

核技术利用建设项目
淮安市淮安医院核医学科项目
(重新报批)
环境影响报告表

淮安市淮安医院
2026 年 8 月

生态环境部监制

表 1 项目基本情况

建设项目名称		淮安市淮安医院核医学科项目（重新报批）			
建设单位		淮安市淮安医院 （统一社会信用代码：123208824695552149）			
法人代表					
注册地址		江苏省淮安市淮安区山阳大道 19 号			
项目建设地点		江苏省淮安市淮安区山阳大道 19 号淮安市淮安医院新院区放射治疗中心楼一层、二层南部			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 （万元）		6000	项目环保投资 （万元）	600	投资比例 （环保投资/总投资） 10%
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☒ 其他			占地面积（m ² ） 1213
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
		☒ 使用	☐ I类（医疗使用） ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☒ V类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☒ 乙 ☒ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类		
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类		
		☐ 使用	☐ II类 ☒ III类		
	其他	/			
	项目概述： 一、建设单位情况、项目建设规模、目的和任务的由来 1、建设单位基本情况 淮安市淮安医院始建于民国十六年（1927 年），曾用名淮安县人民医院、淮安市人民医院、淮安市楚州医院。2002 年曾增挂“淮安市肿瘤医院”牌子，2014 年更名为淮安市淮安医院（以下简称“医院”）。2021 年医院新院区（淮安区山阳大道 19 号）竣工投用，并于 2021 年完成医院（淮安区镇淮楼东路 161 号）整体搬迁，所有				

住院病人全部安全转移至新院区，以下所称“医院”均指“淮安市淮安医院新院区”。医院现已发展成为以肿瘤防治为特色、以综合诊疗为基础的三级综合医院。

医院原有放射诊疗项目包含 1 台医用直线加速器、3 台 DSA、1 台放疗定位 CT、15 台口腔科等Ⅲ类射线装置、1 间介入中心丙级非密封放射性物质工作场所，并使用 ^{125}I 粒子源开展植入治疗。其中放射治疗中心一层核医学科曾取得辐射环评批复（苏环辐（表）审（2021）62 号），批复取得后，该核医学科未按环评设计完成建设，亦未办理对应辐射许可。近期医院对核医学科整体建设方案进行了重大调整，本次建设内容与原批复核医学建设内容存在重大变动。依据《中华人民共和国生态环境法典》等法律法规，本次单独开展核医学科辐射环境影响评价并重新报批，本项目重新报批并取得批复后，建设单位不再按照原批复中的核医学科建设方案实施，核医学科建设和环保验收以本次重新报批文件及其批复为准；原批复中其他未发生变动的建设内容继续执行。

2、项目建设规模

2021 年，医院曾计划在放射治疗中心楼一层建设 1 个核医学科，该场所日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属乙级非密封放射性物质工作场所。该项目已于 2022 年 1 月 4 日取得江苏省生态环境厅的环评批复（文号：苏环辐（表）审（2021）62 号），核医学科已按照原环评阶段布局建成，但场所内各房间墙体使用材料密度不符合环评要求，未投运、未办理辐射安全许可、未办理竣工环保验收。

近期医院对核医学科整体建设方案进行了重大调整，原批复核医学相关建设内容与本次建设计划存在重大变动（详见后文“目的和任务的由来”）。依据相关法律法规，本次单独开展核医学科辐射环境影响评价并重新报批。

已批复的建设内容及环保手续履行情况见下表 1-1。

表 1-1 环评批复（文号：苏环辐（表）审（2021）62 号）建设内容、环保手续履行情况一览表

批复建设内容				辐射安全许可	竣工环保验收	本次重新报批建设内容
项目	主要内容	性质	用途			
放射肿瘤治疗项目	1#、2#加速器机房配 2 台医用直线加速器（10MV X 射线 / 22MeV 电子线	Ⅱ类射线装置	放射治疗	1#机房内配置的一台医用直线加速器（已许可，2#机房内配置的一台医用直线加速器未许可）	1#机房及配置的一台医用直线加速器已于 2025 年 3 月 27 日完成分期竣工环境保护验收，2#机房已建成，未配置医用直线加速器，不具备验收条件未验收	不涉及

	1 座后装机机房：配 1 台后装治疗机，内含 ^{192}Ir 放射源（单枚最大活度 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ）	III 类放射源	放射治疗	已许可	不具备验收条件，尚未验收	不涉及
	1 座 CT 模拟机房：1 台 CT 模拟机（140kV/800mA）	III 类射线装置	放射治疗模拟定位	已许可（大孔 CT）管电压 140kV，管电流 666mA	已备案	不涉及
放射治疗中心一层设核医学科（乙级非密封源工作场所）	*SPECT/CT 机房 1 座，设备 1 台（140kV/800mA）	III 类射线装置	核素显像用射线装置	未购置设备、未许可	1 座 SPECT/CT 机房布局已按环评文件建成，未购置原环评中批复的 1 台 SPECT/CT，未使用、未许可、未验收	本次重新报批环评（拆除现有已建成的墙体（低密度材料），重新布局，重新建设，并使用符合规定要求的辐射屏蔽体，扩建核医学工作场所），拟在核医学科一层新建 PET/CT 机房 1 座，配置 PET/CT 设备 1 台；在二层新建 SPECT/CT 机房 1 座，配置 SPECT/CT 设备 1 台，本项目重新报批并取得批复后，建设单位不再按照原批复中的核医学科建设方案实施，核医学科建设和环保验收以本次重新报批文件及其批复为准；原批复中其他未发生变动的建设内容继续执行。
	乙级非密封源工作场所	^{18}F	显像用核素	未许可	**一层核医学科工作场所内墙体已按照原环评文件建设布局建成，未使用、未许可、未验收	本次重新报批核医学科环评，拆除一层现有分隔墙体并重新布局，再新建 1 个丙级非密封放射性物质工作场所，新增使用 ^{18}F 进行核素显像
		$^{99\text{m}}\text{Tc}$		未许可		本次重新报批核医学科环评，拆除二层现有空屋墙体，新建 1 个乙级非密封放射性物质工作场所，新增使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素显像，新增使用 ^{131}I 甲亢治疗和甲功测试
		^{131}I	治疗用核素	未许可		本次重新报批取消使用核素 ^{89}Sr
		^{89}Sr		未许可		
DSA 介入项目	病房楼二层 2 座 DSA 机房（1#、2#），配备 2 台 DSA（150kV/1250mA，II 类射线装置）			已许可	2 台 DSA 已于 2025 年 3 月 27 日完成分期竣工环境保护验收	/
说明：*原批复核医学科项目建设 1 座 SPECT/CT-CT 机房，使用 1 台 SPECT/CT-CT（能使用单光子和正电子核素扫描的双模态设备）和放射性核素 ^{18}F 及 $^{99\text{m}}\text{Tc}$（2 种核素和 1 台双模态 SPECT/CT-CT）进行核素扫描，原环评中不涉及 PET/CT，未曾购置该设备； **放射治疗中心一层核医学科内墙体材料为轻质混凝土，已在原环评批复前建成（2022 年 1 月 4 日前），在原环评批复后始终保持原状无其他建设内容。本次拟拆除一层（含二层）原有轻质墙体，并重新优化建设布局，重新报批核医学环评，详见后文。						

在原环评批复前已建成轻质墙体以及本次环评一层拟采用实心砖加硫酸钡板的原因：

本项目放射治疗中心一层核医学科场所墙体防护方案，结合项目建设实际进度、结构安全校核结果及施工可行性，历经两次优化调整，具体方案变更背景、过程及最终确定方案如下：

项目建设初期，核医学科一层墙体初步设计方案为轻质混凝土墙体+硫酸钡板复合防护结构，且该轻质混凝土墙体主体结构已于 2022 年 1 月 4 日（原环评批复节点前）施工建设完成。

原环评编制及审批阶段，经结构荷载校核发现，初期方案配套的硫酸钡板防护厚度较大，已建成的轻质混凝土墙体承载力无法满足安全施工及长期使用要求，存在结构安全隐患。为规避荷载风险、保障辐射防护效果，原环评阶段对墙体防护方案进行首次调整，将墙体结构优化为钢筋混凝土墙体+硫酸钡涂层的防护形式，该调整方案最终完成环评批复，为项目合规建设提供依据。

本次补充环评编制期间，技术团队对原环评批复的砼墙体+硫酸钡涂层方案开展全面复核与施工可行性论证。经校核发现，若严格按照原批复方案施工，需对现有墙体结构进行大面积、大范围植筋加固作业，大规模植筋施工将对建筑整体结构稳定性、承重体系造成较大不利影响，结构安全风险突出，施工可行性极低，无法满足工程安全建设标准。

为从根本上消除结构安全隐患，兼顾核医学科场所辐射防护合规性与建筑结构安全性，项目组织多次结构、辐射防护专项论证，最终确定实心砖墙体+硫酸钡板作为核医学科一层场所墙体最终建设方案。该方案规避了大规模植筋施工带来的结构破坏风险，适配现场既有建设条件，结构稳定性、施工安全性更优，同时可满足核医学科一层放射性工作场所的辐射屏蔽防护要求，兼顾工程安全、施工落地性与环保合规性。

本次重新报批核医学科建设情况具体如下：

（1）放射治疗中心楼一层 PET/CT 工作场所

拟在 PET/CT 机房内安装 1 台 PET/CT，新购置 2 枚 ^{68}Ge 放射源，使用 ^{18}F 进行核素显像。该场所每天最多诊断 10 人，年最多诊断 2500 人，单人注射 ^{18}F 核素最大活度为 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ （10mCi），拟采用预约送药，每日 2 批送药方式，送药时间为工作日上午 7：30 和下午 1：30，当日用完无剩余，因 ^{18}F 核素半衰期较短，综合考虑附近的药品供应单位和医院的距离拟采用 3 倍备药量，则每批次 ^{18}F 核素送药活度为 $5.55\times 10^9\text{Bq}$ （150mCi），日最大操作量为 $1.11\times 10^{10}\text{Bq}$ （300mCi），日等效最大操作量为 $1.11\times 10^7\text{Bq}$ ，年最大操作量为 $2.775\times 10^{12}\text{Bq}$ ，该场所为 1 个丙级非密封放射性物质工作场所。

（2）放射治疗中心楼二层 SPECT/CT 和 ^{131}I 核素诊疗场所

1）在 SPECT/CT 机房内安装 1 台 SPECT/CT，使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素进行显像，该场所日最多诊断 10 人，年最多诊断 2500 人，单人注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素最大活度 $9.25\times 10^8\text{Bq}$ （25mCi），拟采用预约送药，每日 2 批送药，送药时间为工作日上午 7：30 和下午

1: 30, 当日用完无剩余, 每批送药最大活度为 $4.625 \times 10^9 \text{Bq}$ (125mCi), $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素日最大操作量为 $9.25 \times 10^9 \text{Bq}$ (250mCi), 日等效最大操作量 $9.25 \times 10^6 \text{Bq}$, 年最大操作量为 $2.3125 \times 10^{12} \text{Bq}$ 。

2) 在该场所使用 ^{131}I 核素治疗甲亢患者、甲状腺吸碘率测定, 甲亢治疗单人使用 ^{131}I 核素最大活度 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi), 拟采用预约送药, 诊疗当日下午 3: 30 送药, 当日用完无剩余, 日最多治疗 5 人, 年最多治疗人数 100 人, 单日甲亢治疗使用核素 ^{131}I 日最大操作量为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ (50mCi), 日等效最大操作量为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$, 年最大操作量 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$; 甲状腺吸碘率测定单人使用 ^{131}I 核素最大活度 $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ (10 μCi), 日最多检测 25 人, 使用核素 ^{131}I 诊断单日最大操作量为 $9.25 \times 10^6 \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $9.25 \times 10^5 \text{Bq}$, 年最多检测人数 500 人, 年最大操作量 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

3) 核医学二层使用 ^{131}I 核素合计日最大操作量 $1.859 \times 10^9 \text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $1.859 \times 10^8 \text{Bq}$ 、年最大操作量 $3.719 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。汇总使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 后核医学二层场所合计日等效最大操作量 $1.952 \times 10^8 \text{Bq}$, 该场所为 1 个乙级非密封放射性物质工作场所。

根据医院的诊疗计划, 使用 ^{131}I 核素诊疗频率约 2 周 1 次, 通过提前预约, 在治疗日下午 3: 30 送药, 当日下午用完无剩余, 使用 ^{131}I 核素诊疗时段拟通过预约时间管理的方式与使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素扫描时段错开不交叉。

(3) 辐射工作人员配置、工作制度及岗位职责

1) 人员配置与工作制度

本项目核医学科共配置 10 名辐射工作人员, 实行长白班工作制, 年工作 250 天。工作场所分为一层、二层两个独立区域, 每层固定配置 5 人 (2 名护师、2 名技师、1 名医生); 工作人员定岗在对应楼层, 仅承担本场所内辐射相关工作, 不跨楼层兼职涉源作业。本项目计划配置 10 名辐射工作人员, 全部从本院现有辐射从业人员内部调配。本次人员调配仅调整岗位职责, 原有各放射科室在岗人员配置充足, 调配完成后不会对医院现有其他辐射诊疗项目正常运营造成不利影响。

2) 分层岗位职责

护师 (每层 2 名): 负责本场所放射性药物接收、分装 (含 ^{18}F 和 ^{131}I , 不含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$)、活度测量、注射 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 和给药 (^{131}I) 操作, 同时每日完成本场所放射性固体废物的收集与打包。

技师 (每层 2 名): 负责本场所患者摆位、扫描及设备日常质控校准 (一层技师并负责日常保管 ^{68}Ge 质控放射源并使用); 对患者进行摆位工作由本层 2 名技师轮

流执行。

医生（每层 1 名）：以接诊、阅片等非涉源工作为主，同时承担本楼层患者扫描等涉源工作。

本项目核技术利用情况见表 1-2。

表 1-2 淮安市淮安医院核医学科项目（重新报批）拟建设情况一览表

放射源										
核素名称	总活度（Bq）/ 活度（Bq）× 枚数		类别	活度种类	用途	使用场所	贮存方式与地点			备注
⁶⁸ Ge	3.5×10 ⁶ Bq×1 枚； 5.5×10 ⁷ Bq×1 枚		V	使用	校准源	一层 PET/CT 机房	贮存在一层 储源室内的 储源罐中，使用时从 储源罐取出，放在检查 床的支架上进行相关质 控操作			使用一定年限 后退役，废源 厂家回收收贮 或交具有相关 资质的单位处 置
非密封放射性物质										
序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日 最大操 作量 （Bq）	日等效最大 操作量 （Bq）	年最大 用量 （Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	¹⁸ F	液态/低 毒 T _{1/2} =109.8min	使用	1.11×10 ₁₀	1.11×10 ⁷	2.775×10 ₁₂	使用	很简单 操作	新院区放射 治疗中心楼 核医学科一 层	按需订购，不 贮存，暂存于 一层分装/注射 室的手套箱中
2	^{99m} Tc	液态/低 毒， T _{1/2} =6.02 h	使用	9.25×10 ₉	9.25×10 ⁶	2.3125×10 ₁₂	使用	很简单 操作	新院区放射 治疗中心楼 核医学科二 层	按需订购，不 贮存，暂存二 层分装/注射室 的手套箱中
3	¹³¹ I	液态/中 毒， T _{1/2} =8.02 d	使用	1.85×10 ₉	1.85×10 ⁸	3.7×10 ¹⁰	使用	简单操 作		（与暂存 ^{99m} Tc 错开时间）
4	¹³¹ I	液态/中 毒， T _{1/2} =8.02 d	使用	9.25×10 ₆	9.25×10 ⁵	1.85×10 ⁸	使用	简单操 作		
射线装置										
序号	射线装置 名称型号	数量	最大管 电压 (kV)	最大管电 流(mA)	射线装 置类别	工作场所名称		活动 种类	环评情况	备注
1	PET/CT (GEMaxElite+)	1	140	600	III类	放射治疗中心楼核医 学科一层 PET/CT 机 房		使用	本次环评	/
2	SPECT/CT (GENM/CT860)	1	140	200	III类	放射治疗中心楼核医 学科二层 SPECT/CT 机房		使用	本次环评	/

说明：本次核医学重新环评一层由原批复的乙级场所变更为丙级场所，由原批复中使用核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 变更为本层使用核素 ^{18}F （场所由乙级变更为丙级，使用核素种类减少）。本次重新环评新增二层 1 个乙级场所，使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I ，本次重新环评与原环评相比新增 1 个乙级场所、使用 2 种核素）。

3、目的和任务的由来

医院核医学科项目于 2022 年 1 月 4 日取得辐射环境影响评价批复（苏环辐（表）审〔2021〕62 号），截至本项目重新环评阶段，该核医学科未按照环评和批复建设辐射防护设施、未建设配套的三废治理设施、未验收、未许可，未购置放射性药物、未开展任何放射性核素诊疗活动；初期仅完成放疗中心一层核医学功能房间隔墙（采用轻质材料隔墙，未按照环和批复建设防辐射墙体）。

原环评编制阶段，根据医院考察情况，计划使用 1 台 SPECT/CT-CT（能使用单光子和正电子核素扫描的双模态设备），因环评阶段，该类设备尚处于研发阶段（主要用于小型动物），截至目前该类设备使用效果不能达到医院的诊断需求，故本次计划将使用单光子扫描的 SPECT/CT 与使用正电子扫描 PET/CT 分开，因核医学科 1 层场所面积所限不能同时满足进行 SPECT/CT 和使用 PET/CT 扫描的建设布局，本次将 SPECT/CT 扫描场所建设在 2 层（1 个乙级场所），同时在本层使用 ^{131}I 诊疗，本次采用新设计后原有一层由 1 个乙级场所变更为 1 个丙级场所。

本次新报批的建设方案中新增第二层核医学工作场所，符合《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》（环办辐射函〔2025〕313 号）（以下简称“清单”）中规模发生重大变动情形；与原环评相比其他重大变动情况见下表 1-3 和表 1-4。

表 1-3 淮安市淮安医院核医学科项目（重新报批）与
《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》对比表

分类	重大变动清单内容	原环评及批复	本项目建设情况	变动情况	判定
性质	由核技术利用建设项目变更为其他类别建设项目	核技术利用建设项目	核技术利用建设项目	无	/
建设地点	重新选址	核医学科拟建于放疗中心楼内一层	核医学科拟建于放疗中心楼内一层、二层（废水衰变池选址见工艺部分）	重新选址	重大变动 1
	调整辐射工作场所位置（包括总平面布置变化）导致调整后评价范围内出现新的环境保护目标	拟建于放疗中心楼内一层	拟建于放疗中心楼内一层、二层，变动后出现新的环境保护目标	增加了第二层场所，变动后出现新的环境保护目标	重大变动 2
规模	放射源类别升高	/	一层使用 2 枚 V 类放射源用于 PET/CT 校准	增加 2 枚 V 类放射源	重大变动 3
	射线装置类别升高	1 台、III 类	2 台、均为 III 类	/	/

	非密封放射性物质工作场所级别升高	1 个乙级	1 个乙级、1 个丙级	增加 1 个丙级	/
	放射源的总活度或放射源数量增加 50%及以上	/	一层使用 2 枚 V 类放射源用于 PET/CT 校准	增加 2 枚 V 类放射源	重大变动 4
	射线装置额定功率或输出剂量率或中子产生率增大 50%及以上	1 台 SPECT/CT(一层), 最大管电压 140kV, 最大管电,800mA	1 台 SPECT/CT(二层), 最大管电压 140kV, 最大管电,200mA; 1 台 PET/CT(一层), 最大管电压 140kV, 最大管电,600mA	/	/
	放射性核素活度或种类增加导致非密封放射性物质工作场所的日等效最大操作量增加 50%及以上	放射治疗中心楼核医学科一层 1 个乙级场所, 日等效最大操作量约为 $1.221 \times 10^8 \text{Bq}$	放射治疗中心楼核医学科一层 1 个丙级场所, 日等效最大操作量 $1.11 \times 10^7 \text{Bq}$; 放射治疗中心楼核医学科二层 1 个乙级场所, 日等效最大操作量 $1.952 \times 10^8 \text{Bq}$;	比原环评阶段增加超过 50%	重大变动 5
	增加新的辐射工作场所	放射治疗中心楼核医学科一层 1 个乙级场所	放射治疗中心楼核医学科一层 1 个丙级场所, 二层 1 个乙级场所	本次由一层 1 个乙级场所变更为 1 个丙级场所, 本次增二层加了 1 个乙级场所	重大变动 6
工艺	生产工艺或使用方式变化导致不利影响加重, 含主要工艺装置、配套设备及放射性三废处理设施任何一项变化	见下表 1-4			
辐射安全与防护措施	辐射防护措施改变导致不利影响加重	全套达标防护措施,屏蔽体外剂量率满足控制限值、各保护目标年有效剂量满足约束值	新增全套达标防护措施护,屏蔽体外剂量率满足控制限值、各保护目标年有效剂量满足约束值	辐射风险未加重	/
	辐射安全联锁系统的联锁方式、联锁逻辑发生改变导致联锁功能减弱	/	/	/	/
	非密封放射性物质工作场所功能和布局变化导致增加控制区	仅一层场所控制区	一层场所控制区、二层场所控制区	原一层控制区加大, 本次新增二层整片辐射控制区	重大变动 7

	新增放射性液态流出物排放口或气载流出物排放口		见下表 1-4	
表 1-4 工艺变动导致放射性三废处理处置措施变化一览表				
变更类别	变更维度	原环评及批复内容	新报批方案内容	重大变动判定
放射性废液	衰变池建造形式与选址	放射治疗中心楼室外（距营养餐厅西北侧约 30m 处）地下式多级衰变池，设于建筑外部，仅服务一层核医学工作场所	核医学科一层室内地上式一体化钢槽衰变池，布置于核医学科一层专用衰变间，同时覆盖一层+二层核医学场所	✔ 是（工艺类重大变动：废液处置设施形式、选址发生实质性变化）
	衰变池容积与运行工艺	原设计两个衰变系统的衰变池均交替使用，长半衰期废水处理系统单个有效容积均为 68.7m³，衰变时间 180 天；短半衰期废水处理系统单个有效容积均为 3.9m³，衰变时间 30 天，仅适配一层日废水排放量	调整后为适配短半衰期废水处理系统，设计单个衰变池容积 9m³，总容积 27m³，衰变池均交替使用，适配双层诊疗废水排放量，重新报批项目不产生含 ¹³¹ I 长半衰期放射性废水	✔ 是（工艺类重大变动：废液处理工艺、处理能力发生变化）
	废液收集管网与排放口	仅一层各功能房间敷设放射性废水专用收集管网，设 1 个总排放口	新增二层 SPECT/CT 机房、药物分装室、注射后候诊室和留观室废水支管，一层排水采用产生点集水坑+潜水泵提升经压力排水管压入一层衰变池内，设 1 个总排放口	✔ 是（工艺类重大变动：废液收集系统、排放口位置发生变化）
放射性废气	排风系统布局与气流组织	仅一层核医学工作场所设置分区负压机械排风，控制区场所内拟单独设一套通风管道，排风经活性炭过滤后，从通风管道引至屋顶排放，手套箱内拟设专用通风管道经通风系统内活性炭过滤后，从通风管道引至屋顶排放，共 2 个废气排放口	新增二层完整独立放射性废气净化排风系统，一层和二层均采用分区负压设计，每个场所（指一层和二层场所）控制区场所内拟单独设一套通风管道，排风经活性炭过滤后，从通风管道引至屋顶排放，一层手套箱和二层手套箱内拟设专用通风管道经通风系统内活性炭过滤后，从通风管道引至屋顶排放	✔ 是（辐射防护措施类重大变动：排风系统布局、气流组织发生重大变化）
	过滤净化装置配置	配套 2 组活性炭吸附过滤器	配套 3 组活性炭吸附过滤器	✔ 是（工艺类重大变动：废气处理设施数量发生变化）
	排气筒参数与	原设计在放射治疗中心楼建筑楼顶设 2 个排放口，仅服务一层排风系统	本次设计同步接入二层排风系统，在放射治疗中心楼建筑楼顶设 3 个排放口	✔ 是（工艺类重大变动：废气排放口位置和数量发生变化）

	排放口			
放射性固体废物	固废暂存设施配置	仅一层设置 1 个放射性固体废物暂存间，拟设，废物间体积约为 15.66m ² ，医院拟将含 ^{99m} Tc、 ¹⁸ F、 ¹³¹ I 及 ⁸⁹ Sr 的固体废物收集于各工作场所铅污物桶内的专用塑料包装袋内	一层、二层分设独立分区放射性固体废物暂存间，容积分别为 11.2m ³ 、34.4m ³ ，其中二层含 ¹³¹ I 放射性固体废物单独存放	✓ 是（固废暂存间位置、数量发生变化）

由上表可知，本项目属于重新选址，规模中增加了二层 1 个丙级场所，2 枚 V 类放射源，原环评仅一层场所控制区，位置调整，场所位置变化，本次新增二层场所控制区，放射性三废中废水处理位置变化、处理方式发生变化，废气收集系统和排气口数量和位置发生变化，放射性固体废物暂存间位置和数量发生变化，因此本次新的设计核医学建设项目与原环评及批复相比构成多项重大变动，应重新报批环评。

依据《中华人民共和国生态环境法典》第一百零六条、《建设项目环境保护管理条例》第十二条规定，本项目属于重大变动须重新报批环评文件的情形。对照《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》第 172 类核技术利用建设项目，本项目建设乙、丙级非密封放射性物质工作场所，需编制辐射环境影响报告表并重新报批。

本项目重新报批并取得批复后，建设单位不再按照原批复中的核医学科建设方案实施，核医学科建设和环保验收以本次重新报批文件及其批复为准；原批复中关于放射肿瘤治疗项目（2 台医用直线加速器、1 台后装机），DSA 项目（3 台 DSA）批复内容持续有效。

为此，医院委托南京泰坤环境检测有限公司（以下简称“我公司”）进行本报告编制工作，见附件 1，我公司接受委托后通过现场踏勘和监测、资料调研及项目工程分析等工作，编制完成了该项目的环评报告表。

二、项目场址选址及周边保护目标

1、项目场址选址

医院位于江苏省淮安市淮安区山阳大道 19 号，医院现状东侧为梁红玉路，南侧为山阳大道，西侧为楚州大道，北侧为承恩大道，北院区主要为办公和培训中心等楼宇，南院区主要为诊疗区，南北院区中间隔一条东西走向的规划一路。

本核技术利用项目拟建址位于医院南院区西部放射治疗中心楼，该建筑地上共

二层，地上建筑总高约 9m，主要包含放射治疗相关场所，二层部分为其他诊疗科室，该楼地下共一层，为车库。

核医学科拟建址位于放射治疗中心楼一、二层东部南侧，场所东侧 10m 范围内为本楼一层入口大厅，向东为医院南院区广场和道路，场所东南侧约 25m 为医院门诊楼，南侧 50m 范围内有传染门诊楼（地上共三层、地上建筑总高约 13m，地下共一层，为车库），场所西侧 17m 范围内为放射治疗中心楼放射治疗工作区，该建筑西侧为医院南院区广场和道路，场所北侧 25m 处为院室外道路，道路宽约 7m，道路北侧为营养餐厅楼（地上三层、地上建筑总高约 13m，地下共一层，为车库）。

本项目地理位置示意图见附图 1，淮安市淮安医院平面布置和本项目周围环境示意图见附图 2、附图 3。

本项目核医学科拟建址位于放疗中心楼（放射诊疗专用楼宇）东南部一层、二层，该建筑为放射诊疗专用楼宇；核医学场所西侧和北侧毗邻已建该建筑内诊疗区。场所东侧为大厅（南端拟改建为本项目等候治疗），南侧为传染门诊楼，西侧为放疗机房，北侧为放疗中心楼已建其他诊疗场所；拟建核医学诊疗场所与楼内其他诊疗场所通过实体墙体或铅屏蔽防护门形成明确物理隔离，并与非放射性工作场所有明确分界，核医学各层场所内设置患者走廊、医生走廊，实现医患分流；使用专用污梯厅、污物间，设置单独的放射性物流通道，能与普通人员、物流完全分离，满足核医学场所需要物理隔离与单独通道的要求。排风口设于本楼屋顶平台，尽可能远离周边医技楼、门诊楼等高层建筑，符合排风口位置设置要求。综上，本项目选址完全满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的选址要求。

对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74 号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1 号），本项目评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。根据《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49 号），本项目评价范围内不涉及江苏省优先保护单元。本项目评价范围内不涉及《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》第三条（一）中的“国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区”等环境敏感区。项目选址位于淮安市中心城区（淮安区）(0.01km²)重点管控单元内（见附图 16），本项目核医学科属医疗健康服务，符合重点管控单元健康养生产业定位，不占用生态空间；运营期依托院区雨污分流及污水处理设施，无高污染燃料使用，落实土壤地下水防渗管控，完

全符合各项环境管控要求。项目选址合理可行。

2、项目周边保护目标

本项目工作场所各方向 50m 评价范围均位于医院用地红线内，本项目评价范围内不涉及国家级生态保护红线、生态空间管控区域，也不包含“国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区”等环境敏感区。对照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022）第 3.4 条，本项目评价范围内无受影响的重要物种、生态敏感区及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。本项目辐射环境评价范围为核医学工作场所边界外 50m 区域。评价范围内环境保护目标分布于门诊楼、传染门诊楼、营养餐厅楼、放射治疗中心楼等建筑物内，保护对象为本项目辐射工作人员、医院其他医护人员、就诊患者及院内公众。

本项目运营后环境保护目标见附图 2 和附图 3。

三、实践正当性分析

本项目投入使用能够更好地满足患者的就诊需求，具有良好的社会效益，在做好辐射防护措施和管理的基础上，其所带来的效益远大于可能对环境造成的影响，因此，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”原则。

四、原有核技术利用项目许可情况

1、现有核技术利用项目

辐射安全许可：淮安市淮安医院目前已取得了淮安市生态环境局颁发的辐射安全许可证，发证日期为 2025 年 9 月 16 日，有效期至：2030 年 9 月 15 日。编号：“苏环辐证[H2544]”，种类和范围为“使用Ⅲ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，丙级非密封放射性物质工作场所”，许可内容：在新院区放疗中心使用 1 枚Ⅲ类密封放射源 ^{192}Ir ；活度 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ；在新院区放疗中心、介入中心等科室使用Ⅱ类射线装置 4 台，在新院区 CT 室、口腔科等使用Ⅲ类射线装置 16 台，新院区介入中心丙级非密封放射性物质，使用 ^{125}I 粒子源，日等效最大操作量 $3.33 \times 10^6\text{Bq}$ 。

环境影响评价及登记备案：医院新增 ^{125}I 粒子植入项目及新增Ⅲ类射线装置已于 2022 年 9 月 6 日及 2025 年 1 月 13 日等时间进行环境影响登记备案；医院原有核医学科退役项目已于 2025 年 3 月 21 日取得了省生态环境厅关于老院区核医学科退役的批

复（文号：苏环辐(表)审〔2025〕10号），退役项目主要包含：老院区 ECT 楼一层核医学科乙级非密封放射性物质工作场所及衰变池；医院已于 2025 年 8 月 22 日取得了江苏省生态环境厅的环评批复，文号：苏环辐（表）审〔2025〕49 号），在新院区门急诊医技病房楼二层手术 3 室（预留机房），配备 1 台 DSA，用于开展医疗诊断和介入治疗。

竣工环保验收（含分期验收）：前期环评批复（批复文号：苏环辐（表）审〔2021〕62 号）批复建设内容及环保手续履行情况见前文表 1-1；前期医院老院区 ECT 楼一层核医学科乙级非密封放射性物质工作场所及衰变池退役项目（批复文号：苏环辐(表)审〔2025〕10 号）已于 2025 年 11 月完成竣工环保验收工作；前期在新院区门急诊医技病房楼二层手术 3 室新增 1 台 DSA 项目（批复文号：苏环辐（表）审〔2025〕49 号），已于 2025 年 10 月完成竣工环保验收工作；医院拟将本台 DSA 变更型号为 Azurion 5M20，变更后管电压和管电流不变，已报送辐射安全分析报告。

医院现有核技术利用项目环保手续见表 1-3，辐射安全许可证见附件 7，其他相关环保手续（前期项目环评批复、环境影响登记表及竣工环保验收意见）见附件 8。

表 1-3 现有核技术利用项目环保手续一览表

一、放射源							
核素名称	工作场所名称	类别	环保手续履行情况				
Ir-192 放							
	序号						
	1						
2							
							5M20，变更后管电压和

								管电流不变。
II类射线								
序号	辐射活动场所名称							
3	新院区CT室							
4	新院区放射科							
5	新区镜心							
	新区术							
7	新区							

	检中 心		
8	新院 区口 腔科		许
Ⅲ类射线装			可
工作场所等级			
丙级			
2、辐射安全管理现状			
医院已成立了专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，已针对现有核技术利用项目制定了辐射安全管理制度，每年委托有资质单位对本单位的辐射工作场所进行了监测，监测结果满足相关标准要求。医院每年对本单位辐射工作场所的安全和防护状况进行了年度评估，于每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交了上一年度的放射性同位素与射线装置安全和防护状况评估报告，满足环保相关管理要求。			
通			
和			
业			
内			
射			
单			
，			
。			
2025 年 6 月 18 日，淮安市淮安生态环境局对医院进行现场检查（例行监督抽查）。			
检查问题：该单位部分个人剂量报警仪未正常开启。整改要求：个人剂量报警仪正常开启使用。			
整改情况：2025 年 6 月 30 日已按整改要求进行了整改，在工作期间，各机房配备的个人剂量报警仪正常开启使用，完成整改闭环。			
2025 年 7 月 16 日，淮安市淮安生态环境局对淮安市淮安医院许可证重新申领情况进行了现场检查（换证专项核查）。			

检查情况：辐射防护措施落实到位，防护仪器、机房、制度全部合规，无新问题。例行监督抽查及问题整改以及换证专项核查情况见附件 11。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活度种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	⁶⁸ Ge	3.5×10 ⁶ Bq×1 枚;	V	使用	校准源	一层 PET/CT 机 房	贮存在一层 储源室内的 储源罐中, 使用时从储源 罐取出, 放在检查床的支 架上进行相关质控操作	使用一定年限后退 役, 废源厂家回收 收贮或交具有相关 资质的单位处置
2	⁶⁸ Ge	5.5×10 ⁷ Bq×1 枚	V	使用	校准源			
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大 操作量 (Bq)	日等效最大 操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	¹⁸ F	液态/低毒 T _{1/2} =109.8min	使用	1.11×10 ¹⁰	1.11×10 ⁷	2.775×10 ¹²	使用	很简单操作	新院区放射治疗中心楼核医学科一层	按需订购, 不贮存, 暂存于一层分装/注射室的手套箱中
2	^{99m} Tc	液态/低毒, T _{1/2} =6.02h	使用	9.25×10 ⁹	9.25×10 ⁶	2.3125×10 ¹²	使用	很简单操作	新院区放射治疗中心楼核医学科二层	按需订购, 不贮存, 暂存二层分装/注射室的手套箱中
3	¹³¹ I	液态/中毒, T _{1/2} =8.02d	使用	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁸	3.7×10 ¹⁰	使用	简单操作		按需订购, 不贮存, 暂存于二层分装/注射室的手套箱中 (与暂存 ^{99m} Tc 错开时间)
4	¹³¹ I	液态/中毒, T _{1/2} =8.02d	使用	9.25×10 ⁶	9.25×10 ⁵	1.85×10 ⁸	使用	简单操作		

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

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 （kV）	最大管电流 （mA）	用途	工作场所	备注
1	PET/CT	III	1	GEMaxElite+	140	600	核医学诊断	新院区放射治疗中心楼核医学科一层 PET/CT 机房	/
2	SPECT/CT	III	1	GENM/CT860	140	200	核医学诊断	新院区放射治疗中心楼核医学科二层 SPECT/CT 机房	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（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
放射性废水（含放射性核素的卫生间排水、分装/注射室排水、污洗间清洗废水）	液态	^{99m}Tc 、 ^{18}F	/	约 14.4m ³ (7.2m ³ /每个场所)	约 172.8m ³ (86.4m ³ /每个场所)	总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$	暂存于 3 个并联衰变池中，每个衰变池容积 9m ³ ，总容积为 27m ³	自然衰变 30 天后直接解控排放至医院污水处理系统。
放射性固体废物（服药杯、污染物的注射器、针头、试管、手套、棉签、纱布、滤纸、破碎杯皿、擦拭污染物地面的物品）	固态	^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I	/	约 32.7kg	约 392kg	$\leq 1 \times 10^4 \text{Bq/kg}$	置于废物间的铅衰变箱内暂存	含 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 的放射性固体废物暂存时间超过 30 天、含 ^{131}I 的甲亢和甲功诊疗过程中产生的放射性固体废物单独暂存超过 180 天后，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， β 表面污染小于 0.8Bq/cm ² 后，作为医疗废物由有资质单位统一收集处理
核医学科通风系统更换下的废活性炭	固态	^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I	/	约 25kg	约 300kg	$1 \times 10^4 \text{Bq/kg}$	置于二层固废间的铅衰变箱内暂存	一层控制区排风系统含 ^{18}F 废活性炭收集后暂存在一层废物间铅衰变箱暂存 30 天，二层控制区排风系统、核医学手套箱排风系统含 ^{131}I 的废活性炭单独暂存在二层废物间超过 180 天后，经监测辐射剂量率处于环

								境本底水平， β 表面污染小于0.8Bq/cm ² 后，作为医疗废物由有资质单位统一收集处理
退役放射源 (校准源)	固态	⁶⁸ Ge	/	/	/	/	不暂存	按照废旧放射源返回协议规定，将废旧放射源返回原出口方
含有液态放射性药物分装时挥发的微量气溶胶	气态	含微量的 ¹³¹ I、 ¹⁸ F、 ^{99m} Tc等	/	极少量	极少量	/	/	单台手套箱设置1套独立排风系统，于屋顶排风管道汇流后统一经浸渍活性炭过滤装置（高效吸附 ¹³¹ I）吸附过滤后经屋顶上方3m排放；一层控制区产生的废气单独收集引至楼顶经活性炭吸附过滤后屋顶上方3m排放；二层控制区产生的废气单独收集引至楼顶经浸渍活性炭过滤装置（高效吸附 ¹³¹ I）吸附过滤后屋顶上方3m排放，
非放射性气态废物	气态	臭氧、氮氧化物	/	极少量	极少量	/	/	通风后屋顶排放
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

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

表 6 评价依据

法规文件	1. 《中华人民共和国生态环境法典》，中华人民共和国主席令第七十号，2026 年 3 月 12 日公布，自 2026 年 8 月 15 日起施行； 2. 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第449号，2019 年国务院令第709号修订，2019年3月2日施行； 3. 《建设项目环境保护管理条例》（2017年修订版），国务院令第682号，2017年10月1日发布施行； 4. 《放射性废物安全管理条例》，中华人民共和国国务院令第612号，2012 年3月1日起施行； 5. 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正本），生态环境部令第20号，2021年1月4日起施行； 6. 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），生态环境部令第16号，2021年1月1日起施行； 7. 《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，2011年5月1日起施行； 8. 《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》，国家环保总局，环发〔2006〕145号，2006年9月26日起施行； 9. 《关于进一步做好建设项目环境影响评价报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187号，2021年5月28日发布； 10. 《关于发布放射源分类办法的公告》（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； 11. 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部第 57 号公告，2020 年 1 月 1 日起施行； 12. 《关于发布〈建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法〉配套文件的公告》，生态环境部公告 2019 年第 38 号，2019 年 10 月 25 日发布； 13. 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行； 14. 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019 年第 39 号，2019 年 10 月 25 日发布；
------	---

	15. 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，环办辐射函〔2016〕430号，2016年3月7日起施行； 16. 《关于印发〈核技术利用建设项目重大变动清单(试行)〉的通知》（环办辐射函〔2025〕313号），生态环境部办公厅。 17. 《放射性物品道路运输管理规定》（2026年第三次修正），交通运输部令2026年第7号公布，2026年3月20日起施行； 18. 《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告2017年公告第65号公布，自2018年1月1日起施行； 19. 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，国家核安全局，辐射函〔2023〕20号，2023年9月13日； 20. 《江苏省辐射污染防治条例》（2026年修订），2026年8月15日起施行； 21. 《江苏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，2020年6月21日发布； 22. 《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，2018年6月9日发布； 23. 《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，2020年1月8日发布； 24. 《江苏省辐射事故应急预案》（2020年修订版），苏政办函〔2020〕26号，2020年2月19日发布。
技术标准	1. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； 2. 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）； 3. 《建设项目环境影响评价技术导则总纲》（HJ2.1-2016）； 4. 《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）； 5. 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； 6. 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）； 7. 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； 8. 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；

	9.《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）； 10.《表面污染测定第1部分：β发射体（$E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$）和α发射体》（GB/T14056.1-2008）； 11.《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； 12.《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。
其他	附图： 附图1 淮安市淮安医院及本项目地理位置示意图 附图2 医院平面布置和本项目周围环境示意图（1） 附图3 本项目周边环境图（2） 附图4 一层PET诊断工作场所改造前现状平面布置示意图 附图5 一层PET诊断工作场所建设拟拆除墙体 附图6 一层PET诊断工作场所建成后平面布置示意图 附图7 本项目建成后一层PET诊断工作场所对应二层位置示意图 附图8 二层核素诊疗工作场所改造前现状平面布置示意图 附图9 二层工作场所建设拟拆除墙体（空屋） 附图10 本项目建成后二层工作场所对应一层场所位置示意图 附图11 二层诊疗场所建成后平面布置示意图（南侧临空） 附图12 淮安市淮安医院（放射治疗中心楼）屋顶平面示意图 附图13 放疗中心楼现状（改建前）建筑结构剖面图 附图14 本项目一层工作场所主要辐射屏蔽设计图 附图15 本项目二层工作场所主要辐射屏蔽设计图 附图16 本项目生态环境分区管控查询结果图 附件： 附件1 委托书 附件2 本项目放射性同位素、放射源及射线装置主要技术参数及使用情况承诺书 附件3 本项目工作场所屏蔽设计情况承诺书 附件4 废源处置承诺书 附件5 现有核技术利用项目情况 附件6 本项目劳动定员和工作制度 附件7 现有辐射安全许可证 附件8 现有核技术利用项目环保手续

	附件 9 本底检测报告 附件 10 现有制度文件 附件 11 环保检查和整改情况
--	---

表 7 保护目标与评价标准

评价范围 根据《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）“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；放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围”的要求，结合本项目的特点，确定以本项目非密封放射性物质工作场所边界外 50m 范围内的区域作为评价范围，详见附图 2 和附图 3。
保护目标 本项目工作场所各方向 50m 评价范围均位于医院用地红线内，本项目评价范围内不涉及国家级生态保护红线、生态空间管控区域，也不包含“国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区”等环境敏感区。对照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022）第 3.4 条，本项目评价范围内无受影响的重要物种、生态敏感区及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。 本项目辐射环境评价范围为核医学工作场所边界外 50m 区域。评价范围内环境保护目标分布于门诊楼、传染门诊楼、营养餐厅楼、放射治疗中心楼等建筑物内，保护对象为本项目辐射工作人员、医院其他医护人员、就诊患者及院内公众。本项目工作场所位于放射治疗中心楼内南侧（一层和二层），放疗中心楼共 3 层、地上共 2 层、地下 1 层为车库，工作场所各方向 50m 评价范围内包含放射治疗中心楼、场所东南侧门诊楼、南侧传染门诊楼和北侧营养餐厅楼。 拟建核医学项目一层场所（PET/CT 诊断）东 50m 范围内由西向东为放射治疗中心楼一层大厅（南侧拟改建为核医学等候诊疗区），医院广场和道路；东南侧至 50m 范围内为门诊楼；南侧 50m 范围内由北向南依次为医院内道路、传染门诊楼；西侧紧邻放射治疗场所，含放疗候诊和放疗机房及辅助用房；北侧紧邻放疗中心楼一层技术员办公室、物理器械办公室、工程师办公室，其北侧为维修库房、病员通道、设备间、更衣室、医生办公室等房间，再向北为室外通道，通道北侧为医院营养餐厅楼；一层下方为地下车库，上方主要为本项目二层辐射工作场所。

拟建核医学项目二层场所（SPECT/CT 诊断和 ^{131}I 诊疗）东侧 50m 范围内由西向东为放射治疗中心楼二层大厅（南侧拟改建为核医学等候诊疗区），医院广场和道路；东南侧 50m 范围内为门诊楼；南侧 50m 范围内由北向南依次为医院内道路、传染门诊楼；西侧为放疗机房和辅助用房屋顶；场所北侧为该楼内眼科、听力等普通诊室，以北为通道、物理室 TPS、库房、卫生间等房间，向北为室外通道，通道北侧为医院营养餐厅楼，二层场所上方为本楼屋顶平台；下方主要为本核技术利用项目一层场所。

工作场所各方向 50m 评价范围内包含放射治疗中心楼、场所东南侧门诊楼、南侧传染门诊楼和北侧营养餐厅楼。环境保护对象为从事本项目的辐射工作人员、医院内其他工作人员及周边公众。

本项目保护目标详见表 7-1。

表 7-1 本项目保护目标一览表

保护目标类型	场所名称		方位	最近距离	规模	年剂量约束值 (mSv/a)
辐射工作人员	放射治疗中心楼	一层 PET/CT 机房、操作间（控制室）、储源室、分装/注射室、废物间、卫生通过间等	/	/	5 人	5
		二层 SPECT/CT 机房、操作间（控制室）、储源室、废物间、分装/注射室、卫生通过间、运动负荷室（抢救室）、摄碘室、医生走廊、污洗间等	/	/	5 人	
评价范围内公众（医院内其他工作人员及周边公众）	放射治疗中心楼	楼梯间、候诊大厅	东	相邻	流动人员	0.1
		医院广场、道路	东	约 10m	流动人员	
		门诊楼	东南	约 25m	流动人员	
		医院内道路	南	相邻	流动人员	
		传染门诊楼	南	约 7m	约 50 人	
		一层放射治疗区场所（电梯间、电梯厅、污物通道、置管室、控制室（放射治疗中心楼）、制模室、后装机房、CT 模拟机房、直线加速器机房（1#和 2#）等）	西、西北	相邻	约 20 人	
		一层放射治疗区场所（技术员办公室、物理器械办公室、工程师办公室、维修库房、病员通道、设备间、更衣室、医生等）	北	相邻	约 10 人	
		二层普通诊室（眼科、听力、主检、内科、耳鼻喉、心电图、血压）、通道、物理室 TPS、库房、卫生间	北	2m（隔医生走廊）	约 15 人	

	医院广场、道路	西	20m	流动人员	
	室外道路	北	22m	流动人员	
	营养餐厅楼	北	25m	约 50 人	
	放射治疗中心楼机房层（楼顶平台）	二层上	相邻	流动人员	
	放射治疗中心楼地下一层车库	一层下	相邻	流动人员	

评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

（1）辐射工作人员和公众剂量限值

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	剂量限值
职业照射 剂量限值	应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可做任何追溯平均）， 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，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv；

剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内。

（2）辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：

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

监督区：

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

（3）辐射工作场所的分级

非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录 C）的规定进行。

C1 非密封源工作场所的分级

应按表 7-3 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-3 非密封源工作场所的分级

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

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(Bq)与该核素毒性因子的积除以与

操作方式有关的修正因子所得的商。

(4) 表面污染控制水平

表 7-4 表面污染控制水平单位:Bq/cm²

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、 墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 ⁻¹	4	4
工作服、手套、 工作鞋	控制区、监督区	4×10 ⁻¹	4×10 ⁻¹	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻²	4×10 ⁻²	4×10 ⁻¹
1) 该区内的高污染子区除外。				

2、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

6 工作场所的辐射安全与防护

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

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

6.1.7 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外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm² 的、可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

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

c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

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

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

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

7.4 气态放射性废物的管理

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

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

3、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，辐射函（2023）20号：

二、关于控制区剂量率

《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021，以下称核医学标准)第 6.1.5 节规定，距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。本条规定的具体含义为：

1.控制区内工作人员经常性停留的场所(人员居留因子 $\geq 1/2$)，周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

2.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走廊等位置，周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

4、《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020):

6 X 射线设备机房防护设施的技术要求

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目核技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 7-5 的规定。

表 7-5 CT 机房（照射室）使用面积及单边长度

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

6.2X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 7-6 的规定。

表 7-6 CT 机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用线束方向铅当量 mm
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	2.5

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

CT 机机房外的周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

5、本项目管理目标

综合《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》（HJ1188-2021）、《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)等评价标准要求，根据辐射防护最优化原则确定本项目管理目标为：

(1) 职业人员年有效剂量约束值不超过 5mSv，公众年有效剂量约束值不超过 0.1mSv；

(2) 控制区内工作人员经常性停留的场所(人员居留因子 $\geq 1/2$)，周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/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，以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 10 μ Sv/h；非密封放射性物质工作场所控制区边界、机房屏蔽体外 30cm 处剂量率目标控制值为 2.5 μ Sv/h；

(3) 放射性药物分装的通风橱、注射窗、给药窗等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率不超过 2.5 μ Sv/h，通风橱非正对人员操作位表面的周围剂量当量率不超过 25 μ Sv/h；固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h。

(4) 非密封放射性物质工作场所放射性表面污染控制水平要求

表 7-7 非密封放射性物质工作场所放射性表面污染控制水平

表面类型		β 放射性物质 (Bq/cm ²)
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4 $\times 10$
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4 $\times 10^{-1}$

(5) 放射性废物

a) 含 ¹⁸F 和 ^{99m}Tc 的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，含 ¹³¹I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，监测 β 表面污染小于 0.8Bq/cm²、对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

b) 本项目含 ¹⁸F 和 ^{99m}Tc 的放射性废液采用槽式衰变池贮存方式，半衰期小于 24 小时，通过三个池体轮换收纳放射性废液，暂存时间超过 30 天后可直接解控排放。

固体放射性废物的存储和处理和放射性废液的暂存和处理拟安排专人负责，拟按照 HJ1188-2021 中 7.2.3.3 和 7.3.3.3 要求管理。

浸渍活性炭：参照《核空气和气体处理规范 第 15 部分：吸附介质》（NB/T 20039.15-2023）。

6、参考资料：

- (1) 《辐射防护导论》，方杰主编；
- (2) 《辐射防护手册》（第一分册），李德平、潘自强主编；
- (3) 《辐射防护手册》（第三分册），李德平、潘自强主编；
- (4) 《放射物理与防护》（张光贵 王晓艳主编）

(5) 《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 7-8 江苏省环境天然 γ 辐射剂量率（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

注：1.测量值已扣除宇宙射线响应值；

2.现状评价时，取测值范围为其评价参考范围，即原野天然 γ 辐射水平参考范围取（33.1-72.6）nGy/h，道路天然 γ 辐射水平参考范围取（18.1-102.3）nGy/h，室内天然 γ 辐射水平参考范围取（50.7-129.4）nGy/h。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状 一、项目地理位置和场所位置 医院位于江苏省淮安市淮安区山阳大道 19 号，医院现状东侧为梁红玉路，南侧为山阳大道，西侧为楚州大道，北侧为承恩大道，北院区主要为办公和培训中心等楼宇，南院区主要为诊疗区，南北院区中间隔一条东西向的规划一路。 本项目工作场所各方向 50m 评价范围均位于医院用地红线内，评价范围内不涉及国家级生态保护红线、生态空间管控区域，也不包含“国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区”等环境敏感区，评价范围内无受影响的重要物种、生态敏感区及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。 本项目辐射环境评价范围为核医学工作场所边界外 50m 区域。评价范围内环境保护目标分布于门诊楼、传染门诊楼、营养餐厅楼、放射治疗中心楼等建筑物内，保护对象为本项目辐射工作人员、医院其他医护人员、就诊患者及院内公众。放射治疗中心楼各层平面布置图现状及运营后平面布置以及楼内场所和本项目相对位置关  - — - 二
--

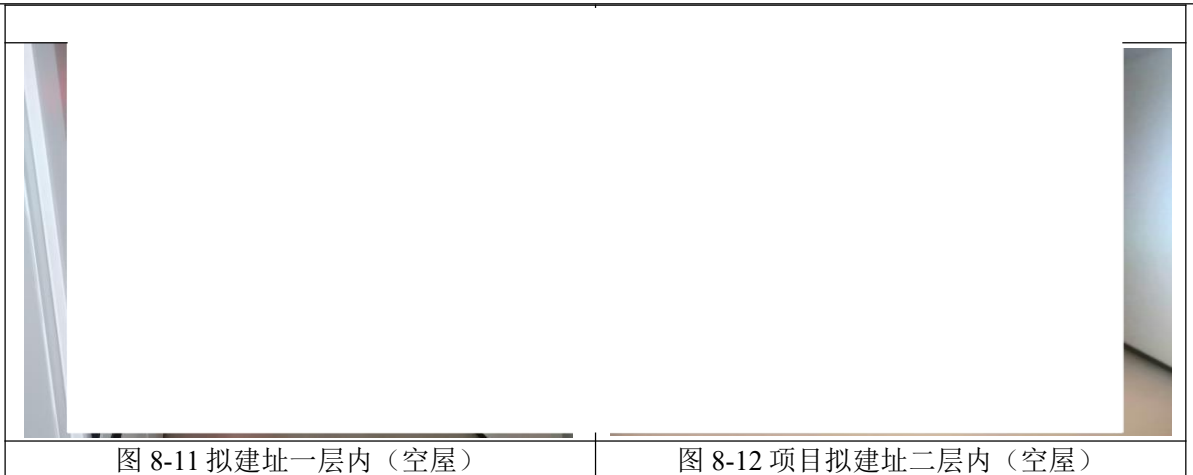


图 8-11 拟建址一层内（空屋）

图 8-12 项目拟建址二层内（空屋）

二、环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

环境现状评价的对象：本项目拟建址及周围辐射环境

监测因子： γ 辐射空气吸收剂量率、 β 表面污染水平

监测点位：在本项目工作场所拟建址及周围进行布点。

三、监测方案、质量保证措施及监测结果

1、监测方案

监测单位：南京泰坤环境检测有限公司（公司检测资质见附件 9）

检测仪器 1：FH40G-L10+FHZ672E-10 型 X- γ 辐射监测仪（设备编号：NJTK/YQ041，校准日期：2025 年 9 月 9 日，校准单位：江苏省计量科学研究院，校准证书编号：Y2025-0091453）

能量响应：40keV~4.4MeV，测量范围：1nSv/h~100 μ Sv/h

检测仪器 2：LB124SCINT 型多功能表面沾污 α 、 β - γ 检测仪（设备编号：NJTK/YQ004，检定有效期：2025 年 9 月 1 日~2026 年 8 月 31 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2025-0087917）

测量范围：0~50000cps（ β ）

监测时间：2025 年 11 月 6 日

监测布点：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）和《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）有关布点原则进行布点。

监测方法：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）和《表面污染测定第 1 部分： β 发射体（ $E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/T14056.1-2008）相关方法和要求，在环境现场调查

时，于本项目工作场所拟建址及周围进行 γ 辐射空气吸收剂量率和 β 表面污染水平的测量，监测结果见表 8-1、表 8-2，监测点位示意图见图 8-13、图 8-14。

数据记录及处理： γ 辐射空气吸收剂量率每个检测点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 20s，并待计数稳定后读取数值，根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）5.5 中公式（1）对数据进行处理。其中，测量仪器校准参考源为 ^{137}Cs ，空气比释动能和周围剂量当量的换算系数取 1.20Sv/Gy，各监测点所在建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子按楼房 0.8、道路 1 进行取值。 β 表面污染水平每个检测点位读取 5 个数据。

2、质量保证措施

本项目监测按照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）和《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）的要求，实施全过程质量控制。监测人员已取得检测资格证书或经能力确认，监测仪器经过计量部门检定，并在有效期内，监测仪器使用前经过核查，监测报告实行三级审核。

3、监测结果

本项目环境现状监测结果见表 8-1、表 8-2，本底检测报告见附件 9。

表 8-1 本项目拟建址及周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果

测点 编号	测点描述	测量结果（nGy/h）	
		γ 辐射空气吸收剂量率	标准差
1	一层拟建址东侧大厅（楼房室内）		
2	拟建址南侧道路（室外道路）		
3	一层拟建址西侧放射诊疗区通道（楼房室内）		
4	一层拟建址北侧办公室（楼房室内）		
5	一层拟建址中部室内走廊（楼房室内）		
6	拟建址南侧约 15m 处传染门诊楼（楼房室内）		
7	拟建址北侧约 35m 处营养餐厅楼（楼房室内）		
8	一层拟建址下方地下车库（楼房室内）		
9	二层拟建址东侧大厅（楼房室内）		
10	二层拟建址西侧通道（楼房室内）		
11	二层拟建址北侧内科诊室（楼房室内）		

12	二层拟建址中部室内走廊（楼房室内）	
13	二层拟建址屋顶上方平台（室外道路）	

注：测量结果已依据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2016）（单位：μSv/h）；
检测点位见图 8-13、图 8-14。

表 8-2 本项目拟建址β表面污染水平监测结果

测点编号	测点描述	测量结果（Bq/cm ² ）
1	一层拟建址东侧大厅	
2	拟建址南侧（室外道路）	
3	一层拟建址西侧（放射诊疗区通道）	
4	一层拟建址北侧（办公室）	
5	一层拟建址中部（室内走廊）	
6	二层拟建址东侧大厅	
7	二层拟建址西侧通道	
8	二层拟建址北侧（内科诊室）	
9	二层拟建址中部（室内走廊）	

注：多功能表面沾污α、β-γ检测仪β表面污染探测下限（MDL）为 0.142Bq/cm²，检测点位见图 8-13、图 8-14。

4、环境现状调查结果评价

评价方法：参照江苏省环境天然γ辐射剂量率调查结果，评价项目周围的辐射环境质量。

由表 8-1 监测结果可知，本项目拟建址及周围环境室内γ辐射空气吸收剂量率为（75.6~93.6）nGy/h（测量结果已扣除宇宙射线响应值），道路和屋顶平台环境γ辐射空气吸收剂量率为（99.0~100）nGy/h（测量结果已扣除宇宙响应值），本项目拟建址周围γ辐射空气吸收剂量率均位于江苏省室内、道路环境天然γ辐射水平参考范围内，属江苏省环境天然γ辐射正常水平。

由表 8-2 监测结果可知，本项目拟建址处β表面污染检测结果均低于仪器探测下限。

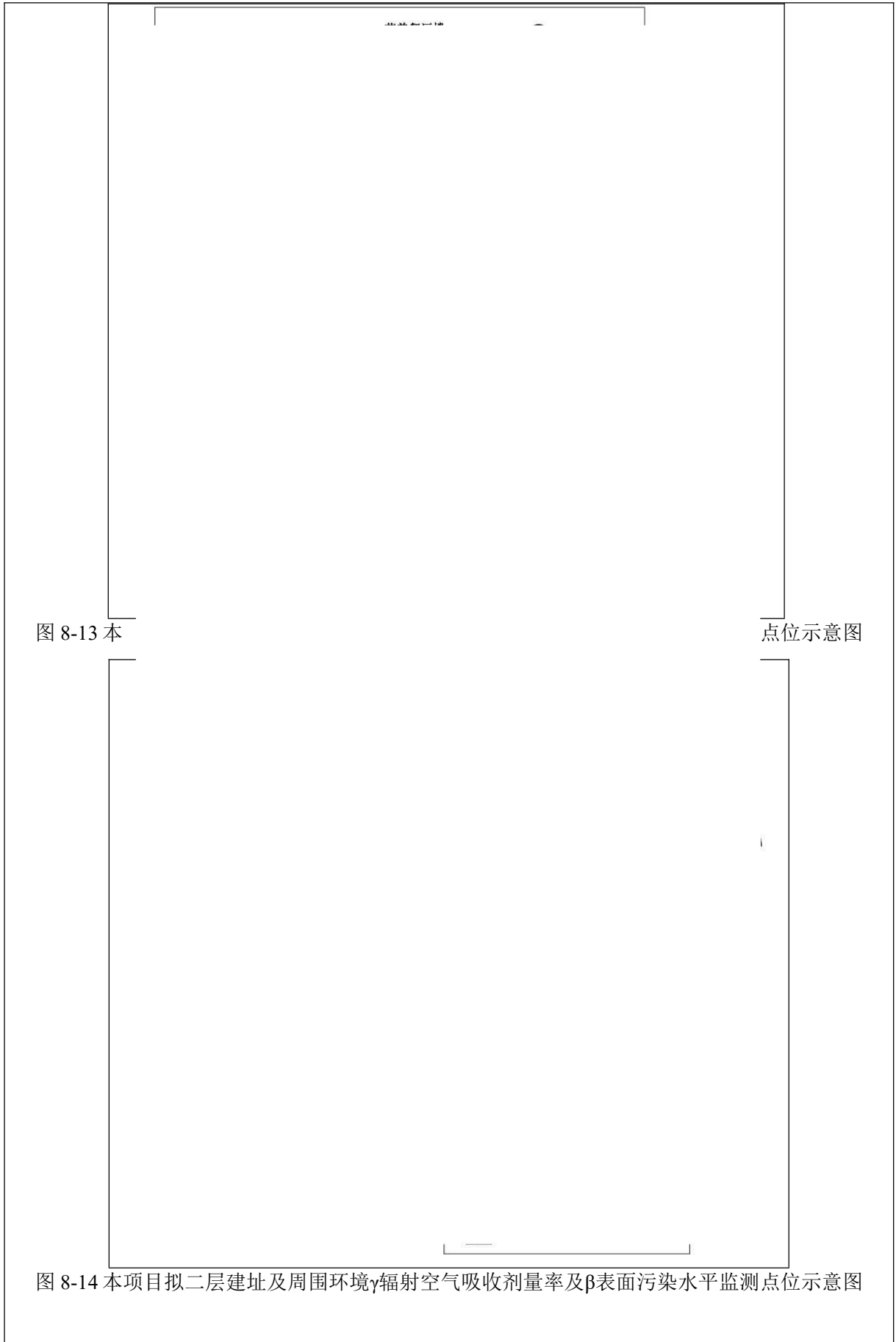


表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、设备组成及工作方式

(一) 一层使用 PET/CT

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。探测系统是整个正电子发射显像系统中的主要部分，它采用的块状探测结构有利于消除散射、提高计数率。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。常见 PET/CT 外观图见图 9-1。



图 9-1 常见 PET/CT 外观图

根据医院提供的资料，本项目拟配备的 1 台 PET/CT 项目位于新院区放射治疗中心核医学科一层 PET/CT 机房，拟配备的 PET/CT 型号 GEMaxElite+，最大管电压为 140kV，最大管电流为 600mA，使用 ^{18}F 进行扫描显像检查，本项目 PET/CT 使用 2 枚 ^{68}Ge 密封源进行质控（活度为： $3.5\times 10^6\text{Bq}\times 1$ 枚； $5.5\times 10^7\text{Bq}\times 1$ 枚）。本项目 CT 装置主要技术参数见表 9-1，放射源情况表 9-2。

表 9-1 本项目 CT 装置主要技术参数

指标	
型号	
使用场所	T 机房
额定管电压	
额定管电流	

表 9-2 ^{68}Ge 校准源情况一览表

放射源名称	总活度 (Bq)	类别	活度种类	使用场所	贮存地点
^{68}Ge	$1 \times 3.5 \times 10^6$	V	固态密封源	PET/CT 机房	储源室
^{68}Ge	$1 \times 5.5 \times 10^7$	V	固态密封源	PET/CT 机房	储源室

本项目 PET/CT 工作场所每天进行核素显像的患者最多 10 人，年门诊量最多 2500 人，受检患者单人最大药物 (^{18}F) 用量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ，每天 2 次送药，送药时按最大用药量的 3 倍备药，则每批次最大送药量为 $5.55 \times 10^9 \text{Bq}$ （手套箱内最大暂存活度），日最大操作量为 $1.11 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，年最大用量为 $2.775 \times 10^{12} \text{Bq}$ 。本项目 PET/CT 工作场所非密封放射性核素情况见表 9-3。

表 9-3 本项目 PET/CT 工作场所非密封放射性核素情况一览表

核素	单人单次最大操作量 (备药活度) (Bq)	单人单次最大注射活度 (Bq)	单日最大门诊量	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年门诊量	年最大操作量 (Bq)
^{18}F	1.11×10^9	3.7×10^8	10 人	1.11×10^{10}	1.11×10^7	2500 人	2.775×10^{12}

说明：采用 3 倍备药，每日 2 次送药的原因：本项目 PET/CT 所用 ^{18}F 放射性药物半衰期仅 109.7min，药物供货单位距本院路程较远（主流供应商主要位于苏南地区包括南京市、常熟和无锡市等），单程转运耗时较长，运输途中核素持续衰变，拟实行每日 2 次分批次送药，上、下午诊疗间隔时间长，叠加医院配药质控、患者候诊、设备临时故障等环节活度损耗（运输+单批次最后一名患者用药开始时间约 4h-5h，约 3 个半衰期），经与医院核实确定拟采用 3 倍备药量采购，保障全天 PET 诊疗工作稳定开展。

根据非密封放射性物质工作场所的日等效操作量判断工作场所等级。放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量 (Bq) 与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。

查阅《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 表 A.1、A.2 得到 ^{18}F 核素的毒性组别为“低毒”，毒性组别修正因子取 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)(二)常见的放射性药品生产、使用场所日等效操作量核算中操作因子的选取：3.医疗机构使用 ^{18}F 相关活动视为“很简单的操作”。操作方式修正因子取 10。本项目 PET/CT 工作场所日等效最大操作量计算见表 9-4。

表 9-4 本项目 PET/CT 工作场所日等效操作量情况一览表

工作场所	核素	日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)
PET/CT 工作场所	^{18}F	1.11×10^{10}	0.01	10	1.11×10^7

由表 9-4 可知，淮安市淮安医院核医学科 PET/CT 场所拟使用的放射性核 ^{18}F 日等

效最大操作量为 $1.11 \times 10^7 \text{Bq}$ 。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），确定本项目一层 PET/CT 工作场所为 1 个丙级非密封放射性物质工作场所。

（二）二层使用 SPECT/CT

SPECT/CT（SinglePhotonEmissionComputedTomography，单光子发射型计算机断层显像），是一种利用放射性核素的检查方法。SPECT/CT 主要由三部分组成，即探头、旋转运动机架、计算机及其辅助设备。探头部分主要由准直器、晶体、光导、光电倍增管、模拟定位计算电路组成。SPECT/CT 自身带有一个 CT 球管，在 SPECT/CT 核素显像的基础上，可以同时获得 CT 解剖图像，从而更有利于对疾病做出全面、准确的判断。

常见 SPECT/CT 外观图见图 9-2。



图 9-2 常见 SPECT/CT 外观图

根据医院提供的资料，本项目拟配备的 1 台 SPECT/CT 项目位于新院区放射治疗中心核医学科二层 SPECT/CT 机房，拟配备的 SPECT/CT 型号 GENM/CT860，最大管电压为 140kV，最大管电流为 200mA，使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行扫描显像检查。定期使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药品进行质控。本项目 CT 装置主要技术参数见表 9-5。

表 9-5 本项目 CT 装置主要技术参数

指标	技术参数
型号	
使用场所	
额定管电压	
额定管电流	

本项目 SPECT/CT 工作场所使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素显像每天最多 10 人，年门诊量最多

2500 人，受检患者单人最大药物（ ^{99m}Tc ）用量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ （25mCi），每天 2 批送药（每批次 5 人份），单批次送药（手套箱内暂存）最大活度 $4.625 \times 10^9 \text{Bq}$ （125mCi），日最大操作量为 $9.25 \times 10^9 \text{Bq}$ （250mCi），年最大用量为 $2.3125 \times 10^{12} \text{Bq}$ 。本项目 SPECT/CT 工作场所非密封放射性核素情况见表 9-6。

表 9-6 本项目 SPECT/CT 工作场所非密封放射性核素情况一览表

核素	单人单次日最大操作量（Bq）	单人单次最大注射活度（Bq）	单日最大门诊量	日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年门诊量	年最大操作量（Bq）
^{99m}Tc	9.25×10^8	9.25×10^8	10 人	9.25×10^9	9.25×10^6	2500 人	2.3125×10^{12}

查阅《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）表 A.1、A.2 得到 ^{99m}Tc 核素的毒性组别为“低毒”，毒性组别修正因子取 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）(二)常见的放射性药品生产、使用场所日等效操作量核算中操作因子的选取:3.医疗机构使用 ^{99m}Tc 相关活动视为“很简单的操作”，操作方式修正因子取 10。本项目 SPECT/CT 工作场所日等效最大操作量计算见表 9-7。

表 9-7 本项目二层 SPECT/CT 区日等效操作量情况一览表

工作场所	核素	日最大操作量（Bq）	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量（Bq）
二层工作场所	^{99m}Tc	9.25×10^9	0.01	10	9.25×10^6

（三）二层使用 ^{131}I 核素诊疗

拟在二层场所内使用 ^{131}I 甲亢治疗和甲状腺吸碘率测定，其中使用 ^{131}I 核素进行甲亢治疗，日最多治疗 5 人，单人使用 ^{131}I 核素最大活度 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi）， ^{131}I 核素日最大操作量为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ （50mCi），年最多治疗人数不超过 100 人，则使用 ^{131}I 核素年最大操作量为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ （1Ci）；使用 ^{131}I 甲状腺吸碘率测定，日最多检测 25 人，单人使用 ^{131}I 核素最大活度 $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ （10 μCi ）， ^{131}I 核素日最大操作量为 $9.25 \times 10^6 \text{Bq}$ （0.25mCi），年最多治疗人数不超过 500 人，则使用 ^{131}I 核素甲状腺吸碘率测定年最大操作量为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ （5mCi）。

根据非密封放射性物质工作场所的日等效操作量判断工作场所等级。放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。

查阅《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）表 A.1、A.2 得到 ^{131}I 核素的毒性组别为“中毒”，毒性组别修正因子取 0.1，根据《关于明确核技术利用辐射安

全监管有关事项的通知》(环办辐射函〔2016〕430号)(二)常见的放射性药品生产、使用场所日等效操作量核算中操作因子的选取:3.医疗机构使用¹³¹I核素相关活动视为“简单操作”，操作方式修正因子取1。本项目¹³¹I工作场所日等效最大操作量以及本层合计日等效最大操作量核算见表9-8。

表9-8 本项目二层¹³¹I和^{99m}Tc日等效操作量情况一览表

工作场所	核素	用途	日最大操作量(Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量(Bq)	合计日等效最大操作量(Bq)
二层工作场所	¹³¹ I	甲亢治疗	1.85×10 ⁹	0.1	1	1.85×10 ⁸	1.952×10 ⁸
		甲状腺吸碘率测定	9.25×10 ⁶	0.1	1	9.25×10 ⁵	
	^{99m} Tc	显像诊断	9.25×10 ⁹	0.01	10	9.25×10 ⁶	

说明：本项目所用含^{99m}Tc药物拟采用预约送药，每日2批送药，送药时间为工作日上午7:30和下午1:30送达现场，含¹³¹I药物由送药单位1批送达，治疗前一天预约患者，于治疗当日下午3:30由供药单位送抵现场，由本层护师负责药物的接收和登记，并暂存到二层分装/注射室铅手套箱内操作。通过时间管理方式确保含^{99m}Tc药物和含¹³¹I药物不同时操作。因同一个手套箱内不同时操作2种放射性核素，存在交叉污染的可能性相对较大，两种核素共用同一手套箱时监测和清洁措施如下：

①手套箱排风工作期间保持开启不停机，防止放射性废气回流；

②每次接收放射性药物前进行表面污染监测，在满足表7-7规定的非密封放射性物质工作场所放射性表面污染控制水平以下方可接收，高于限值，须进行表面污染清污工作并重新监测，直至达标后方可接收放射性药品；

③医院拟将使用以上2种核素共用同一手套箱时监测和清洁措施写入操作规程、培训制度等相关制度内，确保工作中落实到位

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），确定本项目二层工作场所为1个乙级非密封放射性物质工作场所。

甲功仪（甲状腺功能测定仪）主要由探头系统、电子学单元及辅助配件三大部分构成，甲功仪通过张口型准直器聚焦甲状腺区域，将¹³¹I发出的γ射线经闪烁晶体、光电倍增管转换为电信号，经放大计数后，计算甲状腺吸碘率，评估其功能。

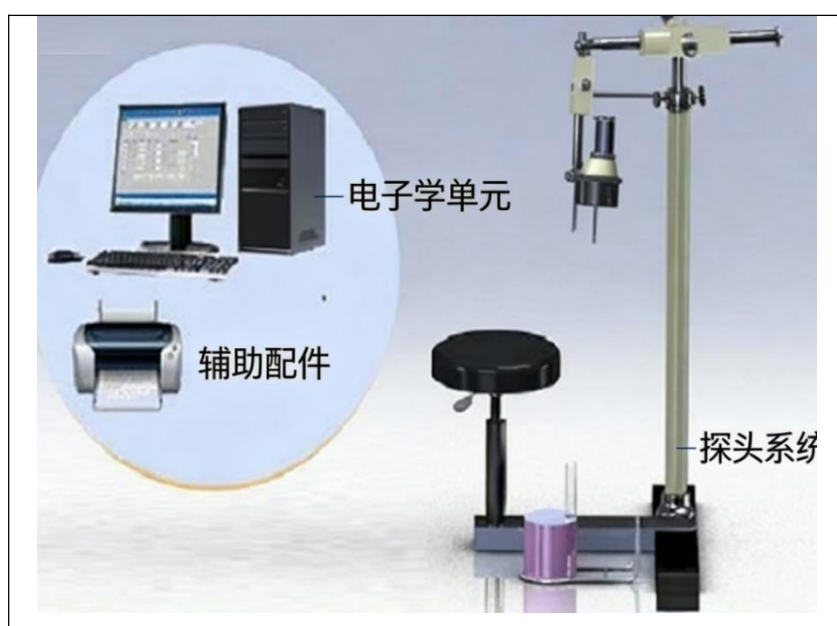


图 9-3 常见甲功仪组成及外观

二、工作原理及工作流程

(一) 一层使用 PET/CT 核素显像

1、工作原理

PET 是使用正电子衰变的核素而成像的设备。正电子发射是放射性核素衰变的方式之一。这类核素在自发的从不稳定状态向基态衰变过程中，从核内释放出与普通电子一样但电荷相反的粒子，即正电子。正电子是一种反物质，从核内放出后很快与环境中自由电子碰撞湮灭，转化为一对方向相反、能量为 0.511MeV 的 γ 光子。如果在这对光子飞行方向上对置一对探测器，便可以几乎同时接收到这两个光子，并可推定光子发源（即正电子发射）点在两探头间连线上。通过环绕 360° 排列的多组配对探头，经探头对之间符合线路检验判定每只探头信号时间耦合性，排除其他来源射线的干扰，得到探头对连线上的一维信息，再用滤波反投射方式，将信号按探头对的空间位置向中心点反投射，便可形成与探头组连线轴平行的断层面正电子发射示踪剂分布图像。这种探测方式一次只反映一个层面的信息。实用中常用多层排列的探头对，配合层间符合线路，以利探测并重建更多层面的图像。

PET/CT 全称正电子发射断层与计算机断层诊断技术，是在 PET 和 CT 的基础上发展起来的新设备，充分结合了 PET 高灵敏度和 CT 高分辨率的优势。其原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、

环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，藉此诊断疾病，又称为生化显像或功能分子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术；同时结合应用高档多排 CT 技术进行精确定位，可精确地提供靶器官的解剖和功能双重信息，并能够独立完成多排螺旋 CT 的临床显像，大大提高临床使用价值。

2、工作流程及产污环节

PET/CT 应用项目使用的 ^{18}F 放射性药物拟向药品供应商订购获得。医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，向药品供应商预订，药品供应商将药物送到一层分装/注射室内，科室指定专人负责药物的接收和登记，并暂存到一层分装/注射室手套箱内，当天用完。

医护人员在一层手套箱内根据患者用药情况将药物进行分装和活度测量（在分装/注射室手套箱内进行）。供药单位每天 2 批送药（每批次 5 人份），送药时按最大用药量的 3 倍备药，则每批次最大送药量为 $5.55 \times 10^9 \text{Bq}$ （150mCi），放置于 40mmPb 的铅罐内。在 55mmPb 的手套箱内进行活度检测，在一层手套箱内将药物分装至带有钨合金注射器防护套（10mmPb）的注射器中（单人注射用活度 10mCi），分装药物过程中（含活度测量）， ^{18}F 核素会产生一定剂量的 γ 射线，对分装人员将造成外照射。

经校对无误后，注射护师将分装成单人次放射性药物在 40mmPb 的注射铅玻璃屏的屏蔽下为病人注射。注射完毕后的注射器放入专用废物铅桶内。每次分装过程中近距离接触正电子药物的时间保守按 2min（分装和活度测量）、注射过程按 1min 估算（注射前药物短距离运输至注射窗和注射过程）。在注射药物过程中， ^{18}F 核素会产生一定剂量的 γ 射线，将对注射人员及周围公众造成外照射，同时产生含 ^{18}F 核素的废弃注射器、医用手套、棉球、滤纸等放射性固体废物。在进行液态放射性药物（ ^{18}F ）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。来自分装/注射室的放射性废水含有放射性核素 ^{18}F 。

病人根据注入的正电子药物特性，在注射后休息室内静躺候诊（一般注射放射性药物后平均等待约 40min），待药物代谢至靶器官，进入 PET/CT 机房，经技师摆

位（复位）后，接受 PET/CT 的扫描，扫描过程中技师中间隔 6mmPb 观察窗隔室操作，每次摆位约 1~2min（按照每位患者 2min 摆位计算），每次扫描平均用时约 20min，扫描工作在控制室（操作间）6mmPb 观察窗前。扫描完成后，病人在留观室休息，留观一段时间后（约 20min），若无其他情况，经病人专用通道离开。

病人在注射后休息室内候诊时，病人体内的 ^{18}F 核素会产生一定剂量的 γ 射线，专用卫生间内会产生含 ^{18}F 核素的放射性废水。技师在进行近距离摆位操作时可能受到病人体内 ^{18}F 核素产生的 γ 射线外照射。病人在检查室扫描时，技师和病人都可能受到 ^{18}F 核素产生的 γ 射线外照射，当进行 CT 扫描时，还可能受到 X 射线外照射，同时因核素衰变产生 γ 射线以及 CT 产生 X 射线会使空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。病人在留观过程中身体内会残留部分 ^{18}F 核素，会产生一定剂量的 γ 射线以及使用卫生间会产生含 ^{18}F 的放射性废水。

（1）药物接收：PET/CT 应用项目使用的 ^{18}F 放射性药物拟向药品供应商订购获得。医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，向药品供应商预订，药品供应商按照约定时刻将药物送到一层分装/注射室内，科室指定专人（拟定分装/注射护师）负责药物的接收、核对和登记，并暂存到一层分装/注射室手套箱内，当日来药、当天用完，不贮存。 ^{18}F 药物到货时为装入铅罐内的整罐药液，护师从铅罐中取出 ^{18}F 药物，经检查符合规范要求后接收放入手套箱内暂存（过程约 20s），按患者所需活度进行分装，PET/CT 诊断项目日最大门诊量为 10 人，单人单次最大使用活度为 $10\text{mCi}(3.7\times 10^8\text{Bq})$ ，考虑到放射性药物的衰变，每天上午 7:30 和下午 1:30 进行送药到医院，每批次送药量最大为 $5.55\times 10^9\text{Bq}(3\text{ 倍备药})$ 。

送药过程中由药品供应商运输，由供应商工作人员运送，过程中的辐射防护按照相关规定实施，产生的环境影响不计入本项目评价内容。

（2）取药、分装、活度测量：护师在 55mmPb 的手套箱内分装、活度检测，分装成单人使用活度，在一层手套箱内将药物分装至带有钨合金注射器防护套（10mmPb）的注射器中（单人注射用活度 10mCi ）。

取药、分装、活度测量过程中 ^{18}F 核素会产生一定剂量的 γ 射线，会对注射人员和环境造成外照射，同时产生含 ^{18}F 核素的废弃注射器、医用手套、棉球、滤纸等放射性固体废物。在进行液态放射性药物（ ^{18}F ）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。来自分装/注射室的冲洗等放射性废水含有放射性核素 ^{18}F 。医院拟为 PET/CT 诊断项目配备 1 名护师，负责核素取药、分装、活度测量。

(3) 注射药物：经校对无误后，注射护师手持带 10mmPb 铅套的注射器，在 40mmPb 当量注射铅玻璃屏的屏蔽下为患者注射。注射过程中 ^{18}F 核素会产生一定剂量的 γ 射线，会对注射人员和环境造成外照射，注射完毕后，废弃注射器放入专用废物铅桶内。每次分装过程中近距离接触正电子药物的时间保守按 2min、注射过程按 1min 估算，医院拟为 PET/CT 诊断项目配备 1 名护师，负责核素注射。

(4) 注射后患者候诊：患者根据注入的正电子药物特性，在候诊室内静坐候诊(约 40min)。病人在注射后休息室内候诊时，病人体内的 ^{18}F 核素会产生一定剂量的 γ 射线，专用卫生间内会产生含 ^{18}F 核素的放射性废水，另外产生如纸巾、卫生纸、口罩、一次性物品、呕吐物、擦拭物、棉签等放射性固体废物。

(5) 轮流摆位：待药物代谢至靶器官，患者进入 PET/CT 机房，经医护人员摆位(每位患者摆位时间约 2min)后，患者体内 ^{18}F 核素产生的 γ 射线对工作人员和外环境产生外照射。

(6) 扫描：摆位结束后患者接受 PET/CT 的扫描，扫描过程中技师通过与机房之间 6mmPb 观察窗隔室操作，每次扫描约 20min。扫描期间，伴随 γ 外照射同时，CT 运行会产生 X 射线，进而对工作人员和环境产生 X 射线外照射， γ 射线，正电子束以及 CT 产生 X 射线会使空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。

(7) 留观：扫描完成后，患者在留观室留观一段时间后（一般小于 30min），若无其他情况，从患者专用通道离开。患者在留观过程中因身体内残留部分 ^{18}F 核素，会产生一定剂量的 γ 射线，对环境造成外照射影响，同时使用卫生间后产生含 ^{18}F 核素的放射性废水，另外产生如纸巾、卫生纸、棉签、患者呕吐物等放射性固体废物。

(8) 离开：留观一段时间后，若无其他情况，从患者专用通道离开。

(9) 质控：本项目 PET/CT 使用 ^{68}Ge 放射源进行质控检测，由一层技师并负责日常保管 ^{68}Ge 质控放射源并使用，平时贮存在一层储源室内的储源罐中，质控一般每周一次，技师在对设备进行质控前，穿戴 0.5mmPb 的铅衣和铅眼镜，从储源室内取出储源罐转运至检查床旁，开启罐盖后，使用专用长柄放射源镊子夹取校准源，平稳放置于检查床指定质控点位；操作全程不得使用普通长柄钳子夹持放射源，避

免滑脱、损坏源壳。放置完成后盖紧储源罐，操作人员撤离机房至控制室开展设备质控工作，质控结束后，确认机房内无其他人员，操作人员穿戴 0.5mmPb 当量铅衣、铅眼镜进入机房；使用专用长柄放射源镊子夹取校准源，平稳放入储源罐内，立即盖紧储源罐防护盖，将储源罐转运至储源室内专用储源箱内存放并上锁，同步完成放射源使用记录登记。

使用时从储源室内储源罐取出，打开储源罐后，使得 γ 射线穿出，在此过程中， γ 射线经透射和散射对周围人员有一定的影响。不使用时放置于储源室内的密封铅容器内，铅容器对校准源产生的 γ 射线有很好的屏蔽，对周围环境影响较小。

本层涉源岗位和人数：

2 名护师轮流负责本场所 ^{18}F 放射性药物接收、分装、活度测量、药物注射，同时每日完成本场所放射性固体废物的收集与打包；2 名技师负责本场所患者摆位（2 人轮流）、扫描及设备日常质控校准（保管 ^{68}Ge 质控放射源并使用）；1 名医生主要涉源工作为核素扫描。

拟建核医学一层核素显像区 PET/CT 诊断项目工作流程及产污环节分析见图 9-4。

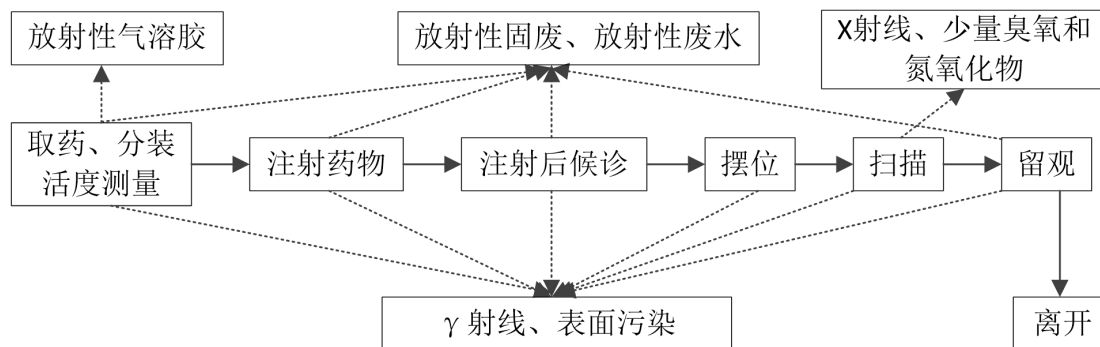


图 9-4 PET/CT 工作流程及产污环节示意图

本项目楼层上下房间存在辐射叠加影响，本次辐射影响核算均予以考虑：一层 PET/CT 机房上方为二层核素分装、注射室，一层分装注射室上方为二层运动负荷室（抢救室），核算时计入一层 PET/CT 扫描作业对二层分装注射室人员、一层分装注射作业对二层工作人员（主要为医师）的上行辐射叠加影响。同时，二层分装注射室、运动负荷室（抢救室）分别对应下方一层 PET/CT 机房、一层分装注射室，本次

评价同步核算二层房间作业对下层对应工作区域人员的下行辐射叠加影响。

3、人员、放射性药物流向

(1) 一层工作人员通道

从事分装/注射的护师从场所外走廊向北经血糖测定室向西穿越一层卫生通过间，向西进入分装/注射室进行药物质检、分装及药物注射等操作，工作结束后原路返回至卫生通过间淋浴间冲洗，在卫生通过间表污监测合格后更衣离开一层核医学工作区；技师从一层阅片室经由北侧医护走廊向西进入控制室（操作间），进入机房对患者摆位，摆位结束后返回控制室（操作间）内扫描显像，工作结束后原路返回。

(2) 一层患者走廊

PET 患者根据预约情况按照工作人员叫号顺序从一楼患者入口向西通过单向防护门进入患者走廊（入口处拟设置单向防护门禁和自动闭门装置，通过技术和管理手段确保人员只进不出）内的注射窗口处接受药物注射，注射后患者根据地标线指引进入注射候诊等候（分普通受药后诊室和VIP病人受药后诊室），候诊结束后根据工作人员叫号至 PET 机房内进行接收摆位和扫描检查，扫描完毕至留观室留观，无特殊情况由留观室西南侧专用患者离开出口离开核医学场所，出口设置单向门（出口处拟设置单向防护门禁和自动闭门装置，通过技术和管理手段确保人员只出不进）。

(3) 一层放射性药物通道

本项目放射性核素 ^{18}F 由送药单位分两批送达，于每日上午 7:30 和下午 1:30 上班之前经东侧患者走廊单向防护门向西经患者走廊向北进入分装/注射室，由本层 PET/CT 护师负责接收和登记，药物暂存在分装/注射室手套箱内。

(4) 一层放射性废物通道

每日所有患者离开后，工作人员将产生的放射性废物从各房间收集后，集中到北侧的放射性废物间并进行标记、贮存，在放射性废物间中的铅桶内自然衰变 30 天，并经检测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医疗废物处理。工作人员、患者及放射性药物等流向情况见下图 10-1。

(三) 二层使用 SPECT/CT 核素显像

1、工作原理

SPECT/CT (SinglePhotonEmissionComputedTomography, 单光子发射型计算机断层显像), 是一种利用放射性核素的检查方法。SPECT/CT 使用放射性核素进行诊断的基本原理是: 患者注射含放射性核素的药物, 放射性核素在特定的器官或组织发射出 γ 射线, 穿过组织器官后到达 SPECT/CT 探测器。SPECT/CT 使用低能准直器对 γ 射线进行准直, 通过闪烁体将 γ 射线能量转换为光信号, 再通过光电倍增管将光信号转化为电信号并进行放大, 得到的测量值代表在该投影线上的放射性大小, 再利用计算机从投影求解断层图形。其主要的功能特点是: 除了显示脏器形态结构外, 更重要的是可观察到脏器血流灌注、功能和代谢的变化。临床主要应用于骨骼显像、心脏灌注断层显像、甲状腺显像、肺显像、肾动态显像等。

具体如下:

①放射性药物引入与代谢分布

患者静脉注射特异性放射性药物 (^{99m}Tc 标记化合物, 属于低毒组单光子核素)。药物经血液循环后, 依据其生物学特性, 特异性浓聚于靶器官或病变组织 (如骨骼、心肌、甲状腺等)。

② γ 射线探测与信号转换

滞留在靶器官内的核素衰变时, 持续发射出 140keV (0.14MeV) 的 γ 光子。 γ 光子穿过人体组织到达 SPECT/CT 探测器。探测器前端配备低能高分辨准直器, 仅允许沿特定方向入射的 γ 光子通过, 以消除散射干扰。

③光子进入探测器后, 撞击 NaI(Tl)闪烁晶体, 将高能 γ 光子的能量转换为微弱的可见光信号。该光信号被环绕患者的光电倍增管阵列接收, 并转换为电信号, 经放大和模数转换后形成计数数据。

④投影采集与断层重建

SPECT/CT 探头围绕患者旋转 360°, 从多角度、多方位连续采集投影数据, 获得不同投影线上的放射性计数分布。计算机系统利用滤波反投影法 (FBP) 或迭代重建算法, 对投影数据进行处理, 求解出横断面、冠状面、矢状面等断层图像。该图像能精准反映脏器的血流灌注、代谢活性及功能状态。

⑤CT 解剖定位与图像融合

在此基础上, SPECT/CT 一体机同步利用 X 射线 CT 模块对同一解剖区域进行快速扫描, 获得高分辨率、高精度的形态解剖图像。

系统通过图像融合技术，将反映功能代谢的 SPECT/CT 图像与反映解剖结构的 CT 图像进行精准配准与同机融合，形成“SPECT/CT 融合图像”。

2、工作流程及产污环节

SPECT/CT 项目使用的 ^{99m}Tc 放射性药物由具备资质的放射性药品供应商提供， ^{99m}Tc 药物到货时为供应商已经分装好的单人次用药活度的成品针剂，医院根据不同患者预约情况，确定当天所使用的药物种类和活度，向药品供应商预订，SPECT/CT 诊断项目日最大门诊量为 10 人，单人单次最大用药量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)，考虑到放射性药物的衰变，每天分上午、下午两批次进行送药， ^{99m}Tc 药物以规定的铅罐封装形式供货（药物运输、送药环节由供应商负责，相应辐射防护与环境影响不计入本项目评价范围），护师负责药物的接收和登记，每批次送药量最大为 $4.625 \times 10^9 \text{Bq}$ (125mCi)，单支配备 2mmPb 钨合金防护套，放置于 10mmPb 的铅罐内。暂存于储源室内，并暂存到二层手套箱内，注射前活度测量时移至分装/注射室手套箱内，实行当日领用、当日用完，不贮存。

医院拟为二层场所配备 5 名辐射工作人员，包括 1 名医师，2 名技师，2 名护师。技师对患者摆位、扫描及设备定期质控，其中摆位由 2 名技师轮流进行，2 名护师轮流进行 ^{99m}Tc 药品接收、活度测量以及对患者进行药物注射（包括轮流进行 ^{131}I 核素分装、给药，见后文），医生涉源阶段主要为扫描过程，护师在进行活度测量和注射过程中 ^{99m}Tc 释放的 γ 射线会对操作人员产生外照射，同时产生少量的放射性废水、放射性固体废物以及放射性废气，病人注射后患者体内 ^{99m}Tc 产生 γ 外照射，以及给药候诊室和留观室停留期间产生放射性废水、放射性固体废物、在技师摆位和扫描期间，会受到患者身体内产生的 γ 射线外照射，使用 ^{99m}Tc 药品质控过程中会受到 γ 外照射。具体如下。

（1）药物接收：SPECT/CT 项目使用的 ^{99m}Tc 放射性药物由具备资质的放射性药品供应商提供， ^{99m}Tc 药物到货时为供应商已经分装好的成品针剂，医护人员从铅罐中取出 ^{99m}Tc 药物经检查符合规范要求后接收放入手套箱内，SPECT/CT 诊断项目日最大门诊量为 10 人，单人单次最大用药量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)，考虑到放射性药物的衰变，每天分上下午两批次进行送药， ^{99m}Tc 药物以规定的铅罐封装形式供货（药物运输、送药环节由供应商负责，相应辐射防护与环境影响不计入本项目评价范围），每批次送药量最大为 $4.625 \times 10^9 \text{Bq}$ (125mCi)，单支配备 2mmPb 钨合金防

护套，放置于 10mmPb 的铅罐内。暂存于储源室内，实行当日领用、当日用完，不设贮存。

(2) 活度测量：单人注射活度为 25mCi。注射前需进行活度测量，注射前将药物移动至分装/注射室手套箱内进行活度测量，单人次用药活度测量按照 1min 计算。过程中 ^{99m}Tc 释放的 γ 射线会对操作人员产生外照射，并产生废弃医用手套、棉球、滤纸等放射性固体废物；液态放射性药物在敞开操作时，会有微量放射性物质挥发，可能通过吸入途径对操作人员（护师）造成内照射；操作台面冲洗等环节会产生含 ^{99m}Tc 的放射性废水。

(3) 注射药物：经核对无误后，护师在 2mmPb 铅玻璃屏蔽防护下，为患者注射 ^{99m}Tc 药物。部分患者需经运动负荷后接收注射，注射过程中 γ 射线会对操作人员产生外照射，使用后的废弃注射器立即放入专用放射性废物铅桶。单次注射时间按 1min 保守估算。

(4) 给药后候诊：患者注射药物后，在给药后候诊室静卧等候约 40min，待药物在体内分布。候诊期间，患者体内 ^{99m}Tc 产生 γ 外照射；患者使用专用卫生间会产生含 ^{99m}Tc 的放射性废水；同时产生纸巾、口罩、棉签、擦拭物等放射性固体废物。

(5) 轮流摆位：药物在靶器官充分分布后，患者进入 SPECT/CT 机房，由技师进行摆位，单人摆位时间约 2min。摆位期间，患者体内 ^{99m}Tc 释放的 γ 射线以及 CT 运行会对工作人员产生外照射。

(6) 扫描：摆位完成后，工作人员在屏蔽室外隔室操作，通过 4mmPb 观察窗监控扫描过程，单次扫描时间约 20min。扫描期间，患者体内 ^{99m}Tc 产生 γ 外照射；同时 CT 工作产生 X 射线外照射，并因 X 射线和核素衰变产生的 γ 射线对空气的电离作用，生成少量臭氧及氮氧化物。

(7) 留观：扫描结束后，患者在留观室留观约 20min，无异常情况由专用通道离开。留观期间，患者体内残留的 ^{99m}Tc 会产生对外环境产生 γ 外照射；患者使用卫生间产生含 ^{99m}Tc 的放射性废水，并产生纸巾、棉签等放射性固体废物。

(8) 离开：留观一段时间后，若无其他情况，从患者专用通道离开。

本层涉源岗位和人数：

二层 SPECT/CT 区域使用 ^{99m}Tc 、 ^{131}I ，拟配置 5 名辐射工作人员（1 名医师、2 名技师、2 名护师）：

①医师仅接触 ^{99m}Tc ，值守控制室、办公区，不接触 ^{131}I ，无轮岗；

②2 名技师仅操作 ^{99m}Tc ，完成、扫描、摆位（2 名技师轮流摆位）、定期对设备进行质控， ^{131}I 操作时全程在控制室远距离值守；

③2 名护师轮流操作两类核素，负责 ^{99m}Tc 取药、测活度、注射；于开展 ^{131}I 核素诊疗当日 15:30 后进行 ^{131}I 接收、分装、给药，单次分装约 2min、给药 1min，患者约 10min 短时留观，护师不涉及连续工作时间延长。

④仅护师接触 ^{131}I 核素，医师、技师不参与该核素相关近距离操作。

拟建核医学二层核素显像区 SPECT/CT 诊断项目工作流程及产污环节分析见图 9-6。

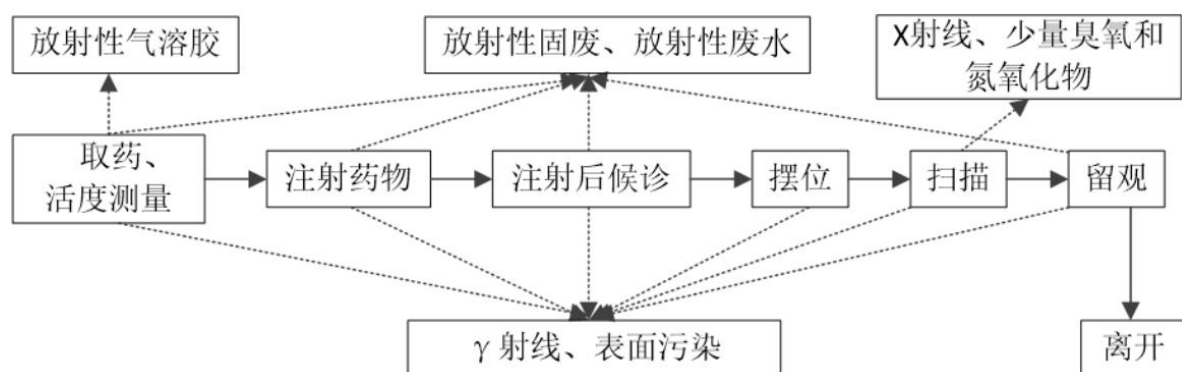


图 9-6 SPECT/CT 工作流程及产污环节示意图

本项目二层 SPECT/CT 需要使用 ^{99m}Tc 核素进行质控，预计每周一次，SPECT/CT 工作场所技师使用 ^{99m}Tc 核素对 SPECT/CT 进行质控，质控一般每周一次，技师在对设备进行质控前，穿戴 0.5mmPb 的铅衣和铅眼镜，从分装室中将装有 ^{99m}Tc 核素（每次不超过 2mCi）通过转运防护盒（5mm 铅当量）检查床旁，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，穿戴 0.5mmPb 的铅衣和铅眼镜进入机房，将核素放回防护盒，按规定路线送回分装/注射室统一存放处置，做好使用记录与表面污染监测。质控单次近源接触时间不超过 20min，过程中 ^{99m}Tc 核素衰变产生 γ 射线会对质控工作人员（指二层场所内技师）造成 γ 射线外照射。

本项目楼层上下房间存在辐射叠加影响，本次辐射影响核算均予以考虑：一层 PET/CT 机房上方为二层核素分装、注射室，一层分装注射室上方为二层运动负荷室（抢救室），核算时计入一层 PET/CT 扫描作业对二层分装注射室人员、一层分装注射作业对二层工作人员（主要为医师）的上行辐射叠加影响。同时，二层分装注射室、运动负荷室（抢救室）分别对应下方一层 PET/CT 机房、一层分装注射室，本次

评价同步核算二层房间作业对下层对应工作区域人员的下行辐射叠加影响。

3、人员、放射性药物流向

①二层工作人员通道

从事分装/注射的护师从办公室向西进入卫生通过间，向西进入分装/注射室进行药物分装、活度测量、注射给药等操作，工作结束后原路返回至卫生通过间去污，在卫生通过间表污监测合格后更衣离开工作区；技师和医师从医生办公室由东向西经医生走廊进入控制室（操作间）和机房，工作结束后原路返回。

②二层患者

SPECT/CT 患者根据预约从东侧大厅向西进入问诊室登记处，根据工作人员叫号后向西通过单向防护门（入口处拟设置单向防护门禁和自动闭门装置，人员只进不出）进入患者走廊内的注射窗口接受 ^{99m}Tc 药物注射，注射后患者根据地标线指引进入 SPECT/CT 注射候诊等候，根据工作人员叫号至 SPECT/CT 机房内进行扫描检查，单次扫描平均用时约为 20min，检查完毕至留观室留观约 20min，无特殊情况由留观室经西侧单向防护门离开工作场所（出口处拟设置单向防护门禁和自动闭门装置，人员只出不进）、经污梯离开 2 层核医学场所至 1 层出口。部分患者需在运动负荷室（抢救室）运动后接受药物注射，再前往候诊区候诊，后续诊疗工作同其他患者。

③二层放射性药物通道

本项目所用放射性核素 ^{99m}Tc 药物由送药单位分 2 批送达，于每日上午 7:30 和下午 1:30 经患者走廊单向防护门送入分装/注射室北侧储源室，由本层 SPECT/CT 护师负责接收和登记，药物暂存在储源室铅屏蔽箱内暂存。

④二层放射性废物通道

每日所有患者离开后，工作人员将产生的放射性废物从各房间收集后，集中到北侧放射性废物间内铅桶中，并进行标记、贮存，在放射性废物间中的铅桶内自然衰变 30 天，并经检测辐射剂量率处于所处环境本底水平、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，作为医疗废物处理。

工作人员、患者及放射性药物等流向情况见下图 10-2。

（三）二层使用 ^{131}I 核素诊疗（甲亢治疗、甲状腺吸碘率测定）

1、工作方式、工作原理及工作流程

（1）工作方式

甲亢¹³¹I治疗采用核素药液分装给药、患者在患者走廊给药窗外口服、隔离留观的放射性核素治疗工作方式，甲状腺吸碘率测定采用口服微量放射性核素示踪、体外体表探测的工作方式。本项目核医学二层使用的¹³¹I放射性药物拟向药品供应商订购获得。根据诊疗安排，¹³¹I核素治疗集中在下午时段进行，¹³¹I核素治疗与当日^{99m}Tc显像患者诊断时间错开（¹³¹I核素分装集中在使用当日下午时段并与使用^{99m}Tc药物活度测量错开时间、工作人员不同时使用本层手套箱）。

（2）工作原理

甲亢治疗：¹³¹I甲亢治疗利用放射性核素¹³¹I衰变产生的β射线对患者进行内照射发挥治疗作用。

含¹³¹I放射性药物口服后¹³¹I被甲状腺特异性浓聚，衰变发射的β射线（EC衰变，最大能量0.606MeV）在甲状腺组织内产生电离辐射效应，破坏部分功能亢进的甲状腺滤泡上皮细胞，减少甲状腺激素分泌，实现甲亢治疗（伴随发射的365keV的γ射线仅用于体外显像，不参与治疗过程）。

甲状腺吸碘率测定（甲状腺吸碘率测定）：主要利用放射性核素¹³¹I衰变产生的γ射线进行放射性计数，从而达到甲状腺吸碘率测定的目的。

¹³¹I甲状腺吸碘率测定利用甲状腺对碘的特异性摄取特性：患者口服极低活度（10μCi）¹³¹I溶液，药物被甲状腺特异性浓聚后，衰变发射的364keVγ射线穿透人体，由体外γ探测器（本项目采用甲功仪）测量甲状腺部位放射性计数，计算甲状腺摄碘率，评估甲状腺功能状态；测试所用活度极低，仅利用γ射线进行功能监测，无治疗作用。

（2）工作流程及产污环节

医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，向药品供应商预订，药品供应商将药物送到二层分装/注射室内，1批送药，于诊疗当日下午约3:30由供药单位送抵现场分装/注射室，科室指定专人负责药物的接收和登记，经检查符合规范要求后接收，放置于手套箱内10mmPb的铅罐内临时暂存，并直接在手套箱内通过手动分装仪完成活度测量、分装及给药准备，¹³¹I放射性药物当天用完、不储存。

经校对无误后，由护师在手套箱内通过10mmPb分装仪器进行放射性药物分装操作：先集中分装甲状腺吸碘率测定患者用药，再分装甲亢患者用药。甲状腺吸碘率测定患者用药在分装、质控完成后，一次性送至摄碘室，随后护师根据预约甲亢患

者情况，开展甲亢治疗用 ^{131}I 药物的活度核算、分装、活度测量及给窗口给药工作。

具体如下：分装好的单人份 ^{131}I 核素药液，在手套箱内完成分装后，立即放入铅当量 10mmPb 的专用单份铅罐密封，由护师沿同室最短路径（约 5m），传递至注射分装室侧（内侧）的给药窗（铅当量 10mmPb 的给药窗）。护师在窗内侧将铅罐放入给药窗内，关闭内侧互锁窗，通过对讲通知患者在外侧等候。患者在给药窗外侧，由护师通过视频对讲指导，从给药窗外侧取出药液，直接在窗旁完成服药，服药完成后，患者立即离开，护师在窗内侧取回一次性服药纸杯，单独放置分装/注射室内单独存放于含 ^{131}I 放射性固体废物的废物桶内。

每人次甲亢用药和甲状腺功能测定患者用药分装和活度测量过程中，工作人员近距离接触含 ^{131}I 药物的时间分别保守按 2min 和 1min 估算，甲亢患者口服给药过程按 1min 估算。

在分装至口服药物过程中， ^{131}I 核素会产生一定剂量的 γ 射线，将对工作人员及其他人员造成外照射，同时产生含 ^{131}I 核素的废弃一次性杯子、医用手套、棉球、滤纸等放射性固体废物。在进行液态放射性药物（ ^{131}I ）操作过程中，若放射性药物液面处于开放状态，空气中可能挥发少量的放射性同位素，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。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定，接受 ^{131}I 诊疗的患者体内放射性活度降至低于 400MBq（10.8mCi）或距离患者体表 1m 处周围剂量当量率不大于 25 $\mu\text{Sv/h}$ 方可出院。本项目甲亢患者单人次用药活度为 10mCi，因此甲亢患者服药后不住院只留观约 10min，短暂留观，若无不良反应，即可离开医院；甲状腺吸碘率测定患者单人次用药量为 10 μCi （单人用药量为豁免水平），分别于服药后 2h、4h、6h、24h 由东侧外等待区进入服碘室进行吸碘率的测定，每次测定约 1min，测定结束后打印报告，检查结束离开医院。

工作流程及产污环节分析见图 9-7 和图 9-8。

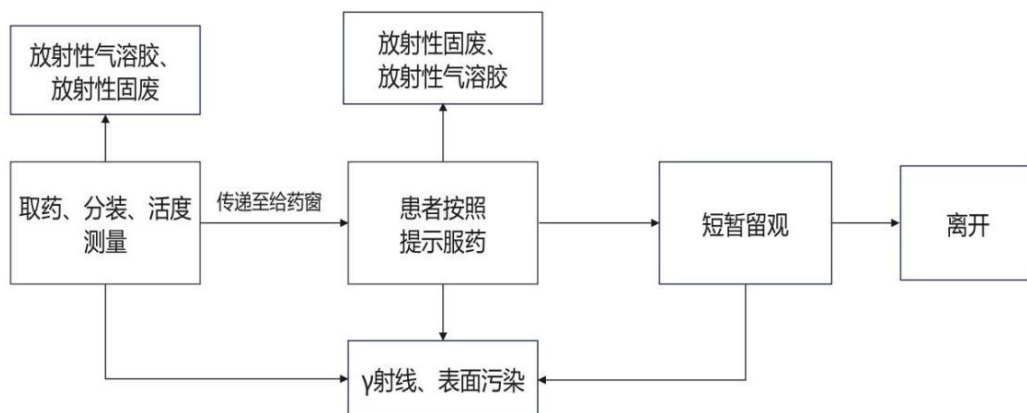


图 9-7 ^{131}I 核素甲亢治疗工作流程及产污环节分析示意图

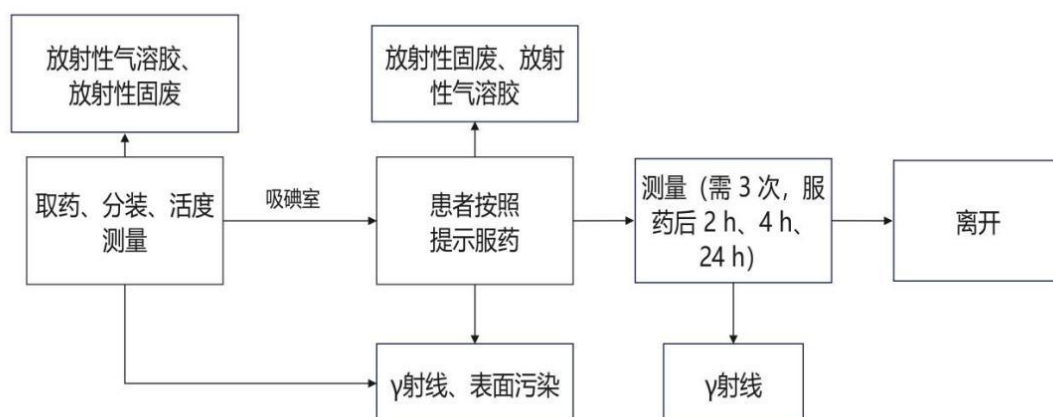


图 9-8 ^{131}I 核素甲状腺吸碘率测定工作流程及产污环节分析示意图

(3) 人员、放射性药物流向

二层场所 ^{131}I 核素诊疗拟配备 3 名辐射工作人员，包括 1 名医师，2 名护师均由 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素工作人员兼任，不再另行安排人员。护师在分装/注射室对放射性药物进行分装并负责对患者叫号，在护师将药品传递至给药窗后引导患者在给药窗前服药，并将一次性服药杯放回原处，按照每人分装和给药分别约为 2min 和 1min；甲亢治疗日最多治疗 5 人，年治疗 100 人，甲状腺吸碘率测定每日最大诊断 25 人，全年不超过 500 人。

甲状腺吸碘率测定诊断使用 ^{131}I 核素由护师当日下午提前分装后送至摄碘室，由

医生根据预约情况对患者进行服药指导。患者服药后即可离开，过程中会产生少量的放射性固体废物，无放射性药液洒落、无废液产生。

人员、放射性药物及放射性废物流向情况见下图 10-2。

1) 工作人员路线

二层护师分装完甲亢患者用药后在分装/注射室内指导患者服药，护师集中分装完甲状腺吸碘率测定患者用药后一次运输至摄碘室，医生在摄碘室内指导患者服药，结束后返回医生办公室（或问诊室）。

2) 患者路线

二层甲亢治疗和甲状腺吸碘率测定拟集中安排在下午进行，患者根据预约从二楼患者入口（经由电梯或楼梯间进入二层）向北先进入问诊室登记处，根据工作人员叫号向西进入患者走廊（入口处拟设置单向防护门禁和自动闭门装置，人员只进不出），其中甲状腺吸碘率测定患者服药后患者根据地标线指引通过西侧专用出口离开本层核医学场所，甲亢患者行至患者走廊内分装/注射室的 10mmPb 给药窗外侧通过护师指导进行口服用药，甲亢患者服药后进行短暂留观，无恙后根据地标线指引通过西侧专用出口离开本层核医学场所（入口处拟设置单向防护门禁和自动闭门装置，人员只出不进）。

3) ^{131}I 放射性药物路线

本项目所用含 ^{131}I 药物由送药单位 1 批送达，治疗前一天预约患者，于治疗当日下午 3:30 由供药单位送抵现场，由本层护师负责药物的接收和登记，并暂存到二层分装/注射室手套箱内铅防护罐中， ^{131}I 放射性药物当天用完、不储存。

含 ^{131}I 药物在场所内的流转：在护师集中分装完甲状腺吸碘率测定患者用药后一次运输至摄碘室。

4) 二层放射性废物通道

含碘放射性废物主要产生于分装/注射室和留观室，拟在分装/注射室内和留观室内设置专门存放含 ^{131}I 放射性固体废物的废物桶，治疗当日结束后将含 ^{131}I 放射废物（分装、质控和服药过程中产生的一次性服药杯、试管、手套、棉签、纱布、滤纸、破碎杯皿、擦拭污染物地面的物品等）及留观室内患者擦拭污染物、一次性口罩、呕吐污染物等分类收集至废物间专用含存放 ^{131}I 铅收纳桶内。不与含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性固体废物混合。

含 ^{131}I 的放射性固体废物（单独暂存衰变）暂存超过 180 天后，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后作为医疗废物处理。

三、核医学科一层原环评和本次重新报批的建设情况

1、核素使用

见下表 9-9。

表 9-9 核医学科一层场所原环评和本次重新报批使用核素情况一览表

原环评					本次重新报批			
序号	工作场所等级	工作场所名称	核素名称	日等效最大操作量 (Bq)	工作场所等级	工作场所名称	日等效最大操作量 (Bq)	变动原因
1	乙级	放射治疗中心一层核医学科	^{18}F	1.85×10^6	丙级	放射治疗中心一层核医学科	1.11×10^7	原设计一层只有一个扫描室，根据医院诊疗安排，因一层场所面积有限不能同时开展使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 诊疗活动，本次重新报批项目重新调整一层建设布局，将原设计于一层使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 扫描和 ^{131}I 甲亢的本次建设在核医学 2 层，同时增加使用 ^{131}I 进行甲功测定。根据医院诊疗计划和病患情况，目前阶段暂不开展使用 ^{89}Sr 进行诊疗。
2			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	9.25×10^6			/	
3			^{131}I 甲亢	7.4×10^7			/	
4			^{89}Sr	3.7×10^7			/	

说明：①根据原环评报告，原环评在一层场所使用 F-18 核素，每天最多诊断 5 人，最大操作量按照注射量 10mCi 直接取值，日最大操作量 $1.85 \times 10^9\text{Bq}$ （5 人/天 $\times 10\text{mCi}/\text{人次}=50\text{mCi}$ ），原环评在核医学一层使用 F-18 核素折算为日等效最大操作量 1.85×10^6 ；②本次重新报批环评计算期间，根据医院新的诊断安排，每日诊断人数由原环评阶段的每日最多 5 人增大至 10 人，考虑到本核素半衰期较短，按照最大辐射影响考虑了备药放大到 3 倍保守计算日等效操作量，则日最大操作量保守为 $1.11 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，即 300mCi （10 人/天 $\times 10\text{mCi}/\text{人次} \times 3$ 倍备药 $=300\text{mCi}$ ），折算为日等效最大操作量 $1.11 \times 10^7\text{Bq}$ ，比原环评阶段日等效最大操作扩大 5 倍。

2、原环评核医学科一层布局及本次变动情况

见下图 9-9。

^{99m} Tc 注射后候诊室、放射性废物暂存室、清洁用品储存室	四周墙体：20cm 混凝土+4cm 硫酸钡涂层； 顶棚：20cm 混凝土+4cm 硫酸钡涂层； 地面：100cm 混凝土；防护门：3mm 铅板	批复前（2022 年 1 月 4 日前）建成完成，现状墙体为轻质混凝土墙体。
治疗后留观室（抢救室）	四周墙体：20cm 混凝土+4cm 硫酸钡涂层； 顶棚：20cm 混凝土+4cm 硫酸钡涂层； 地面：100cm 混凝土；防护门：6mm 铅板	
控制室	南墙、西墙：20cm 混凝土+4cm 硫酸钡涂层； 东墙、北墙：20cm 混凝土；顶棚：20cm 混凝土； 地面：100cm 混凝土；防护门：10mmPb	
护士办公室	南墙：20cm 混凝土+4cm 硫酸钡涂层； 东墙、西墙、北墙：20cm 混凝土； 顶棚：20cm 混凝土；地面：100cm 混凝土；	
医生通道、男更衣室带卫淋	西墙、北墙：20cm 混凝土+4cm 硫酸钡涂层； 东墙、南墙：20cm 混凝土； 顶棚：20cm 混凝土； 地面：100cm 混凝土； 防护门：10mmPb；	
患者入口门、出口门	10mm 铅板	现场为普通门
注射窗	40mm 铅当量	未建设
手套箱	40mm 铅当量	未建设

表 9-11 核医学科一层场所原环评屏蔽设计参数

场所	本次改建设计	说明
PET/CT 机房	墙体：240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂层； 屋顶：120mm 混凝土+25mm 硫酸钡涂层； 地面：250mm 混凝土+15mm 硫酸钡； 防护门：8mmPb 铅玻璃窗：8mmPb	本次拟重新优化布局，重新设计防辐射墙体（屋顶重新设计硫酸钡涂层），本项目核医学科一层墙体原初设轻质混凝土墙体（2022 年 1 月 4 日前已建成）搭配硫酸钡板，因墙体承载力不足，原环评批复调整为砼墙体加硫酸钡涂层。后续复核发现该方案需大规模植筋，存在结构安全隐患，经专项论证，最终优化为实心砖墙体加硫酸钡板方案，兼顾结构安全与辐射防护要求。
分装/注射室	墙体：240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂层； 屋顶：120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层； 地面：250mm 混凝土； 防护门：8mmPb 注射窗：40mm 铅当量	
PET/CT 注射候诊室	墙体：240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂层； 屋顶：120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层； 地面：250mm 混凝土； 防护门：10mmPb	
VIP 注射候诊/抢救室	墙体：240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂层（卫生间西墙加厚至 80mm）； 屋顶：120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层； 地面：250mm 混凝土； 防护门：6mmPb	
留观室	墙体：240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂层（其中西墙为 240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂层	

	+120mm 混凝土)； 屋顶：120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层； 地面：250mm 混凝土 防护门：6mmPb	
患者走廊	墙体：240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂层； 屋顶：120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层； 地面：250mm 混凝土； 防护门：6mmPb	
衰变间（内含衰变池及附属设备设施）	墙体：240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂层（东侧紧邻楼梯间，东墙 240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂层+200mm 混凝土）； 屋顶：120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层； 地面：250mm 混凝土； 防护门：6mmPb	
手套箱 55mmPb、注射器套：10mm 铅当量、注射器转运防护盒：10mm 铅当量；铅废物桶：20mm 铅当量，PET/CT 机房门包含患者进出门和操作间门		

表 9-10 和表 9-11 中辐射防护材料密度：混凝土，密度为 2.35g/cm³；实心砖，密度为 1.65g/cm³；硫酸钡涂层（用于一层屋顶上方（二层地面）以及一层 PET/CT 机房屋顶），密度为 3.333g/cm³；铅玻璃，以铅当量或者 Pb 表示；铅板以 Pb 表示，密度为 11.3g/cm³。

本改建设计依据场所辐射强弱差异化设防，临近楼梯、卫生间等敏感区域局部加厚墙体；防护门按活度分级配置铅当量，屏蔽匹配度更高；同步完善注射器、废物桶等配套铅防护，全流程辐射防护管控更精细规范。

四、核医学科二层本次重新报批的建设情况

核医学科二层为空屋，本次拟拆除墙体，重新布局，新建防辐射屏蔽结构，本期建设为核医学科二层场所，本层拟建场所内现有布局见附图 9。

污染源项描述

本项目核医学科分两层建设，评价按照场所所处楼层（一层场所、二层场所）分别进行描述。

一、正常工况下污染源项分析

（一）辐射污染源

1、一层场所使用 ¹⁸F 核素显像

（1） γ 射线、X 射线和 β 表面污染

PET/CT 辐射源项：本项目 PET/CT 运行时使用 CT 扫描，CT 机产生 X 射线，X 射线最大能量（140kV），机房屏蔽设计时应考虑 γ 射线和 X 射线的叠加影响；其他房间屏蔽核算中主要考虑 ¹⁸F 发射的 γ 射线。正电子药物（¹⁸F）在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描、留观等过程中会产生能量约为 0.63MeV 的 β 射线，衰变时伴

随发射能量为 0.511MeV 的 γ 射线；工作人员工作场所中（主要为分装/注射室、储源室、废物间、PET/CT 机房）的桌面、地面、设备表面、墙壁、工作人员手皮肤表面、防护用品表面可能产生 β 放射性表面污染，因患者在给药后通过在场内流动，候诊室、留观室、机房，患者走廊等场所地面、墙面可能产生 β 放射性表面污染。

本项目 PET/CT 显像用放射性核素特性见表 9-12。

表 9-12 PET/CT 使用的放射性核素特性一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	α/β 最大能量 (MeV)	毒性	光子能量 (MeV)	周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
^{18}F	109.8min	β^+ , EC	0.63 (+)	低毒	0.511	0.143

^{68}Ge 校准源为密封放射源， ^{68}Ge 半衰期为 270.8 天，通过电子俘获衰变生成子核 ^{68}Ga ；子核 ^{68}Ga 主要发生 β^+ 衰变，正电子湮灭后产生能量为 0.511MeV 的 γ 射线，为该源主要辐射类型。正常情况下，密封源置于专用铅屏蔽容器内贮存，对 γ 射线具有良好屏蔽效果，容器表面剂量率符合国家相关标准要求。仅在设备质控期间打开屏蔽容器，此时放射源发出的 γ 射线通过直接透射与空气散射，对周围操作人员及环境产生一定辐射影响。

^{68}Ge 质控用放射源特性见表 9-13。

表 9-13 ^{68}Ge 校准源放射源特性一览表

核素名称	半衰期	衰变类型及分支比 (%)	主要 α 、 β 辐射能量 (keV) 与绝对强度 (%)	主要 γ 、X 射线能量 (keV) 与绝对强度 (%)
^{68}Ge	270.8d	EC (100)	/	XK β : 10.3 (5.45) XK α 2: 9.22482 (13.07) XK α 1: 9.25174 (25.6)
^{68}Ga (^{68}Ge 衰变子体)	68.3min	β^+ , EC	α/β 最大能量, 1.9MeV(+)	0.511MeV

(2) 含放射性核素的废气

放射性核素在操作过程中（主要指分装/注射室内分装和活度测量），由于空气的流动而“挥发”出的微量的含有核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 的放射性气溶胶，被医务人员或公众吸入体内造成的内照射影响。

(3) 含放射性核素的废水

一层放射性废水含 ^{18}F 核素，放射性废水来源主要有以下部分。

1) 分装/注射室内工作人员冲洗、清洗容器等产生的废水。

2) 注射后病人专用卫生间（指留观室、PET/CT 注射候诊室、VIP 注射候诊/抢救室）的放射性废水。

3) 工作人员受到污染后清洗的废水(卫生通过间)。

4) 清扫工作场所时的废水(污洗间)。

本项目一层核素显像场所每天最多接诊 10 人, 平均每名患者产生废水量约为 12L, 分装/注射室清洗容器等产生微量废水, 计入患者废水量中, 一层工作场所每天的清洗废水约为 120L, 则本项目工作场所每天共产生放射性废水约为 240L (10 人(患者)×12L/人(患者)+120L/天), 经计算一层放射性废水产生量为 0.24m³/天(经折算 7.2m³/月, 86.4m³/年)。

(4) 放射性固体废物

①诊疗场所产生的放射性固废

放射性核素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量放射性核素的放射性固体废物, 以及患者在候诊室内、留观室内等场所产生的擦拭污染物、一次性口罩、呕吐污染物等, 按照本层平均每位患者产生含 ¹⁸F 核素的放射性废物产生量 0.07kg/人计算。则本项目一层产生含 ¹⁸F 核素放射性废物每年不超过 175kg (按照每年 2500 名患者计算)。

②废活性炭

本层放射性废气处理过程中替换下的活性炭分两部分, 一部分为控制区排风产生的废活性炭, 产生点位于屋顶一层控制区排风机前活性炭箱体, 每半年更换一次, 单次约 50kg, 全年约 100kg, 一层控制区排风系统替换下来的主要含放射性核素 ¹⁸F。

一层手套箱排风系统与二层排风系统汇流后经屋顶活性炭箱体内活性炭过滤处理后排放, 一层和二层手套箱排风系统活性炭每半年更换一次, 单次约 50kg, 本项目手套箱排风全年产生废活性炭约 100kg。手套箱系统替换下来的废活性炭含核素 ^{99m}Tc、¹⁸F 和 ¹³¹I。

(5) 退役的 ⁶⁸Ge 质控用放射源

本场所需使用 2 枚 V 类放射源用于 PET/CT 质控, 医院拟按照废旧放射源处置承诺将废旧放射源返回原出口方或交由有资质单位处置, 放射源处置承诺附件 4。

2、二层场所

(1) 使用放射性核素 ^{99m}Tc 显像

1) γ 射线、X 射线和 β 表面污染

SPECT/CT 辐射源项：SPECT/CT 扫描时 CT 产生 X 射线，CT 部分最大管电压为 140kV，对应 X 射线最大能量为 140keV；含 ^{99m}Tc 放射性药物在取药、活度测量、注射、注射后候诊、扫描、留观等过程中，衰变发射能量为 140keV 的 γ 射线。 ^{99m}Tc 为同质异能跃迁衰变，无 β 衰变，理论上不会导致 β 表面污染；但实际操作中因可能混入 ^{99}Mo 等 β 衰变杂质，存在 β 表面污染风险。

本项目 CT 扫描 X 射线最大能量（140kV）与 ^{99m}Tc 产生的 γ 射线能量（140keV）接近，SPECT/CT 机房屏蔽设计需考虑 γ 射线和 X 射线的叠加影响；其他房间屏蔽核算中主要考虑 ^{99m}Tc 发射的 γ 射线。

本项目 SPECT/CT 显像用放射性核素特性见表 9-14。

表 9-14 SPECT/CT 使用的放射性核素特性一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	毒性	β 最大能量 /MeV	γ 光子能量 (MeV)	周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	患者体外 1m 处的 周围剂量当量率 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$
^{99m}Tc	6.02h	同质异能 跃迁	低毒	/	0.14	0.0303	0.0207

2) 含放射性核素的废气

放射性核素在操作过程中，由于空气的流动而“挥发”出的微量含 ^{99m}Tc 核素的放射性气溶胶，被医务人员或公众吸入体内造成的内照射影响。

3) 含放射性核素的废水

二层放射性废水含 ^{99m}Tc 核素，放射性废水来源主要有以下部分。

①分装/注射室清洗容器等产生的废水。

②注射后病人专用卫生间（SPECT/CT 注射候诊室、留观室）产生的放射性废水。

③工作人员受到污染后清洗的废水（卫生通过间）。

④清扫工作场所时的废水（污洗间等）。

本项目一层核素显像每天最多接诊 10 人，每名患者产生废水量约为 12L，分装/注射室清洗容器等产生的废水属于微量废水，计入患者废水量中，一层工作场所每天的清洗废水约为 120L，则本项目工作场所每天共产生放射性废水约为 240L（10 人（患者） $\times$ 12L/人（患者）+120L/天），经计算二层放射性废水产生量为 0.24 m^3 /天（经折算 7.2 m^3 /月，86.4 m^3 /年）。

4) 放射性固体废物

①诊疗场所产生的放射性固废

放射性核素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量放射性核素的放射性固体废物，以及患者在候诊室内、留观室内等场所产生的擦拭污染物、一次性口罩、呕吐污染物等，按照本层平均每位患者产生含 ^{99m}Tc 核素的放射性废物产生量 $0.07\text{kg}/\text{人}$ 计算。则本项目一层产生含 ^{18}F 核素放射性废物每年不超过 175kg （按照每年 2500 名患者计算）。

②废活性炭

本层放射性废气处理过程中替换下的活性炭分两部分，一部分为控制区排风产生的废活性炭，产生点位于屋顶二层控制区排风机前活性炭箱体，每半年更换一次，单次约 50kg ，全年约 100kg ，主要含放射性核素 ^{99m}Tc 。

一层手套箱排风系统与二层排风系统汇流后经屋顶活性炭箱体内活性炭过滤处理后排放，一层和二层手套箱排风系统活性炭每半年更换一次，单次约 50kg ，本项目手套箱排风全年产生废活性炭约 100kg 。手套箱系统替换下来的废活性炭含核素 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 和 ^{131}I 。

(2) ^{131}I 核素诊疗

1) γ 射线和 β 表面污染

^{131}I 放射性药物在取药、分装、患者服药等过程中， ^{131}I 通过 β 衰变发射最大能量为 365keV 的 γ 射线和最大能量 0.606MeV 的 β 射线。工作中，工作场所中的桌面、地面、设备表面、墙壁、工作人员手皮肤表面、防护用品表面可能产生 β 放射性表面污染。 β 衰变产生的电子在物质中慢化时可产生微弱韧致辐射， β 射线穿透能力较弱，对周围环境外照射影响可忽略不计。

本项目甲亢治疗和甲状腺吸碘率测定使用放射性核素特性见表 9-15。

表 9-15 放射性核素 ^{131}I 特性一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	毒性	β 最大能量/ MeV	γ 光子能量(MeV)	周围剂量当量率常数($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
^{131}I	8.02d	β^-	中毒	0.602	0.284,0.365,0.637	0.0595

2) 含放射性核素的废气

含放射性核素 ^{131}I 的液体药品在操作过程中，由于空气的流动而“挥发”出的微量放射性废气，被医务人员或公众吸入体内造成的内照射影响。

3) 含放射性核素的废水

根据医院的诊疗安排，甲亢治疗患者服药后短暂留观约 10min 无恙后直接离开，服药后不产生放射性废水， ^{131}I 服药患者离开前不使用核医学控制区内卫生间，如发生呕吐、洒漏、污染擦拭等，均作为含 ^{131}I 放射性固体废物单独收集暂存不少于 180 天。

工作人员擦拭 ^{131}I 污染区域后洗手产生少量放射性含 ^{131}I 废水，采用 5L 避光密封废液桶就地收集，当日密封转运至废物间 50L 专用废液桶内集中暂存，废液密闭贮存时长不少于 180 天，全程做好收集、转运、贮存台账记录。

4) 放射性固体废物

① 诊疗场所产生的放射性固废

含 ^{131}I 放射性核素操作过程中产生的如一次性服药杯、一次性手套、棉签、滤纸等带微量 ^{131}I 核素的放射性固体废物。根据本项目规划的工作量估算每年产生放射性固体废物量，产生的放射性废物产生量按 0.07kg/人次计算，本项目年产生放射性废物不超过 42kg（按全年甲亢治疗 100 人，甲状腺吸碘率测定 500 人，全年合计 600 人计）。

② 废活性炭

经前文核算，二层控制区产生的废活性炭已在本层使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素显像章节分析，产生约 100kg 废活性炭，半年更换一次，一次约 50kg。本项目 2 个手套箱排风每年产生的废活性炭合计约 100kg，手套箱系统替换下来的废活性炭含核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 和 ^{131}I 。

本项目使用的 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 核素在衰变过程中，均会伴随电子发射并在介质中产生韧致辐射。上述核素产生的韧致辐射均为连续能谱 X 射线，能量较低、辐射份额小，对外照射剂量贡献远低于其主要 γ 射线，在辐射防护屏蔽与剂量率计算中忽略了韧致辐射影响。

本项目产生放射性固废见下表。

表 9-16 本项目产生放射性固废一览表

场所	产生节点	产生点	位置	产生量 (kg/年)	主要核素
一层使用 ^{18}F	显像过程	一层场所	分装注射室、注射后候诊室、留观室等	175kg/年	^{18}F
	排风系统	控制区	楼顶活性炭箱体	50kg/半年×2次=100kg/年	^{18}F

		手套箱排风	楼顶活性炭箱体（1、2层手套箱排风共用）	50kg/半年×2次=100kg/年	^{99m} Tc、 ¹⁸ F和 ¹³¹ I
二层使用 ^{99m} Tc	显像过程	二层场所	分装注射室、注射后候诊室、留观室等	175kg/年	^{99m} Tc
	排风系统	控制区	楼顶活性炭箱体	50kg/半年×2次=100kg/年	^{99m} Tc、 ¹³¹ I
		手套箱排风	楼顶活性炭箱体（1、2层手套箱排风共用）	/	^{99m} Tc、 ¹⁸ F和 ¹³¹ I
二层使用 ¹³¹ I	甲亢、甲功	二层场所	分装注射室、留观室等	42	¹³¹ I
		控制区	楼顶活性炭箱体	/	^{99m} Tc、 ¹³¹ I
		手套箱排风	楼顶活性炭箱体（1、2层手套箱排风共用）		^{99m} Tc、 ¹⁸ F和 ¹³¹ I

合计本项目年产生放射性固废 692kg，其中含¹⁸F 每年合计产生 275kg，含^{99m}Tc 每年合计产生 175kg，含¹³¹I 和其他核素每年合计产生 242kg。

（二）非辐射污染源

1、废气：PET/CT、SPECT/CT 配套 CT 机工作时产生的 X 射线，以及放射性核素衰变产生的 γ 射线，伴随产生的电子射线在空气中电离会在工作场所内产生少量臭氧和氮氧化物。¹³¹I 在分装、给药和患者服药和留观过程中，同样因 γ 射线和电子电离空气产生少量臭氧和氮氧化物。

2、废水：主要是工作人员产生的生活污水。

3、固体废物：工作人员产生的生活垃圾。

二、非正常运行状态下污染途径分析

- 1、由于管理不善，放射性药物或放射源被盗、丢失。
- 2、放射性药物或放射源转移过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的意外泄漏，造成台面、地面辐射污染。
- 3、核素操作人员未按要求穿戴个人防护用品，造成额外附加照射剂量。
- 4、核素操作防护设施等不能正常使用或管理不善造成工作人员超剂量照射。
- 5、人员误留、误入正在运行的机房内受到额外附加照射剂量。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、项目选址及工作场所布局、分区

1、项目选址

核医学科拟建址位于放射治疗中心楼一、二层东部南侧，场所东侧 10m 范围内为本楼一层入口大厅，向东为医院广场和道路，场所东南侧约 25m 为医院门诊楼，南侧 50m 范围内有传染门诊楼，场所西侧 17m 范围内为放射治疗中心楼放射治疗工作区，该建筑西侧为医院广场和道路，场所北侧 25m 处为室外道路，道路宽约 7m，道路北侧为营养餐厅楼。

本项目核医学科拟建址位于放疗中心楼（放射诊疗专用楼宇）东南部，该建筑为放射诊疗专用楼宇；核医学区西侧和北侧毗邻已建该建筑内诊疗区。场所东侧为大厅（南端局部拟改建为本项目等候治疗），南侧为传染门诊楼，西侧为放疗机房，北侧为放疗中心楼已建其他诊疗场所；拟建核医学诊疗场所与楼内其他诊疗场所通过实体墙体或铅屏蔽防护门形成明确物理隔离，并与非放射性工作场所有明确分界，核医学各层场所内设置患者走廊、医生走廊，实现医患分流；使用专用污梯厅、污物间，设置单独的放射性物流通道，能与普通人员、物流完全分离，满足核医学场所需要物理隔离与单独通道的要求。排风口设于本楼屋顶平台，尽可能远离周边医技楼、门诊楼等高层建筑，符合排风口位置设置要求。综上，本项目选址完全满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的选址要求。

2、工作场所布局

根据表 9 中污染源项分析可知，本项目拟建核医学科一层为 PET/CT 工作场所，经前文核算为 1 个丙级非密封放射性物质工作场所。本项目一层工作场所包括：血糖测定室、阅片室、分装/注射室、PET/CT 操作间、储源室、放射性废物间、卫生通过间、污洗间、放射性废水衰变池房间、患者走廊（含患者注射）、PET/CT 注射候诊室、VIP 注射候诊/抢救室、PET/CT 机房、留观室及患者卫生间。

本项目拟建核医学科二层为 SPECT/CT 和 ^{131}I 甲亢诊疗工作场所，经前文核算为 1 个乙级非密封放射性物质工作场所。本项目二层工作场所包括：问诊室、办公室和医生走廊、储藏室、放射性药品分装/注射室、储源室、放射性废物间、卫生通过

间、摄碘室、运动负荷室（抢救室）、患者走廊（含注射通道）、SPECT/CT 注射候诊室、SPECT/CT 机房、SPECT/CT 操作间、留观室、患者卫生间、污洗间等。

本项目一层场所运营期平面布局图见附图 6、二层诊疗场所建成后平面布局见附图 11，一层、二层场所上下层对应关系见附图 7 和附图 10，场所上方屋顶和下方地下车库见附图 12、附图 13、附图 14。

本项目核医学科控制区集中布置，高活室设于端部，医护、患者、药物、废物路径独立无交叉，各层患者及医护人员具有独立的出入口和流动路线；避免混流照射，给药患者活动空间受限，且配置专用卫生间，有效防范交叉污染与无关人员误入，本项目核医学科工作场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于核医学工作场所布局的要求以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）的要求。

3、工作场所分区

（1）一层

拟将放射性药品分装/注射室、储源室、放射性废物间、污洗间、放射性废水衰变间、患者走廊、PET/CT 注射候诊室（给药后）、VIP 注射候诊/抢救室、PET/CT 机房、留观室、各场所内患者卫生间等划分为控制区，该区域涉及放射性同位素操作，是药物注射及带药病人的主要活动区域，设置有病人专用通道供带药病人行走，属于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）定义的控制区，进行了专门的屏蔽防护设计。

拟将血糖测定、阅片室、卫生通过间（含淋浴）、PET/CT 操作间（控制室）、医生走廊、库房、东侧患者入口、二层的入口电梯间、电梯厅和楼梯间等区域划分为监督区。

（2）二层

拟将放射性药品分装/注射室、储源室、放射性废物间、患者走廊（含注射通道）、SPECT/CT 注射候诊室、留观室、患者卫生间、污洗间、摄碘室、运动负荷室（抢救室）等划分为控制区，该区域涉及放射性同位素操作，是药物注射及带药病人的主要活动区域，设置有病人专用通道供带药病人行走，属于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）定义的控制区，进行了专门的屏蔽防护设计；拟将 SPECT/CT 机房操作间（控制室）、核医学预留房间、卫生通过间（含淋浴）、办公

室、问诊室、医生走廊、储藏室、患者二层入口的入口电梯间、电梯厅和楼梯间等划分为监督区。

拟在控制区入口处设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，拟在监督区入口处设置标明监督区的标志。

本项目工作场所分区满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于临床核医学工作场所分区的要求。本项目核医学一层 PET/CT 工作场所以及二层 SPECT/CT（含 ^{131}I 诊疗）场所平面布置、分区及病人、医护人员、放射性药物及放射性废物路线见图 10-2、图 10-4。

原环评中医院将 F-18 注射后休息室、运动平板室、注射前候诊室、储源室、高活室、放射性药物储存室、SPECT/CT 机房、留观室（抢救室）、清洁用品储存室、各配套卫生间、留观室划分为控制区；将控制室、医生办公室、护师办公室、男更衣室、女更衣室、医生走廊划分为监督区。

本次报批环评，重新优化核医学科一层辐射工作场所，优化情况如下。

1）平面布置：原含 SPECT/CT、PET 两类机房，改建取消 SPECT/CT，南侧增设独立大空间衰变间，分装注射紧邻 PET 机房。

2）分区：监督区由零散分布改为东侧集中布设，控制区连片规整。

3）人流：医患动线完全分隔，患者、医护分设出入口，就诊路径更短。

4）物流：药品、放射性废物流线分离，污物经西侧专用污梯外运，实现洁污分流。

原环评阶段一层工作场所平面布置、分区及人流、物流路线示意图见图 10-1，本项目核医学一层改建前后控制区变动情况见图 10-3。

图 10-1 原环评阶段一层工作场所平面布置、分区及人流、物流路线示意图

图 10-2 本项目改建后一层工作场所平面布置、分区及人流、物流路线示意图

图

图 10-3 本项目核医学一层改建前后控制区变动情况

10-4 本项目二层工作场所平面布置、分区及人流、物流路线示意图

二、辐射防护屏蔽设计

(一) 一层

根据淮安市淮安医院提供的资料，本项目核医学科一层 PET/CT 场所内 PET/CT 机房最小有效使用面积及最小单边长度见表 10-1。

表 10-1 建设项目 PET/CT 机房设计有效使用面积及最小单边长度一览表

机房名称	有效使用面积 (m ²)	最小单边长度 (m)	GBZ130-2020 标准要求		评价
			最小有效使用面积 (m ²)	最小单边长度 (m)	
PET/CT 机房	50.26	5.78	30	4.5	符合要求

本项目核医学科一层 PET/CT 场所辐射防护屏蔽设计情况见表 10-2。

表 10-2 本项目一层 PET/CT 工作场所屏蔽设计一览表

场所		墙体	顶部	地面	防护门	铅玻璃窗
核医学科一层 PET/CT 场所	PET/CT 机房	240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂层	120mm 混凝土+25mm 硫酸钡涂层	250mm 混凝土 +15mm 硫酸钡	8mm 铅板	8mm 铅当量铅玻璃
	分装/注射室	240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂层	120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层	250mm 混凝土	6mm 铅板	40mm 铅当量铅玻璃 (指注射窗)
	PET/CT 注射候诊室	240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂层	120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层	250mm 混凝土	10mm 铅板	/
	VIP 注射候诊/抢救室	240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂层 (卫生间西墙加厚至 80mm)	120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层	250mm 混凝土	6mm 铅板	/
	留观室	240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂层 (其中西墙为 240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂层 +120mm 混凝土)	120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层	250mm 混凝土	6mm 铅板	/
	患者走廊	240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂层	120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层	250mm 混凝土	6mm 铅板	/
	衰变间（内含衰变池及附属设备设施）	南侧墙体、西侧墙体、北侧墙体均为 240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂层 (东侧紧邻楼梯间, 东墙 240mm 实心砖+60mm 硫酸	120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层	250mm 混凝土	6mm 铅板	/

		钡涂层+200mm 混凝土)				
--	--	----------------	--	--	--	--

注：1.PET/CT 工作场所下方为地下一层车库，上方为核医学二层 SPECT/CT（含使用 I-131 诊疗）场所；

2.根据医院提供的资料该项目各工作场所的屏蔽用到的主要屏蔽材料包括：混凝土，密度为2.35g/cm³；实心砖，密度为 1.65g/cm³；硫酸钡涂层（用于一层屋顶上方（二层地面）以及一层 PET/CT 机房屋顶），密度为 3.333g/cm³；铅玻璃，以铅当量表示；铅板，密度为 11.3g/cm³。

（二）二层

根据淮安市淮安医院提供的资料，核医学二层 SPECT/CT 机房最小有效使用面积及最小单边长度见表 10-3。

表 10-3 本项目核医学二层 SPECT/CT 设计有效使用面积及最小单边长度一览表

机房名称	有效使用面积 (m ²)	最小单边长度 (m)	GBZ130-2020 标准要求		评价
			最小有效使用面积 (m ²)	最小单边长度 (m)	
SPECT/CT 机房	47.51	5.8	30	4.5	符合要求

本项目核医学科二层 SPECT/CT（含使用 ¹³¹I 诊疗）场所辐射防护屏蔽设计情况见表 10-4。

表 10-4 本项目二层 SPECT/CT（含使用 ¹³¹I 诊疗）场所工作场所屏蔽设计一览表

场所	墙体	顶部	地面	防护门	铅玻璃窗
核医学二层 SPECT/CT（含使用 ¹³¹ I 诊疗）场所	SPECT/CT 机房	120mm 混凝土+2.5mm 铅板	120mm 混凝土+25mm 硫酸钡涂层	4mm 铅板	4mm 铅当量铅玻璃
	分装注射室	120mm 混凝土	120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层	2mm 铅板	2mm 铅当量铅玻璃
	SPECT/CT 注射候诊室	东、南、西侧墙体钢龙骨+60mm 硫酸钡板；北墙钢龙骨+45mm 硫酸钡板	120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层	2mm 铅板	/
	运动负荷室（抢救室）	120mm 混凝土	120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层	2mm 铅板	/
	留观室	120mm 混凝土	120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层	2mm 铅板	/
	患者走廊	120mm 混凝土	120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层	2mm 铅板	/

1.核医学 SPECT/CT（含使用 I-131 诊疗）场所上方为放射治疗中心楼屋顶，下方为核医学一层 PET/CT 工作场所；

2. 根据医院提供的资料该项目各工作场所的屏蔽用到的主要屏蔽材料包括：混凝土，密度为 2.35g/cm³；实心砖，密度为 1.65g/cm³；硫酸钡涂层（用于二层场所地面（一层屋顶上方）（含二层 SPECT/CT 机房地面），密度为 3.333g/cm³；硫酸钡板，密度为 3.667g/cm³，用于二层场所内墙体屏蔽材料）；铅玻璃，以铅当量表示；铅

板，密度为 11.3g/cm³。

（三）局部辐射屏蔽补偿设计

1、穿墙孔洞补偿：所有穿越控制区墙体、楼板的通风、给排水等管道孔洞，因破坏原有结构辐射屏蔽体可能造成射线泄漏，设计采用 2mmPb 铅皮全覆盖包裹封堵，无缝压实，补齐墙体屏蔽当量，消除辐射漏束。

2、排水：一层 4 个集水坑顶部盖板设计采用 2mmPb 板覆盖，集水坑压力排水管由一层地面 0m 至 2m 高处管段（共 4 处）设计采用 2mmPb 包覆，二层分装注射室下方为一层 PET/CT 机房，此段排水管道设计采用 1mmPb 铅板包覆直至出机房墙面，具体见后文图 10-10、图 10-11、图 10-12、图 10-13 和图 10-14。

三、工作场所辐射安全与防护措施

医院针对拟建核医学科一层和二层两个非密封放射性物质工作场所，对照 HJ1188-2021、GBZ120-2020、GBZ130-2020 标准要求，本项目辐射防护实施方案与标准相符性情况见表 10-4。

（一）PET/CT 和 SPECT/CT 机房拟采取以下辐射安全与防护措施

1、电离辐射警告标志

患者走廊入口门和分装/注射室门以及废物间门上拟设置“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明。

2、门灯联动及防夹、闭门装置

机房处患者入口防护门上方拟设置工作状态指示灯，并安装有“射线有害、灯亮勿入”可视警示语句的灯箱，且工作状态指示灯与防护门能有效联动，在防护门关闭的情况下，工作状态指示灯才亮，该防护门为推拉门，设有电动防夹装置；工作人员入口防护门为平开门，设有自动闭门装置。

3、急停按钮

各控制室（操作间）分别拟设置 1 个急停按钮，机房内设备表面自带急停按钮，各按钮分别与 X 射线系统连接，在出现紧急情况时，按下急停按钮即可停止 X 射线出束。

4、监控和对讲装置

机房的控制室（操作间）墙上拟设置观察窗，可有效观察到机房内患者和患者状态。拟在机房与控制室内设置双向语音对讲装置和监控系统，在诊断过程中医务

人员可以及时观察病人情况同病人交流，可防止意外情况的发生；拟在给药窗外设置视频监控和对讲装置，便于对患者的服药指导，拟在患者走廊内设置监控探头控制患者给药后走动，监控系统和对讲装置终端设于控制室。

（二）注射后（ ^{131}I 服药后）患者的管理

拟在一层注射后候诊室、留观室、二层注射后候诊室、留观室各 1 个移动式铅屏风；拟在各层控制区病患出入口设置单向防护门禁系统，实现“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线；通过视频监控和对讲呼叫等手段对控制区内注射后（给药后）患者的监督管理，避免其给药后随意走动；拟在核医学一层、二层控制区内设置患者行进路线标识，同时告知诊断完成后病人离开路线，防止其对公众造成不必要照射。

（三）放射源管理措施

本项目 PET/CT 所用 ^{68}Ge 密封校准源统一存放于一层专用储源室，严格落实放射源储存“六防”安全管理要求，具体措施如下：

（1）安防设施管理

储源室设置防盗门、专用储源保险柜，钥匙由专职人员分别保管（技师）、独立管控。室内布设全覆盖视频监控（录像保存 ≥ 15 天）及红外入侵报警装置，接入医院安保值班室 24 小时值守预警，门口张贴电离辐射警示标识。储源室为独立封闭专用区域，严禁明火及存放危险化学品，保障储存环境安全。

（2）出入库及台账管理

^{68}Ge 校准源入库、领用、归还全流程由持证专职人员操作，严格执行出入库登记制度，建立完善管理台账，做到信息完整、账物相符、全程可追溯。落实定期盘库、日常巡查制度，及时排查安全隐患。若发生源体异常、账物不符、丢失被盗等情况，立即上报医院主管负责人，并按规定上报属地生态环境、公安部门。

（3）日常管控要求

储源室实行封闭式管理，严禁无关人员进入。放射源闲置时置于专用铅屏蔽罐内，再入保险柜密闭储存。定期检查监控、报警、门锁、屏蔽等设施状态，做好日常维护，确保各项安防设施完好有效、管理合规。

（四）辐射监测

（1）表面污染监测

工作人员离开控制区前洗手和做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，则采取去污措施。从控制区取出任何物件都进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

（2）辐射监测仪器

医院拟为本项目的 2 个场所配备 1 台辐射巡测仪，配备 2 台表面污染仪及 4 台个人剂量报警仪。辐射工作人员工作时拟佩戴个人剂量计，并建立个人剂量档案。

（五）职业健康管理

医院拟为本项目配备 10 名辐射工作人员，包括 2 名医师，4 名技师，4 名护师，拟对 10 名辐射工作人员开展职业健康监护，定期安排其在有相应资质单位进行职业健康体检，并建立职业健康档案。

（六）辐射安全管理制度

拟制定并落实与本项目相关的安全使用制度、管理制度，从事辐射工作的医务人员均 10 人拟参加辐射安全培训与考核，专业为“核医学”。医务人员在操作过程中严格遵守操作规程，避免发生事故。

（七）工作场所和手套箱通风

本项目共设置三套独立放射性废气净化系统：一层控制区排风系统、二层控制区排风系统、手套箱共用排风系统。设计风量：一层控制区排风系统 2000m³/h, 二层控制区排风系统 2000m³/h, 控制区换气次数每小时不小于 4 次。手套箱共用排风系统 800m³/h，每小时不低于 15 次，面风速不低于 0.5m/s，保障操作全程负压密闭，排风管道采用镀锌钢板咬口制作、法兰密封连接。

一层、二层控制区各房间排风支管、手套箱顶部分别设置止回阀，避免废气回流倒灌；三套系统均配套规格 0.6m×0.6m×0.6m 钢制活性炭吸附箱体，净化后废气由高出屋面 3m 排放口高空稀释排放。其中二层控制区、手套箱共用吸附箱体装填可高效截留 ¹³¹I 的化学浸渍专用活性炭，一层控制区箱体装填普通活性炭；三套箱体活性炭均每半年更换一次，单箱体单次产生废活性炭 50kg，年更换 2 次，单箱年产废活性炭 100kg。

项目所有核素分装、质控操作均在 2 台专用手套箱内实施，两台手套箱独立排风，单台手套箱设计风量 400m³/h，箱内通风速率不低于 0.5m/s，保障操作全程负压密闭。一层、二层控制区其余工作房间配套独立排风风机，建立分区负压梯度，有

效阻断放射性气溶胶向外扩散。二层控制区、手套箱排风系统更换下来的废浸渍活性炭统一归类为含 ^{131}I 放射性固体废物，密闭转运至二层放射性废物暂存间分区存放并张贴辐射标识。

（八）其他辐射安全措施

根据辐射防护“三原则”，医院拟在以下方面加强防护：

（1）药物操作时在衬有吸水纸的托盘内进行，注射药物时工作人员穿戴个人防护用品，并尽可能缩短操作时间，同时佩戴好个人剂量计，在手套箱进行分药操作。

（2）本项目使用的放射性药物由供应单位派专人直接送至分装/注射室，一层场所接收药物后置于一层手套箱铅罐（40mmPb）内暂存，二层 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 收药后暂存于手套箱 10mmPb 铅罐，与暂存 ^{131}I 药品通过时空管理分开，不同时暂存。

（3）核医学工作场所内的工作人员均拟开展个人剂量监测，结合个人剂量监测数据采取措施，减少工作人员的受照剂量。

（4）核医学工作场所拟配套设备必须符合国际或国家标准，满足各种特殊操作的要求，其性能必须与操作性质相符合；在保证图像质量的情况下，设备调节到满足低剂量的有效范围内。

（5）加强各场所 PET/CT、SPECT/CT 设备的质量保证工作，设备的性能以及其他相关设备拟定期进行检修。

（6）拟加强对药物注射和分碘人员的辐射防护及操作技能的培训，做到操作药物时技术熟练、动作迅速，以减少受照剂量。

（7）东侧候诊区拟设置放射防护注意事项告知栏，让病患及陪护者了解并遵守辐射防护注意事项。

（九）防护用品

医院拟为本项目配置的防护用品和设施如下。

表 10-5 医院拟为本项目配备的防护用品和设施一览表

序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
1	储源铅箱	储源室	1 个	50mmPb
2	PET 手套箱	一层分装/注射室	1 个	55mmPb
3	SPECT/CT 手套箱	二层分装/注射室	1 个	15mmPb
4	PET 注射窗	一层分装/注射室	1 个	40mmPb
5	SPECT/CT 注射窗	二层分装/注射室	1 个	5mmPb
6	碘给药窗	二层分装/注射室	1 个	10mmPb

7	碘药杯防护套	二层分装/注射室	2	10mmPb
8	注射器防护套	一层、二层分装/注射室	若干	2mmPb（二层）、10mmPb（一层）
9	注射器转运防护盒	一层、二层分装/注射室	6个	10mmPb、3个（一层）；2mmPb、3个（二层）
10	脚踏式铅垃圾桶	一层：分装/注射室、注射后候诊室、VIP注射后候诊室、留观室；二层：分装/注射室、注射后候诊室、留观室	若干	10mmPb
11	废物铅衰变箱	一层、二层废物间	一层2个、二层3个，共5个	10mmPb
12	5L避光密封废液桶、50L专用废液桶	二层分装注射室（5L）、二层废物间（50L）	若干	收纳、暂存少量分装、擦拭含 ¹³¹ I核素的洗手废水
13	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	一层、二层分装/注射室、控制室	若干	0.5mmPb
14	摆位铅屏风	一层 PET/CT 机房	1个	10mmPb
15	摆位铅屏风	二层 SPECT/CT 机房	1个	2mmPb
16	隔断铅屏风	二层 SPECT/CT 候诊室、留观室	2个	2mmPb
17	手动碘分装仪器	二层分装/注射室	1个	10mmPb
18	去污工具组（成套去污箱，含泡沫去污液、擦拭、稀释、碘吸附去污液、镊子等）	一层、二层卫生通过间	2组	/
19	铅衣、铅眼镜、铅围脖，患者用铅围裙、方巾等	核医学科一层、二层控制室和分装注射室	8套	不低于 0.5mmPb

表 10-6 本项目核医学场所辐射防护设施及措施相符性分析情况一览表

项目	标准要求	项目设计情况	评价
电离辐射警告标志	机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。	电离辐射警告标志拟张贴于各层（机房）患者防护门和控制区入口处。	符合要求
工作状态指示灯		各层（机房）患者防护门方拟安装工作状态指示灯箱。	符合要求

警示语句		警示语句拟设置于各层防护门上部灯箱上。	符合要求
放射防护注意事项告知栏		各层候诊区拟张贴放射防护注意事项。	符合要求
急停按钮	CT 设备应设置急停按钮，以便在 CT 扫描过程中发生意外时可以及时停止出束。	2 个机房控制室拟分别设置一个急停按钮，各设备表面自带急停按钮，按钮分别与射线装置连接，摁下按钮后停止出束。	符合要求
闭门装置	平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。电动推拉门宜设置防夹装置	2 个机房患者防护门均设计为电动推拉门，设计有电动防夹装置；医生防护门为平开门，设计有自动闭门装置	符合要求
门灯联动		工作状态指示灯拟与患者防护门保持联动	符合要求
观察窗	机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况	各机房观察窗位于控制室一侧，安装位置便于观察受检者及防护门开闭情况	符合要求
布局与分区	核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。核医学工作场所的布局应有助于开展工作，避免无关人员通过。	拟将放射性药品分装/注射室、储源室、放射性废物间、污洗间、放射性废水衰变间、患者走廊、PET/CT 注射候诊室（给药后）、VIP 注射候诊/抢救室、PET/CT 机房、留观室、各场所内患者卫生间等划分为控制区，拟将血糖测定、阅片室、卫生通过间（含淋浴）、PET/CT 操作间（控制室）、医生走廊、库房、东侧患者入口、二层的入口电梯间、电梯厅和楼梯间等区域划分为监督区；拟将放射性药品分装/注射室、储源室、放射性废物间、患者走廊（含注射通道）、SPECT/CT 注射候诊室、留观室、患者卫生间、污洗间、摄碘室、运动负荷室（抢救室）等划分为控制区，拟将 SPECT/CT 机房操作间（控制室）、核医学预留房间、卫生通过间（含淋浴）、办公室、问诊室、医生走廊、储藏室、二层患者入口的电梯间、电梯厅和楼梯间等划分为监督区。项目相关配套布局能够保证各项工作程序沿着相关房间单向开展，最大限度地减少了人员的流动性，有助于实施工作程序。	符合要求
注射后患者的管理	控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向防护门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免	在各层控制区出入口设置单向防护门禁系统，实现“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线。	符合要求

	受不必要的照射。		
放射性物质 贮存	放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。	接收放射性药物后均暂存在各层手套箱内，其中二层接收 Tc-99m 和 I-131 通过时空管理方式错开暂存时间，所有放射性药物当天用完，定期进行辐射水平监测， ⁶⁸ Ge 校准源放置于一层储源室内。医院拟建立放射性物质台账，及时登记，确保账物相符。	符合要求
表面污染监测	在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。	各场所工作人员（护师、医生、技师）离开控制区前进入卫生通过间洗手和做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，则采取去污措施。从控制区取出任何物件都进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。	符合要求
辐射监测	应根据使用核素的特点、操作方式以及潜在照射的可能性和严重程度，做好工作场所监测，包括场所周围剂量当量率水平、表面污染水平或空气中放射性核素浓度等内容。开展核医学工作的医疗机构应定期对放射性药物操作后剂量率水平和表面污染水平进行自主监测，每年应委托有相应资质的技术服务机构进行检测。	医院拟为核医学科项目配备 1 台辐射巡测仪、2 台表面污染仪及 4 台个人剂量报警仪。辐射工作人员工作时拟佩戴个人剂量计。医院平时自行对核医学工作场所进行辐射水平和表面放射性污染监测。定期委托有资质的单位定期对项目所在场所周围环境 X-γ 辐射剂量率及表面污染水平进行监测，监测频次不少于 1 次/年。	符合要求
通风设施	通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的手套箱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置。	本项目核素操作均在分装/注射室的手套箱中进行，手套箱设置单独的排风系统，内保持负压且设有独立排风系统（通风速率不小于 0.5m/s），经活性炭箱体吸附过滤后楼顶 3m 以上排放，2 个控制区内其他场所也设有独立的排风系统，气流由低活度区流向高活度区，2 个控制区排风经活性炭箱体吸附过滤后楼顶天窗面排放。	符合要求
工作台面	核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。	工作台面使用不锈钢，平整、光滑、易于清洗。洗手盆应为感应式洗手盆。	符合要求
个人防护用品	开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品（见附录 K），其数量应满足开展工作需要。对陪检者应至少配备铅橡胶防护服。	医院拟为本项目辐射工作人员配备去污工具组，放射性污染防护服、铅衣和铅眼镜，拟为受检者配备铅围裙或方巾及铅围脖、铅污物桶等。	符合要求
本项目核医学一层、二层场所辐射安全防护措施布置情况见图 10-5 和图 10-6。			

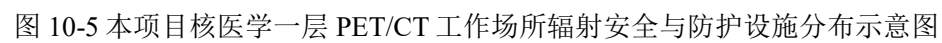




图 10-6 本项目核医学二层 SPECT/CT（包括使用 I-131 诊疗）工作场所辐射安全与防护设施分布示意图

综上所述，拟建核医学辐射安全防护设施满足 HJ1188-2021、GBZ120-2020、GBZ130-2020 标准中的要求。

三废治理

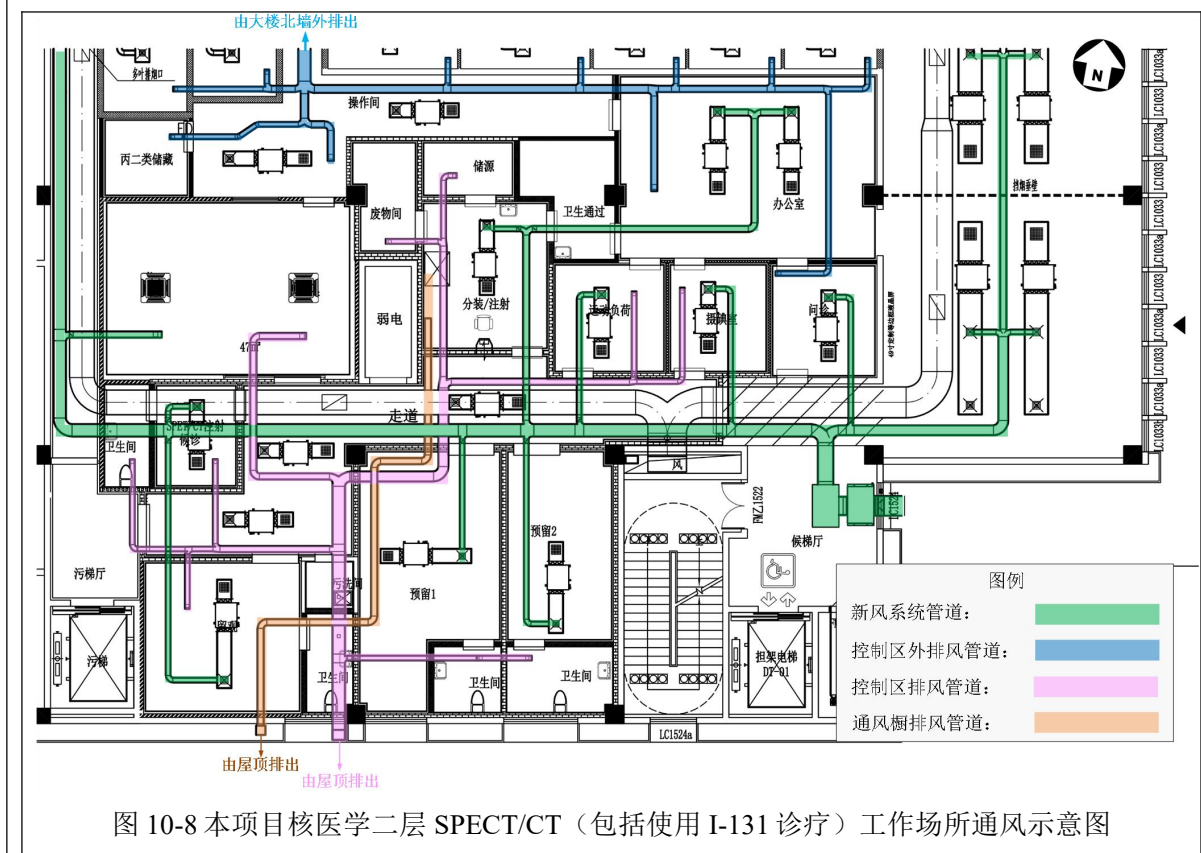
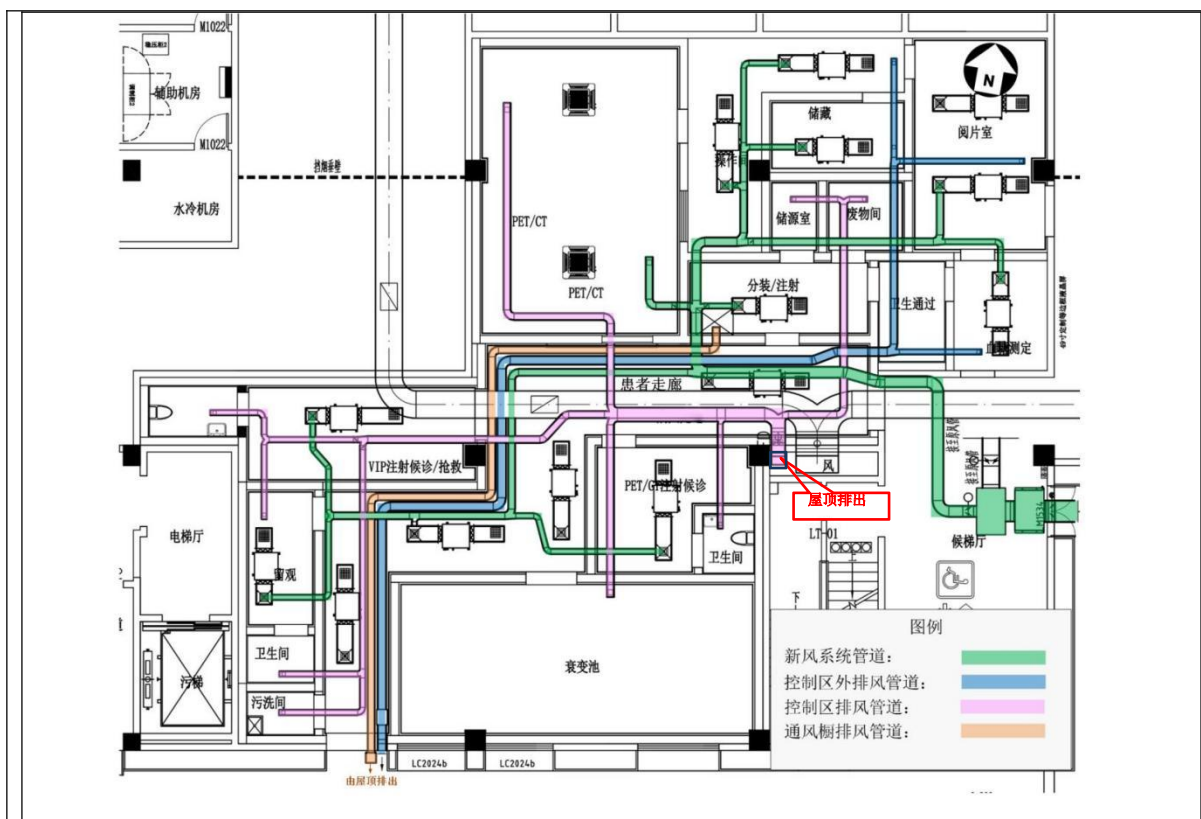
1、放射性废气

本项目设置三套放射性废气处理系统：一层控制区、二层控制区分设独立排风净化系统，各配套屋顶钢制活性炭吸附箱体，设计尺寸长×宽×高=0.6m×0.6m×0.6m，废气经吸附后由高出屋顶 3m 排放口高空排放；其中二层控制区箱体装填可高效截留 ^{131}I 的化学浸渍专用活性炭。项目所有核素分装、质控操作均在 2 台专用手套箱内开展，两台手套箱独立排风后汇总至单独屋顶浸渍活性炭箱体净化，单台手套箱设计风量 400m³/h，箱内通风速率不低于 0.5m/s，保障操作负压密闭。一层、二层控制区其余场所配套独立排风风机，维持全域负压及房间压差，阻断放射性气溶胶外溢。手套箱专用活性炭吸附箱体、二层控制区吸附箱体活性炭更换频次不低于 2 次/年，更换产生的废浸渍活性炭全部作为含 ^{131}I 放射性固体废物，密闭转运至二层放射性废物暂存间分区存放并张贴规范标识。

本项目核医学放射性废气含 ^{131}I 主要形式为有机碘和微量的碘单质；普通活性炭无法有效去除放射性废气中 ^{131}I ，拟采用浸渍活性炭可高效去除有机碘，选择浸渍活性炭时参照《核空气和气体处理规范第 15 部分：吸附介质》（NB/T 20039.15-2023）标准：出厂放射性检验型式检验报告中需满足①在 80℃、相对湿度 95% 条件下甲基碘吸附效率不低于 99.0%；②30℃、相对湿度 95%条件下单质碘吸附效率不低于 99.9%；另外入场后需进行批次放射性检验：30℃放射性甲基碘吸附效率不得小于 97.0%。

医院拟将以上浸渍活性炭材料技术指标写入招标文件和“放射性三废：放射性废气治理制度”中，在项目运营前、运营期遵照执行。

综上，本项目核医学排风系统满足《核医学放射防护标准》（GBZ120 -2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的要求，能够有效防止放射性废气对周围环境产生不利影响。同时医院拟在整个一层、二层工作场所设置新风系统，保证工作场所内新风供给。工作场所排风系统示意图见图 10-7、图 10-8、图 10-9。



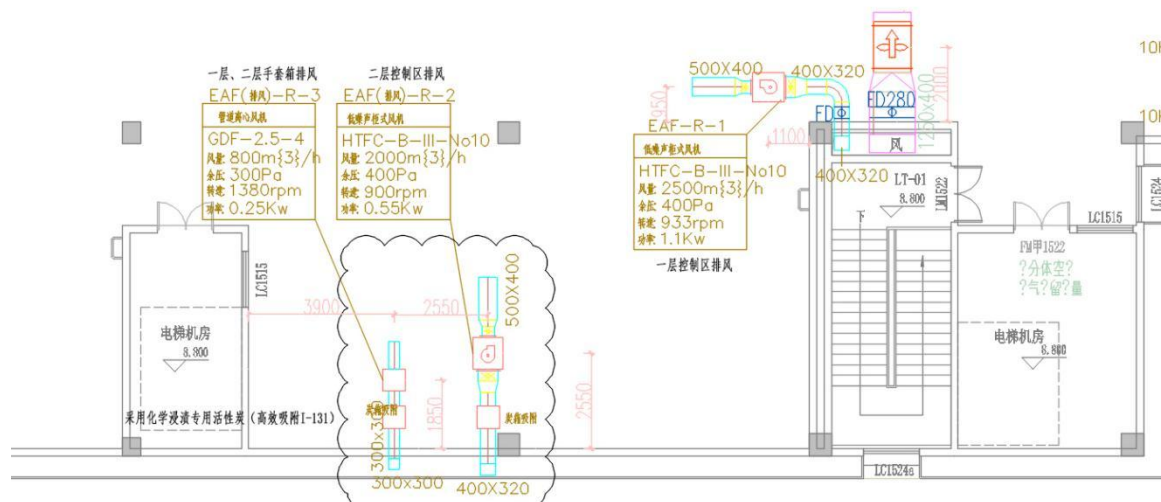


图 10-9 本项目核医学工作场所放射性废气排风示意图

2、放射性废水

(1) 排水管网

本项目核医学工作场所一层产生的放射性废水主要含 ^{18}F 核素，二层场所产生的放射性废水主要含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素，采用分层收集，汇流一期衰变，产生量合计约 $0.48\text{m}^3/\text{天}$ ($14.4\text{m}^3/\text{月}$, $172.8\text{m}^3/\text{年}$)，本项目二层产生的放射性废水由一层屋顶下布置，距离地面不低于 3m 高，地下一层产生的放射性废水管道埋地铺设，由各个产生点自流至就近集水坑，设计共 4 个集水坑，通过液位控制经由污水泵自动提升至衰变间内槽式衰变池。所有管道均为暗管铺设，管道短且直，且都在控制区内，二层排水管不经过一层工作人员长期居留场所，减少了职业人员照射。下水道短，大水流管道有标记以便维修检测。一层废水集水坑出地面管道至 2m 高处管段采用 2mmPb 进行辐射屏蔽包覆补偿、4 个集水坑盖板采用 2mmPb 辐射屏蔽补偿，二层分装/注射室排水立管穿越一层 PET/CT 机房屋顶下方管段拟采用 1mmPb 包覆管道进行辐射屏蔽。

(2) 衰变池

医院拟在核医学科一层南侧靠近室外位置建设衰变间，衰变间东邻电梯间、南邻室外，西临患者走廊、北侧为 PET/CT 注射候诊室和患者走廊，衰变间防护门开向北侧患者走廊，衰变间东西方向长 10.52m ，南北方向宽 4.52m ，使用面积 47.5m^2 ，四周拟采用 240mm 砖墙+ 60mm 硫酸钡(密度 $3.333\text{g}/\text{cm}^3$)，屋顶（二层地面）为 120mm 混凝土+ 15mm 硫酸钡(密度 $3.333\text{g}/\text{cm}^3$)，地面为 250mm 混凝土（加 700mm

回填土），池体侧面设置采样管，有防止池底污泥硬化淤积和去除的措施。

衰变间内拟设置 3 个槽式衰变池，衰变池拟设置成并联式，每个衰变池容积为 9m^3 （长 2m，宽 1.5m，高 3m），总容积为 27m^3 。衰变间上方为核医学预留房间，下方为地下一层车库，其设置避开了人群集中活动区域。

衰变池设于一层独立衰变间，周边设置挡水围堰；泄漏报警后立即锁闭房间、布设辐射警戒标识，切断区域水电，仅限辐射管理人员进场处置；衰变间地面设导流流通槽与防渗集水坑，地面找坡保证废液自流收集；配套耐腐蚀提升泵，液位超标自动启泵，将泄漏废液泵送回衰变池，衰变间设计为抗渗混凝土防渗地坪，配冲洗管路，轻度污染清水冲洗废液统一回收；重度污染采用专用去污剂、吸附棉擦拭，污染固废密封存放；若废液外泄污染土壤，隔离开挖密封贮存，交由资质单位处置，去污后复测表面辐射达标方可解除管控

本项目放射性废水排水系统及衰变池设计见图 10-10、图 10-11、图 10-12、图 10-13、图 10-14。

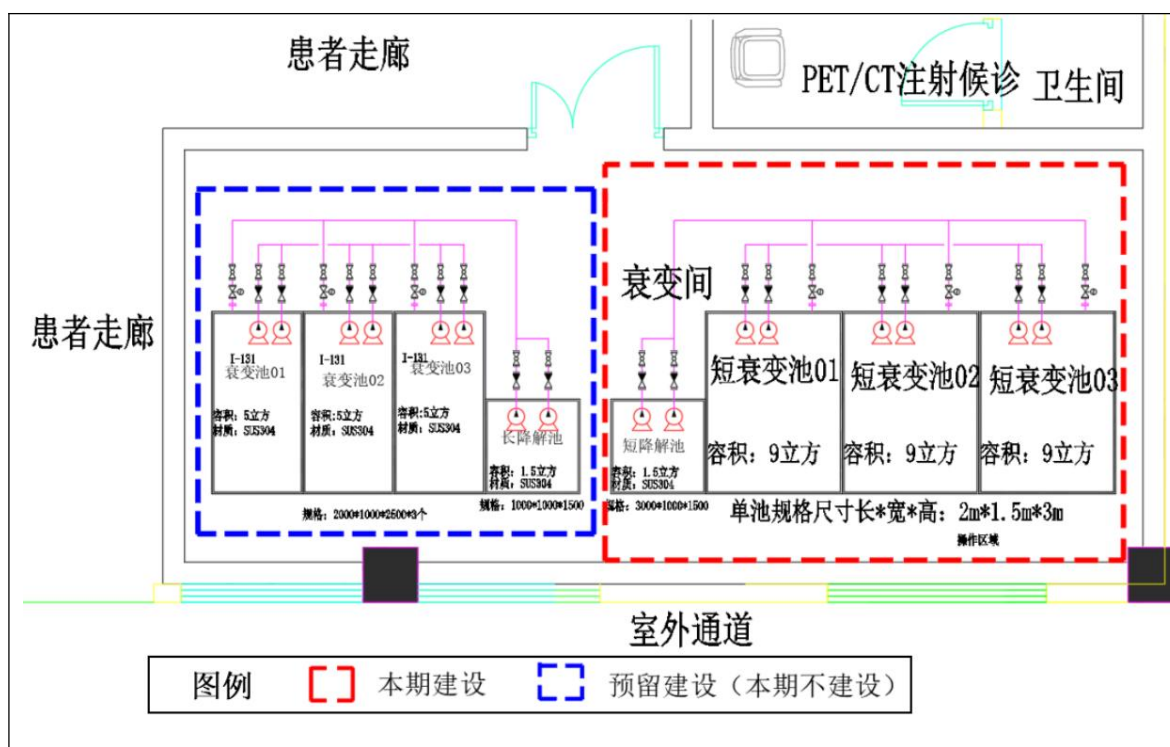


图 10-10 衰变池设计图

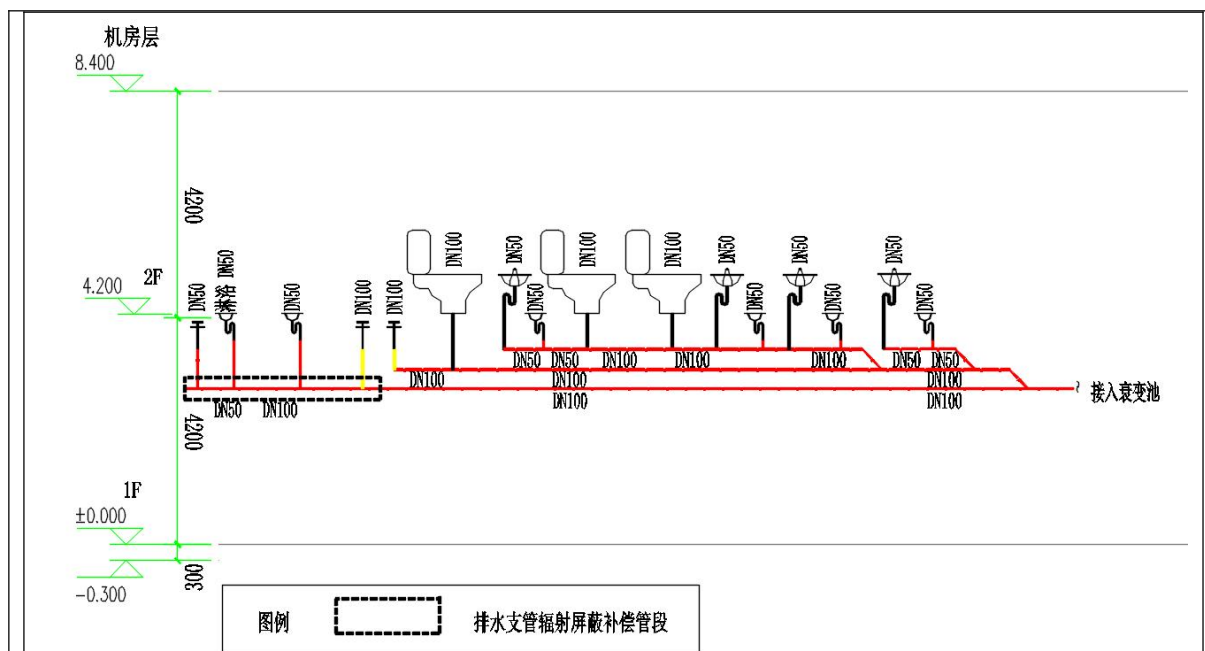
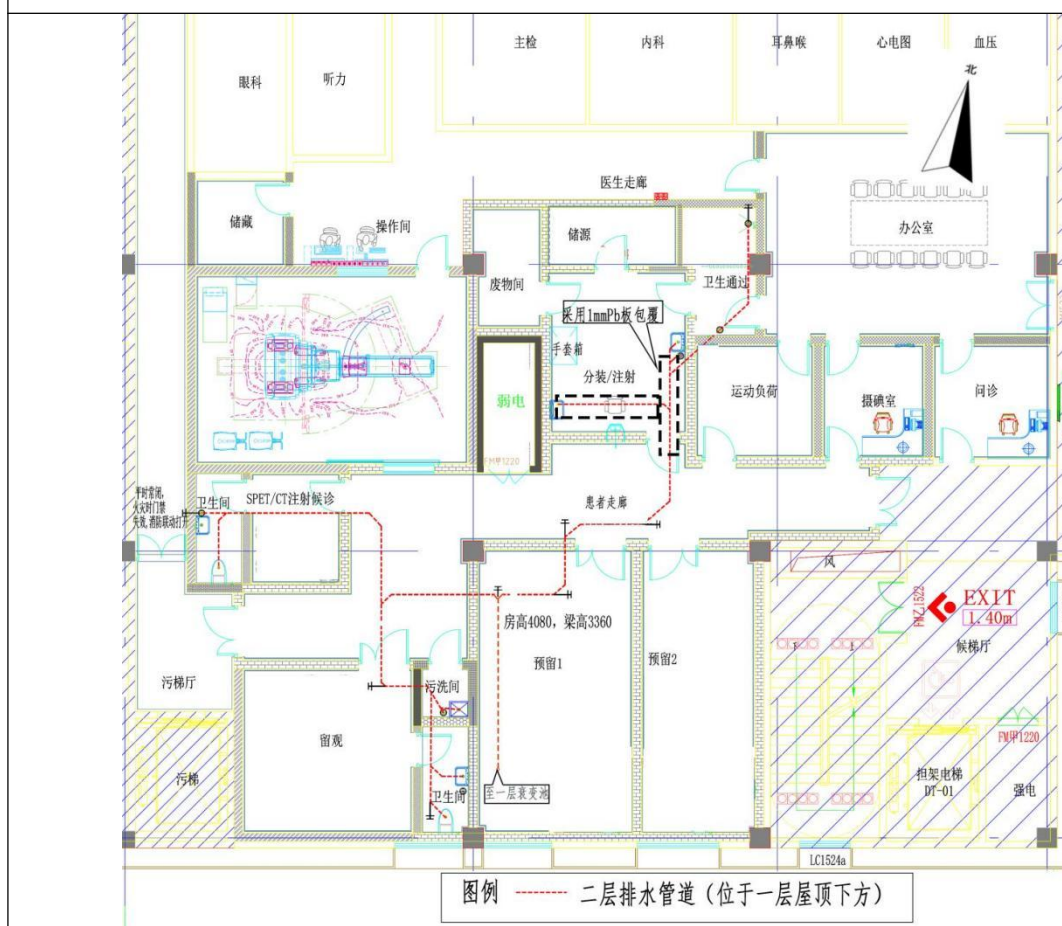


图 10-13 二层排水系统图（含局部辐射屏蔽设计）



排水系统辐射屏蔽设计：二层分装注射室下方为一层PET/CT机房，此段排水管道采用1mmPb铅板包裹直至出机房，见图中黑色虚线范围

图 10-14 二层排水平面图（含局部辐射屏蔽设计）

项目设置 3 座并联槽式衰变池，采用间歇式轮换运行。按日放射性废水 480L 计，单池满足 15 天废水收集容量即可（ $480\text{L}/\text{d} \times 15\text{d} = 7200\text{L}/15\text{d} = 7.2\text{m}^3/15\text{d}$ ），按 $0.48\text{m}^3/\text{d}$ 计，单池装满约 18.75 天，三池轮换可满足不少于 30 天暂存，本项目设计单个衰变池容积 9m^3 ，满足容纳量要求，三座池体依次轮换收集废水。当第三座池收集满时，第一座池内废水已衰变 30 天以上，储存时间及排放方式满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“对于槽式衰变池贮存方式，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，可直接排放。衰变间门口处设置围堰，可有效防止放射性废水流出外环境，各阀门使用电脑远程控制操作，污水在衰变池中的时间被自动记录在电脑中。

3、放射性固体废物

根据前文核算，核医学科放射性固体废物产生量合计约 692kg/年，其中含 ^{18}F 每年合计产生 275kg，含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 每年合计产生 175kg，含 ^{131}I 和其他核素每年合计产生 242kg。

本项目一层设有 1 个放射性废物间（容积为 $2.3\text{m} \times 1.16\text{m} \times 4.2\text{m} = 11.2\text{m}^3$ ），从 PET/CT 工作场所各房间每日工作结束后收集的放射性废物拟分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等）后集中到本层的放射性废物间中的铅衰变箱内暂存。

本项目二层设置 1 个放射性废物间（容积为 $3.79\text{m} \times 2.16\text{m} \times 4.2\text{m} = 34.4\text{m}^3$ ），从二层工作场所各房间每日工作结束后收集的放射性废物拟分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等）后集中到本层的放射性废物间中的铅衰变箱内暂存。

含 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素放射性固废（一层 PET 显像场所内产生、一层控制区排风产生的废活性炭）分类收集至一层废物间内在铅衰变箱暂存衰变不少于 30 天，二层 SPECT 显像场所产生的放射性固体收集至二层废物间衰变箱内，自行衰变不少于 30 天，含 ^{131}I 的（二层控制区排风系统以及核医学手套箱排风系统活性炭箱替换下来的废活性炭、二层使用 ^{131}I 诊疗场所产生的）放射性固废单独暂存衰变不小于 180 天。拟在各层的分装/注射室、带药后候诊室、留观室均拟设置 1 个放射性废物桶，废物桶和衰变箱显眼位置贴好标签以示区分。工作场所各房间内铅废物桶、衰变箱放置点拟避开工作人员与其他人员经常走动的地方，并设置有电离辐射警告标志。

含 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素放射性物质自行衰变不少于 30 天，含 ^{131}I 的单独暂存衰变不

少于 180 天，经检测辐射剂量率满足所处环境本底水平 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 后，相关人员将衰变后的放射性废物连同用塑料袋包装（每袋重量不超过 20kg ）按照医疗废物进行处理。

核医学工作场所通风管道内更换下来的废活性炭，按照所含核素种类依照前文规定收集暂存和处置，暂存在二层的放射性废物间铅衰变箱内，其中二层使用 ^{131}I 诊疗过程产生的放射性废物按照含 ^{131}I 的放射性废物暂存，二层场所控制区排风系统产生的废活性炭和整个核医学手套箱排风系统产生的废浸渍活性炭按照含 ^{131}I 放射性废物，单存暂存在二层的放射性废物间铅衰变箱内。

本项目放射性废物间内衰变箱设置情况如下。

表 10-7 本项目放射性废物间内拟设置铅衰变箱及分类暂存情况一览表

位置	铅衰变箱容积 (m^3)	铅当量 (mmPb)	暂存废物主要核素	最大暂存量	最少暂存时间 (天)	来源	堆积密度 (t/m^3) *	堆积容积 (m^3)	是否满足
一层废物间	0.5	不小于 10mmPb	^{18}F	约 $15\text{kg}/\text{月}$	30	一层 PET 显像	0.3	0.05	满足
	0.5	不小于 10mmPb	^{18}F	约 $8.3\text{kg}/\text{月}$	30	一层控制区排风系统更换下来的废活性炭		0.3	满足
二层废物间	0.5	不小于 2mmPb	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	约 $15\text{kg}/\text{月}$	30	二层 SPECT/CT 显像		0.05	满足
	0.5	不小于 10mmPb	含 ^{131}I 等	约 $100\text{kg}/180\text{天}$	180	二层控制区排风系统被更换下来的废活性炭、手套箱排风系统被更换下来的废活性炭		0.33	满足
	0.5	不小于 10mmPb	^{131}I	约 $20\text{kg}/180\text{天}$	180	二层进行甲亢治疗和甲功诊断		0.07	满足

注：参照《生活垃圾收集运输技术规程》（CJJ205-2013）5.2.7 条：混合生活垃圾自然堆积的典型密度为 $0.3\sim 0.6\text{t}/\text{m}^3$ ，本项目保守取 $0.3\sim 0.6\text{t}/\text{m}^3$ ，活性炭堆积密度参照江苏省地方标准《工业有机废气治理用活性炭通用技术要求》（DB32 / T5030-2025），颗粒活性炭堆积密度 $450\sim 550\text{kg}/\text{m}^3$ （ $0.45\sim 0.55\text{t}/\text{m}^3$ ），综合以上数据，环评保守取核医学放射性固废堆积密度 $0.3\text{t}/\text{m}^3$

根据以上表格，本项目核医学在运营期各废物间内各铅箱容积均能满足对应类别放射性废物暂存要求，并有一定的裕量。

^{68}Ge 密封源用于 PET/CT 设备质控，使用到一定年限后会产生退役、报废的放射源，医院承诺： ^{68}Ge 放射源在达到使用年限退役时，废源将由厂家回收收贮处置或

交由具有相关资质的单位处置。

一般废气、废水及固废处理

1、废水

本项目工作人员和部分病人产生的生活污水由院内污水处理系统统一处理。

2、废气

本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 机房和工作场所核素操作过程中，空气因核素衰变产生 γ 射线、电子线以及 CT 运行产生的 X 射线电离产生的少量臭氧和氮氧化物，拟在各层控制区单独设置排风系统，通过排风管道负压收集后经过楼房屋顶排至外环境，臭氧在空气中短时间可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

3、固体废物

本项目工作人员产生的生活垃圾分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周边环境的影响较小。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目工作场所建设时主要为现有场所内空屋墙体、门拆除，重新布局，辐射防护施工与内饰装潢，过程中将产生施工噪声、扬尘和建筑垃圾污染，建设施工时对环境会产生如下影响：

- 1、大气：墙体建设及辐射防护施工等作业将产生地面扬尘，机械作业时将排放废气，但此种影响仅限于施工现场附近区域。针对上述大气污染，医院拟采取及时清扫施工场地、设立围挡、保持一定湿度等措施，使扬尘排放浓度满足《施工场地扬尘排放标准》（DB32/4437-2022）表 1 的要求。
 - 2、噪声：整个建筑施工阶段，如墙体建设、墙体连接等施工中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定影响。建设单位拟严格执行《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025），尽量采用噪声低的先进设备，严禁夜间强噪声作业。
 - 3、固体废物：项目施工期间，会产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，委托有资质单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输中散落。
 - 4、废水：本项目施工期间，有一定量的建筑废水（含有泥浆）产生，对这些废水进行初级沉淀处理，并经隔渣后回用不外排。
- 医院在施工阶段拟采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在医院内部，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

一、放射性核素辐射环境影响分析

（一）α射线辐射影响分析

根据前述辐射源项分析，本项目工作场所不产生α射线。

（二）β射线辐射影响评价

1、外照射影响

根据《辐射防护手册（第三分册）》，β射线在不同物质中与最大射程对应的防护厚度计算公式见公式 11-1，计算结果见表 11-1。

$$d=\frac{1}{2\rho}E_{\rho max}$$
公式 11-1

式中：E_{ρmax}—β射线的能量，MeV；

ρ —物质的密度， g/cm^3 ；

d —与最大射程对应的防护厚度， cm 。

表 11-1 与最大射程对应的防护厚度计算结果

场所	核素	β 射线最大能量 (MeV)	屏蔽材料	材料密度 (g/cm^3)	对应的防护厚度 (cm)
一层	^{18}F	0.63	铅	11.3	0.03
			混凝土	2.35	0.13
			硫酸钡涂层（低密度）	3.333	0.09
			实心砖	1.65	0.19
二层	^{131}I	0.606	铅	11.3	0.03
			混凝土	2.35	0.13
			硫酸钡板（高密度）	3.667	0.08
			硫酸钡涂层（低密度） （地面）	3.333	0.09
			实心砖	1.65	0.18

本项目工作场所采用铅、混凝土、实心砖、硫酸钡等进行辐射防护，由表 11-1 可知， ^{18}F 核素和 ^{131}I 核素产生的 β 射线在这些材料中射程很短，本项目辐射工作人员在使用放射性药物（含 ^{18}F 、 ^{131}I ）过程中均采用了有效的屏蔽措施，周围公众与放射性药物不直接接触，且采取了距离防护措施，故 β 射线对本项目辐射工作人员及周围公众外照射辐射影响很小。

2、内照射影响分析

本项目 ^{131}I 诊疗作业频次低，约 2 周开展 1 次，采用预约制错峰安排，与 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素扫描时段完全错开，不存在交叉作业叠加暴露风险。 ^{131}I 分装作业在独立负压手套箱、控制区专用通风系统条件下密闭进行，操作人员配备完整个人防护用品，放射性碘蒸气及气溶胶吸入量极少。给药环节甲亢患者单次服用 ^{131}I 剂量为 10mCi ，按常规配液浓度折合药液体积约 10mL ，药液体积小、自由挥发液面面积小；给药操作时长仅 1~2 分钟，操作台虽为敞开式，但全程处于负压通风环境，放射性碘挥发逸散量有限，工作人员呼吸道吸入与皮肤沾染所致内照射暴露水平较低。综合作业频次低、单次药量少、操作时长短、密闭分装 + 负压通风、人员轮岗值守等多重因素，辐射工作人员因 ^{131}I 分装及给药过程产生的内照射年有效剂量远低于职业人员 5mSv 剂量约束值，公众无近距离接触及吸入途径，不产生内照射影响，本次评价不再对内照射剂量

开展定量计算分析。

3、表面污染影响

辐射工作人员在操作放射性药物时，可能将放射性药物洒落在地面、台面、墙壁、设备表面或工作人员皮肤、防护用品表面，会对辐射工作人员及周围公众造成一定的辐射影响。《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中 5.3.2 及表 2 对核医学工作场所表面污染水平的控制作了相应的要求，医院拟采取以下防护措施：

（1）操作放射性药物的人员均经过操作技能培训和辐射防护知识的考核，考核合格后方可上岗；

（2）操作放射性药物时，工作人员正确穿戴个人防护用品，保证防护用品有效性；

（3）操作放射性药物时，工作台上垫易吸收、防渗漏的材料，遇有放射性药物泄漏时立即采取去污处理；

（4）严格控制注射放射性药物动物、工作人员的流动路线，禁止无关人员进入本项目工作场所；

（5）经常对非密封放射性物质工作场所内的地面、台面、墙面、设备及工作人员身体表面进行表面污染监测，及时采取去污措施；

（6）严格按照要求处置放射性废物。

（三） γ 射线环境影响评价

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 第 1.2 中，本项目工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法（见公式 11-2）计算各关注点处由 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 以及 ^{131}I 所致周围剂量当量率，预测结果见下表（表 11-5、表 11-6、表 11-7、表 11-9（衰变间））各关注点位置见下图（图 11-1、图 11-2、图 11-3、图 11-4（衰变间））。

$$x = TVL \times \lg \left(\frac{A \times \Gamma}{H_p \times r^2} \right) \quad \text{公式 11-2}$$

式中：x—屏蔽厚度，mm；

TVL— γ 射线的十分之一值层厚度，mm，本项目使用核素为 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I ，TVL 值参考 GBZ120-2020 表 I.1，见表 11-2。

表 11-2 本项目屏蔽材料十分之一值层厚度（TVL），单位：mm

使用场所	核素	铅（11.3g/cm ³ ）	砖（1.65g/cm ³ ）	混凝土（2.35g/cm ³ ）
核医学科	^{18}F	16.6	263	176

一层				
核医学科	^{99m}Tc	1	160	110
二层	^{131}I	11	240	170

A —单个患者或受检者所用放射源的最大活度，MBq；

Γ —距源 1m 处的周围剂量当量率常数， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ，参考 GBZ120-2020 表 H.1，表 L.1， Γ 取值见下表。

表 11-3 本项目计算采用 Γ 取值情况一览表

使用场所	核素名称	周围剂量当量率常数（裸源） $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$
核医学科一层	^{18}F	0.143
核医学科二层	^{99m}Tc	0.0303
	^{131}I	0.0595

$\dot{H}_p$ —屏蔽体外关注点剂量率控制值， $\mu\text{Sv/h}$ ；

r —参考点与放射源间的距离，m。

由公式 11-2 推导可得本项目场所屏蔽体外剂量率 $\dot{H}$ ：

$$\dot{H} = \frac{A \times \Gamma}{r^2} 10^{\left(-\frac{x}{TVL}\right)} \quad \text{公式 11-3}$$

根据屏蔽体设计资料，本项目一层主要墙体主要采用实心砖加硫酸钡涂层复合材料作为辐射屏蔽体，顶部采用现有砼楼板层加硫酸钡涂层复合材料作为屋顶（同时作为二层场所地面）辐射屏蔽体，一层使用硫酸钡涂层密度为 $3.333\text{g}/\text{cm}^3$ ；本项目二层场所内使用密度为 $3.667\text{g}/\text{cm}^3$ 的硫酸钡板作为墙体辐射屏蔽体（龙骨+硫酸钡板填充），根据辐射防护导论(方杰主编) P₈₈，常用建筑材料（混凝土、砖、灰泥、泥土等），这类材料在宽能量范围内康普顿散射占射线减弱的主导地位，因此公式可有效估算砖、灰泥、泥土等材料相对于混凝土的等效防护厚度。

$$d_1/d_2 = \rho_2/\rho_1 \quad \text{公式 11-4}$$

式中：

d_1 ：折成混凝土（砼）的等效厚度，cm；

ρ_1 ：混凝土（砼）的密度， $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ；

d_2 ：被折算的材料实际厚度，cm；

ρ_2 : 被折算材料的密度, g/cm^3 ;

把一层使用硫酸钡涂层厚度和二层使用硫酸钡板厚度折算为砼厚度见下表。

表 11-4 本项目屏蔽材料设计选用硫酸钡折算成混凝土厚度一览表

硫酸钡材料所在场所中位置		设计硫酸钡厚度 mm	设计硫酸钡密度 g/cm^3 *	折算成砼厚度 mm**
楼层	建设位置			
核医学一层（使用 ^{18}F 核素显像）	墙面	60	3.333	85
	墙面	80	3.333	113
	屋顶（二层地面）	15	3.333	21
	PET/CT 机房顶面	25	3.333	36
核医学二层（使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素显像，使用 ^{131}I 核素诊疗）	墙面	60	3.667	94
	墙面	45	3.667	70
	地面（一层屋顶）	15	3.333	21

说明*: 一层场所墙面、一层顶面（含一层 PET/CT 机房屋顶）选用密度为 3.333g/cm^3 硫酸钡涂层作为主屏蔽体外屏蔽补偿；二层场所屏蔽墙体硫酸钡材质均选用密度为 3.667g/cm^3 硫酸钡板。在计算 γ 辐射环境影响时保守将硫酸钡设计厚度按照密度折算成砼厚度。

1、一层 PET/CT 工作场所使用 ^{18}F 核素致 γ 辐射剂量率估算

见下表。

表 11-5 本项目一层 PET/CT 工作场所 ^{18}F 所致辐射水平估算结果

场所	活度 A(MBq)	关注点	屏蔽设计厚度 x	关注点距 离 r (m)	透射比	关注点剂 量率 (μSv/h)	标准要 求 (μSv/h)	评价
PET/CT 机房内摆 位	370, 1 名 患者, 裸 源	摆位处	0.5mmPb 铅服	1	0.933	49.365	/	/
PET/CT 机房		观察窗外 A1（操作间）	8mm 铅当量铅玻 璃	3.9	0.3297	1.147	≤2.5	符合
		操作间防护门外 A2（操作 间）	8mm 铅板	3.9	0.3297	1.147	≤2.5	符合
		机房大门外 A3（患者走 廊）	8mm 铅板	5.7	0.3297	0.537	≤10	符合
		东墙外 A4（操作间）	240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂 层	3.7	0.0402	0.155	≤2.5	符合
		南墙外 A5（患者走廊）		5.4	0.0402	0.073	≤10	符合
		西墙外 A6（放疗候诊）		3.5	0.0402	0.174	≤2.5	符合
		北墙外 A7（技术员办公 室）		4.4	0.0402	0.110	≤2.5	符合
		顶棚上（二层分装/注射室 内、储源室、废物间）	120mm 混凝土 +25mm 硫酸钡涂 层	3.7	0.1309	0.506	≤2.5, 储源室 和废物 间≤10	符合
		地板下（地下一层车库）	250mm 混凝土 +15mm 硫酸钡涂 层	4.7	0.0288	0.069	≤2.5	符合
分装工作 位 (分装/注	5550（每 批次按 5 人最大药	W1（手套箱旁）	0.5mmPb 铅服 +55mmPb（手套 箱）	0.5	0.0005	1.44	≤2.5	符合

射室)	量的 3 倍 备药), 裸源							
注射位(分 装/注射 室)	370 (1 名患 者)	W2	0.5mmPb 铅服 +40mmPb 窗 +10mmPb 注射器 防护套	0.5	0.0009	0.192	≤2.5	符合
分装/注射 室	370, 裸源	南侧防护门外 B1 (患者走廊)	6mm 铅板	2.0	0.4351	5.755	≤10	符合
		东侧防护门外 B2 (卫生通过间)	6mm 铅板	4.1	0.4351	1.369	≤2.5	符合
		东侧防护门外 B3 (血糖测定室)		6.4	0.4351	0.562	≤2.5	符合
		东墙外 B4 (血糖测定室)	240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂 层	6.4	0.0402	0.052	≤2.5	符合
		东墙外 B5 (卫生通过间)		4.1	0.0402	0.127	≤2.5	符合
		南墙外 B6 (患者走廊)		1.6	0.0402	0.831	≤10	符合
		西墙外 B7 PET/CT 机房		2.3	0.0402	0.402	≤2.5	符合
		北墙外 B8 (操作间)		1.6	0.0402	0.831	≤2.5	符合
		北墙外 B9 (库房)		4.5	0.0402	0.105	≤2.5	符合
		顶棚上 (二层运动负荷室 (抢救室))		3.7	0.1575	0.609	≤2.5	符合
		地板下 (地下一层车库)	250mm 混凝土	4.7	0.0380	0.091	≤2.5	符合
PET/CT 注射候诊 室	696, 两位 患者候 诊, 裸源	防护门外 C1 (患者走廊)	6mm 铅板	4.4	0.4351	2.999	≤10	符合
		东墙外 C2 (楼梯间)	240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂 层	5.0	0.0402	0.160	≤2.5	符合
		南墙外 C3 (衰变间)		1.3	0.0402	2.368	≤10	符合
		西墙外 C4 (患者走廊)		1.1	0.0402	3.308	≤10	符合
		北墙外 C5 (患者走廊)		2.4	0.0402	0.695	≤10	符合
		顶棚上 (预留房间)	120mm 混凝土 +15mm 硫酸钡涂 层	3.7	0.1575	0.609	≤10	符合
		地板下 (地下一层车库)	250mm 混凝土	4.7	0.0380	0.171	≤2.5	符合
PET/CT 注射候诊 室卫生间	370, 1 位 患者, 裸 源	防护门外 D1 (患者走廊)	10mm 铅板	3.6	0.2498	1.020	≤10	符合
		东墙外 D2 (楼梯间)	240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂 层	1.1	0.0402	1.758	≤2.5	符合
VIP 注射 候诊/抢救 室	696, 1 位 患者候 诊, 裸源	防护门外 E1 (患者走廊)	6mm 铅板	3.8	0.4351	2.999	≤10	符合
		东墙外 E2 (患者走廊)	240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂 层	3.6	0.0402	0.309	≤10	符合
		南墙外 E3 (患者走廊)		1.1	0.0402	3.308	≤10	符合
		西墙外 E4 (电梯厅)		3.1	0.0402	0.416	≤2.5	符合
		北墙外 E5 (放疗候诊区)		3.0	0.0402	0.445	≤2.5	符合
		顶棚上 (二层 SPECT/CT 注射候诊室)	120mm 混凝土 +15mm 硫酸钡涂 层	3.7	0.1575	1.145	≤2.5	符合

		地板下（地下一层车库）	250mm 混凝土	4.7	0.038	0.171	≤2.5	符合
VIP 注射 候诊/抢救 室卫生间	370, 1 位 患者, 裸 源	南墙外 F1（电梯厅）	240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂 层	1.5	0.0402	0.946	≤2.5	符合
		西墙外 F2（放疗候诊区）	240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡涂 层	1.2	0.0278	1.02	≤2.5	符合
		北墙外 F3（放疗候诊区）	240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂 层	1.5	0.0402	0.946	≤2.5	符合
留观室	541, 两位 患者留 观, 裸源	防护门外 G1（患者走廊）	6mm 铅板	2.5	0.4351	5.385	≤10	符合
		东墙外 G2（患者走廊）	240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂 层	2.1	0.0402	0.705	≤10	符合
		南墙外 G3（污洗间）		2.8	0.0402	0.397	≤10	符合
		西墙外 G4（电梯厅）	240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂 层+120mm 混凝 土	1.2	0.0084	0.449	≤2.5	符合
		北墙外 G5（VIP 注射候诊/ 抢救室）	240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂 层	2.7	0.0402	0.427	≤2.5	符合
		顶棚上（二层留观室）	120mm 混凝土 +15mm 硫酸钡涂 层	3.7	0.1575	0.890	≤2.5	符合
		地板下（地下一层车库）	250mm 混凝土	4.7	0.038	0.133	≤2.5	符合
留观室卫 生间	288, 1 位 患者, 裸 源	东墙外 H1（患者走廊）	240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂 层	2.1	0.0402	0.376	≤10	符合
		南墙外 H2（污洗间）		1.3	0.0402	0.98	≤10	符合
		西墙外 H3（电梯间）		1.4	0.0402	0.845	≤2.5	符合
患者 走廊	370, 1 位 患者, 裸 源	顶棚上（二层患者走廊、 留观室）	120mm 混凝土 +15mm 硫酸钡涂 层	3.7	0.1575	0.609	≤2.5	符合
		地板下（地下车库）	250mm 混凝土	4.7	0.038	0.091	≤2.5	符合
废物间	废物桶表 面 30cm 按 2.5μSv/h, 离地高 0.3m。	东墙外 J1（阅片/休息/更衣 室）	240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂 层	1.1	0.0402	0.083	≤2.5	符合
		北墙外 J2（库房）		1.1	0.0402	0.083	≤2.5	符合
		顶棚上（二层办公室）	120mm 混凝土 +15mm 硫酸钡涂 层	4.2	0.2648	0.038	≤2.5	符合
		地板下（地下一层车库）	250mm 混凝土	4.2	0.038	0.005	≤2.5	符合
储源室	储源箱表 面按 2.5μSv/h, 离地高 0.3m。	西墙外 K1（操作间）	240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡涂 层	1.1	0.0402	0.083	≤2.5	符合
		北墙外 K2（库房）		1.1	0.0402	0.083	≤2.5	符合
		顶棚上（二层办公室）	120mm 混凝土 +15mm 硫酸钡涂 层	4.2	0.2648	0.038	≤2.5	符合
		地板下（地下一层车库）	250mm 混凝土	4.2	0.038	0.005	≤2.5	符合

注：1.分装工位、注射位与源的距离为 0.5m，摆位工位与源的距离约为 1m；其余关注点位与源的距离为源至屏蔽体外 0.3m 处的距离，一层楼层层高 4.2m，地下室层高 5.4m；根据 AAPM108 号报告中计算关注点的原则，即四周屏蔽墙关注点位置在墙外 0.3m 处，屋顶关注点位置在楼板地面上方 0.5m 处，楼下关注点在楼板上 1.7m 处；

- 2.透射比为 $10^{-\left(\frac{x}{mT}\right)}$ ，多种材料屏蔽时，透射比为各屏蔽材料透射比之积；
- 3.PET/CT 候诊室内和 VIP 注射候诊/抢救室内源强按照 2 名患者分别休息 0min、20min 衰变后的源强之和；PET/CT 机房内核素源强保守取 1 名患者休息给药后最大源强；留观室源强为 2 名患者分别经过 40min（休息 20min+扫描 20min）、60min（休息 40min+扫描 20min+留观 20min）衰变后的源强之和 541MBq，卫生间内患者源强为 1 位患者开始留观时间的源强 288MBq；
4. 除分装、注射（含移动至注射窗）外，其他场所内均按照裸源计算对场所周边最大辐射影响；
5. 手套箱侧面铅当量同正面，根据手套箱正面屏蔽体外剂量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 结论可知侧面屏蔽体外剂量率满不大于 $25 \mu\text{Sv/h}$ ；

由表11-5的理论估算结果可知，本项目PET/CT工作场所 ^{18}F 所致辐射水平满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）等相关标准和规范的限值要求。

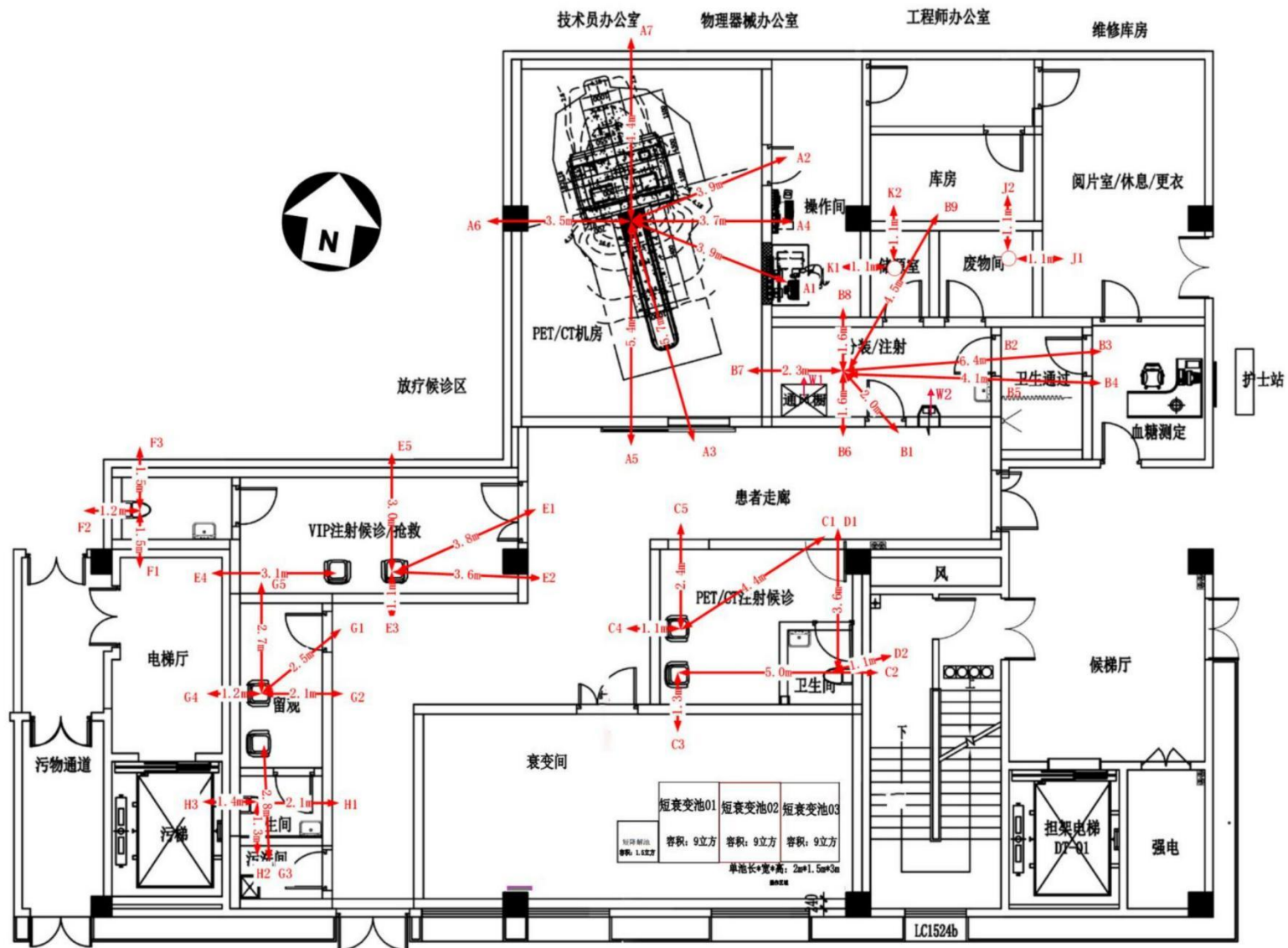


图 11-1 本项目一层工作场所理论估算关注点位示意图

2、二层 SPECT/CT 场所使用 ^{99m}Tc 核素工作场所辐射剂量率估算

估算结果见下表。

表 11-6 本项目二层 SPECT/CT 工作场所 ^{99m}Tc 所致辐射水平估算结果

场所	活度 A (MBq)	关注点	屏蔽设计厚度 x	关注点距离 r (m)	透射比	关注点剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	标准要求 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价
摆位	925, 1 位患者, 裸源	摆位处	0.5mmPb 铅服	1	0.3162	8.863	/	/
SPECT/CT 机房	925, 1 位患者, 裸源	观察窗外 a1 (操作间)	4mm 铅当量铅玻璃	3.2	0.0001	<0.001	≤ 2.5	符合
		操作间防护门外 a2 (操作间)	4mm 铅板	4.5	0.0001	<0.001	≤ 2.5	符合
		机房大门外 a3 (患者走廊)	4mm 铅板	4.0	0.0001	<0.001	≤ 10	符合
		东墙外 a4 (废物间)	钢龙骨+45mm 硫酸钡板	4.8	0.2297	0.279	≤ 10	符合
		南墙外 a5 (SPECT/CT 注射候诊室)		3.5	0.2297	0.525	≤ 2.5	符合
		西墙外 a6 (通道)		4.3	0.2297	0.348	≤ 2.5	符合
		北墙外 a7 (操作位)		3.2	0.2297	0.629	≤ 2.5	符合
		顶棚上 (楼顶平台)	120mm 混凝土+2.5mm 铅板	3.7	0.0003	0.001	≤ 2.5	符合
		地板下 (一层放疗候诊)	120mm 混凝土+25mm 硫酸钡涂层	3.5	0.0386	0.088	≤ 2.5	符合
操作位 (分装/注射室内)	单次最大操作活度 4525 (5 位患者使用活度)	w1 (手套箱旁)	15mmPb 手套箱+0.5mm 铅衣	0.5	3.16×10^{-16}	<0.001	≤ 2.5	符合
注射位 (分装/注射室内)	925	w2 (注射位)	1mmPb 注射器铅防护套+0.5mmPb 铅衣+2mm 铅玻璃窗	0.5	0.0003	0.035	≤ 2.5	符合
分装/注射室	925, 裸源	南侧防护门外 b1 (患者走廊)	2mm 铅板	3.5	0.01	0.023	≤ 10	符合
		东侧防护门外 b2 (卫生通过间)	2mm 铅板	2.7	0.01	0.038	≤ 2.5	符合
		东墙外 b3 (办公室)	钢龙骨+45mm 硫酸钡板	4.7	0.2297	0.291	≤ 2.5	符合
		东墙外 b4 (运动负荷室 (抢救室))		2.5	0.2297	1.03	≤ 2.5	符合
		南墙外 b5 (患者走廊)		2.9	0.2297	0.765	≤ 10	符合
		西墙外 b6 (SPECT/CT 机房)		4.7	0.2297	0.291	≤ 2.5	符合
		北墙外 b7 (医生走廊)		4.0	0.2297	0.402	≤ 2.5	符合
		顶棚上 (楼顶平台)	120mm 混凝土	3.7	0.0811	0.166	≤ 2.5	符合
		地板下 (一层 PET/CT 机房)	120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层	3.5	0.0520	0.119	≤ 2.5	符合

运动负荷室 (抢救室)	600	南侧防护门外 c1 (患者走廊)	2mm 铅板, 1mmPb 注射器 铅防护套	2.4	0.001	0.003	≤10	符合
		北侧防护门外 c2 (办公室)	2mm 铅板, 1mmPb 注射器 铅防护套	2.4	0.001	0.003	≤2.5	符合
		东墙外 c3 (摄碘室)	钢龙骨+45mm 硫酸钡板 1mmPb 注射器 铅防护套,	2.2	0.023	0.086	≤2.5	符合
		南墙外 c4 (患者走廊)		2.2	0.023	0.086	≤10	符合
		西墙外 c5 (分装注射室)		2.2	0.023	0.086	≤2.5	符合
		北墙外 c6 (办公室)		2.2	0.023	0.086	≤2.5	符合
		顶棚上 (楼顶平台)	120mm 混凝土, 1mmPb 注射器铅防护套	3.7	0.0081	0.011	≤2.5	符合
		地板下 (一层分装注射室)	120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层, 1mmPb 注射器铅防护套	3.5	0.0052	0.008	≤2.5	符合
SPECT/ CT 注射 候诊室	1850, 2 名患者, 裸源	防护门外 d1 (患者走廊)	2mm 铅板	2.7	0.01	0.077	≤10	符合
		东墙外 d2 (患者走廊)	钢龙骨+60mm 硫酸钡板	1.2	0.1407	5.475	≤10	符合
		南墙外 d3 (患者走廊)		1.1	0.1407	6.516	≤10	符合
		西墙外 d4 (通道)	钢龙骨+45mm 硫酸钡板	3.2	0.1407	0.77	≤2.5	符合
		北墙外 d5 (SPECT/CT 机房)		3.4	0.2297	1.114	≤2.5	符合
		顶棚上 (楼顶平台)		3.7	0.0811	0.332	≤2.5	符合
		地板下 (VIP 注射候诊/抢救室)	120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层	3.5	0.052	0.238	≤2.5	符合
SPECT/ CT 注射 候诊室 卫生间	925, 1 名患者, 裸源	南墙外 f1 (污梯厅)	钢龙骨+60mm 硫酸钡板	1.3	0.1407	2.333	≤2.5	符合
		西墙外 f2 (通道)		1.4	0.1407	2.011	≤2.5	符合
留观室	1850, 2 名患者留观, 裸源	防护门外 g1 (患者走廊)	2mm 铅板	4.7	0.01	0.025	≤10	符合
		东墙外 g2 (污洗间)	钢龙骨+45mm 硫酸钡板	4.1	0.2297	0.766	≤10	符合
		东墙外 g3 (预留房间)		4.8	0.2297	0.559	≤10	符合
		南墙外 g4 (临空, 下方为室外通道)		3.2	0.2297	1.257	≤2.5	符合
		西墙外 g5 (污梯间)		2.8	0.2297	1.642	≤2.5	符合
		西墙外 g6 (污梯厅)		4.2	0.2297	0.730	≤2.5	符合
		北墙外 g7 (患者走廊)		4.5	0.2297	0.636	≤10	符合
		顶棚上 (楼顶平台)	120mm 混凝土	3.7	0.0811	0.332	≤2.5	符合
		地板下 (一层留观室、患者走廊、衰变间)	120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层	3.5	0.052	0.238	≤2.5	符合

留观室 卫生间	925, 1 名患者, 裸源	东墙外 h1 (预留房间)	钢龙骨+45mm 硫酸钡板	1.1	0.2297	5.320	≤10	符合
		南墙外 h2 (临空, 下方为室外通道)		3.2	0.2297	0.629	≤2.5	符合
		北墙外 h3 (污洗间)		3.3	0.2297	0.591	≤10	符合
废物间	废物桶表面 30cm 按 2.5μSv/h, 离地高 0.3m。	西墙外 j1 (操作间)	钢龙骨+45mm 硫酸钡板	1.1	0.2297	0.19	≤2.5	符合
		北墙外 j2 (医生走廊)		1.1	0.2297	0.19	≤2.5	符合
		顶棚上 (楼顶平台)	120mm 混凝土	3.7	0.0811	0.006	≤2.5	符合
		地板下 (PET/CT 机房)	120mm 混凝土 +15mm 硫酸钡涂层	3.5	0.052	0.004	≤2.5	符合
患者走廊	925, 1 名患者, 裸源	顶棚上 (楼顶平台)	120mm 混凝土	3.7	0.0811	0.166	≤10	符合
		地板下 (患者走廊)	120mm 混凝土 +15mm 硫酸钡涂层	3.5	0.052	0.119	≤10	符合

注: 1.分装工作位、注射位与源的距离为 0.5m, 摆位工作位与源的距离约为 1m; 其余关注点位与源的距离为源至屏蔽体外 0.3m 处的距离, 一层、二层楼层层高 4.2m; 根据 AAPM108 号报告中计算关注点的原则, 即四周屏蔽墙关注点位置在墙外 0.3m 处, 屋顶关注点位置在楼板地面上方 0.5m 处, 楼下关注点在楼板上方 1.7m 处;
2. 透射比为 $10^{-\left(\frac{x}{TVL}\right)}$, 多种材料屏蔽时, 透射比为各屏蔽材料透射比之积; 注射候诊室、留观室源强分别取 2 名患者源强之和; 描间源强保守取 1 名患者给药后最大源强;
3.计算活度时不考虑核素衰变;
4.手套箱侧面铅当量同正面, 根据手套箱正面屏蔽体外剂量率不大于 2.5 μSv/h 结论可知侧面屏蔽体外剂量率不大于 25 μSv/h;

由表 11-6 的理论估算结果可知, 本项目核医学科二层 ^{99m}Tc 工作场所周围环境辐射水平均满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 的限值要求。

3、二层使用 ^{131}I 核素工作场所辐射剂量率估算

本项目二层使用 ^{131}I 进行诊疗，根据患者预约情况，在诊疗当日下午送药，下午进行分装和诊疗，使用 ^{131}I 核素甲亢治疗：单人使用 ^{131}I 核素最大活度 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi）， ^{131}I 核素日最大操作量为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ （50mCi）；使用 ^{131}I 甲状腺吸碘率测定：使用 ^{131}I 进行甲状腺吸碘率测定，日最多检测 25 人，单人使用 ^{131}I 核素最大活度 $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ （10 μCi ），与甲亢治疗用药一起送药，甲状腺吸碘率测定使用 ^{131}I 核素日最大操作量为 $9.25 \times 10^6 \text{Bq}$ （0.25mCi），单次分装 ^{131}I 核素最大活度 50.25mCi

甲亢患者根据语音提示在分装室外患者走廊处服药，服药后留观 10min，无恙后通过患者走廊离开工作场所，根据甲亢患者居留位置，评价预测分装过程剂量率、服药时给药人员处剂量率以及留观室外剂量率和患者走廊外关注点处剂量率。见下表。

表 11-7 本项目二层工作场所 ^{131}I 核素所致辐射水平估算结果

场所	活度 A (MBq)	关注点	屏蔽设计厚度 x	关注点距离 r (m)	透射比	关注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	标准要求 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价
手套箱分装工作位 (分装/注射室内)	1859.25 (甲亢加甲功用药, 裸源)	w1 (手套箱旁)	15mmPb (手套箱) +0.5mm 铅衣 +10mmPb (手套箱内 ^{131}I 分装仪)	0.5	0.0048	2.127	≤ 2.5	符合
给药窗 (分装/注射室内)	370, 裸源	w3 (给药位)	10mmPb 药杯铅防护套 (或给药窗 10mmPb) +0.5mmPb 铅衣	1	0.111	2.444	≤ 2.5	符合
分装/注射室	370, 裸源	南侧防护门外 b1 (患者走廊)	2mm 铅板	3.5	0.6579	1.182	≤ 10	符合
		东侧防护门外 b2 (卫生通过间)	2mm 铅板	2.7	0.6579	1.987	≤ 10	符合
		东墙外 b3 (办公室)	钢龙骨+45mm 硫酸钡板	4.7	0.386	0.385	≤ 2.5	符合
		东墙外 b4 (运动负荷室 (抢救室))		2.5	0.386	1.360	≤ 10	符合
		南墙外 b5 (患者走廊)		2.9	0.386	1.010	≤ 10	符合
		西墙外 b6 (SPECT/CT 机房)		4.7	0.386	0.385	≤ 10	符合
		北墙外 b7 (医生走廊)		4.0	0.386	0.531	≤ 2.5	符合
		顶棚上 (楼顶平台)	120mm 混凝土	3.7	0.1968	0.317	≤ 2.5	符合
		地板下 (一层 PET/CT 机房)	120mm 混凝土 +15mm 硫酸钡涂层	3.5	0.1476	0.265	≤ 10	符合
留观室	740, 2 名患者留观, 裸源	防护门外 g1 (患者走廊)	2mm 铅板	4.7	0.6579	1.311	≤ 10	符合
		东墙外 g2 (污洗)	钢龙骨+45mm 硫	4.1	0.386	1.011	≤ 10	符合

		间)	酸钡板					
		东墙外 g3 (预留房间)		4.8	0.386	0.738	≤10	符合
		南墙外 g4 (临空, 下方为室外通道)		3.2	0.386	1.66	≤2.5	符合
		西墙外 g5 (污梯间)		2.8	0.386	2.168	≤2.5	符合
		西墙外 g6 (污梯厅)		4.2	0.386	0.964	≤2.5	符合
		北墙外 g7 (患者走廊)		4.5	0.386	0.839	≤10	符合
		顶棚上 (楼顶平台)	120mm 混凝土	3.7	0.1968	0.633	≤2.5	符合
		地板下 (一层留观室、患者走廊、衰变间)	120mm 混凝土 +15mm 硫酸钡涂层	3.5	0.1476	0.531	≤10	符合

注: 1. 给药过程为分装后取药至给药窗 (药杯 10mmPb 铅防护套) 和给药窗 (10mmPb) 外患者服药过程;
2. 手套箱内 ^{131}I 单次最大操作活度 1859.25MBq (5 位甲亢患者, 25 人甲状腺吸碘率测定受检者, 操作裸源)、手套箱侧面铅当量同正面, 根据手套箱正面屏蔽体外剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 结论可知侧面屏蔽体外剂量率满足 $25\mu\text{Sv/h}$;
3. 除分装、给药 (含移动至给药窗) 外, 分装室和留观室均按照裸源计算对场所周边最大辐射影响;
4. 计算关注点位序号同 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 。

由表 11-7 的理论估算结果可以看出, 本项目核素治疗区工作场所的屏蔽防护设计均能够满足 ^{131}I 放射性药物的辐射防护要求。诊疗期间由于患者相对集中, 医院拟通过采取集中预约和时空管理方式在诊疗当日下午后半时段进行甲亢治疗和甲状腺吸碘率测定, 避免与本层使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者交叉影响, 尽量降低对患者与对外环境的辐射影响。

4、一层衰变池场所周边剂量率估算

(1) 计算活度

参考《放射毒理学》(朱寿彭主编) 给出的放射性核素的生理代谢规律, 核医学门诊注射或口服的放射性药物在就诊时间内, 约有 10% 排入衰变池。每日排入衰变池内放射性核素情况见下表。

表 11-8 每日排入衰变池内放射性核素一览表

核素	每日就诊人数 (人)	每人注射活度 (MBq)	每人排放进入衰变池活度 (MBq)	日产生废水进入衰变池的活度 (MBq)
^{18}F	10	370	37	370
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	10	925	92.5	925

根据前文裸源的周围剂量当量率常数 $^{18}\text{F}:0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$, $^{99\text{m}}\text{Tc}0.0303\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$, 并根据衰变池房间屏蔽情况计算衰变池房间周围的剂量率, 见下表。

表 11-9 不同核素所致衰变间周边场所剂量率计算表

场所	排入核素	活度 A (MBq)	关注点	屏蔽设计厚度 x	关注点距离 r (m)	透射比	关注点剂量率(μSv/h)
一层衰变间	¹⁸ F	370	东墙外 S1 (楼梯间)	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂层+200mm 混凝土	1.7	0.0029	0.009
		370	南墙体外 S2 (室外通道)	240mm 砖+60mm 硫酸钡涂层	2.4	0.0402	0.369
		370	西墙外 S3 (患者走廊)	240mm 砖+60mm 硫酸钡涂层	6.9	0.0402	0.045
		370	北防护门外 S4 (患者走廊)	6mmPb	3.7	0.4351	1.681
		370	北墙外 S5 (PET/CT 注射候诊室)	240mm 砖+60mm 硫酸钡涂层	3.2	0.0402	0.208
		370	顶棚上 (核医学预留房间)	120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层	3.7	0.2081	0.804
		370	地板下 (地下一层车库)	250mm 混凝土	4.7	0.0380	0.091
	^{99m} Tc	925	东墙外 S1 (楼梯间)	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂层+200mm 混凝土	1.7	0.0001	<0.001
		925	南墙体外 S2 (室外通道)	240mm 砖+60mm 硫酸钡涂层	2.4	0.0044	0.022
		925	西墙外 S3 (患者走廊)	240mm 砖+60mm 硫酸钡涂层	6.9	0.0044	0.003
		925	北防护门外 S4 (患者走廊)	6mmPb	3.7	1.0×10 ⁻⁶	<0.001
		925	北墙外 S5 (PET/CT 给药后候诊室)	240mm 砖+60mm 硫酸钡涂层	3.2	0.0044	0.012
		925	顶棚上 (核医学预留房间)	120mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层	3.7	0.0497	0.102
		925	地板下 (地下一层车库)	250mm 混凝土	4.7	0.0053	0.007

表 11-10 衰变间周边场所剂量率计算合计表

场所	关注点	¹⁸ F 核素所致剂量率(μSv/h)	^{99m} Tc 核素所致剂量率(μSv/h)	剂量率合计(μSv/h)	标准要求(μSv/h)	评价
一层衰变间	东墙外 S1 (楼梯间)	0.009	<0.001	<0.01	≤2.5	符合
	南墙体外 S2 (室外通道)	0.369	0.022	0.391	≤2.5	符合
	西墙外 S3 (患者走廊)	0.045	0.003	0.048	≤10	符合
	北防护门外 S4 (患者走廊)	1.681	<0.001	<1.682	≤10	符合
	北墙外 S5 (PET/CT 给药后候诊室)	0.208	0.012	0.22	≤2.5	符合
	顶棚上 (核医学预留房间)	0.804	0.102	0.906	≤2.5	符合
	地板下 (地下一层车库)	0.091	0.007	0.098	≤2.5	符合

注：按照当日核素瞬时排入衰变池保守计算



图 11-4 衰变池周边剂量率预测示意图

根据以上计算结果可知，本项目地上式衰变池池壁外 30cm 位置以及衰变池周边工作场所环境辐射水平均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的限值要求。

二、本项目 CT 装置的 X 射线辐射环境影响分析

（一）机房的防护设计与标准要求的相符性分析评价

该项目拟配备的 MaxElite+型 PET/CT 最大电压为 140kV，最大管电流 600mA，拟配备的 NM/CT860 型 SPECT/CT 最大电压为 140kV，最大管电流 200mA。机房主要采用实心砖、硫酸钡涂层、硫酸钡板、混凝土、铅板、铅玻璃等屏蔽材料。保守按 140kV，采用《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 的方法对该项目 PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房的混凝土等效铅当量厚度进行换算。

按照 GBZ130-2020 中 C.1.2b)给出的计算公式进行计算。

$$X = \frac{1}{\alpha\gamma} \ln \left(\frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right) \quad \text{公式 11-5}$$

式中：X——不同屏蔽物质的铅当量厚度；

α ——不同屏蔽物质对不同管电压

X——射线辐射衰减的有关的拟合参数；

γ ——不同屏蔽物质对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

B ——给定铅厚度的屏蔽透射因子；

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{公式 11-6}$$

式中： B ——给定铅厚度的屏蔽透射因子；

β ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

α ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

γ ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

X ——铅厚度。

表 11-11 机房屏蔽材料铅、混凝土对 140kV 管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	屏蔽材料	α	β	γ
140kV (CT)	铅	2.009	3.99	0.342
	混凝土	0.0336	0.0122	0.519

经计算，120mm 混凝土等效铅当量厚度 1.2mmPb，250mm 混凝土等效铅当量厚度 3.0mmPb。

机房采用实心砖、硫酸钡材料等效铅当量厚度进行换算，参考《放射物理与防护》（张光贵 王晓艳主编）中“几种常用材料在不同工作电压下的铅当量厚度”（表 11-3 和表 11-4），表中 240mm 粘土砖（密度 1.65g/cm³）150kV 管电压时为 2mmPb，本项目 150kV 管电压时 240mm 粘土砖（密度 1.65g/cm³）保守铅当量 2mmPb；表中 10mm 硫酸钡（密度 3.2g/cm³）等效为 0.9mmPb（150kV），本项目 15mm 硫酸钡保守等效铅当量 1.3mmPb，25mm 硫酸钡（密度 3.2g/cm³）等效为 2.2mmPb（150kV，内插），45mm 硫酸钡（密度 3.2g/cm³）等效为 3.7mmPb（150kV，内插），60mm 硫酸钡（密度 3.2g/cm³）等效为 4.9mmPb（150kV，内插）。并与标准要求对照情况见表 11-12。

11-12 两间机房屏蔽设计与《放射诊断放射防护要求》对照情况

设备	屏蔽体	屏蔽设计参数	等效铅当量	标准要求（铅当量）	评价
一层 PET/CT 机房	防护门	8mm 铅板	8.0mm	2.5mm	符合
	四周防护墙	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂层	6.9mm	2.5mm	符合
	顶棚	120mm 混凝土+25mm 硫酸钡涂层	3.4mm	2.5mm	符合
	地板	250mm 混凝土+15mm 硫酸钡涂层	4.3mm	2.5mm	符合

	观察窗	8mm 铅当量铅玻璃	8.0mm	2.5mm	符合
	CT 机房内最小有效使用面积 50.26m ² ，单边长度 5.78m		CT 机（不含头颅移动 CT）机房内最小有效使 用面积不小于 30m ² ，单 边长度不小于 4.5m。		符合
二层 SPECT/CT 机房	防护门	4mm 铅板	4.0mm	2.5mm	符合
	防护墙	钢龙骨+45mm 硫酸钡板	3.7mm	2.5mm	符合
	顶棚	120mm 混凝土+2.5mm 铅 板	3.7mm	2.5mm	符合
	地板	120mm 混凝土+25mm 硫 酸钡涂层	3.4mm	2.5mm	符合
	观察窗	4mm 铅当量铅玻璃	4.0mm	2.5mm	符合
	CT 机房内最小有效使用面积 47.51m ² ，单边长度不小于 5.8m		CT 机（不含头颅移动 CT）机房内最小有效使 用面积不小于 30m ² ，单 边长度不小于 4.5m。		符合

（二）机房 CT 运行产生 X 射线所致辐射剂量率

1、预测参数选取及关注点位

为了进一步评价机房屏蔽对 X 射线的辐射防护效果，采用理论预测的方法进行
影响分析。本项目 SPECT/CT 机房、PET/CT 机房辐射屏蔽主要考虑散射辐射与泄漏
辐射的影响。本项目 SPECT/CT、PET/CT 设备以 CT 模式运行时，保守按照其常用
最大管电压 140kV、常用管电流 PET/CT 为 200mA、SPECT/CT 为 100mA 工况下，
对机房外各关注点处的辐射剂量率进行计算。估算点位同机房进行使用核素 γ 辐射影
响选取点位，示意图见图 11-5、图 11-6。

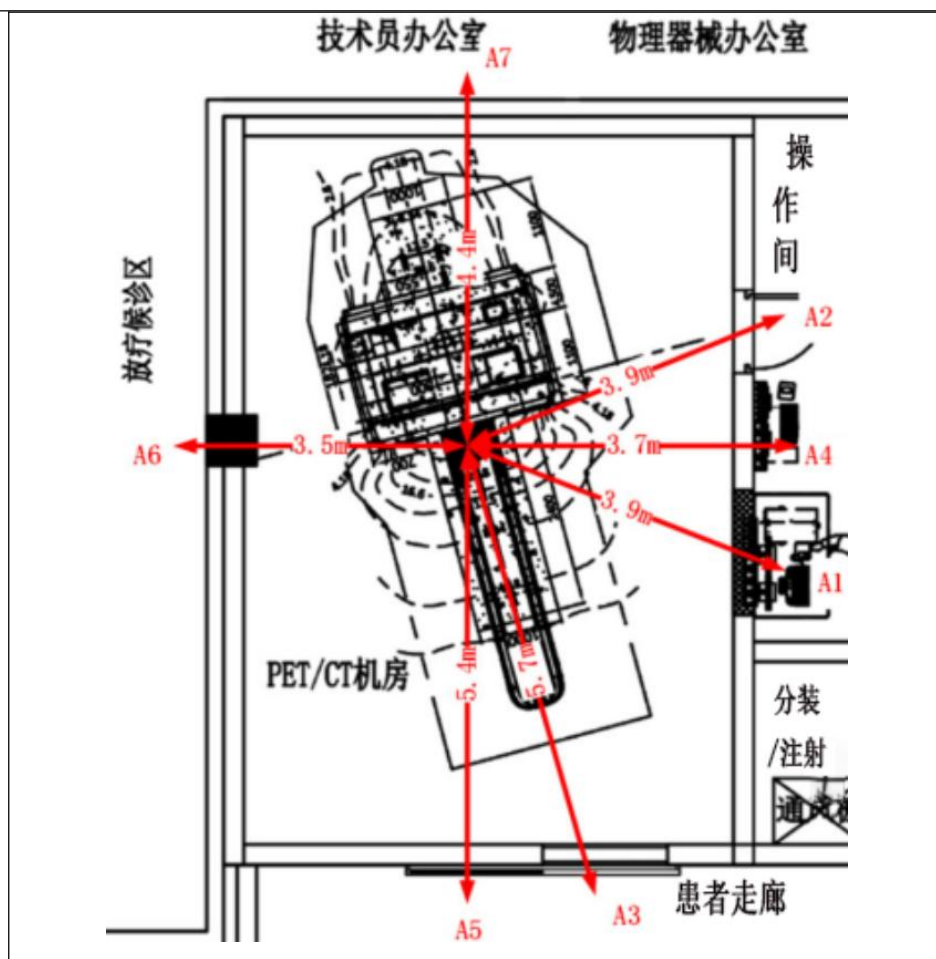


图 11-5 一层 PET/CT 机房 CT 产生 X 射线周围预测点位示意图

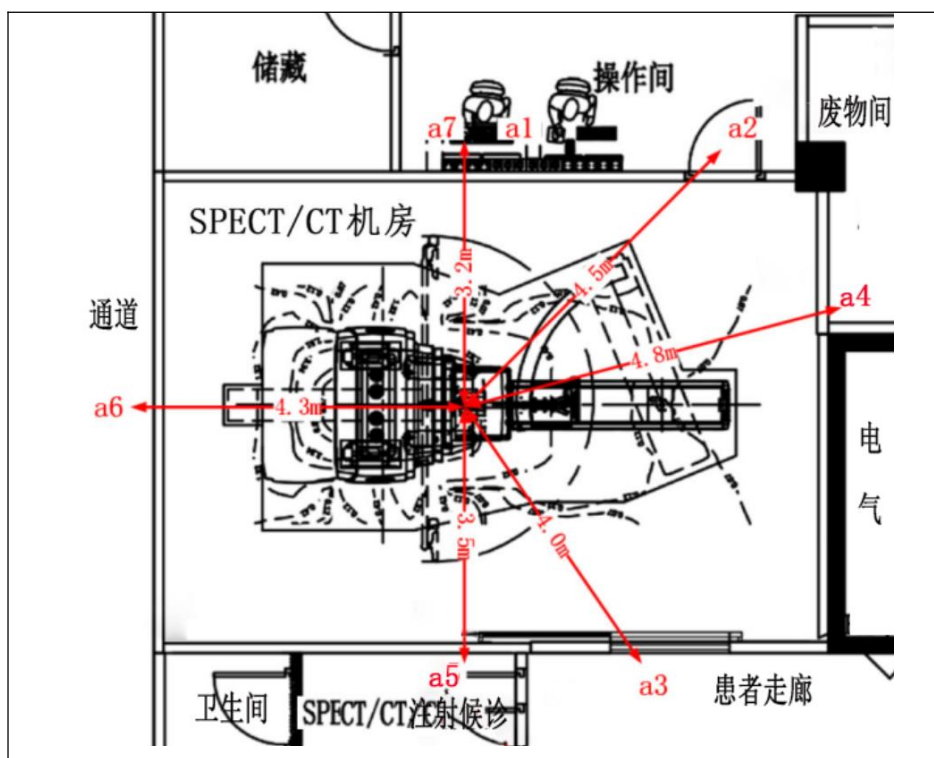


图 11-6 二层 SPECT/CT 机房 CT 产生 X 射线周围预测点位示意图

2、关注点处散射辐射剂量率计算

由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平，潘自强著）给出的X射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.10）进行推导，得到散射线在关注点处的比释动能率 H_s 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取 1）：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s \cdot K}{d_0^2 \cdot d_s^2} \quad \text{公式 11-7}$$

式中：

H_0 —X射线机发射率常数。根据《辐射防护手册（第一分册）》P232 可知，对于医用 X 射线机来说，为了减少低能光子对皮肤的照射，机头窗口处安装有符合要求的永久性过滤片，其中 100kV 以上用 2.5mm 铝，本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 设备机头过滤板保守取 2.5mmAl，取最大管电压为 140kV，查《辐射防护导论》附图 3，本项目X射线机发射率常数取 $10.4\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，即 $624000\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ；

I —管电流，mA；本项目正常使用的最大管电流 PET/CT 取 200mA、SPECT/CT 取 100mA；

a —人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，查《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1，对于本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 正常工作最大使用电压为 140kV， a 值保守取 0.0016；

表 10.1 散射与入射 X、γ 射线照射量之比值 $a^{(2)}$

源		散射角（按中心射线计算）					
		30°	45°	60°	90°	120°	135°
X 射 线	50kV	0.0050	0.0002	0.00025	0.00035	0.0008	0.0010
	70kV	0.00065	0.00035	0.00035	0.005	0.0010	0.0013
	100kV	0.0015	0.0012	0.0012	0.0013	0.0026	0.0022
	125kV	0.0018	0.0015	0.0015	0.0015	0.0023	0.0025
	150kV	0.0020	0.0016	0.0016	0.0016	0.0024	0.0025
	200kV	0.0024	0.0020	0.0019	0.0019	0.0027	0.0028
	250kV	0.0025	0.0021	0.0019	0.0019	0.0027	0.0028
	300kV	0.0026	0.0022	0.0020	0.0019	0.0026	0.0028

B_s ——屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式为：

$$B_s = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{公式 11-8}$$

式中:

X —铅厚度, 保守取 140kV 下各屏蔽材料的等效铅当量;

α 、 β 、 γ —铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数, 本项目 PET/CT 常用最大管电压约为 140kV, 根据《辐射防护手册(第一分册)》的能量散射公式:

$$E = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0(1 - \cos \theta)}{0.511}} \quad \text{公式 11-9}$$

140kV 射线经过一次散射后的能量值约为 109.9kV, 保守按从《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 表 C.2 中 125kV 管电压(散射)取铅的 X 射线辐射衰减有关的拟合参数 α 、 β 、 γ 值, 见表 11-13。

表 11-13 铅对 125kV 管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	α	β	γ
125kV (CT)	2.233	7.888	0.7295

将本项目一层 PET/CT 机房和二层 SPECT/CT 屏蔽体的铅厚度 X (表 11-12)、有关的拟合参数 α 、 β 、 γ 值代入公式 11-8, 计算相应的散射辐射屏蔽透射因子。

S —主束在受照人体上的散射面积, 本项目取 100cm^2 ;

d_0 —源至受照点的距离, 根据设备参数确定, 本项目 d_0 取最小值 0.45m;

d_s —受照体至关注点的距离, m;

K —有效剂量与空气比释动能转换系数, Sv/Gy, 从《用于光子外照射防护的剂量转换系数》(GBZ/T 144-2002) 附录表 B2 查取, 对于管电压 120kV, 保守取 1.71 (110kV 时的值)。将前述有关参数代入公式 11-7 各机房屏蔽体外散射线所致辐射剂量率, 计算结果见下表。

表 11-14 各机房屏蔽体外散射线所致辐射剂量率计算结果

设备	关注点	屏蔽体 X (mm)	ds (m)	Bs	Hs ($\mu\text{Sv/h}$)
一层 PET/CT 机房	观察窗外 A1 (操作间)	8	3.9	2.20E-09	<0.001
	操作间防护门外 A2 (操作间)	8	3.9	2.20E-09	<0.001
	机房大门外 A3 (患者走廊)	8	5.7	2.20E-09	<0.001
	东墙外 A4 (操作间)	6.9	3.7	2.56E-08	0.001
	南墙外 A5 (患者走廊)	6.9	5.4	2.56E-08	<0.001
	西墙外 A6 (放疗候诊)	6.9	3.5	2.56E-08	0.001

二层 SPECT/CT 机房	北墙外 A7（技术员办公室）	6.9	4.4	2.56E-08	0.001
	顶棚上（二层分装/注射室内、储源室、废物间）	3.4	3.7	6.38E-05	1.965
	地板下（地下一层车库）	4.3	4.7	8.52E-06	0.163
	观察窗外 a1（操作间）	4	3.2	1.67E-05	0.344
	操作间防护门外 a2（操作间）	4	4.5	1.67E-05	0.174
	机房大门外 a3（患者走廊）	4	4.0	1.67E-05	0.220
	东墙外 a4（废物间）	3.7	4.8	3.26E-05	0.298
	南墙外 a5（SPECT/CT 注射候诊室）	3.7	3.5	3.26E-05	0.561
	西墙外 a6（通道）	3.7	4.3	3.26E-05	0.372
	北墙外 a7（操作位）	3.7	3.2	3.26E-05	0.671
	顶棚上（楼顶平台）	3.7	3.7	3.26E-05	0.502
	地板下（一层放疗候诊）	3.4	3.5	6.38E-05	1.098

3、关注点处泄漏辐射剂量率计算

PET/CT 和 SPECT/CT 漏射线辐射剂量率 H_L 采用下式计算：

$$H_L = \frac{H_i \cdot B \cdot K}{r^2} \quad \text{公式 11-10}$$

式中：

H_L —关注点处泄漏辐射有效剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_i —距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率， mGy/h ；本项目 1m 处泄漏射线的空气比释动能率取 1.0mGy/h （ $1000\mu\text{Gy/h}$ ）。

K —有效剂量与空气比释动能转换系数， Sv/Gy ，从《用于光子外照射防护的剂量转换系数》（GBZ/T144-2002）附录表 B2 查取，对于本项目运行时最大常用管电压 140kV， K 值保守取 1.71（110kV 时的值）。

r —受照体至关注点的距离，m

B —本项目一层 PET/CT 机房和二层 SPECT/CT 机房各屏蔽体的泄漏射线屏蔽透射因子，无量纲，计算公式为：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{公式 11-11}$$

式中：

X —铅厚度，保守取 140kV 下各屏蔽材料的等效铅当量；

α 、 β 、 γ —铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 常用最大管电压为 140kV，根据 GBZ130-2020 表 C.2 查取。

表 11-15 铅对 140kV 管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	α	β	γ
140kV (CT)	2.099	3.99	0.342

将本项目一层 PET/CT 机房和二层 SPECT/CT 屏蔽体的铅厚度 X（表 11-12）、有关的拟合参数 α 、 β 、 γ 值代入公式 11-11，计算相应的散射辐射屏蔽透射因子。

将前述有关参数代入公式 11-11 计算本项目两个机房屏蔽体外漏射线辐射剂量率，计算结果为：

表 11-16 本项目两个机房 CT 设备出束状态下机房外参考点处 X 射线泄漏剂量率

设备	关注点	屏蔽体 X (mm)	ds (m)	Bs	H _L (μSv/h)
一层 PET/CT 机房	观察窗外 A1 (操作间)	8	3.9	4.31×10 ⁻⁹	<0.001
	操作间防护门外 A2 (操作间)	8	3.9	4.31×10 ⁻⁹	<0.001
	机房大门外 A3 (患者走廊)	8	5.7	4.31×10 ⁻⁹	<0.001
	东墙外 A4 (操作间)	6.9	3.7	3.96×10 ⁻⁸	<0.001
	南墙外 A5 (患者走廊)	6.9	5.4	3.96×10 ⁻⁸	<0.001
	西墙外 A6 (放疗候诊)	6.9	3.5	3.96×10 ⁻⁸	<0.001
	北墙外 A7 (技术员办公室)	6.9	4.4	3.96×10 ⁻⁸	<0.001
	顶棚上 (二层分装/注射室内、储源室、废物间)	3.4	3.7	5.35×10 ⁻⁵	0.007
	地板下 (地下一层车库)	4.3	4.7	8.01×10 ⁻⁶	0.001
二层 SPECT/CT 机房	观察窗外 a1 (操作间)	4	3.2	1.50×10 ⁻⁵	0.003
	操作间防护门外 a2 (操作间)	4	4.5	1.50×10 ⁻⁵	0.001
	机房大门外 a3 (患者走廊)	4	4.0	1.50×10 ⁻⁵	0.002
	东墙外 a4 (废物间)	3.7	4.8	2.82×10 ⁻⁵	0.002
	南墙外 a5 (SPECT/CT 注射候诊室)	3.7	3.5	2.82×10 ⁻⁵	0.004
	西墙外 a6 (通道)	3.7	4.3	2.82×10 ⁻⁵	0.003
	北墙外 a7 (操作位)	3.7	3.2	2.82×10 ⁻⁵	0.005
	顶棚上 (楼顶平台)	3.7	3.7	2.82×10 ⁻⁵	0.004
	地板下 (一层放疗候诊)	3.4	3.5	5.35×10 ⁻⁵	0.007

4、核医学科各机房 γ 射线和 X 射线叠加影响分析

结合前文表 11-5、表 11-6 及表 11-14 和表 11-16，本项目一层 PET/CT 机房和二

层 SPECT/CT 机房屏蔽体外包含使用的核素 γ 剂量率 and 对应机房 CT 出束状态下 X 射线所致剂量率叠加情况见下表。

表 11-17 一层 PET/CT 机房屏蔽体外辐射剂量率计算结果

机房	关注点位置	受本层核素所致辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	CT 所致辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		叠加后辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
			Hs	HL	
一层 PET/CT 机房 (使用核素 ^{18}F)	观察窗外 A1 (操作间)	1.147	<0.001	<0.001	<1.149
	操作间防护门外 A2 (操作间)	1.147	<0.001	<0.001	<1.149
	机房大门外 A3 (患者走廊)	0.537	<0.001	<0.001	<0.539
	东墙外 A4 (操作间)	0.155	0.001	<0.001	<0.157
	南墙外 A5 (患者走廊)	0.073	<0.001	<0.001	<0.075
	西墙外 A6 (放疗候诊)	0.174	0.001	<0.001	<0.176
	北墙外 A7 (技术员办公室)	0.11	0.001	<0.001	<0.112
	顶棚上 (二层分装/注射室内、储源室、废物间)	0.506	1.965	0.007	2.478
	地板下 (地下一层车库)	0.069	0.163	0.001	0.233
二层 SPECT/CT 机房 (使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$)	观察窗外 a1 (操作间)	<0.001	0.344	0.003	<0.348
	操作间防护门外 a2 (操作间)	<0.001	0.174	0.001	<0.176
	机房大门外 a3 (患者走廊)	<0.001	0.220	0.002	<0.223
	东墙外 a4 (废物间)	0.279	0.298	0.002	0.579
	南墙外 a5 (SPECT/CT 注射候诊室)	0.525	0.561	0.004	1.09
	西墙外 a6 (通道)	0.348	0.372	0.003	0.723
	北墙外 a7 (操作位)	0.629	0.671	0.005	1.305
	顶棚上 (楼顶平台)	<0.001	0.502	0.004	<0.507
	地板下 (一层放疗候诊)	0.06	1.098	0.007	1.165
说明: 以上位置指对应屏蔽体外表面 30cm 处					

由表 11-17 计算结果可知, 本项目一层 PET/CT 以 CT 模式运行时, 叠加 ^{18}F 放射

性药物的辐射影响，PET/CT 机房四周墙体、地面、观察窗和防护门外的辐射剂量率为（0.075~2.478） $\mu\text{Sv/h}$ ，其中机房屋顶上方为二层分装注射室，根据前文表 11-6，二层分装注射室分装工位剂量率不超过 0.001 $\mu\text{Sv/h}$ ，叠加 1 层 PET/CT 机房顶棚上方注射位剂量率后不超过 2.479 $\mu\text{Sv/h}$ ；本项目二层 SPECT/CT 以 CT 模式运行时，叠加 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性药物的辐射影响，SPECT/CT 机房四周墙体、地面、观察窗和防护门外的辐射剂量率为（0.176~1.305） $\mu\text{Sv/h}$ 。因此，本项目两个机房在以 CT 模式运行时，叠加患者 γ 辐射剂量率后机房外辐射剂量率均满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)及《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)的标准要求。

三、辐射工作人员及周围公众年有效剂量估算

（一）本项目涉源岗位和主要职责

根据医院提供的工作人员计划，拟建核医学科一层和二层涉源岗位主要为护师、操作间（控制室）技师和医生，按场所配置，每层（每场所）5 人共 10 人，长白班制，年工作 250 天，辐射工作人员只负责本场所内工作，不兼任其他场所辐射工作，其中护师主要职责为本场所药物接收、分装（不含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素）、活度测量、给药，并于每日对本场所产生的放射性固体废物收集、打包；各场所技师对本场所内患者摆位和扫描以及设备质控，其中摆位由两位技师轮流进行，医生除接诊、阅片等非涉源工作外，同时进行扫描工作。

（二）辐射工作人员和公众年有效剂量估算

关注点处辐射工作人员年有效剂量计算采用联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）2000 年报告附录 A 中的计算公式进行估算：

$$H_{Er}=H_r\times T\times t \text{ 公式11-12}$$

式中：

H_r —关注点处辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

T —居留因子；

t —年照射时间，h；

一层PET/CT、二层SPECT/CT核素显像和使用 ^{131}I 诊疗区诊断过程中，工作人员主要受照环节为放射性核素分装、注射（或给药）及患者扫描诊断、患者候诊和留观等过程。根据医院提供的规划工作情况，具体涉源流程和照射时间如下。

①近距离操作核素环节：一层PET/CT场所分装核素¹⁸F以及活度测量、二层¹³¹I药品分装及活度测量计，按照每人每次用药分装（含活度测量）2min，每名甲状腺吸碘率测定按照每人每次用药分装（含活度测量）1min，二层SPECT/CT场所进行^{99m}Tc活度测量，每名患者约1min。

②一层核素¹⁸F、二层核素^{99m}Tc药品送至注射窗口并完成注射，按照每人每次用药操作约1min；二层甲亢患者¹³¹I给药每患者人次约1min，运动负荷后注射含^{99m}Tc药品按照最多30%扫描患者计算，每位患者动负荷室内注射时间合计2min（含药物运输时间）；

③¹⁸F、^{99m}Tc药品给药后患者候诊约40min；

④指导注射¹⁸F、^{99m}Tc患者摆位/复位约2min；

⑤机房（扫描）显像过程约20min；

⑥每位患者扫描后留观约20min，每位甲亢患者短暂留观按单人次10min，甲亢服药后直接离开。

⑦本项目SPECT/CT、PET/CT以CT模式运行时间较短，单人次CT出束时间平均约20s，其贡献的年照射剂量值可以忽略不计，因此，本项目周围人员年有效剂量估算按使用放射性药物情况下的辐射剂量率进行估算。

1、本项目一层PET/CT工作场所

根据公式11-12及相关参数，核算结果见表11-18、表11-19（一层衰变间周边关注点）。

表 11-18 本项目一层 PET/CT 工作场所关注点位处人员年有效剂量估算结果

场所	关注点	有效剂量 mSv/a)	人员类型	所在位置
PET/CT 机房内 摆位	摆位处	4.114	工作人员	摆位处
PET/CT 机房	观察窗外 A1	0.956	工作人员	操作间
	操作间防护门外 A2	0.239	工作人员	操作间
	东墙外 A4	0.032	工作人员	操作间
	西墙外 A6	0.029	公众	放疗候诊
	北墙外 A7	0.092	公众	技术员办公室
	顶棚上	0.422	二层工作人员 (计入二层护 师有效剂量)	二层分装/注射 室、储源室、废 物间

	地板下		公众	地下一层车库
分装工作位	W1		工作人员	分装/注射室手套箱旁
注射位	W2		工作人员	分装/注射室注射窗内
分装/注射室	东侧防护门外 B2		工作人员	卫生通过间
	东侧防护门外 B3		工作人员	血糖测定室
	东墙外 B4		工作人员	血糖测定室
	东墙外 B5		工作人员	卫生通过间
	西墙外 B7		工作人员	PET/CT 机房
	北墙外 B8		工作人员	操作间
	北墙外 B9		工作人员	库房
	顶棚上		二层工作人员 (计入二层护士有效剂量)	二层运动负荷室 (抢救室)
	地板下		公众	地下一层车库
PET/CT 注射候诊室	东墙外 C2		公众	楼梯间
	地板下		公众	地下一层车库
PET/CT 注射候诊室卫生间	东墙外 D2		公众	楼梯间
VIP 注射候诊/抢救室	西墙外 E4		公众	电梯厅
	北墙外 E5		公众	放疗候诊区
	地板下		公众	地下一层车库
VIP 注射候诊/抢救室卫生间	南墙外 F1		公众	电梯厅
	西墙外 F2		公众	放疗候诊区
	北墙外 F3		公众	放疗候诊区
留观室	南墙外 G3		工作人员	污洗间
	西墙外 G4		公众	电梯厅
	地板下		公众	地下一层车库
留观室卫生间	南墙外 H2		工作人员	污洗间
	西墙外 H3		公众	电梯间
患者走廊	地板下		公众	地下一层车库

×250 天

表 11-19 本项目一层衰变间关注点位处人员年有效剂量估算结果

点位	关注点	关	人员类型	所在位置
衰变间	东墙 S1		公众	东侧楼梯间
	南墙 S2		公众	南侧室外通道
	衰变间正下方		公众	地下一层车库
说明*: 南侧传染门诊楼计算距离为 5m，居留因子取 1。 **控制室内取年有效剂量最大值。				

医院拟为本场所配备5名工作人员，分别为1名医生、2名护师和2名技师，护师轮流担任分装/注射工作，技师担任摆位（2名技师轮流摆位）、扫描工作，1名医生主要在操作间扫描和血糖测定等工作，根据表11-18结果可知，护师年有效剂量最大为0.345mSv（分装0.12+注射0.008+卫生通过0.029+卫生通过0.003+污洗间0.083+污洗间0.102），考虑到轮流分装/注射（给药）剂量分担，每名护师年有效剂量最大为0.281mSv（分装0.12/2+注射0.008/2+卫生通过0.029+卫生通过0.003+污洗间0.083+污洗间0.102）；技师年有效剂量最大为5.156mSv（摆位4.114+观察窗0.956+分装/注射室所致机房0.086），考虑到2名技师轮流摆位人剂量分担，每名技师年有效剂量最大为3.1mSv（摆位4.114/2+观察窗0.956+分装/注射室所致机房0.086）；医生年有效剂量最大为0.969mSv（观察窗0.956+血糖测定室0.013）。

经后文计算（表11-22、表11-21），考虑层间外照射影响，一层PET/CT机房工作人员（技师）受二层分装/注射室辐射年有效剂量0.004mSv（¹³¹I分装给药和^{99m}Tc活度测量和注射各贡献0.002），叠加二层辐射影响后一层工作场所每名技师年有效剂量为3.104mSv（3.1+0.004）；一层分装/注射室内工作人员（护师）受二层运动负荷场所致年有效剂量0.012mSv，考虑层间照射影响一层护师年有效剂量为0.293mSv（0.281+0.012）。

综上，核医学一层场所医生年有效剂量最大为0.969mSv，每名技师年有效剂量最大为3.104mSv，每名护师年有效剂量0.293mSv。

根据表11-18、表11-19估算结果，本项目运行过程中，本层周围公众（控制区外）年有效剂量最大为0.092mSv（北墙外A7，PET/CT机房北墙外技术员办公室），能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对公众受照剂量限值的要求以及本项目的目标管理值要求：公众年有效剂量不超过0.1mSv。

放射性药品接受和登记时，由于药品均存放于铅罐中，且由运送人员放入储源

室内暂存，放射性药品接受和登记人员在有良好防护的手套箱内对药品活度进行核对检测，同时操作时间较短（约 20 秒），由前文表 11-5 可知，分装工作岗位辐射水平为 $1.44\mu\text{Sv/h}$ ，在放射性药品接收和登记中年有效剂量小于 0.004mSv ($1.44\mu\text{Sv/h} \times 2 \text{ 次/天} \times 250 \text{ 天/年} \times 20\text{s}/3600 \text{ (h)} / 1000$)，累加本层放射性药品接收和登记后每名技师年有效剂量最大 3.106mSv ($3.104 + 0.004 \div 2$)，能够满足工作人员年有效剂量不超过 5mSv 的限值要求。

2、本项目二层SPECT/CT工作场所使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像

核算结果见表11-20、表11-21。

表 11-20 本项目二层 SPECT/CT 工作场所关注点位处人员年有效剂量估算结果

表 11-20 本项目三层 SPECT/CT 工作场所关注点及其工作人员有效剂量估算结果									
场所	关注点	关注剂 剂（					剂量 /a)	人员类型	所在位置
摆位	摆位处						9	工作人员	摆位处
SPECT/CT 机房	观察窗外 a1						1	工作人员	操作位
	操作间防护门外 a2（操作间）						01	工作人员	操作间
	东墙外 a4						8	工作人员	废物间
	西墙外 a6						8	公众	通道
	北墙外 a7						4	工作人员	操作位
	顶棚上						01	公众	楼顶平台
	地板下						5	公众	一层放疗候诊
活度测量工作位	w1						01	工作人员	分装/注射室内手套箱旁
注射位	w2						1	工作人员	分装/注射室内注射窗内
分装/注射室	东侧防护门外 b2						1	工作人员	卫生通过间
	东墙外 b3						2	工作人员	办公室
	东墙外 b4						1	工作人员	运动负荷室（抢救室）
	西墙外 b6						6	工作人员	SPECT/CT 机房
	北墙外 b7						2	工作人员	医生走廊
	顶棚上						1	公众	楼顶平台
	地板下	0.119			1/2	0.002	一层工作人员（计入一层技师有效剂量）	一层 PET/CT 机房	

SPECT/CT 注射候诊室	西墙外 d4		公众	通道
	北墙外 d5		工作人员	SPECT/CT 机房
	顶棚上		公众	楼顶平台
SPECT/CT 注射候诊室卫生间	南墙外 f1		公众	污梯厅
	西墙外 f2		公众	通道
留观室	东墙外 g2		工作人员	污洗间
	南墙外 g4		公众	临空, 下方为室外通道
	西墙外 g5		公众	污梯间
	西墙外 g6		公众	污梯厅
	顶棚上		公众	楼顶平台
留观室卫生间	南墙外 h2		公众	临空, 下方为室外通道
	北墙外 h3		工作人员	污洗间
患者通道	顶棚上		公众	楼顶平台
运动负荷室(抢救室)	北侧防护门外 c2		工作人员	办公室
	东墙外 c3		工作人员	摄碘室
	西墙外 c5		工作人员	分装注射室
	北墙外 c6		工作人员	办公室
	顶棚上		公众	楼顶平台
	地板下		一层工作人员(计入一层护师有效剂量)	一层分装注射室

本项目二层工作场所使用核素¹³¹I用于治疗甲亢和甲状腺吸碘率测定, 涉及分装、给药过程和甲亢患者的短暂留观, 相关工作人员和公众年有效剂量计算见下表。

表 11-21 本项目二层¹³¹I诊疗工作场所关注点位处人员年有效剂量估算结果

场所	关注点	关注点处辐射剂量率 Hr (	年照射时间 (h)	居留因子 T	年有效剂量 (mSv/a)	人员类型	所在位置
分装位(分装/注射室内)	w1					工作人员	手套箱

给药位 (分装/注射室内)	w3		工作人员	给药窗
分装/注射室	东侧防护门外 b2		工作人员	卫生通过间
	东墙外 b3		工作人员	办公室
	东墙外 b4		工作人员	运动负荷室(抢救室)
	西墙外 b6		工作人员	SPECT/CT 机房
	北墙外 b7		工作人员	医生走廊
	顶棚上		公众	楼顶平台
	地板下		一层工作人员(计入一层技师有效剂量)	一层 PET/CT 机房
留观室	东墙外 g2		工作人员	污洗间
	南墙外 g4		公众	临空, 下方为室外通道
	西墙外 g5		公众	污梯间
	西墙外 g6		公众	污梯厅
	顶棚上		公众	楼顶平台

项目二层 ^{131}I 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素分装、留观场所不同时工况下, 周边关注点位人员年附加有效剂量叠加估算结果见下表。

表 11-22 本项目二层操作核素 ^{131}I 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注点位处人员年有效剂量叠加估算结果

场所	关注点	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 所致人员 年有效剂量 (mSv/a)	^{131}I 所致人员 年有效剂量 (mSv/a)	合计人员年 有效剂量 (mSv/a)	人员类型	所在位置
摆位	摆位处				工作人员	摆位处
SPECT /CT 机房	观察窗外 a1				工作人员	操作位
	操作间防护门外 a2 (操作间)				工作人员	操作间
	东墙外 a4				工作人员	废物间
	西墙外 a6				公众	通道
	北墙外 a7				工作人员	操作位
	顶棚上				公众	楼顶平台
	地板下				公众	一层放疗候诊
分装工作位	w1				工作人员	分装/注射室内 手套箱旁
注射位	w2				工作人员	分装/注射室内 注射窗内

I-131 给药	w3		作人员	分装/注射室内 给药窗内
分装/ 注射室	东侧防护门外 b2		作人员	卫生通过间
	东墙外 b3		作人员	办公室
	东墙外 b4		作人员	运动负荷室 (抢救室)
	西墙外 b6		作人员	SPECT/CT 机 房
	北墙外 b7		作人员	医生走廊
	顶棚上		公众	楼顶平台
	地板下		作人员	一层 PET/CT 机房
SPECT /CT 注 射候诊 室	西墙外 d4		公众	通道
	北墙外 d5		作人员	SPECT/CT 机 房
	顶棚上		公众	楼顶平台
SPECT /CT 注 射候诊 室卫生 间	南墙外 f1		公众	污梯厅
	西墙外 f2		公众	通道
留观室	东墙外 g2		作人员	污洗间
	南墙外 g4		公众	临空, 下方为 室外通道
	西墙外 g5		公众	污梯间
	西墙外 g6		公众	污梯厅
	顶棚上		公众	楼顶平台
留观室 卫生间	南墙外 h2		公众	临空, 下方为 室外通道
	北墙外 h3		作人员	污洗间
患者通 道	顶棚上		公众	楼顶平台
运动负 荷室 (抢救 室)	北侧防护门外 c2		作人员	办公室
	东墙外 c3		作人员	摄碘室
	西墙外 c5		作人员	分装注射室
	北墙外 c6		作人员	办公室
	顶棚上		公众	楼顶平台
	地板下		作人员	一层分装注射 室

医院拟为本层配备 5 名工作人员, 分别为 1 名医生、2 名护师和 2 名技师, 其中 2 名护师轮流承担分装/注射、给药工作, 技师承担扫描摆位 (2 名技师轮流摆位) 和定期对设备进行质控工作, 1 名医生主要在操作间扫描等工作。根据表 11-22 结果可知, 二层分装/注射人员年有效剂量最大为 0.201mSv (分装加活度测量 0.026+注射 0.001+给药 0.004+卫生通过 0.007+污洗 0.164), 考虑轮流分装/注射 (给药) 则每名

护师年有效剂量最大为 0.191mSv（分装加活度测量 0.026/2+注射 0.001/2+给药 0.004/2+卫生通过 0.007+污洗 0.164）；二层技师年有效剂量最大为 1.645mSv（扫描 0.524+摆位 0.739+分装/注射室机房致机房 0.008+医生走廊 0.003+SPECT/CT 注射候诊致机房 0.371），考虑两位技师轮流摆位，则每位技师年有效剂量 1.275mSv（扫描 0.524+摆位 0.739/2+分装/注射室机房致机房 0.008+医生走廊 0.003+SPECT/CT 注射候诊致机房 0.371）；二层医生年有效剂量最大为 0.705mSv（扫描 0.524+运动负荷至办公室 0.129+分装/注射致办公室 0.016+医生走廊 0.003+运动负荷致摄碘室 0.033）。

叠加层间外照射影响分析：根据前文表 11-18 结果，二层分装/注射室下方为一层 PET/CT 机房，二层运动负荷室（抢救室）下方为一层分装/注射室，运营期一层 PET/CT 机房、一层分装/注射室分别对二层分装注射室和运动负荷室（抢救室）内护师造成叠加辐射影响。叠加后二层护师年有效剂量 0.636mSv（本层场所 0.201+一层分装/注射室对二层运动负荷室（抢救室）0.013（计入护师）+一层 PET/CT 机房对二层分装/注射室 0.422（计入护师））。

根据以上分析：本项目二层职业人员中医生年有效剂量最大为 0.705mSv、每名护师年有效剂量最大为 0.636mSv、每名技师年有效剂量最大为 1.275mSv，因此二层 SPECT/CT 诊断和 ^{131}I 诊疗场所工作人员均能够满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的限值要求。

本层放射性药品接受和登记时，由于药品均存放于铅罐中，且由运送人员放入分装室的手套箱内，放射性药品接受和登记人员在有良好防护的手套箱内对药品活度进行核对检测，同时操作时间较短（约 20 秒），由前文表 11-21 可知，分装工作位辐射水平为 $2.127\mu\text{Sv/h}$ （取 ^{131}I 分装位），在放射性药品接受和登记中年有效剂量约 0.004mSv（ $1.44\mu\text{Sv/h} \times (2 \text{ 次/天} \times 250 \text{ 天/年} + 20 \text{ 次}) \times 20\text{s} / 3600 \text{ (h)} / 1000$ ），二层分装护师叠加药品接受和登记后年有效剂量不超过 0.638mSv（ $0.636 + 0.004/2$ ）。

另外，本项目二层 SPECT/CT 需要使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素进行质控，每周一次，SPECT/CT 工作场所技师使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素对 SPECT/CT 进行质控，质控一般每周一次，技师在对设备进行质控前，穿戴 0.5mmPb 的铅衣和铅眼镜，从分装室中将装有 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素（每次不超过 2mCi）通过转运防护盒（5mm 铅当量）检查床旁，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，穿戴 0.5mmPb 的铅衣和铅眼

镜进入机房，将核素放回防护盒，按规定路线送回分装/注射室统一存放处置，做好使用记录与表面污染监测。质控单次使用核素的活度不超过2mCi（ $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$ ），过程使用5mm铅当量转运防护盒，单次近源接触时间不超过20min，参照表11-6注射剂量率 $0.035 \mu\text{Sv/h}$ ，技师全年质控受照剂量不超过 0.001mSv （ $0.035 \mu\text{Sv/h} \times 50 \text{次/年} \times 20 \text{min}/60/1000$ ），叠加后二层技师年有效剂量不超过 1.276mSv （ $1.275+0.001$ ），满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的限值要求，综上所述，本层工作人员年有效剂量不超过 5mSv 的限值要求。

根据表 11-20 和表 11-22 预测结果可知，本项目运行过程中，周围公众（控制区外）年有效剂量最大为 0.087mSv/a （留观室西墙外 g5 污梯间），能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对公众受照剂量限值的要求以及本项目的目标管理值要求：公众年有效剂量不超过 0.1mSv 。

3、保护目标年有效剂量估算

拟建核技术利用项目核医学场所边界 50m 范围内环境保护目标除本项目辐射工作人员外，还包括放射治疗楼内（本项目控制区外）、南侧传染门诊楼、北侧营养餐厅楼、东南侧门诊楼内医护、患者等其他公众。考虑距离对射线的衰减作用，本项目周围 50m 评价范围内院外保护目标处辐射剂量率及公众年受照剂量见表 11-23

表 11-23 本项目周围 50m 评价范围内保护目标处辐射剂量率及公众年有效剂

保护目标	与本项目位置关系	与本项目最近距离 (m)	剂量率选取点位	参 射 (μ	效剂量 Sv/a)	
放射治疗中心楼一层控制区外	西、西北	相邻	PET/CT 机房北墙外 A7（技术员办公室）		92mSv	
放射治疗中心楼二层控制区外	北	2	留观室西墙外 g5（污梯间）		0.087	
传染门诊楼	南侧	7	衰变间南 S2	0.	4	0.019
			同 SPECT/CT 诊断项目点位（留观室南墙外 g4）	1.	3	
			同甲亢治疗项目点位（留观室南墙外 g4）	1	1	

营养餐厅楼	北侧	25	同 PET/CT 诊断项目 点位 (VIP 注射候诊/ 抢救室卫生间北墙外 F3)	0.946	1	< 0.0 03
			同 SPECT/CT 诊断项 目点位 (操作间 a7)	0.629	1	
			同甲亢治疗项目点位 (分装/注射间北侧医 生走廊 b7)	0.531	1	
门诊楼	东南 侧	25	同 PET/CT 诊断项目 点位 (分装/注射室东 侧防护门外 B2 (卫生 通过间))	1.369	1	
			同 SPECT/CT 诊断项 目点位 (分装/注射室 东墙外 b3 (办公 室))	0.291	1	
			同甲亢治疗项目点位 (东侧防护门外 b2)	0.006	1	
医院广 场、道 路	东侧	10	同 PET/CT 诊断项目 点位 (分装/注射室东 侧防护门外 B2 (卫生 通过间))	1.369		
			同 SPECT/CT 诊断项 目点位 (分装/注射室 东墙外 b3 (办公 室))	0.291		
			同甲亢治疗项目点位 (东侧防护门外 b2)	0.006		
医院广 场、道 路	西侧	20	同 PET/CT 诊断项目 点位 (西墙外 F2 (放 疗候诊区))	1.02		< 0.0 03
			同 SPECT/CT 诊断项 目点位 (西墙外 d4 (通道))	0.77		
			同甲亢治疗项目点位 (西墙外 g5 (污梯 间))	2.168		

根据表 11-21 估算结果, 项目周围 5 m 射影
影响的距离平方反比衰减规律以及墙体、楼体结构的屏蔽作用, 其年有效剂量不超过
0.019mSv, 因此本项目周围各环保目标的年有效剂量能够满足 0.1mSv 的剂量限值要

求。

四、 ^{68}Ge 校准源环境影响分析

一层 PET/CT 工作场所技师使用校准源 ^{68}Ge 对 PET/CT 进行质控，质控一般每周一次，技师在对设备进行质控前，穿戴 0.5mmPb 的铅衣和铅眼镜，

本项目使用的 ^{68}Ge 校准源为 2 枚 V 类密封放射源，按照日常质控使用单枚最大活度为 55MBq 计算，根据厂家提供的资料，该枚源密封采用 2.54cm 铅屏蔽， ^{68}Ga （ ^{68}Ge 衰变子体）电子湮灭后产生 0.511MeV 的 γ 射线，周围剂量当量率常数 $0.134\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ 、铅的半值层为 1.66cm（数据来源 GBZ120-2020），根据公式 11-3 计算可得最大 1 枚校准源壳体外 0.5m 处剂量率 $H=0.134\times 55\times 10^{-(2.54/1.66)^2}/0.5^2=0.88\mu\text{Sv/h}$ ，按照单次质控近距离 0.5m 处接触放射源 2min 计算，质控人员在质控时全年有效剂量约为 $0.88\mu\text{Sv/h}\times 2\text{min}/60\text{min/h}\times 50\text{次/年}=1.47\mu\text{Sv}$ ，约等于 0.001mSv 每年，叠加质控工作后一层技师年有效剂量 3.105mSv（3.104+0.001），不超过 5mSv 的限值要求。

五、放射性“三废”的治理评价

（一）放射性废水

本项目放射性废水所含核素为 ^{18}F （半衰期为 109.8min）， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （半衰期 6.02h），放射性废水经放射性废水衰变池衰变不少于 30 天后排入医院污水处理系统。处理方式满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）“对于槽式衰变池贮存方式，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，排放浓度满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005），不会对周围水环境产生影响。

1、衰变池环境影响分析

本项目核医学科一层、二层核素显像患者候诊和留观期间产生废水排入拟建衰变池内，衰变池拟建在一层衰变间内，内部建设 3 座并联槽式衰变池，采用间歇式轮换运行。经前文核算衰变池容量、放射性废水暂存时间满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“对于槽式衰变池贮存方式，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，可直接排放。

根据前文表 11-10 核算结果，本项目衰变间外剂量率满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的限值要求。根据前文表 11-19 核算结果，衰变间周边公

公众年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对公众受照剂量限值的要求以及本项目的目标管理值要求：公众年有效剂量不超过0.1mSv。

2、放射性废水管道外环境影响分析

本项目放射性废液收集的管道均设计在控制区内（一层在结构面上地面下地沟敷设，二层管道设计在二层地面下一层上部），本项目产生的放射性废水由各层独立下水管道统一集中到地下一层衰变间槽式衰变池暂存衰变，一层放射性废水的排水管道为埋地设计，埋地深度不小于50cm，由暗管连至衰变池，并在管道走向上设有标记，便于检测和维修，其走向、阀门和管道的连接拟设计成尽可能少的死区，下水道尽量短，大流量管道拟设置标记，避免放射性废液集聚，便于检查和维修，二层排水管道位于一层屋顶下方且已经避让工作人员居留因子较大的房间。本项目衰变间门口处设置围堰，可有效防止放射性废水流出外环境，对周围公众的辐射影响较小。

（二）放射性废气

本项目工作场所使用核素包含核素 ^{131}I ，具有一定的挥发性，二层手套箱上方拟采用专用吸附箱体（碘吸附器/过滤箱）吸附放射性核素 ^{131}I ，另外核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 在使用操作过程中可能会产生微量放射性气溶胶，核素分装时在手套箱中进行。各层分装/注射室内手套箱设置有独立的排风管道经活性炭吸附过滤后接入手套箱专用管网经楼顶平台上活性炭过滤后排放，控制区废气经由单独排风系统经楼顶平台上活性炭过滤后排放，经过滤后的废气不会对周围环境造成影响。

（三）放射性固体废物

本项目一层设有1个放射性废物间（容积为 11.2m^3 ），从PET/CT工作场所各房间收集的放射性废物拟分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等）后集中到本层的放射性废物间中的铅桶中暂存，本项目二层设置1个放射性废物间（容积为 34.4m^3 ），从二层工作场所各房间收集的放射性废物拟分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等）后集中到本层的放射性废物间中的铅桶中暂存。

含 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素放射性物质自行衰变不少于30天，含 ^{131}I 的单独暂存衰变不少于180天，经检测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$

后，相关人员将衰变后的放射性废物连同用塑料袋包装（每袋重量不超过 20kg）按照医疗废物进行处理。

核医学工作场所通风管道内更换下来的废活性炭，按照所含核素种类依照前文规定收集暂存和处置。

^{68}Ge 密封源用于 PET/CT 设备质控，使用到一定年限后会产生退役、报废的放射源，医院承诺： ^{68}Ge 放射源在达到使用年限退役时，废源将由厂家回收收贮处置或交由具有相关资质的单位处置。

医院拟安排专人负责放射性固体废物的管理，建立放射性废物台账和登记制度，并严格执行。

综上所述，在采取以上措施后，本项目放射性固体废物的处理满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关放射性固体废物处理的要求。本项目放射性固体废物沾染的放射性核素活度浓度较低，产生的放射性固体废物较少，经铅废物桶屏蔽后，辐射剂量率能满足小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求，对周围环境辐射影响很小。

六、非放射性“三废”的治理评价

（一）废水

本项目工作人员和部分病人产生的生活污水，由院内污水处理系统统一处理，对周围环境影响较小。

（二）废气

本项目工作场所产生的少量臭氧和氮氧化物通过工作场所拟设置的排风系统排至室外，臭氧在空气中约 50min 可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

（三）固体废物

本项目工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周边环境影响较小。

事故影响分析

本次新建核医学科项目涉及的2个工作场所为1个乙级非密封放射性物质工作场所，1个丙级非密封放射性物质工作场所。医院在开展辐射工作过程中，如果安全管理或防护不当，可能对误入机房的受照人员产生较严重的放射损伤。因此本项目主要事故风险为：

（1）核医学诊断项目显像药物注射时，注射器排气有可能挤出放射性药物，注射器有损漏以及注射针头没有装牢固，造成放射性药物泼洒或者散逸挥发，产生 γ 辐射，操作台面或仪器设备受到放射性污染。

（2）注射药物的病人未按要求停留于控制区，导致公众遭受较大剂量照射。

（3）放射性废水专用管道长期使用老化破裂，或衰变池渗漏，造成核医学楼外地面受到放射性污染。

（4） ^{68}Ge 密封校准源从容器处脱落出来， ^{68}Ge 密封校准源丢失、被盗和失控，造成人员的误照事件。

（5）通风系统不畅或者吸附材料失效后放射性核素 ^{131}I 气溶胶释放到空气中造成放射性污染。

针对本项目可能发生的辐射事故，医院拟采取以下预防及处理措施：

（1）定期对工作场所辐射安全与防护设施进行检查，确保能正常工作，防止因防护门损坏造成射线泄漏及因工作状态指示灯故障导致人员受到误照射；

（2）加强对辐射工作人员辐射安全与防护的培训和教育；

（3）严格执行辐射安全规章制度，每次工作前均应检查相应辐射安全装置的有效性，定期对工作场所进行检测；

（4）药物注射前，告知病人注意事项，使之了解放射性药物对他人的危害，并加强对带药病人的监督管理；

（5）定期检查、更换通风系统风机、管道和阀门，定期更换放射性气溶胶吸附材料，防止因设备、管道老化及吸附材料失效造成高活度气溶胶泄漏至工作场所和环境造成放射性污染。

（6）当发生非密封放射性物质污染时，封闭工作场所，控制人员走动，以避免放射性污染扩散，并进行场所和人员的去污；

（7）对发生事故的射线装置，请有关供货单位或相关检测部门进行检测或维

修，分析事故发生的原因，并提出改进意见；做好放射源的登记和防盗等管理工作；

（8）对可能受到大剂量照射的人员及时送医院接受医学检查和救治；

（9）事故发生后，积极配合生态环境主管部门做好事故调查和善后处理工作；

医院拟根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，并在事故发生后 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，同时向卫生健康行政主管部门报告；并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康行政主管部门报告。

医院拟通过加强管理，严格执行射线装置的操作规程及工作场所分区管理要求，定期监测射线工作场所的辐射环境剂量率等，确保辐射工作场所安全。当发生或发现辐射事故后，当事人应立即向所在单位的辐射安全负责人报告，启动辐射事故应急预案。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置 本项目为 1 个乙级非密封放射性物质工作场所和 1 个丙级非密封放射性物质工作场所，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用乙级、丙级非密封放射性物质工作场所的单位，应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，应对直接从事使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核，考核不合格的，不得上岗。根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部第 57 号公告）的要求，从事辐射工作的人员及辐射防护负责人均应通过生态环境部组织开发的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并通过考核。 淮安市淮安医院已经成立了辐射安全领导小组，拟根据本项目特点制定相关文件，完善并明确与本项目相关的辐射安全与环境保护管理人员及其职责，将该项目辐射安全管理纳入医院的安全生产工作中。 医院拟为本项目配备 10 名辐射工作人员，辐射工作人员及辐射防护负责人均拟通过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知识及相关法律法规，考核专业为“核医学”，考核合格后方可上岗（1 名辐射工作人员已经取得“核医学”专业考核合格证书）；同时如有辐射培训证书到期人员拟及时通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行学习并通过考核。
辐射安全管理规章制度 根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关要求，使用放射源和非密封放射性物质的单位要“有健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施”。 医院已建立《辐射防护安全保卫制度》《辐射安全操作规程》《岗位职责》

《设备维护检修制度》《辐射工作人员培训制度》《个人剂量监测和健康管理制
度》《辐射环境监测方案》《使用登记、台帐管理制度》以及《辐射事故应急预
案》等规章制度，以上制度满足现有核技术利用项目运行的要求。医院拟根据拟建
项目的特点及以下内容完善和补充相关制度，并落实到实际工作中，严格执行，加
强辐射安全管理。

1) 操作规程：明确本项目辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具
体防护措施及步骤。特别是明确加强辐射工作人员操作技能的措施，如提高辐射工
作人员操作放射性药物的熟练程度、减少人员与放射性药物的接触时间、放射性“三
废”的合理处置、放射源的安全使用等。

2) 岗位职责：明确管理人员、射线装置操作人员、放射性药物操作人员、台帐
管理人员、设备维修人员以及辐射安全管理人员的岗位责任，使每一个相关的工作
人员明确自己所在岗位的职责。

3) 辐射防护和安全保卫制度：根据本项目的具体情况制定相应的辐射防护和安
全保卫制度。定期检查辐射安全装置及检测仪器，确保辐射安全联锁装置、个人剂
量报警仪、环境辐射剂量监测仪和表面污染监测仪器保持良好工作状态。

4) 设备维修制度：明确本项目辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使
用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保辐射检测装置、
报警装置及急停按钮、联动装置、电离辐射警告标志、工作状态指示灯等安全措施
保持良好工作状态。

5) 人员培训计划和健康管理制：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核
的办法等内容，辐射安全管理人员、辐射安全防护负责人及所有辐射工作人员均拟
通过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知识及相关法律
法规，辐射工作人员考核类别为“核医学”，辐射防护负责人考核类别为辐射安全管
理，考核合格后方可上岗，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。医院拟对辐
射工作人员开展职业健康监护，定期安排其在有相应资质单位进行职业健康体检，
并建立职业健康档案。

6) 放射性药物使用登记制度：建立放射性药物台账，由专人负责登记放射性药
物的使用、贮存情况等，并形成台账，每月核对，确保账物相符。

7) 监测方案：为了确保辐射安全，医院拟制定核医学工作场所的监测方案，内容包括：

①明确监测项目和频次；

②拟根据辐射工作人员个人剂量监测数据建立个人剂量档案，依据《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正），在日常检测中发现个人剂量异常的，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对发生辐射事故处理进行全程监测；

④定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的单位进行监测，发现异常情况的，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；

⑤委托有资质监测单位对本单位的放射源和射线装置的安全和防护状况进行年度检测，每年1月31日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

8) 放射性三废

①责任管理：明确辐射安全管理责任人，落实三废分类、收集、处置全流程岗位职责。

②放射性废气管理：密闭负压收集，配套过滤、吸附等净化设施、浸渍活性炭（吸附 ^{131}I ）性能指标要求；定期监测，达标有组织排放，做好设施运维记录。

③放射性废液管理：已设置并联式衰变池和废水收集管网，按核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 经管道集中收集到衰变间，经并联式衰变池衰变。

④放射性固体废物管理：一层产生的 ^{18}F 、二层产生的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 放射性固体废物分类收集、密封包装、专人管理；废物间指定位置暂存衰变。

⑤监测与台账：定期开展三废及污染监测和放射性固体废物解控前监测，完整记录三废产生、转运、处理、排放、处置全过程台账。

⑥人员与应急：作业人员经辐射安全培训上岗；制定废物泄漏、污染扩散应急处置措施，配备应急防护物资。

⑦设施管控：三废收集、暂存、处理设施定期维护检修，保障完好合规运行。

辐射监测

1、环境监测方案

医院拟根据本项目特点制定如下辐射监测方案：

1) 医院自行对本项目工作场所进行辐射水平和表面放射性污染监测，并保留记录，监测点位及频次如下：

表 12-1 本项目运营期辐射监测方案一览表

监测内容	监测点位	监测频次	结果评价
辐射水平	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	参考 HJ1188-2021 剂量率控制水平
表面放射性污染	放射性核素操作台面、设备表面、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及时进行监测）。	参考 GBZ120-2020 表面污染控制水平

2) 委托有资质的单位定期对项目所在场所周围环境 X- γ 辐射剂量率及表面污染水平进行监测，监测频次不少于 1 次/年；

3) 辐射工作人员开展个人剂量监测（1 次/季），监测数据异常时，及时进行调查，建立个人剂量档案；

4) 如出现外照射事故，将立即采取应急措施，并在 1 小时之内向当地生态环境局报告。

医院拟在工作中不断完善监测计划的频次及监测内容。同时，医院拟对核技术利用项目的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前将年度评估报告上传至国家核技术利用申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

2、监测仪器情况

医院拟为本项目计划配备 1 台辐射巡测仪、2 台表面污染仪、2 台活度计及 4 台个人剂量报警仪，用于日常辐射防护监测与报警预警；全体辐射工作人员按要求配备个人剂量计，工作期间全程佩戴，满足辐射防护监测与职业健康管理要求。

辐射事故应急

医院已制定《辐射事故应急预案》，医院拟针对本项目核医学可能的辐射事故发生情况完善现有的《辐射事故应急预案》，并明确人员职责和应急响应措施。按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令第 18 号）等相关规定，辐射事故应急预案拟明确以下几个方面：

①应急机构和职责分工；

②应急的具体人员和联系电话；

③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；

④辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；

⑤辐射事故调查、报告和处理程序。

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况的，医院拟根据《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》（原国家环保总局，环发〔2006〕145号）和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，并在事故发生后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，拟同时向卫生健康行政主管部门报告；并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康行政主管部门报告。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

淮安市淮安医院拟在新院区放射治疗中心楼一层、二层重新报批环评建设核医学科，拟在一层、二层分别使用核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行核素显像，并在二层使用 ^{131}I 进行核素诊疗。一层日等效最大操作量 $1.11 \times 10^7 \text{Bq}$ (^{18}F)，年最大用量为 $2.775 \times 10^{12} \text{Bq}$ ，为 1 个丙级非密封放射性物质工作场所；二层日等效最大操作量为 $1.952 \times 10^8 \text{Bq}$ （核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为 9.25×10^6 、核素 ^{131}I 约为 1.859×10^8 ），年最大用量核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为 2.3125×10^{12} 、核素 ^{131}I 为 3.719×10^{10} ，为 1 个乙级非密封放射性物质工作场所。

拟在一层场所内新增 1 台 PET/CT、二层场所内新增 1 台 SPECT/CT 射线装置，两台射线装置最大管电压均为 140kV，最大管电流分别为 600mA 和 200mA，并新增 2 枚 V 类 ^{68}Ge 密封放射源用于一层 PET/CT 质控。

二、实践正当性评价

本项目的运行具有良好的社会效益和经济效益，经辐射防护屏蔽和安全管理后，其获得的利益远大于对环境的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践正当性”原则。

三、项目选址及布局合理性评价

本项目工作场所拟建于放射治疗中心楼一层和二层南侧中部，该建筑共三层，地下一层为车库，该建筑二层屋顶上方为机房层（屋顶平台），一层 PET/CT 显像场所以及二层 SPECT/CT 显像（并使用核素 ^{131}I 诊疗）场所内拟分别设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。该工作场所未毗邻食堂及人员密集区，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离。项目的选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中的选址要求，选址合理可行。

本项目 50m 评价范围覆盖工作场所周边区域，包含本场所所在的该栋建筑放射治疗中心楼、东南侧门诊楼、南侧传染门诊楼以及北侧营养餐厅楼。除项目自身所在建筑外，评价范围内其余建筑均与项目建址通过室外道路等空间形式实现空间隔离。

本项目核医学工作场所划分了控制区及监督区，控制区和监督区内患者及医护人员均具有独立的出入口和流动路线，并规划了药物运送路线、放射性废物收集转运路线，相关配套布局能够保证工作程序沿着相关房间单向开展，能够有效防止交叉污

染，控制区内设置有注射后和留观期间患者（注射含核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的患者）专用卫生间，避免公众、工作人员受到不必要的照射，布局合理。

四、辐射环境现状评价

本项目拟建址及周围环境室内 γ 辐射空气吸收剂量率为（75.6~93.6）nGy/h（测量结果已扣除宇宙射线响应值），道路和屋顶平台环境 γ 辐射空气吸收剂量率为（99.0~100）nGy/h（测量结果已扣除宇宙响应值），本项目拟建址周围 γ 辐射空气吸收剂量率均位于江苏省室内、道路环境天然 γ 辐射水平参考范围内，属江苏省环境天然 γ 辐射正常水平。拟建址处 β 表面污染检测结果均低于仪器探测下限。

五、环境影响分析评价

根据预测结果，在落实本报告提出的各项辐射安全与防护措施的情况下，本项目投入运行后辐射工作人员和公众所受辐射剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员和公众年有效剂量限值要求以及本项目管理目标剂量约束值要求（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）。

六、“三废”治理评价

本项目工作场所产生的放射性废水由独立管道统一集中到项目场所内一层的衰变间内的 3 个槽式衰变池，通过间歇式轮换运行，该项目衰变池的容积能够满足使本项目产生的放射性废水衰变 30 天以上的要求。

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独立排风系统（通风速率不小于 0.5m/s，排放口拟高于本建筑屋脊）经活性炭过滤后排放，控制区设置独立排风系统将废气集中收集至楼顶经活性炭吸附过滤后排放，排风口远离临近的高层建筑，能够有效防止放射性废气对周围环境产生的不利环境影响，满足《核医学放射防护标准》（GBZ120-2020）的要求。

本项目运营期各场所产生的放射性固体废物拟在当日治疗结束后分类收集到放射性废物间中的铅桶中分类暂存，废活性炭按照所含核素种类分区分类暂存，在废物间内自然衰变 30 天以上、其中含 ^{131}I 的放射性废物单独收集暂存不小于 180 天，达到清洁解控水平推荐值后，作为医疗废物进行处理，符合辐射环境保护管理要求。

^{68}Ge 密封源使用到一定年限后会产生退役、报废的放射源，医院承诺： ^{68}Ge 放射源在达到使用年限退役时，废源将由厂家回收收贮或交由具有相关资质的单位处置。

本项目工作人员产生的生活污水，由院内污水处理系统统一处理；场所内产生的少量臭氧、氮氧化物等有害气体通过控制区单独装置的排风系统排入大气；工作人员产生的生活垃圾，收集后交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

七、辐射安全措施评价

本项目一层 PET/CT 机房和二层 SPECT/CT 机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态指示灯；各机房设计有门灯联动装置和对讲及监控装置；机房内外均设计有急停按钮辐射工作人员均按要求佩戴个人剂量计，定期送有资质部门监测，建立个人剂量档案；定期进行辐射工作人员健康体检，建立个人职业健康监护档案。在落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全要求。

八、辐射防护措施评价

医院拟为本项目辐射工作人员配备去污工具组、放射性污染防护服、铅衣及铅眼镜，拟为受检者配备铅围裙或方巾、铅围脖等，数量根据实际工作需要而定；铅污物桶若干，本项目一层 PET/CT 机房和二层 SPECT/CT 机房和各机房屏蔽体的等效铅当量、最小有效使用面积和最小单边长度均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

九、辐射安全管理评价

医院已经设定专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人负责辐射安全与环境保护管理工作，并以医院内部文件形式明确其管理职责。根据本项目辐射安全管理要求医院拟建立健全相应的辐射安全管理制度，并拟根据本项目特点完善相关制度。本项目拟配备的辐射工作人员及辐射防护负责人在上岗前拟参加并通过辐射安全与防护知识的培训并取得“核医学”专业考核合格证书（其中 1 人已经取得“核医学”专业考核合格证书），拟对辐射工作人员进行职业健康监护和个人剂量监测，并建立职业健康档案和个人剂量档案，医院的辐射安全管理满足要求。

十、辐射防护监测仪器评价

医院拟为本项目配备 1 台辐射巡测仪、2 台表面污染仪、2 台活度计及 4 台个人剂量报警仪，拟为本项目辐射工作人员配置个人剂量计，在工作时随身携带，符合要求。

综上所述，本项目选址及布局合理，拟采取的辐射安全与防护措施适当，在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该项目的运行对周围环境产生的影响

能够符合辐射环境保护的要求，从辐射环境保护角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

1、该项目运行中，辐射工作人员应严格遵守操作规程等辐射安全制度，医院应加强对辐射工作人员的操作技能培训和辐射防护安全的宣教。

2、保证各项安全措施及辐射防护设施正常运行，严格按国家有关规定及要求进行操作，确保项目运行安全可靠。

3、定期对辐射工作场所进行检查和监测，及时发现并排除事故隐患。

4、取得本项目环境批复后，应及时申领辐射安全许可证，并按《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的规定，在 3 个月内完成竣工环境保护验收工作，需对环境保护设施进行测试或整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。

辐射污染防治“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资 (万元)
辐射安全管理	管理机构：医院拟设立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用放射性同位素和射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构的要求。	/
	管理制度：拟制定操作规程、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、辐射事故应急措施等制度。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。	
辐射防护措施	现有房间隔墙拆除，新增手套箱 2 个，新建辐射屏蔽措施：一层 PET/CT 辐射工作场所墙体采用实心砖+硫酸钡涂层、地面采用混凝土（PET/CT 机房地面为混凝土+硫酸钡涂层）、顶部采用混凝土+硫酸钡涂层作为防护，各防护门均采用铅防护门，观察窗采用铅玻璃观察窗进行防护。详见表 10-2。 二层 SPECT/CT（含 ^{131}I 诊疗）辐射工作场所墙体采用硫酸钡板、地面采用混凝土+硫酸钡涂层作为防护、SPECT/CT 机房顶部采用混凝土+铅板作为防护，各防护门均采用铅防护门，观察窗采用铅玻璃观察窗进行防护。详见表 10-4。	①屏蔽体外剂量率：控制区内工作人员经常性停留的场所(人员居留因子$\geq 1/2$)，周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$；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，以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$；非密封放射性物质工作场所控制区边界、机房屏蔽体外 30cm 处剂量率目标控制值为 $2.5\mu\text{Sv/h}$；放射性药物分装的手套箱、注射窗、给药窗等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$，通风橱非正对人员操作位表面的周围剂量当量率不超过 $25\mu\text{Sv/h}$；固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$。 ②有效剂量：职业人员年有效剂量约束值不超过 5mSv，公众年有效剂量约束值不超过 0.1mSv。 ③放射性废物 含 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，含 ^{131}I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天，监测β表面污染小	460

		于 0.8Bq/cm²。放射性废水采用槽式衰变池，暂存时间大于 30 天，并做好记录。手套箱单独通风，吸附用活性炭（含 ¹³¹I 放射性废气采用浸渍活性炭）吸附净化后排放，定期检查通风系统过滤净化器的有效性，更换下来的废活性炭按放射性固体废物进行分类收集、单独暂存在废物间铅箱内。 ④表面污染水平 控制区内工作台、设备、墙壁、地面β表面污染水平小于 40Bq/cm²，监督区内工作台、设备、墙壁、地面β表面污染水平小于 4Bq/cm²，控制区和监督区内工作人员工作服、手套、工作鞋β表面污染水平小于 4Bq/cm²，工作人员手、皮肤、内衣、工作袜β表面污染水平小于 0.4Bq/cm²。	
	防护用品：储源铅箱、PET 手套箱、SPECT/CT 手套箱、PET 注射窗、SPECT/CT 注射窗、注射器防护套、注射器转运防护盒、脚踏式铅垃圾桶、铅衰变箱、铅防护衣、铅橡胶手套、铅橡胶帽子、防护眼镜、摆位铅屏风、摆位铅屏风、隔断铅屏风、手动碘分装仪器、去污工具组，以上防护用品设置场所、数量、铅当量等。	防护用品满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《核医学辐射防护与安全管理要求》（HJ1188-2021）中有关规定的要求。	
辐射安全措施	（1）工作状态指示灯：各机房防护门上方设置工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句，工作状态指示灯与患者走廊机房防护门（2 个机房南侧的防护门）设置门灯联锁装置。 （2）防夹和闭门装置：2 个机房医护人员通道门设置自动闭门装置，患者走廊防护门设置防夹装置，2 个机房工作人员入口防护门设置自动闭门装置。 （3）电离辐射警告标志：各层（机房）患者防护门和控制区入口门外表面、废物间门表面设置电离辐射警告标志。 （4）机房控制台和设备表面设置急停按钮，机房设置对讲和监视装置。 （5）地面设置导向标识。	采取的辐射安全措施满足《核医学辐射防护与安全管理要求》（HJ1188-2021）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关辐射安全管理的要求。	35

	监测仪器：拟配备 1 台辐射巡测仪、2 台表面污染仪、2 台活度计及 4 台个人剂量报警仪。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对辐射监测仪器的配备要求。	5
人员配备	拟配备10名（一层、二层分别5人）辐射工作人员中的9人（1人已通过核医学考核），辐射安全管理人员和辐射工作人员均拟通过生态环境部组织开发的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并考核，专业为“核医学”，考核合格后上岗。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核的管理要求。	5
	辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检，加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展个人剂量监测的管理要求。	
	辐射工作人员定期（不少于 2 年 1 次）进行职业健康体检，并建立放射工作人员职业健康档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展职业健康体检的管理要求。	
三废治理措施	放射性废水： 医院拟在一层 PET 工作场所南侧设置一间地上式衰变间，衰变间四周采用 240mm 砖+60mm 硫酸钡，上方 120mm 混凝土楼板+23mm 混凝土，下方 250mm 混凝土楼板屏蔽，由 PLC 程序控制。内部建设 3 座并联槽式衰变池，设计单个衰变池容积 9m³，采用间歇式轮换运行。按日产生含核素 ¹⁸F 和 ^{99m}Tc 的放射性废水 480L 计，单池满足 15 天废水收集容量即可（480×15=7200L=7.2m³），满足容量需求，三座池体依次轮换收集废水。当第三座池收集满时，第一座池内废水已衰变 30 天以上，储存时间及排放方式满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“对于槽式衰变池贮存方式，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，可直接排放。 衰变池的验收要点：通过现场调查、收集资料方式调查衰变池各池体液位计工作状态、阀门、采样管工作状态和完好状态、衰变池集水坑和水泵系统工作状态，工程验收报告，管道阀门工作状态，衰变间地面及墙裙防渗施工及效果及验收情况，自动控制系统效果，一层 4 个废水集水池盖板铅当量调查，水泵	放射性废水：放射性废液暂存时间超过30天，衰变池各池体液位计工作状态良好、阀门设置位置和状态能够保证衰变池间歇运行、采样管工作状态完好，能后完成现场取样、衰变池集水坑和水泵系统工作状态良好，衰变间地面设导流流通槽与防渗集水坑，地面找坡保证废液自流收集；配套一用一备耐腐蚀提升泵，液位超标自动启泵，将泄漏废液泵送回衰变池。放射性废水治理措施和效果满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。 放射性废气： 手套箱内保持负压且设有独立排风系统（通风速率不小于 0.5m/s），排风系统经活性炭过滤后排放，每台手套箱上方设止回阀防止排风倒流，控制区单独排风和新风系统，手套	95

	运行情况调查。 放射性废气：本项目核素操作均在手套箱进行，手套箱内保持负压且设有独立排风系统（通风速率不小于 0.5m/s），手套箱排风拟在屋顶设置活性炭过滤吸附装置，2 台手套箱排风汇流后经浸渍活性炭（高效吸附 ^{131}I）吸附后排放，每台手套箱上方设止回阀防止排风倒流，控制区单独排风和新风系统，排风方向由低活度区向高活度区，排风管道最终升至放射治疗大楼屋顶，排放口高于放射治疗大楼屋脊。 通风系统的验收要点：手套箱面风速检测，风机风量检测、换气次数核算、屋顶活性炭箱体内活性炭种类（手套箱排风和二层控制区排风采用浸渍活性炭），活性炭吸附效率检测。 放射性固体废物： 拟建项目各工作场所产生的放射性固体废物拟于诊疗当日结束后分类集中到各场所废物室中的铅桶中暂存，短半衰期（指一层含 ^{18}F、二层含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$）在废物库内自然衰变 30 天以上，使用 ^{131}I 诊疗过程中产生的放射性固体废物以及含 ^{131}I 废活性炭暂存不小于 180 天，经监测后达到清洁解控水平推荐值后，作为医疗废物进行处理。^{68}Ge 放射源在达到使用年限退役时，废源将由厂家回收收贮处置或交由具有相关资质的单位处置。 放射性固体废物验收要点：废物间铅衰变箱数量、容积、铅当量、暂存放射性废物来源，铅垃圾桶位置、数量、铅当量，标志标识，记录等。	箱排风汇流后经屋顶活性炭箱体内浸渍活性炭（高效吸附 ^{131}I）吸附后在放射治疗大楼屋顶排放，一层和二层控制区单独排风，经屋顶活性炭箱体内活性炭（二层控制区排风吸附用活性炭采用浸渍活性炭）吸附后排放，放射性固废（指一层含 ^{18}F、二层含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$）在废物间铅衰变箱内自然衰变 30 天以上，经监测后达到清洁解控水平推荐值后（β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$），作为医疗废物进行处理；使用 ^{131}I 诊疗过程中产生的放射性固体废物以及含 ^{131}I 废活性炭在二层废物间专用铅衰变桶内暂存，暂存不小于 180 天，经监测后达到清洁解控水平推荐值后（β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$），作为医疗废物进行处理。放射性废气治理措施和效果满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。 放射性固体废物： 本项目各工作场所产生的放射性固体废物拟于诊疗当日结束后分类集中到各场所废物室中的铅桶中暂存，短半衰期（指一层含 ^{18}F、二层含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$）在废物库内自然衰变 30 天以上，使用 ^{131}I 诊疗过程中产生的放射性固体废物以及含 ^{131}I 废活性炭暂存不小于 180 天，经监测后达到清洁解控水平推荐值后，作为医疗废物进行处理。^{68}Ge 放射源在达到使用年限退役时，废源将由厂家回收收贮处置或交由具有相关资质的单位处置。 废物间铅衰变箱数量、容积、铅当量、暂存放射性废物来源，铅垃圾桶位置、数量、铅当量，标志标识，等放射性固
--	--	--

		废治理满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。	
总计	/	/	600

以上污染防治措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见:

公 章

经 办 人 年 月 日

审批意见:

公 章

经 办 人 年 月 日