

核技术利用建设项目

自贡市第一人民医院

新增放射源、非密封放射性物质工作场所
及医用射线装置使用项目（重新报批）
环境影响报告表

（公示本）

自贡市第一人民医院

2025 年 3 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

自贡市第一人民医院

新增放射源、非密封放射性物质工作场所及

医用射线装置使用项目（重新报批）

环境影响报告表

建设单位名称：自贡市第一人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：四川省自贡市自流井区尚义颶一支路42号

邮政编码：643000

联系人：***

电子邮箱：*****

联系电话：***

目 录

表 1：项目基本情况 1

表 2：放射源 28

表 3：非密封放射性物质 29

表 4：射线装置 31

表 5：废弃物（重点是放射性废弃物） 32

表 6：评价依据 35

表 7：保护目标与评价标准 38

表 8：环境质量和辐射现状 43

表 9：项目工程分析与源项 47

表 10：辐射安全与防护 75

表 11：环境影响分析75

表 12：辐射安全管理 111

表 13：结论与建议117

表 1：项目基本情况

建设项目名称		自贡市第一人民医院新增放射源、非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目（重新报批）			
建设单位		自贡市第一人民医院			
法人代表	刘世伟	联系人	*****	联系电话	*****
注册地址		四川省自贡市自流井区尚义灏一支路 42 号			
项目建设地点		四川省自贡市大安区东城内环路自贡市第一人民东部新城院区			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		1500	项目环保投资（万元）	697.5	投资比例（环保投资/总投资）
项目性质		■新建 □改建 □扩建 □其它		占地面积（m ² ）	/
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、概况 1、建设单位简介 自贡市第一人民医院（统一社会信用代码：1251020045090340XX，以下简称“医院”）始建于 1908 年，2008 年增挂市传染病医院，2020 年增挂自贡市医学科学院，现已发展为集医疗、教学、科研、预防、公共卫生应急处置一体的现代化三级甲等综合医院，医院地址位于自贡市自流井区尚义灏一支路 42 号。医院为首批吸纳的中国 500 所大型医院成员、卫生部批准的爱婴医院、卫生部国际救援中心网络成员、卫生部脑卒中基地医院、卫生部病理远程会诊及质控试点单位、涉外医疗单位、国家综合医院中医药工作示范单位、国家中医药防治传染病				

临床基地、自贡市公共卫生应急医院等。医院是四川省卫健委确定的自贡、内江“医疗作战区”领头医院，建成四川大学华西医院紧密型专科联盟医院、自贡市医学科学院、解放军总医院远程医学中心。医院作为国家首批住院医师规范化培训基地、川北医学院非直属附属医院、四川卫生康复职业学院附属医院、西南医科大学、成都中医药大学和成都医学院教学医院。医院总占地面积 456 亩，业务用房 45 万平方米（在建 28 万平方米），开放床位 2300 张，在岗职工 2918 人，内设科室 69 个。

自贡市第一人民医院现持有四川省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》，证书编号川环辐证（00234），有效期至 2030 年 01 月 08 日，许可种类和范围为：使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。

为保障人民群众生命安全和身体健康、促进经济社会平稳发展、维护公共卫生安全的需要，自贡市第一人民医院正在建设自贡市内自同城区区域医疗中心、川南心脑血管疾病紧急救援中心、川南灾害医学急救治中心及自贡市公共卫生临床中心项目，该项目选址位于自贡市大安区东部新城，项目总占地面积约 159480m²，总建筑面积约 55000m²，主要由门急诊医技住院综合楼、专家楼、后勤保障用房组成，门急诊医技住院综合楼包括急诊、门诊、医技、住院、行政办公、报告厅等功能，建筑高度约为 81.5m，地上 18 层，地下 2 层。

2、东部新城院区核技术利用项目建设内容及建设情况

东部新城院区核技术利用项目位于自贡市大安区东部新城东环线互通立交桥与东盐都大道交叉口西北方向新建的自贡市第一人民医院内，主要建设内容为：在拟建的医院门急诊医技住院综合楼负二层西北部建设放疗中心，在负一层西北部建设核医学科，在一层南部急诊科建设 DSA 复合手术室，在二层中部建设介入中心，在五层手术部建设手术部介入手术区，在五层西南部建设消化内镜区 ERCP 机房。

（一）放疗中心。放疗中心拟建设 3 个医用电子直线加速器机房、1 个后装治疗机房和 1 个模拟定位 CT 机房，并配套建设相关辅助用房。其中，拟在 3 个医用电子直线加速器机房内分别安装使用 1 台医用电子直线加速器（带 CBCT

图像引导系统),最大 X 射线能量均为 15MV,15MV 时 1m 处剂量率为 6Gy/min,10MV 时 1m 处剂量率为 14Gy/min,最大电子线能量均为 22MeV,1m 处剂量率为 10Gy/min,属于 II 类射线装置,均用于肿瘤诊疗,单台设备年出束时间约 500h,主射方向均朝南侧、北侧、屋顶及地面;拟在后装治疗机房内安装使用 1 台后装机,内含一枚 ^{192}Ir 放射源,初始装源活度为 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$,属于 III 类放射源,用于肿瘤诊疗,年出源时间约 250h;拟在模拟定位 CT 机房内安装使用 1 台模拟定位 CT,属于 III 类射线装置,用于医用电子直线加速器和后装机的模拟定位。

(二)核医学科。拟建设核素影像中心、核素治疗中心、放射性药物实验中心,并配套建设相关辅助用房。其中,核素影像中心工作场所主要由分装注射室、放射性废物暂存间、储源室、SPECT/CT 注射后候诊室、PET/CT 注射后候诊室、1#及 2#SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、PET/MRI 机房等构成,拟在该场所内使用放射性同位素 ^{68}Ge 制备 ^{68}Ga ,使用 ^{68}Ga 、 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 等核素开展显像诊断,使用 ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 核素开展骨转移治疗,使用 ^{32}P 核素开展胶体腔内治疗,使用 ^{223}Ra 核素开展前列腺癌治疗,该核医学科核素影像中心总日等效最大操作量为 $1.23\times 10^9\text{Bq}$,属于乙级非密封放射性物质工作场所;SPECT/CT 机房和 PET/CT 机房内拟分别安装使用 1 台 SPECT/CT 和 1 台 PET/CT,均属于 III 类射线装置,用于开展显像诊断;核素治疗中心工作场所主要由分装室、放射性废物暂存间、储源室、注射室、服药室、甲吸室、甲亢留观室、内分泌肿瘤治疗室、甲癌治疗室 1~4 (含抢救室)、VIP 甲癌治疗室、VIP 内分泌肿瘤治疗室等构成,拟在该场所内使用放射性同位素 ^{131}I 开展核素诊断与治疗,使用 ^{177}Lu 核素开展神经内分泌肿瘤治疗,该核素治疗中心总日等效最大操作量为 $3.85\times 10^9\text{Bq}$,属于乙级非密封放射性物质工作场所;放射性药物实验中心工作场所主要由放射性药物实验中心、脱包室、灭菌室、标记室等构成,拟在该场所使用放射性同位素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{68}Ga 、 ^3H 、 ^{64}Cu 、 ^{111}In 、 ^{67}Ga 、 ^{89}Zr 、 ^{186}Re 、 ^{68}Ge 、 ^{225}Ac 等核素,用于开展药物标记及色谱分离实验,该放射性药物实验中心总日等效最大操作量为 $7.73\times 10^8\text{Bq}$,属于乙级非密封放射性物质工作场所。

(三)急诊科、介入中心、手术部和消化内镜区。拟在急诊科 DSA 复合手术室安装使用 1 台 DSA;拟在介入中心建设 3 座 DSA 机房,并各安装使用 1 台

DSA；拟在手术部介入手术区建设 2 座 DSA 机房，并各安装使用 1 台 DSA；拟在消化内镜区建设 1 座 ERCP 机房，并安装使用 1 台 ERCP。上述 DSA 和 ERCP 的最大管电压均为 125kV，最大管电流均为 1250mA，均属于 II 类射线装置，主射方向均朝上，单台设备年出束时间约 100h。

医院于 2022 年委托编制了《自贡市第一人民医院新增放射源、非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目环境影响报告表》，并取得了四川省生态环境厅关于自贡市第一人民医院新增放射源、非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目环境影响报告表的批复（川环审批〔2023〕2 号）。

现自贡市第一人民医院东部新城院区正在修建，各工程主体架构建设完成，未进行内部辐射防护及装修，上述核技术利用项目未投运。

3、项目由来

根据医院最新的发展计划及提供诊疗服务需求，医院拟对本项目中核医学科场所范围和平面布局、墙体屏蔽防护厚度、场所功能及拟使用核素种类、活度、通排风设计、放射性废水管网等进行调整。医院核医学科调整后仍分为 3 个乙级非密封放射性物质工作场所：核素治疗中心、放药制备和小动物实验中心、核素影像中心。除核医学进行调整外，其他核技术建设内容均与原环评一致。核医学科设计变更情况见下表。

表 1-1 核医学科设计变更前后对比表

场所	建设内容	原有设计	变更后设计 (即本项目设计)	备注
核素治疗中心	面积	约 567.8m ²	约 567.8m ²	面积不变
	使用核素	¹³¹ I、 ¹⁷⁷ Lu	¹³¹ I、 ¹⁷⁷ Lu、 ¹⁶¹ Tb、 ¹⁵³ Sm、 ²²³ Ra、 ²¹¹ At、 ²²⁵ Ac、 ¹⁸⁸ Re	增加 6 种： ¹⁶¹ Tb、 ¹⁵³ Sm、 ²²³ Ra、 ²¹¹ At、 ²²⁵ Ac、 ¹⁸⁸ Re
	平面布局	5 间甲癌病房，2 间 ¹⁷⁷ Lu 治疗病房，甲癌未独立分区。	2 间甲癌病房，5 间其它核素治疗病房，将甲癌病房独立分区设置，并优化部分流通路径设置。	重新调整布局及流通路径。
	屏蔽厚度	/	减小控制区内房间屏蔽体硫酸钡及铅板的厚度	优化屏蔽厚度。
	日等效最大操作量	3.85×10 ⁹ Bq	3.63×10 ⁹ Bq	日等效操作量减少。

放药制备和小动物实验中心	面积	约 116.2m ²	约 296.4m ²	面积增加
	平面布局	设核素标记室和放射性药物实验室及配套房间	设放射性药物标记区、质控区和小动物实验区	增加质控功能, 增加小动物实验功能
	使用核素	¹⁸ F、 ^{99m} Tc、 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁷ Ga、 ³ H、 ⁶⁴ Cu、 ¹¹¹ In、 ⁸⁹ Zr、 ²²⁵ Ac、 ¹⁸⁶ Re、 ⁶⁸ Ge	¹⁸ F、 ⁴⁴ Sc、 ⁶⁴ Cu、 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁸ Ge、 ⁸⁶ Y、 ⁸⁹ Zr、 ⁹⁰ Y、 ^{99m} Tc、 ¹²³ I、 ¹²⁴ I、 ¹⁶¹ Tb、 ¹⁷⁷ Lu、 ²¹¹ At、 ²¹² Pb、 ²²⁵ Ac	取消 4 种: ⁶⁷ Ga、 ³ H、 ¹⁸⁶ Re、 ¹¹¹ In; 增加 9 种: ⁴⁴ Sc、 ⁸⁶ Y、 ⁹⁰ Y、 ¹²³ I、 ¹²⁴ I、 ¹⁶¹ Tb、 ¹⁷⁷ Lu、 ²¹¹ At、 ²¹² Pb
	屏蔽厚度	/	减小控制区内部分房间屏蔽体硫酸钡及铅板的厚度	优化屏蔽厚度。
	日等效最大操作量	7.73×10 ⁸ Bq	6.67×10 ⁸ Bq	日等效操作量减少。
	功能	药物标记及质控检验	药物标记及质控检验, 大鼠、小鼠实验	增加小动物实验, 增加一个放射性废物间
核素影像中心	面积	约 1174.8m ²	约 958.9m ²	减小
	平面布局	/	布局不变, 减少 1 个 SPECT/CT 机房, 增加 1 间敷贴治疗室。	减少 1 个 SPECT/CT 机房, 增加 1 间敷贴治疗室。
	涉及核素	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁸ Ge、 ^{99m} Tc、 ¹²³ I、 ³² P、 ⁸⁹ Sr、 ¹⁵³ Sm、 ²²³ Ra	^{99m} Tc、 ¹²³ I、 ¹¹¹ In、 ¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁴ Cu、 ¹²⁵ I、 ³² P、 ⁸⁹ Sr、 ⁹⁹ Mo	取消 1 种: ⁶⁸ Ge; 增加 4 种: ¹¹¹ In、 ⁶⁴ Cu、 ¹²⁵ I、 ⁹⁹ Mo
	屏蔽厚度	/	减小控制区内部分房间屏蔽体硫酸钡及铅板的厚度	优化屏蔽厚度。
	日等效最大操作量	1.23×10 ⁹ Bq	5.28×10 ⁸ Bq	日等效操作量减少。

自贡市第一人民医院需对本项目核医学科进行调整变更, 因场所布局、建设内容、屏蔽设计发生变动, 不属于《关于<建设项目环境影响评价分类管理名录>中免于编制环境影响评价文件的核技术利用项目有关说明的函》(环办函〔2015〕1758号)中免于编制环境影响评价文件的范畴, 属于重大变动, 根据《中华人民共和国环境影响评价法(2018年修订)》, 建设单位需重新报批环境影响评价文件。为此, 自贡市第一人民医院委托四川省自然资源实验测试研究中心(四川省核应急技术支持中心)对该项目核医学科部分开展环境影响评价工作。评价单位接受委托后, 通过现场勘察、收集资料等工作, 结合本项目的特点, 按照国家有关技术规范要求, 编制完成《自贡市第一人民医院新增放射源、非密封放射性物

质工作场所及医用射线装置使用项目（重新报批）环境影响报告表》。

本次只针对设计变动的核医学科进行评价，本项目其它建设内容以原环境影响评价报告表为准。

二、项目概况

（一）项目名称、性质、建设地点

项目名称：自贡市第一人民医院新增放射源、非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目（重新报批）

建设单位：自贡市第一人民医院

建设性质：新建

建设地点：四川省自贡市大安区东城内环路东部新城院区

（二）建设内容及规模（本次评价部分）

核医学科（本次评价内容）位于自贡市第一人民医院东部新城院区门急诊医技住院综合楼负一层西北部区域，共建设 3 个非密封放射性物质工作场所：（1）在核医学科内北部建**核素治疗中心**，使用放射性核素碘-131、镭-177、铽-161、钷-153、镭-223、镱-188、碲-211、钨-225 对患者进行肿瘤治疗，该场所日等效最大操作量为 $3.63\text{E}+09\text{Bq}$ 。（2）在核医学科内中部西侧建**放药制备和小动物实验中心**，涉及使用核素镭-177、铽-161、碲-211、钨-212、钨-225、碘-123、氟-18、铜-64、镓-89、钷-86、钆-44、碘-124、钷-90、镱-68、钷-99m 进行标记或小动物实验，镱-68 由钷镱发生器（钷-68）淋洗制得，该场所日等效最大操作量为 $6.67\text{E}+08\text{Bq}$ 。（3）在核医学科内南部建**核素影像中心**，涉及使用核素钷-99m、钷-111、碘-123 对患者进行单光子影像诊断，涉及使用核素氟-18、镱-68、铜-64 对患者进行正电子影像诊断，使用钷-89 为患者进行骨癌治疗，涉及使用非密封放射性物质磷-32 和 2 枚 V 类放射源钷-90 进行敷贴治疗，设 1 间 PET-CT 机房、1 间 SPECT/CT 机房、1 间 PET-MR 机房进行显像诊断，共使用 2 台 III 类射线装置，使用 SPECT/CT 或 PET-CT 对患者进行碘-125 粒子植入，使用钷发生器淋洗制钷-99m，该场所日等效最大操作量为 $5.28\text{E}+08\text{Bq}$ 。

1、核素治疗中心

（1）建设内容及规模

核素治疗中心位于门急诊医技住院综合楼负一层北部区域, 主要为患者提供住院治疗服务, 患者通过口服、针剂或打点滴接受放射性药品治疗, 并住院留观。

核素治疗中心由南向北依次设宣教室、甲状腺功能测定室、甲亢留观室、备药室 1 (含储源间 1、放射性废物间 1、淋浴、缓冲)、服碘室、注射室、甲癌病区 (2 间单人间、2 张床位)、其它核素病区 (5 间双人间、10 张床位)、放射性废物间 2、污染被服暂存间、保洁间及通道, 并配套医生办公室、值班室、更衣室等。

(2) 核素及用量

根据医院诊疗规划, 核素治疗中心核素及用量情况见下表。核素治疗中心每天最多收治 3 种核素病人, 所使用放射性药品均外购。

表 1-2 核素治疗中心病人量及非密封放射性物质用量情况表

序号	放射性核素	用途	单个病人最大用量 (mCi/人·次)	日最大病人量 (人)	年最大病人量(人)	日最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)
1	¹³¹ I	甲癌	130	2	180	9.62E+09	8.66E+11
	¹³¹ I	甲亢	10	3	300	1.11E+09	1.11E+11
	¹³¹ I	甲吸	0.005	8	400	1.48E+06	7.40E+07
2	¹⁷⁷ Lu	肿瘤治疗	200	2	400	1.48E+10	2.96E+12
3	¹⁶¹ Tb	肿瘤治疗	100	2	200	7.40E+09	7.40E+11
4	¹⁵³ Sm	肿瘤治疗	50	1	50	1.85E+09	9.25E+10
5	²²³ Ra	肿瘤治疗	0.2	1	50	7.40E+06	3.70E+08
6	¹⁸⁸ Re	肿瘤治疗	20	1	50	7.40E+08	3.70E+10
7	²¹¹ At	肿瘤治疗	5	1	100	1.85E+08	1.85E+10
8	²²⁵ Ac	肿瘤治疗	0.4	2	200	2.96E+07	2.96E+09

2、核素影像中心

(1) 建设内容及规模

核素影像中心位于门急诊医技住院综合楼负一层南部区域, 主要进行核医学科门诊检查诊断、碘-125 粒子植入和敷贴治疗。

核素影像中心由北向南依次为诊室、卫生通过区 (缓冲间和淋浴间)、备药室 2 (含储源间 2、放射性废物暂存间 3)、患者入口缓冲间、ECT 注射窗口、

PET 注射窗口、运动负荷室、SPECT-CT 间及控制室、PET-CT 间和 PET-MRI 间及共用设备机房及控制廊、SPECT-CT 候诊室和留观室及出口、PET 候诊室和留观兼抢救室及出口、保洁间、放射性废物暂存间 4、走廊等，配套医生会议室、办公室、阅片室等。

(2) 核素及用量

核素影像中心核素种类及用量见下表。核素影像中心每天最多进行 5 种核素的病人显像及敷贴治疗。

表 1-3 核素影像中心病人量及非密封放射性物质用量情况表

序号	放射性核素	用途	单个病人最大用量 (mCi/人·次)	日最大病人量 (人)	年最大使用天数	年最大病人量 (人)	日最大操作量 (Bq)	年最大使用量 (Bq)
1	^{99m}Tc	单光子显像	20 (全身)	15	250	3750	1.11E+10	2.78E+12
	^{99m}Tc		5 (局部)	10	250	2500	1.85E+09	4.63E+11
2	^{123}I		5	5	50	250	9.25E+08	4.63E+10
3	^{111}In		10	2	50	100	7.40E+08	3.70E+10
4	^{18}F	正电子显像	10	20	250	5000	7.40E+09	1.85E+12
5	^{68}Ga		5	15	250	3750	2.78E+09	6.94E+11
6	^{64}Cu		0.5	5	100	500	9.25E+07	9.25E+09
7	^{125}I	粒子植入	100	4	50	200	1.48E+10	7.40E+11
8	^{32}P	敷贴治疗	2	20	250	5000	1.48E+09	3.70E+11
9	^{89}Sr	骨癌治疗	4	10	50	500	1.48E+09	7.40E+11
10	^{99m}Tc	SPECT/CT 校准	每周需进行一次锝-99m 溶液校准，校准活度为 0.5mCi。				1.11E+06	5.55E+07
11	^{99}Mo	制备 ^{99m}Tc	/				1.85E+10	9.25E+11
12	$^{18}\text{F}^*$	贮存(备药量)	/				2.96E+10	7.40E+12

注：对于 ^{18}F ，由于其半衰期较短，需考虑其衰变，因此计算时应考虑用药量和备药量，每天计划送一次药，均按照日最大操作量的 4 倍来备药。

放射性药品来源： ^{123}I 、 ^{125}I 、 ^{111}In 、 ^{32}P 、 ^{89}Sr 均外购成品药； ^{18}F 、 ^{64}Cu 核素药品全年有约 90% 外购成品药，约 10% 由医院放药制备和小动物实验中心热室进行标记后送来； ^{99m}Tc 全部由核素影像中心采用钼-99（锝-99m）发生器淋洗制得， ^{68}Ga 全部由放药制备和小动物实验中心采用镅-68（镓-68）发生器淋洗制得。

(3) 发生器使用情况

医院拟使用钼铈发生器淋洗制得 ^{99m}Tc ，使用锗镓发生器淋洗制得 ^{68}Ga ，发生器使用情况见下表。

表 1-4 发生器使用情况

发生器类型	规格	淋洗效率	年使用个数	发生器放置场所
钼铈 (^{99}Mo - ^{99m}Tc) 发生器	500mCi	90%	50 个	核素影像中心备药室 1
锗镓 (^{68}Ge - ^{68}Ga) 发生器	100mCi	80%	2 个	放药制备和小动物实验中心热室

(4) 放射源使用情况

核素影像中心拟将老院区 2 枚密封放射源铟-90 转移到本项目敷贴室进行敷贴治疗，具体见下表。

表 1-5 核素影像中心拟使用的放射源

放射源	活度 (Bq)	编码	类别	使用地点	日最大病人人数 (人)	年最大使用天数 (天)	年最大接诊人数 (人)
^{90}Sr	1.48×10^9	RU22SR000545	V	敷贴治疗室	20	250	5000
^{90}Sr	7.4×10^8	0498SRD06855	V				

(5) 射线装置使用情况

核素影像中心拟建 3 间显像机房，分别为 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房和 PET/MR 机房，PET/MR 不属于射线装置，射线装置使用情况见下表。

表 1-6 核素影像中心拟使用的射线装置

装置名称	厂家	型号	数量 (台)	类别	额定管电压 (kV)	额定管电流 (mA)	拟安装位置	活动种类
PET/CT	联影	uMI Panorama 35C	1	III	140	833	PET/CT 机房	使用
SPECT/CT	GE	NM/CT 870DR	1	III	140	440	SPECT/CT 机房	使用

注：SPECT/CT 使用核素 ^{99m}Tc 校准，PET/CT 为无源质控设备。

3、放药制备和小动物实验中心

(1) 建设内容及规模

放药制备和小动物实验中心位于核医学科内中部西侧，主要分为两个部分。北侧为放射性药品标记、分装和质控区，由北向南主要设置热室、洁具间、洗消间、外包间、脱包间、准备间、洁净走廊、放化实验室、阳性对照室、无菌检测室、放射性废物室 2 等。主要进行锗镓发生器淋洗，部分核素的标记、分装和质

控。

南侧为小动物实验区，主要设缓冲间、小动物 PET/SPECT 机房及控制室、操作间、动物暂存间。开展大鼠、小鼠的活体放射性实验。

(2) 核素及用量

① 小动物实验区的核素及用量

小动物实验区每天最多开展 3 种核素动物实验，具体使用情况见下表。

表 1-7 放药制备和小动物实验中心小动物实验区非密封放射性物质操作量情况表

序号	放射性核素 ^①	用途	单只动物单次实验最大用量 (Bq/只·次) ^③		日最大实验动物量 (只/d)	年最大实验动物量 (只/a)	动物实验室日最大用量 (Bq/d)	动物实验室年最大用量 (Bq/a)
1	¹⁸ F ^②	动物显像	小鼠	3.70E+06	10	1000	3.70E+07	3.70E+09
			大鼠	1.85E+07	3	100		
		储存	/	/	/	/	7.40E+07	7.40E+09
2	⁴⁴ Sc	动物显像	小鼠	1.85E+06	3	100	5.55E+06	1.85E+08
3	⁶⁴ Cu	动物显像	小鼠	1.85E+06	3	100	5.55E+06	1.85E+08
4	⁶⁸ Ga	动物显像	小鼠	3.70E+06	10	1000	3.70E+07	3.70E+09
			大鼠	1.85E+07	3	100		
5	⁸⁶ Y	动物显像	小鼠	1.85E+06	3	100	5.55E+06	1.85E+08
6	⁸⁹ Zr	动物显像	小鼠	1.85E+06	3	100	5.55E+06	1.85E+08
7	⁹⁰ Y	动物治疗	小鼠	3.70E+07	10	300	3.70E+08	1.11E+10
8	^{99m} Tc	动物显像	小鼠	1.85E+07	3	100	5.55E+07	1.85E+09
9	¹²³ I	动物显像	小鼠	1.85E+07	3	100	5.55E+07	1.85E+09
10	¹²⁴ I	动物显像	小鼠	1.85E+06	3	100	5.55E+06	1.85E+08
11	¹⁶¹ Tb	动物治疗	小鼠	3.70E+07	10	300	3.70E+08	1.11E+10
12	¹⁷⁷ Lu	动物治疗	小鼠	3.70E+07	10	1000	3.70E+08	3.70E+10
13	²¹¹ At	动物治疗	小鼠	1.48E+06	10	400	1.48E+07	5.92E+08
14	²¹² Pb	动物治疗	小鼠	1.48E+06	10	400	1.48E+07	5.92E+08
15	²²⁵ Ac	动物治疗	小鼠	1.48E+06	10	400	1.48E+07	5.92E+08
16	¹⁸ F	PET 校准	/		/	/	3.7E+07	4.44E+08
17	^{99m} Tc	SPECT 校准	/		/	/	1.85E+07	2.22E+08

注：①：⁸⁶Y、⁹⁰Y、¹²³I、¹²⁴I 外购成品药，^{99m}Tc 由核素影像中心淋洗制备，其余核素由放药制备区标记制备；②：每天每种核素的实验动物最多 10 只，考虑核素半衰期长短及操作时间，¹⁸F 考虑 2 倍备药量；③：¹⁸F 和 ⁶⁸Ga 的显像实验，实验当天仅使用小鼠或大鼠中一种。

② 药物制备区的核素及用量

药物制备区主要进行小动物实验区和核素影像中心部分核素药品的标记分装，锕镓发生器淋洗、标记和分装，以及对标记药品的质控，每天最多使用 5 种核素，具体情况见下表。

表 1-8 放药制备和小动物实验中心药物制备区非密封放射性物质操作量情况表

序号	核素名称	仪器校准用量 (Bq/d)	核素影像中心 (Bq/d)	小动物实验 (Bq/d)	质控量 (Bq/d)	日最大操作量总计 (Bq/d)	年最大操作天数 (d)	年最大使用量 (Bq/a)
1	¹⁷⁷ Lu	/	/	3.70E+08	5.55E+07	4.26E+08	100	4.26E+10
2	¹⁶¹ Tb	/	/	3.70E+08	5.55E+07	4.26E+08	30	1.28E+10
3	²¹¹ At	/	/	1.48E+07	5.55E+07	7.03E+07	40	2.81E+09
4	²¹² Pb	/	/	1.48E+07	5.55E+07	7.03E+07	40	2.81E+09
5	²²⁵ Ac	/	/	1.48E+07	5.55E+07	7.03E+07	40	2.81E+09
6	¹⁸ F	3.70E+07	5.55E+10	1.11E+08	5.55E+07	1.54E+08	250	9.43E+11 ^①
7	⁶⁴ Cu	/	9.25E+07	5.55E+06	5.55E+07	1.54E+08	100	2.96E+09 ^①
8	⁸⁹ Zr	/	/	5.55E+06	5.55E+07	6.11E+07	33	2.04E+09
9	⁴⁴ Sc	/	/	5.55E+06	5.55E+07	6.11E+07	33	2.04E+09
10	⁶⁸ Ga	/	3.70E+09	3.70E+07	5.55E+07	2.87E+09	250	7.00E+11 ^②
11	⁶⁸ Ge	/	3.70E+09	/	/	3.70E+09	250	7.40E+09
12	^{99m} Tc	/	/	/	5.55E+07	5.55E+07	50	2.78E+09

注：①：为核素影像中心年用量的 10%加小动物实验用量；②为核素影像中心和小动物实验中心总用量之和。

(3) 射线装置使用情况

小动物实验中心拟建 1 间小动物显像机房，内置 1 台动物 SPECT/PET/CT 三模态一体机，参数见下表。

表 1-9 小动物实验中心拟使用的射线装置

装置名称	厂家	型号	数量 (台)	类别	额定管电压 (kV)	额定管电流 (mA)	拟安装位置	活动种类
SPECT/PET/CT 三模态一体机	未定	未定	1	III	80	0.6	小动物 PET/SPECT/CT 机房	使用

5、工作场所分级

(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），满足以下 3 个特点的放射性药物使用场所，应当作为一个

单独场所进行日等效操作量核算：A、有相对独立、明确的监督区和控制区划分；B、工艺流程连续完整；C、有相对独立的辐射防护措施。

根据本项目核医学科布局特点，核素治疗中心、放药制备和小动物实验中心、核素影像中心 3 个场所均有明确的场所界限和独立的控制区、监督区划分，均有独立完整的诊疗流程或工艺流程，均有独立的辐射防护措施，因此本次环评将上述 3 个区域作为 3 个非密封放射性物质工作场所进行评价。

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 非密封放射性物质工作场所的分级判据如表 1-10。

表 1-10 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 $\sim 2 \times 10^7$

根据建设单位提供的核素日最大操作量及《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 确定的核素毒性因子、操作方式因子等（见表 1-11、表 1-12），并结合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 A，根据下式可以计算日等效最大操作量。

$$\text{日等效用量} = \frac{\text{日操作量} \times \text{毒性修正因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \dots\dots\dots \text{（式 1-1）}$$

表 1-11 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 1-12 操作方式与放射源状态修正因子

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

本项目核医学科 3 个非密封放射性物质工作场所日等效最大操作量级场所等级核算见表 1-13。

表 1-13 本项目非密封放射性物质日等效操作量计算一览表

工作场所	序号	核素名称	日最大操作量（Bq）	毒性分组	毒性组别修正因子	性状	操作方式 ^①	操作方式与状态修正因子	单种核素日等效最大操作量（Bq）	日等效最大操作量取值（Bq）	场所日等效最大操作量（Bq）
核素治疗中心	1	¹³¹ I ^②	1.07E+10	中毒	0.1	液态	简单操作	1	1.07E+09	1.07E+09	3.63E+09 （每日最多操作 3 种核素，取 3 种日等效最大操作量之和）
	2	¹⁷⁷ Lu	1.48E+10	中毒	0.1	液态	简单操作	1	1.48E+09	1.48E+09	
	3	¹⁶¹ Tb	7.40E+09	中毒	0.1	液态	简单操作	1	7.40E+08	7.40E+08	
	4	¹⁵³ Sm	1.85E+09	中毒	0.1	液态	简单操作	1	1.85E+08	1.85E+08	
	5	²²³ Ra	7.40E+06	极毒	10	液态	简单操作	1	7.40E+07	7.40E+07	
	6	¹⁸⁸ Re	7.40E+08	中毒	0.1	液态	简单操作	1	7.40E+07	7.40E+07	
	7	²¹¹ At	1.85E+08	高毒	1	液态	简单操作	1	1.85E+08	1.08E+09	
		²⁰⁷ Bi(42%)	4.76E+02	中毒	0.1	液态	简单操作	1	4.76E+01		
		²¹¹ Po(58%)	1.08E+08	极毒	10	液态	简单操作	1	1.08E+09		
8	²²⁵ Ac	2.96E+07	极毒	10	液态	简单操作	1	2.96E+08	2.96E+08		
放药制备和小动物实验中心	1	¹⁷⁷ Lu	4.26E+08	中毒	0.1	液态	简单操作	1	4.26E+07	4.26E+07	6.67E+08 （每日最多操作 4 种核素，为镱-68 锗-68）每日等效最大操作量+其余核素中 3 种最大日等效操作量之和）
	2	¹⁶¹ Tb	4.26E+08	中毒	0.1	液态	简单操作	1	4.26E+07	4.26E+07	
	3	²¹¹ At	1.67E+07	高毒	1	液态	简单操作	1	1.67E+07	9.73E+07	
		²⁰⁷ Bi(42%)	3.66E-02	中毒	0.1	液态	简单操作	1	3.66E-03		
		²¹¹ Po(58%)	9.73E+06	极毒	10	液态	简单操作	1	9.73E+07		
	4	²¹² Pb	1.67E+07	中毒	0.1	液态	简单操作	1	1.67E+06	8.79E+07	
		²¹² Bi(100%)	1.35E+07	高毒	1	液态	简单操作	1	1.35E+07		
		²¹² Po(64%)	8.33E+06	极毒	10	液态	简单操作	1	8.33E+07		
		²⁰⁸ Tl(36%)	4.67E+06	高毒	1	液态	简单操作	1	4.67E+06		
5	²²⁵ Ac	1.67E+07	极毒	10	液态	简单操作	1	1.67E+08	1.67E+08		

工作场所	序号	核素名称	日最大操作量（Bq）	毒性分组	毒性组别修正因子	性状	操作方式 ^①	操作方式与状态修正因子	单种核素日等效最大操作量（Bq）	日等效最大操作量取值（Bq）	场所日等效最大操作量（Bq）
	6	¹²³ I	5.55E+07	低毒	0.01	液态	简单操作	1	5.55E+05	5.55E+05	
	7	¹⁸ F	3.72E+10	低毒	0.01	液态	简单操作	1	3.72E+08	3.72E+08	
	8	⁶⁴ Cu	1.54E+08	低毒	0.01	液态	简单操作	1	1.54E+06	1.54E+06	
	9	⁸⁹ Zr	6.11E+07	中毒	0.1	液态	简单操作	1	6.11E+06	6.11E+06	
	10	⁸⁶ Y	5.55E+06	中毒	0.1	液态	简单操作	1	5.55E+05	5.55E+05	
	11	⁴⁴ Sc	6.11E+07	中毒	0.1	液态	简单操作	1	6.11E+06	6.11E+06	
	12	¹²⁴ I	5.55E+06	中毒	0.1	液态	简单操作	1	5.55E+05	5.55E+05	
	13	⁹⁰ Y	3.70E+08	中毒	0.1	液态	简单操作	1	3.70E+07	3.70E+07	
	14	⁶⁸ Ga	2.87E+09	低毒	0.01	液态	简单操作	1	2.87E+07	2.87E+07	
	15	⁶⁸ Ge	3.70E+09	中毒	0.1	液态	源的贮存	100	3.70E+06	3.70E+06	
	16	^{99m} Tc ^②	1.31E+10	低毒	0.01	液态	很简单操作	10	1.31E+07	1.31E+07	
核素影像中心	1	^{99m} Tc ^②	1.30E+10	低毒	0.01	液态	简单操作	1	1.30E+08	1.30E+08	5.28E+08 （每日最多操作 5 种核素，取 5 种日等效最大操作量之和）
	2	¹²³ I	9.25E+08	低毒	0.01	液态	简单操作	1	9.25E+06	9.25E+06	
	3	¹¹¹ In	7.40E+08	中毒	0.1	液态	简单操作	1	7.40E+07	7.40E+07	
	4	¹⁸ F	7.40E+09	低毒	0.01	液态	很简单操作	10	7.40E+06	1.04E+07	
			2.96E+10	低毒	0.01	液态	源的储存	100	2.96E+06		
	5	⁶⁸ Ga	2.78E+09	低毒	0.01	液态	简单操作	1	2.78E+07	2.78E+07	
	6	⁶⁴ Cu	9.25E+07	低毒	0.01	液态	简单操作	1	9.25E+05	9.25E+05	
	7	¹²⁵ I	1.48E+10	中毒	0.1	固态	很简单操作	100	1.48E+07	1.48E+07	
	8	³² P	1.48E+09	中毒	0.1	液态	简单操作	1	1.48E+08	1.48E+08	
9	⁸⁹ Sr	1.48E+09	中毒	0.1	液态	简单操作	1	1.48E+08	1.48E+08		

工作场所	序号	核素名称	日最大操作量 (Bq)	毒性分组	毒性组别修正因子	性状	操作方式 ^①	操作方式与状态修正因子	单种核素日等效最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量取值 (Bq)	场所日等效最大操作量 (Bq)
	10	⁹⁹ Mo	1.85E+10	中毒	0.1	液态	源的贮存	100	1.85E+07	1.85E+07	

(三) 项目组成及主要环境问题

本项目组成及主要的环境问题见下表。

表 1-14 项目组成及主要的环境问题表

名称		建设内容及规模	可能产生的环境问题	
			施工期	运营期
主体工程及辅助工程	核素治疗中心	核素治疗中心位于门急诊医技住院综合楼负一层北部区域，主要为患者提供住院治疗服务。 核素治疗中心由南向北依次设宣教室、甲状腺功能测定室、甲亢留观室、备药室 1（含储源间 1、放射性废物间 1、淋浴、缓冲）、服碘室、注射室、甲癌病区（2 间单人间、2 张床位）、其它核素病区（5 间双人间、10 张床位）、放射性废物间 2、污染被服暂存间、保洁间及通道，并配套医生办公室、值班室、更衣室等。 共使用放射性核素 8 种：碘-131、镱-177、铽-161、钷-153、镭-223、镱-188、碲-211、铟-225，每日最多接诊 3 种核素治疗患者，日等效最大操作量为 $3.63 \times 10^9 \text{Bq}$（乙级）。	施工废水、固体废弃物、噪声、扬尘等	α 、 β 、 γ 射线、放射性废水、放射性固废、动物尸体及组织、放射性废气、 α 表面污染、 β 表面污染
	放药制备和小动物实验中心	放药制备和小动物实验中心位于核医学科内中部西侧，主要分为两个部分。北侧为放射性药品标记和质控区，由北向南主要设置热室、洁具间、洗消间、外包间、脱包间、准备间、洁净走廊、放化实验室、阳性对照室、无菌检测室、放射性废物间 5 等。主要进行锝发生器淋洗，部分核素的标记、分装和质控。 南侧为小动物实验区，主要设缓冲间、小动物 PET/SPECT 机房及控制室、操作间、动物暂存间、放射性废物间 6。开展大鼠、小鼠的活体放射性实验。		
	核素 16 种	镱-177、铽-161、碲-211、铅-212、铟-225、碘-123、氟-18、铜-64、镓-68、钪-44、碘-124、钪-90、镱-68、锆-68、钨-99m，每日最多标记 4 种核素，日等效最大操作量为 $6.67 \times 10^8 \text{Bq}$ （乙级）。		
	射线装置	1 台 SPECT/PET/CT 三模态一体机，额定管电压 80kV，额定管电流 0.6mA，III 类射线装置。		X 射线、臭氧
	核素影像中心	核素影像中心位于门急诊医技住院综合楼负一层南部区域，主要进行核医学科门诊检查诊断，不涉及住院。 核素影像中心由北向南依次为诊室、卫生通过区（缓冲间和淋浴间）、备药室 2（含储源间 2、放射性废物暂存间 3）、患者入口缓冲间、ECT 注射窗口、PET 注射窗口、运动负荷室、SPECT-CT 间及控制室、PET-CT 间和		α 、 β 、 γ 射线、放射性废水、放射性固废、放射性废

		PET-MRI 间及共用设备机房及控制廊、SPECT-CT 候诊室和留观室及出口、PET 候诊室和留观兼抢救室、放射性废物暂存间 6、出口、保洁间、走廊等，配套医生会议室、办公室、阅片室等。		气、 α 表面污染、 β 表面污染
	核素 10 种	锝-99m、钼-111、碘-123、氟-18、镓-68、铜-64、磷-32，碘-125，镓-68 和钼-99（锝-99m），每日最多进行 5 种核素诊疗，日等效最大操作量为 $5.28 \times 10^8 \text{Bq}$ （乙级）。		
	放射源	2 枚锶-90，利旧，出厂活度 $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$ 和 $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ ，V 类源。		γ 射线、臭氧
	射线装置	1 台 PET/CT，额定管电压 140kV，额定管电流 833mA，III 类射线装置； 1 台 SPECT/CT，额定管电压 140kV，额定管电流 440mA，III 类射线装置。		X 射线、臭氧
环保工程		衰变池： 设地埋式并联衰变池 2 组（长周期衰变池和短周期衰变池），每组设 3 个衰变池和 2 个预处理池（化粪池）。长周期衰变池 3 个衰变池的容积一样，均为长 9.5m×宽 3.0m×高 6.15m，有效容积均为 142.5m^3 ；短周期衰变池 3 个衰变池的容积一样，均为长 3.5m×宽 1.5m×高 6.15m，有效容积均为 26.25m^3 ；4 个预处理池的净空尺寸一样，均为长 3.0m×宽 1.5m×高 2.05m。		放射性废水
		放射性固废暂存间： 核素治疗中心设放射性废物间 2（内部 3.2m×1.94m）和放射性废物间 1（内部 2.31m×2.02m），放药制备和小动物实验中心设放射性废物间 5（内部 1.88m×1.8m）和放射性废物间 6（内部 2.1m×2.5m），核素影像中心设放射性废物间 3（内部 2.81m×2.19m）和放射性废物间 4（内部 2.51m×2.11m）。		放射性固废、动物尸体或组织
		放射性废气治理： 核医学科三个非密封放射性物质工作场所共设有 6 套通排风系统，将放射性废气引至门诊医技住院综合楼楼顶排放。热室柜、手套箱、通风橱等集中操作放射性核素的柜体顶部设有活性炭过滤装置，楼顶 6 个排气口前端设有活性炭过滤装置。各场所控制区内均设置为负压。 3 个显像机房均设置通排风系统。	施工废水、固体废弃物、噪声、扬尘等	放射性废气、定期更换的废活性炭
		生活废水、医疗废水依托医院的污水处理站处理后排入市政污水管网。 项目产生的医疗废物收集暂存于医疗废物暂存间后，定期交由有资质的医疗废物处置单位收集；项目产生的生活垃圾暂存于垃圾收集间后交由市政环卫清运。		生活垃圾、生活废水、医疗废水、医疗固废
公用工程		配电、供电和通讯系统依托主体工程。		/

(四) 主要原辅材料

本项目放药制备区热室进行放射性药品标记合成及质控所需非放射性原辅材料见下表。

表 1-15 放射性药品标记合成主要非放原辅材料一览表

使用场所	名称	规格	单次最大购买量（瓶）	年消耗量（瓶）	存储位置	来源
热室	乙酸钠	500g/瓶	2	2	准备间	外购
	醋酸	500mL/瓶	1	1	准备间	外购
	生理盐水	10mL/瓶	200	450	准备间	外购
	灭菌注射用水	500mL/瓶	120	120	准备间	外购
	无水乙醇	500mL/瓶	5	10	准备间	外购
	无水乙腈	250mL/瓶	5	10	准备间	外购
	乙腈	500mL/瓶	5	10	准备间	外购
	HEPES	500g/瓶	1	1	准备间	外购
	HCl	500mL/瓶	1	1	准备间	外购
	丙酮	500mL/瓶	1	1	准备间	外购
	氢氧化钠	500g/瓶	2	2	准备间	外购
	抗坏血酸钠	500g/瓶	2	2	准备间	外购
	碳酸钠	500g/瓶	2	2	准备间	外购
	碳酸氢钠	500g/瓶	2	2	准备间	外购
	碳酸钾	500g/瓶	2	2	准备间	外购
	柠檬酸钠	500g/瓶	2	2	准备间	外购

表 1-16 放射性药品质检所需原辅材料一览表

使用场所	名称	规格	单次最大购买量	年消耗量	存储位置	来源
无菌检测室	预制FTM培养基	200ml/瓶	2瓶	10瓶	无菌检测室	外购
	预制Ph7.0缓冲液	500ml/瓶	2瓶	10瓶	无菌检测室	外购
	Ph7.0缓冲液	500g/瓶	2瓶	10瓶	无菌检测室	外购
	硫乙醇酸盐流体培养基	500g/瓶	2瓶	10瓶	无菌检测室	外购
	胰酪大豆胨液体培养基	500g/瓶	2瓶	10瓶	无菌检测室	外购
内毒素操作间	预制R2A培养基	Φ90mm	100盒	300盒	内毒素操作间	外购
	鲎试剂	0.25EU, 0.125EU, 0.06EU, 0.03EU (10/盒)	4盒	35盒	内毒素操作间	外购
	细菌内毒素检查用水	5ml/瓶 (10/盒)	5盒	30盒	内毒素操作间	外购
	细菌内毒素标准	10EU/瓶 (5/盒)	1盒	4盒	内毒素操作	外购

	品				间	
阳性对照间	金黄色葡萄球菌	1代, 15mL培养基管	1管	2管	阳性对照间	外购
	白色念珠菌	1代, 15mL培养基管	1管	2管	阳性对照间	外购
	黑曲霉	1代, 15mL培养基管	1管	2管	阳性对照间	外购
	生孢梭菌	1代, 15mL培养基管	1管	2管	阳性对照间	外购
	枯草芽孢杆菌	1代, 15mL培养基管	1管	2管	阳性对照间	外购
	铜绿假单胞菌	1代, 15mL培养基管	1管	2管	阳性对照间	外购
	各类培养基	500g/瓶	2瓶	10瓶	阳性对照间	外购

(五) 工作人员及工作制度

1、辐射岗位定员

本项目拟设置辐射工作人员共 24 名, 其中 23 名为已有工作人员, 拟新增 1 名辐射工作人员, 辐射工作人员均定岗定职, 不存在交叉工作的情况, 具体岗位设置见下表。

表 1-17 核医学科辐射工作场所人员配置情况表

工作场所名称	岗位设置		配置人数（人）	场所总人数（人）
核素治疗中心	碘-131 甲功分装、给药、测定		1	6
	其他药品分装		2	
	注射		2	
	输液		1	
放药制备和小动物实验中心	放药制备区	标记、分装	2	8
		质检	2	
	小动物实验区	分装、注射	2	
		摆位、显像	1	
		观察、解剖	1	
核素影像中心	分装		1	10
	注射		2	
	显像		6	
	敷贴		1	
人数总计			24	24

2、工作制度

本项目辐射工作人员每年工作250天, 每天工作8小时, 实行白班单班制, 核素治疗中心安排医生夜间远程值班。

(六) 产业政策符合性分析

本项目属于核技术在医学领域应用, 根据《产业结构调整指导目录 (2024

年本)》相关规定,本项目属鼓励类第六项“核能”第4条“核技术应用:同位素、加速器及辐照应用技术开发”,符合国家产业发展政策。

三、项目选址、外环境关系及实践正当性分析

自贡市第一人民医院东部新城院区核医学科选址、总占地面积、外环境关系及实践正当性均与自贡市第一人民医院新增放射源、非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目一致,核医学科位于医院的门急诊医技住院综合楼负一层西南部,各个场所评价范围均在医院院区范围内,核医学科相对独立,各个非密封放射性物质工作场所均避开了医院的产科、儿科、食堂等部门,且核医学科出入口避开了人流量较大的门诊大厅、收费处等人群稠密区域,避免了对公众不必要的照射,满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)中关于选址与布局的规定。因此,本次评价不再对该部分内容进行详细分析。

四、原有核技术利用项目许可情况

1、原有辐射安全许可情况及环保手续履行情况

根据自贡市第一人民医院于2025年2月18日申请更新了《辐射安全许可证》(川环辐证[00234]号),有效期至2030年01月08日。许可的种类和范围为:使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源;使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置;使用非密封放射性物质,乙级非密封放射性物质工作场所。

表 1-18-1 自贡市第一人民医院放射源使用许可情况

序号	名称	类别	总活度/活度 ×枚数	编码	活动种类/ 用途	地点
1	$^{90}\text{Sr}(^{90}\text{Y})^{\text{①}}$	Ⅴ类	$7.4\times10^8\text{Bq}\times1$	0498SRD06855	使用 /敷贴治疗	敷贴治疗 室
2	$^{90}\text{Sr}^{\text{①}}$	Ⅴ类	$1.48\times10^9\text{Bq}\times1$	RU22SR000545		
3	^{192}Ir	Ⅲ类	$3.7\times10^{11}\text{Bq}\times1$	NL24IR004353	使用 /放射治疗	后装治疗 室

注:①拟转移至本项目核素影像中心敷贴室使用。

表 1-18-2 自贡市第一人民医院非密封放射性物质使用许可情况

序号	使用 场所	场所 等级	核素	物 理 状 态	日等效最大操 作量(Bq)	年最大用 量(Bq)	活动 种类	用途
1	内科楼	乙	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液态	7.40×10^8	4.44×10^{12}	使用	诊断
2	核医 学科	乙	^{89}Sr	液态	1.48×10^7	2.96×10^{10}	使用	治疗
3		乙	^{131}I	液态	7.40×10^9	8.88×10^{11}	使用	

表 1-18-3 自贡市第一人民医院射线装置使用许可情况

序号	辐射活动场所名称	装置分类名称	类别	活动种类	数量/ 台(套)	装置名称	规格型号	技术参数		生产厂家
								额定管电压	额定管电流	
1	12 号手术间	医用诊断 X 射线装置	Ⅲ类	使用	1	C 臂机	Cios Spin	125kV	250 mA	西门子
2	24 号手术间	医用诊断 X 射线装置	Ⅲ类	使用	1	移动式 C 型臂 X 射线机	ZiehmVision FD Vario 3D	110kV	20mA	ZIEHMIMACING GMBH
3	25 号手术间	医用诊断 X 射线装置	Ⅲ类	使用	1	移动式 X 射线机	D-Vision9000	125kV	200mA	西姆高新技术(江苏)有限公司
4	CT 室(板仓)	医用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置	Ⅲ类	使用	1	64 排 128 层螺旋 CT	SOMATOM go.Top	140kV	600mA	德国西门子
5	DR 室	医用诊断 X 射线装置	Ⅲ类	使用	1	DigitalDiagnost 型 DR	单板	150kV	1000mA	荷兰飞利浦
6	ICU	医用诊断 X 射线装置	Ⅲ类	使用	1	移动式 X 光机	AMX-4	125kV	200mA	美国通用
7	X 光摄片室(板仓)	医用诊断 X 射线装置	Ⅲ类	使用	1	X 光机	XR600	150kV	630mA	北京通用
8	传染病医院放射科	医用诊断 X 射线装置	Ⅲ类	使用	1	移动式 DR	wDR	150kV	500mA	飞利浦
9	方舱	医用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置	Ⅲ类	使用	1	32 排方舱 CT	ANATO M32Fit	140kV	350mA	深圳安科高技术股份有限公司

序号	辐射活动场所名称	装置分类名称	类别	活动种类	数量/台(套)	装置名称	规格型号	技术参数		生产厂家
								额定管电压	额定管电流	
10	放射科 CT 室 (二)	医用 X 射线计算机断层扫描(CT) 装置	Ⅲ类	使用	1	西门子双源	SOMATO M Force	150kV	1300mA	西门子
11	放射科 CT 室 (三)	医用 X 射线计算机断层扫描(CT) 装置	Ⅲ类	使用	1	256 排 CT	Revolutio	140kV	740mA	通用医疗
12	放射科 CT 室 (四)	医用 X 射线计算机断层扫描(CT) 装置	Ⅲ类	使用	1	Incisive CT Power	Incisive CT Power	140kV	667mA	苏州飞利浦
13	放射科 CT 室 (一)	医用 X 射线计算机断层扫描(CT) 装置	Ⅲ类	使用	1	Briliance CT 机	Briliance CT64Slice	140kV	500mA	荷兰飞利浦
14	放射科 DR 室	医用诊断 X 射线装置	Ⅲ类	使用	1	R-500 普放 X 射线机	R-500	125kV	500mA	通用公司
15	骨密度检测室	医用诊断 X 射线装置	Ⅲ类	使用	1	X 射线骨密度仪	MetriScan	60kV	0.333mA	MILES MEDICAL LLC
16	检查室二	医用诊断 X 射线装置	Ⅲ类	使用	1	DigitalDiagnost 型 DR	双板	150kV	900mA	荷兰飞利浦
17	检查室三	医用诊断 X 射线装置	Ⅲ类	使用	1	DR	Dptima	150kV	100mA	通用公司
18	检查室四	医用诊断 X 射线装置	Ⅲ类	使用	1	骨密度仪	LunarDXA	100kV	205mA	通用医疗

序号	辐射活动场所名称	装置分类名称	类别	活动种类	数量/台(套)	装置名称	规格型号	技术参数		生产厂家
								额定管电压	额定管电流	
19	检查室五	医用诊断 X 射线装置	Ⅲ类	使用	1	胃肠机	LuminosFusion 智捷	150kV	1000mA	上海西门子
20	检查室一	医用诊断 X 射线装置	Ⅲ类	使用	1	DigitalDiagnost 型 DR	单板	150kV	900mA	荷兰飞利浦
21	介入室(二)	血管造影用 X 射线装置	Ⅱ类	使用	1	DSA	InnovaIGS530	125kV	1000mA	通用医疗
22	介入室(三)	血管造影用 X 射线装置	Ⅱ类	使用	1	DSA	Artis QCefiling	125kV	1000mA	西门子
23	介入室(一)	血管造影用 X 射线装置	Ⅱ类	使用	1	DSA	Allura Xper FD20	125kV	1250mA	荷兰飞利浦
24	口腔科放射室	口腔(牙科) X 射线装置	Ⅲ类	使用	1	CBCT	锐珂 S9300C	90kV	15mA	锐珂
25	口腔科牙片室	口腔(牙科) X 射线装置	Ⅲ类	使用	1	牙片机	CS2100	60kV	7mA	锐珂
26	内科楼核医学科	医用 X 射线计算机断层扫描(CT)装置	Ⅲ类	使用	1	ECT	Precedence	140kV	500mA	荷兰飞利浦
27	乳腺检查室	医用诊断 X 射线装置	Ⅲ类	使用	1	乳腺机	Senographe ristina	49kV	150mA	通用电气医疗系统两合公司
28	医技大楼二楼碎石治疗室	医用诊断 X 射线装置	Ⅲ类	使用	1	碎石机	HK.ESW	100kV	50mA	深圳市慧康医疗器械有限公司

序号	辐射活动场所名称	装置分类名称	类别	活动种类	数量/台(套)	装置名称	规格型号	技术参数		生产厂家
								额定管电压	额定管电流	
29	直线加速器二	粒子能量小于100兆电子伏的医用加速器	Ⅱ类	使用	1	直线加速器	Trilogy	粒子能量 18MeV		美国 瓦里安
30	直线加速器一	粒子能量小于100兆电子伏的医用加速器	Ⅱ类	使用	1	直线加速器	PRIMUS	粒子能量 14MeV		德国 西门子

2、辐射管理规章制度管理情况

自贡市第一人民医院于 2025 年 1 月发布了《自贡市第一人民医院关于调整放射（辐射）防护与质量控制领导小组及明确职责的通知》，调整了医院放射防护与质量控制领导小组，并明确了相关职责。确定了以医院院长为组长的放射防护与质量控制领导小组，领导小组办公室设在疾病预防控制科，由疾病预防控制科负责人任主任，医务科、院感科、后勤保障科负责人任副主任专（兼）职负责办理领导小组的决议。

医院制定了相关辐射安全管理制度，主要包括辐射安全管理规定、辐射工作人员岗位职责、各类辐射工作设备操作规程、辐射安全和防护设施维护维修制度、辐射工作场所和环境辐射水平监测方案、放射源与射线装置台账管理制度、监测仪表使用与核验管理制度、辐射工作人员培训制度、辐射工作人员个人剂量管理制度、质量保证大纲和质量控制检测计划、辐射事故应急响应等多个管理制度，医院辐射安全管理制度的内容符合《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函〔2016〕1400 号）中的要求。各项管理制度实施情况：建设单位不同的工作场所有相应的操作规程，制度按规定上墙，满足设备运行辐射安全管理的需要，合理可行，并执行较好，建设单位自开展放射诊疗以来，未发生过辐射安全事件或者事故。

3、辐射安全培训情况

自贡市第一人民医院现有辐射工作人员共 390 人，2024 年医院对 167 名 III 类射线装置人员进行了辐射安全与防护培训知识的初步培训或复训，并进行考核，其他辐射工作人员均已参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）上的考试并取得相应的成绩报告单，医院所有辐射工作人员均持证上岗。

4、辐射工作人员个人剂量情况

自贡市第一人民医院现有辐射工作人员 390 名，每名工作人员均配有个人剂量计，根据检测结果，全院辐射工作人员个人剂量均低于 1.25mSv/季度的约束值以及职业人员 5mSv/年的管理限值。

5、年度监测

自贡市第一人民医院委托四川同佳检测有限责任公司开展了 2024 年度医院辐射工作场所的辐射环境现状监测工作，根据监测报告（同环（辐）检字（2024）第 0798 号），自贡市第一人民医院各射线装置运行过程中屏蔽体外 30cm 处 X- γ 辐射剂量率均低于 2.5 μ Sv/h；后装机治疗室屏蔽体周围各关注点 X- γ 辐射剂量率在 0.104 μ Sv/h~0.181 μ Sv/h 之间；核医学科及周围各关注点，储源室内保险柜表面 X- γ 辐射剂量率为 8.7 μ Sv/h，其余各监测点位 X- γ 辐射剂量率在 0.108 μ Sv/h~0.238 μ Sv/h 之间，核医学科内各监测点位 α 表面污染监测值均低于检出限（0.01Bq/cm²），核医学科控制区内 β 表面污染监测值在 0.27Bq/cm²~17.01Bq/cm² 之间，监督区内 β 表面污染监测值在 0.20Bq/cm²~0.42Bq/cm² 之间，均满足剂量率限值要求。

表 2：放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	^{90}Sr	$1.48 \times 10^9 \times 1$	V	使用	敷贴治疗	核素影像中心敷贴治疗室	核素影像中心储源间 2	利旧
2	^{90}Sr	$7.4 \times 10^8 \times 1$	V	使用	敷贴治疗	核素影像中心敷贴治疗室	核素影像中心储源间 2	利旧

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	¹³¹ I	液态	使用	9.62E+09	1.07E+09	8.66E+11	甲癌治疗	简单操作	医院门急诊 医技住院综合楼负一层 核医学科核素治疗中心	按需订购，暂存于核素治疗中心 储源间 1 内
	¹³¹ I	液态	使用	1.11E+09		1.11E+11	甲亢治疗	简单操作		
	¹³¹ I	液态	使用	1.48E+06		7.40E+07	甲吸测定	简单操作		
2	¹⁷⁷ Lu	液态	使用	1.48E+10	1.48E+09	2.96E+12	肿瘤治疗	简单操作		
3	¹⁶¹ Tb	液态	使用	7.40E+09	7.40E+08	7.40E+11	肿瘤治疗	简单操作		
4	¹⁵³ Sm	液态	使用	1.85E+09	1.85E+08	9.25E+10	肿瘤治疗	简单操作		
5	²²³ Ra	液态	使用	7.40E+06	7.40E+07	3.70E+08	肿瘤治疗	简单操作		
6	¹⁸⁸ Re	液态	使用	7.40E+08	7.40E+07	7.40E+10	肿瘤治疗	简单操作		
7	²¹¹ At	液态	使用	1.85E+08	1.85E+08	1.85E+10	肿瘤治疗	简单操作		
8	²²⁵ Ac	液态	使用	2.96E+07	2.96E+08	2.96E+09	肿瘤治疗	简单操作		
1	¹⁷⁷ Lu	液态	使用	3.72E+08	3.72E+07	4.26E+10	标记、动物实验	简单操作	医院门急诊 医技住院综合楼负一层 核医学科放药制备和小动物实验中心	按需订购，当日用完。
2	¹⁶¹ Tb	液态	使用	3.72E+08	3.72E+07	3.72E+10	标记、动物实验	简单操作		
3	²¹¹ At	液态	使用	1.67E+07	9.73E+07	1.12E+10	标记、动物实验	简单操作		
4	²¹² Pb	液态	使用	1.67E+07	8.85E+07	6.66E+08	标记、动物实验	简单操作		
5	²²⁵ Ac	液态	使用	1.67E+07	1.67E+08	6.66E+08	标记、动物实验	简单操作		
6	¹²³ I	液态	使用	5.55E+07	5.55E+05	6.66E+08	动物实验	简单操作		
7	¹⁸ F	液态	使用	3.71E+10	3.71E+08	1.85E+09	标记、动物实验、校准	简单操作		
8	⁶⁴ Cu	液态	使用	9.99E+07	9.99E+05	9.38E+11	标记、动物实验	简单操作		
9	⁸⁹ Zr	液态	使用	7.40E+06	7.40E+05	1.17E+09	标记、动物实验	简单操作		
10	⁸⁶ Y	液态	使用	5.55E+06	5.55E+05	2.47E+08	动物实验	简单操作		

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
11	⁴⁴ Sc	液态	使用	7.40E+06	7.40E+05	1.85E+08	标记、动物实验	简单操作		
12	¹²⁴ I	液态	使用	5.55E+06	5.55E+05	2.47E+08	动物实验	简单操作		
13	⁹⁰ Y	液态	使用	3.70E+08	3.70E+07	1.85E+08	动物实验	简单操作		
14	⁶⁸ Ga	液态	使用	2.81E+09	2.81E+07	1.11E+10	标记、动物实验	简单操作		
15	⁶⁸ Ge	液态	贮存	3.70E+09	3.70E+06	6.98E+11	淋洗制 ⁶⁸ Ga	源的贮存		
16	^{99m} Tc	液态	使用	1.30E+10	1.30E+07	9.25E+07	标记、动物实验、校准	很简单操作		
1	^{99m} Tc	液态	使用	1.30E+10	1.30E+08	3.24E+12	显像诊断	简单操作	医院门急诊 医技住院综合楼负一层 核医学科核素影像中心	按需订购，暂存于核素影像中心 储源间 2 内
		液态	使用	1.85E+07	1.85E+05	9.25E+08	SPECT/CT 校准	简单操作		
2	¹²³ I	液态	使用	9.25E+08	9.25E+06	4.63E+10	显像诊断	简单操作		
3	¹¹¹ In	液态	使用	7.40E+08	7.40E+07	3.70E+10	显像诊断	简单操作		
4	¹⁸ F	液态	使用	7.40E+09	7.40E+06	1.85E+12	显像诊断	很简单操作		
		液态	贮存	2.96E+10	2.96E+06	7.40E+12	贮存	源的储存		
5	⁶⁸ Ga	液态	使用	2.78E+09	2.78E+07	6.94E+11	显像诊断	简单操作		
6	⁶⁴ Cu	液态	使用	9.25E+07	9.25E+05	9.25E+09	显像诊断	简单操作		
7	¹²⁵ I	固态	使用	1.48E+10	1.48E+07	7.40E+11	肿瘤治疗	很简单操作		
8	³² P	液态	使用	1.48E+09	1.48E+08	3.7E+11	敷贴	简单操作		
9	⁸⁹ Sr	液态	使用	1.48E+09	1.48E+08	7.40E+11	骨癌治疗	简单操作		
10	⁹⁹ Mo	液态	贮存	1.85E+10	1.85E+07	9.25E+11	淋洗制 ^{99m} Tc	源的贮存		

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/min）	用途	工作场所
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗（含 X 射线 CT 诊断）、分析仪器等

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
1	PET/CT	Ⅲ类	1	uMI Panorama 35C	140	833	患者显像	核素影像中心 PET/CT 机房
2	SPECT/CT	Ⅲ类	1	NM/CT 870DR	140	440	患者显像	核素影像中心 SPECT/CT 机房
3	SPECT/PET/CT 三模态一体机	Ⅲ类	1	未定	80	0.6	小动物显像	放药制备和小动物实验中心 小动物 PET/SPECT 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（ μA ）	中子强度（n/s）	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度（Bq）	贮存方式	数量	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

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
3 台Ⅲ类射线装置	臭氧	气态	/	/	/	/	极少量	/	经通排风系统排至室外，臭氧在常温条件下可自动分解为氧气。
核素治疗中心	一次性口杯、一次性注射器、一次性输液器、擦拭废物、空药瓶、一次性手套、口罩、工作场所清洁废物，一次性防护服等活性炭过滤芯	固体	^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{161}Tb 、 ^{153}Sm 、 ^{223}Ra 、 ^{188}Re 、 ^{211}At 、 ^{225}Ac	/	/	3788kg/a	/	共设置 6 间放射性废物间，废物间内设放射性固废箱，放射性废物间 6 内设冰柜。 实验后动物尸体及组织分类袋装后放入冰柜中暂存衰变，其他放射性固废分类收集后放入固废箱内暂存衰变。 废弃的活性炭过滤芯放入放射性废物间内暂存衰变。	满足暂存期限并监测达标后动物尸体或组织交由有资质单位无害化处理，其他放射性固废转入医院医疗固废暂存间做为医疗固废进行下一步处理。废弃的锗镓发生器、钼铈发生器及锝-90 放射源交由厂家回收处置。如有废弃的碘-125 粒子源产生，统一收集后交由厂家回收处置。废气处理装置更换下来的活性炭吸附滤芯应在放射性固废间暂存并经监测达标后，作为危险废物交由有资质单位处理。
放药制备和小动物实验中心	标记失败废药、废西林瓶、滴管、卡套、质检废液（卫生纸/脱脂棉球吸取）、废弃培养皿、棉签、一次性手套、动物尸体和组织、动物饲养垫料及	固体	^{18}F 、 ^{44}Sc 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{86}Y 、 ^{89}Zr 、 ^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 、 ^{124}I 、 ^{161}Tb 、 ^{177}Lu 、 ^{211}At 、 ^{212}Pb 、 ^{225}Ac 、 ^{68}Ge	/	/	840kg/a	/		

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
	排泄物、手术铺巾、垫纸、废锗镓发生器等活性炭过滤芯								
核素显像中心	一次性注射器、棉签、口罩、手套、空药瓶以及擦拭废物、废敷贴器、废 ¹²⁵ I 粒籽源、废弃钼铈发生器、废放射源等活性炭过滤芯	固体	^{99m} Tc、 ¹²³ I、 ¹¹¹ In、 ¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁴ Cu、 ³² P、 ¹²⁵ I、 ⁹⁹ Mo、 ⁹⁰ Sr	/	/	867.5kg/a	/		
废气处理装置	废活性炭	固体	/	/	/	约 1000kg/a	/		
核素治疗中心	病人的排泄清洗废水、淋浴废水、辐射工作人员清洗废水、场所清洁废水	液体	¹³¹ I、 ¹⁷⁷ Lu、 ¹⁶¹ Tb、 ¹⁵³ Sm、 ²²³ Ra、 ¹⁸⁸ Re、 ²¹¹ At、 ²²⁵ Ac	/	/	381.6m ³ /a	总 α ≤1Bq/L； 总 β ≤10Bq/L	核素治疗中心、放药制备和小动物实验中心废水排入医院长周期衰变池暂存衰变；	放射性废水达到衰变时间要求并监测达标后排入医院普通污水管网进行后续处理。
放药制备和小动物实验中心	辐射工作人员清洗废水	液体	¹⁷⁷ Lu、 ¹⁶¹ Tb、 ²¹¹ At、 ²¹² Pb、 ²²⁵ Ac、 ¹²³ I、 ¹⁸ F、 ⁶⁴ Cu、	/	/	37.5m ³ /a	总 α ≤1Bq/L； 总 β ≤10Bq/L		

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
			^{89}Zr 、 ^{86}Y 、 ^{44}Sc 、 ^{124}I 、 ^{90}Y 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$						
核素显像中心	病人的排泄清洗废水、辐射工作人员清洗废水、场所清洁废水	液体	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 、 ^{111}In 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu	/	/	246m ³ /a	总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$		
放射性废气		气体	^{131}I 、 ^{18}F 、 ^{44}Sc 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{86}Y 、 ^{89}Zr 、 ^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 、 ^{124}I 、 ^{161}Tb 、 ^{177}Lu 、 ^{211}At 、 ^{212}Pb 、 ^{225}Ac 、 ^{68}Ge 、 ^{90}Sr 、 ^{32}P	/	/	微量	微量	不暂存	热室柜、手套箱、通风橱、生物安全柜顶部设有活性炭过滤装置，放射性废气经过滤吸附后与其它区域放射性废气统一经排风机抽至门急诊医技住院综合楼楼顶，再经活性炭吸附装置过滤后经排气口排放。

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) 《中华人民共和国环境保护法》(2015 年 1 月 1 日实施)； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法(2018 年修订)》(2018 年 12 月 29 日实施)； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(2003 年 10 月 1 日实施)； (4) 《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》(国务院 682 号令)； (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2005 年 9 月 14 日国务院第 449 号令发布，2019 年 3 月 2 日《国务院关于修改部分行政法规的决定》(国务院令第 709 号)对其进行了修改)； (6) 《放射性废物安全管理条例》(国务院令第 612 号)； (7) 《四川省辐射污染防治条例》(四川省十二届人大常委会第 24 次会议通过，2016 年 6 月 1 日实施)； (8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环境保护部第 18 号令)； (9) 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》(环境保护部/国家卫生和计划生育委员会，公告 2017 年第 66 号)； (10) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》(环境保护部工业和信息化部国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号)； (11) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2006 年 1 月 18 日国家环境保护总局令第 31 号公布，2017 年 12 月 12 日《环境保护部关于修改部分规章的决定》(部令第 47 号)对其进行了修改，2019 年 8 月 22 日《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》(生态环境部令第 7 号)对其进行了修改，2021 年 1 月 4 日经生态环境部令 第 20 号修改)； (12) 《建设项目环境影响评价分类管理目录》(2021 版)(中华人民共和国生态环境部第 16 号令)； (13) 《产业结构调整指导目录(2024 年本)》(国家发展和改革委员会)
------------	---

	委员会令第7号)； (15)《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部公告2019年第57号，2020年1月1日施行)； (16)《关于进一步优化辐射安全考核的公告》(生态环境部公告2021年第9号)； (17)《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)>的通知》(川环函[2016]1400号)。
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)《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)； (4)《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)； (5)《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)； (6)《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)； (7)《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)； (8)《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》(GBZ244-2017)； (9)《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)； (10)《核技术利用放射性废物最小化》(HAD401/11-2020)； (11)《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)； (12)《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)； (13)《医学与生物学实验室使用非密封放射性物质的放射卫生防护基本要求》(WS457-2014)； (14)《粒籽源永久性植入治疗放射防护要求》(GBZ1788-2017)。
其 他	(1)生态环境部(国家核安全局)《核技术利用监督检查技术程序》(2020年发布版)； (2)《辐射防护手册》(第一分册、第三分册)，李德平、潘自强主编，原子能出版社； (3)《辐射防护导论》，方杰主编，原子能出版社； (4)《电离辐射剂量学》，李士骏编，原子能出版社； (5)《放射卫生学》，章仲侯主编，原子能出版社；

	(6) 《γ射线屏蔽参数手册》，中国科学院工程力学研究所编，原子能出版社； (7) 《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）； (8) 项目委托书及建设单位提供的工程设计图纸及相关技术参数资料。
--	---

表 7：保护目标与评价标准

评价范围 根据本项目的特点并参照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中“核技术利用建设项目环境影响评价报告书的评价范围和保护目标的选取原则：放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目评价范围，乙级取场所边界 50m 的范围”，确定本次评价范围为各非密封放射性物质工作场所实体屏蔽墙体外周边 50m 范围内作为评价范围。					
保护目标 本项目各非密封放射性物质工作场所周围 50m 范围均位于医院院界范围内，50m 评价范围内无学校、居民区等环境敏感点。本项目辐射环境保护目标为医院辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患和陪同家属等公众。由于电离辐射水平随着距离的增加而衰减，因此选取离工作场所较近、有代表性的环境保护目标进行分析，具体见表 7-1。					
表 7-1 本项目环境保护目标一览表					
场所	保护名单	人数	方位	位置	距离辐射源的距离（m）
核素治疗中心	职业	6 人	核素治疗中心内	备药室 1、核素病房 1~5、医生办公室、护士站、配药室、治疗室等	0.5~30
	核素治疗中心周围公众（患者，陪护人员、医院工作人员）	约 20 人	东侧、北侧	普通病房区、医护人员办公区等； 楼梯间	2~50
		约 200 人	楼上一层	健康管理中心餐厅、院区内道路、绿化带、空调机房等	6.0
		约 30 人	楼下负二层	制冷机房、送风机房、库房、备用设备用房、卫生间、直加控制室等。	3.9
放药制备和小动物实验中心	职业人员	8 人	放药制备区和小动物实验区内	热室、净化走廊、内毒素实验室、阳性对照室、无菌检测室、小动物 PET/SPECT 机房及控制室、操作间、动物暂存间等	0.5~30
	周围公众（患者，陪护人	约 15 人	东侧、南侧、北侧	患者电梯厅、候诊区、问诊室、会议室、办公室、库房、走廊	2~50

核素影像中心	员、医院工作人员)			等	
		约 10 人	楼上一层	院内道路、绿化带等	6.0
		约 10 人	楼下负二层	放疗控制室、辅助机房、医废暂存间、库房等	3.9
	职业人员	10 人	核素影像中心内	敷贴治疗室、备药室 2、运动负荷室、各显像机房及控制室、走廊等	0.5~25
	周围公众(患者, 陪护人员、医院工作人员)	约 30 人	东侧、南侧、北侧	候诊区、护士站、库房、走廊、空调机房、值班室、会议室等; 卫生间、电梯间、楼梯间、实验废水设备处理间、排风机房、变配电所等; 核医学科患者出口, 楼梯间、卫生间、变配电所等;	2~50
		约 100 人	楼上一层	健康管理中心大厅、前台、个体接待室、CT、DR, 室外走廊等	6.0
		约 30 人	楼下负二层	放疗室病人等候区、留观室、定位 CT、深部热疗、浅部热疗、辅助用房等	3.9

评价标准

一、环境质量标准

(1) 地表水环境质量执行《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) 中Ⅲ类标准;

(2) 臭氧需满足室外臭氧《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 中二级浓度限值中 1 小时均值 $\leq 0.2\text{mg}/\text{m}^3$, 同时满足室内臭氧《室内空气质量标准》(GB/T18883-2002) 中 1 小时均值 $\leq 0.16\text{mg}/\text{m}^3$;

(3) 声环境质量执行《声环境质量标准》(GB3096-2008) 中 2 类标准。

二、污染物排放标准

(1) 医疗废水执行《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005) 表 2 中预处理标准;

(2) 废气执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 中的二级标准;

(3) 施工期噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011) 相关标准; 运营期噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 中的 2 类标准。

三、辐射环境影响评价标准

1、剂量约束值

①职业照射: 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 第 4.3.2.1 条的规定, 对任何工作人员, 由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯平均) 20mSv 。四肢(手和足)或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv 。本项目按上述标准限值的 1/4 作为本项目所在院区职业照射年有效剂量管理限值, 即 5mSv/a 。

②公众照射: 第 B1.2.1 条的规定, 实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过年有效剂量 1mSv 。本项目所在院区按上述标准中规定的公众照射年有效剂量限值的 1/10 执行, 即 0.1mSv/a 管理限值。

2、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)

(1) 第 6.1 款 屏蔽要求

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

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

(2) 通排风要求

6.3 密闭和通风要求

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

6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。

(3) 放射性废水排放标准

7.3.3.1 款，对于槽式衰变池贮存方式：

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

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L 、总 β 不大于 10Bq/L 、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L 。

(4) 放射性废物清洁解控水平

7.2.3.1 款，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/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

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

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半

衰期的 10 倍；

c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

3、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

第 6.1.5 点 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、改建和扩建项目和技术改造、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 7-2 要求。

表 7-2 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

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

第 6.2.1 点 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 7-3 要求。

表 7-3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

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

第 6.2.3 点 机房的门和窗关闭时应满足表 7-3 的要求。

第 6.3.1 点 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

b) CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5 μSv/h；

4、放射性表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 B11 工作场所的放射性表面污染的控制水平见表 7-4。

表 7-4 工作场所的放射性表面污染控制水平 （单位：Bq/cm²）

表面类型		α放射性物质		β放射性物质
		极毒	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	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

表 8：环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、场所现状

本项目核医学科位于四川省自贡市大安区东城内环路自贡市第一人民医院东部新城院区门急诊医技住院综合楼内，现场踏勘时，医院主体基本建成，核医学科拟建地现场环境情况见图8-1。



医院大门处



门急诊医技住院综合楼



拟建核素影像区内部



拟建核素治疗区病房

图 8-1 核医学科场所现状

二、监测对象、监测因子和监测点位

本次评价内容为使用非密封放射性物质（乙级非密封放射性物质工作场所）、Ⅲ类射线装置、Ⅴ类放射源，主要的污染因子为电离辐射，核医学科配套设计建设放射性废水衰变池，对放射性废水进行收集和衰变处理，设计建设通排风管道及放射性废气过滤装置处理放射性废气，设计建设放射性固废暂存间收集暂存放

射性固废，场所内地面拟采取有效的防渗措施，对环境空气、地表水及地下水影响较小，因此本次评价没有对区域环境空气质量、地表水和地下水环境质量进行监测评价，重点对评价区域开展了辐射环境现状监测评价。

为掌握项目所在地辐射水平，本次评价由四川省核工业辐射测试防护院（四川省核应急技术支持中心）对本项目所在位置的辐射环境进行了监测，监测结果见表 8-2、表 8-3。

1、监测方法与标准

- (1) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；
- (2) 《表面污染测定 第一部分：β发射体（Eβmax>0.15MeV）和α发射体》（GB/T 14056.1-2008）。

2、监测点位布设

医院目前为在建状态，评价范围内没有电离辐射源。根据本项目各辐射工作场所布置情况及外环境关系，本次在核医学科三个乙级场所内、核医学上方一层、下方负二层、拟建衰变池上方草坪处、医院北侧大门口共设置 7 个 X-γ辐射剂量率监测点位，在核医学科三个乙级场所内、核医学上方一层、下方负二层共设置 5 个α、β表面污染监测点位。上述点位能较好反映核医学科内及周围辐射环境本底现状，其监测点位布设合理。

3、监测时间及现场环境状况

监测日期：2024 年 12 月 20 日
监测时环境温度：11.2℃~11.7℃；环境湿度：62.3%~62.9%；天气状况：阴。

4、监测因子、监测方法及监测仪器

表 8-1 监测因子、监测方法及监测仪器一览表

监测因子	监测方法	监测仪器	检出限
X-γ辐射剂量率	《环境γ辐射剂量率测量技术规范》 (HJ1157-2021)	仪器名称：便携式 X-γ剂量率仪 仪器型号：BH3103B 仪器编号：082 能量响应范围：25keV~3MeV 检定单位：四川省自然资源实验测试研究中心（四川省核应急技术支持中心） 证书编号：校准字第 J20240201002 号 校准日期：2024-02-27 有效日期：2025-02-26	1~10000 (×10 ⁻⁸ Gy/h)
α表面污	《表面污染测定	仪器名称：α、β表面沾污仪	α道：

染活度、 β 表面污染活度	第一部分： β 发射体 ($E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$)和 α 发射体》 (GB/T 14056.1-2008)	仪器型号：LB124 仪器编号：10-9577 能量响应范围：50keV~1.3MeV 检定单位：四川省自然资源实验测试研究中心（四川省核应急技术支持中心） 证书编号：J20240602009 号 校准日期：2024-06-03 有效日期：2025-06-02	0~5000cps; β 道： 0~50000cps
环境温度、环境湿度	/	仪器名称：手持气象站 仪器型号：NK5500 仪器编号：2204880 环境温度分辨率：0.1℃ 环境湿度分辨率：0.1% 校准单位：成都市计量检定测试院 证书编号：第 24016637229 号 校准日期：2024-03-14 有效日期：2025-03-13	/

5、质量保证

本次监测单位为四川省核工业辐射测试防护院（四川省核应急技术支持中心），具有中国国家认证认可监督管理委员会颁发的资质认定证书（编号：220020341133），并在许可范围内开展监测工作和出具有效的监测报告，保证了监测工作的合法性和有效性。具体质量保证措施如下：

①监测前制定监测方案，合理布设监测点位，使监测结果具有代表性，以保证监测结果的科学性和可比性；

②严格按照监测单位《质保手册》、《作业指导书》开展现场工作；

③监测仪器每年经过计量部门检定后使用；每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；

④监测人员经考核并持有合格证书上岗；

⑤根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），布设监测点位置和高度，兼顾监测技术规定和实际情况，监测结果具有代表性和针对性；

⑥监测时获取足够的数据量，以保证监测结果的统计学精度。监测中异常数据以及监测结果的数据处理按照统计学原则处理；

⑦建立完整的文件资料。仪器校准（测试）证书、监测方案、监测布点图、测量原始数据、统计处理程序等全部保留，以备复查；

⑧检测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术负责人审

定。

6、监测结果

监测结果见表 8-2、表 8-3。

表 8-2 X-γ辐射剂量率监测结果

编号	测量点位置	X-γ辐射剂量率 ($\times 10^{-8}\text{Gy/h}$)	标准差 ($\times 10^{-8}\text{Gy/h}$)
1	拟建核素治疗中心准备间（备药室 1）	13.0	0.38
2	拟建放射性药物实验中心药物标记室 （放药制备和小动物实验中心热室）	13.4	0.33
3	拟建核素影像中心 PET-CT 室	13.2	0.25
4	拟建核医学科上方一层体检餐厅	10.5	0.35
5	拟建核医学科下方负二层远程会议室	10.4	0.34
6	拟建衰变池上方草坪处	9.2	0.27
7	医院北侧大门口	9.8	0.30

注：X-γ辐射剂量率监测结果均未扣除宇宙射线响应值。

表 8-3 表面污染活度监测结果

编号	测量点位置	α 表面污染活度 (Bq/cm^2)		β 表面污染活度 (Bq/cm^2)	
		监测值	标准差	监测值	标准差
1	拟建核素治疗中心准备间地面（备药室 1）	<0.01	/	0.10	0.006
2	拟建放射性药物实验中心药物标记室地面 （放药制备和小动物实验中心热室地面）	<0.01	/	0.09	0.006
3	拟建核素影像中心 PET-CT 室地面	<0.01	/	0.08	0.008
4	拟建核医学科上方一层体检餐厅地面	<0.01	/	0.14	0.006
5	拟建核医学科下方负二层远程会议室地面	<0.01	/	0.01	0.006

根据表 8-2，在拟建核医学内及周围各监测点 X-γ 辐射剂量率范围为 $9.2 \times 10^{-8}\text{Gy/h} \sim 13.4 \times 10^{-8}\text{Gy/h}$ ，即 $92\text{nGy/h} \sim 134\text{nGy/h}$ ，与《2023 年四川省生态环境状况公报》中全省辐射环境自动监测站实时连续监测空气吸收剂量率范围（ $\leq 70\text{nGy/h} \sim 160\text{nGy/h}$ ）对比，属于当地正常天然本底辐射水平。

根据表 8-3，在拟建核医学内及核医学科上下层 α 表面污染浓度监测结果均低于检出限，β 表面污染浓度监测结果为 $0.01\text{Bq/cm}^2 \sim 0.14\text{Bq/cm}^2$ ，均属于正常本底水平。

表 9：项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、施工期

本项目主体工程土建施工环境影响已包含在主体工程环境影响评价报告中，本次评价不涉及。医院于 2021 年 7 月完成了“自贡市内自同城区域医疗中心项目”的环评，并取得自贡市生态环境局的准予行政许可决定书，文号为：自环准许（2021）24 号。同时，于 2021 年 8 月先后完成了“川南心脑血管疾病紧急救援中心建设项目”、“川南灾害医学紧急救治中心项目”及“自贡市公共卫生临床中心建设项目”的环评，并取得自贡市生态环境局的准予行政许可决定书，文号分别为：自环大安准许（2021）10 号、11 号及 12 号。

本项目施工期主要是核医学科内屏蔽及装修施工阶段和设备安装、调试阶段。建设过程中要保证屏蔽墙体没有漏缝，使用的水泥标号、实心砖、硫酸钡的密度及厚度要满足设计要求，同时要防止噪声扰民。

本项目装修施工期主要环境影响因素为噪声、施工废水、建筑粉尘和建筑垃圾等。装修时应注意施工方式，保证各屏蔽体有效衔接，各屏蔽体应有足够的超边量，墙与墙之间须紧密贴合，防护门与墙的重叠宽度至少为空腔的 10 倍，门的底部与地面之间的重叠宽度至少为空腔的 10 倍，注射给药窗和观察窗等与墙体至少重叠 5cm，且采用硫酸钡涂料灌缝，避免各屏蔽体之间有漏缝产生，防止辐射泄漏。

本项目屏蔽及装修需在建设单位的严格监督下，施工方遵守文明施工、合理施工的原则，做到各项环保措施，可使其对环境的影响降至最低程度。施工结束后，项目施工期环境影响将随之消除。

本项目所有设备的安装、调试，均由设备厂家专业人员进行，建设方和医院方不得自行安装及调试设备。在射线装置安装过程中，会产生少量包装废弃物；在射线装置安装调试阶段，主要污染因素为 X 射线、臭氧和少量包装废弃物。医院应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房必须上锁并派人看守。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入设备区域，防止辐射事故发生。

二、营运期

(一) 核素治疗中心

1、治疗原理

碘-131:

(1) 甲状腺吸碘功能测定

甲状腺吸 ^{131}I 功能实验是了解甲状腺碘代谢的常用方法。甲状腺具有摄取和浓聚碘的能力，碘参与甲状腺激素合成、分泌的全过程。在空腹条件下，口服放射性 ^{131}I 后，经胃肠吸收并随血流进入甲状腺，并迅速被甲状腺滤泡上皮细胞摄取，其摄取量与速度与甲状腺的功能密切相关。因此，利用甲状腺功能测定仪获得不同时间的甲状腺摄碘率，以此来评价甲状腺的功能状态。

(2) 甲亢治疗

甲状腺具有高度选择性摄取 ^{131}I 的能力，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多，可高达血浆的几百倍，且在甲状腺内停留的时间较长，有效半衰期可达 3.5~5.5 天。在患者服用 ^{131}I 后，90%以上的 ^{131}I 都会聚集到患者的甲状腺，其余的 ^{131}I 随代谢排出体外。 ^{131}I 衰变为 $^{131}\text{I Xe}$ 时放射出 95%的 β 射线，该射线能量低，在甲状腺内的平均射程仅有 0.5mm，一般不会对甲状腺周围组织例如甲状旁腺、喉返神经等的辐射损伤。因此， ^{131}I 治疗可使部分甲状腺组织受到 β 射线的集中照射，使部分甲状腺细胞发炎症、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的功能恢复正常，达到治疗的目的。

(3) 甲癌治疗

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

镭-211: 镭-211 的半衰期 (约 7.2 h) 足以确保它在进入体内后有足够时间发挥治疗作用，而不会产生过长的辐射暴露，因而减少了对正常组织的损害。此外，镭-211 的 α 粒子具有穿透距离短、能量高的特点，能够精准杀伤癌细胞，而不会影响周围健康组织。这一特点使得镭-211 特别适用于高选择性和高效的靶向治疗，在恶性胶质瘤等难治性癌症的治疗中展现了巨大潜力。

锕-225: 为 α 治疗核素，主要发射 α 射线，具有较 β 射线更高的传能线密度，

可以直接损伤细胞的 DNA，具有极强的细胞杀伤能力，其在组织中的穿透距离为 50-90 μm ，是细胞直径的尺度，在锕[^{225}Ac]的衰变过程中，可以高效地释放 α 射线，可对周围病变细胞造成电离辐射，进而抑制病变细胞的生长甚至杀死病变细胞。锕-225 根据不同载体治疗不同类型肿瘤，如用于前列腺癌、神经内分泌、肾上腺或肾上腺外的嗜铬组织肿瘤等。

镭-223：是一个很好的 α 粒子辐射源，射程范围非常短，化学性质与钙类似，可以与骨骼中的羟基磷灰石（HAP）形成复合物，且具有很好的亲骨性，尤其是骨转移病理骨增生活跃的区域，镭-223 发射的 α 粒子引发电离作用，使邻近肿瘤细胞中的双链 DNA 断裂，从而引发强烈的细胞毒效应。由于 α 粒子辐射半径非常小，只有十分之一毫米，所以能够最大限度地减少对周围正常组织的伤害。镭-223 能够延长前列腺癌骨转移患者的生存期，减少前列腺癌骨转移不良情况的发生，如病理性骨折等，并改善患者的生活质量。

镭-177、钷-161、铈-188、钐-153：用于肿瘤患者治疗，其原理是利用放射性核素参与人体代谢高浓度聚集在特定组织内，其发射的 β 射线可对周围病变细胞造成电离辐射，进而抑制病变细胞的生长甚至杀死病变细胞。镭-177 为 β 治疗核素，根据其载体的不同治疗不同类型的肿瘤，如神经内分泌肿瘤、前列腺癌、骨转移瘤及其他各种实体肿瘤等，钷-161 与广泛使用的放射性核素镭-177 性质相似，且疗效更好，为新型的放射性治疗核素。初步研究表明，在相同的活度下，钷-161 在肿瘤治疗方面比镭-177 更有效。铈-188 能够较其他放射性药物更快地缓解疼痛，铈-188 发射的 β 粒子具有 10 mm 相对较长的射程，主要用于治疗前列腺癌。钐-153 发射的 β 射线具有射程短、能量高、能量超出范围迅速衰减的特点，适用于恶性肿瘤等疾病的临床内照射治疗， $^{153}\text{Sm-EDTMP}$ （ethylene diamine tetramethylene phosphonic acid 乙二胺四亚甲基磷酸）有很高的亲肿瘤特性和亲骨性，进入体内后同钙一样参加骨矿物质的代谢过程，静脉给药后，恶性肿瘤骨转移病灶内的摄取率大于正常骨组织的 2~25 倍，并滞留在癌灶中，发射出 β 射线，利用其辐射效应杀伤癌细胞，缩小病灶，起到良好的镇痛作用。

2、治疗流程及产污环节

（1）甲状腺吸碘功能测定检查流程如下：

- ①接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害；
- ②医生根据病情确定使用碘-131 的剂量；

③工作人员在备药室 1 的手套箱内将 ^{131}I 药物分装后，交给服碘室窗口外的患者口服，单个病人服药量最大为 $5\mu\text{Ci}$ ，服药后患者甲吸、甲亢患者专用出口通道直接离开核医学科；

④患者分别于服药后 3h 和 24h 重新进入核素治疗中心甲吸室进行甲状腺功能测定，检查完毕由核医学科甲吸、甲亢患者专用出口通道离开核医学科。

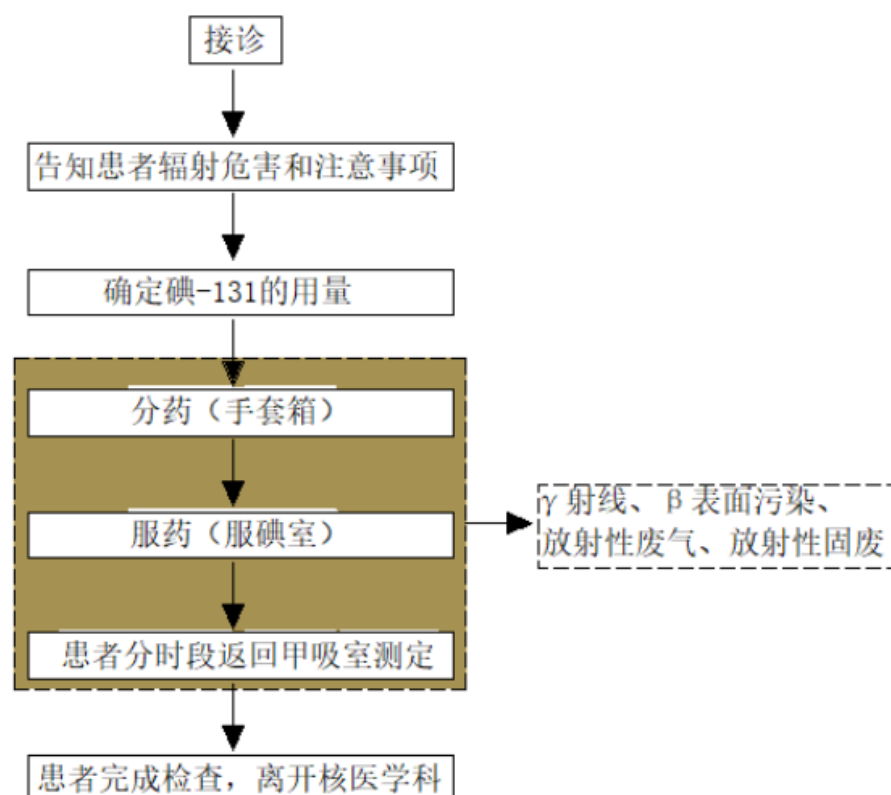


图 9-1 ^{131}I 甲状腺功能测定治疗工艺流程及产污环节

(2) 甲亢、甲癌患者治疗流程：

①接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害；

②医生根据病情确定使用核素的剂量；

③工作人员利用自动分碘仪远程将药物进行分装，远程指导患者服药；

④患者进入服碘室口服 ^{131}I 药品进行治疗。一般甲亢患者服药后在甲亢留观室观察约 0.5h，如无异常情况，可由甲吸、甲亢患者专用出口通道离开医院；甲癌患者则口服药物后进入甲癌治疗病房（核素病房 6~7）住院治疗。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 B 规定，接受 ^{131}I 治疗的患者其体内放射性活度降至低于 400MBq 之前不得出院。

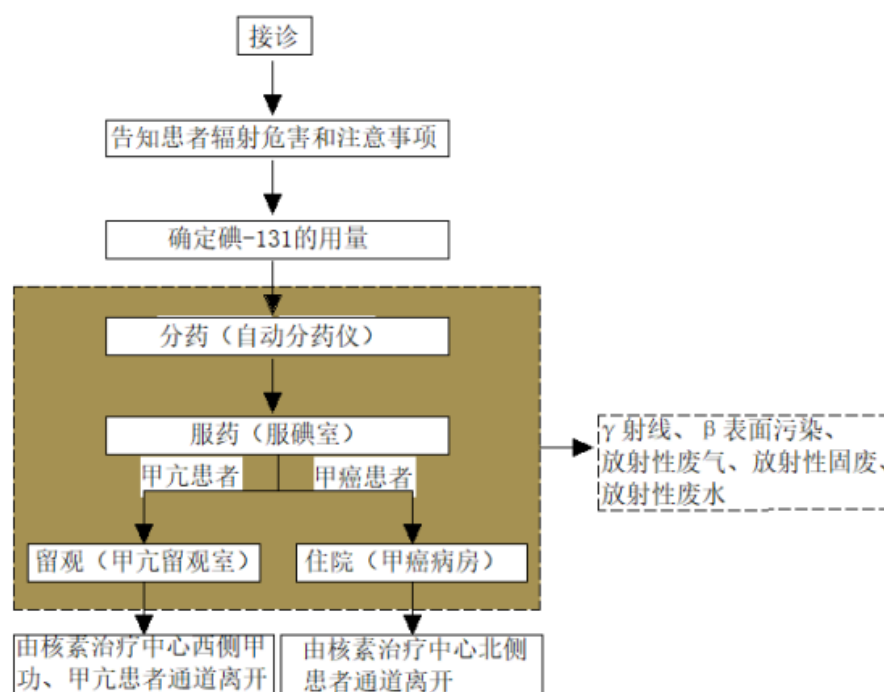


图 9-2 ^{131}I 甲亢及甲癌治疗工艺流程及产污环节

(3) 核素镱-177、铽-161、钐-153、镭-223、镱-188、碲-211、铟-225 治疗流程:

①接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害；

②医生根据病情确定使用核素的种类和剂量；

③注射类用药一般都由厂家将分装好的针剂送往医院，工作人员在备药室 2 的手套箱内对核素进行针剂消毒、输液药品配置准备，活度测量等操作；

④接受钐-153、镭-223、镱-188、碲-211、铟-225 治疗的患者，在注射室接受针剂注射后，进入其它核素病区病房（核素病房 1~5）住院留观；接受镱-177、铽-161 治疗的患者，现在注射室接受留置针植入，然后进入其它核素病区病房（核素病房 1~5），由护士将放射性药物放入 20mm 厚铅盒内并用推车转运至病房内，以输液的方式注入患者体内；

⑤患者进行 3 天的住院留观后，由核素治疗中心北侧患者通道离开核医学科。

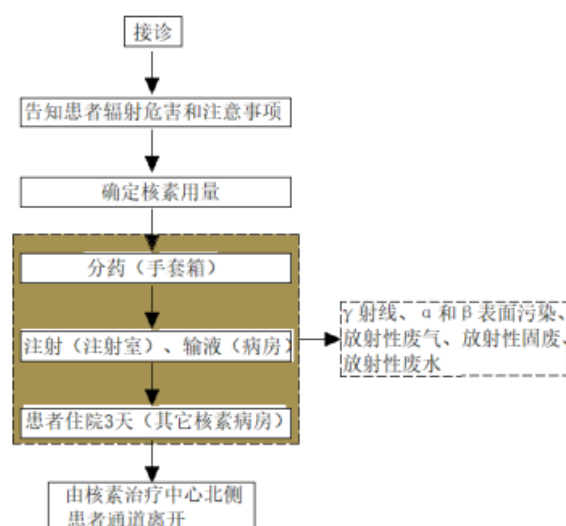


图 9-3 其它核素治疗流程及产污环节

(二) 放药制备和小动物实验中心

1、药物标记分装及质控

(1) 工作内容

①放射性药物标记合成分装

本项目放药制备和小动物实验中心药物制备区主要进行核素镓-177、铽-161、碲-211、铅-212、钨-225、氟-18、铜-64、锆-89、钪-44、镓-68 的标记分装，镓-68 由锗镓发生器淋洗产生，拟设置一台锗镓发生器专用标记热室柜自动进行淋洗标记合成，其余核素拟设置一台全自动标记热室柜进行放射性药品标记合成，另设置一台分装柜人工完成所有标记合成后的放射性药品分装。热室内共设置 2 台标记合成热室柜加 1 台分装热室柜。

②放射性药物质控

热室内完成标记合成的放射性药品和核素显像区钼钨发生器淋洗标记制得的钨-99 需进行药物质控，本项目设有药物质控区，进行放射性化学纯度、比活度、PH 值、无菌、内毒素、氨基聚醚与残留溶剂及阳性对照等实验测定，每种药物进行质控的最大活度为 $1.85\text{E}+06\text{Bq}$ ($50\mu\text{Ci}$)。

(2) 工艺流程及产污

①锗镓发生器淋洗标记

1) 淋洗原理

$^{68}\text{Ge}-^{68}\text{Ga}$ 发生器是一种由母体核素 ^{68}Ge 衰变制备 ^{68}Ga 正电子显像药物的装置， $^{68}\text{Ge}-^{68}\text{Ga}$ 发生器属于色谱柱型发生器，用二氧化锡作吸附柱。二氧化锡对

母体核素 ^{68}Ge 有很强的亲和力，子体核素 ^{68}Ga 则几乎不被吸附。用生理盐水淋洗吸附柱，则仅有 ^{68}Ga 被洗出。由于母体核素的不断衰变就不断地产生子体核素，因而核素发生器可以反复淋洗制得子体核素。常见 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器外观图见下图。



图 9-4 常见 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器外观图

2) 淋洗制备

将锗镓发生器购入后放入专用热室柜中，用 75%酒精棉球擦拭发生器的单针、双针和 HCl 淋洗溶液小瓶、负压瓶盖进行消毒，先将 HCl 淋洗溶液小瓶插入发生器的双针，然后将置入钨合金罐的负压瓶插入发生器的单针。借助负压瓶的负压，使淋洗溶液淋洗发生器的吸附柱，这时由母体 [^{68}Ge] 衰变而得到的子体放射性核素 [^{68}Ga] 即被洗脱入负压瓶中，获得淋洗液，取走前一个负压瓶后，用另一负压瓶插至单针上，吸干吸附柱。发生器最大淋洗率约 80%。

3) 标记

淋洗完成后，通过正压等自动化装置将 ^{68}Ga 氯化物溶液转移至自动合成仪内的反应瓶内，并加入反应缓冲液、小分子溶液等，然后启动自动合成仪进行合成反应（80-99°C 加热），获得 ^{68}Ga 小分子注射液。

② 其它 9 种放射性药品标记合成

热室内另一台合成热室柜内设置不同的模块，可对不同的放射性核素进行标记合成。根据当日需要标记合成的放射性药品量按需订购放射性核素，放射性核素由厂家通过医院专用通道送入热室中，工作人员将核素外包装拆除后从热室柜下端入口放入热室柜相应的模块中。核素在洁净合成模块中合成过程中，无需人员干预，核素药品在洁净合成模块的合成均采用计算机程序自动控制。

③ 放射性药品质检、分装

放射性药品完成标记合成后，收集在安瓿瓶中，工作人员将药瓶装入铅罐后，从合成热室柜将药品转移到分装热室柜中，从中抽取药物样品 $1.85\text{E}+06\text{Bq}$

(50 μ Ci) 至无菌瓶内，放至专用的铅罐中，送至质控区，对放射性药物的性状、放射性活度及浓度、pH 值、放射化学纯度等进行即时检验，经即时质检，药品满足《药品管理法》和《放射性药品管理办法》等相关法律法规要求后，方开展后续患者显像或小动物实验工作。

放射性药物在经质检合格后，将药品装至各个贴有内标签（注明药物品名、放射性比活度、装量等）的西林瓶中，西林瓶的装药活度根据当日核素显像区和动物实验所需药量确定，将西林瓶进行密封后置于铅罐中，分别送往核素显像区和小动物实验区。

本项目放射性药品标记合成、质检及分装工艺流程及产污环节见下图。

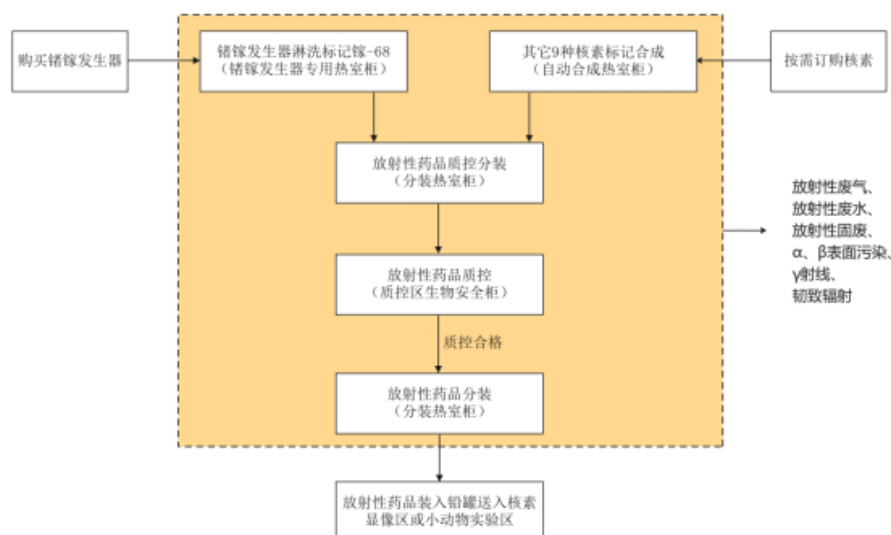


图 9-5 药物制备区工艺流程及产污环节

2、小动物实验

(1) 实验内容

本项目使用大小鼠进行放射性药物成像实验和非成像实验研究，共涉及使用 15 种核素药品，其中氟-18、钪-44、铜-64、镓-68、钇-86、锆-89、锝-99m、碘-123、碘-124 共计 9 种核素进行动物显像实验，钇-90、镭-177、铽-161、碲-211、铅-212、铜-225 共计 6 种核素进行动物治疗实验。实验用放射性药品来源见表 1-7 备注说明。

本项目每日最多进行 3 种核素的动物实验，主要流程为：动物注射→动物饲养、观察→动物显像（部分）→动物解剖（部分）→动物尸体处理等。

(2) 工艺流程及产污环节

①药品分装

用于小动物实验的放射性药品在操作间的通风橱内分装到注射器内，分装操作时间10min/d。

②动物注射

给药前动物饲养：本项目大鼠、小鼠向具有资质的实验动物生产单位按需订购，日最大实验动物量 30 只/天，订购的大小鼠进入动物暂存间饲养，饲养期间一般小鼠 5 只/笼，大鼠 1 只/笼。

工作人员将大、小鼠从动物暂存间转移到操作间的操作台上，将实验大、小鼠施以异氟烷麻醉后，在通风橱内进行注射给药。本项目动物实验每日最多操作 3 种核素，每种核素动物用量最多 10 只/天，每天动物注射给药操作时间最多 30min。

③动物饲养、观察

给药后的动物通过手提式屏蔽笼具转移到动物暂存间给药后饲养区进行一个实验周期的饲养。饲养期间将会对给药后动物开展过敏性试验、药代动力学试验及单次给药毒性试验，按照提前计划的频次，由饲养人员用手提式屏蔽箱将给药后动物送入操作间通风橱内，对其进行体重测定和检查、采血等工作。最终阶段将会对部分动物进行麻醉后解剖，部分动物若不需要解剖则进行安乐死处理。

给药后饲养期间定期（约 1 次/2 周）更换垫料，更换下来的垫料及动物排泄物用专用的收集袋装袋打包，喷洒消毒剂灭菌处理后密封放置在放射性废物间 5，后面按照放射性废物处理要求进行处理。给药后饲养期间定期（约 1 次/2 周）清洁笼具，采用酒精擦拭法进行清洁，不进行清洗，擦拭物按照放射性废物处理要求进行处理。

④动物显像

本项目小动物 PET/SPECT 机房拟采用 SPECT/PET/CT 三模态一体机，为自屏蔽式设备，通过对动物成像，获得动物身体代谢情况及药物在体内分布情况的各种数据。具体操作流程如下：

- a、将需要进行显像的动物用独立屏蔽箱转移到小动物显像机房；
- b、采用异氟烷将其麻醉后，将动物固定在 SPECT/PET/CT 小动物舱内；
- c、摆位合适后，工作人员离开机房在操作室进行 PET/CT 或 SPECT/CT 扫描，显像；
- d、（除最后一次）扫描结束后，工作人员将动物放入移动屏蔽箱返回动物

暂存间，继续饲养，直至下一个观察时间点；

e、最后一次扫描结束后，工作人员将动物放入独立屏蔽箱转移到操作间通风橱进行处死或解剖。

此外，SPECT/PET/CT 每月进行一次校准，SPECT 使用锝-99m，单次校准用药量 0.5mCi，PET 使用氟-18，单次校准用药量 1mCi，单次校准最长 30min。

⑤动物解剖或处死

在饲养周期满足实验要求后，将动物通过独立屏蔽箱转移到操作间通风橱内进行解剖，解剖时取肿瘤、称量瘤重等。对不需要解剖的动物进行处死。

⑥动物尸体处理

实验结束后，工作人员将动物尸体/组织收集装袋，贴上标签，注明实验者姓名、所用核素、总活度和时间等信息，经消毒处理后，将动物尸体/组织转移至放射性废物间 6 冰柜内暂存。

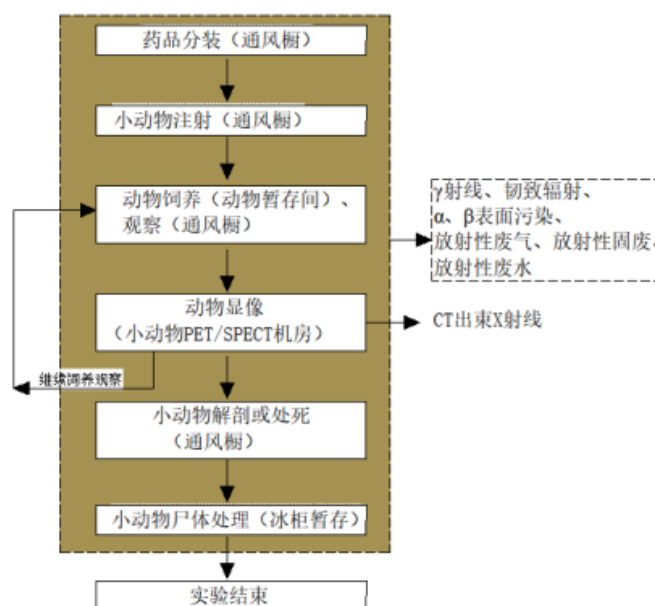


图 9-6 小动物实验流程及产污环节

(三) 核素影像中心

1、注射核素后显像

(1) 显像工作原理

①PET/CT、PET/MR工作原理

PET即正电子扫描仪 (Positron Emission Tomography)，为分子影像设备。由于在核成像中要求能发射γ射线，原理是通过标记参与人体代谢的某些化合物

的元素，本项目把氟-18、镓-68、铜-64注入人体后成为稳定的化合物，在活体内参与细胞代谢。用这种正电子发射体取代正常和稳定元素，即形成了此类元素的化合物，此类化合物也是半衰期适合的天然化合物，当此类化合物的正电子与人体内的电子结合时，发生湮灭效应，产生两个能量彼此运动相反的 γ 射线。根据人体不同部位吸收标记化合物能力的不同，同位素在人体内各部位的浓聚程度不同，湮灭反应产生光子的强度也不同。用环绕人体的 γ 射线检测器环列，用符合探测的方法能探测到随位置变化的符合计数，再经过符合计数技术，即可判定这一对 γ 光子辐射的轨迹线，该线经过湮灭源或称确定了这种多次蜕变作用的路径，按照一定规律被计算机采集下来。

PET/CT的工作原理是把PET和CT放在一起，利用体外的X射线穿透人体而获得三维解剖图像的断层成像技术，通过PET扫描和CT扫描重边，联合扫描，使两者的硬件和软件有机地结合在一起。工作时，其CT球管发射X线穿透人体组织，其探测器获得的数据不仅用于重建CT图像，同时提供给PET作为衰减校正的参数，在此基础上再进行PET图像的重建。所显示的图像为两者图像的融合的结果，即细胞的代谢显像和所处的解剖位置。

PET-MR的工作原理是把PET和MR放在一起，MR是一种生物磁自旋成像技术，它是利用原子核自旋运动的特点，在外加磁场内，经射频脉冲激励后产生信号，用探测器检测并输入计算机，经过计算机处理转换后在屏幕上显示图像。所显示的图像为两者图像的融合的结果，即细胞的代谢显像和所处的解剖位置。

②SPECT/CT显像工作原理

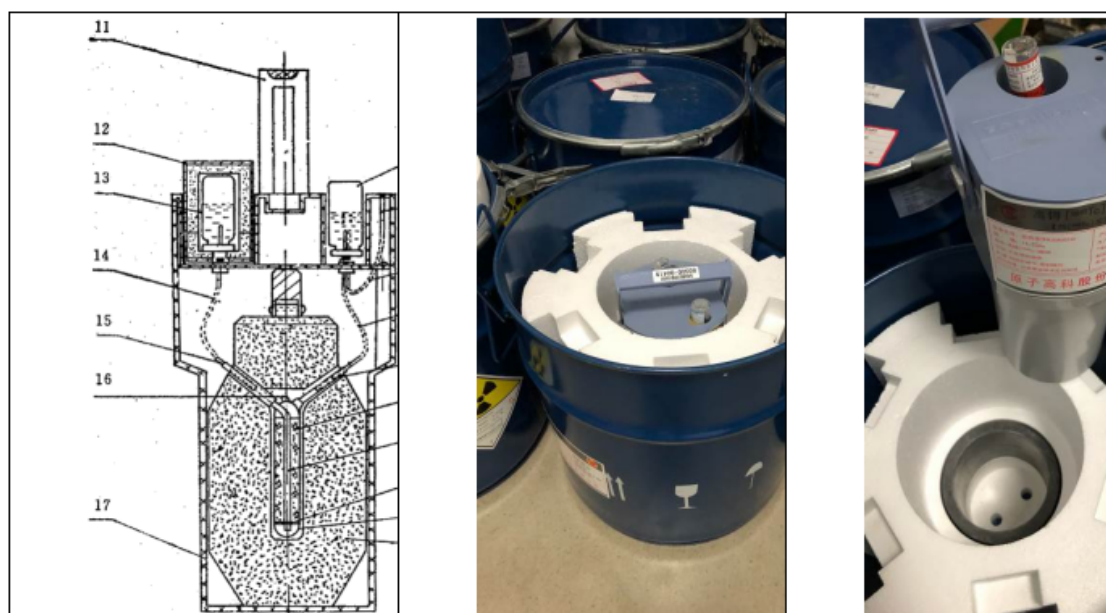
SPECT即单光子发射计算机断层成像术（Single-Photon Emission Computed Tomography），基本结构分三部分，即旋转探头装置、电子线路、数据处理和图像重建的计算机系统。SPECT除显示肿瘤病灶外，尚可显示局部脏器功能的变化，广泛用于心、脑、肾、骨、肺等多种脏器疾患的显像检查。本项目SPECT使用锝-99m、铟-111、碘-123，将放射性药物引入人体，经代谢后在脏器内外或病变部位和正常组织之间形成放射性浓度差异，通过计算机处理再成像。SPECT的基本成像原理是 γ 照相机探头的每个灵敏点探测沿一条投影线进来的 γ 光子，其测量值代表人体在该投影线上的放射性之和。

SPECT/CT的工作原理是把SPECT和CT放在一起，利用体外的X射线穿透人

体而获得三维解剖图像的断层成像技术，通过SPECT扫描和CT扫描重边，联合扫描，使两者的硬件和软件有机地结合在一起。工作时，其CT球管发射X线穿透人体组织，其探测器获得的数据不仅用于重建CT图像，同时提供给SPECT作为衰减校正的参数，在此基础上再进行 SPECT图像的重建。所显示的图像为两者图像的融合的结果，即细胞的代谢显像和所处的解剖位置。

③钼铈发生器淋洗原理

本项目显像诊断使用的铈-99m 由钼铈发生器淋洗而成，该发生器属于裂变色层发生器，基本部件是钼酸铈柱/活化氧化铝柱、淋洗系统和用于保护工作人员的辐射屏蔽套。铈-99m 由钼酸铈柱内钼-99 不断衰变产生，并被钼酸铈柱吸附，当加入适当的淋洗剂时，铈-99m 便以 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 的形式被淋洗出来，整个过程称为“挤奶”。为了使用方便，一套发生器除基本部件外，常附加子体核素溶液接收瓶（即负压瓶）和一定量的淋洗剂（生理盐水）。由于母体核素的不断衰变就不断地产生子体核素，因而核素发生器可以反复淋洗制得子体核素。本项目拟一次购买 1 个 500mCi 的钼铈发生器，一般情况下，发生器每隔 23 小时淋洗一次，淋洗效率可达到最大化（90%）。钼铈发生器的内部结构及实景见下图。



组成部件：

1.发生器铅罐；2.吸附柱；3.筛板；4.淋洗液排出管 5.钼酸铈柱/活化氧化铝柱；6.生理盐水进口接头 7.连接胶管；8.连接胶管；9.空气过滤器；10.生理盐水瓶；11.发生器提把；12.钨合金罐；13.淋洗液接收瓶（负压瓶）；14.连接胶管；15.淋洗液出口接头；16.装料管接头；17.塑料外壳。

图9-7 发生器的内部结构及实景图

(3) 显像工作流程及产污环节

①药品分装

工作人员根据影像中心当日预约量确定放射性药品的种类和用量，并通知放药生产厂家或放药制备区按需送药到核素影像中心备药室2储源间2内，工作人员在备药室2两个手套箱内完成钼铈发生器淋洗标记或其它放射性药品分装，药品分装成针剂，注射器以5mm/10mm铅套做屏蔽。患者分别在ECT注射窗口和PET注射窗口接受放药注射，注射窗口设有铅防护，部分注射铈-99m的患者需在运动负荷室完成运动负荷后立即注射铈-99m，医生以移动注射车做防护为患者注射。接受放药注射后，患者分别到SPECT候诊室和PET候诊室休息，等待进行显像。诊断结束后患者由核医学科南侧2个出口离开，部分患者留观一定时间后离开，核素影像区设有SPECT留观室和PET留观室。

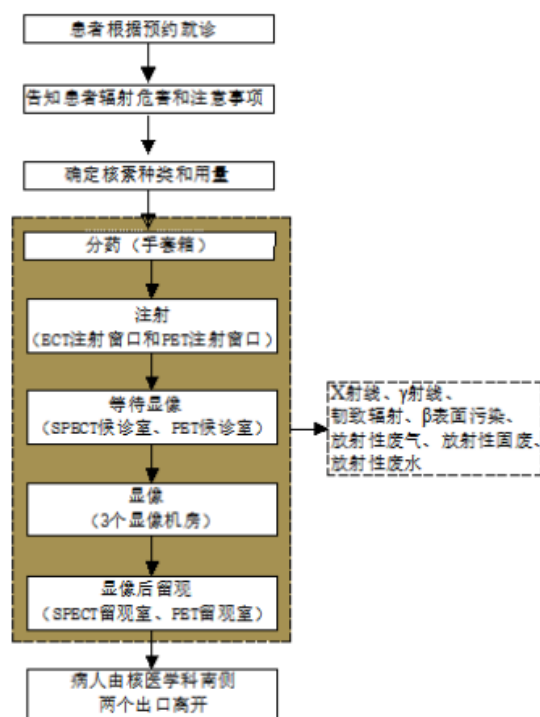


图 9-8 显像工作流程及产污环节

2、碘-125籽源植入治疗

(1) 碘-125籽源植入治疗工作原理

碘-125 籽源由高纯钛合金管内置全杆标记的银棒经激光焊制而成（详见下图），钛管材质，其中壁厚 0.05mm，长 4.5mm，直径为 0.8mm，芯长 3.2mm。通常是在 B 超、CT（本项目采用 CT 进行辅助植入）及计算机三维立体定向计划系统精确指导下将碘-125 粒子通过手术或采用特殊防辐射植入器，将碘-125

粒子一次性永久植入肿瘤组织或植于手术切除肿瘤的残存癌床内,碘-125 粒子能持续低剂量的释放 γ 射线,通过直接作用于肿瘤细胞的 DNA,造成 DNA 的双链断裂,另外还可间接使体内水分子的电离,产生自由基,促进肿瘤细胞的凋亡,使敏感的肿瘤细胞迅速死亡,不敏感的静止期细胞一旦进入分裂期,在 γ 射线的持续作用下又迅速凋亡。经过足够的半衰期和足够的剂量,使肿瘤细胞无法繁殖而达到治疗肿瘤的目的,从而实现对肿瘤的近距离治疗,可持续有效地杀灭肿瘤细胞。

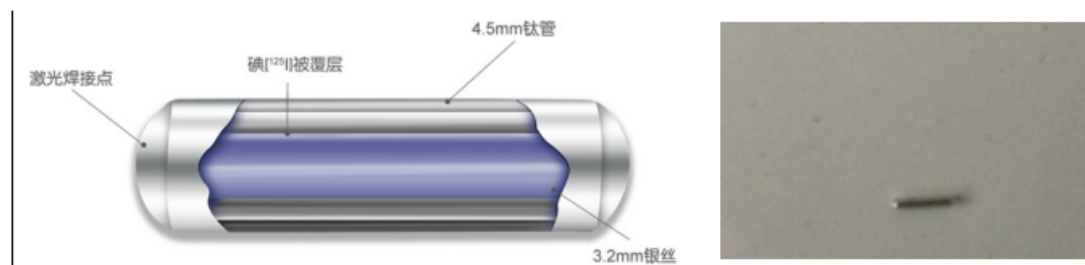


图9-9 碘-125粒籽源示意图和实景图

(2) 碘-125粒籽源植入流程及产污环节

①针对不同病情的病人,根据临床检查结果,分析及确定肿瘤体积。根据TPS计划系统中所计算需要的 ^{125}I 粒籽源总活度和数目,向厂家订购 ^{125}I 粒籽源。

② ^{125}I 粒籽源由厂家运输至核医学科核素影像中心储源间2的保险柜中,并进行台账记录。

③根据病人对 ^{125}I 粒籽源的需求量,将储有 ^{125}I 粒籽源的铅罐放入备药室2生物安全柜内,由专人在生物安全柜中进行装枪操作,操作人员前置5mmPb台面铅玻璃进行防护。

④ ^{125}I 粒籽源分装完成后, ^{125}I 粒籽源即密闭于专用植入枪内。

⑤将植入枪进行整体高温消毒。

⑥ ^{125}I 粒籽源植入手术位于核素影像中心显像机房(SPECT-CT机房或者PET-CT机房)。植入 ^{125}I 粒籽源时,先以CT扫描确定穿刺路径,将穿刺针(即植入针)穿刺到达肿瘤部位后再扫描确定。将植入枪出口与穿刺针尾部的专用接口结合,用推针将 ^{125}I 粒籽源顶入瘤体。完成植入后再次扫描以确定是否到达预定位置及 ^{125}I 粒籽源计划植入数目。

⑦ ^{125}I 粒籽源病人以铅衣覆盖送回核医学科内北侧普通病区专用留院观察,植入的 ^{125}I 粒籽源在病人体内达到稳定时病人可出院。

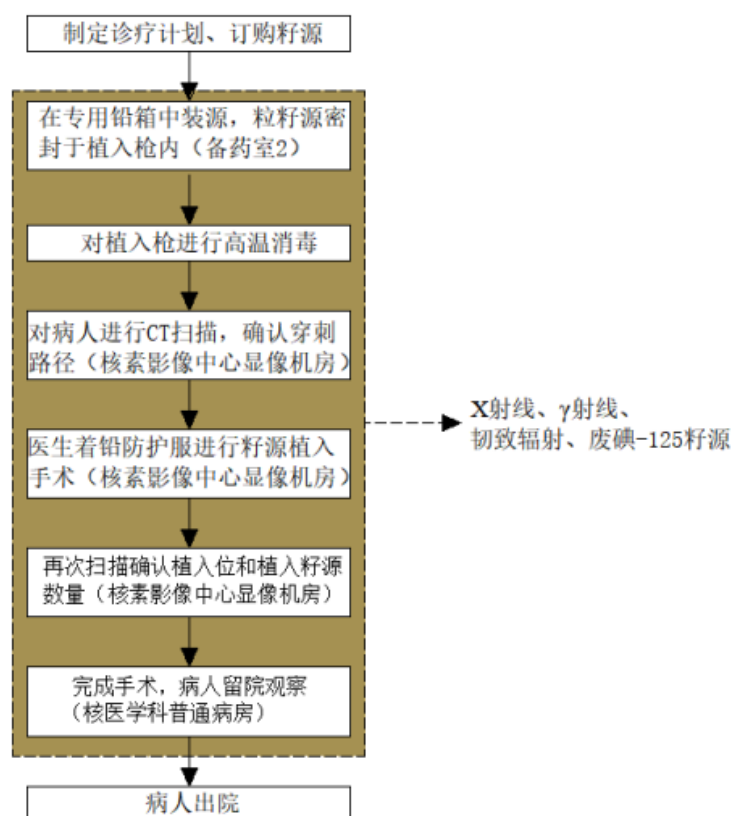


图9-10 碘-125粒籽源植入治疗及产污环节

3、锶-89 肿瘤骨转移治疗

（1）锶-89治疗骨癌原理

放射性药物锶-89 主要用于缓解前列腺癌、乳腺癌、肺癌、鼻咽癌、神经内分泌肿瘤等晚期恶性肿瘤骨转移所致骨痛，具有趋骨性。骨肿瘤病灶部位由于骨组织受到破坏，成骨细胞的修复作用极其活跃，所以浓聚大量的放射性药物。由于不是肿瘤细胞直接浓聚放射性药物，是肿瘤部位骨组织代谢活跃形成的放射性药物浓聚，因此是一种间接的浓聚机制。骨肿瘤病灶浓聚的放射性药物靶/非靶比值很高，非密封放射性物质衰变过程中发射 β 射线，辐射作用引起肿瘤组织内毛细血管扩张、水肿，细胞结构不清；染色体淡或固缩，炎细胞浸润；进一步肿瘤细胞核消失或空泡形成，坏死或纤维化形成，从而治疗骨肿瘤。

（2）锶-89骨癌治疗流程及产污

医院根据与患者预约情况提前向药物供货商订锶-89 注射液，由药物供货商负责药物运输至核医学科核素影像中心储源间 2 内，患者根据预约按时就诊，在注射窗口接收锶-89 注射，工作人员从铅罐内吸取药物进行注射。

医院预计使用锶-89 病例每天最多 10 例，每名患者所使用锶-89 的活度不超

过 4mCi。病人在注射后即可离开核医学科，治疗流程及产污环节见下图。

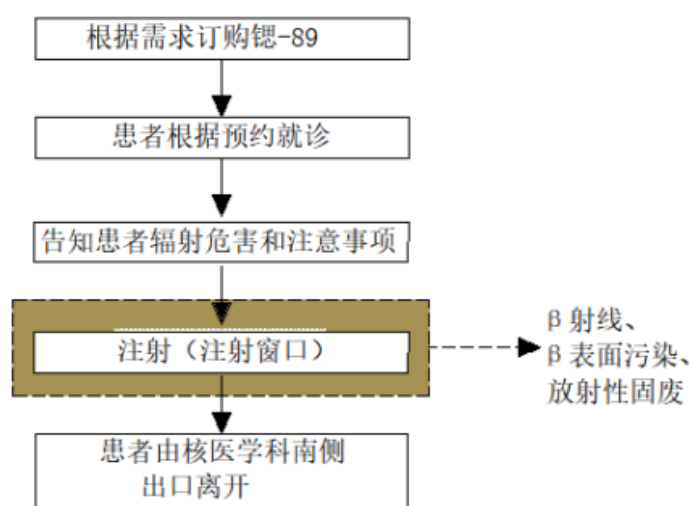


图9-11 锶-89治疗流程及产污环节

4、敷贴治疗

（1）敷贴治疗原理

放射性核素或放射源皮肤敷贴治疗主要可治疗皮肤斑痕、表皮血管瘤及神经性皮炎等疾病。治疗原理描述如下： β 射线具有较强电离能力、较弱穿透能力的特征，在组织内的射程仅几毫米。实验证明，一定剂量的 β 射线的放射性核素作为一种外照射源紧贴于病变部位，通过 β 射线对病变部位的电离辐射生物效应，作用在血管瘤病变部位，使得血管萎缩、闭塞，达到治疗目的。根据这一原理设计制造的 β 射线敷贴器可用于皮肤疾病的治疗。锶-90 和磷-32 衰变方式均为纯 β 衰变，当其衰变可分别放出能量为 0.546MeV 和 1.71MeV 的 β 射线，从而产生治疗作用。本项目使用密封放射源锶-90 敷贴器和非密封放射性物质磷-32 制作成敷贴器后，将敷贴器贴在患者病损处进行治疗。

放射源锶-90 敷贴器一般针对面积较小的皮肤病变组织治疗，这种敷贴器外形像铁块，把它紧贴在血管瘤部位即可进行治疗。而皮肤病变组织范围较大的瘢痕则需使用非密封放射性物质磷-32 制作成相应面积的敷贴器进行治疗。

（2）敷贴治疗流程及产污

主要流程包括病人就诊、治疗方法介绍并告知可能受到的辐射危害、确定敷贴源种类和所需剂量。

①锶-90 敷贴器为成品敷贴器，确定患者病变皮肤形状后，根据病灶形状建

一个镂空的胶垫，照射病灶的同时可以保护周围正常组织直接紧贴患者病变部位，然后先贴好胶垫，再将镭-90 敷贴器放置在胶垫上即开始治疗，最长约 5 分钟即可完成一次治疗。

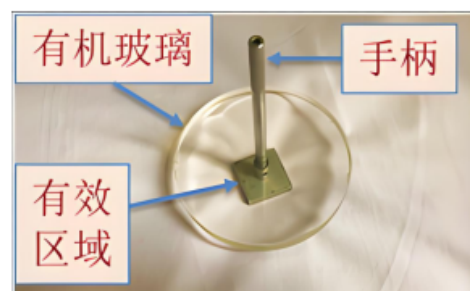


图 9-12 镭-90 敷贴器外观

②磷-32 敷贴器需根据患者病变皮肤面积形状进行现场制作。在核素影像中心备药室 2 的手套箱内进行操作，采用优质滤纸按病变形状要求剪成规格大小及形状不同的纸片，作为磷-32 溶液的支持物，滤纸上画有格子。用生理盐水分别将不同大小与形状的滤纸做一次吸水试验以确定滴加磷-32 溶液的毫升数。用手控移液管吸取预先计算好的磷-32 溶液，按每张滤纸的吸水量分格滴加磷-32 溶液，并调整磷-32 活度的分布均匀性。烤干滤纸，色剂均匀分布。用两层优质塑料薄膜与胶布套封。敷贴器制作完成后装入 10mm 厚有机玻璃盒中，通过传递窗传入敷贴治疗室，医生将敷贴器放置在患者病灶部位进行治疗，最长照射时间约 5 分钟，单个病人皮肤敷贴最大用量为 2mCi。单次治疗结束后病人离开，医护人员回收敷贴器放置于有机玻璃盒中放入敷贴治疗室的保险柜内保存，禁止患者将敷贴器带出敷贴室，患者按疗程完成 3—5 次敷贴治疗后，磷-32 敷贴器做为放射性固废由医院进行处置。

本项目皮肤敷贴治疗流程及产污环节见下图。

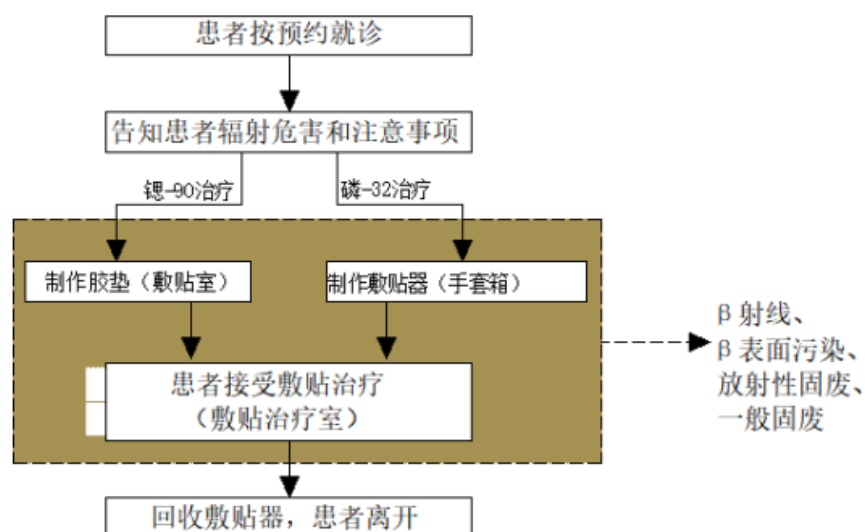


图 9-13 本项目敷贴治疗流程及产污环节

三、核医学科人员、放射性药品、放射性固废等流通过程

核医学科位于门急诊医技住院综合楼负一层，共分 3 个乙级非密封放射性物质工作场所。核医学科北部中间区域设有医护电梯及消防楼梯，医护人员由此进入核医学科。核医学所在大楼西侧设有放射性药品通道，厂家送药由此通道进入核医学科。核医学科患者通过核医学科中部东侧的患者电梯厅或者消防楼梯进入核医学科。

（一）核素治疗中心

①医护人员路径：医护人员从核素治疗区东侧缓冲间入口进入备药室 1，进行放射性药品操作，如需为住院病人输液，则从注射间穿过后通过走廊进入病房。医护人员完成放射性工作后需通过准备间的缓冲间进行表面污染监测，监测合格方可离开。医护人员进出核素治疗区均须通过缓冲区监测，缓冲区配套建有应急淋浴设施，方便医护人员及时清污，且不将污染带入核素治疗区外。医护人员一般情况下不与用药后患者接触，为患者输液须在辐射防护设施防护下操作。结合核素治疗区的场所布局，医护人员路径设置合理。

②患者路径：患者通过患者电梯厅或者消防楼梯后向西进入核医学科，穿过病患走廊向北进入核素治疗区缓冲区。

碘-131 甲状腺功能测定患者进入服药室口服碘 131 后从核素治疗区西侧的通道离开，间隔 3 小时和 24 小时后返回核素治疗区甲吸室进行甲状腺功能测定。

甲癌、甲亢患者进入服药室口服碘 131 后，甲亢患者进入甲亢留观室进行留

观，留观结束穿过服药室经核素治疗区西侧的通道离开。甲癌患者服药后通过高活留观病人走廊进入甲癌病房区（核素病房 6 和核素病房 7）进行住院留观，留观结束从核素治疗区北侧的出口离开。

接受钐-153、镭-223、镱-188、锇-211、锕-225 治疗的患者，在注射室接受核素药品针剂注射后，进入其它核素病区（核素病房 1~5）住院留观；接受镭-177、钷-161 治疗的患者，先在注射室接受留置针静脉植入，然后进入其它核素病区（核素病房 1~5），由护士将放射性药物转运至病房内，以输液的方式注入患者体内，之后患者进行住院留观。留观结束从核素治疗区北侧的出口离开。

住院患者在住院期间尽量只限制在其病房内活动，甲癌病区患者和其它核素病区患者之间不得互相走动，患者住院期间禁止家属探视，患者如无不良反应，医生只进行电话查房。甲癌病区和其它核素病区分别设置送餐通道，护士将餐食分别送到送餐通道处，患者自行领取。

从整体分析，核素治疗区将甲癌治疗患者和其它核素治疗患者分为了两个区域分开接受留观，从而最大程度避免了甲癌患者与其他核素治疗患者之间相互交叉影响。甲功测定和甲亢患者服药后不走住院患者通道，且以最短的路径离开，避免了交叉感染。核素治疗区患者通道为单向路径，避免了服药前后患者交叉，患者路径设置合理。

③药品运输路径：核素治疗区的药品均外购成品药，外购药品在每天或每周工作开始前，通过核医学西侧的药品通道运送至核素治疗区备药室 1 储源间 1 内。送药通道相对独立且便于运输，药品能以最短距离进入核医学科内，从布局来说，药物通道设置合理。

④放射性固废路径：核素治疗区备药室 1 设有放射性废物间 1，用于收集医护人员操作放射性药品产生的废药瓶、注射器、输液管、棉签、一次性手套、服药口杯等放射性固废。核素治疗区北侧设有放射性废物间 2，用于收集住院区病房产生的放射性固废。放射性固体废物在放射性废物间内存放满足暂存时间后，放射性废物间 1 的固废通过核素治疗区西侧的通道转运至医院医疗废物暂存间，放射性废物间 2 的固废通过核素治疗区北侧的污梯转运至医院医疗废物暂存间，转移路径短捷，设置合理。

（二）放药制备和小动物实验中心

①工作人员路径：工作人员从放药制备区东侧走廊经一更、二更、缓冲、C

级洁净走廊、缓冲后进入热室，工作结束原路返回，入口处设有应急淋浴设施，满足应急去污需求。药代实验室（含内毒素实验）、阳性对照、无检测室分别设独立的进出口。小动物实验区工作人员经缓冲间进入控制室，再进入操作间，工作结束原路返回。

②放射性药物流通路径：放射性核素通过放射性药品通道进入核医学科，在热室南侧脱包间进行外包装拆封后进入准备间，再通过传递窗口进入 C 级洁净走廊，之后进入热室内热室柜。放射性药品合成分装后，装有放药的铅罐通过热室内的传递窗进入外包间，然后经走廊到核素影像区准备间西侧的传递窗处，经传递窗进入核素影像区备药室 2 储源间 2 内。用于小动物实验的放射性药品则从外包间进入动物实验区操作间的通风橱内进行分装。

③动物路径：接受放射性实验的大小鼠由专业饲养机构送至医院，通过缓冲间、控制室后进入动物实验区。

④放射性固废路径：放药制备和小动物实验中心设有放射性废物间 5 和放射性废物间 6，各放射性核素操作区设铅固废收集桶，工作中产生的放射性固废先收集在铅固废收集桶中，当日工作结束后打包转移至放射性废物间 5 铅固废箱中，暂存一定时间后，由南侧通道离开核医学科，转入医院医疗废物暂存间。动物尸体或组织打包后转入放射性废物间 6 冰柜中暂存，暂存一定时间后转交给有资质单位进行处置。

综上，放药制备和小动物实验中心相对独立，内部分区明确，工作人员根据分区从不同的入口进入辐射工作场所，放射性原料入口和人员出入口分开设置，减少了交叉影响的概率。通过设置传递窗，最大限度缩短了放射性物料流通路径的长度。放射性废物间 5 设置在场所中部西侧边缘，方便南侧区域的放射性废物以较短的路径转入。本评价认为放药制备和小动物实验中心人员和物料流通路径规划基本合理。

（三）核素影像中心

①医生路径：工作人员从放药制备和小动物实验中心与核素影像中心之间的走廊分别进入备药室 2 进行放药操作、进入 SPCCT/CT 控制室进行显像操作，工作结束原路返回。进行 PET 显像操作的工作人员则通过核素影像中心东侧走廊进入 PET 控制廊，工作结束原路返回。进行敷贴操作的医生通过候诊大厅之间进入敷贴治疗室。

②患者路径：接受敷贴治疗的患者通过候诊大厅直接进入敷贴治疗室，完成治疗后原路离开。接受锶-89 治疗的患者，通过核素影像中心西侧患者入口，经缓冲间后到达注射窗口，接受锶-89 注射后，向南经走廊后通过核医学科南侧出口离开。接受显像诊断的患者，通过核素影像中心西侧患者入口，经缓冲间后到达注射窗口或运动负荷室（部分得-99m 用药患者），接受核素注射后，向南经走廊分别进入 SPECT 候诊室和 PET 候诊室等候，之后分别进入三个显像机房进行显像，显像结束后经核素显像区南侧两个出口离开，少量患者再经过留观后离开。接受放射性药物注射的患者流通路径均为单向路径。

③药物运输路径：外购药物通过核医学科西侧专用通道进入核医学科，或者放药制备区自行标记药物在外包区打包后，均通过核素治疗中心南侧走廊，再向南，之后进入核素影像中心储源间 2。送药时间避开场所工作时间。

④放射性废物路径：核素影像中心各放射性药物操作间及患者候诊间、患者留观间均设有铅放射性固废收集桶，注射窗下方自带铅废物桶，每日工作接受后，备药室 2 的放射性固废统一转入放射性废物间 3 铅固废收集箱内暂存，患者候诊、留观等区域产生的放射性固废统一转入放射性废物间 4 铅固废收集箱内暂存，暂存一定时间后，再由放射性废物间转移至医院医疗废物暂存间进一步处置。

综上，核素影像中心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，最大限度的减少了人员的流动性，有助于辐射防护；医护人员与病患各自独立的通道，核素影像中心工作场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于临床核医学工作场所的要求。

污染源项描述

一、施工期

1、施工阶段

本项目装修施工期主要环境影响因素为噪声、施工废水、建筑粉尘和建筑垃圾等。

2、设备安装、调试阶段

本项目显像设备射线装置的安装调试，会产生 X 射线、臭氧和少量包装废弃物。

二、运行期

1、电离辐射

根据核医学科涉及使用的放射性核素，运行过程可产生的电离辐射包括： α 、 β 、 γ 射线和韧致辐射，SPECT/CT、PET/CT 和小动物 SPECT/PET/CT 三模态一体机运行产生 X 射线。

2、放射性废水

(1) 核素治疗中心放射性废水产生情况

^{131}I 甲吸病人服药后即离开核医学科，分别在 3 小时和 24 小时后到甲吸室进行甲状腺功能测定，单人次服药量仅为 $5\mu\text{Ci}$ ，故不考虑其产生的放射性废水。甲亢病人服药 (^{131}I) 后需留观约 30min，可能产生排泄废水、清洗废水，根据《建筑给水排水设计标准》(GB50015-2019)，门诊病人用水定额取 ($10\text{L}/\text{次}\cdot\text{人}$)，以 1 次考虑。其余核素治疗病人需住院留观，住院期间，淋浴废水以 $50\text{L}/\text{次}\cdot\text{人}$ 计，冲厕废水以 $6\text{L}/\text{次}\cdot\text{人}$ (6 次/d) 计，洗手废水以 $1.5\text{L}/\text{次}\cdot\text{人}$ (6 次/d) 计，则住院病人产生的废水量平均约为 $95\text{L}/\text{d}$ 。工作人员及场所清洁废水按 $100\text{L}/\text{d}$ 计。

放射性废水排放量保守取用水量，本项目核素治疗中心放射性废水产生情况见下表。

表 9-1 核素治疗中心放射性废水排放汇总表

核素名称	半衰期	产生来源	排放量 ($\text{L}/\text{d}\cdot\text{人}$)	日最大 病人人数 (人)	年最大病 人量(人)	日最大 排放量 (m^3/d)	年最大排 放量 (m^3/a)
^{131}I (甲亢)	8.04d	排泄、 清洗	10	3	300	0.03	3
^{131}I (甲癌)	8.04d	排泄、 淋浴	95	2	180	0.19	51.3

^{177}Lu	6.71d	排泄、淋浴	95	2	400	0.19	114
^{161}Tb	6.91d	排泄、淋浴	95	2	200	0.19	57
^{153}Sm	1.95d	排泄、淋浴	95	1	50	0.095	14.25
^{223}Ra	11.4d	排泄、淋浴	95	1	50	0.095	14.25
^{188}Re	17.0h	排泄、淋浴	95	1	50	0.095	14.25
^{211}At	7.21h	排泄、淋浴	95	1	100	0.095	28.5
^{225}Ac	10.0d	排泄、淋浴	95	2	200	0.19	57
住院病人放射性废水产生量合计						1.14 ^①	353.6 ^②
工作人员及场所清洗废水						0.1	25 ^③
核素治疗中心废水总计						1.27 ^④	381.6

注：①以满床 12 张床位加甲亢每日废水量计；②每种核素病人废水年最大排放量之和；③以每年 250 天计；④为甲亢病人、住院病人、工作人员及场所清洗产生废水之和。

(2) 放药制备和小动物实验中心放射性废水产生情况

药物制备区放射性药品标记、分装、质控等工艺环节均不产生放射性废水。药品质控环节液相色谱仪（hplc）废液收集瓶产生的微量废液以卫生纸或脱脂棉球吸取后按放射性固废处置。如操作过程出现液体核素撒漏或沾染，均采取吸水纸或一次性无尘布局部擦拭的方式进行去污，去污后吸水纸或无尘布按放射性固废处理。工作人员穿戴工作服、一次性手套和鞋套进行核素操作，如工作人员在操作过程中受到污染，将工作服等按放射性固废处理。

小动物实验区注射药物后的大小鼠在进行实验操作时偶尔排泄物（尿液、粪便）产生量很少，采用托盘并铺以吸水性好的一次性医用吸收垫进行收集后，作为放射性固体废物处理。各涉放工作场所的台面、器皿等均垫有一次性医用吸收垫、手术铺巾、垫纸等垫料，可有效阻止表面沾污；若不慎出现表面沾染，将不采用大水量冲洗，而是采取局部擦拭的方式进行去污，去污后产生的废料按放射性固体废物处理。

热室、药代实验室和小动物实验操作间均设有洗手池，工作人员洗手废水按放射性废水处理，每个区域废水产生量按 50L/d 计。

本项目放药制备和小动物实验中心放射性废水产生情况见下表。

表 9-2 放药制备和小动物实验中心放射性废水排放汇总表

核素名称（半衰期）	废水产生区域	日最大排放量 (m ³ /d)	年最大排放量 (m ³ /a)
¹⁷⁷ Lu (6.71d)、 ¹⁶¹ Tb (6.91d)、 ²¹¹ At (7.21h)、 ²¹² Pb (10.6h)、 ²²⁵ Ac (10.0d)、 ¹²³ I (13.2h)、 ¹⁸ F (1.83h)、 ⁶⁴ Cu (12.7h)、 ⁸⁹ Zr (3.27d)、 ⁸⁶ Y (14.7h)、 ⁴⁴ Sc (3.9h)、 ¹²⁴ I (4.18d)、 ⁹⁰ Y (2.67d)、 ⁶⁸ Ga (1.13h)、 ^{99m} Tc (6.02h)	热室	0.05	12.5
	药代实验室	0.05	12.5
	小动物操作间	0.05	12.5
合计		0.15	37.5 ^①

注：①以每年 250 天计。

(3) 核素影像中心放射性废水产生情况

⁸⁹Sr 核素治疗患者治疗时间较短，注射后无特殊情况即可离开，在接受注射前工作人员将提前告知其进行如厕，诊疗期间不使用工作场所内的厕所，故不考虑其产生的放射性废水。患者敷贴治疗和进行碘-125 粒子源植入均不产生放射性废水。其他为显像患者，患者注射放射性药品后等候显像和留观期间会产生排泄和清洗废水，以门诊患者考虑，根据《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019），门诊病人用水定额取 10L/（次·人）。工作人员日常佩戴一次性手套进行放射性操作，每日清洗废水和场所清洁废水按 100L/d 计。

放射性废水排放量保守取用水量，本项目核素影像区放射性废水产生情况见下表。

表 9-3 核素影像中心放射性废水排放汇总表

核素名称	半衰期	产生来源	排放量 (L/d·人)	日最大 病人数 (人)	年最大 病人量 (人)	日排放量 (m ³ /d)	年排放量 (m ³ /a)
^{99m} Tc (全身)	6.02h	排泄、清洗	10	15	5000	0.15	50
^{99m} Tc (局部)	6.02h	排泄、清洗	10	10	3750	0.1	37.5
¹²³ I	13.2h	排泄、清洗	10	5	250	0.05	2.5
¹¹¹ In	2.83d	排泄、清洗	10	2	100	0.02	1
¹⁸ F	1.83h	排泄、清洗	10	20	7500	0.2	75
⁶⁸ Ga	1.13h	排泄、清洗	10	15	5000	0.15	50
⁶⁴ Cu	12.7h	排泄、清洗	10	5	500	0.05	5

	清洗					
门诊病人放射性废水合计				0.65 ^①	221 ^②	
工作人员及场所清洗废水				0.1	25 ^③	
核素影像中心废水总计				0.75	246	

注：①磷-32 敷贴病人每天都有，敷贴病人不产生废水，每日最多接待 5 种核素病人，因此以每天废水量最大的 4 种核素废水量之和计；②取每种核素患者年废水量之和；③以每年 250 天计。

3、放射性固体废物

(1) 核素治疗中心放射性固废产生情况

¹³¹I 甲癌、甲亢、甲吸采取口服的方式进行给药，钐-153、镭-223、镱-188、钷-211、铟-225 治疗患者采用注射的方式给药，镭-177、铽-161 治疗患者采用输液方式给药，甲吸患者服药后即离开，甲亢患者服药后留观约 30min 后离开，其他核素治疗患者均需住院留观，住院时间均为 3 天。

核素治疗病区产生的放射性固体废物包括：使用过的一次性口杯、一次性注射器、一次性输液器、擦拭废物、空药瓶、一次性手套、口罩等，甲吸病人固体废物产生量约 20g/人·次，甲亢病人固体废物产生量约 50g/人·次，住院病人固体废物产生量平均约 1kg/人·天。另外工作场所清洁废物，一次性防护服等，约 300g/d。

表 9-4 核素治疗中心放射性固体废物产生量汇总表

核素名称	产生量 (g/d·人)	日最大 病人数 (人)	日最大产 生量 (kg/d)	年最大病 人数(人)	年最大产 生量(kg/a)
¹³¹ I (甲吸)	20	8	0.16	400	8
¹³¹ I (甲亢)	50	3	0.15	300	15
¹³¹ I (甲癌)	1000	2	2	180	180
¹⁷⁷ Lu	1000	2	2	400	400
¹⁶¹ Tb	1000	2	2	200	200
¹⁵³ Sm	1000	1	1	50	50
²²³ Ra	1000	1	1	50	50
¹⁸⁸ Re	1000	1	1	50	50
²¹¹ At	1000	1	1	100	100
²²⁵ Ac	1000	2	2	200	200
工作场所清洁擦拭废物，一次性防护服。			0.3	/	75 ^②
合计			12.61 ^①	/	3788

注：①以满床 12 张床位计；②以年工作 250 天计；③住院病人以每年 300 天计。

(2) 放药制备和小动物实验中心放射性固废产生情况

药物制备区药物制备和质控过程中可能产生标记失败废药、废弃培养皿、质

检废液（卫生纸/脱脂棉球吸取）、废锆镓发生器、废西林瓶、棉签、卡套、滴管、沾染的一次性手套、鞋套等。根据建设单位运行规模，热室每天最多标记分装 4 种核素药品（镓-68 和其它 3 种）。

小动物实验区运行过程中会产生动物尸体/组织、动物饲养垫料及排泄物、废西林瓶、手套及手术铺巾、棉签、注射器、垫纸等，每天最多进行 3 种核素的动物实验，每种核素实验小鼠最多 10 只，或大鼠最多 3 只，每种核素只进行一类鼠实验。

表 9-5 放药制备和小动物实验中心放射性固体废物产生量汇总表

区域	核素种类	废物种类	日最大产生量 (kg/d)	年最大实验天数/次数	年最大产生量 (kg/a)
热室	^{177}Lu 、 ^{161}Tb 、 ^{211}At 、 ^{212}Pb 、 ^{225}Ac 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{44}Sc 、 ^{68}Ga	标记失败废药、废西林瓶、滴管、卡套、一次性手套等	0.5	250d	125
	^{68}Ge	废发生器	/	/	1 个/a
质控区(药代实验室、阳性对照室、无菌检测室)	^{177}Lu 、 ^{161}Tb 、 ^{211}At 、 ^{212}Pb 、 ^{225}Ac 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{44}Sc 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	质检废液(卫生纸/脱脂棉球吸取)、废弃培养皿、棉签、西林瓶、一次性手套等	0.5	250d	125
小动物实验区	^{18}F 、 ^{44}Sc 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 ^{86}Y 、 ^{89}Zr 、 ^{90}Y 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 、 ^{124}I 、 ^{161}Tb 、 ^{177}Lu 、 ^{211}At 、 ^{212}Pb 、 ^{225}Ac	动物尸体、组织	1.4 ^① (6 只大鼠、10 只小鼠)	根据项目实验计划，保守取 3 种核素按年实验 100 次计	440
		动物饲养垫料及排泄物、废西林瓶、手套及手术铺巾、棉签、注射器、垫纸等	1.5	100 次	150
合计			3.9	/	840

注：①大鼠重量 200g/只，小鼠重量 20g/只，只有 ^{18}F 和 ^{68}Ga 使用大鼠，每种核素每日最多使用 3 只大鼠，其它核素每种每日最多使用 10 只小鼠，保守按最产生量最大情况核算。

(3) 核素影像中心放射性固废产生情况

敷贴治疗室将产生废弃的磷-32 敷贴器，钼铈发生器淋洗后将产生废弃的发生器，碘-125（粒籽源）植入及留观过程产生的固体废物主要是废碘-125 粒籽源，产生枚数根据实际情况而定，由生产厂家回收。其他门诊患者就诊过程将产生一

次性注射器、棉签、口罩、手套、空药瓶以及擦拭废物等，平均产生量约 50g/人·次。核素影像中心放射性固废产生情况见下表。

表 9-6 核素影像中心放射性固废产生量汇总表

核素名称	半衰期	产生来源	产生量 (g/人·次)	日最大病人 人数(人)	年最大 病人数 (人)	日产生 量 (kg/d)	年产生量 (kg/a)
^{99m} Tc	6.02h	一次性 注射器、 棉签、口 罩、手 套、空药 瓶以及 擦拭废 物等	50	35	6250	1.75	312.5
¹²³ I	13.2h		50	5	250	0.25	12.5
¹¹¹ In	2.83d		50	2	100	0.1	5
¹⁸ F	1.83h		50	20	5000	1	250
⁶⁸ Ga	1.13h		50	15	3750	0.75	187.5
⁶⁴ Cu	12.7h		50	5	500	0.25	25
⁸⁹ Sr	50.5d		50	10	500	0.5	25
³² P	14.26d	废敷贴 器	10	20	5000	0.2	50
¹²⁵ I	60.1d	废 ¹²⁵ I 粒籽源	/	4	200	/	/
⁹⁹ Mo	2.75d	废弃钼 铱发生 器	/	/	/	/	50 个/a
合计						4.25 ^①	867.5

注：①取每日病人数最多的 5 种核素固废之和。

(4) 废气过滤滤芯

本项目核医学科三个场所内热室柜、手套箱、通风橱等上方均设有活性炭过滤装置，在门急诊医技住院综合楼楼顶核医学科放射性废气排放口前端设有活性炭吸附装置，建设单位将每半年对废气过滤系统进行验证和更换，废弃的活性炭滤芯产生量约 1000kg/a。

(5) 废敷贴放射源

核素影像中心敷贴治疗室内使用 2 枚锶-90 放射源进行敷贴治疗，为 V 类源，半衰期 29.1a，当活度不能满足敷贴需求后需淘汰，产生废弃的锶-90 放射源，这 2 枚锶-90 放射源废弃后需交由生产厂家回收处置。

4、放射性废气

本项目核医学科三个场所使用的 23 种放射性核素均为液体，除碘-131 外，均为不易挥发核素，使用过程中均在密闭容器内，磷-32 敷贴器制作好后用两层优质塑料薄膜与胶布套封，使用过程中磷-32 处于密封状态，其他放射性药品通

过静脉注射入人体，在整个过程中注射类药物放射性核素气溶胶挥发量较小。

核素治疗中心使用的碘-131 属于易挥发性化合物，最大挥发量约为最大操作量的 0.1%（数据引自《非密封放射性核素治疗后的患者出院考虑》（ICRP 94 号出版物），病人使用纸杯口服碘-131，最大服药量为 130mCi/人，项目只设 2 张甲癌病床，碘-131 操作量较少，且碘-131 手套箱和甲癌病床区均设有独立的通排风及活性炭过滤装置，能够及时处理挥发产生的少量放射性废气，放射性废气对场所内及外环境影响很小，因此本次评价不再进行定量分析。

5、 α 、 β 放射性表面污染

本项目各非密封放射性物质工作场所在操作各种非密封放射性物质过程中，可能会引起工作台、地面、工作服、手套、被服等产生放射性沾污，造成小面积的放射性表面污染。

6、其它非放射性废物

（1）非放射性废水

医护人员产生的生活废水，依托医院的污水处理站处置。

（2）非放射性固废

医护工作人员产生的办公、生活垃圾，统一收集至医院的垃圾转运站后交由环卫部门统一处理。

（3）噪声

噪声主要来源于通排风系统的风机。本项目均拟选用低噪声设备，噪声源强约为 65dB(A)。排风机位于门急诊医技住院综合楼楼顶，送风机位于大楼负一层风机房。

表 10：辐射安全与防护

项目安全设施

通过污染源分析可知，本项目产生的主要污染物为 X 射线、 γ 射线、 α 和 β 射线、 α 和 β 表面污染。同时药物制备、药物质控、小动物实验、病人治疗和诊断过程还会产生放射性废水、放射性固废以及放射性废气。针对这些污染物，建设单位在设计阶段均制定了相应的污染防治措施。

一、平面布置合理性分析

本项目核医学科位于门急诊医技住院综合楼负一层北部区域，整个核医学科为一个较为规则的矩形，从整体上将医护人员办公休息区和患者区域进行了分离，分别设有医护电梯和患者电梯到达核医学科。核医学科根据不同的功能分为三个非密封放射性物质工作场所，从北向南依次为核素治疗中心、放药制备和小动物实验中心、核素影像中心，每个场所均有明确的场所界限和独立的控制区、监督区划分，均有独立完整的诊疗流程或工艺流程，均有独立的辐射防护措施。

（一）核素治疗中心

核素治疗中心患者入口位于场所南侧，设有护士站和宣教室，病人服药前先由护士引导进入宣教室了解服药后的注意事项，再由护士引导从南侧入口进入场所内，入口设有门禁，患者进入服碘室或注射室进行服药或者注射，甲亢患者服药后进入服碘室旁边的留观室留观，甲亢测定患者则直接由注射室西侧的出口离开核医学科。其他住院患者则通过走廊往北进入病房区，甲癌患者和其他核素治疗患者病房分为两个病区，通过走廊设置门禁及分别设置送餐通道，可防止两个病区患者在住院期间交叉。患者住院结束由场所北侧的通道离开。患者进出场所均为单向流通，用药前后患者不交叉。

医护人员进出该场所入口位于甲亢留观室北侧，设有卫生通过间（缓冲间和淋浴间）进入备药室 1，如需进入病房为患者输液，则采取防护措施后，穿过注射间后再向北进入住院病区，之后原路返回。日常管理期间，医护人员非紧急情况不进入住院病房，通过通信设施与患者交流。

备药室 1 配套建有储源间 1、放射性废物间 1、2 台手套箱（其中 1 台内置碘自动分装仪），应急淋浴设施和洗手池。

核素治疗中心的出入口均设有卫生缓冲区，出口缓冲区将配备表面污染监测

设备。甲亢留观间及各住院病房均设有给药后患者的专用卫生间，卫生间下水接入医院衰变池。

（二）放药制备和小动物实验中心

放药制备和小动物实验中心位于核医学科中部西侧区域，位置相对封闭，就医患者不经过该区域，且场所入口设有门禁，非经允许不能进入该场所。该场所由北向南依次为药物制备区、药物质控区和小动物实验区，各功能区分区明确，且符合工艺流程布局要求。各出入口均设有缓冲区，出口缓冲区将配备表面污染监测设备。

场所内设有多个药物传递窗口，可尽量缩短放射性药物传输距离。设有放射性废物间 5 和放射性废物间 6，放射性废物间 5 位于场所中部位置，方便各区域放射性固废收集暂存，放射性废物间 6 位于南侧整个核医学科的西南角，内置冰柜，专用于存放实验后动物尸体或组织。

药物制备区、药代实验室及小动物操作间均设有集中操作放射性核素的区域均设有洗手池，药物制备区出口设有应急淋浴设施，满足应急清洁需求，清洗废水均接入衰变池。

（三）核素影像中心

核素影像中心位于核医学科南部区域，呈“凸”字形。就诊患者通过患者电梯到达负一层核医学科候诊区，通过护士台分诊，进行敷贴治疗的患者进入敷贴治疗室，治疗后原路离开核医学科，不与其他需注射放射性药物患者交叉，磷-32 敷贴器在备药室 2 制作好后，经传递窗传入敷贴治疗室，最大限度减短了传输路径。其他患者则通过该场所入口缓冲区到达注射窗口，注射后向南到达候诊室，根据 SPECT 显像机房和 PET 显像机房的布置，分别就近设有 SPECT 候诊室及留观室、PET 候诊室及留观室，患者完成显像后分别从南侧的 SPECT 显像出口和 PET 显像出口就近离开核医学科，锝-99m 患者注射药物后，可直接从南侧出口离开。患者进出场所均为单向流通，用药前后患者不交叉。患者候诊室和留观室均设有专用卫生间，卫生间下水通过管道进入衰变池暂存衰变。患者候诊区内设有放射性废物间 4，方便对患者放射性固废的收集暂存。

药物分装工作人员通过备药室 2 的缓冲入口进入备药室 2，备药室 2 设有储源间 2、放射性废物间 3、2 台手套箱，并设有洗手池和应急淋浴设施，工作人员清洗废水通过管道进入衰变池暂存衰变。SPECT 机房工作人员通过该场所西

侧工作人员走廊进入 SPECT 控制室。PET 机房工作人员通过该场所东侧工作人员走廊进入 PET 机房控制廊。工作人员通道均不与患者通道交叉。

整个核医学科西侧地面设有放射性药物专用通道，外购放射性核素及药物通过该通道进入核医学科各场所内。

表 10-1 核医学科平面布局与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）对照分析表

标准要求	设计落实情况	备注
核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。	①本项目将住院治疗场所和门诊诊断场所分为两个独立的场所布置；②本项目三个场所均将高活室集中设置在场所一端；③本项目三个场所均设有独立的放射性药物暂存场所，共设有6个放射性废物暂存间，核素治疗中心患者活动区域仅限于住院病房，核素影像中心给药后患者活动范围仅限于给药后候诊及留观区域。	满足
核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。	本项目设置有独立的工作人员和患者通道，可以避免医生病人交叉影响，同时针对放射性药物和放射性废物运送采取时间管控措施，避免交叉影响，放射性药物和放射性废物运送通道已设计为尽可能短捷。	满足
核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。	①本项目各场所的出入口均设有门禁系统，未经授权或允许不能随意进入场所内。②给药后患者的活动区域限定在有限的空间内。③控制区的出入口均设立了卫生缓冲区，辐射工作人员需经过表面沾污监测→合格→更衣流程后离开；住院患者出院需经监测达标后方可出院。④给药后患者的留观区域及住院病房均设有专用卫生间，下水通过管道进入医院衰变池暂存衰变。	满足

综上所述，本项目核医学科三个非密封放射性物质工作场所分区明确且独立，各场所平面布局均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），各场所均按照相应的工艺流程进行流线布局，满足工作要求，既能有机联系，又不相互干扰，且最大限度避开了人流量较大的普通门诊区或其它人流活动区，在环评及设计阶段，所有辐射工作场所均进行了合理的优化布局，同时兼顾了

病人就诊的方便性。从辐射安全的角度考虑，本项目各辐射工作场所产生的电离辐射经屏蔽后对周围辐射环境影响是可接受的，平面布置合理。

二、工作区域管理

1、分区原则

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，将本项目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：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：通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

2、控制区与监督区的划分

根据本项目的平面布置，核医学科三个场所控制区和监督区划分情况详见表 10-2。

表 10-2 本项目控制区和监督区（两区）划分一览表

工作场所	控制区	监督区	备注
核素治疗中心	放射性废物间 2、被服处置间、核素病房患者走廊、核素病房 1~7、患者走廊、甲癌送餐间、送餐通道、备药室 1、储源间 1、放射性废物间 1、保洁间 1、注射间、服药室、甲亢留观室、甲吸室	患者入口缓冲间、患者出口缓冲间、备药室 1 入口缓冲间和淋浴间	控制区内禁止外来人员进入，职业工作人员在进行日常工作时候尽量减少在控制区内停留的时间，且职业工作人员在放射性操作岗位必须穿戴防护用品，以减少不必要的照射。 监督区范围内应尽量限制无关人员进入。
放药制备和小动物实验中心	热室、内毒素间、药代实验室、阳性对照室、无菌实验室、放射性废物间 5、小动物操作间、小动物暂存间、小动物显像机房、放射性废物间 6	热室缓冲间、外包间、洁具间、洗消间、准备间、场所内的一更、二更和缓冲间、紧急淋浴间、小动物显像机房控制室	
核素显像中心	敷贴治疗室、备药室 2、储源间 2、放射性废物间 3、患者走廊、运动负荷室、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、PET/MR 机房、保洁室 2、SPECT 留观室、SPECT 候诊室、放射性	备药室 2 缓冲和淋浴间、患者入口缓冲间、SPECT/CT 控制室、PET 控制室、PET 设备机房、SPECT 显像患者出口缓冲间、PET 显像患者	

	废物间 4、PET 留观室/抢救室、PET 候诊室 1~4	出口缓冲间	
/	衰变池	/	为防止无关人员进入核医学科衰变池所在位置,应在衰变池周围设置隔离围栏,并张贴电离辐射警示牌。

3、控制区防护手段与安全措施

①控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志, 见下图。

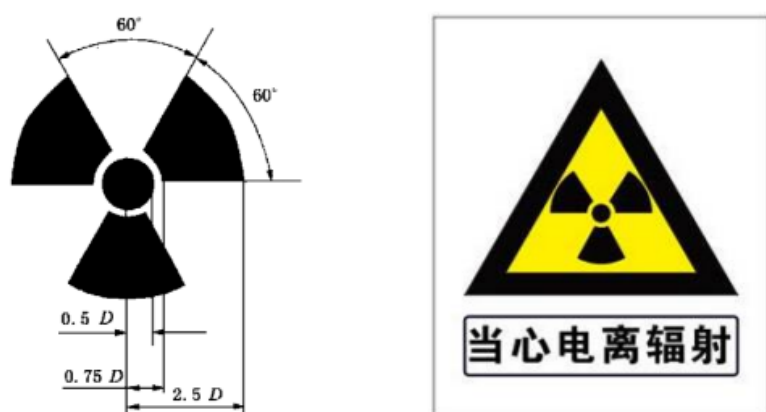


图 10-4 电离辐射标志和电离辐射警告标志

②制定职业防护与安全管理措施, 包括适用于控制区的规则和程序;

③运用行政管理程序(如进入控制区的工作许可制度)和实体屏障(包括门禁)限制进出控制区;

④在卫生通过区域配备个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜等;

⑤定期审查控制区的实际状况, 以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施。

4、监督区防护手段与安全措施

①监督区边界以黄线警示;

②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌;

③定期检查该区的条件, 以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定, 或是否需要更改监督区的边界。

三、辐射安全及防护措施

(一) 核医学科非密封放射性物质工作场所

1、防护要求

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应防护措施，依据操作最大量放射性核素的加权活度对放射性核素工作场所进行分级管理，把场所分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三类，不同级别工作场所室内表面和装备结构的基本防护要求见表 10-3。

表 10-3 按不同级别工作场所室内表面和装备的要求

工作场所	分类		
	Ⅰ类	Ⅱ类	Ⅲ类
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
手套箱	需要	需要	不必须
室内通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道	普通管道	普通管道
清洗及去污设备	洗手盆和去污设备	洗手盆和去污设备	洗手盆

注①下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。
②洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

本项目核医学科具体设计情况见下表。

表 10-4 本项目非密封放射性物质工作场所防护设计情况

工作场所	地面	工作台面	手套箱	室内通风	管道	清洗及去污设备
核素治疗中心、放药制备和小动物实验中心、核素影像中心	地面采用 PVC 地面，墙面与地面交接作圆角处理，地面全部敷设易去污并可以拆除更换的材料，其边缘应高出地面 15~25cm，且地面光滑，并具有易去污，受辐照后不易老化，且防水。	各放射性核素操作台面均设为易清洗不锈钢台面，小动物实验操作采用托盘上面铺设垫纸的方式。	热室内设置 2 个合成热室柜和 1 个分装热室柜；小动物操作间设 1 台通风橱；备药室 1 和备药室 2 各设 2 台手套箱。各热室柜、手套箱、通风橱风速大于 0.5m/s。	已设计独立排风系统，引至楼顶过滤后排放。	已设计独立下水系统，连接至并联衰变池。	拟设置表面沾污检测设备和去污设备。

根据 10-3、表 10-4 对比，本项目核医学科各工作场所室内防护和装备要求能够达到《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中最高级Ⅰ类场所的防护要求。

2、防护措施

本项目非密封放射性物质工作场所采取的辐射防护与放射性污染防治措施主要包括以下方面：

(1) 建筑物屏蔽防护

本项目辐射工作场所的设计和修建均由相应资质的单位进行设计和装修，房间的四周及屋顶均修建相应的屏蔽体对射线进行有效的屏蔽，屏蔽状况见下表。

表 10-5 本项目各非密封放射性物质工作场所房间防护情况一览表

核素治疗中心				
房间名称	墙体、屋顶和地板		防护门	窗
备药室 1、 放射性废 物间 1、储 源间 1	四面墙体	240m 实心砖+40mm 硫酸钡	10mmPb	/
	顶棚	180mm 混凝土		
	地板	250mm 混凝土		
注射室、服 药室	四面墙体	240m 实心砖+40mm 硫酸钡	8mmPb	服药窗 40mmPb； 注射窗 50mmPb
	顶棚	180mm 混凝土		
	地板	250mm 混凝土		
甲亢留观 室	四面墙体	240m 实心砖+80mm 硫酸钡	5mmPb	/
	顶棚	180mm 混凝土		
	地板	250mm 混凝土		
核素病房 1-7	四面墙体	240m 实心砖+80mm 硫酸钡	8mmPb	/
	顶棚	180mm 混凝土		
	地板	250mm 混凝土		
甲吸室	四面墙体	240m 实心砖	/	/
	顶棚	180mm 混凝土		
	地板	250mm 混凝土		
放射性废 物间 2	四面墙体	240m 实心砖+60mm 硫酸钡	10mmPb	/
	顶棚	上方为土层		
	地板	下方为土层		
放药制备和小动物实验中心				
热室	四面墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡	4mmPb	/
	顶棚	180mm 混凝土		
	地板	250mm 混凝土		
小动物显 像机房	四面墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡	6mmPb	6mmPb
	顶棚	180mm 混凝土		
	地板	250mm 混凝土		
小动物暂 存间	四面墙体	240m 实心砖+80mm 硫酸钡	6mmPb	/
	顶棚	180mm 混凝土		
	地板	250mm 混凝土+60mm 硫酸钡		
操作间	四面墙体	240m 实心砖+40mm 硫酸钡	6mmPb	/
	顶棚	180mm 混凝土		
	地板	250mm 混凝土		
放射性废 物间 5	四面墙体	240m 实心砖+40mm 硫酸钡	4mmPb	/
	顶棚	180mm 混凝土		
	地板	250mm 混凝土		
放射性废	四面墙体	240m 实心砖+40mm 硫酸钡	4mmPb	/

物间 6	顶棚	180mm 混凝土		
	地板	250mm 混凝土		
内毒素、阳性对照、无菌等质控区	四面墙体	240m 实心砖	/	/
	顶棚	180mm 混凝土		
	地板	250mm 混凝土		
核素影像中心				
备药室 2	四面墙体	240m 实心砖+40mm 硫酸钡	6mmPb	SPECT 药物注射窗 10mmPb； PET 药物注射窗 40mmPb
	顶棚	180mm 混凝土		
	地板	250mm 混凝土		
储源间 2、放射性废物间 3	四面墙体	240m 实心砖+40mm 硫酸钡	4mmPb	/
	顶棚	180mm 混凝土		
	地板	250mm 混凝土		
运动负荷室	四面墙体	240m 实心砖+40mm 硫酸钡	5mmPb	/
	顶棚	180mm 混凝土		
	地板	250mm 混凝土		
注射走廊	四面墙体	240m 实心砖+40mm 硫酸钡	东 10mmPb； 病人入口 6mmPb	/
	顶棚	180mm 混凝土		
	地板	250mm 混凝土		
放射性废物间 4	四面墙体	240m 实心砖+40mm 硫酸钡	4mmPb	/
	顶棚	180mm 混凝土		
	地板	250mm 混凝土		
SPECT 注射后候诊室、SPECT 留观室	四面墙体	240m 实心砖+40mm 硫酸钡	4mmPb	/
	顶棚	180mm 混凝土		
	地板	250mm 混凝土		
PET 留观/抢救室、PET 注射后候诊室 1-4	四面墙体	240m 实心砖+60mm 硫酸钡	6mmPb	/
	顶棚	180mm 混凝土+4mmPb 铅板		
	地板	250mm 混凝土+40mm 硫酸钡		
PET-CT 机房	四面墙体	240m 实心砖+60mm 硫酸钡	6mmPb	6mmPb
	顶棚	180mm 混凝土+4mmPb 铅板		
	地板	250mm 混凝土+40mm 硫酸钡		
PET/MRI 机房	四面墙体	240m 实心砖+60mm 硫酸钡	6mmPb	6mmPb
	顶棚	180mm 混凝土+4mmPb 铅板		
	地板	250mm 混凝土+40mm 硫酸钡		
SPECT/CT 机房	四面墙体	240m 实心砖+60mm 硫酸钡	4mmPb	4mmPb
	顶棚	180mm 混凝土+2mmPb 铅板		
	地板	250mm 混凝土		

注：本项目使用的混凝土密度为 2.35g/cm³，铅板的密度为 11.3g/cm³，实心砖的密度为 1.6g/cm³，硫酸钡防护涂料密度为 3.9g/cm³。

(2) 储存过程的防护措施

本项目外购的锶镓发生器、钼钨发生器、放射性药品或核素，均须向有相应类别销售资质的厂家进行购买，厂家将按《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）规定货包的要求进行包装，货包表面任意一点的最高辐射水平为 $0.005\text{mSv/h} < H \leq 0.5\text{mSv/h}$ 。厂家按医院要求分别将货包运至核医学科储源间 1、热室储源柜及储源间 2 中暂存，锶镓发生器将放入锶镓淋洗标记专用热室柜中。

医院应定期对各储源场所进行辐射水平监测，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。应采取门禁系统或上锁并确定固定保管人员、设置监控系统等方式确保各储源场所的储存安全。

(3) 操作过程的防护措施

①核素治疗中心放射性药物操作防护

核素治疗中心备药室 1 设有 2 台手套箱，其中 1 台手套箱内置碘-131 自动分装仪，甲癌和甲癌用药由自动分装仪进行分药后通过服药室窗口推送给患者服用，工作人员在办公室远程操控碘-131 自动分装仪，甲功测定用药由工作人员在手套箱内手动分装后递给患者服用，服药窗铅当量 40mmPb 。其他放射性药物的分装在另一台手套箱中完成，注射类药物分装后装于外套 20mm 铅当量铅套的注射器内，注射器装于 20mm 铅当量注射器提盒中转移至注射台，注射时工作和病人间设置有 50mm 铅当量的落地式注射装置。工作人员在备药室工作需穿戴铅衣、铅帽、铅围脖、戴铅眼镜等，其防护铅当量为 0.5mm 。

需要输液给药的患者，先在注射室静脉植入留置针，然后进入病房等待。护士将分装好的放射性药物放入 20mm 铅当量提盒中，通过移动小车运送至病房，利用输注的三通接口进行静脉滴注，全过程均是密封操作，不存在开放液面。为防止注射过程中药物撒漏造成放射性污染，工作人员在输注连接口的操作位置铺设一次性铺巾。

备药室 1 操作过程中产生的放射性废物采用 20mm 铅当量铅桶收集屏蔽，待铅桶收集满，转运至放射性废物暂存间 1 内 20mm 铅当量的放射性固废箱暂存。

②放药制备和小动物实验中心放射性药物操作防护

药物制备区热室内设置 2 个放药淋洗标记热室柜，放射性药物在热室柜内自动淋洗标记，工作人员采用电脑远程操控，设置 1 个分装热室柜，工作人员手动

分装放射性药品。

放射性药品质控在生物安全柜内完成，工作人员采用 L 型铅玻璃防护。

小动物实验区，放射性药品分装、动物注射等在手套箱内进行，动物解剖在生物安全柜内开展，工作人员采用 L 型台面铅玻璃防护。

小动物显像采用自屏蔽式 SPECT/PET/CT 三模态一体机进行。

工作人员进行涉放操作均需穿戴铅衣、铅帽、铅围脖等防护用品。热室、质控区、小动物操作间等场所均配置有铅固废桶，待铅桶收集满，转运至放射性废物暂存间 5 内 20mm 铅当量的放射性固废箱暂存。

③核素影像中心放射性药物操作防护

核素影像中心备药室 2 设有 2 台手套箱，工作人员在手套箱内进行钼锝发生器淋洗及放射性药物分装，碘 125 粒子源装枪在生物安全柜中进行，工作人员前置 L 型铅玻璃进行防护。工作人员将注射药物吸入带有注射器防护套的注射器内，再将注射器防护套放入注射器防护提盒内，转移到注射窗口，通过防护型注射窗为患者注射。

磷-32 敷贴器在备药室 2 手套箱内制作完成后，装入 10mm 有机玻璃盒内，通过传递窗传入敷贴治疗室。敷贴治疗室设铅屏风，医生和患者之间用铅屏风隔离。

工作人员进行涉放操作均需穿戴铅衣、铅帽、铅围脖等防护用品，敷贴室工作人员戴防护面罩进行敷贴操作。敷贴治疗室、备药室 2 均配置有铅固废桶，待铅桶收集满，转运至放射性废物暂存间 3 内放射性固废箱暂存。

（4）对给药后病人的防护与管理

①核素治疗区病人防护与管理

本项目对甲癌病房和其他住院病房进行分区管理，各区域设门禁系统，非经允许不得随意进出，患者住院期间，禁止探视，活动区域尽量限制在病房区域内，医护人员通过视频设施或电话查房，医护人员一般不进入病房。各病房及甲亢留观室均设 1 个放射性固废桶，用于收集病人产生的放射性固废，均设有专用卫生间，卫生间下水排入医院衰变池进行衰变。双人病房内病床间设置铅屏风。病房区设有被服处置间，对于污染被服，先放入被服处置间衰变达标后再进行清洗。

患者出院时体内活度应满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 B 要求。以甲癌患者为例，根据医院的治疗经验，单人次最大用药量为

130mCi。患者甲状腺切除， ^{131}I 进入患者体内后，会随着身体代谢，很快随着尿液、粪便等排出。根据《分化型甲状腺癌患者的 ^{131}I 有效半衰期》（易艳玲等，原子能科学与技术，Vol44,suppl.10,9）报道，甲癌患者的 ^{131}I 平均有效半衰期为 $(14.6\pm 6.5)\text{h}$ ，本评价取最大值 21.1h，据此计算甲癌患者服药并住院 3 天后（即住院第 4 天），其体内的放射性活度约为 42.4MBq，小于 400MBq，满足出院标准。出院时，医院工作人员做好病人和家属的宣教工作，并书面告知患者初期与家人保持 1m 以上的距离，避免出入公共场所。

②核素显像中心患者防护与管理

患者注射放射性药物后进入专门的候诊房间等候显像，候诊房间内设有铅屏风，用于患者之间的隔离，并设有专用卫生间，卫生间下水排入医院衰变池暂存衰变，设有放射性固废桶，收集患者产生的放射性固废。各显像机房设有铅屏风，用于需摆位时医生和患者之间的隔离。

敷贴患者在敷贴治疗室进行敷贴治疗，禁止将敷贴器带出敷贴治疗室。

对于 ^{125}I （粒籽源）患者，住院期间其病房应划为临时控制区，除医护人员外，其他无关人员不应入内，患者也不应随便离开。医护人员查房，家属成员如需长时间陪护应与患者保持 1m 以上的距离。病房内设置专用的放射性固废收集桶用于收集 ^{125}I 粒籽源病人住院期间可能会因不适而咳嗽、呕吐或排泄产生的废 ^{125}I 粒籽源。

（5）辐射安全措施

①电离辐射警告标志

医院计划在核医学科三个非密封放射性物质工作场所控制区入口及控制区内各房间防护门外设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意辐射影响。在 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房受检者防护门上方设置工作状态指示灯，并与防护门联锁，防护门关闭时指示灯显示为红色，防护门打开时，指示灯灭。

②紧急制动装置

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

③操作警示装置

PET/CT 和 SPECT/CT 扫描时，操作台上的指示灯变亮，警示装置发出警示

声音。

④视频监控和对讲装置

在工作场所范围内设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、核素诊断与治疗工作场所进出/口情况；医生办公室与住院病房之间、医生办公室与显像中心给药后候诊、留观区之间、PET/CT 机房和控制室之间，SPECT/CT 机房和控制室之间拟安装对讲装置，便于工作人员通过对讲装置与患者联系。

⑤门禁系统

对三个非密封放射性物质工作场所的各个出入口设置门禁系统，控制人员进出。

⑥对控制区内带药病人的监督管理

医院应做好本项目控制区的监督管理工作，防止无关人员入内；加强对控制区内病人的监督管理，通过流程管理控制病人进入控制区的数量及时间，避免病人给药后随意走动，避免病人给药后的相互交叉；同时应告知出院病人和检查完成后病人离开路线，防止其对公众造成不必要照射。

⑦“两区”内安全防护措施规定

工作人员离开工作区域前洗手和做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，采取去污措施。住院区病人出院前应接受身体剂量当量率监测，低于规定限值后方可出院。从控制区取出任何物件都应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。

⑧放射性物质存储安全措施

A、医院应做好热室及两个备药室储源间的安全管理，建议安装摄像头、红外报警系统；

B、放射性药物的存储容器要有合适的屏蔽。放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的那部分；

C、储源场所、分装注射室要有专人进行管理，并定期进行辐射剂量的监测，无关人员禁止进入；

D、放射性物质要有进出登记，包括生产单位、生产日期、到货时间、核素种类、理化性质、活度和使用情况的详细记录等，建立放射性同位素台账制度；

E、医院应建立完善的放射性核素贮存、领取、使用、归还登记和检查制度，做到交接账目清楚、账物相符，记录资料完整。

(6) 表面沾污防治措施

表面沾污的影响主要来源于工作人员操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对职业人员和公众造成辐射影响，因此，为了使本项目非密封放射性物质工作场所的 α 及 β 表面污染水平达到GB18871-2002规定的要求，提出以下管理措施和要求：

①针对放射性核素的分装操作（特别是挥发的药物）采用负压隔离的方法进行防护，即本项目设置热室柜、手套箱、生物安全柜把放射性核素局限在某一空间内操作，操作过程各操作箱内风速不小于0.5m/s，并保持各操作箱内负压，防止放射性核素逸散到房间内。

②非密封放射性物质工作场所地面采用环氧树脂自流平地面，墙面与地面交接作圆角处理，地面全部敷设易去污并可以拆除更换的材料，其边缘应高出地面15~25cm，且地面光滑，并具有易去污和防渗能力（渗透系数 $\leq 10^{-10}$ cm/s）。

③对于放射性核素的分装过程中在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染。保持工作台面清洁，定期对工作台面采用湿法擦拭清洁，防止放射性核素沉降经伤口或皮肤渗透转移至体内，且严禁工作人员在开放性工作场所内进食、饮水和吸烟。

④放射性药品用后应及时存放在专用柜内，需防盗、防水、防火、柜外应有电离辐射标志。

⑤每天操作结束后，对场所内易接触的部位进行表面沾污监测，若出现超标情况，应即时按制定的去污操作规程开展去污操作，去污废水和擦拭纸等均需按放射性废物管理。

⑥辐射工作人员在进行工作前应做好个人防护用品的佩戴，包括：防护工作服、帽子、鞋子、手套、袖套、围裙、口罩、防护眼镜、个人剂量计、个人剂量报警仪等，在完成工作后按指定人员通道离开，同时缓冲区设置喷淋清洗区和表面沾污监测仪，并经过“洁衣剂量检查（监测不合格需经过“去污”过程）→脱洁衣→穿家常服→穿家常鞋→出口”的流程。

⑦所有辐射工作人员上岗前应经过专业培训，并熟悉自己岗位的操作流程，并具备相应的技能与防护知识，管理人员需定期进行检查，严禁人员违规操作。

⑧用药病人在入院前及出院前，医生需提前告知病人及家属辐射可能带来的危害性，就诊病人在用药后均实行病人与陪护人员及其他公众的隔离管控，用药

病人住院、候诊和留观期间禁止病人随意流动，尽量控制因吐痰或随意丢弃垃圾等行为造成表面污染范围，并使用病人专用厕所进行大小便，在留观结束后须按指定线路离开核医学科。

3、工作场所的气流组织

本项目核医学科 3 个工作场所均设置有通排风系统，设置三个场所的气流走向为清洁区→监督区→控制区。

本项目放射性核素的淋洗、标记、分装等工序可能会产生少量含放射性核素的气溶胶，这类工序在带有独立通风装置的热室柜、手套箱或生物安全柜内进行操作。

射线装置运行过程中，X 射线与空气作用会产生少量臭氧、氮氧化物等有害气体，机房设置有动力排风装置，并保持良好的通风。

4、其他防护措施

时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少工作人员的涉放工作时间，使照射时间最小化。设置明显的电离辐射警告措施，提示其他人员尽可能减少在辐射工作场所周围的停留时间。

距离防护：在不影响工作质量的前提下，工作人员保持与辐射源尽可能大的距离，使距离最大化。设置必要的防护、隔离、警告措施，尽可能增大人员与辐射场所之间的防护距离。

(二) III类射线装置辐射防护措施

1、设备固有安全性

(1) 采用栅控技术：在每次脉冲曝光间隔向旋转阳极加一负电压，抵消曝光脉冲的启辉与余辉，起到消除软 X 射线、提高有用射线品质并减小脉冲宽度作用。

(2) 采用光谱过滤技术：在 X 射线管头或影像增强器的窗口处放置合适铝过滤板，以多消除软 X 射线以及减少二次散射，优化有用 X 射线谱。

(3) 采用脉冲透视技术：在透视图像数字化基础上实现脉冲透视（如每秒 25 帧、12.5 帧、6 帧等可供选择），改善图像清晰度；并能明显地减少透视剂量。

(4) 采用图像冻结技术：每次透视的最后一帧图像被暂存并保留于监视器上显示，充分利用此方法可以明显缩短总透视时间，达到减少不必要的照射。

(5) 配备有相应的表征剂量的指示装置，当曝光室内出现超剂量照射时会发出报警。

2、机房屏蔽设计

(1) 主体结构屏蔽设计

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），X 射线装置设备机房屏蔽防护应满足下表所列要求。

表 10-7 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护要求

设备类型	机房内最小有效使用面积（m ² ）	机房内最小单边长度（m）	有用线束方向铅当量（mm）	非有用线束方向铅当量（mm）
CT 机	30	4.5	2.5	2.5

本项目小动物显像机房内使用自屏蔽显像设备，其屏蔽厚度及应急设施满足规范要求。核素显像区 2 台 III 类射线装置机房由有相应资质单位进行设计和施工，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），本项目核素显像区 2 台 III 类射线装置机房与标准屏蔽措施对照情况见下表。

表 10-8 核素显像区 2 台 III 类射线装置机房的实体防护设施对照表

场所	屏蔽体名称	机房结构及厚度	对应铅当量厚度	标准限值要求	对比结果
SPECT/CT 机房	四面墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡	>4mm	有用线束和非有用线束方向铅当量均不低于 2.5mm 铅当量	满足
	屋顶	180mm 混凝土+2mmPb 铅板	>4mm		满足
	地板	250mm 混凝土	>3mm		满足
	防护门	2 扇，均为 4mm 铅当量	4mm		满足
	观察窗	4mm 铅当量铅玻璃	4mm		满足
	有效使用面积	57m ²	/	30m ²	满足
	最小单边长度	6.8m	/	4.5m	满足
PET/CT 机房	四面墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡	>4mm	有用线束和非有用线束方向铅当量均不低于 2.5mm 铅当量	满足
	屋顶	180mm 混凝土+4mmPb 铅板	>6mm		满足
	地板	250mm 混凝土+40mm 硫酸钡	>5mm		满足
	防护门	2 扇，均为 6mm 铅当量	6mm		满足
	观察窗	6mm 铅当量铅玻璃	6mm		满足
	有效使用面积	51.4m ²	/	30m ²	满足
	最小单边长度	6.6m	/	4.5m	满足

由表 10-8 可知，本项目核素显像区 2 台 III 类射线装置机房的设计屏蔽状况满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中机房内最小有效使用面积、机房内最小单边长度和屏蔽防护铅当量厚度要求。

（2）穿墙及防护门安装设计要求

III 类射线装置机房内控制电缆和通风管道均采用 U 型穿墙，同时在电缆和

通风口出口或入口处采用与机房设计相同铅当量的铅橡胶进行补偿防护。为减少接缝处射线的泄漏，要求防护门两侧铅板搭接宽度大于门缝宽度 10 倍以上。

3、机房安全装置设计与布置

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、生态环境部（国家核安全局）《核技术利用监督检查技术程序》（2020 年发布版）、《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环函[2016]1400 号），本项目 III 类射线装置机房具体布置情况见表 10-9。

表 10-9 本项目 III 类射线装置机房安全装置布置表

安装装置	作用及安装要求	配置数量
紧急制动开关	控制室操作台和床体旁设置紧急止动开关，以避免机房内人员尚未完全撤离的情况下开机，产生误照射。按钮位置应有中文标识。	1 套×3 间
工作状态指示灯（门-灯联锁）	机房防护门口醒目处均安装工作状态指示灯，并于防护门联锁，当防护门关闭时，工作状态指示灯亮起，显示“射线有害，灯亮勿入”，当防护门开启时工作状态指示灯熄灭。	1 套×3 间
语音对讲装置	在准备出束时，操作台工作人员可通过语音对讲装置与机房内人员进行沟通交流。	1 套×2 间（小动物显像机房不设置）

四、辐射工作场所安防措施

为确保本项目核医学科 3 个乙级非密封放射性物质工作场所和 III 类射线装置的辐射安全，本项目采取的安全保卫措施见表 10-10。

表 10-10 辐射工作场所安防措施一览表

工作场所	措施类别	对应措施
非密封放射性物质工作场所	防火	核医学科拟安装烟气报警装置和消防栓，且各个房间功能单位需满足《建筑设计防火规范》（GB50016-2014，2018 版），本项目核医学科禁止储存易燃、易爆、腐蚀性等其他一切与本项目无关的物品。同时人员易接触的地方均配备干粉式灭火器。
	防水	整个场所做了较好的防水和防渗设计，四周设置有排水沟，并可有效防止雨水渗入，同时整个非密封放射性物质工作场所将敷设防水材料，避免放射性污染物下渗影响。
	防盗和防破坏	①整个核医学科控制区进行封闭管理，并设有门禁系统，非相关人员不能直接进入核医学科 3 个场所控制区内。 ②各个非密封放射性物质设有专门的储存场所，非密封放射性物质的转入、转出均由专人进行台账管理。 ③整个核医学科控制区设置严密的监控系统，实行 24h 实时监控，并将核医学科控制区作为保安人员重点巡查范围。

	防泄漏	①本项目使用的各种放射性核素或药品均来自正规生产厂家，出厂时包装用铅罐密闭，铅罐表面剂量满足标准要求，且用完后的空铅罐经表面去污处理后放置于储源室内待厂家进行回收。 ②核医学科非密封放射性物质工作场所均采取有效的实体屏蔽措施，能够达到《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中工作场所的要求。 ③建设单位拟配备便携式γ辐射监测仪及α、β表面沾污仪，并进行定期或不定期场所监测，发现异常及时查明原因并进行处置。
射线装置工作场所	防盗、防抢和防破坏	①本项目III类射线装置机房均纳入医院日常安保巡逻的重点工作范围，加强巡视管理以防遭到破坏； ②各工作场所均设置有红外线监控，实行24h实时监控； ③每台射线装置均安排有专人进行管理和维护，并进行台账记录，一旦发生盗抢事件，立即关闭设备和防护门，并立即上报地方生态环境部门和公安机关； ④射线装置机房和邻近房间不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品等物品。
	防泄漏	①本项目所使用的III类射线装置购置于正规厂家，具有固有安全性，防护性能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； ②本项目所有射线装置工作场所均已按照有关规范要求进行了辐射防护设计，只要按照设计和环评要求进行落实，机房是不存在辐射泄漏的情况，根据辐射影响分析，机房屏蔽体外30cm处剂量率能满足标准限值要求。

五、辐射安全防护设施对照分析

为保证辐射安全，防止发生辐射事故，根据生态环境部（国家核安全局）《核技术利用监督检查技术程序》（2020年发布版）和《关于印发〈四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）〉的通知》（川环函[2016]1400号）中对非密封放射性物质工作场所、III类射线装置、V类放射源辐射安全防护设施的要求，本次评价根据建设单位采取的辐射安全装置及设备进行了对照分析，具体情况见表10-11。

表 10-11 辐射安全防护设施汇总对照分析表

非密封放射性物质工作场所			
序号	项目	规定的措施和制度	落实情况
1	场所设施	工作场所功能、设置及分区布局	已进行分区设计
2		场所分区的管控措施及标识	拟配置
3		电离辐射警告标志	拟配置
4		卫生通过间	场所已设计了卫生通过间或缓冲间
5		通风系统完整性及效能	已设计，场所设计了独立通排风管道，并采用活性炭和高效过滤器处理废气后高空排放
6		有负压和过滤的工作箱/通风柜	拟配置手套箱、热室柜、通风柜、生物安全柜

7		治疗病房病人之间防护（屏蔽、通风）	拟配置铅屏风
8		注射或口服药用屏蔽措施	设计有防护铅窗
9		易去污的工作台和防污染覆盖材料	拟配置
10		移动放射性液体时容器不易破裂或有不易破裂的套	拟配置转移铅盒和注射器铅防护套若干
11		病人专用卫生间	已设计
12		放射性物料与成品暂存场所或设施	已设计
13		安保设施	拟配置
14	监测设备	便携式辐射监测仪（污染、辐射水平等）	拟配置
15		个人剂量计	拟配置
16		个人剂量报警仪	拟配置
17		放射性活度计	拟配置
18		人员出口污染监测仪	拟配置
19	放射性废物和废液	放射性下水系统及标识	拟配置
20		放射性固体废物暂存间	已设计
21		废物暂存间屏蔽措施	已设计
22		废物暂存间通风系统	已设计
23	防护器材	个人防护用品	拟配置
24		放射性表面去污用品和试剂	拟配置
25		灭火器材	拟配置
III 类射线装置机房			
序号	项目	规定的措施和制度	落实情况
1	场所设施	隔室操作或防护屏	已设计
2		观察窗防护	已设计
3		门窗防护	已设计
4		候诊位设置合理或有合适的防护	已设计
5		辅助防护用品	拟配置
6		通风设施	已设计
7		入口处电离辐射警示标志	拟配置
8		入口处机器工作状态显示	已设计
9	其它	个人剂量计	拟配置
10		灭火器材	拟配置
V 类放射源使用场所			
1	场所设施	保险柜	利旧

三废的治理

一、废气处理措施

1、放射性废气治理措施

本项目核医学科设有 3 个非密封放射性物质工作场所，针对各放射性工作区域均设置有独立的放射性废气排风系统，具体如下：

①各非密封放射性物质工作场所内的热室柜、手套箱、通风橱、生物安全柜

等柜体顶部均自带放射性废气吸附装置，为一级过滤，各场所废气通过管道引致门诊急诊医技综合楼楼顶排放，楼顶共设有 6 个放射性废气排放口，各排口前端均设置了活性炭吸附装置，为第二级过滤。因此，热室柜、手套箱、通风橱等柜体内集中操作放射性核素的区域均设置了两级过滤系统，其它涉及放射性的房间均设置了一级过滤系统。

②各场所气流流向为：清洁区、监督区、控制区，控制区的负压高于监督区，监督区高于清洁区，各房间支管道均设置止回阀，防止放射性废气互相扩散或向周围非辐射工作区域扩散。

③核素治疗中心涉及甲癌治疗，备药室 1 的 2 台手套箱设立了独立的排风管道和独立的排气口，甲癌住院病房的排气管道设有一根独立的管道，与其它住院病房分开，各排气管道汇入主管前均设有止回阀。

④核医学科废气引至楼顶排放，排气筒高度约 60m，排气口避开周围的高层建筑，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中：通风系统排气口高于本建筑物屋顶，尽可能远离临近的高层建筑的要求。

⑤各操作放射性核素的柜体通过设置抽风+自然进风的方式，使柜体内保持负压状态，风速均大于 0.5m/s，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中“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”的规定。

为保证放射性废气处理设施正常安全运行，建设单位还需采取如下措施：

①建设单位需定期对通排风系统管道及过滤系统设施设备进行检修和维护，并建立设施设备维护台账，其中活性炭需根据设备要求进行过滤效率检定和更换，每半年至少进行一次维护和校正；

②更换下的滤芯应按放射性固体废物进行管理和处置；

③为防止公众进入楼顶避免不必要的误照射，要求建设单位将废气排风口楼顶划为管控区域，并进行封闭管理。

2、非放射性废气治理措施

本项目动物实验区特别是小动物暂存间可能产生动物臭气，3 台 III 类射线装置运行时 X 射线与空气作用会产生少量臭氧，这些区域均设置了通排风设施，废气经排风管道抽至楼顶排放。

二、废水处理措施

1、核医学科放射性废水

(1) 处理措施

本项目放射性废水主要来自病人的排泄废水、住院病人淋浴废水、辐射工作人员清洗废水、场所清洁废水等。各场所设置有放射性废水管道，放射性废水通过管道排至门急诊医技综合楼西侧草坪区的地理式衰变池系统，衰变池前置预处理池。

本项目设有 2 套地理式并联衰变池 2 组（长周期衰变池和短周期衰变池），每组设 3 个衰变池和 2 个预处理池（化粪池）。长周期衰变池 3 个衰变池的容积一样，均为长 9.5m×宽 3.0m×高 6.15m，有效容积均为 142.5m³；短周期衰变池 3 个衰变池的容积一样，均为长 3.5m×宽 1.5m×高 6.15m，有效容积均为 26.25m³；4 个预处理池的净空尺寸一样，均为长 3.0m×宽 1.5m×高 2.05m。本项目设计将核素显像中心放射性废水排入短周期衰变池，将核素治疗中心、放药制备和小动物实验中心废水排入长周期衰变池。

衰变池和预处理池（化粪池）的池壁、各池体隔墙、顶板和底板均采用 C30 混凝土浇筑，内壁采用含钡水泥砂浆涂刷 20mm 厚，防渗系数 $\leq 10^{-7}$ cm/s，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定的坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性要求。放射性废水的排放管道位于地下，要求全线不渗漏，并做好沿途的防护。核医学科放射性废水的排放管道采用 DN100 不锈钢管体或铸铁管，外包 5mm 铅当量的铅皮包裹，防止泄漏。排放管道走线避开人群密集区域，尽量减小对公众的辐射影响。

(2) 衰变池的运行原理

每组衰变池的 3 格衰变池并联，依次使用。初使用时，1 号衰变池电动阀开启，2、3 衰变池电动阀关闭。1 号衰变池水位达到最高水位时，1 号衰变池电动阀关闭，2 号衰变池电动阀开启。2 号衰变池水位达到最高水位时，2 号衰变池电动阀关闭，3 号衰变池电动阀开启。3 号衰变池水位达到最高水位时，3 号衰变池电动阀关闭。如此循环反复。放射性废水在衰变池内停留一个排水周期，最终进入医院一般污水管网作为一般废水进行处理。3 格衰变池轮流使用，衰变池加盖上锁，并安排专人管理。

同时为保障该衰变池的长效可靠运行还需采取如下管理措施：

①衰变池区应作为重点防渗区（渗透系数需 $\leq 10^{-10}$ cm/s）和控制区进行独立

管理，建设单位专职部门应定期对放射性废水管道、阀门、池体及附属安全设施（如液位报警、电控系统）及防渗设施进行维护和检修，防止“跑、冒、滴、漏”情况出现，同时防止污泥硬化淤积、堵塞进出水口、池体超压等情况发生，不得随意对下水管道进行改线或接入非放下水管道，不得设置U型下水管路，保持管道内径光滑并具有一定的下水坡度，防止出现放射性物质沉积。

②放射性废水衰变池设有废水取样口和检修口，排放前应对放射性废水进行取样监测，监测结果符合排放标准后方可排放。建设单位应对每次排放时间、排放量等做好详细记录，保留好排放前废水监测报告，设置专门的废水排放台账，台账应有专人管理，存档保存；

③为防止衰变池过满溢出，每个衰变池设置液位计，随时监控衰变池内水位，到达预定位置时即可报警并提示自动关闭进水阀门，使废水进入下一个池体；

④预处理池（化粪池）内沉渣如难于排出，可进行酸化预处理再排入下水系统；

⑤衰变池池体上方四周设围栏，并设立明显的电离辐射警告标志。

2、非放射性废水治理措施

非放射性废水主要来自运行期间工作人员的生活废水，该部分废水直接排入医院污水处理站进行达标处理，排入市政污水管网后进入生活污水处理厂处理。

三、固体废物处理措施

一）、放射性废物处理措施

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），针对放射性固废的收集、贮存和处理应满足以下要求：

（1）放射性固体废物收集

①按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理；②建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案；③放射性固废收集桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，放置刺破废物袋；④放射性废物每袋重量不超过20kg，装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

（2）放射性固废临时贮存和最终处理

①放射性废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库

日期等信息，并做好登记记录；

②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/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

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

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

c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

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。

1、核素治疗中心放射性废物处理措施

(1) 核素治疗中心放射性固废收储库容分析

根据表 9-4，核素治疗中心放射性固废的体积换算结果见下表。

表 10-12 核素治疗中心放射性固体废物年产生体积一览表

核素名称	半衰期	年产生量 (kg/a)	年产生体积 (m ³ /a)
¹³¹ I (甲吸)	8.04d	8	0.02
¹³¹ I (甲亢)		15	0.03
¹³¹ I (甲癌)		540	1.10
¹⁷⁷ Lu	6.71d	1200	2.45
¹⁶¹ Tb	6.91d	600	1.23
¹⁵³ Sm	1.95d	150	0.31
²²³ Ra	11.4d	150	0.31
¹⁸⁸ Re	17.0h	150	0.31
²¹¹ At	7.21h	300	0.61
²²⁵ Ac	10.0d	600	1.23
工作场所清洁擦拭废物，一次性防护服。		75	0.15
合计		3788	7.75

注：住院病人医疗废物密度国家统计局结果平均值是 488.85kg/m^3 。

(2) 核素治疗中心放射性固废暂存方式及处理措施

核素治疗中心 2 间放射性固废间共设有 5 个铅箱，该场所内产生的放射性固废分类袋装后，做好记录放射性废物的核素名称、废物产生起始日期和暂存最低

截止日期的标签后放入铅箱中暂存衰变，待满足衰变时间后进行表面污染活度和 γ 辐射剂量率监测，监测达标后，医疗固废转入医院医疗固废暂存间做为医疗固废进行下一步处理。病人住院期间沾染有核素的生活垃圾待满足衰变时间和监测满足相应限值要求后做为一般固废进行处置。同时，该场所设有被服处置间，病人使用过的被服先放入被服处置间放置一段时间，待表面污染活度和 γ 辐射剂量率监测达标后再进行清洗。

2、核素治疗中心放射性废物处理措施

(1) 放药制备和小动物实验中心放射性固废收储库容分析

根据表 9-5，放药制备和小动物实验中心放射性固废的体积换算结果见下表。

表 10-13 放药制备和小动物实验中心放射性固体废物年产生体积一览表

区域	核素种类	废物种类	年最大产生量 (kg/a)	年产生体积 (m ³ /a)
热室	¹⁷⁷ Lu、 ¹⁶¹ Tb、 ²¹¹ At、 ²¹² Pb、 ²²⁵ Ac、 ¹⁸ F、 ⁶⁴ Cu、 ⁸⁹ Zr、 ⁴⁴ Sc、 ⁶⁸ Ga	标记失败废药、废西林瓶、滴管、卡套、一次性手套等	125	0.26
	⁶⁸ Ge	废发生器	1 个/a	/
质控区（药代实验室、阳性对照室、无菌检测室）	¹⁷⁷ Lu、 ¹⁶¹ Tb、 ²¹¹ At、 ²¹² Pb、 ²²⁵ Ac、 ¹⁸ F、 ⁶⁴ Cu、 ⁸⁹ Zr、 ⁴⁴ Sc、 ⁶⁸ Ga、 ^{99m} Tc	质检废液（卫生纸/脱脂棉球吸取）、废弃培养皿、棉签、西林瓶、一次性手套等	125	0.26
小动物实验区	¹⁸ F、 ⁴⁴ Sc、 ⁶⁴ Cu、 ⁶⁸ Ga、 ⁸⁶ Y、 ⁸⁹ Zr、 ⁹⁰ Y、 ^{99m} Tc、 ¹²³ I、 ¹²⁴ I、 ¹⁶¹ Tb、 ¹⁷⁷ Lu、 ²¹¹ At、 ²¹² Pb、 ²²⁵ Ac	动物尸体、组织	440	0.43
		动物饲养垫料及排泄物、废西林瓶、手套及手术铺巾、棉签、注射器、垫纸等	150	0.31
合计			840	1.25

注：医疗废物密度国家统计局结果平均值是 488.85kg/m³，动物尸体及组织密度按人体密度取值 1.02g/cm³。

(2) 放药制备和小动物实验中心放射性固废暂存方式及处理措施

放药制备和小动物实验中心放射性废物间 6 拟设置 1 台容积约为 300L 的冰柜暂存动物尸体及组织，2 间放射性固废间共设有 4 个铅箱，该场所内产生的放射性固废分类袋装后，做好记录放射性废物的核素名称、废物产生起始日期和暂存最低截止日期的标签后放入冰柜或铅箱中暂存衰变，待满足衰变时间后进行表

面污染活度和 γ 辐射剂量率监测,达标后动物尸体或组织交由有资质单位无害化处理,其它放射性固废转入医院医疗固废暂存间做为医疗固废进行下一步处理。锆铈发生器不满足淋洗需求后应及时返给发生器生产厂家。

3、核素影像中心放射性废物处理措施

(1) 核素影像中心放射性固废收储库容分析

根据表 9-6,放药制备和小动物实验中心放射性固废的体积换算结果见下表。

表 10-14 核素影像中心放射性固废年产生体积一览表

核素名称	半衰期	产生来源	年最大产生量 (kg/a)	年产生体积 (m ³ /a)
^{99m} Tc	6.02h	一次性注射器、棉签、口罩、手套、空药瓶以及擦拭废物等	312.5	0.64
¹²³ I	13.2h		12.5	0.03
¹¹¹ In	2.83d		5	0.01
¹⁸ F	1.83h		250	0.51
⁶⁸ Ga	1.13h		187.5	0.38
⁶⁴ Cu	12.7h		25	0.05
⁸⁹ Sr	50.5d		25	0.05
³² P	14.26d	废敷贴器	50	0.10
¹²⁵ I	60.1d	废 ¹²⁵ I粒籽源	/	/
⁹⁹ Mo	2.75d	废弃钼铈发生器	50 个/a	/
合计			867.5	1.83

注:医疗废物密度国家统计局结果平均值是 488.85kg/m³。

(2) 暂存方式及处理措施

核素影像中心 2 间放射性固废间共设有 6 个铅箱,该场所内产生的放射性固废按上述分类方式分别进行袋装后,做好记录放射性废物的核素名称、废物产生起始日期和暂存最低截止日期的标签后放入铅箱中暂存衰变,待满足衰变时间后进行表面污染活度和 γ 辐射剂量率监测,达标后转入医院医疗固废暂存间做为医疗固废进行下一步处理。病人等候显像和留观期间产生的沾染有核素的生活垃圾待满足衰变时间和监测满足相应限值要求后做为一般固废进行处置。钼铈发生器不满足淋洗需求后应及时返给发生器生产厂家。废¹²⁵I粒籽源及时返回厂家处置。两枚锶-90 敷贴用放射源废弃后需交由生产厂家进行处置。

建设单位购买发生器、碘-125 粒籽源、锶-90 敷贴用放射源时需同时与厂家签订废发生器、碘-125 粒籽源、废放射源回收协议,确保此类放射性废物能够得

到合理处置。

4、放射性废气过滤装置处置措施

对各放射性废气过滤装置更换下的活性炭吸附滤芯（产生量约 1000kg/a）应在放射性固废间暂存并经监测达标后，作为危险废物交有资质单位处理。

二）、非放射性废物处理措施

本项目产生非放射性医疗废物包括一些药棉、纱布、手套等医用辅料，进入医疗废物暂存、管理系统。根据国家医疗垃圾管理制度，应严格执行医疗垃圾转移联单制度，由具备医疗垃圾回收处理资质的专业单位回收集中处理。工作人员产生的少量办公、生活垃圾，统一收集至医院的垃圾转运站后交由环卫部门统一处理。

四、噪声治理措施

本项目噪声主要来源于场所通排风系统的风机。排风机位于门急诊医技住院综合楼楼顶（高度约 60m），送风机位于大楼负一层风机房内。本项目均拟选用低噪声设备，噪声源强约为 65dB(A)，风机房内对风机采取基础减振及隔声措施。

五、射线装置报废处理

根据《四川省辐射污染防治条例》，“射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化”。报废后需确保射线装置不能正常通电，防止二次使用造成人员误照射。

六、环保措施及其投资估算

项目辐射防护措施及其投资估算见下表。本项目总投资 1500 万元，环保投资 697.5 万元，占总投资的 46.5%。

表 11：环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目主体工程已建成，主体工程土建施工环境影响已包含在主体工程环境影响评价报告中，本次评价不涉及。

本项目施工期主要是机房装修施工阶段和设备安装、调试阶段。

1、装修施工的环境影响分析

(1) 大气环境影响分析

装修过程中采用“环保型”油漆及涂料，产生的废气污染物主要是扬尘，装修过程中采取湿法作业、加强通风或室内空气净化措施，可尽量降低粉尘对周围环境的影响。

(2) 水环境影响分析

装修过程中施工人员会排放一定量的生活污水，可依托医院已建成的污水处理设施收集处理，经处理后污水进入城市污水管网，不会对周围水环境产生不良影响。

(3) 声环境影响分析

装修过程会产生一定噪声，针对噪声影响，本项目拟尽量选择低噪音设备、避免夜间施工、注意对施工设备的维修、保养以使各种施工机械保持良好的运行状态等措施，可大大降低本项目噪声对周围的影响。

(4) 固体废物影响分析

装修过程固体废弃物主要是生活垃圾、建筑垃圾。产生的废弃物如废材料、废纸张、废包装材料、废塑料薄膜等应妥善保管，及时回收处理；对于不可回收的建筑垃圾，应定点堆放，及时送当地指定的建筑垃圾堆放场；施工人员产生的生活垃圾依托医院生活垃圾收集设施收集后，交由环卫部门统一处理。

此外，在符合建筑设计和辐射防护要求的前提下，保证各屏蔽体有效衔接，各屏蔽体应有足够的超边量，避免各屏蔽体之间有漏缝产生。

本项目装修施工期较短，在建设方的严格监督下，施工方遵守文明施工、合理施工的原则，做到各项环保措施，可使其对环境的影响降至最小程度。施工结束后，项目施工期环境影响将随之消除。

2、设备安装调试期间的环境影响分析

在射线装置安装调试阶段，主要污染因素为 X 射线、臭氧和少量包装废弃物。院方应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房必须上锁并派人看守。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入设备区域，防止辐射事故发生。由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响较小。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

本项目核医学科涉及使用非密封放射性物质氟-18、磷-32、钷-44、铜-64、镓-68、钇-86、锆-89、锝-89、钷-90、钨-99m、铟-111、碘-123、碘-124、碘-131、铽-161、钐-153、镱-177、铈-188、铅-212、铋-211、镭-223、锕-225 和碘-125 粒子源，产生的电离辐射包括：X 射线、 α 射线、 β 射线、 γ 射线。

（一） α 射线辐射影响分析

本项目使用的锕-225、镭-223、铋-211、铅-212 的子体会发生 α 衰变，在衰变过程中会产生 α 射线。 α 射线是重带电粒子，穿透能量较弱，由于其射程很短，在空气中的射程以厘米计，在生物组织中仅能穿过几十微米，因此极易屏蔽防护并且对 α 核素也进行屏蔽和密封操作，故本评价不考虑 α 射线的影响。

（二） β 射线辐射影响分析

本项目涉及使用的氟-18、磷-32、钷-44、铜-64、镓-68、钇-86、锆-89、锝-89、钷-90、碘-124、碘-131、铽-161、钐-153、镱-177、铈-188、铅-212 会发生 β 衰变，在衰变过程中会产生 β 射线。

本项目辐射工作场所设置有足够的空间，且核素在整个使用过程中均采取了有效的屏蔽措施屏蔽 β 射线，同时在整个使用过程中职业人员还穿戴有 0.5mm 铅当量的防护铅服，大于 β 射线在铅中的射程，且公众与放射性核素之前还采取了距离隔离措施，因此 β 射线对职业人员和公众辐射影响是很小的。

（三）韧致辐射影响分析

由于 β 粒子在遇到重质材料（如：铅、铁等原子序数大于 56 的材质）屏蔽时会产生韧致辐射，因此本次评价主要考虑核素在热室柜、手套箱等有铅屏蔽时的韧致辐射影响。

本次选取各种核素各个环节的最大操作量进行预测，根据计算，在操作位距离辐射源 0.5m 处韧致辐射剂量当量率最大为 $5.63 \times 10^{-12} \mu\text{Sv/h}$ ，可见韧致辐射的影响非常小，本次评价不做进一步分析。

(四) γ 射线辐射影响分析

1、预测方法

(1) 预测模式

因预测点位与放射性核素操作位置间的距离比容器的几何尺寸大 5 倍以上，故可视为点源。应用 γ 射线点源剂量率计算公式进行预测，根据《核医学科放射防护要求》（GBZ120-2020）， γ 点源剂量计算公式如下：

$$H=A*\Gamma*\eta/R^2 \dots\dots\dots \text{(式 11-4)}$$

$$\eta = 0.1^{\frac{d}{TVL}} \dots\dots\dots \text{(式 11-5)}$$

式中：A—操作活度（MBq）；

Γ —距离操作核素 1m 处的周围剂量当量率常数（ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ），见表 11-3；

R—参考点与放射源间的距离（m）；

η —衰减系数；

d—屏蔽层厚度（mm）；

TVL— γ 射线半值层厚度（mm），见表 11-3；

H—关注点剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ 。

(2) 预测点位选择及控制剂量率

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）以及国家核安全局《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号），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、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等区域，其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。热室柜、手套箱、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

针对该要求，本次评价主要选择控制区内屏蔽体外表面 30cm 处，同时选择

控制区内热室柜、手套箱、注射窗等设备外表面30cm处人员操作位、显像摆位处对职业人员操作位剂量率进行估算,选取距辐射源最近居留处对职业人员和公众受照剂量进行预测评价。

(3) 控制剂量率预测结果

根据对核素治疗区备药室 1 内两个手套箱正面操作位的剂量率估算结果,可知工作人员在手套箱内操作各种核素时,手套箱正面操作位剂量率均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的控制限值,碘-131 在装有碘自动分装仪的手套箱内分装,其他放射性药品均在同一个手套箱内分装,根据手套箱正面操作位的预测结果可知铯-137 的剂量率贡献值最大 ($0.161\mu\text{Sv/h}$),因此以碘-131 和铯-137 为典型核素对手套箱侧面的剂量率进行估算,均低于 $25\mu\text{Sv/h}$ 的控制限值。

根据对放药制备和小动物实验中心热室柜表面的剂量率估算结果可知,可知在各热室柜内操作各种核素时,热室柜正面操作位剂量率均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的控制限值,剂量率最大的两种核素为氟-18 ($1.29\mu\text{Sv/h}$),因此,选取操作氟-18 时热室柜侧面的剂量率进行估算,低于 $25\mu\text{Sv/h}$ 的控制限值,其它核素标记分装时,热室柜侧面的剂量率将更低,均满足控制要求。

根据对核素显像中心备药室 2 不同核素最大操作量时手套箱表面 γ 剂量率的估算可知,单光子核素手套箱正面、正电子核素手套箱正面、碘-125 装枪操作位剂量率均低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制限值,侧面均低于 $25\mu\text{Sv/h}$ 控制限值。根据试算单人注射量可知,正电子核素中 ^{18}F 影响最大,单光子核素中 ^{137}Cs 影像最大,因此选取这两种核素为典型核素,分别对单光子核素注射窗表面和正电子核素注射窗表面剂量率进行估算,估算值均低于 $25\mu\text{Sv/h}$ 控制限值。

(五) 职业及公众受照剂量预测

根据预测,核素治疗中心职业人员年总受照剂量最大值为 0.23mSv/a ,低于 5mSv/a 的职业人员剂量限值要求。核素治疗中心周围公众年总受照剂量最大值为 $5.93\text{E-}02\text{mSv/a}$,低于 0.1mSv/a 的公众受照剂量限值要求。

根据预测,放药制备和小动物实验中心职业人员年最大为 0.18mSv/a ,低于 5mSv/a 的职业人员剂量限值要求。放药制备和小动物实验中心周围公众年受照剂量最大值为 $2.78\text{E-}04\text{mSv/a}$,低于 0.1mSv/a 的公众受照剂量限值要求。

根据预测,核素显像中心职业人员年最大为 0.14mSv/a ,低于 5mSv/a 的职业

人员剂量限值要求。核素显像中心周围公众年受照剂量最大值为 $9.06\text{E-}02\text{mSv/a}$ ，低于 0.1mSv/a 的公众受照剂量限值要求。

四、大气环境影响分析

1、核医学科大气环境影响分析

本项目三个非密封放射性物质工作场所使用的放射性核素均为液态放射性药物，对放射性药物的合成标记、分装、动物注射等过程均在热室柜、手套箱、通风橱等柜体内完成，药物质控在生物安全柜内完成，热室柜、手套箱、通风橱、生物安全柜顶部均自带放射性废气过滤设施，各场所放射性废气均通过管道引至楼顶，本项目在核医学科所在的门急诊医技住院综合楼楼顶共设有 6 个排气口，各排气口前端均设有活性炭吸附装置，排气口高度约 60 米。

整个核医学科共设有 6 套放射性废气排风系统，各场所控制区内各房间通过设计新风量小于排风量使区域保持负压状态，热室柜、手套箱、通风橱、生物安全柜内部通过设抽风的方式使柜体内部保持负压状态。整个核医学科各个场所气流走向为清洁区→监督区→控制区，从而保证控制区内放射性废气能够通过管道排出。

本工程放射性核素废气经核医学科专用通风设施进行处理后，产生的放射性废气对周围辐射环境影响较小。

2、其他辐射设备大气环境影响分析

本项目使用的三台 III 类射线装置 X 射线能量较小，其臭氧产生量较小，且各机房均设置有通排风系统，产生的臭氧经通排风系统排至室外经自然稀释后对环境的影响较小。

五、水环境影响分析

1、非放射性废水

本项目 III 类射线装置采用数字成像，无废显、定影液产生，无工艺废水产生。

本项目非放射性废水主要来自运行期间工作人员的生活废水，该部分废水直接排入医院污水处理站进行达标处理，最终排入市政污水管网，对地表水环境影响较小。

2、放射性废水

本项目设有长周期衰变池和短周期衰变池共 2 套并联式衰变处理池，核素治疗中心、放药制备和小动物实验中心 2 个场所的放射性废水通过放射性废水专用管道排入长周期衰变池，核素影像中心的放射性废水通过放射性废水专用管道排入短周期衰变池，根据前文衰变池容量可行性分析，本项目衰变池容积能够满足本项目放射性废水的衰变需求。本项目放射性废水达到衰变时间要求并监测达标后排入医院普通污水管网进行后续处理，对项目所在区域地表水环境影响较小。

六、固体废物环境影响分析

1、放射性固废

本项目三个非密封放射性物质工作场所均设有 2 个放射性废物间，各放射性废物间内均设放射性固废箱，各场所产生的放射性固废均根据核素的半衰期长短，分 3 类分类收集暂存，动物实验产生的动物尸体及组织分类收集后放入放射性废物间 6 的冰柜内暂存，满足暂存期限并监测达标后动物尸体或组织交由有资质单位无害化处理，其它放射性固废转入医院医疗固废暂存间做为医疗固废进行下一步处理。废弃的锞镓发生器、钼得发生器及锶-90 放射源交由厂家回收处置。如有废弃的碘-125 粒子源产生，统一收集后交由厂家回收处置。废气处理装置更换下来的活性炭吸附滤芯应在放射性固废间暂存并经监测达标后，作为危险废物交由资质单位处理。

综上所述，本项目产生的放射性固废得到妥善处置，对周围环境影响较小。

2、非放射性固废

本项目产生非放射性医疗废物包括一些药棉、纱布、手套等医用辅料，进入医疗废物暂存管理系统。根据国家医疗垃圾管理制度，应严格执行医疗垃圾转移联单制度，由具备医疗垃圾回收处理资质的专业单位回收集中处理，对周围环境影响较小。

七、声环境影响分析

本项目噪声主要来源于场所通排风系统的风机。排风机位于门急诊医技住院综合楼楼顶（高度约 60m），送风机位于大楼负一层风机房内。本项目均拟选用低噪设备，噪声源强约为 65dB(A)，风机房内对风机采取基础减振及隔声措施，风机噪声经建筑物墙体屏蔽及距离衰减后对周围噪声环境影响较小。

辐射事故影响分析

一、事故等级判断依据

根据《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），根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故（Ⅰ级）、重大辐射事故（Ⅱ级）、较大辐射事故（Ⅲ级）和一般辐射事故（Ⅳ级）等四级，详见下表。

表 11-20 辐射事故等级划分表

事故等级	危害结果
特别重大辐射事故（Ⅰ级）	Ⅰ类、Ⅱ类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人及以上急性死亡。
重大辐射事故（Ⅱ级）	Ⅰ类、Ⅱ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人及以下急性死亡或者 10 人及以上急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故（Ⅲ级）	Ⅲ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人及以下急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故（Ⅳ级）	Ⅳ类、Ⅴ类放射源丢失、被盗、失控，或放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

同时根据《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017），急性放射病发生参考剂量见表 11-21。

表 11-21 急性放射病初期临床反应及受照剂量范围参考值

急性放射病	分度	受照剂量范围参考值
骨髓型急性放射病	轻度	1.0Gy~2.0Gy
	中度	2.0Gy~4.0Gy
	重度	4.0Gy~6.0Gy
	极重度	6.0Gy~10.0Gy
肠型急性放射病	轻度	10.0Gy~20.0Gy
	中度	/
	重度	20.0Gy~50.0Gy
	极重度	/
脑型急性放射病	轻度	50Gy~100Gy
	中度	
	重度	
	极重度	
	死亡	100Gy

二、本项目风险识别

根据污染源分析本项目核医学科可能存在的最大潜在辐射事故包括：

1.非密封放射性物质

本项目非密封放射性物质如果不被安全管理或操作，在放射性药品的分装、注射等操作过程中，会产生洒漏的可能性，这样就会使辐射工作人员手部受到放射性污染。

2、射线装置

SPECT/CT、PET/CT 显像机房使用的 CT 机，以及小动物机房使用的小动物 SPECT/PET/CT 为 III 类射线装置，如果不被安全管理，CT 正常工作时，人员误入机房，导致发生误照射。

3、放射源

敷贴治疗室使用的锶-90 密封源为 V 类放射源，放射源发生丢失、被盗，可能对附近公众或密封容器内的放射性同位素释放到环境中，从而对环境介质产生放射污染。

三、事故等级预测及防范措施

根据上述各种事故情景分析，本项目可能引发的事故等级均为一般辐射事故。为了杜绝上述辐射事故的发生，建设方应严格执行以下风险预防措施：

1、发生撒漏事件后，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦拭，直到擦干污染区。

2、严格执行放射源和非密封放射性物质安全管理制度，设专人负责，做好放射源和核素的领取、使用登记工作，确保放射源和放射性药物的安全。注射间、储源室设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

3、定期认真地对本单位射线装置的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查，制定完善的辐射安全规章制度并有专人监督核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生。

4、凡涉及对射线装置进行操作，必须有明确的操作规程，对辐射工作人员定期培训，使之熟练操作，操作人员严格按照操作规程进行操作，并做好个人的防护，并应将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置；射线装置治疗室每次开机前检查机房监控系统、门机联锁装置、门灯联锁装置和其他安全联锁装置，确保一切正常并安全的情况下，射线装置才能进行照射。定期对各射线装置机房治疗室的安全装置有效性进行检查。

5、加强放射性废物的管理，对储存的放射性废物在废物桶外标明放射性废物

的类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。放射性废水和固体废物经足够长的时间衰变后，方可排放或按照危险废物、普通医疗垃圾处理，并做好监测记录。

6、正确穿戴个人防护用品，主要包括工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，以及铅防护衣、防护镜等附加防护用品。工作人员进入控制区必须穿戴放射防护用品，个人剂量仪佩戴于铅衣内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅衣、戴口罩、手套，防护眼镜。科室主任负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

7、严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如果监测表明某一关注点辐射水平偏高，应立即查找原因并采取补救措施。

8、建设单位所有辐射工作人员均需参加辐射安全与防护考核，并需取得合格证书，所有辐射工作人员均需持证上岗。

9、涉及放射性操作的设备安装调试时必须由厂家专业人员负责完成，安装调试时关闭防护门，并在场所门外设立辐射警示标志。

10、辐射防护管理人员要经常对辐照工作场所进行巡视，及时纠正不利于辐射安全防护的行为。

表 12：辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用 II、III 类射线装置及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。

目前建设单位已成立了放射防护与质量控制领导小组，由法人作为组长，全面负责全院辐射安全与环境保护监督管理工作，保障辐射工作人员、社会公众的健康与安全。该文件明确了放射防护与质量控制领导小组工作职责：

1. 认真贯彻执行《放射诊疗管理规定》等相关规定，指导和督导医院加强放射诊疗工作的管理，保证医疗质量和医疗安全。
2. 加强从放管理，健全组织结构。全面负责医院的放射诊疗管理工作及相关工作，每季度召开会议，商议并解决放射防护与质量控制相关问题。
3. 组织会议通过放射防护与质量控制相关职责、制度、预案等，完善管理制度及协调机制，提高管理效率。
4. 充分发挥监督管理职能，加强职能部门专项监管队伍建设，督促各从放管理职能部门对临床医技科室的指导和监管工作。
5. 辐射事故发生后，负责启动辐射事故应急预案并组织现场应急救援和控制措施，防止事件扩大和蔓延，并进行事故的调查和总结分析，及时报告环保和卫生行政部门。
6. 负责根据相关规定实行放射诊疗人员相关福利待遇的制定和落实。

辐射工作岗位人员配置和能力分析

本项目拟设置 24 名辐射工作人员，均为已有辐射工作人员，其中 23 名持有有效的辐射安全培训证书，1 名为新入职人员，医院拟尽快安排其参加。

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年 第 57 号）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。本

项目新增的 52 名辐射工作人员应在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习相关知识并报名参加线下考核。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，考核合格的人员，每 5 年接受一次再培训考核。

辐射安全管理规章制度

一、档案分类管理

医院应对本项目辐射相关资料分类归档，档案资料应包括以下九大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“辐射应急资料”、“废物处置记录”，并由专人进行管理。

二、规章制度

根据《生态环境部（国家核安全局）《核技术利用监督检查技术程序》（2020 年发布版）》和《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环函[2016]1400 号）的相关要求中的相关规定，建设单位需制定的规章制度见下表。

表 12-3 管理制度汇总对照表

序号	项目	规定的制度	落实情况
核医学科			
1	综合	辐射安全与防护管理大纲	《辐射安全管理规定》，需修订，并张贴在辐射工作场所墙上
4	放射性物质	非密封放射性物质的管理规定	需制定
5		物料平衡管理规定	可纳入非密封放射性物质管理规定中
6	场所设施	场所分区管理规定（含人流、物流路线指示）	需制定
7		操作规程	需根据不同的场所制定，并张贴在操作场所墙上
8		安保管理规定	需制定
9		去污操作规程	需制定
10		安全防护设施的维护与维修制度	《辐射安全和防护设施维护维修制度》
11	监测	监测方案	已制定，需将本项目纳入
12		监测仪表使用与校验管理制度	《监测仪表使用与校验管理制度》，需根据本项目新增仪器仪表

			表修订完善
13	人员	辐射工作人员培训/再培训管理制度	《辐射工作人员培训制度》
14		辐射工作人员个人剂量管理制度	《辐射工作人员个人剂量管理制度》
15		辐射工作人员岗位职责	《辐射工作人员岗位职责》，需张贴上墙
16	应急	辐射事故应急预案	《辐射事故应急预案》，及时完善更新，将《辐射事故应急流程图》张贴上墙
17	三废	放射性“三废”管理规定	需制定
Ⅲ类射线装置			
序号	规定的制度		落实情况
1	辐射安全与环境保护管理机构文件		已制定，《自一医〔2025〕5号》
2	操作规程		需根据新设备指定，并张贴上墙
3	辐射安全防护设施的维护与维修制度		《辐射安全和防护设施维护维修制度》
4	场所及环境监测方案		已制定，需将本项目纳入
5	监测仪表使用管理制度		《监测仪表使用与核验管理制度》
6	辐射工人员培训/再培训管理制度		《辐射工作人员培训制度》
7	辐射工作人员个人剂量管理制度		《辐射工作人员个人剂量管理制度》
8	X射线诊断中受检者防护规定		需制定
9	辐射事故应急预案		《辐射事故应急预案》，及时完善更新，将《辐射事故应急流程图》张贴上墙
建设单位需制定的其他制度			
1	其他	质量保证大纲和质量控制检测计划	《质量保证大纲和质量控制检测计划》
2		射线装置台账管理制度	需制定

建设单位需在放射防护与质量控制领导小组组织下及时完善和制定上述各项规章制度，明确各科室人员责任，并严格落实。领导小组需定期对辐射安全规章制度执行情况进行评议，并根据具体实践存在的问题及时进行修改和完善。

同时根据《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环函〔2016〕1400号），各辐射工作场所职业人员操作室或医生办公室内需将所有制度中关于“辐射工作场所安全管理规定”、“操作规程”、“辐射工作人员岗位职责”和“应急响应程序”的内容需张贴上墙，且上墙制度的长宽尺寸不得小于600mm×400mm。

建设单位应根据规章制度内容认真组织实施，并且应根据国家发布新的相关法规内容，结合医院实际及时对各项规章制度补充修改，使之更能符合实际需要。

辐射监测

根据《四川省辐射污染防治条例》“使用放射性同位素和射线装置的单位应当建立辐射监测制度，组织对从业人员个人辐射剂量、工作场所及周围环境进行监测，并建立相应档案”。为了保证本项目运行过程的安全，为控制和评价辐射危害，设置了相应的辐射剂量监测手段，使工作人员和公众所受照射尽可能低。根据《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）、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中的相关规定，本项目个人辐射剂量、工作场所及周围环境监测要求如下：

1、个人剂量监测

项目建成投运后，建设单位应保证每名辐射工作人员均配备个人剂量计，并根据原四川省环境保护厅“关于进一步加强辐射工作人员个人剂量管理的通知”（川环办发[2010]49号）做好个人剂量管理的工作。同时根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）个人剂量常规监测周期一般为1个月，最长不应超过3个月，同时建设单位应建立个人剂量档案。辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料，医院应当将个人剂量档案保存终身。

建设单位辐射工作人员在日常接触辐射工作过程中应正确佩戴个人剂量计，于比较均匀的辐射场，当辐射主要来自前方时，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般在左胸前或锁骨对应的领口位置；当辐射主要来自人体背面时，剂量计应佩戴在背部中间。对于如核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计，并建议采用双剂量计监测方法（在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计），且宜在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部剂量计（如头箍剂量计、腕部剂量计、指环剂量计等）。

当单个季度个人剂量超过1.25mSv时，建设单位要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过5mSv时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调查报告，经

本人签字确认后，上报发证机关，检测报告及有关调查报告应存档备查；当单年个人剂量超过 50mSv 时，需调查超标原因，确认是辐射事故时启动应急预案。

2、辐射工作场所监测

(1) 监测内容：①射线装置工作场所监测因子为：X- γ 辐射剂量率；②核素治疗中心监测因子为： γ 辐射剂量率、 α 表面污染活度、 β 表面污染活度；③放药制备和小动物实验中心监测因子为： γ 辐射剂量率、 α 表面污染活度、 β 表面污染活度；④核素显像中心监测因子为 γ 辐射剂量率、 β 表面污染活度；⑤其他：衰变池废水：总 α 、总 β 、如总 $\alpha > 0.5\text{Bq/L}$ ，总 $\beta > 1\text{Bq/L}$ ，分析应用核素如碘-131 活度浓度；废气：排放口总 α 、总 β 、碘-131；放射性固废： γ 辐射空气吸收剂量率和 α 、 β 表面污染活度；土壤：总 α 、总 β 。

(2) 监测布点及数据管理：监测布点应与环评监测布点、验收监测布点一致，监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

(3) 监测频度：对于 X- γ 剂量率应自行配备监测设备每季度监测 1 次； α 和 β 表面污染应在每次工作后，离开放射性工作场所前进行监测。废水总 α 、总 β 、碘-131 活度浓度应在每次排放前进行采样监测，监测结果经审管部门认可后排放；土壤和废气每年外委监测一次（详情见表 12-3）。另外建设单位需委托有监测资质的单位在项目投运前开展验收监测，并在投运后每年定期开展年度监测，监测报告附到年度评估报告中，于每年 1 月 31 日前将评估结果上传至全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn>）。

(4) 监测范围：射线装置工作场所主要监测屏蔽墙、防护门、观察窗外以及楼上、楼下区域和穿线孔洞外 X- γ 辐射剂量率。非密封放射性物质工作场所主要监测控制区人员易接触的工作台、地面、墙面、病床、桌椅等表面污染，以及控制区内所有场所及控制区外邻近房间的 γ 辐射剂量率。

(5) 监测设备：X- γ 辐射剂量率仪、 α 、 β 表面沾污仪。

(6) 质量保证：制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用上级监测部门的监测数据与建设单位监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案。

3、年度监测报告情况

建设单位应于每年 1 月 31 日前将上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》上传至全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn>），近一年（四个季度）个人剂量检测报告和辐射工作场所年

度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。建设单位应按照《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400号）规定的格式编写《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》。医院必须在“全国核技术利用辐射安全申报系统”（网址<http://rr.mee.gov.cn/rsmsreq/login.jsp>）中实施申报登记。延续、变更许可证，新增、注销以及单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。

辐射事故应急

为了加强对射线装置和非密封放射性物质的安全和防护的监督管理，促进射线装置和非密封放射性物质的安全使用，保障人体健康，保护环境，建设单位需根据最新要求完善现有的《辐射事故应急预案》，其内容应包括：①应急机构和职责分工；②应急人员的组织；③培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；④辐射事故分级及应急响应措施；辐射事故调查、报告和处理程序。

若本项目发生了辐射事故，建设单位应迅速、有效采取以下应急措施：

（1）一旦发现放射性药物被盗或者丢失，按照应急预案实施程序及时向公安部门、地方生态环境主管部门和主管部门报告。

（2）发现误照射事故时，工作人员应立即切断电源，将人员撤出机房，关闭机房门，同时向主管领导报告。

（3）医院根据估算的超剂量值，尽快安排误照人员进行检查或在指定的医疗机构救治；对可能受放射损伤的人员，应立即采取暂时隔离和应急救援措施。

（4）事故发生后的2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

（5）最后查清事故原因，分清责任，消除事故隐患。

其他要求：（1）辐射事故风险评估和辐射事故应急预案，应报送所在地县级地方人民政府生态环境主管部门备案。

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

表 13：结论与建议

结论

1、项目概况

项目名称：自贡市第一人民医院新增放射源、非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目（重新报批）

建设单位：自贡市第一人民医院

建设性质：新建

建设地点：四川省自贡市大安区东城内环路东部新城院区

建设内容及规模（本次评价部分）：

核医学科（本次评价内容）位于自贡市第一人民医院东部新城院区门急诊医技住院综合楼负一层西北部区域，共建设 3 个非密封放射性物质工作场所：（1）在核医学科内北部建**核素治疗中心**，使用放射性核素碘-131、镭-177、钷-161、钷-153、镭-223、镭-188、砷-211、钷-225 对患者进行肿瘤治疗，该场所日等效最大操作量为 $3.63\text{E}+09\text{Bq}$ 。（2）在核医学科内中部西侧建**放药制备和小动物实验中心**，涉及使用核素镭-177、钷-161、砷-211、铅-212、钷-225、碘-123、氟-18、铜-64、钷-89、钷-86、钷-44、碘-124、钷-90、镓-68、钷-99m 进行标记或小动物实验，镓-68 由钷镓发生器（钷-68）淋洗制得，该场所日等效最大操作量为 $6.67\text{E}+08\text{Bq}$ 。（3）在核医学科内南部建**核素影像中心**，涉及使用核素钷-99m、钷-111、碘-123 对患者进行单光子影像诊断，涉及使用核素氟-18、镓-68、铜-64 对患者进行正电子影像诊断，使用钷-89 为患者进行骨癌治疗，涉及使用非密封放射性物质磷-32 和 2 枚 V 类放射源钷-90 进行敷贴治疗，设 1 间 PET-CT 机房、1 间 SPECT/CT 机房、1 间 PET-MR 机房进行显像诊断，共使用 2 台 III 类射线装置，使用 SPECT/CT 或 PET-CT 对患者进行碘-125 粒子植入，使用钷钷发生器淋洗制钷-99m，该场所日等效最大操作量为 $5.28\text{E}+08\text{Bq}$ 。

2、本项目产业政策符合性分析

本项目属于核技术在医学领域应用，根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》相关规定，本项目属鼓励类第六项“核能”第 4 条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业发展政策。

3、本项目选址及平面布局合理性分析

自贡市第一人民医院东部新城院区核医学科选址、总占地面积、外环境关系及实践正当性均与自贡市第一人民医院新增放射源、非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目一致，核医学科位于医院的门急诊医技住院综合楼负一层西南部，各个场所评价范围均在医院院区范围内，核医学科相对独立，各个非密封放射性物质工作场所均避开了医院的产科、儿科、食堂等部门，且核医学科出入口避开了人流量较大的门诊大厅、收费处等人群稠密区域，避免了对公众不必要的照射，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于选址与布局的规定。

本项目核医学科三个非密封放射性物质工作场所分区明确且独立，各场所平面布局均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），各场所均按照相应的工艺流程进行流线布局，满足工作要求，既能有机联系，又不相互干扰，且最大限度避开了人流量较大的普通门诊区或其它人流活动区，在环评及设计阶段，所有辐射工作场所均进行了合理的优化布局，同时兼顾了病人就诊的方便性。从辐射安全的角度考虑，本项目各辐射工作场所产生的电离辐射经屏蔽后对周围辐射环境影响是可接受的，平面布置合理。

4、工程所在地区环境质量现状

根据监测报告，在拟建核医学内及周围各监测点 X- γ 辐射剂量率范围为 $9.2 \times 10^{-8} \text{Gy/h} \sim 13.4 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ，即 $92 \text{nGy/h} \sim 134 \text{nGy/h}$ ，与《2023 年四川省生态环境状况公报》中全省辐射环境自动监测站实时连续监测空气吸收剂量率范围（ $\leq 70 \text{nGy/h} \sim 160 \text{nGy/h}$ ）对比，属于当地正常天然本底辐射水平。

在拟建核医学内及核医学科上下层 α 表面污染浓度监测结果均低于检出限， β 表面污染浓度监测结果为 $0.01 \text{Bq/cm}^2 \sim 0.14 \text{Bq/cm}^2$ ，均属于正常本底水平。

5、环境影响评价结论

（1）辐射环境影响分析

经现场监测和模式预测，在正常工况下，对职业人员造成的年附加有效剂量低于本次评价 5mSv 的职业人员年剂量约束值；对公众造成的年附加有效剂量低于本次评价 0.1mSv 的公众人员年剂量约束值。

（2）大气的环境影响分析

整个核医学科共设有 6 套放射性废气排风系统，共设有 6 个排气口，各排气口前端均设有活性炭吸附装置，排气口高度约 60 米。本工程放射性废气经核医

学科专用通风设施进行处理后，对周围辐射环境影响较小。

本项目射线装置在运行过程中产生的臭氧经排风系统排出后浓度低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中规定的二级标准限值要求，对周围环境影响较小。

（3）废水的环境影响分析

本项目放射性废水由单独的排水系统排放至衰变池，项目设有 2 套并联式衰变池，满足本项目放射性废水衰变需求，衰变时间满足要求后经监测达标后排入医院污水管网进行下一步处理，对地表水环境影响较小。本项目非放射性废水直接排入医院污水处理站进行达标处理后排入市政污水管网，对地表水环境影响较小。

（4）固体废物的环境影响分析

本项目放射性固废采用专门固废收集箱/桶分类收集后，在放射性废物间衰变至监测达标后转移至医疗废物暂存库，按照普通医疗废物执行转移联单制度，由有资质单位统一回收处理，动物试验产生的动物尸体或组织暂存至监测达标后交由有资质单位处置，更换下的活性炭过滤器经暂存衰变至监测达标后由有资质单位处理。不满足活度要求的敷贴放射源交由生产厂家进行回收处理。本项目产生的放射性固废得到妥善处置，对周围环境影响较小。

本项目产生非放射性医疗废物包括一些药棉、纱布、手套等医用辅料，进入医疗废物暂存、管理系统。根据国家医疗垃圾管理制度，应严格执行医疗垃圾转移联单制度，由具备医疗垃圾回收处理资质的专业单位回收集中处理，对周围环境影响较小。

（5）声环境影响分析

本项目噪声主要来源于场所通排风系统的风机。排风机位于门急诊医技住院综合楼楼顶（高度约 60m），送风机位于大楼负一层风机房内。本项目均拟选用低噪设备，噪声源强约为 65dB(A)，风机房内对风机采取基础减振及隔声措施，风机噪声经建筑物墙体屏蔽及距离衰减后对周围声环境影响较小。

6、事故风险与防范

建设单位需按本报告提出的要求补充制定相关安全管理制度并完善辐射事故应急预案，项目建成投运后，应认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

7、环保设施与保护目标

建设单位需按环评要求配备较全、效能良好的环保设施，使本次环评中确定的绝大多数保护目标，所受的辐射剂量，保持在合理的、可达到的尽可能低的水平。

8、辐射安全管理的综合能力

建设单位辐射安全管理机构健全，有领导分管，人员落实，责任明确，辐射工作人员配置合理，拟制定辐射事故、应急预案与安全规章制度；环保设施总体效能良好，可满足防护实际需要。对在一一落实设计的环保设施和相关的法律法规的要求后，即具备本项目辐射安全管理的综合能力。

9、项目环保可行性结论

建设单位在采取切实可行的环保措施，落实本报告提出的各项污染防治措施后，本评价认为，本项目在自贡市第一人民医院内进行建设，从环境保护和辐射安全角度看是可行的。

建议

（1）认真学习贯彻国家相关的环保法律、法规，不断提高遵守法律的自觉性和安全文化素养，切实做好各项环保工作。

（2）不断提高工作人员素质，增强职工环保意识和安全意识，做好辐射防护设施、设备的维护保养，避免发生辐射事故。

（3）在实施诊治之前，应事先告知患者或被检查者辐射对健康的潜在影响；应注意对陪护者的防护，使其在陪护患者的全程诊治中，所受的辐射剂量做到最小化。