休息室（含卫生间）、注射后休息大厅（含卫生间）、PET-CT 机房、控制室及 2 间设备间、留观室（含卫生间）；</p> <p>SPECT-CT 诊断区：卫生缓冲区、患者通道、心肌负荷室、注射后休息大厅、机房缓冲区、留观室兼抢救室、共用卫生间）；</p>

甲吸甲亢区域：缓冲区、服碘室、甲功检测室、甲亢留观室）、出口（卫生缓冲区）；

医护辅房：登记室、问诊室、核医学科门诊室、办公阅片室、主任医师办公室。

分析：核医学工作场所设立了相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员和患者路径已尽量分开，能够减少给药后患者对其他人员的照射。通过设计和运营管理，注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者将不交叉，人员与放射性药物路径将不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道已尽可能短捷。

控制区的入口和出口和内部将设置门锁权限控制、单向门和对讲系统等安全措施，预防无关人员随意进入控制区，以及限制给药后患者的随意流动，能够避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口已设立卫生缓冲区，在分装室的出入口处已设计卫生缓冲区，可进行污染检测，将为工作人员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。控制区内设有给药后患者的专用卫生间。

因此，以上选址和布局符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的要求，场所设计合理。核医学科布局图见附图 9。

分区：为便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）要求在辐射工作场所内划出控制区和监督区。分区图见附图 11。

表 10-1 本项目核医学科控制区和监督区划分一览表

场所	控制区	监督区	备注
核医学科	分装室、放射源存储室、放射性废物暂存间、SPECT-CT 患者通道、心肌负荷室、SPECT-CT 注射后休息大厅（含卫生间）、SPECT-CT 机房缓冲区、SPECT-CT 机房、SPECT-CT 留观室兼抢救室（含卫生间，与甲亢病人共用）、甲亢留观室（含卫生间，与 SPECT-CT 病人共用）、甲吸/甲亢区域缓冲区、服碘室、甲功检测室、洁具间（拖把池）、PET-CT 患者通道、PET-CTVIP 休息室（含卫生间）、PET-CT 注射后休息大厅（含卫生间）、PET-CT 机房、PET-CT	PET-CT 入口缓冲区、PET-CT 控制室、PET-CT 设备间、SPECT-CT 入口缓冲区、南部更衣室、医护工作区卫生缓冲区、登记室、问诊室、核医学科门诊室、SPECT-CT 控制室、北部更衣室、北部医护走廊、风井（非放射性区域使用，考虑其紧邻 PET-CT 留观室，	控制区内禁止外来人员进入，职业人员在进行日常工作时候尽量不要在控制区内停留以减少不必要的照射。监督区范围内应限制无关人员进入。控制区：在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志。监督区：在监督区入口处的合适位置张贴监督区标牌；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

	留观室（含卫生间）、核医学科患者出口缓冲区	纳入监督区管理）	
衰变池	衰变池		

2.工作场所辐射屏蔽设计

医院原有核医学科涉及房间包括：运动平板室、甲功测试室、办公室、阅片室、更衣淋浴室、登记室、注射室、分装室、诊前候诊室（含卫生间）、诊后休息室、SPECT-CT 机房、SPECT-CT 控制室及缓冲区。

现医院由于增加 PET-CT 诊断区并增加甲亢治疗，将对原有辐射工作场所进行改造。原有场所仅保留 SPECT-CT 机房及其控制室。其余区域墙体、门窗均进行拆除，同时将拆除核医学西侧放疗科门诊、南侧碎石中心以及医保用房，仅保留热疗机房、操作室、库房及内部走廊；将拆除核医学南侧 1 间碎石机房、1 间空余机房及配套操作室、库房、休息室。

拆除区域将重新进行隔断、屏蔽体建造及装修。现有核医学科底部为 180mm 混凝土，顶部为 120mm 混凝土，本次改造将考虑新增防护工程的承重问题对底部进行加固。

本项目核医学科改造前后平面布局图见附图 5 和附图 9。

本项目核医学科项目辐射防护屏蔽设计参数见下表，针对底部采用的轻质混凝土为设计院计算整体大楼承重需求后补充的加固方案，表 11 评价中不考虑其屏蔽效果。甲亢留观室与 SPECT-CT 留观室共用的卫生间采用双锁设计，每次仅有一方可进入卫生间使用，两边患者不会碰面。保留的原有核医学科机房与控制室及患者通道部分无需进行屏蔽加厚。建设单位计划使用的混凝土砌块密度与浇筑的混凝土密度均不低于 2.35g/cm^3 ，拟使用的实心砖密度不低于 1.65g/cm^3 。

表10-2 核医学科工作场所控制区屏蔽防护设计一览表

场所		屏蔽体及屏蔽厚度
医护工作区	分装室	西墙及北墙：300mm 混凝土砌块 东墙及南墙：200mm混凝土砌块 顶部：120mm混凝土+8mmPb 底部：180mm混凝土+180mm轻质混凝土（不考虑屏蔽）+120mm混凝土 东侧、北侧防护门：4mmPb 南侧防护门：15mmPb 西侧防护门：10mmPb 西侧注射窗：20mm 铅当量 东侧注射窗：5mm 铅当量 传递窗：4mm 铅传递窗
	放射源存储室	西墙及北墙：300mm混凝土砌块 东墙及南墙：200mm混凝土砌块 顶部：120mm混凝土 底部：180mm混凝土+180mm轻质混凝土（不考虑屏蔽）+120mm混凝土 东侧防护门：普通门
	放射性废物暂存间	西墙及南墙：300mm混凝土砌块 东墙及北墙：200mm混凝土砌块 顶部：120mm混凝土 底部：180mm混凝土+180mm轻质混凝土（不考虑屏蔽）+120mm混凝土 南侧及北侧防护门：4mmPb
SPECT-CT 诊断区	SPECT-CT患者通道	四周墙体：200mm混凝土砌块 顶部：120mm混凝土 底部：180mm混凝土+180mm轻质混凝土（不考虑屏蔽）+120mm混凝土 东侧、南侧及北侧防护门：4mmPb 西侧注射窗：5mm 铅当量
	心肌负荷室	四周墙体：200mm混凝土砌块 顶部：120mm混凝土 底部：180mm混凝土+180mm轻质混凝土（不考虑屏蔽）+120mm混凝土 西侧及南侧防护门：4mmPb
	SPECT-CT注射后休息大厅（含卫生间）	东墙：4mmPb（与ECT机房共用，利旧）及卫生间东墙240mm实心砖 南墙：即卫生间南墙240mm实心砖 西墙及北墙：200mm混凝土砌块 顶部：SPECT-CT注射后休息大厅为120mm混凝土+2mmPb（利旧）；卫生间顶部为120mm混凝土 底部：180mm混凝土+180mm轻质混凝土（不考虑屏蔽）+120mm混凝土 西侧及北侧防护门：4mmPb
	SPECT-CT机房缓冲区	东墙：4mmPb（与ECT机房共用，利旧） 南墙、西墙及北墙：200mm混凝土砌块 顶部：120mm混凝土+2mmPb（利旧） 底部：180mm混凝土+180mm轻质混凝土（不考虑屏蔽）

		+120mm混凝土 东侧防护门：4mmPb（与ECT机房共用，利旧） 南侧及北侧防护门：4mmPb
	SPECT-CT机房	四周墙体：4mmPb（利旧） 顶部：120mm混凝土+2mmPb（利旧） 底部：180mm混凝土+2mmPb利旧 西侧及北侧防护门：4mmPb（利旧） 观察窗：4mm铅当量（利旧）
	SPECT-CT留观室兼抢救室（与甲亢病人共用卫生间）	东墙：最南部4mmPb（与SPECT-CT机房共用，利旧）；南部5mmPb（与SPECT-CT机房控制室共用，利旧）；中部200mm混凝土砌块；北部370mm实心砖墙 南墙：200mm混凝土砌块 西墙：南部和北部靠近出口位置为200mm混凝土砌块；北部300mm混凝土砌块 北墙：370mm实心砖墙 顶部：120mm混凝土+2mmPb 底部：180mm混凝土+180mm轻质混凝土（不考虑屏蔽）+120mm混凝土 西侧、南侧及废物室防护门：4mmPb 北侧防护门：12mmPb
甲吸/甲亢区域	甲亢留观室（含卫生间，与SPECT-CT区域病人共用）	四周墙体：370mm实心砖墙 顶部：120mm混凝土+4mmPb 底部：180mm混凝土+180mm轻质混凝土（不考虑屏蔽）+120mm混凝土 南侧、西侧、北侧防护门：12mmPb
	甲吸/甲亢缓冲区	四周墙体：370mm实心砖墙 顶部：120mm混凝土+4mmPb 底部：180mm混凝土+180mm轻质混凝土（不考虑屏蔽）+120mm混凝土 西侧防护门：12mmPb 北侧防护门：10mmPb 南侧2扇防护门：10mmPb
	服碘室	四周墙体：370mm实心砖墙 顶部：120mm混凝土+4mmPb 底部：180mm混凝土+180mm轻质混凝土（不考虑屏蔽）+120mm混凝土 北侧及东侧防护门：10mmPb
	甲功检测室	四周墙体：370mm实心砖墙 顶部：120mm混凝土 底部：180mm混凝土+180mm轻质混凝土（不考虑屏蔽）+120mm混凝土 南侧防护门：2mmPb 西侧及北侧防护门：10mmPb

PET-CT诊断区域	洁具间（拖把池）	北墙及东墙：200mm混凝土砌块 西墙及南墙：200mm轻钢龙骨石膏板 顶部：120mm混凝土 底部：180mm混凝土+180mm轻质混凝土（不考虑屏蔽）+120mm混凝土 西侧防护门：普通门
	PET-CT患者通道	四周墙体：300mm混凝土砌块 顶部：120mm混凝土+8mmPb 底部：180mm混凝土+180mm轻质混凝土（不考虑屏蔽）+120mm混凝土 东侧注射窗：20mm 铅当量 东侧分装室防护门：10mmPb 东侧VIP休息室防护门：10mmPb 南侧防护门：8mmPb 北侧防护门：10mmPb
	PET-CT VIP休息室（含卫生间）	四周墙体：300mm混凝土砌块 顶部：120mm混凝土+8mmPb 底部：180mm混凝土+180mm轻质混凝土（不考虑屏蔽）+120mm混凝土 西侧防护门：10mmPb
	PET-CT注射后休息大厅（含卫生间）	四周墙体：300mm混凝土砌块 顶部：120mm混凝土+8mmPb 底部：180mm混凝土+180mm轻质混凝土（不考虑屏蔽）+120mm混凝土 西侧及南侧防护门：10mmPb
	PET-CT机房	四周墙体：300mm混凝土砌块 顶部：120mm混凝土+8mmPb 底部：180mm混凝土+180mm轻质混凝土（不考虑屏蔽）+120mm混凝土 观察窗：10mm 铅当量 东侧2扇防护门：10mmPb 南侧防护门：10mmPb
	PET-CT留观室（含卫生间）	四周墙体：300mm混凝土砌块 顶部：120mm混凝土+8mmPb 底部：180mm混凝土+180mm轻质混凝土（不考虑屏蔽）+120mm混凝土 东侧、南侧及西侧防护门：10mmPb
出口	核医学科患者出口缓冲区	南墙、西墙及北墙：300mm混凝土砌块 东墙：370mm实心砖墙 顶部：120mm混凝土+8mmPb 底部：180mm混凝土+180mm轻质混凝土（不考虑屏蔽）+120mm混凝土 北侧防护门：16mmPb 西侧防护门：10mmPb 东侧甲亢留观室防护门：12mmPb 东侧SPECT-CT留观室兼抢救室防护门：4mmPb
衰变池	衰变池四周墙体为300mm混凝土、顶部为250mm混凝土。土层下方废水排水管	

	道外包裹3mm铅。检修口井盖为250mm混凝土。核医学科下方排水管道穿过屏蔽体的部分采用4mm铅做屏蔽补偿。					
防护用品	0.5mm医护防护用品8套；10mmPb铅屏风若干；10mmPb铅盒；50mmPb铅罐；50mmPb手套箱1-2个（根据分装仪需求配备），30Pbmm手套箱1个；10mm铅废物桶若干。					
PET-CT机房有效使用面积及最小单边长达标分析						
拟安装射线装置参数	长（m）	宽（m）	有效使用面积（m ² ）	最小单边长（m）	有效使用面积、单边长度的要求	评价
140kV，800mA	7.7	5.7	43.89	5.7	CT 机房（不含头颅移动CT）最小有效使用面积为 30m ² ，机房内最小单边长度为 4.5m	满足
原有的 SPECT-CT 机房有效使用面积及最小单边长达标分析						
140kV，500mA	6.4	5.3	33.92	5.3	CT 机房（不含头颅移动CT）最小有效使用面积为 30m ² ，机房内最小单边长度为 4.5m	满足

3. 辐射安全及防护措施

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），本项目核医学科设计有如下辐射安全和防护措施：

- 电离辐射警告标志*；
- 受检者导向标识/清洁区域导向提示：*；
- 监视设施或观察窗和对讲装置：*。
- 工作状态指示灯：*；
- 单向门及门禁：*；
- 自动分碘仪：*；
- 储存、转运等容器：*；
- 手套箱：*；
- 防护用品：*；
- 储源柜：*。

台账：*；
 污水管道：*；
 监测仪器：*；
 双人双锁：*；
 应急物资：*；
 洗消处理设备：*；
 铅废物桶：*；
 缓冲区：*；

PET-CT 机房及原有 SPECT-CT 机房设置如下辐射防护措施：所有防护门朝向室外的一面均已（拟）张贴电离辐射警告标志；所有防护门外顶部已（拟）设置工作状态指示灯，工作状态指示灯能与防护门有效关联，机房室外通道就近位置已（拟）张贴或悬挂《放射防护注意事项告知栏》；拟在平开机房门位置设置自动闭门装置；拟在电动推拉门位置设置防夹装置；本项目设备自带 1 处停机按钮及机房操作台自带 1 处停机按钮；在机房内侧靠近防护门位置已（拟）设置有开门按钮；拟在机房与其控制室内设置对讲装置；拟为患者配置防护用品；核医学科已配备相应监测仪器；机房已（拟）设置动力通风装置。

上述措施分布图见附图 12。

二、后装机机房

1. 工作场所布局及分区

本项目后装机机房位于放疗中心-1F。医院将原有放疗中心候诊区、库房及坡道改造为后装机房及辅房。改造完成后的后装机机房工作场所独立，配套完善，平面布置及临近影像楼的位置特点能够满足治疗需要。放射治疗场所未设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。本项目设置在建筑底层端部，楼下为土层，楼上为院区道路，已避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。控制室已与机房分开设置，凡是可以与机房分离的辅助设施均设置于机房外。机房设有 L 型迷路。

因此，以上布局符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）的要求，场所设计合理。

为便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安

全基本标准》（GB18871-2002）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）要求在辐射工作场所内划出控制区和监督区。



图 10-1 本项目后装机机房两区划分示意图

表10-3 本项目后装机机房“两区”划分一览表

工作场所	控制区	监督区	备注
后装机机房及辅房	后装机机房（含迷道）	控制室、铅模室、准备室、缓冲区	控制区：控制区内禁止外来人员进入，职业人员在进行日常工作时候尽量不要在控制区内停留以减少不必要的照射。监督区范围内应限制无关人员进入。控制区：在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志。 监督区：在监督区入口处的合适位置张贴监督区标牌；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

2.工作场所辐射屏蔽设计

本项目后装机机房改造情况：医院将拆除技术员办公室东侧、北侧及南侧墙体和门体；拆除候诊区东侧及技术员办公室北侧坡道，新增 400mm 混凝土封堵坡道北侧连接负一层的西部区域，将西侧恢复为土层。保留技术员办公室及候诊区西侧 400mm 混凝土墙体，坡道北侧及东侧 400mm 混凝土墙体；重新建造机房南侧 800mm 混凝土墙体及东侧迷道 500mm 混凝土墙体，并增加 1 扇防护门；规划建设辅房区域，包括控制室、铅模室、准备室、库房、更衣间及缓冲区；改造区域顶部原为 250mm 混凝土，本次将改造区域顶部覆土清除，补充浇筑 350mm 混凝土，机房顶部改造为 600mm 混凝土。

改造后机房有效使用面积为 34.04m²（不包含迷道，长 7.4m×宽 4.6m），吊顶高 2.8m。后装机房配套功能用房为 1 间控制室、1 间准备室、1 间铅模室、1 间库房及 1 间更衣室。

本项目后装机房改造前后对比图见图 10-2。

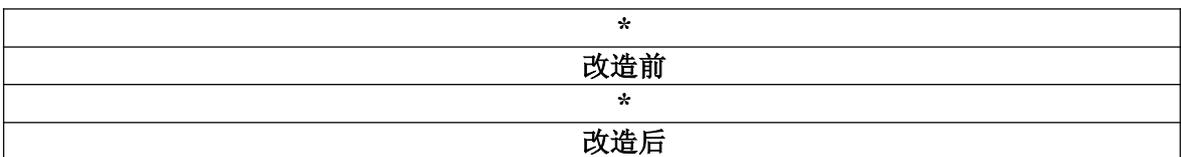


图 10-2 本项目后装机房改造前后对比图

表 10-4 本项目后装机机房改造前后屏蔽设计参数

屏蔽方位	改造前	改造后
东墙	400mm	400mm
西墙	400mm	400mm
南墙	/	800mm
北墙	400mm	400mm
迷道内墙	/	500mm
顶部	250mm	600mm
防护门 (设计单位设计的防护门尺寸两侧铅板搭接宽度大于门缝宽度10倍以上)	/	10mmPb

电缆管线及排风管道等布设

后装机机房与控制室之间的各种电缆管线，以地沟形式在地坪以下布设，电缆沟盖板采用不锈钢覆盖，穿墙部分均位于南侧墙体，穿墙管道呈“U”型穿墙，下沉后穿越屏蔽墙到达辅房，通过多次折返的电缆沟设计和下沉地面穿越屏蔽墙的设计，增加了泄漏射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。新风和排风管穿墙处均采用“Z”型穿墙，电、水、气管、物理测试管线布设走向必须符合辐射屏蔽防护要求，在南侧穿越墙体，如在防护墙体部位设置开关箱等嵌入式电气设备，要在箱体后补充相应的屏蔽防护措施。具体穿墙部分示意图见下图。



图 10-3 管线洞口穿墙部分设计图

3. 辐射安全及防护措施

3.1 设备固有安全措施

①设备购置于正规厂家，满足质检要求。设备外屏蔽体采用铸铁制造，头盔采用不锈钢制造，不易损坏，放射源经设备本身的外屏蔽体、源体、开关体、屏蔽门等的屏蔽后，关闭机器时对环境基本不产生影响。满足六防措施：防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏。

②设备控制系统能准确地控制照射条件，有放射源启动、传输、驻留及返回工作贮源器的源位显示与治疗日期、通道、照射总时间及倒计时时间的显示。

③系统电源开关：*。

④启动按钮：*。

⑤紧急回源装置：*。

- ⑥施源器与放射源联锁：*。
- ⑦密码设置：*。
- ⑧急停按钮：*。
- ⑨钥匙开关：*。
- ⑩仿真源模拟运行系统：*。

3.2 拟设置的辐射安全措施

- 电离辐射警告标志和工作状态指示灯：*；
- 监控及对讲系统：*；
- 固定式辐射剂量监测仪：*；
- 门—机联锁装置：*；
- 紧急开门装置和防夹装置：*；
- 急停按钮：*；
- 安全联锁：*；
- 放射源的贮存：*。
- 应急贮源容器：*。
- 自动回源按钮：*。
- 长柄镊子：*。
- 防护设备：*。
- 人员监测设备：*。
- 废旧放射源处理：*。
- 通风设施：*。

*

图 10-4 本项目后装机机房辐射安全与防护措施图

三废的治理

一. 核医学科场所

1. 固体放射性废物

处理措施

本项目涉及施用核素的房间内均拟设置固体放射性废物收集桶，用于分核素种类收集产生的核素固体放射性废物，到达一定量时转入放射性废物暂存场所内的铅废物

桶进行暂存衰变。定期更换的活性炭过滤器将作为固体放射性废物进行收集处理。

本项目将严格执行《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）7.2 及《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）8 的要求。

本项目核医学门诊区产生的放射性废物暂存于放射性废物暂存间。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）7.2.3，本项目含有 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 及 ^{68}Ga 的固体放射性废物暂存 31 天，废物产生量为 108.5kg；含有 ^{131}I 的固体放射性废物暂存 181 天，废物产生量为 362kg。医疗废物密度国家统计局结果平均值是 $488.85\text{kg}/\text{m}^3$ ，则含有 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 及 ^{68}Ga 的固体放射性废物体积共计为 0.222m^3 ，含有 ^{131}I 的放射性废物体积为 0.741m^3 。

本项目的活性炭过滤器也暂存于废物室，活性炭过滤器中所含核素包括 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{68}Ga 。本项目共 2 个排口。按照所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍（含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天），医院每半年更换一次排口，换下来的活性炭将暂存 181 天，因此活性炭最大暂存量为 100kg，活性炭密度（450-650） kg/m^3 ，保守按照 $450\text{kg}/\text{m}^3$ 进行计算，活性炭体积为 0.222m^3 。

保守按照不同核素的放射性废物暂存时间考虑放射性废物最大暂存量：

放射性废物体积和活性炭废物体积总计为 1.19m^3 ，放射性废物暂存间面积为 $1.9\text{m}\times 2.4\text{m}=4.56\text{m}^2$ ，室内拟放置 15 个铅废物桶（单个桶占地面积不足 0.13m^2 ），每个铅废物桶体积为 0.08m^3 。铅废物桶容积总计为 1.2m^3 。

因此本项目放射性废物暂存间按照相应要求能够满足本项目固体放射性废物存放要求。本项目固体放射性废物暂存相应时间后经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

本项目除 ^{131}I 外均为短半衰期核素，其 10 个半衰期均在 3 天以内，因此预计暂存 31 天后辐射影响较小， ^{131}I 的 10 个半衰期不超过 81 天，因此预计暂存 181 天后辐射影响较小。当监测不达标时医院将适当延长暂存时间，但根据核素特性和半衰期，核医学科的固态放射性废物无需长期暂存。

退役放射源：核医学科场所配套使用的校准源随着核素的自然衰变，放射源的活度不断降低，当放射源使用到一定时间后，会产生退役的放射源，退役放射源由原厂

家回收处置。

污泥池内污泥：本项目 2 个污泥池交替使用，单个污泥池存满后将在存放 181 天后对应进行处置。污泥池设有脱滤装置（压滤机和脱水机），能够减少污泥的体积，便于后续处理和处置。

本项目污泥年产量为 607.2kg，保守按含水量较高情况考虑密度约为 1.14T/m³，因此对应体积为 0.533m³。本项目单个污泥池容积为 11m³，可存放 20 年的污泥量，在单个污泥池存满后，将启用另一个污泥池。

单个污泥池在存满后将暂存 181 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8 Bq/cm² 的，可对废物清洁解控，将委托有资质单位处理污泥。

2.液态放射性废物

本项目极少量多余核素将暂存于放射源存储室内储源柜中的铅盒内，在厂家二次送药时交还厂家。

本项目院区北部拟建的绿化区域下方的设计有 1 个带有 2 级污泥池的 5 级槽式衰变池。

衰变池设计有 2 级污泥池和 5 级并联槽式衰变池。每级污泥池可使用容积为 11m³，每级衰变池池子可使用容积为 23.99m³。根据上表可知，每天病人产生的核素液态放射性废物 432L，辐射工作场所及人员产生核素液态放射性废物 35L。

根据要求，保守按照液态放射性废物待放满第一个衰变池起计算衰变时间，计划排水周期为 181 天：

液态放射性废物在达到排水周期前需要的体积为 86.76m³ (467×180/1000 =84.06)，本项目设计的每级衰变池使用体积为 23.99m³，按照液态放射性废物待放满第一个衰变池起计算衰变时间，剩余 4 级衰变池可容纳体积为 95.96m³。

因此衰变池完全能够满足本项目核医学科核素排水周期内的容纳需求。

液态放射性废物衰变池拟设废水取样口和检修口，必要时对液态放射性废物进行取样监测。根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》指导，本项目采取存放满 181 天后直接排入医院污水处理系统的方案，经污水处理站进一步处理达标后纳入专用排污管道。建设单位已设置专门的废水排放台账，每次排放应做好排放时间、排放量等已详细记录，台账由专人管理，存档保存。

根据设计，本项目核医学科液态放射性废物通过地下一层轻质混凝土层中的下水

管道进入衰变池进行衰变，核医学科废水管道排布方式可见附图16。本项目衰变池位于院区北部绿化区域下方，衰变池底部和四周为土层，衰变池均采用混凝土结构，进行防腐防蚀处理。污水管采用耐酸防腐材料，核医学科下方的管道位于防护层之间，垂直破坏管道的部分将做屏蔽补偿，超出核医学科的土层内管外径用3mm铅皮包裹。具体衰变池设计可见附图15。

本项目衰变池每个池子配套2台污水泵（其一为备用泵）和1个液位计（通过液位计控制实际池使用容积）。衰变池池壁上方设置溢流孔，如果出现液位计失效，电动阀无法及时切换的非正常工况，废水可外溢至其他衰变池。进入衰变池的污水管采用耐酸防腐材料，且管外径用铅皮包住。衰变池池壁内表面及池底均抹防水砂浆及耐酸碱腐蚀涂料。检修口井盖设有止水条，井盖密封。

本项目将严格执行《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）7.3及《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）8的要求。

3.气态放射性废物

本项目核医学科放射性物质工作场所设有独立的通排风系统，排风/新风/手套箱均设置独立的排风管道。在设计有辐射防护屏蔽的房间，对于穿墙后的风管采取不小于墙壁铅当量的屏蔽措施。对于裸露在外的排风管道的防护，在需要低铅当量防护的位置直接采用铅板包裹，在需要高铅当量防护的位置则在风管外侧用5#角钢做外骨架后包裹铅板，并用角钢联结天棚楼板或梁柱支撑固定。

设计单位统计 1F 核医学科控制区排风总需求为 6250m³/h，监督区排风总需求为 670m³/h，合计需求为 6920m³/h，考虑风压和漏风量后，按照系数 1.15 将楼顶风机排风量设计为 8000m³/h。手套箱的排风总需求为 3000m³/h，按照系数 1.2 将楼顶风机排风量设计为 3600m³/h。

本项目核医学科通排风系统示意图见附图13，排口信息见附图14。具体排风措施如下表所示。

表10-5 本项目核医学科工作场所排风措施一览表

工作场所	排风措施	
分装室2个手套箱、服碘室自动分碘仪的1个手套箱	一支独立的排风管道，管道口安装独立机械排风装置，排风风量3600m ³ /h，汇入主管道前加装吸碘过滤器 *	每路排管道进入风井前拟设置止回阀，各支管均设置防倒灌装置，避免废气倒灌和泄漏。场所单独设置独立的手套箱管道、控制区管道、监督区管道，每个区域之间保证场所处于负压以防

<p>控制区：PET-CT机房、PET-CT留观室及卫生间、PET-CT注射后休息大厅及卫生间、PET-CT VIP休息室及卫生间、PET-CT患者通道、分装室及放射源存储室、拖把池、SPECT-CT患者通道、心肌负荷室、废物室、SPECT-CT注射后休息大厅及卫生间、SPECT-CT留观室/抢救室及卫生间、甲亢留观室、服碘室、甲功检测室、SPECT-CT机房、核医学科患者出口缓冲区</p>	<p>控制区和监督区由分别的2根管道汇至风井，随后共用一支独立排风管道，管道楼顶安装独立机械排风装置，风机排风风量8000m³/h；北部更衣室采用一支排风管道，风机排风风量120m³/h</p>	<p>止放射性气体交叉污染。 核医学科控制区和监督区在1F核医学科内部为两套独立风管，归为2根管道后汇至风井，随后在风机内部合并为1根管道后接引至所在大楼楼顶（楼高77.7m）风机A；手套箱排风管道为单独的风管，通过1层风井引至所在大楼楼顶（楼高77.7m）风机B；北部更衣室通过管道排至核医学科北侧，采用风机C。 顶部排风口气态放射性放射性废物经活性炭过滤处置后排放。楼顶排风口安装大功率排风机，排风高度距地约为77.7m，排口不朝向周围高层建筑及周围环境保护目标。排气口拟设置取样、采样平台，便于未来的环境监测。 排风管道设置有过滤装置，安装活性炭过滤器，保守预计总的过滤效率大于90%。</p>
<p>监督区：PET-CT入口缓冲区、PET-CT控制室、PET-CT设备间、SPECT-CT入口缓冲区、南部更衣室、医护工作区卫生缓冲区、公共区域、登记室、问诊室、核医学门诊室、SPECT-CT控制室、北部更衣室、北部医护走廊。</p>		

本工程拟采用的活性炭过滤器主要是用于去除放射性气溶胶颗粒，单个风口一次装量约50kg，过滤器内部呈Z字形的排布以保证密封性。本项目所使用的活性炭过滤器为浸渍活性炭过滤器，该过滤器经过特殊的浸渍剂浸渍处理，可加大对空气中挥发的¹³¹I等进行吸附，吸附效率可至少达到90%。建设单位将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，更换周期不超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按固体放射性废物进行收集、处理。核医学工作场所能够保持良好的通风，污染区和清洁区的新风系统不联通，清洁区、监督区、控制区及其内的手套箱均为不同的管道系统，且控制区管道设计从低活流向高活区，可以以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

二. 后装机项目

1. 固体废物

本项目后装机在放射源使用一定时间后，放射源衰变至其活度不能满足放射治疗需要时，将更换放射源，从而产生退役的废¹⁹²Ir放射源。退役放射源属于放射性废物，由生产厂家回收处置，若生产厂家不能回收，则交有收贮资质的单位回收处置。

2. 气体废物

后装机机房拟设通排风系统，通排风系统的设置、室内气流组织以及废气的排放都考虑到避免空气在建筑物内反复循环和避免各房间空气相互掺混，从而减少污染物

积累和交叉污染的概率。

表 10-6 本项目后装机机房排风设置一览表

场所	室内 新风口位置	室内 排风口位置	是否满足上 进下出、对角 设置的原则	排风量 (m ³ /h)	后装机房体积 (m ³ /h)	换气次数
后装机机房	吊顶东北角	西南侧墙角	满足	800	130 (含迷道)	6 次/h

根据上表可知，本项目后装机机房的新风口、排风口设置符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）规定的上进下出、对角设置的原则，换气次数满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“换气次数不少于 4 次/h”的相关要求。废气经机房排风管道接至与放疗机房在用的医用加速器共用风井排放，排口未设置在有门、窗或人流量较大的过道等位置。

*

图 10-5 后装机机房新风及排风口对角设置图

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目为在现有科室基础上扩建房间及设施，影响主要为施工废水、施工废气、施工噪声及施工固体废弃物影响。施工期对环境会产生如下影响：

1.施工期扬尘

施工过程中会产生一定扬尘，属于无组织排放，施工过程需满足《施工场地扬尘排放标准》（DB32/4437-2022）要求。针对上述大气污染拟采取以下措施：a、及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；b、车辆在运输建筑材料时采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；c、施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

2.施工期噪声

施工期噪声包括土建施工过程、通风及电气设备安装过程中机械产生的噪声，由于施工场地为封闭院区，公众活动较少，施工噪声对周围环境的影响较小。在施工时尽量使用噪声低的先进设备。

3.施工期废水

施工期废水主要为施工人员的生活污水；施工人员产生的生活污水拟依托医院内现有的污水处理设施处理后排放。

4.施工固废

施工期固废主要是建设过程中产生的固体废物和施工人员的办公垃圾，固体废物为一般固废，部分回收利用；部分与办公垃圾一同依托医院现有垃圾收集设施收集。

医院在施工期间认真搞好组织工作，文明施工，切实落实各种环保措施，将施工期的影响控制在院区内局部区域，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

1、核医学科

1.1 本项目β射线辐射影响分析

针对本项目使用的β衰变核素，日常工作中本项目辐射工作人员将采取一定的防护措施，如穿戴辐射防护服、防护眼镜以及防护手套。操作核素的器械材质最基础为有机玻璃，注射时将在注射器外套上防护套。根据*所列公式 2.6 计算，计算射线在空气、有机玻璃、混凝土、铅中的射程，结果见下表：

*.....（公式 11-1）

表 11-1 各种核素β射线在不同屏蔽物质中的最大射程

序号	核素	最大β粒子能量 (MeV)	ρ (g/cm ³)	R (cm)	
1	^{99m} Tc	/			
2	¹⁸ F	*	空气	*	2.61E+02
			有机玻璃	*	2.65E-01
			混凝土	*	1.34E-01
			铅	*	2.78E-02
3	⁶⁸ Ga	*	空气	*	7.88E+02
			有机玻璃	*	7.98E-01
			混凝土	*	4.04E-01
			铅	*	8.37E-02
4	¹³¹ I	*	空气	*	2.50E+02
			有机玻璃	*	2.53E-01
			混凝土	*	1.28E-01
			铅	*	2.65E-02

由上表可知在核素操作过程中，辐射工作人员在穿戴好防护用品后，再经过操作器械和防护用品两次屏蔽后基本可消除β射线影响，屏蔽体外受到β射线辐射影响极小。

1.2 本项目γ射线辐射影响分析

1.2.1 计算公式

本项目在进行辐射环境影响预测时，将放射性药物、已用药的患者及放射性废物等简化成点源，则周围空气比释动能率近似按照点源模式估算，参考*中的公式估算关注点周围剂量当量率：

*.....（公式 11-2）

*.....（公式 11-3）

1.2.2 参数选择

表 11-2 本项目发射 γ 射线的核素单人最大施药活度下 A 及常数 Γ 一览表

核素	单个患者配药活度 (MBq)	辐射源裸源周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	裸源 $A\times\Gamma$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}$)	患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	患者体内 $A\times\Gamma$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}$)
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	*	*	2.80E+01	*	1.91E+01
^{18}F	*	*	5.29E+01	*	3.40E+01
^{68}Ga	*	*	4.96E+01	*	3.18E+01
^{131}I (甲吸)	*	*	4.40E-03	*	4.31E-03
^{131}I (甲壳)	*	*	2.20E+01	*	2.16E+01

*针对 PET-CT 诊断区, ^{18}F 的患者周围剂量当量率比 ^{68}Ga 更大。甲吸患者周围剂量为本底水平, 因此将从缓冲区离开。

表 11-3 本项目发射 γ 射线的核素在不同材料中的什值层 (mm)

核素	混凝土 (2.35g/cm ³)	铅 (11.3g/cm ³)	砖 (1.65g/cm ³)
	TVL	TVL	TVL
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	*	*	*
^{18}F	*	*	*
^{68}Ga	*	*	*
^{131}I	*	*	*

* $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 、 ^{131}I 核素什值层取自《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)附录 I 表 I.1; ^{68}Ga 核素与 ^{18}F 的光子能量一致, 因此按照什值层一致考虑。

表 11-4 本项目屏蔽材料透射比计算结果

材质及厚度	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$^{18}\text{F}/^{68}\text{Ga}$	^{131}I
120mm 混凝土	*	*	*
180mm 混凝土	*	*	*
200mm 混凝土砌块	*	*	*
250mm 混凝土	*	*	*
300mm 混凝土砌块	*	*	*
240mm 实心砖	*	*	*
370mm 实心砖墙	*	*	*
2mmPb 铅板	*	*	*
5mmPb 注射器防护套/5mm 铅当量铅玻璃	*	*	*
4mmPb 铅门/传递窗/铅罐/铅屏风/铅板	*	*	*
8mmPb 铅板	*	*	*
10mmPb 铅门/10mmP 铅盒/10mmPb 铅废物暂存桶	*	*	*
12mmPb 铅门	*	*	*
15mmPb 铅门	*	*	*
16mmPb 铅门	*	*	*
20mm 铅当量铅玻璃	*	*	*
30mmPb 手套箱 B	*	*	*
50mmPb 手套箱 A/铅罐/自动分装仪	*	*	*
0.5mmPb 防护用品	*	*	*

由于本项目核医学科运营过程采用当日运输当日使用的原则, 铅罐表面最大周围剂量当量率计算结果如下。

表11-5 铅罐/手套箱/自动分装仪表面周围γ辐射剂量当量率最大值

位置	核素	日最大用量 (MBq)	辐射源 裸源周 围剂量 当量率 常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2$ $\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot$ h^{-1})	铅罐/手 套箱/分 装仪透 射因子	铅罐/分装 仪表面周 围剂量当 量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	手套箱周 围剂量当 量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
分装室内手 套箱 B 内	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	*	*	1.00E-50	4.21E-48	4.21E-98
分装室内手 套箱 A 内	^{18}F	*	*	9.73E-04	3.51	3.41E-03
	^{68}Ga	*	*	9.73E-04	5.79E-01	5.63E-04
服碘室内	^{131}I	*	*	2.85E-05	6.28E-03	1.79E-07

辐射源周围剂量当量率常数差异可知，同等用药量情况下 ^{18}F 影响辐射影响大于 ^{68}Ga ，因此计算周围剂量当量率时保守将PET-CT区域全部按照 ^{18}F 考虑。人员处于室内时，保守按照距离四周墙体0.5m、距离门1m考虑（针对空间较大的患者通道或机房等酌情按照距门2m考虑），针对楼下以室内辐射源距地0.5m考虑，针对楼上以室内辐射源距地1.5m考虑。由上表可知，手套箱/分装仪外周围剂量当量率较小，室内主要考虑注射药物时对室外的周围剂量当量率。针对分装室内可能同时分装给药的情况进行辐射影响叠加。

1.2.3 计算结果

表11-6 γ 射线贡献的周围剂量当量率估算结果

场所	预测点	核素	源强 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}$)	距离 (m)	屏蔽材料	透射因子	周围剂量 当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	控制目 标值 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否 满足 要求
医护区域									
分装室	手套箱 A 表面外 (分装操作位)	*	*	*	*	*	1.37E-02	2.5	满足
		*	*	*	*	*	2.06E-01	2.5	满足
	手套箱 A 表面外 (非操作位)	*	*	*	*	*	5.33E-03	25	满足
		*	*	*	*	*	8.04E-02	25	满足
	手套箱 B 表面外 (分装操作位)	*	*	*	*	*	1.68E-31	2.5	满足
		*	*	*	*	*	1.12E-28	2.5	满足
	手套箱 B 表面外 (非操作位)	*	*	*	*	*	6.58E-32	25	满足
		*	*	*	*	*	4.38E-29	25	满足
	墙外 30cm (PET-CT 患者通道)	*	*	*	*	*	4.31E-01	10	满足
		*	*	*	*	*			
	墙外 30cm (SPECT-CT 患者通道)	*	*	*	*	*	8.40E-02	10	满足
		*	*	*	*	*			
	门外 30cm (PET-CT 患者通道)	*	*	*	*	*	3.91	10	满足
		*	*	*	*	*			
	门外 30cm (心肌负荷室)	*	*	*	*	*	6.59E-01	2.5	满足 满足
		*	*	*	*	*			
门外 30cm (放射性废物暂存间)	*	*	*	*	*	4.08E-01	10	满足 满足	
	*	*	*	*	*				
	门外 30cm	*	*	*	*	*	6.75E-02	2.5	满足

	(卫生缓冲区)	*	*	*	*	*			
	注射窗外 30cm (PET-CT 患者通道)	*	*	*	*	*	2.58	10	满足
		*	*	*	*	*			
	注射窗外 30cm (SPECT-CT 患者通道)	*	*	*	*	*	4.89E-01	10	满足
		*	*	*	*	*			
	传递窗外 30cm (留观室)	*	*	*	*	*	2.70E-01	10	满足
		*	*	*	*	*			
	注射操作位 A	*	*	*	*	*	6.86E+01	/	/
		*	*	*	*	*			
	注射操作位 B	*	*	*	*	*	1.71	/	/
		*	*	*	*	*			
	楼上 30cm (检查打包区)	*	*	*	*	*	1.55E-01	2.5	满足
		*	*	*	*	*			
	楼下离地 1.7m (配电机房)	*	*	*	*	*	3.65E-02	2.5	满足
		*	*	*	*	*			
放射性 废物 暂 存 间	墙外 30cm (留观室兼抢救室)	*	*	*	*	*	1.64E-02	10	满足
	墙外 30cm (VIP 休息室)	*	*	*	*	*	3.66E-03	10	满足
	门外 30cm (留观室兼抢救室)	*	*	*	*	*	7.64E-02	10	满足
	门外 30cm (分装室)	*	*	*	*	*	7.64E-02	2.5	满足
	楼上 30cm (辅料打包间)	*	*	*	*	*	4.00E-03	2.5	满足
	楼下离地 1.7m (停车场)	*	*	*	*	*	3.10E-04	2.5	满足
放射	门外 30cm (分装室)	*	*	*	*	*	2.42E-02	2.5	满足
	墙外 30cm (分装室)	*	*	*	*	*	2.99E-03	2.5	满足

源 存 储 室	墙外 30cm(PET-CT 患者通道/VIP 休息室)		*	*	*	*	6.66E-04	10	满足
	楼上 30cm (检查打包区)		*	*	*	*	7.27E-04	2.5	满足
	楼下离地 1.7m (停车场)		*	*	*	*	5.64E-05	2.5	满足
PET-CT 诊断区									
PET -CT 患 者 通 道	门外 30cm (分装室/VIP 休息室/注射后休息大厅)	*	*	*	*	*	1.61	10	满足
	门外 30cm (卫生缓冲区)	*	*	*	*	*	2.12	2.5	满足
	墙外 30cm (注射后休息大厅/VIP 休息室)	*	*	*	*	*	1.05	10	满足
	墙外 30cm (分装区/控制室/PET-CT 机房/卫生缓冲区)	*	*	*	*	*	1.05	2.5	满足
	窗外 30cm (分装室)	*	*	*	*	*	2.12	2.5	满足
	楼上 30cm (污物接收区)	*	*	*	*	*	1.99E-01	2.5	满足
	楼下离地 1.7m (配电机房/停车场)	*	*	*	*	*	4.69E-02	2.5	满足
PET -CT 机 房	门外 30cm (控制室)	*	*	*	*	*	1.61	2.5	/
	门外 30cm (注射后休息大厅/留观室)	*	*	*	*	*	1.61	10	/
	墙外 30cm (设备间/风井/控制室/院区道路)	*	*	*	*	*	1.05	2.5	/
	墙外 30cm(PET-CT 患者通道/留观室卫生间/注射后休息大厅)	*	*	*	*	*	1.05	10	/
	窗外 30cm (控制室)	*	*	*	*	*	1.61	2.5	/
	楼上 30cm (纯水/蒸汽间/洁具间/储物间/办公室/工作通道/会议室)	*	*	*	*	*	1.99E-01	2.5	/
	楼下离地 1.7m (停车场)	*	*	*	*	*	4.69E-02	2.5	/
	机房内(部分患者需要协助摆位的情况)	*	*	*	*	*	1.27E+02	/	/

VIP 休息室	门外 30cm (PET-CT 患者通道)	*	*	*	*	*	5.03	10	满足
	墙体外 30cm (放射性废物暂存间/分装室)	*	*	*	*	*	1.05	2.5	满足
	墙体外 30cm (PET-CT 患者通道/注射后休息大厅/留观室/放射源储存室)	*	*	*	*	*	1.05	10	满足
	楼上 30cm (敷料打包间/缓冲间 2)	*	*	*	*	*	1.99E-01	2.5	满足
	楼下离地 1.7m (停车场)	*	*	*	*	*	4.69E-02	2.5	满足
注射后 休息大厅	门外 30cm (PET-CT 机房)	*	*	*	*	*	1.26	2.5	满足
	门外 30cm (PET-CT 患者通道)	*	*	*	*	*	1.26	10	满足
	卫生间墙外 30cm (SPECT-CT 留观室兼抢救室的 患者通道/出口)	*	*	*	*	*	2.09	10	满足
	墙外 30cm (PET-CT 机房)	*	*	*	*	*	2.09	2.5	满足
	墙外 30cm (PET-CT 患者通道/ 留观室)	*	*	*	*	*	2.09	10	满足
	楼上 30cm (工作通道/休息室/ 男更衣室 /会议室)	*	*	*	*	*	3.99E-01	2.5	满足
	楼下离地 1.7m (停车场)	*	*	*	*	*	9.38E-02	2.5	满足
留 观 室	门外 30cm (PET-CT 机房)	*	*	*	*	*	1.26	2.5	满足
	门外 30cm (出口)	*	*	*	*	*	1.26	10	满足
	墙外 30cm (院区道路)	*	*	*	*	*	2.09	2.5	满足
	墙外 30cm (出口/注射后休息 大厅)	*	*	*	*	*	2.09	10	满足
	卫生间墙外 30cm (风井)	*	*	*	*	*	1.05	10	满足

	卫生间墙外 30cm (院区道路/ PET-CT 机房)	*	*	*	*	*	1.05	2.5	满足
	楼上 30cm (会议室/休息室/ /男更衣室)	*	*	*	*	*	3.99E-01	2.5	满足
	楼下离地 1.7m (停车场)	*	*	*	*	*	9.38E-02	2.5	满足
SPECT-CT 诊断区									
SPE CT- CT 患者 通道	门外 30cm (注射后休息大 厅)	*	*	*	*	*	1.13E-03	10	满足
	门外 30cm (心肌负荷室/ 卫生缓冲区)	*	*	*	*	*	1.13E-03	2.5	满足
	墙外 30cm (注射后休息大 厅)	*	*	*	*	*	2.90E-01	10	满足
	墙外 30cm (心肌负荷室/ 卫生缓冲区/分装室)	*	*	*	*	*	2.90E-01	2.5	满足
	窗外 30cm (分装室)	*	*	*	*	*	2.98E-04	2.5	满足
	楼上 30cm (检查打包区)	*	*	*	*	*	1.32E-01	2.5	满足
	楼下离地 1.7m ((配电机 房/停车场)	*	*	*	*	*	2.50E-03	2.5	满足
心 肌 负 荷 室	门外 30cm (SPECT-CT 患 者通道)	*	*	*	*	*	1.13E-03	10	满足
	门外 30cm (分装室)	*	*	*	*	*	1.13E-03	2.5	满足
	墙外 30cm (分装室)	*	*	*	*	*	2.90E-01	2.5	满足
	墙外 30cm (SPECT-CT 患 者通道/SPECT-CT 留观室 兼抢救室/机房缓冲区)	*	*	*	*	*	2.90E-01	10	满足
	楼上 30cm (检查打包区)	*	*	*	*	*	1.32E-01	2.5	满足
	楼下离地 1.7m (停车场)	*	*	*	*	*	2.50E-03	2.5	满足
	室内同室给药过程对医师 的影响	*	*	*	*	*	3.54E-04	/	/
	室内同室监测体征过程对	*	*	*	*	*	6.04E-04	/	/

医师的影响									
注射后休息大厅	门外 30cm (机房缓冲区/SPECT-CT 患者通道)	*	*	*	*	*	2.26E-03	10	满足
	墙外 30cm (SPECT-CT 机房)	*	*	*	*	*	5.97E-03	2.5	满足
	卫生间墙外 30cm (登记室/问诊室)	*	*	*	*	*	9.43E-01	2.5	满足
	卫生间墙外 30cm (公共区域)	*	*	*	*	*	2.90E-01	2.5	满足
	墙外 30cm (机房缓冲区/SPECT-CT 患者通道)	*	*	*	*	*	5.81E-01	10	满足
	墙外 30cm (卫生缓冲间)	*	*	*	*	*	5.81E-01	2.5	满足
	楼上 30cm (检查打包区)	*	*	*	*	*	2.65E-03	2.5	满足
	卫生间楼上 30cm (检查打包区)	*	*	*	*	*	1.32E-01	2.5	满足
	楼下离地 1.7m (配电机房/停车场)	*	*	*	*	*	5.00E-03	2.5	满足
机房缓冲区	门外 30cm (SPECT-CT 机房)	*	*	*	*	*	1.13E-03	2.5	满足
	门外 30cm (SPECT-CT 注射后休息大厅/留观室兼抢救室)	*	*	*	*	*	1.13E-03	10	满足
	墙外 30cm (SPECT-CT 机房)	*	*	*	*	*	2.98E-03	2.5	满足
	墙外 30cm (SPECT-CT 注射后休息大厅/留观室兼抢救室/患者通道)	*	*	*	*	*	2.90E-01	10	满足
	墙外 30cm (心肌负荷室)	*	*	*	*	*	2.90E-01	2.5	满足
	楼上 30cm (检查打包区)	*	*	*	*	*	1.32E-03	2.5	满足
	楼下离地 1.7m (停车场)	*	*	*	*	*	2.50E-03	2.5	满足
SPE	门外 30cm (控制室)	*	*	*	*	*	1.13E-03	2.5	/

CT-CT 机房	门外 30cm (机房缓冲区)	*	*	*	*	*	1.13E-03	10	/
	墙外 30cm (消控中心/问诊室/门诊室)	*	*	*	*	*	2.98E-03	2.5	/
	墙外 30cm (SPECT-CT 注射后休息大厅/机房缓冲区/患者留观室兼抢救室)	*	*	*	*	*	2.98E-03	10	/
	窗外 30cm (控制室)	*	*	*	*	*	3.61E-04	2.5	/
	楼上 30cm (检查打包区)	*	*	*	*	*	1.32E-03	2.5	/
	楼下离地 1.7m (停车场)	*	*	*	*	*	4.10E-04	2.5	/
	机房内(部分患者需要协助摆位的情况)	*	*	*	*	*	2.41E+01	/	/
留观室兼抢救室	门外 30cm (机房缓冲区/放射性废物暂存间/出口)	*	*	*	*	*	2.26E-03	10	满足
	门外 30cm (共用卫生间)	*	*	*	*	*	2.26E-11	10	满足
	墙外 30cm (SPECT-CT 机房)	*	*	*	*	*	5.97E-03	2.5	满足
	墙外 30cm (SPECT-CT 机房控制室)	*	*	*	*	*	5.97E-04	2.5	满足
	墙外 30cm (北部更衣室)	*	*	*	*	*	5.81E-01	2.5	满足
	墙外 30cm (服碘室)	*	*	*	*	*	1.36E-01	2.5	满足
	墙外 30cm (机房缓冲区)	*	*	*	*	*	5.81E-01	10	满足
	墙外 30cm (心肌负荷室/分装室)	*	*	*	*	*	5.81E-01	2.5	满足
	墙外 30cm (共用卫生间)	*	*	*	*	*	1.36E-01	10	满足
	墙外 30cm (甲亢留观室)	*	*	*	*	*	1.36E-01	10	满足
	墙外 30cm (出口/放射性废物暂存间)	*	*	*	*	*	5.81E-01	10	满足
	墙外 30cm(PET-CT 注射后休息大厅卫生间)	*	*	*	*	*	5.90E-02	10	满足
	楼上 30cm (辅料打包间/辅料存储间/工作通道/男)	*	*	*	*	*	2.65E-03	2.5	满足

	更衣室/女更衣室/洁具间									
	楼下离地 1.7m (停车场)	*	*	*	*	*	5.00E-03	2.5	满足	
甲吸/甲亢区域										
缓冲区	门外 30cm (甲亢留观室)	*	*	*	*	*	1.04	10	满足	
	门外 30cm (院区道路/服碘室/甲功检测室)	*	*	*	*	*	1.57	2.5	满足	
	墙外 30cm (院区道路/服碘室/甲功检测室/医护通道)	*	*	*	*	*	4.53E-01	2.5	满足	
	墙外 30cm (甲亢留观室)	*	*	*	*	*	4.53E-01	10	满足	
	楼上 30cm (男更衣室/洁具间)	*	*	*	*	*	1.58E-01	2.5	满足	
	楼下离地 1.7m (停车场)	*	*	*	*	*	2.60E-02	2.5	满足	
服碘室	门外 30cm (缓冲区)	*	*	*	*	*	1.57	10	满足	
	墙外 30cm (缓冲区/共用卫生间/SPECT-CT 留观室兼抢救室)	*	*	*	*	*	4.53E-01	10	满足	
	墙外 30cm (甲功检测室/北部更衣室)	*	*	*	*	*	4.53E-01	2.5	满足	
	楼上 30cm (女更衣室/工作通道)	*	*	*	*	*	1.58E-01	2.5	满足	
	楼下离地 1.7m (停车场)	*	*	*	*	*	2.60E-02	2.5	满足	
甲功检测室	门外 30cm (缓冲区)	*	*	*	*	*	3.14E-04	10	满足	
	门外 30cm (服碘室)	*	*	*	*	*	3.14E-04	2.5	满足	
	墙外 30cm (缓冲区)	*	*	*	*	*	9.04E-05	10	满足	
	墙外 30cm (服碘室/北部更衣室/医护通道)	*	*	*	*	*	9.04E-05	2.5	满足	
	楼上 30cm (女更衣室)	*	*	*	*	*	7.26E-05	2.5	满足	
	楼下离地 1.7m (停车场)	*	*	*	*	*	5.19E-06	2.5	满足	
甲亢留	门外 30cm (缓冲区/出口/共用卫生间)	*	*	*	*	*	1.28E-01	10	满足	
	墙外 30cm (缓冲区/出口/	*	*	*	*	*	9.06E-01	10	满足	

观室	共用卫生间/SPECT-CT 留观室兼抢救室患者通道)										
	墙外 30cm (院区道路)	*	*	*	*	*	9.06E-01	2.5	满足		
	楼上 30cm (女更衣室)	*	*	*	*	*	3.15E-01	2.5	满足		
	楼下离地 1.7m (停车场)	*	*	*	*	*	5.20E-02	2.5	满足		
共用卫生间	门外 30cm (SPECT-CT 留观室兼抢救室)	*	*	*	*	*	1.04	10	满足		
		*	*	*	*	*	1.13E-11				
	墙外 30cm (甲亢留观室/SPECT-CT 留观室兼抢救室)	*	*	*	*	*	4.53E-01	10	满足		
		*	*	*	*	*	6.80E-02				
	墙外 30cm (服碘室)	*	*	*	*	*	4.53E-01	2.5	满足		
		*	*	*	*	*	6.80E-02				
	楼上 30cm (女更衣室)	*	*	*	*	*	1.58E-01	2.5	满足		
		*	*	*	*	*	1.32E-05				
	楼下离地 1.7m (停车场)	*	*	*	*	*	2.60E-02	2.5	满足		
		*	*	*	*	*	2.50E-03				
	核医学科出口										
	出口	门外 30cm (院区道路)	*	*	*	*	*	2.19	2.5	满足	
*			*	*	*	*	1.13E-15				
*			*	*	*	*	4.49E-01				
门外 30cm (PET-CT 留观室)		*	*	*	*	*	5.03	10	满足		
		*	*	*	*	*	1.13E-09				
		*	*	*	*	*	1.57				
门外 30cm (甲亢留观室)		*	*	*	*	*	3.80	10	满足		
		*	*	*	*	*	1.13E-11				
		*	*	*	*	*	1.04				
门外 30cm (SPECT-CT 留观室兼抢救室)		*	*	*	*	*	4.88	10	满足		
		*	*	*	*	*	4.78E-04				
		*	*	*	*	*	2.34				

墙外 30cm (甲壳留观室)	*	*	*	*	9.74E-01	10	满足
	*	*	*	*	6.80E-02		
	*	*	*	*	4.53E-01		
墙外 30cm (院区道路)	*	*	*	*	5.54E-01	2.5	满足
	*	*	*	*	2.95E-02		
	*	*	*	*	3.07E-01		
墙外 30cm(PET-CT 留观室 /PET-CT 注射后休息大厅 /SPECT-CT 留观室)	*	*	*	*	5.54E-01	10	满足
	*	*	*	*	2.95E-02		
	*	*	*	*	3.07E-01		
楼上 30cm (男更衣室/休息室)	*	*	*	*	1.99E-01	2.5	满足
	*	*	*	*	1.32E-09		
	*	*	*	*	6.80E-02		
楼下离地 1.7m (停车场)	*	*	*	*	4.69E-02	2.5	满足
	*	*	*	*	2.50E-03		
	*	*	*	*	2.60E-02		

* (1) 屏蔽体对室内核素产生的 γ 射线的透射因子取最大参数进行保守考虑;

(2) 放射性废物暂存间内废物袋表面周围剂量当量率参考《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188—2021)“固体放射性废物收集桶、暴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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”,推算出1m处周围剂量当量率为 $0.225\mu\text{Sv/h}$,医院将日常利用监测仪器监测放射性废物收集桶外周围剂量当量率,在超出限值时及时更换屏蔽更厚的废物桶或进一步分装原有废物;

(3) 四周及楼上取屏蔽体外表面0.3m处,楼下取离地1.7m,手套箱人员操作位取外表面30cm处,非操作位取表面30cm处;

(4) ^{18}F 和 ^{131}I 留观室内使用铅屏风阻挡,由于患者离墙较近离门较远,对墙外考虑2位患者作为辐射源无铅屏风遮挡情况,对门外考虑1位患者作为辐射源有铅屏风遮挡的情况。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 留观室内不使用铅屏风,按照2名患者考虑。

(5) 针对各留观室,因室内患者并非全年全居留且通常并无医护人员入内,因此参考NCRP147号报告表4.1按照病房取1/5。

1.3 本项目 X 射线辐射影响分析

根据附件2及附件12以常用最大工况120kV，220mA进行评价。

由CT扫描方式可知，实际有用线束方向为机房东侧、西侧、楼顶和地面，机房南侧、北侧受到非有用线束影响。在机房屏蔽铅当量满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）2.5mmPb的要求的情况下，本项目保守将六面均按照有用线束影响简化计算，屏蔽体外均考虑机头距离该方位最小距离。根据*中公式、附件9厂家提供的源强结合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中透射因子公式以及表9-7的最大常用工况计算可得屏蔽体外周围剂量当量率，结果如下。

表11-7 本项目机房屏蔽体外30cm处CT贡献的周围剂量当量率核算结果

关注点	源强 ($\mu\text{Gy/h}$)	距离 (m)	屏蔽材料	透射因子	转换系数	周围剂量 当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
PET-CT机房						
窗外30cm	*	*	*	*	*	4.67E-08
四周墙外30cm	*	*	*	*	*	3.85E-02
门外30cm	*	*	*	*	*	1.39E-07
楼上30cm	*	*	*	*	*	2.62E-08
楼下离地1.7m	*	*	*	*	*	3.17E-02
SPECT-CT 机房						
窗外30cm	*	*	*	*	*	2.80E-01
四周墙外30cm	*	*	*	*	*	7.18E-01
门外30cm	*	*	*	*	*	6.72E-01
楼上30cm	*	*	*	*	*	1.03E-01
楼下离地1.7m	*	*	*	*	*	1.08E-02

* (1) 由附件9*。

(2) 转换系数*。

由上表可知，两座机房屏蔽体的整体铅当量在额定管电压条件下的等效铅当量均达到了《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求中对于 CT 机房 2.5mm 等效铅当量的要求。

表11-8 本项目机房屏蔽体外30cm处周围剂量当量率核算结果

关注点	X射线 ($\mu\text{Sv/h}$)	γ 射线 ($\mu\text{Sv/h}$)	周围剂量当量 ($\mu\text{Sv/h}$)	控制目标值 ($\mu\text{Sv/h}$)
PET-CT机房				
门外 30cm (控制室)	*	*	1.61	2.5
门外 30cm (注射后休息大厅/留观室)	*	*	1.61	10
墙外 30cm (设备间/风井/控制室/院区道路)	*	*	1.09	2.5
墙外 30cm (PET-CT 患者通道/留观室卫生间/注射后休息大厅)	*	*	1.09	10
窗外 30cm (控制室)	*	*	1.61	2.5
楼上 30cm (纯水/蒸汽间/洁具间/储物间)	*	*	1.99E-01	2.5

/办公室/工作通道/会议室)				
楼下离地 1.7m (停车场)	*	*	7.86E-02	2.5
SPECT-CT 机房				
门外 30cm (控制室)	*	*	6.73E-01	2.5
门外 30cm (机房缓冲区)	*	*	6.73E-01	10
墙外 30cm (消控中心/问诊室/门诊室)	*	*	7.21E-01	2.5
墙外 30cm (SPECT-CT 注射后休息大厅/机房缓冲区/患者留观室兼抢救室)	*	*	7.21E-01	10
窗外 30cm (控制室)	*	*	2.80E-01	2.5
楼上 30cm (检查打包区)	*	*	1.04E-01	2.5
楼下离地 1.7m (停车场)	*	*	1.12E-02	2.5

根据附件8原核医学科年度检测报告可知，在同时存在核素和CT影响时SPECT-CT机房外关注点测量结果范围为0.13μSv/h~0.38μSv/h，与上述预测值水平相当。

综上所述，本项目核医学科各关注点周围剂量当量率能够满足本项目管理目标。由上表可知，CT对于屏蔽体外辐射剂量贡献较小，因此仅考虑紧邻区域CT的叠加影响，针对50m范围其他保护目标的剂量评估不考虑该项叠加。

1.4 本项目韧致辐射影响分析

根据*在估算外照射剂量时，必须考虑外韧致辐射。

韧致辐射产生的总剂量率公式为*：

$$* \dots \dots \dots \text{ (公式 11-4)}$$

本项目重点考虑辐射源强较大时在高 Z 材料上产生的韧致辐射。因为主要采用混凝土及实心砖材质，铅使用较少，因此主要分析分装室和服碘室周围叠加韧致辐射后影响。

表 11-9 铅罐/分装仪产生韧致辐射所致周围剂量当量率

核素	β粒子最大能量 MeV	A (每日最大药量) MBq	μ _{en} (cm ² /g)	D (μSv/h)	屏蔽透射因子		周围剂量当量率 (μSv/h)	
					室内操作位	室外关注点	室内操作位	室外关注点
¹⁸ F	*	*	*	*	*	*	3.95E-30	6.90E-33
⁶⁸ Ga	*	*	*	*	*	*	7.71E-11	7.41E-12
¹³¹ I	*	*	*	*	*	*	5.55E-31	9.69E-34

屏蔽透射因子：。

表 11-10 给药过程注射器套筒产生韧致辐射所致周围剂量当量率

核素	β粒子最大能量 MeV	A (单人最大用量) MBq	μ _{en} (cm ² /g)	D (μSv/h)	屏蔽透射因子		周围剂量当量率 (μSv/h)	
					室内操作位	室外关注点	室内操作位	室外关注点
¹⁸ F	*	*	*	*	*	*	2.43E-01	4.26E-04
⁶⁸ Ga	*	*	*	*	*	*	1.29	1.24E-01

屏蔽透射因子：。

表 11-11 叠加韧致辐射影响后高活区域周围剂量当量率

屏蔽体	关注点	核素	周围剂量当量率(μSv/h)	叠加后周围剂量当量率	控制目标值 (μSv/h)	是否满足要求
分装室	手套箱 A 表面外 (分装操作位)	*	*	1.37E-02	2.5	满足
		*	*	4.49E-01	2.5	满足
		*	*	1.37E-02	2.5	满足
		*	*	1.50	2.5	满足
	手套箱 A 表面外 (非操作位)	*	*	5.33E-03	25	满足
		*	*	3.23E-01	25	满足
		*	*	5.33E-03	25	满足
		*	*	1.37	25	满足
	手套箱 B 表面外 (分装操作位)	*	*	1.68E-31	2.5	满足
		*	*	1.12E-28	2.5	满足
	手套箱 B 表面外 (非操作位)	*	*	6.58E-32	25	满足
		*	*	4.38E-29	25	满足
	墙外 30cm (PET-CT 患者通道)	*	*	5.55E-01	10	满足
		*	*			
	墙外 30cm (SPECT-CT 患者通道)	*	*	2.08E-01	10	满足
		*	*			
	门外 30cm (PET-CT 患者通道)	*	*	4.03	10	满足
		*	*			
	门外 30cm (心肌负荷室)	*	*	7.83E-01	2.5	满足
		*	*			
门外 30cm (放射性废物暂存间)	*	*	5.32E-01	10	满足	
	*	*				
门外 30cm (卫生缓冲区)	*	*	1.92E-01	2.5	满足	
	*	*				

注射窗外 30cm (PET-CT 患者通道)	*	*	2.70	10	满足
	*	*			
注射窗外 30cm (SPECT-CT 患者通道)	*	*	6.13E-01	10	满足
	*	*			
传递窗外 30cm (留观室)	*	*	3.94E-01	10	满足
	*	*			
注射操作位 A	*	*	6.99E+01	/	/
	*	*			
注射操作位 B	*	*	3.00	/	/
	*	*			
楼上 30cm (检查打包区)	*	*	2.79E-01	2.5	满足
	*	*			
楼下离地 1.7m (配电机房)	*	*	1.61E-01	2.5	满足
	*	*			
服碘室	门外 30cm (缓冲区)	*	1.57	10	满足
	墙外 30cm (缓冲区/共用卫生间/SPECT-CT 留观室兼抢救室)	*	1.57	10	满足
	墙外 30cm (甲功检测室/北部更衣室)	*	1.57	2.5	满足
	楼上 30cm (女更衣室/工作通道)	*	1.57	2.5	满足
	楼下离地 1.7m (停车场)	*	1.57	2.5	满足
		*			

由上表可知，考虑韧致辐射后屏蔽体外周围剂量当量率仍满足本项目管理目标。

1.5 年有效剂量分析

1.5.1 职业人员年有效剂量

表11-12 不同辐射源叠加累积影响一览表

核素	岗位	操作方式	γ射线贡献周围剂量当量率 (μSv/h)	韧致辐射贡献周围剂量当量率 μSv/h	年操作时间 (h)	PET-CT/SPECT-CT 贡献周围剂量当量率 μSv/h	年操作时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
^{99m} Tc	医师 A	接药分药	*	*	*	*	*	1.40E-29
	医师 A	注射	*	*	*	*	*	1.60
	医师 B	摆位	*	*	*	*	*	3.86E-01
	医师 B	显像 (操作位)	*	*	*	*	*	6.74E-01
	护师	处理废物	*	*	*	*	*	4.94E-01

		及清洁						
¹⁸ F	医师C	接药分药	*	*	*	*	*	2.93E-02
	医师C	注射	*	*	*	*	*	2.48
	医师D	摆位	*	*	*	*	*	2.29
	医师D	显像（操作位）	*	*	*	*	*	1.05
	护师	处理废物及清洁	*	*	*	*	*	1.65
⁶⁸ Ga	医师C	接药分药	*	*	*	*	*	5.15E-03
	医师C	注射	*	*	*	*	*	2.10E-02
	医师D	摆位	*	*	*	*	*	5.08E-01
	医师D	显像（操作位）	*	*	*	*	*	1.85E-01
	护师	处理废物及清洁	*	*	*	*	*	2.91E-01
¹³¹ I	医师A	接药、放入分碘仪、分药设置及清理出多余药物	*	*	*	*	*	3.96E-04
	医师A	分装室内隔室指挥服药	*	*	*	*	*	0
	医师B	同室甲吸测定	*	*	*	*	*	1.13E-03
	护师	处理废物及清洁	*	*	*	*	*	9.79E-02

*医师甲吸测定及护师清理分类废物过程均穿戴0.5mm铅当量防护用品。

表11-13 每位辐射工作人员的最大年有效剂量一览表

岗位	辐射工作人员年有效剂量（mSv）	
	计算公式	结果
医师A	*	1.60
医师B	*	1.06
医师C	*	2.54
医师D	*	4.03
护师	*	2.53
原核医学科2023年个人剂量监测最大值	0.683	

由上表可知，未考虑核素衰减因素时，科室满负荷运行情况下本项目辐射工作人员所受的外照射贡献的年有效剂量最大为**4.03mSv**。

1.5.3 公众年有效剂量

结合上述周围剂量当量率选取最大值进行公众年有效剂量核算。

表 11-14 公众区域受辐射源影响分析

保护目标	γ射线影响 (mSv)	X射线影响 (mSv)	年有效剂量 (mSv)
核医学科紧邻区域-3#病房楼及连廊			
核医学科东侧 (消控中心/楼梯间)	*	*	1.69E-02
核医学科西侧 (院区道路)	*	*	3.40E-02
核医学科南侧 (公共区域/走廊)	*	*	7.25E-02
核医学科北侧 (院区道路)	*	*	4.53E-02
PET-CT 诊断区楼上 (消毒供应中心)	*	*	7.98E-02
PET-CT 诊断区楼下 (发电机房/配电机房 /停车场)	*	*	5.68E-03
SPECT-CT 诊断区楼上	*	*	4.57E-02
SPECT-CT 诊断区楼下	*	*	5.04E-04
分装室楼上(检查打包 区/辅料打包间)	*	*	5.58E-02
分装室楼下(停车场/ 配电机房)	*	*	8.05E-03
甲吸/甲亢区域楼上	*	*	6.30E-02
甲吸/甲亢区域楼下	*	*	2.60E-03
出口楼上	*	*	3.98E-02
出口楼下	*	*	2.35E-03
50m 评价范围内			
放疗中心	*	*	4.02E-04
院区道路及绿化	*	*	4.53E-02
医疗废物暂存地	*	*	4.53E-04
环城北路及人行道	*	*	9.36E-05

*核医学科楼上消毒供应中心为两班制。仅考虑紧邻区域CT叠加影响，不考虑较远距离处保护目标CT的贡献值。

综上所述，经过所有叠加分析后，本项目核医学科辐射工作人员的年有效剂量最大为**4.03mSv**，周围公众的年有效剂量最大为**7.98E-02mSv**。因此综合来看，本项目运行后，核医学科场所相关的辐射工作人员以及周围公众受到的周围剂量当量率、年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)中对周围剂量当量率、职业人员和公众年有效剂量限值的要求，并满足本项目管理目标值。

1.5.4 校准源辐射影响分析

偶尔需用校准源对扫描设备进行质控，质控一般半年一次。建设单位核医学科未配备技师或物理师，因此校准工作均委托医疗设备校准服务提供商独立完成，委托方

辐射工作人员穿戴0.5mmPb的防护用品将装有校准源的铅罐拎至检查床旁，用长柄镊子将校准源放置在检查床上，然后退出机房，在控制室的操作位对设备进行质控；质控结束后进入机房，用长柄镊子将校准源夹至铅罐，并将铅罐放至储源柜中，由于质控用时较短，校准源活度较低，相对核素诊断和治疗过程，其对周围环境的辐射影响较正电子药物可忽略不计。校准过程CT出束过程辐射影响已在1.5.3环节进行计算。

1.6 患者离开医院后对环境的影响

对于本项目非密封性放射物质的出院管理，《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）等标准未作出具体要求。以影响较大的参考核素¹⁸F和¹³¹I为例，单人实际注射量分别为10mCi，使用¹⁸F患者出院预计花费1h，使用¹³¹I（甲亢）患者出院预计花费2h，则出院后患者体外1m处周围剂量当量率随时间变化见下表。

表11-15 使用参考核素的患者离开院后不同时间段内1m处周围剂量当量率（μSv/h）

¹⁸ F				
服药后时间	1h	8h	15h	24h
患者1m处剂量率（μSv/h）	2.33E+01	1.04E-01	3.25E-05	3.38E-10
¹³¹ I				
服药后时间	0d	2h	1d	2d
患者1m处剂量率（μSv/h）	2.16E+01	1.25	6.68E-02	3.27E-03

因此医院应对甲亢治疗患者离院做出书面指导，短期内禁止到公共场所活动，1天内需尽量避免与家人亲密接触。

1.7 大气环境影响分析

1.7.1 气态放射性废物

核医学科在进行液态放射性药物活度操作过程中，若放射性药物液面处于开放状态，空气中可能挥发微量放射性同位素，污染途径为放射性药物在空气中挥发散逸造成人员吸入的内照射。本项目核医学科设有2-3个专用手套箱，本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（设计通风速率不少于0.5m/s，排放口高于本建筑屋顶），满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“排气口应高于本建筑物屋顶”的要求，能够有效防止气态放射性废物对周围环境产生的影响，符合放射性工作场所相关要求。同时医院拟在核医学辐射工作场所和手套箱管道在屋顶排放口处设置活性炭过滤吸附装置，对放射性气溶胶进行吸附，降低放射性气溶胶外排浓度，吸附材料应定期更换（半年更换一次）并作为固体放射性废物处理。整个核医学科工作场所均拟设置新风系统及独立的排风系统。

本项目核医学排风风管设计在有辐射防护屏蔽的房间内，对于穿墙后的风管采用

屏蔽补偿措施（与墙体屏蔽相当），经过防护措施后，对周围环境的辐射影响较小。楼顶排口日常并无公众居留且位于21F，评价范围内保护目标普遍远低于该楼层，预计核素落地浓度较低，对公众内照射影响极小。建设单位仅于医院未接诊的时间段检修屋顶或相应设备，因此不会对维修人员造成内照射影响。

由于本项目使用自动分碘仪，辐射工作人员不接触裸露的 ^{131}I ，因此本项目仅考虑在手套箱内完成分装工作的辐射工作人员可能受到得内照射影响，参考*，因此针对本项目碘以外不易挥发的核素按 0.1%统计手套箱内挥发的气态放射性废物活度比例。另参考*，手套箱的泄漏率一般在 0.05-0.5%。在戴口罩情况下，根据*可知上述气体有 95%可被口罩过滤。保守假设未进入通风系统的气体均被工作人员吸入，辐射工作人员吸入气体比例为*=0.000025%。结合*可推算工作人员吸入污染空气可致肺部内照射剂量：

*.....（公式11-5）

表11-16 工作人员吸入内照射年有效剂量

核素	岗位	年吸入活度 (Bq)	$e_{ip}(\tau)$ (Sv/Bq)	D_i^{inh} (mSv)
^{99m}Tc	医师 A	*	*	2.52E-02
^{18}F	医师 C	*	*	1.46E-01
^{68}Ga	医师 C	*	*	2.25E-02
^{131}I	均由自动分碘仪完成工作，医师只需将药罐放入设备，不接触裸露的药物			

表11-17 每位辐射工作人员的最大年有效剂量一览表

岗位	辐射工作人员年有效剂量 (mSv)		
	外照射	内照射	合计
医师 A	*	*	1.63
医师 B	*	*	1.06
医师C	*	*	2.72
医师D	*	*	4.03
护师	*	*	2.53

因此科室满负荷运行情况下本项目**辐射工作人员**所受的年有效剂量最大仍为**4.03mSv**。

1.7.2 臭氧及氮氧化物

PET-CT和SPECT-CT机房采用机械通排风，通风条件良好，产生的臭氧通过排风管道抽排至大气环境中，经自然分解和稀释对周围大气环境中臭氧浓度影响甚微。

1.8 水环境影响分析

核医学科所有废水经专用排水管道排入院区北侧绿化下方新的衰变池内暂存衰变，污水管采用耐酸防腐材料且设计在屏蔽层中，垂直穿屏蔽体部分将安装屏蔽补偿。

衰变池设计有5级并联槽式衰变池。每级池子可使用容积为23.99m³，总容积119.95m³。每天病人产生的核素液态放射性废物432L，辐射工作场所及人员产生液态放射性废物35L。根据表10液态放射性废物分析，拟计划排水周期为181天。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期小于24小时的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放”的要求、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期大于24小时的放射性废液暂存时间超过10倍最长半衰期（碘-131核素的暂存超过180天）”的要求以及国家核安全局2023年9月13日发布的《关于核医学标准相关条款咨询的复函》中“含碘-131液态放射性废物暂存180天后，衰变池废水可直接排放”，因此本项目衰变池暂存超过181天后废水直接排放的设计可以满足要求。假设单个池子放入10周废水，在核医学科运行满36周（即开始启用3#衰变池后）时即可排放1#衰变池内废水。

综上所述，本项目衰变池完全能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）相关要求。

本项目衰变池位于院区北部绿化下方，衰变池底部为土层，衰变池四周墙体为300mm混凝土、顶部为250mm混凝土。检修口井盖为250mm混凝土。

预计患者用药量的10%排入衰变池。由于关注点处辐射剂量率与核素的活度A、常数Γ和透射比η有关。衰变池中诊断使用的核素半衰期较短，暂存到第二天时相对第一天的液态放射性废物中的核素活度较小，因此考虑当天进入衰变池的诊断核素的活度作为源强进行计算。根据放射性核素衰变公式 $N = A_0 e^{-\lambda t}$ 计算¹³¹I已趋于平衡时活度为4.08E+09Bq（每个池子可容纳51天废水，考虑衰变池安全液位，每个池子存入10周的污水。假设5个池子存满时）。

保守将衰变池作为点源，衰变池的中心至上表面30cm周围当量率剂量率计算结果见下表。

表11-18 核医学科衰变池外辐射水平估算结果

核素	排入场所	半衰期	每天排入液态放射性废物衰变系统的核素活度Bq	所有衰变池存满时运营时间		
^{99m} Tc	绿化下方衰变池	6.02h	*	*		
¹⁸ F		109.8min	*	*		
⁶⁸ Ga		68.3 min	*	*		
¹³¹ I		8.02d	*	*		
序号	参考点位置	源强（Bq）	屏蔽材料及厚度	屏蔽距离（m）	透射因子	参考点辐射剂量水平（μSv/h）
1	上方30cm处	^{99m} Tc	*	*	*	1.53

(绿化区域)	¹⁸ F	*	*	*
	⁶⁸ Ga	*	*	*
	¹³¹ I	*	*	*

由上表估算结果可知，衰变池周围辐射剂量率最大为1.53μSv/h，满足小于2.5μSv/h的管理目标限值要求。预计上方绿化区域内保护目标的年有效剂量为1.53μSv/h*2000h*(1/40)/1000=7.65E-02mSv，本项目衰变池对周围公众辐射影响满足管理目标限值要求，预计对人员年有效剂量贡献极小。

液态放射性废物管道外环境影响分析

本项目核医学科的液态放射性废物排水管道位于地下防护工程中央以及土层下方，无曝露于地面的放射性废液管道。核医学科下方的管道处于180mm轻质混凝土汇中（密度不小于1.6g/cm³），上方为120mm混凝土，管道下方为180mm混凝土。

本项目计算液态放射性废物管道对外环境的辐射影响时，参照《辐射防护导论》P78公式（c），下方停车场日常鲜有人居留，因此计算管道上方人员居留位置的周围当量剂量率：

*.....（公式 11-6）。

表 11-19 液态放射性废物排水管道表面 30cm 处辐射水平计算结果一览表

核素	A (MBq)	Γ_K ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	L (m)	r (m)	η	K_a ($\mu\text{Sv/h}$)
^{99m} Tc	*	*	*	*	*	2.95E-03
¹⁸ F	*	*	*	*	*	1.12E-01
⁶⁸ Ga	*	*	*	*	*	3.51E-02
¹³¹ I	*	*	*	*	*	1.39E-02

注：核医学科患者单次排泄物内核素活度排泄比率保守按10%进行计算，假设同一时期所有卫生间满员；

由上表可知，液态放射性废物专用管道外对周围公众产生的辐射影响极小。

1.9 固体废物环境影响分析

本项目核医学科产生的固体放射性废物先暂存在各房间的铅废物桶内，铅废物桶内放有专用塑料袋，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物先装入利器盒中，再放入废物铅桶的专用塑料袋中，每日工作结束后集中收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在诊断区的放射性废物暂存间1和4的铅废物桶内，含有¹⁸F、⁶⁸Ga、^{99m}Tc核素的废物暂存时间31天，含有¹³¹I核素的废物暂存181天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、β表面沾污小于0.8Bq/cm²后，作为医院医疗废物统一处理。

本项目控制区和监督区的通风系统更换的废活性炭集中收集放置在放射性废物

暂存间的铅废物桶内暂存181天，经监测辐射剂量并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、β表面沾污小于0.8Bq/cm²后，结合HJ 1188—2021的7.2.3.1和7.4.2作为医疗废物处理统一处理。

核医学科场所内使用的PET-CT和SPECT-CT配套使用的校准源随着核素的自然衰变，放射源的活度不断降低，当放射源使用到一定时间后，会产生退役的放射源，退役放射源由原厂家回收处置。

由上述可知，本项目固体放射性废物的处理措施有效可行，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关固体放射性废物处理的要求。本项目固体放射性废物本身沾染的放射性核素活度浓度较低且主要为短半衰期核素，各房间每天产生的固体放射性废物较少，经过各房间废物铅桶的屏蔽后，预计废物铅桶外的辐射剂量率满足小于2.5μSv/h的要求，对周围环境辐射影响很小。

2.后装机辐射影响分析

2.1 后装机机房屏蔽效果预测

工作时间：根据建设单位提供的资料，运行后本项目后装机将用于妇科的放射治疗。后装治疗项目预估每天进行1场治疗，每周工作5天，单人单次平均治疗时间35min（含出束时间约20min，插管摆位10min，拔管退出机房5min）。后装机卡源发生概率较小，预计每年发生次数不超过1次，每次处置时间不超过5min。本项目后装机年工作250天，年诊疗250人次，因此考虑卡源情况后周出束时间最长为1.75h，年出束时间最长为83.4h。

评价依据：根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）的要求，在本项目后装机机房外设定关注点。从保守角度出发，在后装机机房设计的尺寸厚度基础上，针对关注点最不利的情况进行预测计算。机房西侧、北侧、东侧、下方为土层，因此上述方位均不进行剂量评价。

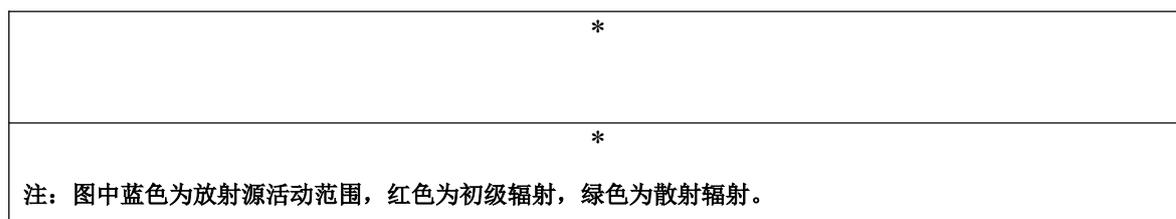


图 11-1 本项目后装机计算关注点示意图

1.1.1 后装机机房屏蔽体外关注点周围剂量当量率参考控制水平

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中公式确定周围剂量当量率参考控制水平。计算公式如下。

*.....（公式 11-7）

获得导出周围剂量当量率参考控制水平和最高周围剂量当量率参考控制水平后，选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平。

表 11-20 后装机机房外周围剂量当量率参考控制水平

关注点位	位置	居留因子	使用因子	周出束时间 h/周	\dot{H}_c , $\mu\text{Sv}/\text{周}$	剂量率参考控制水平 $\mu\text{Sv}/\text{h}$			
						$H_{c,d}$	$\dot{H}_{c,max}$	\dot{H}_c	
后装机 机房	控制室 (a 点)	控制室	*	*	*	*	59.9	2.5	2.5
	治疗机房入口 (g 点)	缓冲区	*	*	*	*	299.4	2.5	2.5
	院区道路 (I 点)	院区道路	*	*	*	*	45.7	10	10

*通常院区道路的居留因子为1/40，考虑到放疗中心上方为院区中央，经过人流较多，因此居留因子保守取1/16。

2.1.2 后装机出源状态下机房屏蔽体外辐射剂量估算

各关注点（见图11-1）人员可能受到的最大剂量可根据以下公式进行计算：

*.....（公式 11-8）

*.....（公式11-9）

*.....（公式11-10）

*.....（公式11-11）

根据图 11-1, 将各参数代入上式得出本项目后装机机房的屏蔽核算结果并评价如下表：

表11-21 后装机辐射对四周关注点的剂量估算表

屏蔽体	a（控制室）	l（屋顶院区道路）
屏蔽厚度X（mm）	*	*
有效屏蔽厚度Xe（mm）	*	*
TVL ₁ （mm）	*	*
TVL（mm）	*	*
B	*	*
H ₀ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	*	*
f	*	*
R	*	*
剂量率H（ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	8.74E-02	1.43E-01
剂量率参考控制水平H _c （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）	2.5	10
是否满足要求	满足	满足

后装机房入口防护门屏蔽计算（g点）

根据*后装治疗按 4π 发射的点源考虑，治疗源在O点 4π 发生的 γ 射线（即初级辐射）通过迷道散射至机房入口产生的散射辐射剂量率 H_1 ，采用下式计算：

*（公式 11-12）。

表 11-22 后装机房入口处的辐射剂量估算表

散射辐射		初级辐射	
射线路径：O→i→g		射线路径：O→g	
A (MBq)	*	A (MBq)	*
$K_\gamma [\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})]$	*	$K_\gamma [\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})]$	*
$S_w (\text{m}^2)$	*	R (m)	*
α_w	*	有效屏蔽厚度Xe (mm)	*
$R_1 (\text{m})$	*	防护门厚度	*
$R_2 (\text{m})$	*	B ₂	*
防护门厚度	*		
B ₁	*		
$H_1 (\mu\text{Sv/h})$	7.08E-01	$H_2 (\mu\text{Sv/h})$	2.46E-02
合计H ₃ ($\mu\text{Sv/h}$)	7.33E-01		
剂量率参考控制水平Hc ($\mu\text{Sv/h}$)	2.5		
是否满足要求	满足		

*散射后能量约为 0.2MeV，铅的 TVL=TVL1 为 5mm，初级辐射铅的 TVL=TVL1 为 16mm，根据公式 11-3 计算 B₁ 和 B₂；

因此根据表 11-2 可知后装机房周围剂量当量率均满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中剂量率参考控制水平的要求。

2.2 后装机影响的职业及公众周/年有效剂量估算

2.2.1 后装机未出源状态下给病患摆位及推出机房时对医务人员的影响

后装机为一铸钢容器，内填充金属钨和贫化铀以及铅作防护材料，使源在其贮源容器内时泄漏辐射符合国家标准要求。参考《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS262-2017）表1后装治疗设备质量控制检测项目与技术要求，距离贮源器表面 100cm处泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $5\mu\text{Sv/h}$ 。结合机房屏蔽体透射因子数值可知，未出源状态下对机房外剂量贡献极小。

当放射源处于未出源状态下，医师将病患推入后装机房，保守按照1名医师对病人进行摆位（距离 γ 放射源容器表面1m处，操作时间：约8min）和插管（距离 γ 放射源容器表面1m处，操作时间：约2min）操作。此时后装机处于非工作状态，放射源处于 γ 放射源容器内。医院后装治疗量预估约250人次/年，则估算出1名医师/物理师在

做治疗前的摆位及插管过程中接受的年有效剂量为 $5\mu\text{Sv/h} \times 10\text{min} \times 250\text{人次/年} / 60 / 1000 = 0.208\text{mSv/a}$ 。治疗结束回源后，医师将进入机房为病患拔管（距离 γ 放射源容器表面1m处，操作时间：约2min），然后将病患推出机房（距离 γ 放射源容器表面1m处，推出时间：3min），此时后装机处于非工作状态，放射源处于 γ 放射源容器内。医院后装治疗量预估约250人次/年，则估算出1名医师/物理师在做治疗后的拔管及退出机房过程中接受的年有效剂量为 $5\mu\text{Sv/h} \times 5\text{min} \times 250\text{人次/年} / 60 / 1000 = 0.104\text{mSv/a}$ 。

2.2.2 处理后装机卡源问题对医务人员的影响

考虑到后装机治疗过程中可能会出现卡源，此时需要医师/物理师在控制室按下急停按钮回收放射源。如果后装机电机出现故障，回源失败，医师/物理师佩戴好个人剂量报警仪、穿戴辐射防护用品（0.75mm铅衣）后手持辐射巡测仪进入机房，将源置入应急铅罐内，巡测仪提示是否剂量在安全范围内，提示放射源归位。

后装机卡源发生概率较小，按照每年发生一次估算医师受到的剂量，保守按照医师在控制室回源（回源时间：2min）失败，医师需进入机房手动回源考虑（此时后装机处于出源状态，医师距离 γ 放射源 1m 处，回源时间：3min），则估算出 1 名医师手动回源过程中接受的年有效剂量为 $4.10\text{E}+04\mu\text{Sv/h} \times 0.898$ （铅衣屏蔽透射因子） $\times 3\text{min} / 60 / 1000 = 1.84\text{mSv}$ 。

2.2.3 后装机出源状态下对各关注点的影响

本项目后装机房各关注点的年有效剂量估算公式见下式。

*-----公式（11-13）

各关注点的年有效剂量估算结果见下表。

表11-23 后装机机房墙、顶、门外辐射影响理论估算结果汇总表

位置	居留因子	使用因子	周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率控制水平($\mu\text{Sv/h}$)	周剂量估算值($\mu\text{Sv/周}$)	目标管理值 ($\mu\text{Sv/周}$)	年剂量估算值(mSv/a)	目标管理值 (mSv/a)	结论
控制室 (a点)	*	*	8.74E-02	2.5	1.46E-01	100	7.28E-03	5	满足
治疗机房入口 (g点)	*	*	7.33E-01	2.5	2.45E-01	100	1.22E-02	5	满足
院区道路 (l点)	*	*	1.43E-01	10	1.56E-02	5	7.45E-04	0.1	满足

本项目医师/物理师摆位结束后将回到控制室内对病人进行观察。因此医务人员年有效剂量为 2.93mSv/a （摆位插管 0.208mSv/a +出束治疗 $1.22\text{E}-02\text{mSv/a}$ +拔管退出机房 0.104mSv/a +卡源时回源 1.84mSv/a +兼岗工作-2023年最大年有效剂量 0.77mSv ），

考虑卡源时间后机房外辐射工作人员周有效剂量为 $2.57E-02\mu\text{Sv}$ 。

表11-24 后装机50m保护目标辐射影响理论估算结果汇总表

关注点	方位、最近距离	参考点位	关注点剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	居留因子	周/年出束时间h	周有效剂量 $\mu\text{Sv/周}$	目标管理值 $\mu\text{Sv/周}$	年有效剂量 mSv/a	剂量管理值 mSv/a	评价结论
放疗中心	南侧、楼上约9m	g点	*	*	*	$1.58E-02$	5	$7.55E-04$	0.1	满足
3#病房楼	北侧最近约3.8m	1点	*	*		$1.73E-02$	5	$8.26E-06$	0.1	满足
后勤综合楼	西侧约46m	1点	*	*		$1.18E-04$	5	$5.64E-06$	0.1	满足
1#楼	南侧约8m	1点	*	*		$3.90E-03$	5	$1.86E-04$	0.1	满足
院区道路及绿化	楼上紧邻	1点	*	*		$1.56E-02$	5	$7.45E-04$	0.1	满足
三元坊巷69号2幢4F农行宿舍、小区道路及库房	距离外墙约27m,距楼约32m	1点	*	*		$3.43E-04$	5	$1.63E-05$	0.1	满足

*保护目标处剂量率根据参考点剂量率通过距离衰减进行计算取值。

后装机机房关注点周围剂量当量率、辐射工作人员及周围公众周有效剂量及年有效剂量能够满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及本项目管理目标限值要求。

3. 本项目辐射影响的剂量叠加

放疗中心公众叠加核医学科和后装机的影响后公众年有效剂量为 $1.16E-03\text{mSv}$ ($7.55E-04+4.02E-04$)，核医学科叠加后装机影响后公众年有效剂量为 $7.98E-02\text{mSv}$ ($8.26E-06+7.98E-02$)，3#病房楼叠加核医学科和后装机影响后公众年有效剂量为 $7.98E-02\text{mSv}$ ($7.98E-02+8.26E-06$)，院区道路及绿化叠加核医学科和后装机影响后，公众年有效剂量为 $4.60E-02\text{mSv}$ ($7.45E-04+4.53E-02$)。由于周剂量限值比年有效剂量限值均摊到每周的均值更大，因此年有效剂量满足限值情况下，预计叠加后的周剂量同样满足要求。

4. 本项目辐射影响汇总			
表11-25 本项目辐射影响理论估算结果汇总表			
计算结果最大值		管理目标	评价结论
核医学科			
关注点处周围剂量当量率	控制区外 2.19 μ Sv/h	A)控制区屏蔽体外 $<2.5\mu$ Sv/h, 偶尔居留场所小于 $<10\mu$ Sv/h。 B)手套箱外表面30cm处人员操作位 $<2.5\mu$ Sv/h, 非作位表面的周围剂量当量率 $<25\mu$ Sv/h。	满足
	偶然居留 5.03 μ Sv/h		
	操作位 1.50 μ Sv/h		
	非操作位 1.37Sv/h		
辐射工作人员年有效剂量	4.03mSv/a	<5 mSv/a	满足
PET-CT机房屏蔽体铅当量	最薄处 3.98mmPb	≥ 2.5 mmPb	满足
PET-CT机房屏蔽体外周围剂量当量率 (CT贡献)	3.85E-02 μ Sv/h	$<2.5\mu$ Sv/h	满足
SPECT-CT机房屏蔽体铅当量	最薄处 3.25mmPb	≥ 2.5 mmPb	满足
SPECT-CT机房屏蔽体外周围剂量当量率 (CT贡献)	7.18E-01 μ Sv/h	$<2.5\mu$ Sv/h	满足
管道外周围剂量当量率	1.12E-01 μ Sv/h	$<2.5\mu$ Sv/h	满足
衰变池上方周围剂量当量率	1.53 μ Sv/h	$<2.5\mu$ Sv/h	满足
后装机			
辐射工作人员周有效剂量	2.57E-02 μ Sv	$<100\mu$ Sv/w	满足
辐射工作人员年有效剂量	2.93mSv	<5 mSv/a	满足
后装机影响的周围公众周有效剂量	1.73E-02 μ Sv	$<5\mu$ Sv/w	满足
公众			
本项目公众年有效剂量	7.98E-02mSv	<0.1 mSv/a	满足
事故影响分析			
<p>本项目为使用 V 类、III类放射源、III类射线装置及乙级非密封放射性物质工作场所。在操作过程中，如果不被安全管理或可靠保护，可能对辐射工作人员及公众造成放射性损伤和环境污染。V 类放射源的辐射影响较小，在妥善取用的情况下难以发生辐射事故，建设单位应切实落实放射源使用台账工作。</p>			
1.主要事故风险			
(1) 核医学科主要事故风险			
<p>1) 核医学科辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外照射和辐射污染；例如：注射器排气时挤出放射性药物、注射器有损漏以及注射针头没有装牢固，造成放射性核素泼洒或散逸挥发，操作台面或仪器设备受到放射性沾污；工作人员误操作</p>			

导致放射性药物的泼洒,使操作台面或仪器设备等受到放射性沾污,放射性药物挥发,对工作人员造成外照射,工作人员吸入放射性药物,对人员造成内照射;

2) 核医学科由于管理工作不到位导致 ^{18}F 、 ^{131}I 等放射性药物丢失、被盗对公众造成外照射。

3) 核医学科场所通风管道因故障导致气态放射性废物挥发,对人员造成内照射。

(2) III类射线装置主要事故风险

1) III类射线装置操作人员违反放射操作规程或误操作,造成意外照射;

2) III类射线装置曝光过程中有人员误留或误入机房内,使其受到照射;

3) III类射线装置机房防护门在未完全关闭情况下出束曝光,致使射线泄漏到机房外,给周围活动的人员造成不必要的照射。

(3) 后装机主要事故风险

1) 源丢失所产生的辐射事故,造成相关接触人员受到不必要的照射。

2) 因设备故障或安全装置故障,在治疗中出现卡源,造成人员受到不必要的照射。

3) 放射源在使用或贮存期间,机房发生火灾、爆炸等事故,导致贮源容器破坏,放射源裸露等失控事故,造成相关接触人员受到不必要的照射。

2.事故处理方法及预防措施

(1) 核医学科事故处理方法及预防措施

1) 核医学科当发生液态放射性药物泼洒导致的表面沾污事故时,应及时去污,如:迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体,以防止污染扩散,使用擦拭纸从污染区的边沿向中心擦抹,直到擦干污染区。人员去污时需戴胶皮手套,防止放射性药物粘在人体表面。去污后,废弃手套、擦拭纸、吸附衬垫、药棉等作为固体放射性废物储存在污物间内,十个半衰期后作为普通医疗废物处理;

2) 去污结束后,需用表面沾污仪检测污染区,根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)要求,控制区的工作台、设备、墙壁、地面需去污 β 表面污染 $<40\text{Bq}/\text{cm}^2$;监督区的工作台、设备、墙壁、地面以及控制区、监督区的工作服、手套、工作鞋需去污 β 表面污染 $<4\text{Bq}/\text{cm}^2$;手、皮肤、内衣、工作袜需去污 β 表面污染 $<0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$,如未达到去污控制标准,这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭,直到该污染区 β 表面污染达到控制标准为止;

3) 加强制度管理及增强安全意识, 防止 F-18、I-131 等放射性药物丢失、被盗;
 4) 对工作人员造成额外照射, 应及时检测个人剂量计, 剂量超标则人员应及时调岗, 并及时就医检查; 对工作人员吸入放射性药物, 对人员造成内照射, 工作人员应及时到专业医院就诊检查治疗。

(2) III类射线装置事故处理方法及预防措施

1) 辐射工作人员应经常加强培训, 按照操作规程操作设备, 避免发生误照射。
 2) 辐射工作人员曝光前应检查机房内是否有人员误留, 确保在无其他人员下曝光, 并且曝光时辐射工作人员应使用辐射巡测仪进行巡检, 发现异常情况应立即停止曝光, 并检查排除异常, 做好记录。
 3) 对人员造成额外照射, 应及时检测个人剂量计或估算累计受照剂量, 并及时就医检查。

(3) 后装机事故处理方法及预防措施

1) 辐射工作人员应经常加强培训, 按照操作规程操作设备, 避免发生误照射。
 2) 一旦发生卡源或脱落事件第一时间将施源器从患者身上移出机房, 并在机房外张贴禁止入内标志, 清场后封锁放疗中心并通知厂家安排专业人员前来协助, 辐射工作人员进入机房前应穿戴好所有防护用品并佩戴好个人剂量报警仪。

辐射工作人员首先在控制室内摁下控制面板上的急停按钮回收放射源, 如果回源失败, 物理师佩戴好个人剂量报警仪后手持辐射巡测仪进入机房后立即关闭防护门, 物理师持剂量巡测仪快速寻找卡源位置, 物理师拿起应急钳子夹断连接导管, 打开应急安全容器上部的盖子, 用长钳将装有放射源的施源器插到应急通道中, 引导传输导管穿过容器边缘的凹槽, 盖上盖子, 直到巡测仪检测正常。将辐射警告标签挂在容器外, 将带放射源的施源器放入应急安全容器内。以上全程做好记录。

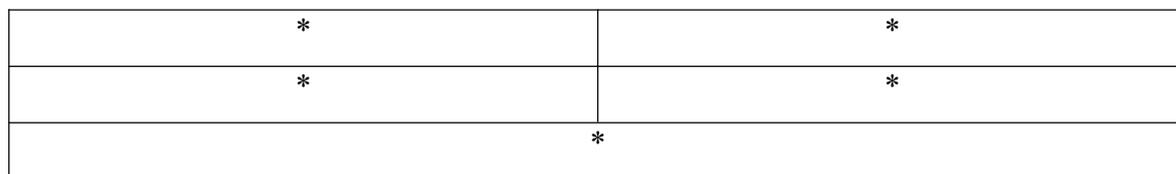


图 11-2 应急处理操作流程示例图

3) 对人员造成额外照射, 应及时检测个人剂量计或估算累计受照剂量, 并及时就医检查。

医院应加强辐射安全管理, 在项目运行前应制定相关操作规程和辐射安全管理制度, 并在实际工作中不断对其完善; 医院应定期对本项目核技术利用项目进行检查、

维护，发现问题及时维修；定期对工作场所进行检测；根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理与报告制度的通知》（环发<2006>145号）和《江苏省辐射污染防治条例》之规定，发生辐射事故时，医院应立即启动医院内部的事故应急方案，采取必要防范措施，并在1小时内向主管生态环境部门和当地公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，同时向主管卫生健康部门报告。事故发生后医院应积极配合上述部门调查事故原因，并做好后续工作。

医院应加强管理，严格执行安全操作规程。医院应经常对本项目核技术利用项目工作场所周围的环境辐射剂量率等，确保辐射工作安全有效运转。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，建设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；辐射工作人员必须通过辐射防护和安全专业知识及相关法律法规的考核。

江阴市人民医院已成立相应的辐射安全管理机构，并以文件形式明确各成员管理职责，辐射安全管理机构设有辐射防护负责人。本项目配备 17 名辐射工作人员，所有辐射工作人员应在项目运行前自主在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规，然后报考全国核技术利用辐射安全与防护考核，后装机项目辐射工作人员报考类别为“放射治疗”，核医学科辐射工作人员报考类别为“核医学”，辐射防护负责人报考类别为“辐射安全管理”，须通过考核后方能正式进行上岗。目前负责人、放疗科及部分核医学科工作人员已通过考核，部分核医学科辐射工作人员正在参与学习并计划参加考核。

辐射安全管理规章制度

江阴市人民医院已开展核技术利用项目，经核对已运行项目验收报告，确认建设单位已根据《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》等法律法规要求制定并下发一系列辐射安全和防护制度，辐射安全管理制度内容与其项目相符，且建设单位已在实际项目运营中进行了落实，并已根据定期演练情况不断完善应急预案等制度。制度包含辐射安全管理操作规程及规章制度，包括操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、事故应急制度等。

本项目为扩建核医学科及后装机项目。医院应将本项目纳入已制定的制度管辖范围内，补充新增 PET-CT 诊断项目、甲亢治疗项目的相关规章制度，并完善原有的后装机治疗项目相关制度，并在实际工作不断对其进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。本报告对各项管理制度制定要点提出如下建议：

岗位职责：明确管理人员、操作人员、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，层层落实。

辐射安全管理机构配置：医院已成立辐射安全与环境保护管理领导小组，负责全

院的辐射安全与环境保护管理工作。医院相关科室负责人还应根据本科室实际工作情况，制定完善本科室管理制度，加强内部的辐射安全管理情况日常监督和检查，将责任落实到个人。

操作规程：本项目核技术利用项目应制定设备的操作规程及治疗过程中应急措施，明确操作人员的权限以及操作时必须采取的防护措施。

放射性核素台帐和使用登记制度：本项目放射源及非密封放射性物质拟建立放射源台帐和使用登记制度，规范放射源台帐和核素使用登记记录，对放射源及非密封放射性物质的使用情况进行登记和跟踪记录。

辐射环境监测方案：医院应结合科室情况制定环境监测方案，并配置相应的辐射监测仪器，定期对工作场所环境辐射水平监测并做好监测记录，定期上报生态环境主管部门。

辐射防护和安全保卫制度：根据项目的具体情况完善辐射防护和安全保卫制度，重点是本项目核技术利用项目运行过程的辐射安全管理。

设备检修维护制度：明确监控设备以及监测仪器在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，剂量报警仪和监测仪器必须保持良好工作状态。

人员培训计划：完善人员培训计划，明确培训对象（辐射负责人、辐射工作人员均应参加培训）、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查，严禁无证人员上岗。

辐射事故应急预案：依据《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》的要求，明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员应定期组织培训和应急演练，并制定应急演习计划，确保应急和救助的装备、资金、物资准备等。辐射事故分类与应急响应的措施。当发生事故时，医院应当立即启动辐射事故应急方案，采取有效防范措施，及时制止事故的恶化，并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健康部门报告。事故发生后医院应积极配合生态环境部门、公安部门及卫生健康部门调查事故原因，并做好后续工作。

个人剂量监测及职业健康监护档案：完善人员个人剂量监测方案，在本项目运行前委托有资质单位对辐射工作人员开展个人剂量检测，所有辐射工作人员均配备个人剂量计，并定期按时送检，并建立辐射工作人员个人剂量监测档案。同时对辐射工作人员进行职业健康体检并定期复检，并建立辐射工作人员职业健康监护档案。

辐射监测

1. 监测方案

原有项目：

1) 根据检测报告，原有辐射工作场所周围剂量当量率及表面沾污检测结果均满足原环评及批复管理目标要求。未来建设单位应继续请有资质的单位定期对原有核技术利用项目辐射环境进行检测，每年 1~2 次；

2) 建设单位已监督辐射工作人员佩戴个人剂量计，并定期（不超过 3 个月）送有资质单位进行监测，业已定期补充完善个人剂量档案，已遵循《江苏省辐射污染防治条例》，“发现个人剂量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的环境保护、卫生部门调查处理”的要求。

3) 建设单位已针对在运行的辐射工作场所定期自行开展辐射监测，制定定期监测制度，监测数据存档，目前监测周期为 1 次/季度。

本项目计划：

1) 委托有资质单位定期对本项目核技术利用项目工作场所周围辐射环境进行检测，每年 1~2 次；

2) 委托有资质单位对辐射工作人员开展个人剂量监测，个人剂量计定期（不超过 3 个月）送检，并建立个人剂量档案；若发现个人剂量有异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理。

3) 本项目核技术利用项目运行状态时，辐射安全管理人员将定期对辐射工作场所周围的辐射水平进行监测，并做好相关记录。若发现辐射异常情况，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告。

2. 监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等要求，应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器；医院原有辐射工作场所已配有适应在用项目的 1 台辐射剂量巡测仪、1 台表面沾污仪和 7 台个人剂量报警仪，拟为本项目增配备 1 台表面沾污仪。项目运行后医院应定期对本项目核技术利用项目工作场所周围环境辐射水平监测，并做好监测记录。

医院将继续委托有资质的单位对本项目所有辐射工作人员开展个人剂量检测，并计划定期组织职业健康体检，并为所有辐射工作人员建立个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

非密封放射性物质

(1) 监测内容：运行前环境本底、运行后X- γ 辐射剂量率、 β 表面沾污、衰变池废水总 β 、气载放射性核素浓度。

(2) 监测范围：控制区、监督区、楼上和楼下区域及周围关注点、衰变池、通风排口。

(3) 监测点位和数据管理：应根据使用放射性核素种类、数量和操作方式，对核医学工作场所的外照射剂量率水平和表面放射性污染水平进行监测。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的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面的 γ 辐射剂量率。放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、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、帽等的表面 β 放射性污染。

射线装置工作场所：

(1) 监测内容：本项目运行前环境本底、运行后X- γ 辐射剂量率

(2) 监测范围：工作场所周围及其楼上

(3) 监测点位和数据管理：应监测各机房、手术室屏蔽体外30cm处X射线剂量率；防护门及缝隙处、管线洞口等。委托监测每年至少1次，自行监测建议至少每季度1次，本项目监测数据应当存档。

本项目定期监测点位见下表。

表 12-1 定期监测点位

项目	工作场所	监测项目	监测范围	监测频次	监测设备	
自主监测	非密封放射性物质工作场所	β表面沾污	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的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面的γ辐射剂量率。放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室的设施、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	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	表面沾污仪	
		X-γ辐射剂量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	不少于 1 次/月	X-γ辐射剂量率监测仪	
	射线装置工作场所	PET-CT 机房	X-γ辐射剂量率	屏蔽体外 30cm 处、观察窗及机房防护门及缝隙处、管线洞口等	建议 不少于 1 次/季度	X-γ辐射剂量率监测仪
		SPECT-CT 机房				
	放射源工作场所	后装机机房	X-γ辐射剂量率	在巡测的基础上，对关注点的局部屏蔽和缝隙进行重点检测。关注点应包括：南侧墙体、顶棚、机房门、管线洞口、工作人员操作位等	建议 不少于 1 次/季度	X-γ辐射剂量率监测仪
委托监测/年度检测	非密封放射性物质工作场所	β表面沾污	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的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面的γ辐射剂量率。放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室的设施、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	不少于 1 次/年	表面沾污仪	
		X-γ辐射剂量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面		X-γ辐射剂量率监测仪	
	射线装置工作场所	X-γ辐射剂量率	屏蔽体外 30cm 处、观察窗及机房防护门及缝隙处、管线洞口等	编制辐射防护年度评估报告（每年）	X-γ辐射剂量率监测仪	

	放射源工作场所	X-γ辐射剂量率	在巡测的基础上，对关注点的局部屏蔽和缝隙进行重点检测。关注点应包括：南侧墙体、顶棚、机房门、管线洞口、工作人员操作位等	建议 不少于1次/季度	X-γ辐射剂量率监测仪
委托监测/年度检测	其它	个人剂量	所有辐射工作人员	一季度一次 (需建立个人剂量档案)	个人剂量计
		总β	衰变池检测口	每次排放前	四路低本底α、β测量仪
		气体或气溶胶放射性浓度	排放口(应用核素，考虑到大部分核素为短半衰期核素，对应检测 ¹³¹ I)	1次/年	γ谱仪

监测质保：确保执行制定的《监测仪表使用与校验管理制度》，并利用委托监测获得的监测数据进行比对并建立比对档案。监测须采用国家颁布的标准方法或推荐方法并制定辐射环境监测管理制度。

落实以上措施后，本项目所配备的防护用品和监测仪器以及实施的监测方案能够满足相关管理要求。项目投运前，建设单位应当按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护措施进行验收。验收报告编制完成后应依法向社会公示验收报告。

在开始运营本项目后，应密切注意辐射工作人员个人剂量数值，根据累积剂量及时调整工作量，防止个人剂量超标。

辐射事故应急

江阴市人民医院应针对本项目可能产生的辐射事故情况完善辐射事故应急预案，应急预案内容应包括：

- (1) 应急机构和职责分工；
- (2) 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；
- (3) 应急演习计划；
- (4) 辐射事故分级与应急响应措施；
- (5) 辐射事故调查、报告和处理程序。

江阴市人民医院应依据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145号文）、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部令第18号）及《江苏省辐射污染防治条例》的要求，发生辐射事故或者发生可能引发辐射事故的运行故障时，单位应当立即启动本单位的应急方案，

采取必要防范措施，在事故发生后1小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。并在两小时内填写《辐射事故初始报告表》。事故发生后医院应积极配合生态环境部门、公安部门及卫生健康部门调查事故原因，并做好后续工作。

医院应加强管理，严格执行安全操作规程。医院应经常监测本项目核技术利用项目工作场所周围的环境辐射剂量率等，发现问题及时排查，确保辐射工作安全设施有效运转。

表 13 结论与建议

结论

1. 辐射安全与防护分析结论

1.1 选址、布局合理性

本项目核医学科位于 3#病房楼 1F 西北角，改造后核医学科可分为 PET-CT 诊断区、SPECT-CT 诊断区和甲吸/甲亢区。

3#病房楼四周均为院区道路，相隔院区道路东侧为 2#病房楼，东南侧为三元坊巷居民区，南侧为放疗中心及 1#楼，西侧为待建的中央花园及下沉庭院（归类为绿化），北侧为环城北路。核医学科东侧由北往南依次为楼梯、消控中心和走道；南侧为走道和 1F 大厅，西侧为院区道路，北侧为院区道路及绿化（目前为院区道路及 8#楼，在核医学科建成前将拆除，该区域将恢复为绿化并埋设新建的衰变池），楼上为中心供应室，楼下为停车场、发电机房和配电机房。

本项目核医学科周围 50m 范围无居民区、学校等环境敏感目标。50m 范围内涉及院区内的①3#病房楼部分楼层及连廊，②放疗中心，③院区道路及绿化，④医疗废物暂存地，院区外的⑥环城北路及人行道。本项目周围环境保护目标主要为核医学科的辐射工作人员及周围公众。

本项目拟建的后装机机房及辅房位于 3#病房楼南侧的放疗中心，整体放疗中心位于地下 1F，地上 1F 为电梯厅及楼梯间入口，其周围均为院区道路、绿化及连廊，相隔上述区域东侧为三元坊巷居民区农行宿舍，南侧为 1#楼，西侧为中央花园及下沉庭院（归类为绿化），北侧为 3#病房楼。拟拆除原通往 1#楼地下的坡道区域、库房和候诊区，改造为后装机机房、控制室、缓冲区、走廊、铅模室、准备室、库房和更衣室。后装机机房西侧、北侧、东侧及下方均为土层，南侧为控制室和缓冲区，上方为院区道路。

本项目后装机机房周围 50m 范围涉及 2 处环境敏感目标（三元坊巷 69 号 2 幢 4F 农行宿舍以及江阴市妇幼保健院办公区域）。50m 范围内涉及院区内的①放疗中心，②3#病房楼部分楼层，③1#楼，④后勤综合楼部分楼层（5 楼为江阴市妇幼保健院办公区域），⑤院区道路及绿化，院区外的⑦三元坊巷 69 号 2 幢 4F 农行宿舍、小区道路及库房。本项目周围环境保护目标主要为从事后装机房工作的辐射工作人员及周围公众。

江阴市人民医院本项目为城中院区的原有核技术利用项目集中区域的扩建项目。从周边外环境关系可知，医院周边均为市政道路、居民区及商区区域，无大的环境制约因素。本项目周围核医学科项目 50m 范围无居民区、学校等环境敏感目标，本项目位于地下的放疗中心的后装机房位置尽可能远离了地面上环境敏感目标。

本项目建设地点均位于院区内，不额外新增用地，医院整体布局合理，且扩建的辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射通过采取相应的治理措施后对周围环境影响较小，从辐射安全防护角度分析，本项目选址合理。本项目辐射工作人员配置情况如下：放疗科配备 10 名医师、2 名物理师，均为原有辐射工作人员，将兼岗放疗科其他核技术利用项目工作。核医学科配备 4 名医师、1 名护师，均为原有辐射工作人员，本项目工作即为核医学科所有核技术项目工作。

1.2 辐射安全与防护措施

(1) 核医学科

核医学科除采用混凝土、混凝土砌块、实心砖、铅板、铅观察窗建设主体工程用于防护外，拟设置的辐射安全措施：①电离辐射警告标志②受检者导向标识或导向提示③监视设施或观察窗和对讲装置④工作状态指示灯⑤单向门及门禁⑥自动分碘仪⑦储存、转运等容器⑧手套箱⑨防护用品⑩储源柜⑪已考虑防护设计的污水管道⑫监测仪器⑬闭门装置⑭双人双锁⑮应急物资⑯洗消处理设备⑰铅废物桶⑱缓冲区⑲独立通风系统⑳台账。CT 机房拟设置的辐射安全措施：①警示标志及设施②闭门装置与防夹装置③急停按钮④开门按钮⑤门灯联锁⑥对讲装置⑦防护用品⑧监测仪器⑨通风系统。

本项目核医学科辐射安全措施能够满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关辐射安全管理要求。

(2) 后装机机房

后装机机房除采用混凝土和铅板建设主体工程用于防护外，拟设置如下措施：

设备固有安全措施：①设备外屏蔽体采用铸铁制造，设计满足防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏需求②设备控制系统能准确地控制照射条件，有放射源启动、传输、驻留及返回工作贮源器的源位显示与治疗日期、通道、照射总时间及倒计时时间的显示③系统电源开关④启动按钮⑤紧急回源装置⑥施源器与放射源联

锁⑦密码设置⑧急停按钮⑨钥匙开关⑩仿真源模拟运行系统。

拟设置的辐射安全措施：①电离辐射警告标志和工作状态指示灯②监控及对讲系统③固定式辐射剂量监测仪④门—机联锁装置⑤紧急开门装置和防夹装置⑥急停按钮⑦安全联锁⑧防护门⑨人员防护用品及应急设施⑩人员监测设备⑪通风设施⑫应急贮源容器⑬自动回源按钮⑭长柄镊子。

本项目后装机机房辐射安全措施能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）相关辐射安全管理要求。

此外，本项目所有辐射工作场所均将按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）进行两区划分并进行管理。上述措施满足有关国标和法律法规的要求。

1.3 辐射环境管理

医院在管理本项目时将做到以下几点：

1) 委托有资质单位每年对本项目核技术利用项目工作场所周围环境辐射水平进行检测。

2) 医院将利旧原有的 1 台辐射剂量巡测仪、1 台表面沾污仪和 7 台个人剂量报警仪，计划增加 1 台表面沾污仪。定期工作场所辐射水平进行检测。

3) 医院将确保本项目配备的辐射工作人员在上岗前参加并通过辐射安全与防护知识考核，必须通过考核后方能正式进行上岗。

4) 在本项目运行前，医院委托有资质单位对本项目辐射工作人员开展个人剂量监测，所有辐射工作人员均配备个人剂量计，并定期按时送检，并建立辐射工作人员个人剂量监测档案。

5) 在本项目运行医院将安排新增辐射工作人员进行职业健康体检并定期复检，并建立辐射工作人员职业健康监护档案。

6) 医院已成立辐射防护管理机构，并以文件的形式明确各成员管理职责。同时在项目运行前完善相关辐射安全管理制度并严格执行。

医院的上述管理计划符合有关法律法规的规定。

2.环境影响分析结论

(1) 辐射环境影响分析结论

本项目辐射工作场所建筑均设计了满足防护要求的屏蔽体厚度，对 X 射线、 β 射线、 γ 射线起到了有效的屏蔽。本项目运行后，辐射工作人员应按国家有关要求佩戴个人剂量计并建立个人剂量档案，定期进行职业健康体检并建立职业健康档案。

在严格落实环评提出的要求后，根据理论计算，本项目辐射工作人员、周围公众及敏感点人员年受照有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）剂量限值和本项目管理目标限值的要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。评价结果表明本项目辐射工作场所的防护性能符合要求。

(2) 水环境影响分析

本项目核医学科工作场所辐射工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水以及患者冲洗排便用水。通过独立的废水管道收集来自核医学科中心工作场所的液态放射性废物，进入本项目新建的废水衰变池，进行衰变处理，每级衰变池中的废水暂存181天后排入医疗废水处理站进一步处理后纳入市政污水管网。本项目放射性废水处理措施能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）中液态放射性废物管理的相关要求。

(3) 固体废物影响分析

本项目产生的放射性废物主要为：核医学科工作场所辐射工作人员操作过程产生的注射器、棉棒、一次性卫生用品和更换下的废活性炭。医院拟将上述固体放射性废物采用专用塑料包装袋专门分类收集，按序封闭暂存于废物间的放射性衰变桶内（每袋废物重量不超过 20kg，周围剂量当量率和表面沾污情况满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）），让放射性物质自行衰变，本项目含有 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 及 ^{68}Ga 的固体放射性废物暂存 31 天，含有 ^{131}I 的固体放射性废物暂存 181 天，经检测符合标准后作为普通医疗废物处理。在整个收集、储存、处理过程中，做好台账记录，台账内容应包括：标明收贮时间、种类及数量、储存时间、废物最终处置去向等。本项目放射性固体废物处理措施能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ

1188-2021)及《核医学放射防护要求》(GBZ 120—2020)中固体放射性废物管理的相关要求。

(4) 大气环境影响分析

本项目辐射源产生的射线装置与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧、氮氧化物经通风系统抽取后排放大气,产生的臭氧量较少且臭氧极不稳定,再经大气稀释自然扩散后,对周围大气环境影响轻微。

本项目核医学科工作场所运行过程可能会产生少量的放射性气溶胶,该场所拟设置有通排风系统,且设有活性炭过滤装置,产生的少量放射性气溶胶经活性炭过滤后对周围环境影响很小。

3.可行性分析结论

实践正当性及代价利益分析

本项目的建设可以更好地满足患者就诊需求,提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展,对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用,因此,该项目的实践是必要的。医院在放射诊断、放射治疗过程中,对放射源、射线装置及非密封放射性物质的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施,对放射源、射线装置的安全管理在建立相应的规章制度。因此,在正确使用和管理放射源、射线装置的情况下,可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害,该核技术应用实践具有正当性。符合辐射防护“实践的正当性”原则。

综上所述,江阴市人民医院扩建核技术利用项目符合实践正当化原则,已(拟)采取的辐射安全和防护措施适当,工作人员及公众受到的年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“剂量限值”及目标管理值的要求。在落实本报告提出的各项污染防治和管理措施后,公司将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施,其设施运行对周围环境产生的影响较小,故从辐射环境保护角度论证,项目可行。

建议和承诺

- 1) 该项目运行后，应严格遵循操作规程，加强对人员的培训，杜绝麻痹大意思想，避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。
- 2) 各项环保设施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。
- 3) 定期进行辐射工作场所的检查及监测，对于监测结果偏高的地点应及时查找原因、排除事故隐患，把辐射影响减少到“可以合理达到的尽可能低的水平”。
- 4) 建设单位在获得本项目环评批复后且建成后根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求申领辐射安全许可证。
- 5) 根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》第十二条 除需要取得排污许可证的水和大气污染防治设施外，其他环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月；需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。建议建设单位在本项目环境保护设施竣工后 3 个月内进行竣工环保验收。
- 6) 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》要求编制评估报告，每年一月各单位根据上一年度辐射安全改进提升情况进行自评估，自评估报告作为年度评估报告附件，于 1 月 31 日前一并上传至国家核技术利用申报系统。

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

辐射污染防治措施“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预期投资 (万元)
辐射安全管理	成立辐射安全管理机构，并以文件形式明确各成员职责。	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》成立安全管理机构。	*
	管理制度：完善操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、事故应急制度等。		*
	辐射工作人员上岗前应通过辐射安全与防护知识考核（每5年重新参加考核）。	根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《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》，辐射工作人员应持有考核合格证。	*
	辐射工作人员均佩戴个人剂量计，开展个人剂量监测（常规监测周期一般为一个月，最长不应超过3个月。个人剂量档案长期保存）。	根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）辐射工作人员正常开展个人剂量监测，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021年修正本）》规定为“个人剂量档案和职业健康监护档案应当长期保存”。	*
	职业健康体检：定期组织职业健康体检，并按相关要求建立职业健康监护档案。（两次检查的时间间隔不应超过2年，必要时可增加临时性检查。）	根据《放射工作人员职业健康管理规范》应定期组织职业健康体检并建立辐射工作人员职业健康监护档案。	*
辐射防护措施	本项目核医学科（含射线装置）辐射工作场所、后装机辐射工作场所建筑均按照要求设计了防护要求的屏蔽体厚度，对X射线、β射线、γ射线能起到有效的屏蔽。	辐射工作场所关注点辐射剂量率能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）限值要求。 辐射工作人员及公众年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求，也符合本项目目标管理值的要求。（后装机职业人员周有效剂量不超过100μSv；公众周有效剂量不超过5μSv。核医学科及后装机职业人员年有效剂量约束值5mSv，公众年有效剂量约束值0.1mSv）。	*
污染防治措施	放射源经自然衰变使其活度逐渐下降，当活度过低而不能满足治疗需要时，放射源将被替换出来成为废放射源。医院将与放射源生产厂家签订退役放射源回收协议，当放射源退役后，将由放射源生产厂家回收处置。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中关于放射性废源处置的要求。满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中废物管理要求。	*
	射线装置开机出束期间产生的射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧、氮氧化物。 本项目核医学科工作场所运行过程可能会	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）《放射治疗辐射安全与防护要求》	*

	<p>产生少量的放射性气溶胶。 建设单位将设置通风系统，抽取后排放大气，产生的臭氧量较少且臭氧极不稳定，再经大气稀释自然扩散后，对周围大气环境影响轻微。</p> <p>场所设置有通排风系统，且设有活性炭过滤装置，产生的少量放射性气溶胶经活性炭过滤后对周围环境影响很小。</p>	(HJ1198-2021) 要求	
	<p>本项目产生的放射性废物主要为：核医学科工作场所辐射工作人员操作过程产生的医废（含更换下的废活性炭）及放射性废水和污泥。</p> <p>建设单位已制定放射性废物管理制度，并设计有暂存措施及衰变池。</p>	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）要求。	
辐射安全措施	<p>本项目辐射工作场所按照要求设置各项防护设施、防护用品和监测设施。</p>	能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求。	*
	<p>利旧原有的 1 台辐射巡测仪、1 台表面沾污仪及 7 台个人剂量报警仪，计划增加 1 台表面沾污仪。</p>	根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》满足工作场所日常监测要求。	*

以上措施必须在项目运行前落实。