

核技术利用建设项目

成都医学院第一附属医院新院区 新建核医学科和介入手术室项目 环境影响报告表 (公示本)

成都医学院第一附属医院

二〇二四年九月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

成都医学院第一附属医院新院区

新建核医学科和介入手术室项目

环境影响报告表

建设单位名称：成都医学院第一附属医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：成都市新都区宝光大道中段 278 号

邮政编码：610500

联系人：姚**

电子邮箱：23**@qq.com

联系电话：150**

目 录

表 1 项目概况	1
表 2 放射源	26
表 3 非密封放射性物质	26
表 4 射线装置	31
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	30
表 6 评价依据	33
表 7 保护目标与评价标准	37
表 8 环境质量和辐射现状	43
表 9 项目工程分析与源项	51
表 10 辐射安全与防护	90
表 11 环境影响分析	143
表 12 辐射安全管理	214
表 13 结论与建议	224

附件：

- 附件 1 环评委托书；
- 附件 2 项目所在楼院区的非放环评批复（扫描件）；
- 附件 3 用地规划许可证；
- 附件 4 辐射安全许可证正、副本；
- 附件 5 医院原有辐射射线装置环评及验收意见；
- 附件 6 2023 年度个人剂量统计报告；
- 附件 7 辐射安全与防护考核成绩合格清单；
- 附件 8 最近一个年度辐射工作场所监测报告；
- 附件 9 关于印发第四届放射防护管理委员会构成人员的通知；
- 附件 10 无事故情况说明文件；
- 附件 11 项目拟建场所监测报告。

附图：

- 附图 1 项目地理位置图；
- 附图 2 医院平面布局及外环境关系图；
- 附图 3 核医学科楼负一层平面布局图；
- 附图 4 核医学科楼一层平面布局图；
- 附图 5 核医学科楼二层平面布置图；
- 附图 6 核医学科药物制备区平面布局图；
- 附图 7 核医学科门诊区平面布局图；
- 附图 8 核医学科病房治疗区平面布局图；
- 附图 9 回旋加速器机房结构及剖面图；
- 附图 10 核医学科药物制备区两区划分；
- 附图 11 核医学科影像诊断及门诊区两区划分示意图；
- 附图 12 核医学科病房治疗区两区划分示意图；
- 附图 13 核医学制药区工作人员、放射性核素路径示意图；
- 附图 14 核医学影像诊断及门诊区人流、物流路径示意图；

附图 15 核医学病房治疗区人流、物流路径示意图；

附图 16 核医学科药物制备区辐射安全设施平面布局示意图；

附图 17 核医学科影像诊断区及门诊治疗区辐射安全设施平面布局示意图；

附图 18 核医学科病房治疗区辐射安全设施平面布局示意图；

附图 19 核医学科药物制备区楼顶混凝土厚度示意图；

附图 20 核医学科影像诊断区门诊区楼顶混凝土厚度示意图；

附图 21 核医学科影像诊断区门诊治疗区地面混凝土厚度示意图；

附图 22 核医学科病房治疗区顶部混凝土厚度示意图；

附图 23 核医学科放射性药物制备区通排风示意图；

附图 24 核医学科影像诊断区、门诊治疗区通排风示意图；

附图 25 核医学科病房治疗区通排风系统图；

附图 26 核医学科放射性药物制备区给排水示意图；

附图 27 核医学科影像诊断区、门诊治疗区给排水示意图；

附图 28 核医学科病房治疗区给排水系统图；

附图 29 核医学科放射性废水衰变池平剖面示意图；

附图 30 门急诊医技综合楼 1 层平面布置图（DSA 所在楼层）；

附图 31 门急诊医技综合楼 2 层平面布置图（DSA 正上方楼层）；

附图 32 门急诊医技综合楼负 1 层平面布置图（DSA 正下方楼层）；

附图 33 介入手术室辐射安全装置示意图；

附图 34 介入手术室屏蔽结构示意图；

附图 35 介入手术室人流物流路径图；

附图 36 介入手术室通排风系统图；

附图 37 介入手术室两区划分示意图。

表 1 项目概况

建设项目名称		新院区新建核医学科和介入手术室项目			
建设单位		成都医学院第一附属医院			
法人代表	刘**	联系人	姚**	联系电话	150**
注册地址		成都市新都区宝光大道 278 号			
项目建设地点		成都市新都区鸿运大道与兴乐北路交叉口东南侧			
立项审批部门			批准文号		
建设项目总投资 (万元)	**	项目环保投资 (万元)	**	投资比例(环保投资/总投资)	**%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积 (m ²)	约 1659
应用 类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input checked="" type="checkbox"/> V类		
	非密封放 射性物质	<input checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
	射线 装置	<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
		<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
	其它	<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
			/		
项目概述					
一、建设单位简介及项目由来					
<p>成都医学院第一附属医院（统一社会信用代码：1251**）始建于 1948 年 5 月，是四川省卫生健康委员会直属的一所集医疗、教学、科研、急救、预防、保健和康复于一体的三级甲等综合医院，前身为中国人民解放军第 47 医院、第三军医大学成都军医学院附属医院，2004 年 9 月随成都医学院由军队整体移交四川省。成都医学院第一附属医院（后文简称“医院”）占地面积 148 亩，开放床位 1800 张，设有一线科室 44 个，现有职工 1900 余人，其中高级职称专家 265 人，硕博士 501 人。医院立足三甲医院和大学附属医院功能定位，按照建设“成北区域医疗中心”的发展总思路，拟在成都市新都区鸿</p>					

运大道和绕城大道交汇处西侧地块新建新院区，占地面积共计约 273 亩。以建设现代化、智慧化、园林式的区域医疗中心为目标，打造医教研综合医学平台，新院区规划总建筑面积约 57.9 万平方米，主体医疗建筑面积将近 23.7 万平方米，规划编制床位 2000 张。

根据医院新院区的提供的设计方案，医院拟在新院区新建核医学科楼和门急诊医技综合楼各 1 栋，拟在核医学科楼负一层中部新建放射性药物制备区、一层新建影像诊断区和门诊治疗区、二层新建病房治疗区，均属于乙级非密封放射性物质工作场所；拟在门急诊医技综合楼一层影像科介入手术室内使用 1 台 DSA(属于 II 类射线装置)。新院区新建核医学科楼和门急诊医技综合楼属于成都医学院第一附属医院新院区建设项目（）建设内容，医院已委托四川宇尘兴瑞环保咨询有限公司编制环境影响报告书，现已取得成都市生态环境局出具的编号为“成环审(评)[2024]13 号”的环评批复文件（附件 2），其施工期环境影响包含在该报告书中，本次评价主要考虑辐射环境影响部分。

按照《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《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）和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原环境保护部令 第 31 号，2021 年 1 月 4 日修订），本项目需进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部 部令 第 16 号），本项目属于“第五十五项—172 条核技术利用建设项目——使用 II 类射线装置；乙级非密封放射性物质工作场所”，应编制环境影响报告表；又据四川省生态环境厅关于优化调整建设项目环境影响评价文件审批权限的公告（2023 年第 7 号），本项目环境影响报告表应报四川省生态环境厅审查批准。为此，建设单位委托四川瑞迪森检测技术有限公司编制该项目环境影响报告表（附件 1）。

报告编制单位接受委托后，在现场踏勘、实地调查了解项目所在地环境条件和充分研读相关法律法规、规章制度、技术资料后，在项目区域环境质量现状评价的基础上，对项目环境影响进行了预测分析，并按相应标准进行评价。同时，就项目对环境可能造成的影响、项目单位从事相应辐射活动的的能力、拟采取的辐射安全和防护措施及相关管理制度等进行了综合分析，在此基础上提出合理可行的对策和建议，编制完成本报告表。

二、产业政策符合性

根据中华人民共和国国家发展和改革委员会制定的《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第 7 号，2024 年 2 月 1 日起施行），

本项目使用非密封放射性物质、V类放射源、II类射线装置，属于鼓励类第六项“核能”中第6条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业政策。

三、项目概况

(一) 项目名称、性质、地点

项目名称：新院区新建核医学科和介入手术室项目

建设性质：新建

建设地点：成都市新都区鸿运大道与兴乐北路交叉口东南侧

(二) 建设内容与规模

本项目位于成都医学院第一附属医院新院区新建核医学科楼(2F/-1F, 高约 12.65m)内及门急诊医技综合楼内(主楼 10F, 高约 47.85m; 裙楼 4F, 高约 23.95m; 地下 2 层)。医院拟在核医学科楼负一层中部新建放射性药物制备区、一层新建影像诊断区和门诊治疗区、二层新建病房治疗区，均为乙级非密封性放射性物质工作场所；拟在门急诊医技综合楼一层影像科新建介入手术室，并在介入手术室内使用 1 台 DSA(属于 II 类射线装置)。

1、核医学科

本项目核医学科分为 4 个乙级非密封放射性物质工作场所：①放射性药物制备区，使用 20MeV 的回旋加速器 1 台，用于生产 PET 诊断药物 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr ，淋洗 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 发生器制备 ^{68}Ga 、淋洗 $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器制备 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、淋洗 $^{188}\text{W}/^{188}\text{Re}$ 发生器制备 ^{188}Re ，并在质控区进行质控。②影像诊断区，使用的放射性药物包括 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 。③门诊治疗区，使用的放射性药物为 ^{131}I 、 ^{89}Sr ；敷贴器使用的放射源 ^{90}Sr - ^{90}Y 。④病房治疗区，使用外购放射性药物 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{111}In 、 ^{223}Ra 、 ^{161}Tb 和负一层淋洗得到的 ^{188}Re 。本项目生产的非密封放射性物质均为医院自用，不涉及对外销售。

(1) 放射性药物制备区

医院拟在核医学科楼负一层中部新建放射性药物制备区，占地面积约 319m^2 ，内设回旋加速器药物制备区、质控区及其他配套用房，放射性药物制备区日等效操作量为 $2.27 \times 10^9\text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

1) 放射性药物生产区

①回旋加速器机房

拟在回旋加速器机房（面积约 196.4m²（L×B=16.5m×11.9m））内安装 1 台无屏蔽医用回旋加速器，型号为待定，最大能量为 20MeV，最大质子束流强度为 200μA，属于 II 类射线装置，年最大出束时间约 1500h。本项目拟在回旋加速器机房内生产放射性核素 ¹⁸F、¹¹C、¹³N、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr。

回旋加速器机房北侧、西侧、东侧墙体均为 1500mm 厚混凝土；南侧迷道外墙为 700mm 厚混凝土，迷道内墙为 1100mm~1845mm 厚混凝土；顶部为 1200mm/1500mm 厚混凝土，防护门为 5mm 铅板+120mm 厚含硼聚乙烯。

②热室

在回旋加速器机房东侧设有热室（面积约 56.4m²）。在热室内，主要对经过合成的回旋加速器生产放射性核素和外购的放射性核素进行分装。热室，南侧、北侧、东侧墙体均为 300mm 厚混凝土、西侧与回旋加速器机房共用墙为 1500mm 厚混凝土；防护门 2 扇屏蔽效能均为 8mmPb；顶部为 250mm 厚混凝土。药物传输通道地沟为 3mm 铅套管+60mm 铅盖板

医院拟在热室内设药物合成箱、药物分装箱各 1 组，拟采用 70mm 铅箱屏蔽。回旋加速器打靶生产的放射性物质（¹⁸F、¹¹C、¹³N、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr）通过管道分别传输至合成箱和分装箱，药物传输通道采用 3mm 厚铅套管+60mm 铅盖板进行屏蔽；拟在热室柜体内淋洗制备放射性药物 ⁶⁸Ga、^{99m}Tc、¹⁸⁸Re。

③固体靶室

配套用房固体靶室（面积约 29.3m²）东侧、北侧、南侧墙体均为 300mm 厚混凝土，西侧与回旋加速器机房共墙为 1500mm 厚混凝土，防护门 1 扇屏蔽效能为 8mmPb，顶部为 250mm 厚混凝土，药物传输通道采用 3mm 厚铅套管+60mm 铅盖板进行屏蔽。

2) 质控区

在放射性药物生产区北侧设质控区，占地面积约 75.8m²，用于对放射性药物生产区内生产、制备的放射性核素（¹⁸F、¹¹C、¹³N、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr、⁶⁸Ga、^{99m}Tc、¹⁸⁸Re）进行质控。

拟在质控区内设全检质控室、无菌检测室、阳性对照室、放化室及其他配套用房，其中，全检质控室、无菌检测室、阳性对照室、放化室四周墙体均为 200mm 混凝土，顶部为 250mm 厚混凝土，南侧、北侧防护门屏蔽效能均为 5mmPb，手套箱屏蔽效能为

10mmPb。

2、影像诊断区

医院拟在核医学科楼一层南部设影像诊断区，主要分为 PET 影像诊断区和 SPECT 影像诊断区，储源室、分装注射室为两区共用。拟在 PET 影像诊断区内使用放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr ，在 SPECT 影像诊断区内使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，均用于肿瘤显像，影像诊断区日等效最大操作量为 $8.14 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

PET 影像诊断区占地面积约 392.7m^2 ，拟建 PET-MR 检查室（含更衣室）、PET 留观室（含卫生间）、PET-CT 检查室、控制室、PET 注射室、PET 注射后等待室、放射性废物暂存间 2 及其他配套用房；SPECT 影像诊断区占地面积约 402.7m^2 ，拟建 SPECT-CT 检查室 1、SPECT-CT 检查室 2、控制室、SPECT-CT 留观室（含卫生间）、阅片室、SPECT-CT 注射后等待室、放射性废物暂存间 1、运动负荷室及其他配套用房。

拟在 PET-CT 检查室安装 1 台 PET-CT（属于 III 类射线装置），在 PET-MR 检查室安装 1 台 PET-MR；使用 7 枚 ^{22}Na 放射源（活度为 $1.48 \times 10^7 \text{Bq} \times 1 \text{枚} + 3.70 \times 10^5 \text{Bq} \times 6 \text{枚}$ ）用于 PET-CT、PET-MR 校准，属于 V 类放射源；分别在 SPECT-CT 检查室 1、检查室 2 安装 1 台 SPECT-CT（属于 III 类射线装置）。

PET 注射后等候室、PET-CT 检查室地面均为 1500mm 厚混凝土，PET-MR 检查室、PET 留观室地面均为 250mm 厚混凝土；PET 留观室患者出口门屏蔽效能为 6mmPb；放射性废物暂存间 2 四周墙体均采用 370mm 实心砖，顶部为 250mm 厚混凝土，地面为 1200mm 厚混凝土，防护门 2 扇屏蔽效能均为 10mmPb；影像诊断区储源室四周墙体均采用 370mm 实心砖，防护门 1 扇屏蔽效能均为 5mmPb，顶部、地面均为 250mm 厚混凝土，储源柜屏蔽效能为 20mmPb；分装注射室四周墙体均采用 370mm 实心砖，东侧防护窗、防护门屏蔽效能均为 6mmPb，南侧缓冲区防护门屏蔽效能为 15mmPb，西侧注射窗口防护窗屏蔽效能为 50mmPb、防护门屏蔽效能为 20mmPb，顶部为 250mm 厚混凝土，地面 1200mm/1500mm 厚混凝土。在分装注射室内拟配 PET 手套箱 1 个屏蔽效能为 60mmPb，SPECT 手套箱 1 个屏蔽效能为 10mmPb。SPECT-CT 检查室 1、检查室 2 及 SPECT-CT 注射等候室、SPECT 留观室的四周墙体均采用 240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡涂层，顶部均为 380mm 厚混凝土，地面均为 250mm 厚混凝土；SPECT-CT 检查室 1、检查室 2 的观察窗、防护门屏蔽效能均为 5mmPb；SPECT 留观室的防护门屏蔽效能为 5mmPb。运动负

荷室北侧墙体采用240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡涂层，东侧墙体采用240mm 实心砖，西侧、南侧墙体采用370mm 实心砖；放射性废物暂存间1东侧、北侧墙体采用370mm 实心砖，南侧、西侧墙体采用240mm 实心砖，防护门2扇屏蔽效能均为5mmPb；PET-CT检查室、PET-MR 检查室、PET 注射后等候室、PET 留观室的四周墙体均采用370mm 实心砖+6mmPb 硫酸钡涂层，顶部均为250mm 厚混凝土，防护门屏蔽效能均为20mmPb；

3、门诊治疗区

医院拟在核医学科楼一层北部设核医学科门诊治疗区，占地面积约 357.1m²，内设甲测室、敷贴室、服药/注射室、留观/抢救室及其他配套用房，分别用于开展甲状腺吸碘功能检测、敷贴治疗和甲亢/骨转移瘤治疗。门诊治疗区共用核医学等候大厅、分装室、放射性废物暂存间 3、储源室及核医学科门诊其他配套用房。门诊治疗区日等效操作量为 1.20×10⁹Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。

甲测室位于门诊治疗区东北部，占地面积约12.3m²，拟在甲测室内使用放射性核素¹³¹I，用于甲状腺功能测定。甲测室四周墙体均为240mm 厚实心砖墙，地面、屋顶均为250mm 厚混凝土，防护门屏蔽效能为2mmPb。

敷贴室位于门诊治疗区北部，占地面积约11.1m²，拟在敷贴治疗室内使用1枚放射源⁹⁰Sr-⁹⁰Y，放射源活度为7.40×10⁸Bq，属于 V 类放射源，用于敷贴治疗，年最大治疗人数约750人。敷贴室四周墙体均为240mm 实心砖，地面、屋顶均为250mm 厚混凝土，防护门屏蔽效能为2mmPb；甲亢/骨转移瘤治疗区域位于门诊治疗区西部，占地面积约10.1m²，拟在该区域内使用核素¹³¹I，用于甲亢治疗，使用核素⁸⁹Sr，用于骨转移瘤治疗。分装室、服药/注射室、留观/抢救室南侧墙体均为300mm 厚混凝土，其余三侧均为250mm 厚混凝土，地面、顶部均为250mm 厚混凝土，防护门屏蔽效能均为15mmPb，防护窗屏蔽效能为20mmPb；储源室、放射性废物暂存间3四周墙体均为250mm 厚混凝土，防护门屏蔽效能均为5mmPb，地面、顶部均为250mm 厚混凝土；拟在分装室内配置1个屏蔽效能为30mmPb 的手套箱。

4、病房治疗区

医院拟在核医学科楼二层东部设核医学科病房治疗区，占地面积约 538.1m²，内设储源室、分装配药室、10 间病房、服药/注射室、2 间放射性废物暂存间及其他配套用房。根据医院提供的资料，单日收治患者主要有 4 种模式：①收治 2 名 ¹³¹I 治疗患者+2 名 ¹⁷⁷Lu 治疗患者+2 名 ²²⁵Ac 治疗患者+2 名 ¹¹¹In 治疗患者+2 名 ¹⁸⁸Re 治疗患者+2 名 ²²³Ra 患者

+2名¹⁶¹Tb治疗患者，该模式日等效最大操作量为 3.85×10^9 Bq；②收治1名¹³¹I治疗患者+3名¹⁷⁷Lu治疗患者+2名²²⁵Ac治疗患者+2名¹¹¹In治疗患者+1名¹⁸⁸Re治疗患者+2名²²³Ra患者+2名¹⁶¹Tb治疗患者，该模式日等效最大操作量为 3.92×10^9 Bq；③收治4名¹³¹I治疗患者+1名¹⁷⁷Lu治疗患者+1名²²⁵Ac治疗患者+3名¹¹¹In治疗患者+3名¹⁸⁸Re治疗患者+1名²²³Ra患者+3名¹⁶¹Tb治疗患者，该模式日等效最大操作量为 3.96×10^9 Bq；④收治1名¹³¹I治疗患者+1名¹⁷⁷Lu治疗患者+2名²²⁵Ac治疗患者+2名¹¹¹In治疗患者+4名¹⁸⁸Re治疗患者+2名²²³Ra患者+6名¹⁶¹Tb治疗患者，该模式日等效最大操作量为 2.92×10^9 Bq。治疗病房药物区单日只选用其中一种模式，治疗药物病房区日等效最大操作量为 3.96×10^9 Bq，根据《电离辐射防护与辐射源安全标准》（GB18871-2002）规定，该治疗药物病房区属于乙级非密封放射性物质工作场所。

病房治疗区的储源室四周墙体均采用370mm实心砖，防护门3扇屏蔽效能为5mmPb，顶部、地面均为250mm厚混凝土，拟配屏蔽效能为20mmPb的储源柜1个；分装配药室南侧、西侧、北侧墙体均采用370mm实心砖，东侧墙体采用350mm厚混凝土；南侧防护门屏蔽效能为15mmPb、传递窗屏蔽效能为30mmPb；顶部、地面均为250mm厚混凝土。拟配屏蔽效能为50mmPb的手套箱1个。服药/注射室四周墙体均采用350mm厚混凝土，防护门1扇屏蔽效能为15mmPb、防护窗屏蔽效能为30mmPb，顶部、地面均为250mm厚混凝土。10间病房四周墙体厚度范围为300~400mm厚混凝土，顶部为150mm厚混凝土，地面为380mm厚混凝土，防护门屏蔽效能均为20mmPb，防护窗屏蔽效能为40mmPb；治疗/抢救室南侧墙体为400mm厚混凝土，其余三侧墙体均为350mm厚混凝土，防护门2扇屏蔽效能为15mmPb，顶部、地面均为250mm厚混凝土；患者通道四周墙体均采用350mm厚混凝土，南侧、北侧防护门屏蔽效能均为20mmPb，西侧防护窗屏蔽效能为40mmPb，顶部为150mm厚混凝土，地面为380mm厚混凝土；患者出口缓冲间四周墙体均240mm实心砖+6mmPb硫酸钡涂层，地面为250mm厚混凝土，顶部为150mm厚混凝土，防护门3扇屏蔽效能均为15mmPb。

（二）影像科介入手术室

医院拟在门急诊医技综合楼一层影像科新建介入手术室，并在介入手术室内使用1台DSA，型号待定，额定管电压为150kV、额定管电流为1000mA，出束方向由下而上，均属于II类射线装置。

本项目DSA主要用于心血管、神经、综合介入等手术，由于DSA介入治疗时依据

不同的使用科室，致使手术时的拍片和透视出束时间也不一样，本环评保守按最长使用科室的手术曝光时间计。DSA 介入单台手术最长出束时间：透视 30min、拍片 1min，单台设备年诊疗病例预计 500 例，则单台设备年累计最大出束时间约 155h（其中透视 250h，拍片 8.33h）。

本项目涉及的介入手术室净空面积约 49.03m²（L×B=7.96m×6.16m），介入手术室四面墙体拟采用 370mm 实心砖墙，楼顶为 260mm 厚混凝土，地面为 260mm 厚混凝土+3mmPb 当量硫酸钡涂层，4 扇防护门均为 3mm 铅当量，1 扇观察窗为 3mm 铅当量。

表 1-5 本项目组成及主要的环境问题表

名称	科室	场所	建设内容及规模		可能产生的环境问题		
					施工期	营运期	
主体工程	核医学科	放射性药物制备区	放射性药物生产区	设备、数量	回旋加速器，1 台	施工期影响已包含在及配套设备设施建设项目环境影响报告表中（成环审（评）[2024]13 号）。装修、设备安装将产生：噪声、扬尘、废水、废气、固体废物	中子、β射线、γ射线、β表面沾污、放射性废水、放射性固体废物、臭氧、生活污水、生活垃圾
				设备型号	待定		
				管理类别	II类		
				使用场所	核医学科楼负一层回旋加速器机房		
				最大参数	20MeV/200μA		
				出束时间	1500h/a		
	计划生产产额	¹⁸ F 年最大生产量 1.85×10 ¹³ Bq，日最大生产量 7.40×10 ¹⁰ Bq，日等效最大操作量 7.40×10 ⁸ Bq； ¹¹ C 年最大生产量 9.25×10 ¹² Bq，日最大生产量 3.70×10 ¹⁰ Bq，日等效最大操作量 3.7×10 ⁸ Bq； ¹³ N 年最大生产量为 9.25×10 ¹² Bq，日最大生产量为 3.70×10 ¹⁰ Bq，日等效最大操作量为 3.70×10 ⁸ Bq； ⁶⁴ Cu 年最大生产量为 5.55×10 ¹¹ Bq，日最大生产量为 2.22×10 ⁹ Bq，日等效最大操作量为 2.22×10 ⁷ Bq； ⁸⁹ Zr 年最大生产量为 6.94×10 ¹¹ Bq，日最大生产量为 2.78×10 ⁹ Bq，日等效最大操作量为 2.78×10 ⁸ Bq					
	放射性药物质控区（负一层北部）	质控区主要对本项目生产、制备的所有批次的药物的质量管控					
	非密封放射性物质工作	回旋加速器机房、热室、固体靶室、全检质控室、阳性对照间、放化室、无菌检测室、					

主体工程	核医学科	场所	内毒室等			
		放射性药物制备区场所等级	日等效最大操作量 $2.27 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所			
		影像诊断区 SPECT CT 影像诊断区	设备、数量	2台 SPECT-CT		
			设备型号	待定		
			管理类别	III类		
			额定管电压/电流	150kV/1000mA		
			使用场所	核医学科楼一层 SPECT 检查室 1、检查室 2		
			使用核素及用量	$^{99\text{m}}\text{Tc}$: 年最大用量为 $9.25 \times 10^{12} \text{Bq}$ ，日最大使用量为 $3.70 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $3.70 \times 10^7 \text{Bq}$		
		影像诊断区 PET 影像诊断区	设备、数量	1台 PET-CT、1台 PET-MR		
			设备型号	待定	施工期影响已包含在及配套设备设施建设项目环境影响报告表中（成环审（评）[2024]13号）。装修、设备安装将产生：噪声、扬尘、废水、废气、固体废物	X射线、β射线、γ射线、β表面沾污、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物、废放射源、臭氧、生活污水、生活垃圾
			管理类别	III类		
			额定管电压/电流	PET-CT: 150kV/1000mA		
			使用场所	PET-CT 检查室、PET-MR 检查室		
			使用核素及用量	^{18}F 年最大用量为 $3.70 \times 10^{12} \text{Bq}$ ，日最大使用量为 $1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.48 \times 10^7 \text{Bq}$ ； ^{11}C 年最大用量为 $1.85 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，日最大使用量为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.85 \times 10^6 \text{Bq}$ ； ^{13}N 年最大用量为 $1.85 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，日最大使用量为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.85 \times 10^6 \text{Bq}$ ； ^{64}Cu 年最大用量为 $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ ，日最大使用量为 $5.55 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.11 \times 10^6 \text{Bq}$ ； ^{89}Zr 年最大用量为 $9.25 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，日最大使用量为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.85 \times 10^7 \text{Bq}$ ； ^{68}Ga 年最大用量为 $2.22 \times 10^{12} \text{Bq}$ ，日最大使用量为 $1.11 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.11 \times 10^7 \text{Bq}$		
			使用校准源	7枚 ^{22}Na 放射源，活度为 $1.48 \times 10^7 \times 1$ 枚 + $3.7 \times 10^5 \times 6$ 枚，属于V类放射源		
			诊断区非密封放射性物质工作场所	PET-MR 及 PET-CT 检查室、PET 留观室、PET 注射后等候室（抢救室）、PET 注射室、SPECT-CT 检查室 1 及检查室 2、SPECT 留观室、运动负荷室（抢救室）、SPECT 注射后等候室、储源室、分装室、放射性废物暂存间 1、放射性废物暂存间 2、抢救观察室等		
			影像诊断区场所等级	日等效最大操作量 $1.08 \times 10^8 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所		

主体工程	核医学科	门诊治疗区	敷贴治疗	设敷贴室 1 间, 在敷贴治疗室内使用 ^{90}Sr - ^{90}Y 放射源 3 枚, 出厂活度为 $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$, 属于 V 类放射源	施工期影响已包含在及配套设备设施建设项目环境影响报告表中 (成环审(评)[2024]13号)。装修、设备安装将产生: 噪声、扬尘、废水、废气、固体废物	β 射线、 γ 射线、 β 表面沾污、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物、废放射源、臭氧、生活污水、生活垃圾
			甲功检测	设甲测室 1 间, 在甲测室内使用放射性核素 ^{131}I , 计划年最大操作量为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$, 计划日最大操作量为 $3.70 \times 10^6 \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $3.70 \times 10^5 \text{Bq}$		
			甲亢/骨转移瘤治疗	甲亢/骨转移瘤服药室 1 间, 在甲亢服/骨转移瘤药室内使用放射性核素 ^{131}I , 计划年最大操作量为 $1.11 \times 10^{12} \text{Bq}$, 计划日最大操作量为 $1.11 \times 10^{10} \text{Bq}$; 日等效最大操作量为 $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$; 使用放射性核素 ^{89}Sr , 计划年最大操作量为 $4.63 \times 10^{10} \text{Bq}$, 计划日最大操作量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$, 日等效最大操作量为 $9.25 \times 10^7 \text{Bq}$		
			非密封放射性物质工作场所	储源室、分装室、放射性废物暂存间 1、患者通道、甲测室、服药/注射室、敷贴室、甲亢休息留观室(抢救室)等		
			核医学科门诊治疗区场所等级	日等效最大操作量 $1.20 \times 10^9 \text{Bq}$, 属于乙级非密封放射性物质工作场所		
			使用核素包括使用 ^{131}I 用于治疗甲状腺癌; ^{177}Lu 用于肿瘤治疗; ^{225}Ac 用于肿瘤治疗; ^{111}In 用于垂体腺瘤治疗; ^{188}Re 用于前列腺癌治疗; ^{161}Tb 用于肿瘤治疗; ^{223}Ra 用于骨转移瘤治疗	(成环审(评)[2024]13号)。		
	病房治疗区	非密封放射性物质工作场所	储源室、药物分装室、放射性废物暂存间 3、患者通道、甲测室、甲亢/骨转移瘤服药室、敷贴室、甲亢休息留观室(抢救室)等	日等效最大操作量 $3.96 \times 10^9 \text{Bq}$, 属于乙级非密封放射性物质工作场所		
		核医学科病房治疗区场所等级				
	影像科	介入手术室	设备、数量	1 台 DSA	X射线、臭氧、医疗废物	
设备型号			待定			
管理类别			II类			
使用场所			门急诊医技综合楼 1 楼影像科介入手术室			
年曝光时间			155h (其中透视 250h, 拍片 8.33h)			
额定管电压/电流			150kV/1000mA			
辅助工程	衰变池、控制室、卫生通过间、水冷机房、设备间、清洁间、配套建设候诊区、诊室和护士站等配套辅助用房			废水、固废		
公用工程	市政水网、市政电网、配电系统、废水处理站、通排风系统(中央空调)			/		

程		
办公及生活设施	医生办公室、示教室、医生卫生间、更衣室等	生活垃圾、生活污水
依托环保设施	<p>①废水：核医学科负一层放射性药物制备区、影像诊断区放射性废水通过专门的管道收集，经化粪池沉淀后排入衰变池 2 衰变 33 天后，经监测符合排放标准后排放至医院污水处理站处理；病房治疗区和门诊治疗区内产生的放射性废水经管道引至化粪池沉淀，再排入衰变池 1 内进行衰变 180 天后，经监测符合排放标准后排放至医院污水处理站处理；生活污水依托医院新建污水处理设施，处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 中要求后排入市政污水管网进入新都工业东区污水处理厂处理。</p> <p>②固体废物：办公、生活垃圾依托医院收集系统收集，由环卫部门定期统一清运至垃圾中转站。退役放射源、经清洁解控的废发生器、废靶片等交由厂家回收；放射性固体废物采用专用塑料袋分类收集后存放于各场所内放射性固体废物暂存桶并及时转移至放射性废物暂存间专用贮存容器内存放，放射性药物制备区、影像诊断区内产生的放射性固体废物，分别在该场所内放射性废物暂存间内暂存超过 33 天后，经监测符合排放标准后同其它医疗废物一起由医疗废物处理机构定期统一处理；门诊治疗区产生的含 ^{131}I 放射性固体废物、二层病房治疗区内产生的放射性固体废物经过收集后，暂存 180 天后经监测达到清洁解控水平，作为医疗废物进行处置；门诊治疗区内产生的 ^{89}Sr 放射性固体废物经过收集后，暂存衰变超过 506 天，经监测达到清洁解控水平后作为医疗废物进行处置。</p> <p>③废气：负一层回旋加速器机房产生的放射性废气经过过滤后采用独立排风系统经排风井引至核医学科楼北侧楼顶经高效过滤装置过滤后排放；拟在热室、固体靶室柜体内设置过滤装置，热室和固体靶室、全检质控室拟分别设置单独的排风管道，经排风井引出后经高效过滤装置过滤后排放；一层影像诊断区和门诊治疗区工作场所内分别设置通排风系统、分装手套箱专用排风系统（手套箱内壁设置过滤装置），在排风井前合管经高效过滤装置过滤后在楼顶进行排放；二层病房治疗区拟设 3 套专用排风系统，排风管道流向遵循低活度流向高活度区域，手套箱为独立排风系统（手套箱内壁设置过滤装置），合管后引至楼顶经高效过滤装置过滤后排放。</p>	/

（三）本项目主要原辅材料及能耗情况

本项目主要原辅材料及能耗情况见表 1-6。

表 1-6 主要原辅材料及能耗情况表

	名称	使用量	来源	用途
主要原辅材料	^{131}I	年使用量为 $1.67 \times 10^{12}\text{Bq}$	外购	甲癌治疗
		年使用量为 $1.11 \times 10^{12}\text{Bq}$	外购	甲亢治疗
		年使用量为 $3.70 \times 10^8\text{Bq}$	外购	甲状腺功能检测
	^{18}F	年使用量为 $1.85 \times 10^{13}\text{Bq}$	回旋加速器生产	PET 肿瘤显像
	^{11}C	年使用量为 $9.25 \times 10^{12}\text{Bq}$	回旋加速器生产	PET 肿瘤显像

	¹³ N	年使用量为 9.25×10 ¹² Bq	回旋加速器生产	PET 肿瘤显像
	⁶⁴ Cu	年使用量为 5.55×10 ¹¹ Bq	回旋加速器生产	PET 肿瘤显像
	⁸⁹ Zr	年使用量为 6.94×10 ¹¹ Bq	回旋加速器生产	PET 肿瘤显像
	⁶⁸ Ga	年使用量为 3.33×10 ¹² Bq	⁶⁸ Ge/ ⁶⁸ Ga 发生器淋洗	PET 肿瘤显像
	^{99m} Tc	年使用量为 1.11×10 ¹³ Bq	⁹⁹ Mo/ ^{99m} Tc 发生器淋洗	SPECT 骨、泌尿、内分泌等显像
	⁸⁹ Sr	年使用量为 4.63×10 ¹⁰ Bq	外购	骨转移瘤治疗
	¹⁷⁷ Lu	年使用量为 1.48×10 ¹² Bq	外购	肿瘤治疗（前列腺癌、神经内分泌肿瘤、骨转移瘤等）
	²²⁵ Ac	年使用量为 3.70×10 ⁹ Bq	外购	肿瘤治疗（前列腺癌、神经内分泌肿瘤、骨转移瘤等）
	¹¹¹ In	年使用量为 9.25×10 ¹⁰ Bq	外购	垂体腺瘤治疗
	¹⁸⁸ Re	年使用量为 1.11×10 ¹² Bq	¹⁸⁸ W/ ¹⁸⁸ Re 发生器淋洗	前列腺癌治疗
	¹⁶¹ Tb	年使用量为 9.25×10 ¹⁰ Bq	外购	肿瘤治疗
	²²³ Ra	年使用量为 9.25×10 ⁹ Bq	外购	骨转移瘤治疗
	⁹⁹ Mo/ ^{99m} Tc 发生器	年使用量为 9.25×10 ¹² Bq	外购	制备 ^{99m} Tc
	⁶⁸ Ge/ ⁶⁸ Ga 发生器	年使用量为 3.20×10 ¹² Bq	外购	制备 ⁶⁸ Ga
	¹⁸⁸ W/ ¹⁸⁸ Re 发生器	年使用量为 9.25×10 ¹¹ Bq	外购	制备 ¹⁸⁸ Re
	⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	7.40×10 ⁸ ×3 枚	外购	敷贴治疗（毛细血管瘤、瘢痕等）
	²² Na	1.48×10 ⁷ Bq×1 枚 +3.7×10 ⁵ Bq×6 枚	外购	PET-CT 和 PET-MR 校准
能源	煤 (t)	-	-	-
	电(度)	5×10 ⁵	市政电网	-
	气 (Nm ³)	-	-	-
水量	地表水 (m ³)	1000	-	-
	地下水	-	-	-

(四) 本项目所涉及的射线装置

表 1-7 本项目新增射线装置清单

序号	装置名称	数量	型号	设备参数	管理类别	使用场所	生产厂家	备注
1	回旋加速器	1 台	待定	中子能量最高 20MeV, γ 射线能量最大为 20MeV	II类	核医学科楼负一层回旋加速器机房	待定	拟购
2	PET-CT	1 台	待定	最大管电压 150kV, 最大管电流 1000mA	III类	核医学科楼一层 PET-CT 检查室	待定	拟购
3	SPECT/	2 台	待定	最大管电压 150kV, 最大	III类	核医学科楼一层	待定	拟购

	CT			管电流 1000mA		SPECT-CT 检查室		
4	DSA	1 台	待定	最大管电压 150kV, 最大管电流 1000mA	III类	综合楼一层影像科介入手术室	待定	拟购

(五) 本项目放射源及使用情况一览表

表 1-8 本项目涉及核素特性

放射源种类	活度 (Bq)	放射源类别	放射源数量	半衰期	辐射类型	辐射最大能量	备注
^{22}Na	$1.48 \times 10^7 \times 1$ 枚 $+3.7 \times 10^5 \times 6$ 枚	V类	7 枚	2.60a	β 射线	$E_{\beta}=0.5457\text{MeV}$ $E_{\gamma}=1.27455\text{MeV}$	放射源活度不能达到要求时, 联系放射源厂家更换放射源
$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$	$7.40 \times 10^8 \times 3$ 枚	V类	3 枚	28.79a	β 射线	$E_{\beta}=0.546\text{MeV}$	/

(六) 本项目医用核素及使用情况一览表

表 1-9 本项目涉及核素特性

序号	使用核素	半衰期	状态	毒性分组	衰变方式	主要射线及能量	周围剂量当量率常数 (裸源) ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq} \cdot \text{h}$)
1	^{18}F	109.8min	液态	低毒	EC、 β^+	β :0.635(97%)、 γ :0.511 (194%)	0.143
2	^{11}C	20.39min	液态	低毒	EC、 β^+	511keV/ γ 射线	0.148
3	^{13}N	9.961min	液态	低毒	β^+ 、EC	β :1.190(100%)、 γ :0.511 (200%)	0.148
4	^{64}Cu	12.7h	液态	低毒	β^+ 、 β^- 、EC	β^- :0.571(39.6%)、 β^+ :0.657 (19.3%)、 γ :1.346(0.6%)	0.029
5	^{89}Zr	78.4h	液态	中毒	EC、 β^+	β :0.396、 γ :0.909、0.511	0.20
6	^{68}Ga	68.3min	液态	低毒	EC、 β^+	β :1.8991(84%)、 γ :1.0774(3.0%)、0.511(178%)	0.134
7	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	液态	低毒	IT、 β^-	γ :0.1405(89.0)、0.1426、0.3224	0.0303
8	^{131}I	8.02d	液态	中毒	β^-	β :0.6065(86%)、0.336(13%)、 γ :0.2843 (7.46%)、0.3645(81%)、0.6369(8.94%)	0.0595
9	^{89}Sr	50.53d	液态	中毒	β^-	β :1.488(m~100%)	/
10	^{177}Lu	6.73d	液态	中毒	β^-	β :0.4968 (90%)、0.175 (6.7%) γ :0.2084(11.0%)、X: 55.79	0.0067
11	^{225}Ac	10.0d	液态	极毒	α	α :5.830(50.65%)、5.794(24.3%)、5.732 (10.1%)、 γ :0.0998(1.7%)、0.1501 (0.71%)	1.95×10^{-4}
12	^{111}In	2.83d	液态	中毒	EC	γ :0.173(98%)、0.247(94%)	0.105
13	^{188}Re	16.98h	液态	中毒	β^-	β^- :2.218(74%)、1.973(24%)、 γ :0.15504 (15.2%、930)、0.6330 (77.6)、X: 61.140	0.013
14	^{161}Tb	7.21d	液态	中毒	β^-	β^- :0.590(10%)、0.520(55%)、0.460(35%)、 γ :0.0746 (10%、100)、0.0879 (2.1)、X: 45.9984	0.001
15	^{223}Ra	11.43d	液态	极毒	α	α :5.716(53.7%)、5.6076(26%)、	0.062

						5.7478(9.1%)、 γ :0.1543 (5.58) 0.2693 (14%, 13.6)	
16	^{99}Mo	2.75d	固态	中毒	β^-	β :1.214(84%)、0.450(14%) γ :0.7394(12.6%)、 0.18107(49.9%)	0.03
17	^{68}Ge	270.8d	固态	中毒	β^+ 、EC	β^+ : 1.89、 γ :1.08	/
18	^{188}W	69.4d	固态	中毒	β^-	β :0.349(100%)	/

(七) 本项目使用核素及工作场所分级

根据中华人民共和国原环境保护部办公厅文件《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。

根据本项目布局特点，本项目所在核医学科楼负一层中部放射性药物制备区，一层南部为影像诊断区、一层北部为核医学科门诊治疗区，二层东部为核医学科病房治疗区均为相对独立、有明确的监督区和控制区划分，各个非密封放射性物质工作场所工艺流程连续完整，且各场所有相对独立的辐射防护措施，辐射工作人员也不存在交叉情况。因此，本次将负一层放射性药物制备区、一层南部影像诊断区、一层北部核医学科门诊治疗区、二层东部核医学科病房治疗区分别作为一个非密封放射性物质工作场所进行评价。

依据按照《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1-12。

表 1-12 非密封放射性物质工作场所分级表

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 $\sim 2 \times 10^7$

放射性同位素的日等效最大操作量根据其毒性组别、操作方式、放射源状态和实际日等效最大操作量确定。毒性组别和操作方式与放射源状态修正因子见表1-13、表1-14。

表 1-13 放射性药物毒性组别修正因子表

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 1-14 放射性药物操作方式修正因子表

操作方式	放射性物质状态			
	表面污染水平 较低的固体	液体、溶液、悬 浮液	表面有污染 的固体	气体、蒸汽、粉末、压 力很高的液体、固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），非密封放射性物质工作场所应按放射性药物日等效最大操作量的大小分为甲、乙、丙三级，日等效操作量计算公式为：

$$\text{日等效操作量} = \text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子} \div \text{操作方式的修正因子}$$

因此，根据本项目核医学科使用放射性同位素的毒性组别、操作方式和日等效操作量，确定本项目核医学科工作场所级别，具体见表 1-15。

表 1-15 本项目核医学科非密封放射性物质工作场所分级表

使用核素名称	用途	年操作量 (Bq)	日最大操作量 (Bq)	毒性组别	毒性修正因子	操作方式	操作修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	综合日等效操作量 (Bq)	工作场所级别
放射性药物制备区（核医学科楼负一层中部）										
¹⁸ F	制备放射性药物、质检，供核医学科诊断用	1.85E+13	7.40E+10	低毒	0.01	简单操作	1	7.40E+08	2.27E+09	乙级
¹¹ C		9.25E+12	3.70E+10	低毒	0.01	简单操作	1	3.70E+08		
¹³ N		9.25E+12	3.70E+10	低毒	0.01	简单操作	1	3.70E+08		
⁶⁴ Cu		5.55E+11	2.22E+09	低毒	0.01	简单操作	1	2.22E+07		
⁸⁹ Zr		6.94E+11	2.78E+09	中毒	0.1	简单操作	1	2.78E+08		
⁶⁸ Ga		3.33E+12	1.33E+10	低毒	0.01	简单操作	1	1.33E+08		
^{99m} Tc		1.11E+13	4.44E+10	低毒	0.01	简单操作	1	4.44E+08		
¹⁸⁸ Re	1.11E+12	4.44E+09	中毒	0.1	简单操作	1	4.44E+08			
⁶⁸ Ge/ ⁶⁸ Ga 发生器	淋洗制	3.20E+12	8.00E+10	中毒	0.1	源的贮存	100	8.00E+07	2.27E+09	乙级
⁹⁹ Mo/ ^{99m} Tc 发生器	药、质检，供核医学科	9.25E+12	3.70E+10	中毒	0.1	源的贮存	100	3.70E+07		
¹⁸⁸ W/ ¹⁸⁸ Re 发生器	诊断用	9.25E+11	1.85E+10	中毒	0.1	源的贮存	100	1.85E+07		

影像诊断区（核医学科楼一层南部）

¹⁸ F		3.70E+12	1.48E+10	低毒	0.01	很简单操作	10	1.48E+07	8.14E+07	乙级
¹¹ C	PET-CT	1.85E+11	1.85E+09	低毒	0.01	很简单操作	10	1.85E+06		
¹³ N	和	1.85E+11	1.85E+09	低毒	0.01	很简单操作	10	1.85E+06		
⁶⁴ Cu	PET-MR	5.55E+10	1.11E+09	低毒	0.01	很简单操作	10	1.11E+06		
⁸⁹ Zr	显像诊断	9.25E+10	1.85E+09	中毒	0.1	很简单操作	10	1.85E+07		
⁶⁸ Ga		2.22E+12	1.11E+10	低毒	0.01	很简单操作	10	1.11E+07		
^{99m} Tc	SPECT /CT 诊断显像	9.25E+12	3.70E+10	低毒	0.01	很简单操作	10	3.70E+07		
门诊治疗区（核医学科楼一层北部）										
¹³¹ I	甲亢	1.11E+12	1.11E+10	中毒	0.1	简单操作	1	1.11E+09	1.20E+09	乙级
¹³¹ I	甲测	3.70E+08	3.70E+06	中毒	0.1	简单操作	1	3.70E+05		
⁸⁹ Sr	骨转移 瘤治疗	4.63E+10	9.25E+08	中毒	0.1	简单操作	1	9.25E+07		
病房治疗区—治疗床位方案一（核医学科楼二层东部）										
¹³¹ I	甲癌治 疗	1.67E+12	1.11E+10	中毒	0.1	简单操作	1	1.11E+09	3.85E+09	乙级
¹⁷⁷ Lu	前列腺 癌治疗	1.48E+12	1.48E+10	中毒	0.1	简单操作	1	1.48E+09		
²²⁵ Ac	肿瘤治 疗	3.70E+09	1.48E+07	极毒	10	简单操作	1	1.48E+08		
¹¹¹ In	垂体腺 瘤治疗	9.25E+10	7.40E+08	中毒	0.1	简单操作	1	7.40E+07		
¹⁸⁸ Re	前列腺 癌治疗	2.78E+11	2.22E+09	中毒	0.1	简单操作	1	2.22E+08		
²²³ Ra	骨转移 瘤治疗	9.25E+09	7.40E+07	极毒	10	简单操作	1	7.40E+08		
¹⁶¹ Tb	肿瘤治 疗	9.25E+10	7.40E+08	中毒	0.1	简单操作	1	7.40E+07		
病房治疗区—治疗床位方案二（核医学科楼二层东部）										
¹³¹ I	甲癌治 疗	1.67E+12	5.55E+09	中毒	0.1	简单操作	1	5.55E+08	3.92E+09	乙级
¹⁷⁷ Lu	前列腺 癌治疗	1.48E+12	2.22E+10	中毒	0.1	简单操作	1	2.22E+09		
²²⁵ Ac	肿瘤治 疗	3.70E+09	1.48E+07	极毒	10	简单操作	1	1.48E+08		
¹¹¹ In	垂体腺 瘤治疗	9.25E+10	7.40E+08	中毒	0.1	简单操作	1	7.40E+07		
¹⁸⁸ Re	前列腺 癌治疗	2.78E+11	1.11E+09	中毒	0.1	简单操作	1	1.11E+08		
²²³ Ra	骨转移	9.25E+09	7.40E+07	极毒	10	简单操作	1	7.40E+08		

	瘤治疗										
¹⁶¹ Tb	肿瘤治疗	9.25E+10	7.40E+08	中毒	0.1	简单操作	1	7.40E+07			
病房治疗区—治疗床位方案三（核医学科楼二层东部）											
¹³¹ I	甲癌治疗	1.67E+12	2.22E+10	中毒	0.1	简单操作	1	2.22E+09	3.96E+09	乙级	
¹⁷⁷ Lu	前列腺癌治疗	1.48E+12	7.40E+09	中毒	0.1	简单操作	1	7.40E+08			
²²⁵ Ac	肿瘤治疗	3.70E+09	7.40E+06	极毒	10	简单操作	1	7.40E+07			
¹¹¹ In	垂体腺瘤治疗	9.25E+10	1.11E+09	中毒	0.1	简单操作	1	1.11E+08			
¹⁸⁸ Re	前列腺癌治疗	2.78E+11	3.33E+09	中毒	0.1	简单操作	1	3.33E+08			
²²³ Ra	骨转移瘤治疗	9.25E+09	3.70E+07	极毒	10	简单操作	1	3.70E+08			
¹⁶¹ Tb	肿瘤治疗	9.25E+10	1.11E+09	中毒	0.1	简单操作	1	1.11E+08			
病房治疗区—治疗床位方案四（核医学科楼二层东部）											
¹³¹ I	甲癌治疗	1.67E+12	5.55E+09	中毒	0.1	简单操作	1	5.55E+08	2.92E+09	乙级	
¹⁷⁷ Lu	前列腺癌治疗	1.48E+12	7.40E+09	中毒	0.1	简单操作	1	7.40E+08			
²²⁵ Ac	肿瘤治疗	3.70E+09	1.48E+07	极毒	10	简单操作	1	1.48E+08			
¹¹¹ In	垂体腺瘤治疗	9.25E+10	7.40E+08	中毒	0.1	简单操作	1	7.40E+07			
¹⁸⁸ Re	前列腺癌治疗	2.78E+11	4.44E+09	中毒	0.1	简单操作	1	4.44E+08			
²²³ Ra	骨转移瘤治疗	9.25E+09	7.40E+07	极毒	10	简单操作	1	7.40E+08			
¹⁶¹ Tb	肿瘤治疗	9.25E+10	2.22E+09	中毒	0.1	简单操作	1	2.22E+08			
<p>注：①放射性药物制备区回旋加速器打靶每天最多打靶生产 2 种放射性同位素，上表预测中选取日等效操作量最大的两种和淋洗制药部分叠加进行定级；②影像诊断区内每天最多使用 4 种放射性同位素进行显像诊断；③根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）表 A.2，发生器淋洗母体（液态）操作方式界定为贮存、子体（液态）操作方式界定为简单操作；④《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）表 A.2，医疗机构使用 ^{99m}Tc、¹⁸F（液态）为很简单操作、操作方式修正因子为 10；核素治疗为简单操作，操作方式修正因子为 1；放射性药品生产中分装、标记（液体）操作方式为简单操作，操作方式修正因子为 1。</p> <p>根据上表可知，本项目涉及的四个非密封放射性物质工作场均乙级非密封放射性物</p>											

质工作场所。

(八) 本项目医用核素及工作场所分类

按照《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)附录 G,核医学工作场所分类见表 1-16。

表 1-16 核医学工作场所分类一览表

分类	日操作最大量放射性药物的加权活度/MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50

放射性同位素加权活度根据其毒性权重因子、操作性质修正因子确定。毒性权重因子见表 1-17、表 1-18。

表 1-17 核医学放射性药物的毒性权重因子表

类别	放射性药物	核素的毒性权重因子
A	⁸⁹ Sr、 ¹³¹ I、 ³² P、 ⁹⁹ Mo、 ¹⁸⁸ Re、 ¹⁸⁸ W、 ²²⁵ Ac、 ⁶⁸ Ge、 ⁸⁹ Zr、 ⁶⁴ Cu、 ³² P、 ¹⁶¹ Tb、 ²²³ Ra、 ¹⁷⁷ Lu	100
B	¹⁴ C、 ¹³ N、 ¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ^{99m} Tc、 ¹¹¹ In	1
C	¹¹ C	0.01

表 1-18 核医学常用放射性药物操作性质修正因子表

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

根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020),核医学工作场所应按日操作最大量放射性药物的加权活度的大小分为 I、II、III类,加权活度计算公式为:

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

本项目核医学科各功能用房按照各自的核素日实际操作最大活度以及各核素毒性权重因子、操作性质修正因子核算加权活度,进行场所的辐射防护设计,核算见表1-19。

表 1-19 各功能区核素加权活度分类

(八) 本项目外环境、选址及实践正当、兼容性分析

1、本项目外环境

成都医学院第一附属医院新院区位于成都市新都区宏运大道与兴业北路交叉口东南侧。新院区北侧为鸿运大道,南侧为学府路,西侧为兴乐北路,东侧为绕城大道。本

项目涉及的辐射工作场所均位于成都医学院第一附属医院新院区新建核医学科楼和门急诊医技综合楼内。根据医院提供的院区平面布置图，核医学科楼位于院区西北部，本项目放射性药物制备区位于核医学科楼负一层中部，影像诊断区位于核医学科楼一层南部，核医学科门诊治疗区位于核医学科楼一层北部，病房治疗区位于核医学科楼二层东部；门急诊医技综合楼位于院区北部，本项目新建介入手术室位于门急诊综合楼一层影像科。

本项目核医学科楼（2F/-1F，高约 12.65m）北侧约 7.5~25.9m 为衰变池、29~50m 为院外规划绿地，东北侧约 9.7~50m 为院内机动车停车场，西北侧约 0~15.6m 为院内绿地、15.6~50m 为院外规划绿地；东侧约 32.6m~50m 为院内道路；南侧约 7.3~13.8m 为院内机动车停车场、约 28.7~50m 为院内绿地，西南侧约 32~50m 为康养楼。

本项目介入手术室在门急诊医技综合楼一层（主楼 10F，高约 47.85m/裙楼 4F，高约 23.95m/-2F）。介入手术室北侧、西侧、南侧 50m 均在门急诊医技综合楼内；东侧 26.2~50m 为医技楼。

本项目辐射工作场所均位于医院用地范围内，不新增占地。根据外环境分析，医院周边以居民住宅、城市绿地、商业设施为主，距离周边居民住宅较远，属典型的城乡居住混杂区，周边无自然保护区、保护文物、风景名胜区等特殊环境保护目标。本项目选址所在地交通便利，无环境制约因素。

2、本项目选址合理性分析

（1）医院用地及环评批复情况

本项目所在医院已在“成都医学院第一附属医院新院区建设项目（）建设项目环境影响报告书”中进行了环境影响评价并取得批复（成环审(评) [2024] 13 号），医院选址用地合理性已在相关环评报告书中进行了论述。本项目所在新院区用地用地已取得了由成都市新都区人民政府核发的《建设用地规划许可证》（新都府土发[2021]72 号）。

本项目仅为其配套建设项目，不新增用地，且成都医学院第一附属医院新院区所在位置为城市建成区，项目选址周围基础配套设施完善，给排水等市政管网完善，电力、电缆等埋设齐全，为项目建设提供良好条件。因此，本项目所在核医学科楼、介入手术室所在的门急诊医技综合楼用地符合规划和选址的要求。

（2）屏蔽设施

本项目各辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防

护后对辐射工作人员和公众的照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求，并满足报告表确定的剂量管理约束值的要求。

(3) 与“HJ1188-2021”选址要求符合性分析

表 1-20 本项目核医学科选址符合性分析

/	《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ1188-2021)	实施情况	是否 符合
选址	5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道	本项目核医学科工作场所独立设置核医学科楼，与其他区域物理隔离。核医学科放射性药物制备区、影像诊断区和门诊治疗区、病房治疗区分楼层布置，每个场所均独立布置。根据平面布置设计，本项目非密封放射性物质工作场所均设置有独立的人员、物流通道，无关人员禁止入内。	符合 要求
	5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，应与非放射性工作场所有明确的分界隔离	本项目核医学科不毗邻产科、儿科和食堂等部门，同时避开了医院内人流量较大的住院区域、门诊治疗区域，同时与周围非辐射工作场所有明确的分界隔离，并有实体屏蔽措施。	符合 要求
	5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑	本项目核医学科各项目区域设有独立排风系统，在核医学科排风管道末端拟设活性炭吸附装置+高效排风过滤器，回旋加速器机房、手套箱、热室柜设独立排风系统，排风口位于核医学科西北侧楼顶，远离院内周围其余高层建筑，对周围环境较小。	符合 要求
布局	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。	本项目核医学科放射性药物制备区、影像诊断区和门诊治疗区、病房治疗区分楼层布置，每个场所均独立布置；本项目控制区集中，不分散，高活室集中分布在各区域的一端；项目储源室及危废暂存间在满足需求的同时，存放范围较小；本项目核医学科内拟设门禁系统，未经医护人员的许可，不能随意流动，有效的限制了给药后患者的活动空间。	符合 要求
	核医学工作场所应设计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。	本项目运药均在营业之前，废物运出均在患者、医护人员离开之后，药物运进与废物运出路径不交叉的同时，在时间上能够和人流实现分流，且运送通道短捷。核医学科就诊患者与医生进出路径不交叉重叠，注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，药物与废物路径不交叉，人流与物流能实现时间隔离。	符合 要求

	<p>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，给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患者的专用卫生间</p>	<p>本项目场所控制区所有进出口均拟设置门禁系统，病房区设置门禁系统及禁止串门标记，禁止无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动；本项目配套设施齐全，控制区内均设有给药患者的专用卫生间，拟为本项目辐射工作人员及患者配备必要的防护用品；放射性药物给药器有适当的屏蔽，在诊断区域注射后休息室、留观室内均拟设置铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射；在住院治疗区出口设计有出院检测，患者检测达标后才可出院。</p>	<p>符合要求</p>
--	---	---	-------------

(5) 与周边环境的相容性分析

项目产生的生活废水、医疗废水依托医院新建的污水处理站处理后排入市政污水管网，核医学科产生的放射性废水利用衰变池衰变后排入医院污水处理站处理后排入市政污水管网，不会对当地水质产生明显影响；核医学科产生的放射性气溶胶经活性炭或其他过滤器处理后高空排放，经计算对人员的剂量贡献值很少，不会导致人员受到的辐射剂量超过管理限值；项目产生的放射性废物收集暂存于放射性废物暂存间后，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；本项目产噪设备为风机，经采取降噪措施后噪声影响不大，不会改变区域声环境功能区规划；本项目运行阶段产生的电离辐射经有效屏蔽后对周围环境影响较小；同时本项目建设不占用医院消防通道和内部公共设施，与医院内部布置及周围环境相容

(十) 实践的正当性

本项目开展目的是为了对患者进行医学诊断。在采取了相应的辐射防护措施后，项目所致的辐射危害可得到有效控制，项目实施的利益大于代价，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的辐射防护“实践的正当性”原则。

(十一) 劳动定员及工作制度

工作制度：本项目辐射工作人员年工作天数为 250 天，实行 8 小时工作制。

劳动定员：本项目拟配置辐射工作人员共计 40 人，均为表新增辐射工作人员，各工作人员定岗定责，工作类别不交叉，具体如表 1-21 所示。

表 1-21 本项目工作人员构成表

场所	设备/项目	配备人数	人员构成	备注
负一层放射性药物制备区	放射性药物生产区	5	化学师（制药工作人员）3人、物理师 2 人	本次新增
	质控区			

一层影像诊断区	分装、注射	3	医生 1 人、护士 2 人	
	扫描、摆位	6	技师 3 人、护士 3 人	
一层核医学科门诊治疗区	¹³¹ I 甲功检测	2	医生 1 人、护士 1 人	本次新增
	⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y 敷贴治疗	2	医生 1 人、护士 1 人	
	⁸⁹ Sr 骨转移瘤、 ¹³¹ I 甲亢治疗	3	医生 1 人、护士 2 人	
二层病房治疗区	¹³¹ I 甲癌治疗	8	医生 4 人、护士 4 人	本次新增
	¹⁷⁷ Lu 前列腺癌治疗			
	²²⁵ Ac 肿瘤治疗			
	¹¹¹ In 垂体腺瘤治疗			
	¹⁸⁸ Re 前列腺癌治疗			
	²²³ Ra 骨转移瘤治疗			
	¹⁶¹ Tb 肿瘤治疗			
介入手术室	数字减影血管造影装置	11	医生 5 人、技师 2 名，护士 4 人	本次新增
合计		40	/	新增人员 40 人

四、原有核技术利用情况

(1) 成都医学院第一附属医院目前已取得辐射安全许可证（川环辐证[00386]，附件 4），许可种类和范围为使用 I 类、III 类放射源；使用 II、III 类射线装置，有效期至 2028 年 8 月 6 日。医院已获许可使用的 III 类医用 X 射线装置 27 台，II 类医用 X 射线装置 5 台，III 类放射源 3 枚，具体见下表。

表 1-22 医院目前涉及射线装置汇总表

序号	射线装置名称	类别	型号	数量	活动种类	工作场所名称	备注
1	X 射线计算机体层摄影设备	III 类	uCT530	1	使用	CT 检查室	已上证在用
2	数字化医用 X 射线摄影系统 (DR)	III 类	Multix Select DR	1	使用	DR 检查室	已上证在用
3	柯达 DirectviewDR3000	III 类	DR3000	1	使用	DR 摄片室	已上证在用
4	数字化医用 X 射线摄影系统	III 类	uDR 780iPro	1	使用	DR 摄片室 2	已上证在用
5	移动式 C 形臂 X 射线机	III 类	Veradius	1	使用	ERCP 治疗室	已上证在用
6	X 射线计算机体层摄影设备 (128 层配置)	III 类	Defintion AS	4	使用	多排螺旋 CT 扫描室	已上证在用

7	X 射线计算机 体层摄影设备	Ⅲ类	uCT960+	1	使用	多排螺旋 CT 扫描室 2	已上证 在用
8	X 射线计算机 体层摄影设备	Ⅲ类	uCT530	1	使用	方舱 CT 室	已上证 在用
9	移动式 X 射线 机	Ⅲ类	MobiEye 750	1	使用	放射科库房	已上证 在用
10	X 射线骨密度 仪	Ⅲ类	DPX Bravo	1	使用	骨密度检查室	已上证 在用
11	双能 X 线骨密 度仪	Ⅲ类	UNIGAMMA X-RAY PLUS	1	使用	骨密度检查室 2	已上证 在用
12	X 射线计算机 提成摄影设备	Ⅲ类	uCT860	1	使用	急诊科 CT 检查室	已上证 在用
13	数字 X 线成像 系统	Ⅲ类	DF-F	1	使用	急诊科 DR 检查室	已上证 在用
14	血管造影 X 线 系统	Ⅱ类	Allura Xper FD20	1	使用	介入治疗室 1	已上证 在用
15	医用血管造影 X 射线机	Ⅱ类	Aritis zee III ceiling	1	使用	介入治疗室 2	已上证 在用
16	医用血管造影 X 射线机	Ⅱ类	Aritis zee III ceiling	1	使用	介入治疗室 3	已上证 在用
17	医用血管造影 X 射线机	Ⅱ类	Optima IGS Ultra	1	使用	介入治疗室 4	已上证 在用
18	高频移动式手 术 X 射线机	Ⅲ类	PLX116B1	1	使用	铅屏蔽手术室	已上证 在用
	移动式 C 型臂 X 射线机		Ziehm800	1	使用		
19	移动式 C 型臂 X 射线机	Ⅲ类	Ziehm800	1	使用	铅屏蔽手术室 1	已上证 在用
20	移动式 C 型臂 X 射线机	Ⅲ类	D-Vision 9000	1	使用	铅屏蔽手术室 3	已上证 在用
21	数字乳腺 X 射 线系统	Ⅲ类	SN-DR3M	1	使用	乳腺检查室	已上证 在用
22	医用诊断 X 射 线机	Ⅲ类	PLD9600A	1	使用	数字化肠胃检查室	已上证 在用
23	口腔 X 射线机	Ⅲ类	KODAK2100	3	使用	数字化牙片室	已上证 在用
24	医用直线加速 器	Ⅱ类	uRT-linac506c	1	使用	医用直线加速器机房	已上证 在用
25	口腔 X 射线数 字化提成摄影 设备	Ⅲ类	SS-X9010DM ax-3DE	1	使用	锥形束 CT 室	已上证 在用

26	高频钨靶乳腺 X 线机	III类	HAWK-2MIII	1	使用	钨靶乳腺 X 线机房	已上证 在用
----	-------------	------	------------	---	----	------------	-----------

表 1-23 医院已获许可使用的放射源

工作场所	核素	类别	总活度（贝可）/活度（贝可）×枚数	是否 环评	是否 验收	备注
后装治疗机	⁶⁰ Co	III	6.17×10 ¹⁰ Bq×3	是	是	-
适形治疗室	⁶⁰ Co	I	1.85×10 ¹⁴ Bq	是	是	远距放射 治疗装置

医院应定期检查《辐射安全许可证》及全国核技术利用辐射安全申报系统中台账，确保在用种类、台账数量与实际使用射线装置、放射源、非密封放射性物质等一致。医院应按照相关要求，对原有待报废射线装置进行去功能化，及时到四川省生态环境厅办理相关手续。

2、辐射管理规章制度管理情况

根据相关文件的规定和实际情况，医院已成立放射防护管理委员会（附件 9），并制定有相对完善的管理制度，包括《辐射工作场所安全管理要求》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射安全和防护设施维护维修制度》、《放射源与射线装置台账管理制度》、《场所分区管理规定》、《辐射工作人员培训计划》、《辐射工作设备操作规程》、《辐射工作人员个人剂量管理制度》、《辐射事故处理、应急处置规章制度》、《辐射工作场所和环境辐射水平监测方案》等。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，在落实辐射事故应急预案与安全规章制度后，可满足防护实际需要。对现有场所而言，建设单位也已具备辐射安全管理的综合能力。医院应严格落实台账管理制度，对本次项目建设内容补充完善，并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。

3、医院其他核技术利用情况

（1）医院已向四川省生态环境厅提交了“2023 年度四川省核技术利用单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告”，对医院 2023 年度的辐射场所的安全和防护状况以及辐射管理情况进行了说明。

（2）据了解，成都医学院第一附属医院自取得《辐射安全许可证》以来，未发生过辐射安全事故，具体情况见（附件 10）。

（3）成都医学院第一附属医院现有辐射工作人员 168 人，目前医院已有 103 人已取

得了辐射安全与防护培训合格证（见附件7）。

（4）医院既有II类射线装置、I类放射源、III类放射源已取得相关单位环评批复并通过了竣工环境保护验收（附件5）；其余在用III类射线装置均已完成备案手续并上证。

4、医院新院区拟新建污水处理站、医疗废物暂存间。医院医疗废水和生活污水经过医院新建的污水处理站预处理后，达标排放到市政污水管网，进入新都工业东区污水处理厂处理；生活垃圾通过集中收集后，统一由市政环卫拖运到指定的垃圾中转站，医疗废弃物有资质的单位进行回收处理。

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	²² Na	1.48×10 ⁷ ×1 枚+3.7×10 ⁵ ×6 枚	V类	使用	用于 PET-CT 和 PET-MR 校准	核医学科楼一层	核医学科楼一层影像诊断区 储源室	本次 新增
2	⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	7.40×10 ⁸ ×3 枚	V类	使用	敷贴治疗	核医学科楼一层	核医学科楼一层门诊治疗区 储源室	
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	备注
1	¹⁸ F	液态、低毒 T _{1/2} =109.8min	生产	7.40E+10	7.40E+08	1.85E+13	显像诊断	简单操作	放射 性药 物制 备区	按需生产，当日使用完毕	本项 目新 增
2	¹¹ C	液态、低毒 T _{1/2} =20.39min	生产	3.70E+10	3.70E+08	9.25E+12	显像诊断	简单操作		按需生产，当日使用完毕	
3	¹³ N	液态、低毒 T _{1/2} =9.961min	生产	3.70E+10	3.70E+08	9.25E+12	显像诊断	简单操作		按需生产，当日使用完毕	
4	⁶⁴ Cu	液态、低毒 T _{1/2} =12.7h	生产	2.22E+09	2.22E+07	5.55E+11	显像诊断	简单操作		按需生产，当日使用完毕	
5	⁸⁹ Zr	液态、中毒 T _{1/2} =78.4h	生产	2.78E+09	2.78E+08	6.94E+11	显像诊断	简单操作		按需生产，当日使用完毕	

6	⁶⁸ Ga	液态、低毒 T _{1/2} =68.3min	生产	1.33E+10	1.33E+08	3.33E+12	显像诊断	简单操作		按需生产，当日使用完毕	
7	^{99m} Tc	液态、低毒 T _{1/2} =6.02h	生产	4.44E+10	4.44E+08	1.11E+13	显像诊断	简单操作		按需生产，当日使用完毕	
8	¹⁸⁸ Re	液态、中毒 T _{1/2} =16.98h	生产	4.44E+09	4.44E+08	1.11E+12	肿瘤治疗	简单操作		按需生产，当日使用完毕	
9	⁶⁸ Ge	固态、中毒 T _{1/2} =2.75d	使用	8.00E+10	8.00E+07	3.20E+12	淋洗 ⁶⁸ Ga	储存		存放在热室内	
10	⁹⁹ Mo	固态、中毒 T _{1/2} =270.8d	使用	3.70E+10	3.70E+07	9.25E+12	淋洗 ^{99m} Tc	储存		存放在热室内	
11	¹⁸⁸ W	固态、中毒 T _{1/2} =69.4d	使用	1.85E+10	1.85E+07	9.25E+11	淋洗 ¹⁸⁸ Re	储存		存放在热室内	
12	¹⁸ F	液态、低毒 T _{1/2} =109.8min	使用	1.48E+10	1.48E+07	3.70E+12	显像诊断	很简单操作	影像 诊断 区	按需生产，当日使用完毕	本项 目新 增
12	¹¹ C	液态、低毒 T _{1/2} =20.39min	使用	1.85E+09	1.85E+06	1.85E+11	显像诊断	很简单操作		按需生产，当日使用完毕	
13	¹³ N	液态、低毒 T _{1/2} =9.961min	使用	1.85E+09	1.85E+06	1.85E+11	显像诊断	很简单操作		按需生产，当日使用完毕	
14	⁶⁴ Cu	液态、低毒 T _{1/2} =12.7h	使用	1.11E+09	1.11E+06	5.55E+10	显像诊断	很简单操作		按需生产，当日使用完毕	
15	⁸⁹ Zr	液态、中毒 T _{1/2} =78.4h	使用	1.85E+09	1.85E+07	9.25E+10	显像诊断	很简单操作		按需生产，当日使用完毕	
16	⁶⁸ Ga	液态、低毒 T _{1/2} =68.3min	使用	1.11E+10	1.11E+07	2.22E+12	显像诊断	很简单操作		按需生产，当日使用完毕	

17	^{99m} Tc	液态、低毒 T _{1/2} =6.02h	使用	3.70E+10	3.70E+07	9.25E+12	显像诊断	很简单操作		按需生产，当日使用完毕	
18	¹³¹ I	液态、中毒 T _{1/2} =8.02d	使用	1.11E+10	1.11E+09	1.11E+12	甲亢治疗	简单操作	门诊 治疗 区	当日使用完毕	本项 目新 增
19	¹³¹ I	液态、中毒 T _{1/2} =8.02d	使用	3.70E+06	3.70E+05	3.70E+08	甲状腺功 能检测	简单操作		当日使用完毕	
20	⁸⁹ Sr	液态、中毒 T _{1/2} =50.53d	使用	9.25E+08	9.25E+07	4.63E+10	骨转移瘤 治疗	简单操作		当日使用完毕	
21	¹³¹ I	液态、中毒 T _{1/2} =8.02d	使用	1.11E+10	1.11E+09	1.67E+12	甲癌治疗	简单操作	病房 治疗 区（床 位方 案一）	当日使用完毕	本项 目新 增
22	¹⁷⁷ Lu	液态、中毒 T _{1/2} =6.73d	使用	1.48E+10	1.48E+09	1.48E+12	前列腺癌 治疗	简单操作		当日使用完毕	
23	²²⁵ Ac	液液态、极毒 T _{1/2} =10.0d	使用	1.48E+07	1.48E+08	3.70E+09	肿瘤治疗	简单操作		当日使用完毕	
24	¹¹¹ In	液态、中毒 T _{1/2} =2.83d	使用	7.40E+08	7.40E+07	9.25E+10	垂体腺瘤 治疗	简单操作		当日使用完毕	
25	¹⁸⁸ Re	液态、中毒 T _{1/2} =16.98h	使用	2.22E+09	2.22E+08	2.78E+11	前列腺癌 治疗	简单操作		当日使用完毕	
26	²²³ Ra	液态、极毒 T _{1/2} =11.43d	使用	7.40E+07	7.40E+08	9.25E+09	骨转移瘤 治疗	简单操作		当日使用完毕	
27	¹⁶¹ Tb	液态、中毒 T _{1/2} =7.21d	使用	7.40E+08	7.40E+07	9.25E+10	肿瘤治疗	简单操作		当日使用完毕	
28	¹³¹ I	液态、中毒 T _{1/2} =8.02d	使用	5.55E+09	5.55E+08	1.67E+12	甲癌治疗	简单操作	病房 治疗	当日使用完毕	

29	¹⁷⁷ Lu	液态、中毒 T _{1/2} =6.73d	使用	2.22E+10	2.22E+09	1.48E+12	前列腺癌 治疗	简单操作	区(床 位方 案二)	当日使用完毕	本项 目新 增
30	²²⁵ Ac	液液态、极毒 T _{1/2} =10.0d	使用	1.48E+07	1.48E+08	3.70E+09	肿瘤治疗	简单操作		当日使用完毕	
31	¹¹¹ In	液态、中毒 T _{1/2} =2.83d	使用	7.40E+08	7.40E+07	9.25E+10	垂体腺瘤 治疗	简单操作		当日使用完毕	
32	¹⁸⁸ Re	液态、中毒 T _{1/2} =16.98h	使用	1.11E+09	1.11E+08	2.78E+11	前列腺癌 治疗	简单操作		当日使用完毕	
33	²²³ Ra	液态、极毒 T _{1/2} =11.43d	使用	7.40E+07	7.40E+08	9.25E+09	骨转移瘤 治疗	简单操作		当日使用完毕	
34	¹⁶¹ Tb	液态、中毒 T _{1/2} =7.21d	使用	7.40E+08	7.40E+07	9.25E+10	肿瘤治疗	简单操作		当日使用完毕	
35	¹³¹ I	液态、中毒 T _{1/2} =8.02d	使用	2.22E+10	2.22E+09	1.67E+12	甲癌治疗	简单操作	病房 治疗 区(床 位方 案三)	当日使用完毕	
36	¹⁷⁷ Lu	液态、中毒 T _{1/2} =6.73d	使用	7.40E+09	7.40E+08	1.48E+12	前列腺癌 治疗	简单操作		当日使用完毕	
37	²²⁵ Ac	液液态、极毒 T _{1/2} =10.0d	使用	7.40E+06	7.40E+07	3.70E+09	肿瘤治疗	简单操作		当日使用完毕	
38	¹¹¹ In	液态、中毒 T _{1/2} =2.83d	使用	1.11E+09	1.11E+08	9.25E+10	垂体腺瘤 治疗	简单操作		当日使用完毕	
39	¹⁸⁸ Re	液态、中毒 T _{1/2} =16.98h	使用	3.33E+09	3.33E+08	2.78E+11	前列腺癌 治疗	简单操作		当日使用完毕	
40	²²³ Ra	液态、极毒 T _{1/2} =11.43d	使用	3.70E+07	3.70E+08	9.25E+09	骨转移瘤 治疗	简单操作		当日使用完毕	

41	¹⁶¹ Tb	液态、中毒 T _{1/2} =7.21d	使用	1.11E+09	1.11E+08	9.25E+10	肿瘤治疗	简单操作		当日使用完毕	本项目新增
42	¹³¹ I	液态、中毒 T _{1/2} =8.02d	使用	5.55E+09	5.55E+08	1.67E+12	甲状腺治疗	简单操作	病房 治疗 区（床 位方 案四）	当日使用完毕	
43	¹⁷⁷ Lu	液态、中毒 T _{1/2} =6.73d	使用	7.40E+09	7.40E+08	1.48E+12	前列腺癌 治疗	简单操作		当日使用完毕	
44	²²⁵ Ac	液液态、极毒 T _{1/2} =10.0d	使用	1.48E+07	1.48E+08	3.70E+09	肿瘤治疗	简单操作		当日使用完毕	
45	¹¹¹ In	液态、中毒 T _{1/2} =2.83d	使用	7.40E+08	7.40E+07	9.25E+10	垂体腺瘤 治疗	简单操作		当日使用完毕	
46	¹⁸⁸ Re	液态、中毒 T _{1/2} =16.98h	使用	4.44E+09	4.44E+08	2.78E+11	前列腺癌 治疗	简单操作		当日使用完毕	
47	²²³ Ra	液态、极毒 T _{1/2} =11.43d	使用	7.40E+07	7.40E+08	9.25E+09	骨转移瘤 治疗	简单操作		当日使用完毕	
48	¹⁶¹ Tb	液态、中毒 T _{1/2} =7.21d	使用	2.22E+09	2.22E+08	9.25E+10	肿瘤治疗	简单操作		当日使用完毕	

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	最大电流 (mA) /剂量率 (Gy/min)	用途	工作场所	备注
1	回旋加速器	II	1	待定	质子	最大中子能量为 20MeV，平均 γ射线最大能量为 16.5MeV，最 大质子束流强度为 200μA	靶体表面 1m 处最大中子辐射剂量 率为 13Sv/h，靶体表面 1m 处最大γ 射线辐射剂量率为 0.33Sv/h	核素 制备	核医学科楼负一层 回旋加速器机房内	本次 拟购
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	PET-CT	III	1	待定	150	1000	影像检查与诊断	核医学科楼一层 PET-CT 机房	本次拟购
2	SPECT-CT	III	2	待定	150	1000	影像检查与诊断	核医学科楼一层 SPECT-CT 机房	本次拟购
3	DSA	II	1	待定	150	1000	介入手术	门诊医技综合楼一层影像科介入手术室	本次拟购
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称		状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
核医学科楼	放射性固废：一次性注射器、口罩、手套、废药瓶，废卡套，纯化柱以及擦拭废物、废靶、一次性口杯、层析条（正电子、单光子、治疗核素），废 pH 试纸条，废样品瓶，废移液枪头、一次性防护服、住院生活垃圾和废活性炭	固体	氟-18、碳-11、氮-13、铜-64、锆-89、镓-68、镎-177、钷-225、钷-111、铽-161、镭-223、铈-89、镱-188、镱-99m、碘-131、锆-68、钇-99、钨-188	/	/	1772.5 kg/a	小于清洁解控水平	按不同核素和场所分别分类收集，放射性药物生产区和质控区放射性废物放射性药物制备区放射性废物暂存间；PET 和 SPECT 影像诊断区产生如果您的放射性废物分别分类收集后在该区域的放射性废物暂存间内暂存；门诊治疗区内产生的放射性固体废物分为含 ¹³¹ I 和 ⁸⁹ Sr 放射性固体废物分类收集后，分别在门诊治疗区内放射性废物暂存间 3 分别暂存衰变；。其他场所废物先进各自的放射性废物暂存间；病房治疗区功能辅助区产生的放射性固体废物和废活性炭经分类后在区域内放射性废物暂存间暂存，病房区内产生的放射性固体废物在放射性固体废物暂存间 2 暂存衰变	暂存衰变经监测达标后按医疗废物交有资质的单位处理
	放射性废水：药物制备少量废液、质检废液、含放射性核素的卫生间下水及清洗废水、应急废水等	液体	氟-18、碳-11、氮-13、铜-64、锆-89、镓-68、镎-177、钷-225、钷-111、铽-161、镭-223、镱-188、镱-99m、碘-131	/	/	1451 m ³ /a	总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ ，总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$	放射性废水通过专用管道排至衰变池中暂存	暂存时间为衰变池内半衰期最长的核素 10 个半衰期，监测结果经审管部门认可后后排放至医院污水处理站
	放射性气溶胶：含有液态放射性药物分装时挥发的微量气溶胶	气溶胶	氟-18、碳-11、氮-13、铜-64、锆-89、镓-68、镎-177、钷-225、钷-111、铽-161、镭	/	/	/	微量	不暂存	在手套箱内操作，由专用管道引至核医学科楼屋顶，经二级过滤后由

			-223、锶-89、铯-137、铊-208、碘-131						排气筒高空排放。排气筒高出屋面
	放射性气溶胶：打靶生产、淋洗、质控过程中产生的气溶胶	气溶胶	氟-18、碳-11、氮-13、铜-64、铅-210、铯-137、铊-208、碘-131	/	/	/	/	不暂存	由专用管道引至核医学科楼屋顶，经过滤后由排气筒高空排放。排气筒高出屋面。
	更换后的过滤器	固体	氟-18、碳-11、氮-13、铜-64、铅-210、铯-137、铊-208、碘-131	/	/	400kg/a	小于清洁解控水平	更换后暂存在短半衰期放射性废物暂存间内	暂存衰变经监测达标后，由有资质单位回收处理。
			镭-223、钋-210、钋-214、铋-214、钋-214、铊-208、碘-131	/	/	200kg/a	小于清洁解控水平	更换后暂存在长半衰期放射性废物暂存间内	
综合楼影像科	臭氧	气态	/	/	/	/	/	不暂存	高于屋顶排放
介入手术室	医疗废物	固体	/	/	/	1t	/	在医疗废物暂存间暂存	交由有资质单位回收处置
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

2.含有放射性的废物要注明，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

<p>法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（2014 年 4 月 24 日修订）；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月 29 日修订）；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日实施）；</p> <p>(4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020年4月29日修订；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第 682 号，2017 年 7 月 16 日修订）；</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，生态环境部 部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(7) 《四川省辐射污染防治条例》（四川省十二届人大常委会第二十四次会议第二次全体会议审议通过，2016 年 6 月 1 日起实施）；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第 449 号令，2019 年 3 月 2 日第二次修订）；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部第 18 号令，2011 年 5 月 1 日实施）；</p> <p>(10) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原环境保护部令第 31 号，2021 年 1 月 4 日修订）；</p> <p>(11) 《射线装置分类办法》（原环境保护部公告 2017 年第 66 号）；</p> <p>(12) 《放射源分类办法》（原国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号）；</p> <p>(13) 《建设项目环境影响评价信息公开机制方案》（环发[2015]162 号）；</p> <p>(14) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 公告 2019 年第 57 号）；</p> <p>(15) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 公告 2021 年第 9 号）。</p>
------------------	---

技术标准	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容与格式》(HJ10.1-2016);</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);</p> <p>(3) 《环境γ辐射剂量率测定技术规范》(HJ 1157-2021);</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021);</p> <p>(5) 《10MeV~20MeV 范围内固定能量强流质子回旋加速器》(GB/T34127-2017);</p> <p>(6) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020);</p> <p>(7) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019);</p> <p>(8) 《电子辐射工程技术规范》(GB50752-2012);</p> <p>(9) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GBZ11930-2010);</p> <p>(10) 《公众成员的放射性药物年摄入量限值》(WST613-2018);</p> <p>(11) 《医用放射性固废的卫生防护管理》(GBZ133-2009);</p> <p>(12) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020);</p> <p>(13) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021);</p> <p>(14) 《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》(GB11928-1989)</p> <p>(15) 《表面污染测定第一部分: β发射体($E_{\beta max}$ 0.15MeV)和α发射体》(GB/T14056.1-2008);</p> <p>(16) 《医用放射性废物管理卫生防护标准》(GBZ 133-2002);</p> <p>(17) 《核技术利用设施退役》(HAD401/14-2021)。</p>
其他	<p>(1) 《核技术利用监督检查技术程序》(生态环境部(国家核安全局), 2020 发布版);</p> <p>(2) 《关于建设放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》(环发[2006]145 号, 原国家环境保护总局、公安部、卫生部文件, 2006 年 9 月 26 日);</p> <p>(3) 《关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知》(环发[2012]77 号, 原环境保护部文件, 2012 年 7 月 3 日);</p> <p>(4) 《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;</p> <p>(5) 《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)》(川环函</p>

[2016]1400号)；

(6) 成都医学院第一附属医院新院区新建核医学科和介入手术室项目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表的评价范围和保护目标的选取原则：非密封放射性物质工作场所项目评价范围，乙、丙级取半径 50m 的范围射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”，确定本次评价范围为非密封放射性物质工作场所、医用射线装置所在工作场所实体屏蔽墙体外周边 50m 范围。

保护目标

根据本项目确定的评价范围，环境保护目标主要是医院辐射工作人员和周围停留的公众。由于电离辐射水平随着距离的增加而衰减，因此选取离辐射工作场所较近、有代表性的环境保护目标进行分析。具体环境保护目标见表7-1。

表7-1 本项目环境保护目标

项目	保护目标及相对位置	相对方位	保护目标	照射类型	与屏蔽体/辐射源最近距离(m)	人数(人/d)
放射性药物制备区(核医学科楼负一层)	回旋加速器操作间、固体靶热室、热室内的工作人员	/	职业人员	职业	0.5	3
	全质质控区内的工作人员	/	职业人员	职业	0.5	2
	生物实验室、预留房间等其他区域的人员	/	公众人员	公众	4.2	5
	核医学科楼一层~二层的人员	上方	公众人员	公众	6.3	200
影像诊断区(核医学科楼一层南侧)	核医学科 SPECT 诊断项目的医护人员	/	职业人员	职业	0.5	5
	核医学科 PET 诊断项目的医护人员	/	职业人员	职业	0.5	6
	核医学科影像诊断区内的维保人员	/	职业人员	职业	1.0	3
	影像诊断区电梯厅、楼梯间等其他区域的人员	/	公众人员	公众	1.5	50
	核医学科门诊治疗区的人员	北侧	公众人员	公众	3.5	80
	核医学科楼三层的人员	上方	公众人员	公众	4.5	50
	核医学科楼一层的人员	下方	公众人员	公众	5.5	120
门诊治疗区(核医学科楼一层北侧)	敷贴室、甲测室、分装室、储源室、留观室内的医护人员	/	职业人员	职业	0.5	7
	核医学科门诊治疗区内的维保人员	/	公众人员	公众	1.0	2

	门诊治疗区内护士站、接待诊室等其他区域的医护工作人员	四周	公众人员	公众	1.5	15
	影像诊断区的人员	南侧	公众人员	公众	1.5	10
	核医学科门诊治疗区内的其他人员	四周	公众人员	公众	1.5	20
	核医学科楼二层的人员	上方	公众人员	公众	4.5	50
	核医学科楼负一层的人员	下方	公众人员	公众	6.3	20
病房治疗区 (核医学科楼二层 东侧)	储源室、分装配药室、放射性药物暂存间 1 内医护人员	/	职业人员	职业	0.5	8
	值班室、医护办公室、示教室等其他区域的医护人员	/	公众人员	公众	4.5	31
	电梯厅、楼梯间等区域的公众人员	四周	公众人员	公众	1.5	20
	核医学科楼负一层~一层的人员	下方	公众人员	公众	4.5	200
介入手术室 (门急诊医技综合楼一层)	介入手术室内的医护人员	/	职业人员	职业	0.5~1	9
	控制室内的技师	北侧	职业人员	职业	3.0	2
	无菌库房、设备间、污物暂存等配套用房的医护人员	四周	公众人员	公众	4.0	11
	CT、DR、MR 等门诊影像科其他区域的医护人员、患者及家属	四周	公众人员	公众	5.0	300
	中心药房区的人员	西北	公众人员	公众	21.0	100
	输液、留观等急诊急救区的人员	北侧	公众人员	公众	43.0	300
	门急诊医技综合楼一层的其他人员	四周	公众人员	公众	4.5	200
	超声科、功能检查区的人员	上方	公众人员	公众	5.8	80
	二层以上评价范围内的其他人员	上方	公众人员	公众	5.8	500
	-2 层、-1 层评价范围内的人员	下方	公众人员	公众	4.5	500
核医学科周围	拟建康养楼的人员	西南	公众人员	公众	32.0	250
	院内停车场、道路的流动人群	四周	公众人员	公众	7.3	400
	院外流动人员	西北	公众人员	公众	29.0	100
门急诊医技综合楼周围	医技楼	东侧	公众人员	公众	26.0	800

评价标准

一、环境质量标准

- (1) 大气环境质量执行《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 二级标准;
- (2) 地表水环境质量执行《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) III类标准;
- (3) 声环境执行《声环境质量标准》(GB3096-2008) 2 类标准。

二、污染物排放标准

(1) 大气污染物排放执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)二级标准;

(2) 水污染物: 本项目污水排入医院污水处理站处理后达到执行《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)中表2(综合医疗机构和其他医疗机构)的预处理排放标准;

(3) 噪声: ①施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)中标准限值; ②运营期执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)2类标准;

(4) 固废: ①一般非放射性固体废物执行《四川省固体废物污染环境防治条例》; ②《医疗废物处理处置污染控制标准》(GB 39707-2020); ③放射性固体废物执行《核技术利用放射性废物最小化》(核安全导则 HAD401/11-2020)、《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)。

三、辐射环境影响评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002): 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	要求
职业照射 剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值: ①由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量, 20mSv; ②任何一年中的有效剂量, 50mSv。
公众照射 剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值: ①年有效剂量, 1mSv; ②特殊情况下, 如果5个连续年的年平均剂量不超过1mSv, 则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv。

辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区, 以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区:

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

监督区：

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

2、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

6.1 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 μ 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 μ 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 μ 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 μ Sv/h。

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

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

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

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

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

c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

控排放；

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 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 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

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

3、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和改建项目和技术改造、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 2 的规定。

表 2 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

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

6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 3 的规定。

6.2.2 医用诊断 X 射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录 C 中表 C.4~表 C.7。

表 3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

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

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表 3 的要求。

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a) 具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4 基本种类要求

的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

6.5.3 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb。

6.5.4 应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表 4 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
CT 体层扫描 (隔室)	-	-	铅橡胶性腺防护围裙(方形)或 方巾、铅橡胶颈套 选配:铅橡胶帽子	-

三、辐射环境评价标准限值

1、个人剂量约束值

①职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)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。本项目取辐射工作人员个人年有效剂量约束值为 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。本项目取公众个人年有效剂量约束值为 0.1mSv/a。

2、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》(GB 18871-2002)表 B11 工作场所的放射性表面污染的控制水平见表 7-2。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型	β放射性物质	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4

手、皮肤、内衣、工作袜	4×10^{-1}
-------------	--------------------

3、工作场所内外控制剂量率

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），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 $10 \mu\text{Sv/h}$ 。

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 $25 \mu\text{Sv/h}$ 。

五、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7-2。

表7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	极毒性	其他	40
	监督区	4	40	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4×10^{-1}	4	4
	监督区	4×10^{-1}	4×10^{-1}	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1}	4×10^{-1}	4×10^{-1}

六、表面污染解控

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B2 表面污染控制水平：“工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 B11 中所列设备类的控制水平的五分之一以下时（即 0.8Bq/cm^2 ），经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用”。

七、放射性废物清洁解控水平

表 7-3 本项目涉及放射性核素的清洁解控水平

核素	活度浓度 (Bq/g)	活度/Bq
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1×10^2	1×10^7
^{131}I	1×10^2	1×10^6
^{89}Sr	1×10^3	1×10^6
^{177}Lu	1×10^3	1×10^7
^{18}F	1×10^1	1×10^6

¹¹ C	1×10 ¹	1×10 ⁷
¹³ N	1×10 ²	1×10 ⁹
⁶⁴ Cu	1×10 ²	1×10 ⁶
⁸⁹ Zr	1×10 ¹	1×10 ⁶
⁶⁸ Ga	1×10 ¹	1×10 ⁵
⁸⁹ Sr	1×10 ³	1×10 ⁶
²²⁵ Ac	1×10 ¹	1×10 ⁴
¹¹¹ In	1×10 ²	1×10 ⁶
¹⁸⁸ Re	1×10 ²	1×10 ⁵
¹⁶¹ Tb	1×10 ³	1×10 ⁶

八、放射性废水排放标准

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）中“7.3.3 放射性废液排放”的以下规定：

1、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；

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

3、对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，¹³¹I 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB18871 附录 A 表 A1 的要求。

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

九、放射性固废排放标准

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）中“7.2.3 固体放射性废物处理”的以下规定：

1、固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α 表面污染小于 0.08 Bq/cm²、β 表面污染小于 0.8 Bq/cm² 的，可

对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

①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；

②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。

2、不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应小于 4Bq/cm²、其他 α 发射体应小于 0.4 Bq/cm²。

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。

十、放射性废气排放管理

1、根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）中“7.4 气态放射性废物的管理”的以下规定：

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

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

2、参照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）第 5.2.4 款，操作放射性药物所用的手套箱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s，排气口应高于本建筑屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

十一、核医学工作场所分类

表 7-4 核医学工作场所分类一览表

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

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目位置、布局和周边环境

本项目位于成都医学院第一附属医院新院区工程的核医学科楼和门急诊医技综合楼内（未建设），现状为空地，结合医院工程设计图纸及现场踏查，本项目的周边环境关系如下：

本项目核医学科楼（2F/-1F，高约 12.65m）北侧约 7.5~25.9m 为衰变池、29~50m 为院外规划绿地，东北侧约 9.7~50m 为院内机动车停车场，西北侧约 0~15.6m 为院内绿地、15.6~50m 为院外规划绿地；东侧约 32.6m~50m 为院内道路；南侧约 7.3~13.8m 为院内机动车停车场、约 28.7~50m 为院内绿地，西南侧约 32~50m 为康养楼。

本项目介入手术室在门急诊医技综合楼一层（主楼10F，高约47.85m/裙楼4F，高约23.95m/-2F）。介入手术室北侧、西侧、南侧50m均在门急诊医技综合楼内；东侧26.2~50m为医技楼。项目现场情况见图8-1。



图 8-1 现场情况图

二、辐射环境现状评价

为掌握项目所在地的辐射环境现状，四川瑞迪森检测技术有限公司于 2024 年 9 月 19 日按照标准规范对本次拟建址及周边环境进行了 γ 辐射剂量率和表面污染水平的布点监测，监测报告见附件 10。

1、监测因子

本项目包括新建放射源、非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目,根据工程分析项目主要污染因子为各工作场所运行时产生的 α 射线、 β 射线、X射线、中子射线、 γ 射线及 α 、 β 表面污染水平等。为了更好反映实际情况,本项目的环境监测选取为中子、X- γ 辐射空气吸收剂量率和 β 表面污染水平作为监测因子。

2、 监测内容

对拟建项目周围环境水平进行本底调查。

3、 监测方案

(1) 监测项目、方法及方法来源表

表 8-1 监测项目、方法及方法来源表

监测项目	监测方法	备注
γ 辐射空气吸收剂量率	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)	探测限为本次测量使用方法和仪器的综合技术指标
表面污染水平	《表面污染测定第一部分: β 发射体($E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$)和 α 发射体》(GB/T 14056.1-2008)	
中子周围剂量当量率	《辐射防护仪器中子周围剂量当量(率)仪》(GB/T14318-2019)	

(2) 监测布点

参照《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)中的方法布设监测点,根据本次新建项目拟建址及其周围环境现状,监测点位的选取覆盖新建项目拟建区域及周围 50m 公众人员区域。根据上述布点原则与方法,本项目监测点位布置如图 8-2 所示。

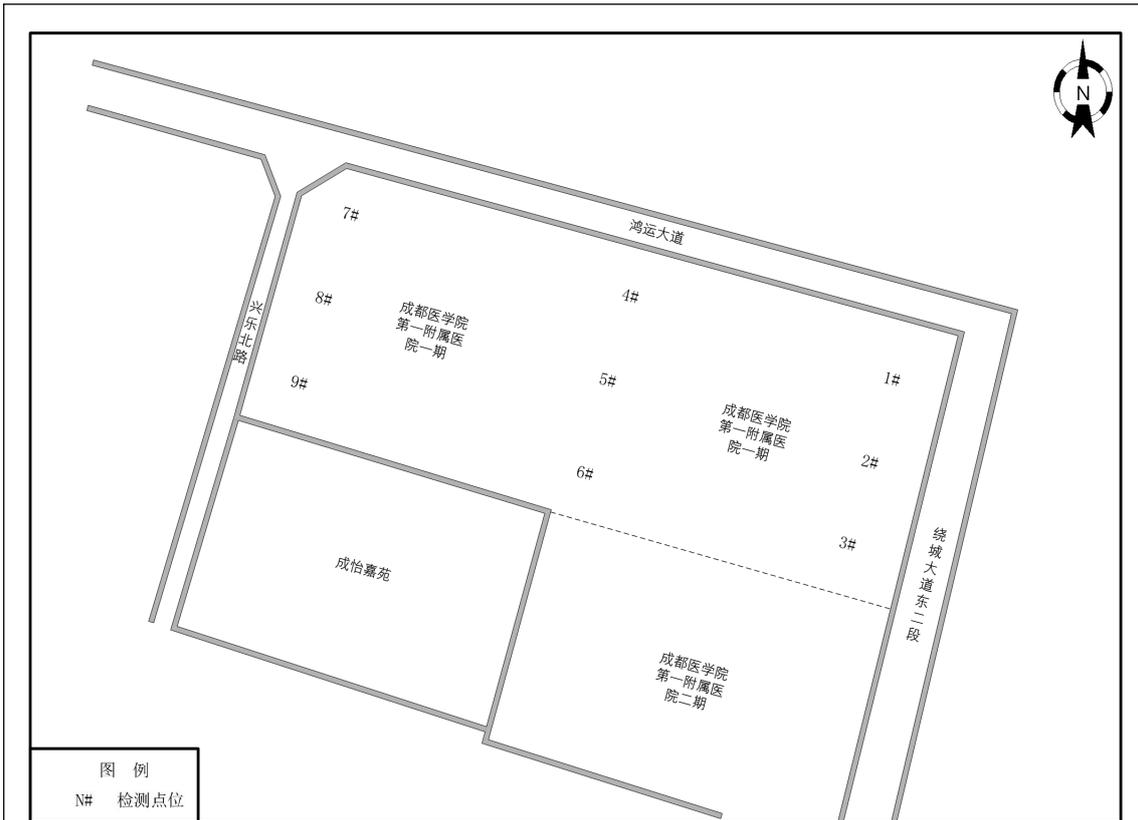


图 8-2 本项目监测布点示意图

(3) 监测仪器

监测使用仪器见表 8-2。

表 8-2 监测使用仪器表

监测项目	监测设备		
	仪器名称	仪器编号	设备参数及检定情况
γ辐射空气吸收剂量率	6150AD6/H +6150ADb/H	SCRDS-054	能量响应:20keV~7MeV 测量范围: 1nSv/h~99.9μSv/h γ校准证书编号: 校准字第 202403005135 号 校准有效期: 2024.3.15~2025.3.14
表面污染水平	COMO170 型 表面污染仪	SCRDS-007	测量范围: 0cps~20000cps 校准证书编号: 检定字第 202311001108 号 校准有效期: 2023.11.7~2024.11.6

4、质量保证措施

人员培训: 监测人员经考核并持有合格证书上岗。

仪器刻度: 监测仪器定期经计量部门检定, 每次监测必须在有效期内。

自检: 每次测量前、后均检查仪器的工作状态。

数据记录及处理: 开机预热, 手持仪器。一般保持仪器探头中心距离地面(基础面)为 1m。仪器读数稳定后, 每个点位读取 10 个数据, 读取间隔不小于 10s。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差。空气比释动能和周围剂量当量的

换算系数参照《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），使用 137Cs 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数分别取 1.20Sv/Gy。

数据复核：监测报告实行三级审核制度，经校对审核后由授权签字人审定签发。

5、比较标准

项目所在地环境天然贯穿辐射水平参考中华人民共和国生态环境部《2023 年全国辐射环境质量报告》中四川省γ辐射空气吸收剂量率范围：（40~120）nGy/h。

6、环境现状监测与评价

监测所用仪器已由计量部门年检，且在有效期内；测量方法按国家标准方法实施；测量数据处理符合统计学要求；布点合理，结果可信，能够反映出辐射工作场所的客观辐射水平，可以作为本次评价的科学依据。具体监测结果如下：

表 8-3 拟建址γ辐射空气吸收剂量率监测结果

测点编号	点位描述	测量结果 (nGy/h)	备注
1	核医学科拟建址 1#点	103±2	/
2	核医学科拟建址 2#点	113±1	/
3	核医学科拟建址 3#点	111±1	/
4	核医学科拟建址 4#点	110±1	/
5	核医学科拟建址 5#点	111±1	/
6	核医学科拟建址 6#点	98±1	/
7	门诊大楼西侧	101±1	/
8	第一住院大楼北侧	104±2	/
9	第一住院大楼北侧	99±1	/
10	后勤保障楼东侧	99±1	/
11	全科医师临床培训基地东侧	101±2	/
12	东坡国际花园小区入口处	98±1	/

注：测量结果未扣除宇宙射线响应值。

表 8-4 拟建址β表面放射性污染水平检测结果

测点编号	点位描述	表面β放射性污染水平检测结果 (Bq/cm ²)
1	核医学科拟建址 1#点	<LLD
2	核医学科拟建址 2#点	<LLD
3	核医学科拟建址 3#点	<LLD
4	核医学科拟建址 4#点	<LLD

5	核医学科拟建址 5#点	<LLD
6	核医学科拟建址 6#点	<LLD
7	门诊大楼西侧	<LLD
8	第一住院大楼北侧	<LLD
9	第一住院大楼北侧	<LLD
10	后勤保障楼东侧	<LLD
11	全科医师临床培训基地东侧	<LLD
12	东坡国际花园小区入口处	<LLD

注：LLD 为 0.10Bq/cm²。

由表 8-3~表 8-4 可知，本项目拟建位置周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测值在（98~113）nGy/h 之间，与中华人民共和国生态环境部《2023 年全国辐射环境质量报告》中四川省 γ 辐射空气吸收剂量率范围：（40~120）nGy/h 相较，本项目拟建址区域周围辐射环境监测值与四川省天然贯穿辐射水平相当，属于正常本底范围。

项目拟建位置周围 β 表面污染水平为低于仪器探测下限，属于当地正常水平。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、施工期

本项目辐射工作场所施工期土建工程属于成都医学院第一附属医院新院区建设项目建设内容之一，其土建施工期环境影响包含在的《关于成都医学院第一附属医院新院区建设项目环境影响报告表的批复》（成环审（评）[2024]13号，附件2）中。

本项目辐射工作场所还需进行场所装修、设备安装、管线敷设、铅玻璃窗、铅防护门及其他防护设施的安裝，施工期将产生少量扬尘、噪声、生活污水及固体废物。施工期工艺流程及污染物主要产生环节见图9-1。

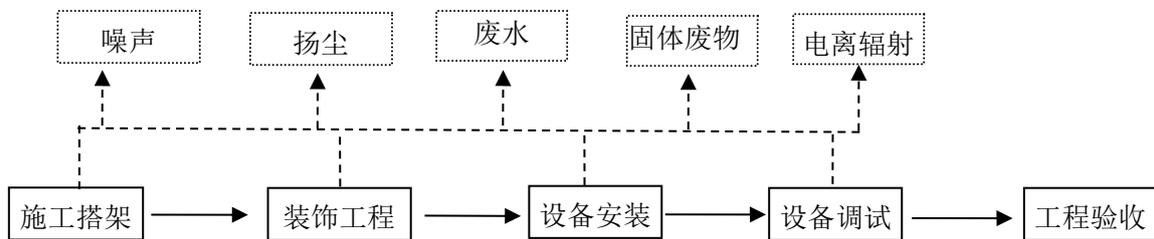


图 9-1 施工期工艺流程及污染物主要产生环节图

（一）设备安装期

1、扬尘

施工过程中产生的扬尘，主要是装修过程中产生的扬尘，属于无组织排放，在主体墙体粉刷装饰后，设备安装及管线敷设过程中几乎不产生扬尘。

2、噪声

主体工程施工期间已预留有管线沟槽，施工期噪声主要为装修产生的噪声，由于施工范围小，施工期较短，项目通过合理布局，合理安排施工时间，选用低噪设备、通过建筑隔声等措施，施工噪声对周围环境的影响较小。

3、固体废物

固体废物主要为装修和设备安装过程中产生建筑弃渣、废砂石、废木料、废纸皮和施工人员产生的生活垃圾。其中建筑垃圾由施工单位集中分类收集，运送到指定的建筑垃圾堆放场；生活垃圾依托医院收集系统收集，由环卫部门定期统一清运至垃圾中转站；包装垃圾通过集中分类收集，由废品回收站回收。

4、废水

本项目施工期废水主要为施工人员的生活污水，生活污水排入医院污水处理站，处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表2中要求后排入市政污水管网，进入新都工业东区污水处理厂处理。

（二）设备安装调试期间

本项目所有射线装置和后装机的安装、调试请设备厂家专业人员进行，医院不会自行安装及调试设备。在射线装置和后装机安装调试阶段，主要污染因素为X射线、 γ 射线和臭氧。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。在设备调试过程中，射线源开关钥匙必须由专人看管或由操作人员随身携带；工作结束后，启动安全联锁并确认系统正常后才能启动射线装置或后装机。人员离开时运输设备及车辆、机房必须上锁并派人看守。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。

二、运营期

（一）核医学科

成都医学院第一附属医院新院区新建核医学科和介入手术室项目拟开展放射性药物制备、诊断和治疗项目，具体为：（1）放射性药物制备区：在负一层中部放射性药物制备区使用1台20MeV回旋加速器（属于II类射线装置）生产 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 和 ^{89}Zr ，淋洗制备放射性同位素 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{188}Re ，在全检质控室对生产、制备的放射性药物进行质控，日等效最大操作量为 $2.27 \times 10^9 \text{Bq}$ （属于乙级非密封放射性物质工作场所）；（2）影像诊断区：在一层南部设影像诊断区，新增2使用台SPECT-CT（属于III类射线装置），1台PET-CT（属于III类射线装置）和1台PET-MR，使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga 和 ^{89}Zr 用于肿瘤显像诊断，影像诊断区日等效最大操作量为 $8.14 \times 10^7 \text{Bq}$ （属于乙级非密封放射性物质工作场所），使用7枚 ^{22}Na 放射源用于对PET-CT/MRI进行校准，活度为 $1.48 \times 10^7 \text{Bq} \times 1 \text{枚} + 3.7 \times 10^5 \text{Bq} \times 6 \text{枚}$ ，均属于V类放射源；（3）门诊治疗区：在一层北部使用放射性药物 ^{131}I 进行甲亢治疗和甲功检测、使用放射性药物 ^{89}Sr 开展骨转移瘤的治疗，拟使用 ^{90}Sr - ^{90}Y （3枚，每枚活度为 $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$ ，V类放射源）进行敷贴治疗，日等效最大操作量为 $1.20 \times 10^9 \text{Bq}$ （属于乙级非密封放射性物质工作场所）；（4）病房治疗区：在二层东部使用放射性药物 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、

^{225}Ac 、 ^{111}In 、 ^{223}Ra 、 ^{188}Re 、 ^{161}Tb 进行肿瘤治疗，根据收治方案，日等效最大操作量为 $3.96\times 10^9\text{Bq}$ （属于乙级非密封放射性物质工作场所）。

1、负一层放射性药物制备区

(1) 制药规划

放射性药物生产区每年工作 250 天，每周工作 5 天。根据 PET 诊断项目的临床使用需求，生产 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr ，淋洗制备放射性药物 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{188}Re 。打靶生产 ^{18}F 为主要使用核素，每个工作日都进行核素生产，各核素最大日产量及其相关技术参数见表 9-1。

表9-1 拟制备放射性药物的相关信息

核素	物理状态	毒性	半衰期	日制药量 (Bq)	主要射线和能量 (MeV)	备注
^{18}F	液态	低毒	109.8min	7.40×10^{10}	0.63MeV/ β 射线 0.511MeV/ γ 射线	打靶生产
^{11}C	液态	低毒	20.39min	3.70×10^{10}	0.96MeV/ β 射线 511keV/ γ 射线	打靶生产
^{13}N	液态	低毒	9.961min	3.70×10^{10}	1.19MeV/ β 射线 0.511MeV/ γ 射线	打靶生产
^{64}Cu	液态	低毒	12.7h	2.22×10^9	0.65MeV/ β 射线 0.511MeV, 1.346MeV / γ 射线	打靶生产
^{89}Zr	液态	低毒	78.4h	2.78×10^9	0.396MeV/ β 射线 0.511MeV, 0.909MeV / γ 射线	打靶生产
^{68}Ga	液态	低毒	68.3min	$1.33\text{E}\times 10^{10}$	1.9MeV/ β 射线 0.511MeV/ γ 射线	淋洗制备
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液态	低毒	6.02h	$4.44\text{E}\times 10^{10}$	0.140MeV/ γ 射线	淋洗制备
^{188}Re	液态	中毒	16.98h	4.44×10^9	2.218MeV/ β 射线 0.15504MeV/ γ 射线	淋洗制备

(2) 回旋加速器制药

1) 回旋加速器技术参数

设备数量：1 台；型号：待定；能量：最大中子能量为 20MeV， γ 射线能量平均为 16.5MeV；束流： $\leq 200\mu\text{A}$ 。

2) 回旋加速器设备组成

回旋加速器一般由磁场系统、射频系统、真空系统、离子源系统、束流提取系统、诊断系统、靶系统和冷却系统等组成，本项目使用回旋加速器各系统的主要作用如下：

磁场系统：由上下磁轭、线路极片、磁场线圈、磁场电源等组成，其作用就是提供偏转力使束流维持在上下磁极之间中心平面的准环形轨迹上。磁场线圈使束流在上下磁极之间加速。磁场非匀场，而是采用深谷设计，对束流粒子在加速的中心层面提供了强聚焦力，引导粒子返回中心层面，产生高的束流引出效率。

射频系统：包括监测与控制元件、频率合成器、中级放大器、RF 电源振幅器、共轴透射线、耦合网络和 D 型盒结构等，其作用就是对 D 型盒提供一交替的高电压电势，并将能量转至 H⁻离子。随着束流加速得到能量，其轨道半径逐渐增加，这种轨迹被称为准螺旋形。当束流到达提取半径时，其能量也将达到预定能量。正常工作时，射频频率自动受 RF 控制元件调整以维持 D 型盒结构的共振。

真空系统：包括真空室、排气泵、仪表和控制元件等。真空仪表和控制元件用于监测并显示真空室的压力以及在系统出现故障时对仪器起到保护作用。真空室需要连续不断地抽气以排除来源于离子源及真空室内表面的气体。

离子源系统：包括离子源、ARC 源、偏向电源与氢气流量控制器等。离子源产生 H⁻离子，在正常操作中不需要进行调试或干预性操作。离子源存在电势差，用于电离氢气形成等离子浓聚体。进入离子源的氢气流量由电子质流控制器调控以与变化离子源和加速器运行条件相匹配。等离子体的电源（或 ARC）由电流调节的开关型电源提供，在正常运行时，控制系统调节离子源的 ARC 电流以维持期望的靶电流。

束流提取系统：包括一个或者两个束流提取器，其作用就是当 H⁻通过碳提取膜时，剥离其与氢核结合松散的两个电子，从而使束流由负电性变成正电性。

靶系统：是完成特定核反应而产生正电子核素的装置，一般包括靶体、准直器、靶膜、管路阀门等。靶材料包括液态、气态和固态靶三种类型，本项目制备 ¹⁸F、¹⁵O、¹¹C、¹³N 使用液态靶，需要工作人员定期进入回旋加速器机房添加靶水。

冷却系统：从不同系统中将热量带出，带出的热量在二级冷却系统中进行热交换，并将热量传送到初级冷却系统。水冷却系统分为内循环冷却水系统和外循环冷却水系统。内循环冷却水系统位于屏蔽体内，通过板式换热器与外循环水冷机进行热交换；外循环冷却水系统选用的冷水机组进行冷却。

化学合成系统：该系统包括合成分装模块以及相应的仪器设备，用于合成和分装核素的药物。回旋加速器生产的放射性药品通过固体靶室打靶产生的放射性药物由屏蔽输送管道直接输送到热室内的合成分装模块中，由自动合成装置进行药物合

成，化学合成系统是在计算机控制下自动化完成药物的合成。

3) 回旋加速器制药原理

回旋加速器生产放射性核素，其基本原理是质子在磁场的作用下加速，当达到一定能量时引出并轰击靶材料，通过核反应而生成放射性核素。回旋加速器生产正电子示踪剂的基础理念就是利用 P/N (质子/中子) 反应，用高能量的质子轰击靶原子核，将其中一个中子击出，质子留下，形成半衰期很短的新原子核。经过放化合成系统，通过化学反应，将新原子核标记到生理性代谢物质上(如葡萄糖、氨基酸、多肽、蛋白、核酸、胆碱等)，生成 PET 检查所需的示踪剂。本项目使用的核素 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{124}I 为质子轰击固体靶制得，固体靶靶材料为固体，喷在一个基板上，基板材质为黄金，即靶片；其余核素使用的靶材料为液体靶或者气体靶，靶材料放在靶盒中。回旋加速器工作原理见图 9-1。

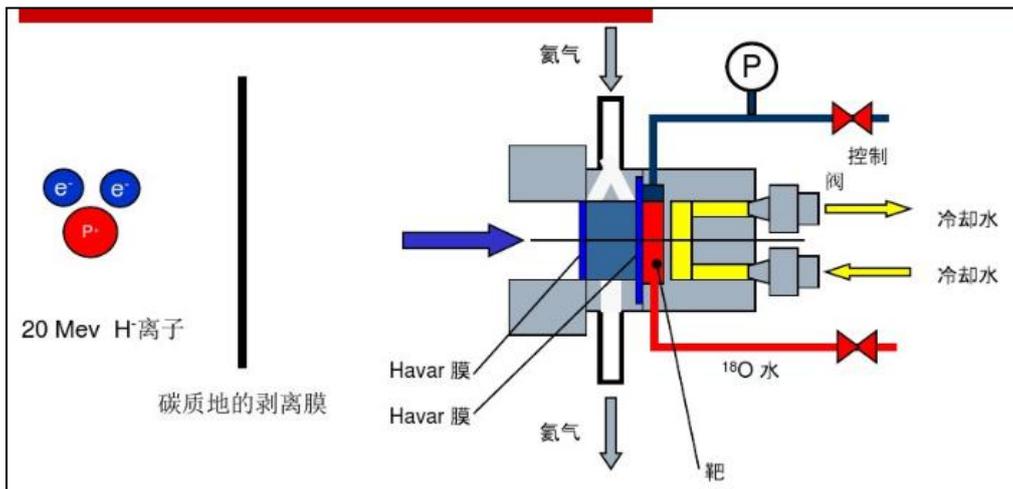


图 9-1 回旋加速器典型工作原理示意图

本项目拟配回旋加速器考虑双粒子束流加速器，有双靶头，分别位于相对的两侧，每个靶头分四个靶位，最多可同时生产八种核素，可满足医院每日最多生产两种核素的要求。本项目 20MeV 回旋加速器采用了局部屏蔽，选用高密度聚乙烯材料，密度为 $0.93\text{g}/\text{cm}^3$ ，其主要元素碳和氢可以对打靶产生的中子进行慢化、吸收，从而可以降低辐射剂量。

局部屏蔽安装在靶体外部，将靶体外露部分全部包裹，可以有效降低打靶产生的中子直接进入环境之中。局部屏蔽的形状如下图 9-2 所示，内部紧贴真空盒，外部尺寸与加速器盖板相同。靶正对位置厚度为 40cm。

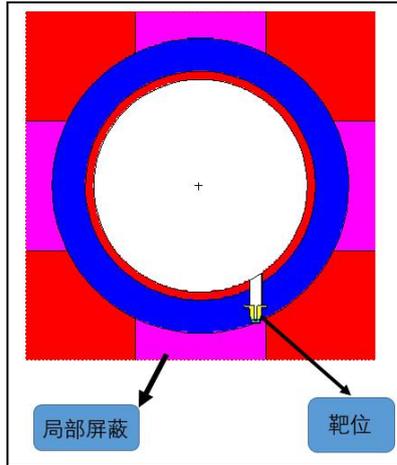


图 9-2 回旋加速器局部屏蔽示意图

4) 回旋加速器制药工艺流程

回旋加速器可完成临床上所需要的 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 等放射性同位素，其中 ^{18}F 是目前临床使用标记示踪剂最多的正电子放射性核素。回旋加速器制药主要包含药物制备、固体靶提纯、药物合成分装、药物质控、药物传递五个流程。

① 药物制备

医院核医学科 PET 影像诊断区提前一天根据患者预定的药物数量，向回旋加速器室预定安排第二天的放射性药物生产量。回旋加速器运行期间，工作人员不进入加速器室内，仅在加速器控制室内操作。回旋加速器在每次正式制备放射性同位素前均进行预处理，先用 $^{16}\text{O}\text{-H}_2\text{O}$ 清洗靶并用纯氦吹干药物传递管道，然后注入靶物质，以一定的束流轰击一定时间（视所需制备量而定）后，在氦气的推动下将制备的核素通过专用防护管道输送至热室的药物合成箱内。其中 $^{18}\text{F}\text{-FDG}$ 制备核反应如下，生产采用液体靶。



生产前对回旋加速器进行调试，根据需要生产的放射性核素种类设置相应参数。回旋加速器运行期间，工作人员不进入回旋加速器室内，仅在控制室操作。 ^{18}F 核素生产时间平均为 2.5h/次， ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{89}Zr 、 ^{64}Cu 核素生产时间平均为 0.5h/次，日核素打靶生产时间最多为 6.0h，年工作时间为 1500h。

产污环节：回旋加速器在生产核素的同时伴随产生大量中子，成为瞬时辐射源，由于高能带电粒子直接轰击加速器有关部件导致有关原件被活化从而产生中子活化产物，中子在慢化吸收过程中产生高能射线和放射性废物，另外回旋加速器长期运

行会产生废靶。加速器室内的空气受中子照射后生成放射性活化气体，主要有 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar 等感生放射性物质，以及回旋加速器在开机时会产生少量的非放射性有害气体，主要是臭氧和氮氧化物。

②物料收集传输

工作人员将放射性药物合成需要的非放原材料（三氟甘露糖、乙腈、碳酸钾、氢氧化钠等）在物料接收间通过传递窗递入热室。

③放射性药物提纯、合成、分装

回旋加速器机房的核素离子生产完成后，通过专门的防护管道系统传输到热室内的相应模块箱中，放射性核素在洁净固体靶模块中进行自动提纯，然后在固体靶室模块中完成合成，再在相应模块箱中进行分装。放射性药品在提纯、合成、分装过程中，无需人员干预，均采用计算机程序自动控制。药物在自动分装模块中将根据预先设定的程序，经高效除菌过滤膜过滤后收集在安瓿瓶中，自动掉入专用的带有卡扣盖子的铅防护罐中。

产污环节：药物提纯、合成、分装过程中核素衰变发出 β^+ 射线、因发生正电子湮灭而产生的 γ 射线、合成分装模块内药物的挥发产生含放射性核素的废气。

④药物质控

放射性药物生产完成后，制药工作人员进入热室将合成分装模块内装有少量质检用药物的铅罐取出，经传递窗送至全检质控室进行质量控制。全检质控室配置带有排风系统的手套箱，质控工作人员在手套箱内将待检药物注射器吸取微量抽检样品（每次最多 $100\mu\text{Ci}$ ），检验药物的pH值、形态等，经检验满足《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，方开展后续工作。

产污环节：药物质控过程中核素衰变发出 β^+ 射线；因发生正电子湮灭而产生的 γ 射线；操作过程中可能会引起工作场所（工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等）产生放射性沾污，造成放射性表面污染；发生药品泄露后工作人员去污、应急洗消、场所清洗时可能产生少量放射性废水；手套箱药物的挥发产生含放射性核素的废气；作业产生废棉签、口罩、手套等放射性固废。

⑤放射性药物传递

PET药物制备完成后，制药工作人员身着铅衣、铅手套进入热室将合成分装模块内装有药物的铅罐（ 50mmPb ）取出，将放射性药物放置到不锈钢长臂小车上（人

体与手推车间的距离约 1.2m)，通过核素通道送入专用传药梯，通过专用电动传药梯进入地面一层的 PET 影像诊断区。

5) 细菌培养和阳性对照

取细菌内毒素工作标准品一支，用 1mL 细菌内毒素检查用水复溶，封口膜封口，漩涡混合仪混合 15min，再用细菌内毒素检查用水稀释并做好标记。上述步骤由质控人员在细菌培养室内完成，不涉及放射性核素的操作。

待放射性药品衰变一定活度后（衰变 ≥ 3 个半衰期），用移液器取适量放射性样品（约 100 μ l， $\leq 10\mu$ Ci），用水将产品稀释混匀，用除热原滤膜过滤后，取滤液作为供试品溶液。取一定体积的供试品溶液、阳性对照溶液，混合后制成供试品阳性对照溶液。准备 4 支鲎试剂，分别向每支鲎试剂中加入细菌内毒素检查用水 0.1ml 进行复溶，然后分别加入供试品溶液、阳性对照溶液、供试品阳性对照溶液、细菌内毒素检查用水各 0.1ml。用封口膜封口，垂直放入 37 $\pm 1^\circ$ C 恒温水浴锅中，保温 60 ± 2 分钟后观察结果。上述步骤由质控人员在阳性对照室的生物安全柜内完成。

6) 工艺流程汇总

以上整个过程（打靶、合成、分装）为计算机全自动控制，工作人员不进入机房内参与操作，只是监控整个过程的执行情况，质控环节由辐射工作人员在手套箱内操作。故回旋加速器生产放射性药物的主要污染因子为： γ 射线、中子、活化气体、 β 表面沾污、放射性废水、放射性废气、放射性固体废物、 O_3 、 NO_x 。回旋加速器生产场所流程及污染物产生环节见图 9-3 所示。

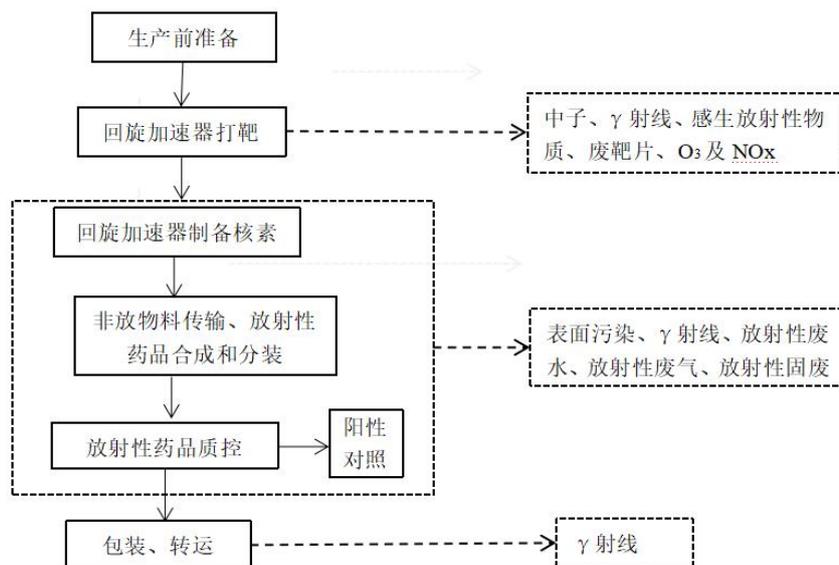


图 9-3 回旋加速器制药场所流程及产污环节图

(3) 淋洗制药

1) 锗-镓发生器

本项目锗镓发生器是医院向有资质的药物供货商进行购买。锗镓发生器一年最多使用 40 个，单次购买的最大规格为 2.2Ci。发生器均由供货商在医院上班前负责运输至核医学科楼负一层交给医院放射性药物生产区物料接收人员。

① 锗-镓发生器淋洗原理

由供货商在医院上班前负责运输至核医学科楼负一层交给核医学科楼负一层交给医院放射性药物生产区物料接收人员。 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 同位素发生器是由母体核 ^{68}Ge ($T_{1/2}$: 为 287 天)和子体核 ^{68}Ga ($T_{1/2}$: 为 63.8 分钟)组成。它具有母体半衰期长,便于长期使用,子体核是正电子发射,在医学诊断中可采用正电子扫描、提高确诊率,以及子体核半衰期短,降低病人所受的辐射剂量等优点。

锗-68/镓-68 发生器属于色谱柱 (Chromatographic column) 型发生器,基本部件是活化氧化铝柱、淋洗系统和用于保护工作人员的辐射屏蔽套。镓-68 由活化氧化铝柱内锗-68 不断裂变产生,并不被活化氧化铝柱吸附,当加入适当的淋洗剂时,镓-68 便以 $^{68}\text{GaO}^{4-}$ 的形式被淋洗出来,称之为“挤奶”。为了使用方便,一套锗-68/镓-68 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(0.05~0.15NaCl)。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。但为了保证有效的使用量,两次淋洗之间必须有一定的时间间隔,以保证子体核素在分离柱上的再积聚。一般情况下,锗-68/镓-68 发生器每隔数小时可淋洗一次,一天淋洗 3 次。发生器的内部结构及实景见图 9-4。

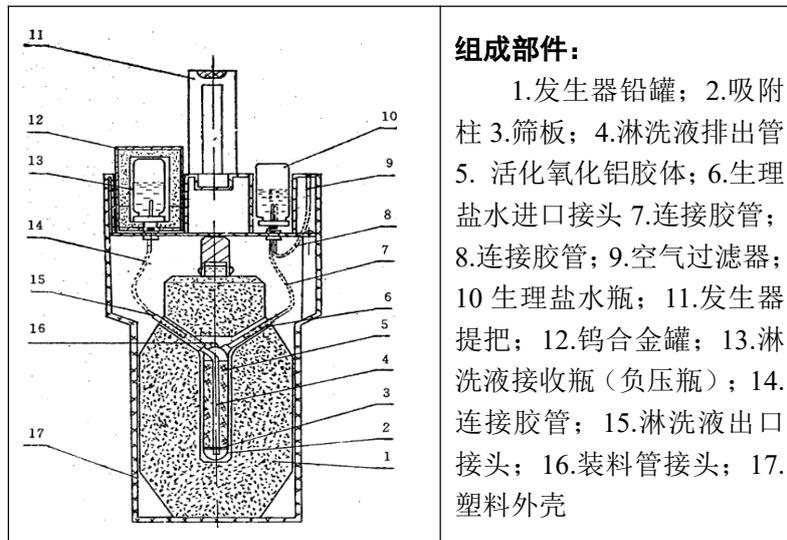


图 9-4 典型发生器的内部结构图

②操作流程及产污环节

锗-镓发生器淋洗的具体操作流程如下：

A、订药：根据病人的需要进行预订，然后制定制药计划，在正电子药物制备室 1 或者正电子药物制备室 2 内的手套箱内进行制药。

B、检查药盒完整性：负责标记操作的工作人员在淋洗操作前检查待标记药盒的完整性，主要内容为检查药盒是否破损、过期，厂家药品名是否符合。经检查合格后，放入防护罐中用 75%酒精棉球消毒瓶口 2 遍，盖上盖子备用。

C、淋洗：在正电子药物制备室 1 或者正电子药物制备室 2 内手套箱内对发生器进行淋洗操作。具体的淋洗操作如下：

D、准备：开负压瓶、0.9%生理盐水瓶，把负压瓶装入铅制的防护罐。

E、消毒：用 75%酒精擦拭负压瓶、0.9%生理盐水瓶。

F、淋洗：先把 0.9%盐酸瓶插入发生器的双针，然后把外有防护罐的负压瓶插入发生器的单针，直至 0.9%盐酸被吸干，1 分钟后整体拔下外有防护罐的负压瓶，制得的淋洗液贮存于外有防护罐的负压瓶之中。通常整个淋洗过程约需 5min。

需淋洗得到的核素母体锗-68 与发生器柱子结合，淋洗柱外用钨合金罐包装，在整个使用过程中锗-68 都保持在相应的发生器柱子里，使用后的柱子随铅罐包装一同回收至发生器生产厂家。据医院提供资料，各发生器合金罐表面的 γ 剂量率小于 0.1mSv/h。发生器放置在 70mm 铅当量防护厚度的手套箱内，整个制药过程均在手套箱内进行，经过发生器的合金罐及 70mm 铅当量防护厚度的热室柜屏蔽后，各发生器内的锗-68 对职业工作人员影响非常小，而在整个制药过程中，公众不能进入热室，而在非工作期间，工作人员将场所上锁，公众仍然无法进入制药区，因此经屏蔽后，发生器内的锗-68 对公众人员没有影响。

G、测量活度：测量活度在热室柜内进行，由负责标记的工作人员完成。工作人员用注射器吸取上一步制得的少量淋洗液（0.1ml），垂直放入热室柜内的活度计中，测量其放射性活度，得出该瓶淋洗液的比活度，同时可测量淋洗液的纯度。

H、标记：标记在热室柜进行，工作人员同测量活度的人员为同一人，用于标记的冻干药盒在标记操作前经完整性检查后传递至热室柜，自动标记合成。整个过程需要 30min。

根据需要，将质检需要的放射性药物用注射器抽取少量滴在专用 PH 纸条上、

或者层析条上、或西林瓶中，送至质检区进行质检，将病人注射需要的放射性物质储存铅罐通过专用药物传送梯送至影像诊断区储源室。

操作流程及产污环节见图 9-5。

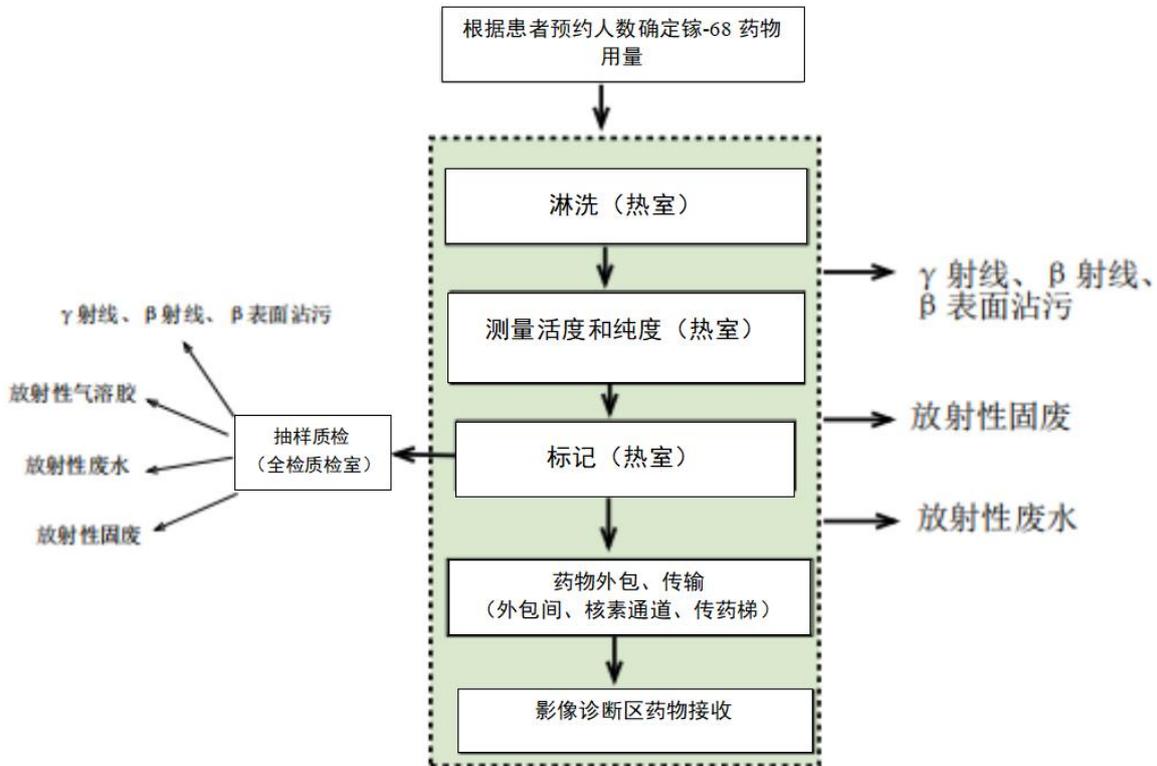


图 9-5 镓-68 淋洗工作流程及产污环节示意图

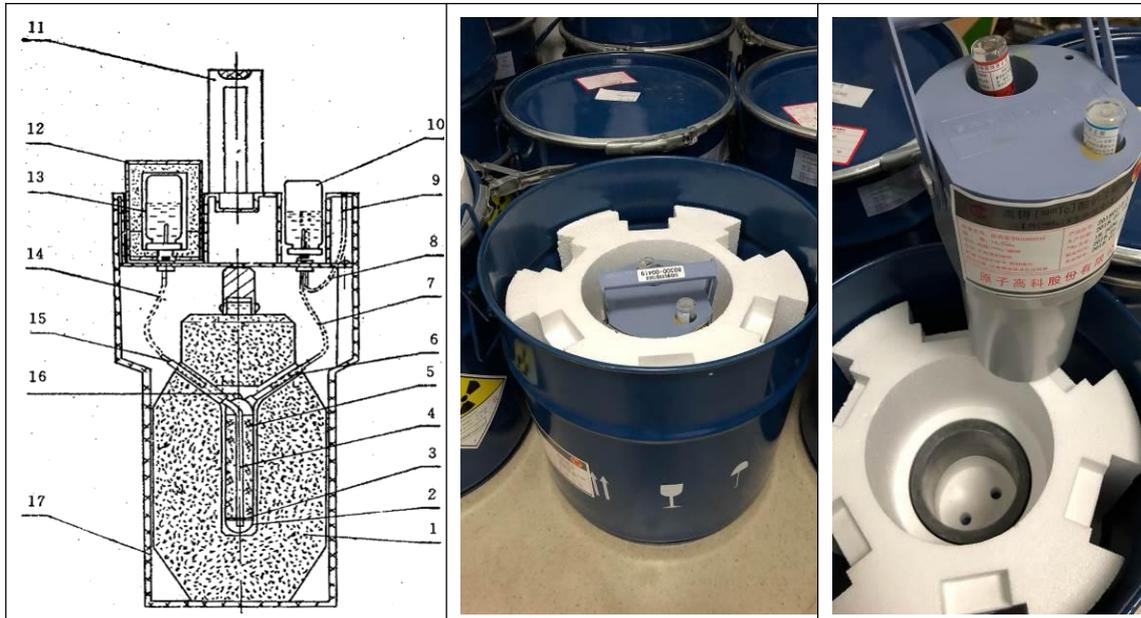
2) 钼铯发生器

本项目钼铯发生器是医院向有资质的药物供货商进行购买。钼铯发生器一年最多使用 250 个，单次购买的最大规格为 1Ci。发生器均由供货商在医院上班前负责运输至核医学科楼负一层交给医院放射性药物生产区物料接收人员。

①钼铯发生器淋洗原理

本项目钼铯发生器是向有资质的药物供货商进行购买，由供货商在医院上班前负责运输至核医学科楼负一层交给医院放射性药物生产区物料接收人员。钼铯发生器属于裂变色层发生器，基本部件是钼酸铯柱/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。铯-99m 由钼酸铯柱内钼-99 不断衰变产生，并被钼酸铯柱吸附，当加入适当的淋洗剂时，铯-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，本项目钼铈发生器一天淋洗3次，发生器的内部结构及实景见图9-6。



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.钼酸铅柱/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9-6 发生器的内部结构及实景图

②工作流程及产污环节

A、铈-99m（淋洗）：在放射性药物生产区热室柜内进行操作。先把生理盐水瓶插入钼铈发生器的双针，一分钟后整体拔下外有防护罐的负压瓶，即制得淋洗液，制得的淋洗液贮存于外有防护罐的负压瓶之中。通常整个淋洗过程约需5分钟。钼-99装在钼铈发生器内，在整个淋洗过程中钼-99都保持在发生器柱子里，使用后的柱子随铅罐包装一同回收至供应商，钼-99也就随包装而被完全转移至供应商。整个制药过程均在手套箱内进行，经过铅罐及手套箱屏蔽后，钼铈发生器对职业辐射工作人员影响非常小，而在整个制药过程中，公众不能进入生产区，而在非工作期间，工作人员将生产区关闭，公众仍然无法进入，因此经屏蔽后，钼铈发生器对公众人员的影响可以忽略不计。

B、测量活度：铈-99m（淋洗）测量活度在全检质控室的手套箱内进行，由负责标记的工作人员完成。工作人员用注射器吸取上一步制得的少量淋洗液，垂直放入活度计中，测量其放射性活度，得出该瓶淋洗液的比活度，同时可测量淋洗液的

纯度。淋洗和活度测量需要 5min。

C、标记：标记在热室柜中进行，工作人员同测量活度的人员为同一人，用于标记的冻干药盒在标记操作前经完整性检查后传递至热室柜，自动标记合成。整个过程需要 30min。

D、质控：根据需要，将质检需要的放射性药物用注射器抽取少量滴在专用 PH 纸条上、或者层析条上、或西林瓶中，送至全检质控室进行质检，将病人注射需要的放射性药物储存铅罐通过专用药物传送梯送至影像诊断区储源室。

淋洗工作流程及产污环节见图 9-7。

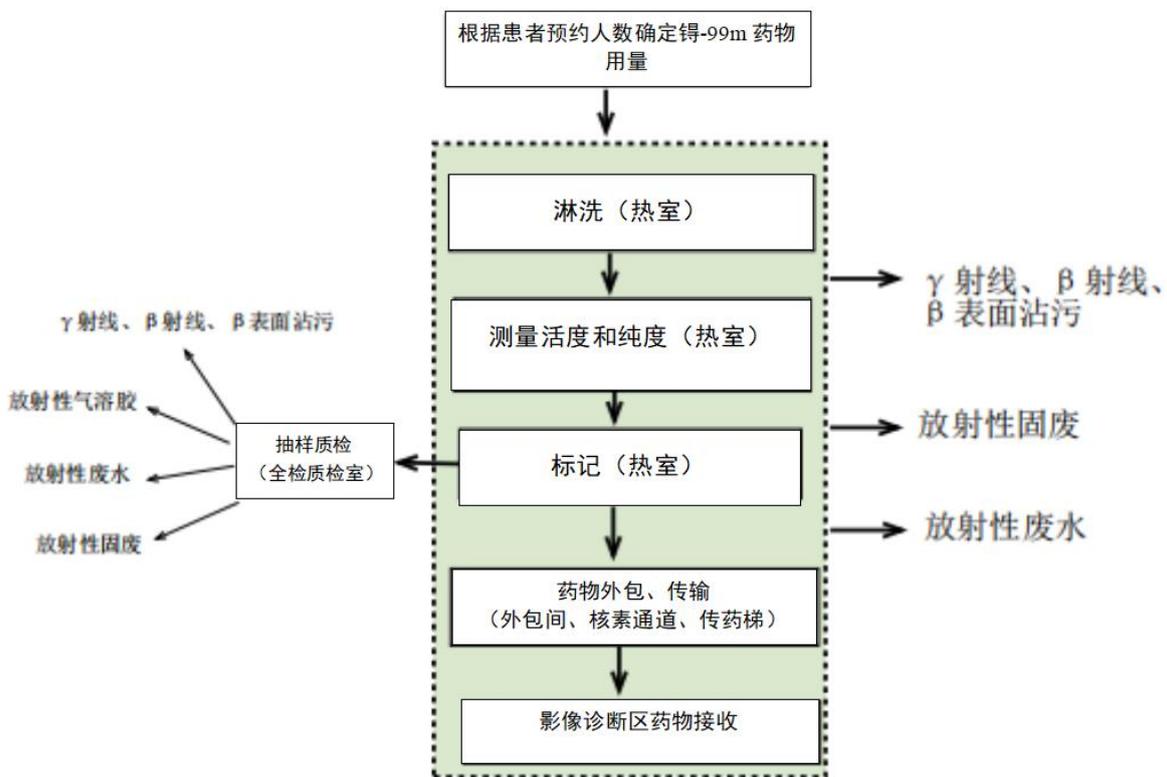


图 9-7 钼-99m 淋洗工作流程及产污环节示意图

3) 钨-188/铼-188 发生器

本项目钨铼发生器是医院向有资质的药物供货商进行购买。钨铼发生器一年最多使用 40 个，单次购买的最大规格为 0.5Ci。发生器均由供货商在医院上班前负责运输至核医学科楼负一层交给医院放射性药物生产区物料接收人员。

①钨铼发生器淋洗原理

铼-188 以无载体的形式从 $^{188}\text{W}-^{188}\text{Re}$ 发生器淋洗得到。用 0.1mol/L 氢氧化钠和 5%的次氯酸钠溶解 WO_3 或用 0.1mol/L 氢氧化钠和 3%的双氧水溶解金属钨得到钨酸

钠溶液,然后以氧化铝为吸附剂,用生理盐水淋洗得到高铼酸钠($\text{Na}^{188}\text{ReO}_4$)溶液。一个 ^{188}W - ^{188}Re 发生器通常在 10ml 内可达到 75%~85%的产额,但放射性比活度随着 ^{188}W 衰变会越来越小。发生器的结构见图 9-8。

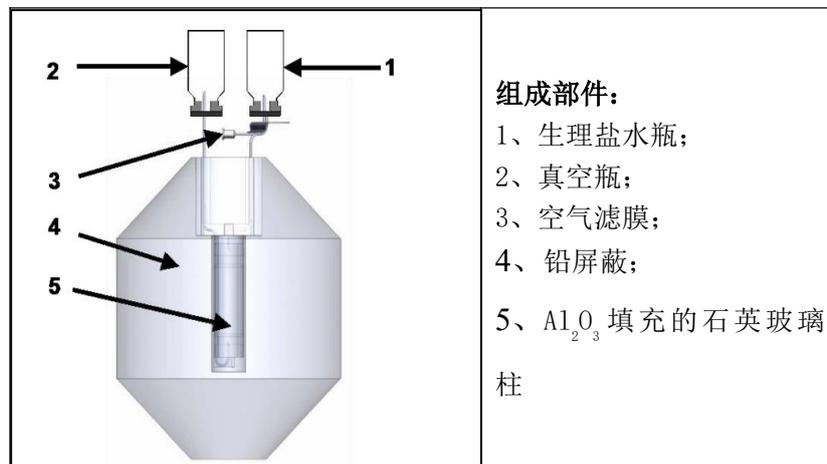


图 9-8 钨-188 (铼-188) 发生器示意图

②淋洗流程及产污环节

A、准备：开负压瓶、0.9%生理盐水瓶，把负压瓶装入铅制的防护罐。

B、消毒：用 75%酒精擦拭负压瓶、0.9%生理盐水瓶。

C、淋洗：先把 0.9%盐酸瓶插入发生器的双针，然后把外有防护罐的负压瓶插入发生器的单针，直至 0.9%盐酸被吸干，1 分钟后整体拔下外有防护罐的负压瓶，制得的淋洗液贮存于外有防护罐的负压瓶之中。通常整个淋洗过程约需 5min。

D、需淋洗得到的核素母体钨-188 与发生器柱子结合，淋洗柱外用壁厚约 20mm 铅当量的钨合金罐包装，在整个使用过程中钨-188 都保持在相应的发生器柱子里，使用后的柱子随铅罐包装一同回收至发生器生产厂家。据医院提供资料，各发生器合金罐表面的 γ 剂量率小于 0.1mSv/h。发生器放置在 70mm 铅当量防护厚度的热室柜内，整个淋洗标记过程均在热室柜内自动进行，经过 20mm 铅当量的合金罐及 70mm 铅当量防护厚度的热室柜屏蔽后，各发生器内的钨-188 对职业工作人员影响非常小，而在整个制药过程中，公众不能进入热室，而在非工作期间，工作人员将场所上锁，公众仍然无法进入制药区，因此经屏蔽后，发生器内的钨-188、对公众人员没有影响。

E、测量活度：测量活度在热室柜内进行，由负责标记的工作人员完成。工作人员用注射器吸取上一步制得的少量淋洗液（0.1ml），垂直放入活度计中，测量其放射性活度，得出该瓶淋洗液的比活度，同时可测量淋洗液的纯度。

F、标记：标记在热室柜进行，工作人员同测量活度的人员为同一人，用于标记的冻干药盒在标记操作前经完整性检查后传递至热室柜，自动标记合成。整个过程需要 30min。

淋洗工作流程及产污环节见图 9-9。

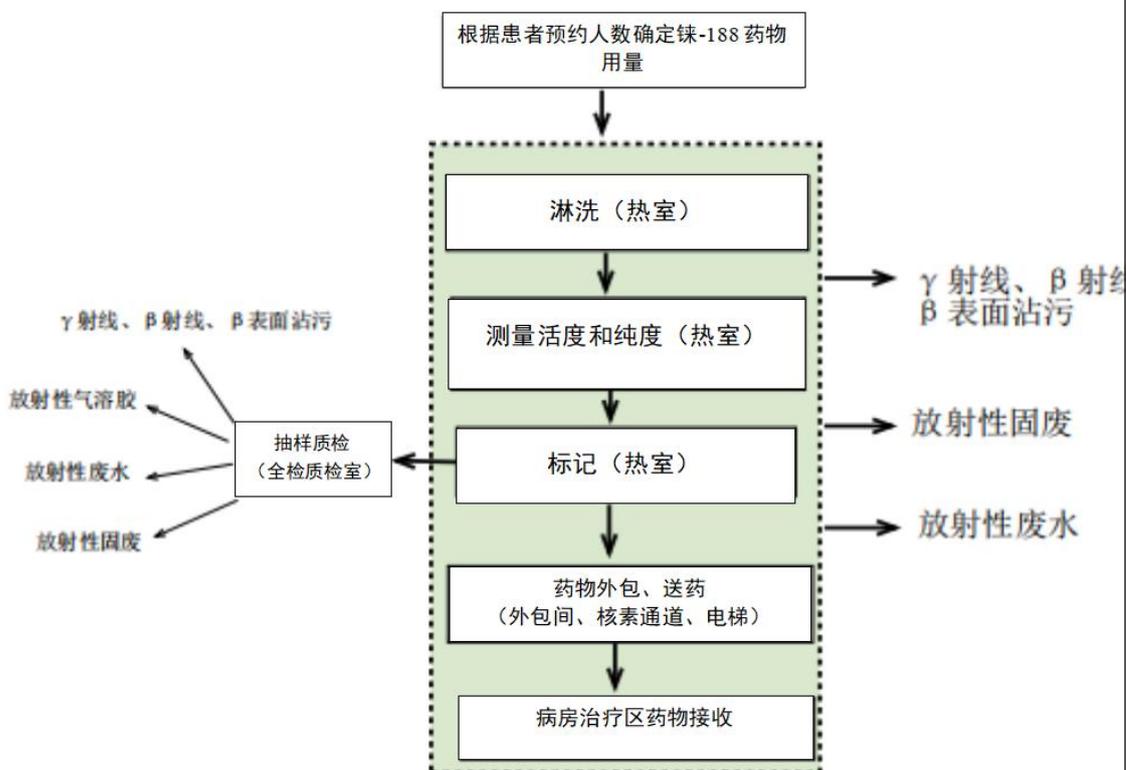


图 9-9 铼-188 淋洗工作流程及产污环节示意图

(4) 放射性药物质检

医院自行生产的正电子药物、制备的单光子药物以及标记的治疗核药需要进行质控，质控项目主要为 PH 值、细菌内毒素、比活度、放化纯度无菌检测等，这些核素有 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{89}Zr 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{188}Re ，每种核素分成几个小样分别送至质控区进行质控检测。

1) 质检流程

①核素鉴别：取产品瓶 1 支，在放化室手套箱中充分振摇使产品成混悬状态，用移液器取适量产品，置有机玻璃管中，装于铅罐中移至物理测量间。用不同核素（不同 γ 射线能量）的标准源对 γ 谱仪进行效率刻度，得到效率标准曲线。在与效率刻度相同的几何条件、测量条件下，用 γ 谱仪测定样品的 γ 射线能谱，鉴别核素种类。

②放射性活度浓度测定：将 1 支产品装于铅罐中移至放化室手套箱内，直接放

入经校准的放射性活度计中进行活度测量。

③pH 值测定：在手套箱中取一小块 pH 试纸在表面皿或玻璃片上，充分振摇使产品成混悬状态，用移液器取产品适量，点于试纸的中部，将试纸与标准色板相比较，即为产品的 pH 值。

④细菌内毒素测定：

阳性样品对照溶液的制备：将 5MVD 倍的样品 1.0ml 与 4 λ 浓度的内毒素标准溶液混合制成 2 λ 浓度的内毒素溶液；

取 8 只鲎试剂，每支加入 1mlBET（细菌内毒素检查用水）溶解；

取其中两支作为对照管分别加入 0.1ml 内毒素标准溶液，2 支加入 0.1ml 混合制成 2 λ 浓度的内毒素溶液，2 支加入 0.1mlBET 作为阴性对照，2 支加入 0.1ml 样品，将 8 支试剂混匀，封口并放入 37 摄氏度恒温水浴 60min；

结果分析：

A 阳性对照为阳性，阴性对照为阴性，样品阳性对照为阳性，实验成功；

B 若 2 支样品管都为阳性，样品不符合要求；若 2 支样品管均为阴性，样品符合要求；若分别为阴阳性，则需重新进行内毒素检测，复试时做 4 支试剂管有一支为阳性则样品不符合规定。

⑤放射性核纯度测定：充分振摇使产品成混悬状态，在手套箱中用移液器（或注射器）取适量产品，置有机玻璃管中，装于铅罐中移至全检质控室大厅。用 γ 谱仪测定样品中核素的放射性活度，计算核素放射性活度占产品总放射性活度的百分比。

⑥放射化学纯度测定：充分振摇使产品成混悬状态，在手套箱中用移液器（或注射器）取适量产品，置有机玻璃管中，装于铅罐中转移到放化室。取载体溶液适量，点于色谱滤纸上，晾干，再取产品适量，点于相同的位置，晾干。采用上行法，在放化实验室内先在层析缸内加入展开剂，盖好层析缸，待缸内展开剂饱和后，将已点样滤纸悬于缸中，并使展开剂的液面浸在点样基线下 1cm 处，一定时间后，待展开剂前缘达到滤纸上端处。展开完毕后，取出滤纸条，吹干，将滤纸按划线剪开成小纸条，按顺序测量各窄纸条的放射性活度，计算其放射化学纯度。

⑦无菌检测：充分振摇使产品成混悬状态，在手套箱中用移液器取适量产品，置有机玻璃管中封口，装于铅罐中移至无菌检测室。分别取供试品直接接入培养基

或加入金黄色葡萄球菌，在适宜温度下培养 14 天，观察各样品中菌的生长情况。产物环节图已在每个药物制备流程图中体现。质检流程见图 9-10。

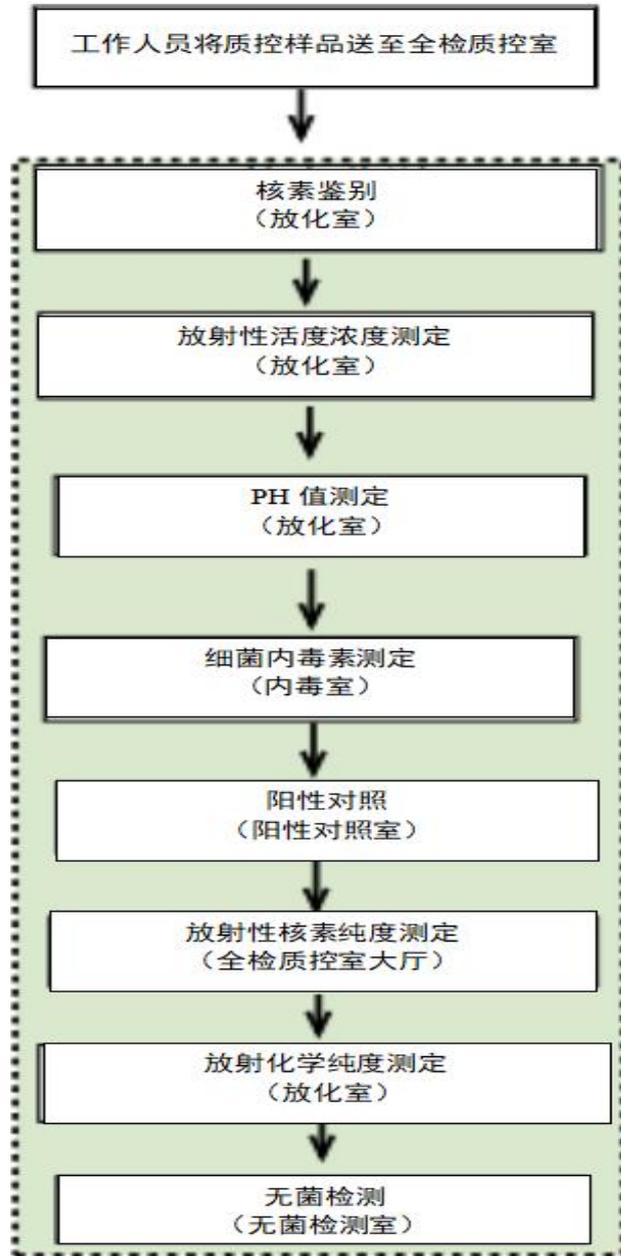


图 9-10 放射性药物质检流程示意图

(5) 人流、物流路径

①人员路径：放射性药物生产区内工作人员从医护电梯进入负一层，在强电井房左转经送风机房东侧过道后右转后直行，在疏散走道入口进如回旋加速器机房控制室；热室和固体靶室的工作人员在疏散通道入口经一更、二更后经过洁净走廊后，从准备缓冲间进入热室和固体靶室，完成相关工作后，原路径离开放射性药物生产区；质控区内的工作人员从医护电梯进入负一层，在强电井房左转经送风机房东侧

过道后右转后直行到真空罐房处向北直行，在 1#卫生间处向左转（向西）进入全检质控室，开展相关质控工作，完成相关工作后沿原路径离开放射性药物制备区。

②药物运输路径：回旋加速器打靶产生的放射性药物通过输药管道分别进入热室和固体靶室，热室内合成分装完成的放射性药物经过传递窗进入外包间包装后，经过留样间和包材、标签库后，左转（向西）沿核素通道进入药梯传到一层影像诊断区分装注射室和储源室；外购发生器由供应商送到放射性药物生产区拆包间后，从物流缓冲间经窗口传递到热室，在热室柜内淋洗后的放射性药物经过传递窗进入外包间包装后，经过留样间和包材、标签库后，左转（向西）沿核素通道进入药梯传到一层影像诊断区分装注射室和储源室。

③放射性废物路径：热室和固体靶室产生的放射性固体废物经过热室内放射性固体废物桶收集后，通过热室北侧防护门向北直行，经过留样间和包材、标签库后，左转（向西）沿核素通道直行到药梯门口后右转（向北）进入放射性污物暂存间；质控区内产生的放射性固体废物经过放射性固体废物暂存桶收集后，经南侧防护门后右转（向东）经核素通道后直行，到药梯门口后右转（向北）进入放射性污物暂存间。

④质控路径：打靶生产和淋洗制备的放射性药物用于质控的部分，经过传递窗口传出后，向北直行，进入全检质控室内进行质控。

核医学科负一层人流、物流路径图见附图 13。

（6）放射性废水路径

放射性药物制备区拟设 2 套排水管道，分别为回旋加速器机房和质控区，回旋加速器机房内预留地埋排水管道经机房北侧引出，经集水坑污水提升泵提升至屋顶沿核素通道向东引至负一层建筑外，经管道牵引至放射性废水衰变池 2；质控区内放射性废水经过收集后，在全检质控室东北侧经提升泵提升后，向南牵引在核素通道外侧与回旋加速器排水管道合管，进入放射性废水衰变池 2。放射性废水排水管道为防腐、管道内壁光滑的材质，通过提升泵能实现废水进入衰变池 2，具体见附图 26。

上述措施满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“核医学科工作场所应设置槽式或推流式废水衰变池，收集放射性药物操作间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液”要求。

(7) 放射性废气路径

1) 放射性药物制备排气管道路径

在放射性药物制备区内，拟设 8 套排风管道，分别为回旋加速器机房、热室和固体靶室、质控区、污水提升机房。其中回旋加速器机房排风管道经回旋加速器机房西侧采用“S 形”穿墙管道引出后，经过活性炭过滤装置过滤后，沿核素走道向北延伸至排风井，经排风井后在核医学科楼楼顶北侧高效过滤装置过滤后排放；热室和固体靶室拟设 2 套排风管道，第一套排风管道从固体靶室和热室内合成分装、热室柜内壁的活性炭过滤装置过滤后引出，在固体靶室北侧穿墙后沿核素走道向北延伸至排风井，经过排风井后在屋顶高效过滤装置处理后高于楼顶 3m 排放；第二套排风管道紧邻回旋加速器机房东侧墙体外，从热室外准备缓冲间经热室、固体靶室后，与第一根排风管道并延伸至核医学科楼屋顶经高效过滤装置过滤后高于屋顶 3m 排放。质控区拟设 3 套排风管道，分别为无菌检测室及生物安全柜（内设过滤装置）→一更手消间→二更手消间→北侧排风井→楼顶高效过滤装置→高于屋顶 3m 处排放；阳性对照室及生物安全柜（内设过滤装置）→一更手消间→二更手消间→北侧排风井→楼顶高效过滤装置→高于屋顶 3m 处排放；放化室及生物安全柜（内设过滤装置）→内毒室及生物安全柜（内设过滤装置）→左转（向西）进入北侧拍封井→楼顶高效过滤装置→高于屋顶 3m 处排放。拟在对提升泵机房设置 1 套排风管道，路径为回旋加速器机房北侧提升泵机房→质控区南侧提升泵机房→北侧排风井→楼顶高效过滤装置→高于屋顶 3m 处排放。在辅助用房区域设置 1 套排风管道，管道路径为制药原料区→外包间→留样间→包材、标签库→北侧排风井→楼顶高效过滤装置→高于屋顶 3m 处排放。

根据核医学科一层通排风系统图（附图 24）可知，核医学科负一层排风量大于通风量，拟在排风管道内设置止回阀，防止放射性废气及气溶胶对工作场所造成交叉污染，场所内处于负压状态。根据外环境关系图，核医学科楼排风口 50m 范围内无其他建筑。综上，放射性药物制备区放射性废气处理措施满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中密闭和通风要求：“①保持工作场所负压和各区之间的压差，使得工作场所气流由清洁区流向监督区再流向控制区；②应在手套箱设计独立排风系统，在每一个密闭设备顶壁安装活性炭过滤装置，经过滤装置处理后的废气经管道在楼顶经过活性炭吸附+高效过滤装置处理后排放；③使用回旋加速

器制备放射性药物的场所设有单独的通风系统，加速器屏蔽区内有单独的排气管道，并呈负压状态”等相关要求；④通风系统排气口高于本建筑物屋顶，尽可能的远离了附近高层建筑。

2、影像诊断区

(1) SPECT-CT 诊断工艺分析

1) 设备组成及工作原理

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

SPECT 主要由三部分（探头、旋转运动机架、计算机、CT 及其他辅助设备）组成。探头部分主要由准直器、晶体、光导、光电倍增管、模拟定位计算电路等组成。SPECT 自身带有一个 CT 球管，在 SPECT 核素扫描的基础上，可以同时获得 CT 解剖图像，从而更有利于对疾病作出全面、准确的判断。

(2) 工作流程及产污环节

1) 诊断规划

SPECT 诊断项目正式开展后，使用 2 台 SPECT 开展工作，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h，使用放射性核素 ^{99m}Tc ，每日最多诊断 50 人。

2) 工作流程

①药物分装

本项目放射性药在放射性药物制备区制备后，经过传药梯送至分装注射间，工作人员根据所需药物 ^{99m}Tc 的用量在分装注射室手套箱内进行分装和测活。手套箱屏蔽效能为 10mmPb。在分装过程中，工作人员双手通过手套孔进入屏蔽体内进行分装标记，手套箱内始终负压通风，能够有效避免人员吸入放射性药物造成内照射。

②注射

患者给药采用注射方式进行给药，工作人员（作好防护措施，穿铅衣、铅手套等）将装有放射性药物的铅罐转移至注射室注射窗口操作台，注射室内的注射窗口操作台安装 40mmPb 的防护窗，注射药物时，工作人员从铅罐内用配有铅防护套筒的注射器吸出药物，护士与患者分别位于铅玻璃两侧，通过注射防护窗对患者进行注射，注射时间约为 1min 每人次，护士距患者约 30cm。

SPECT-CT 诊断项目的工作流程与产污环节详见图 9-11：

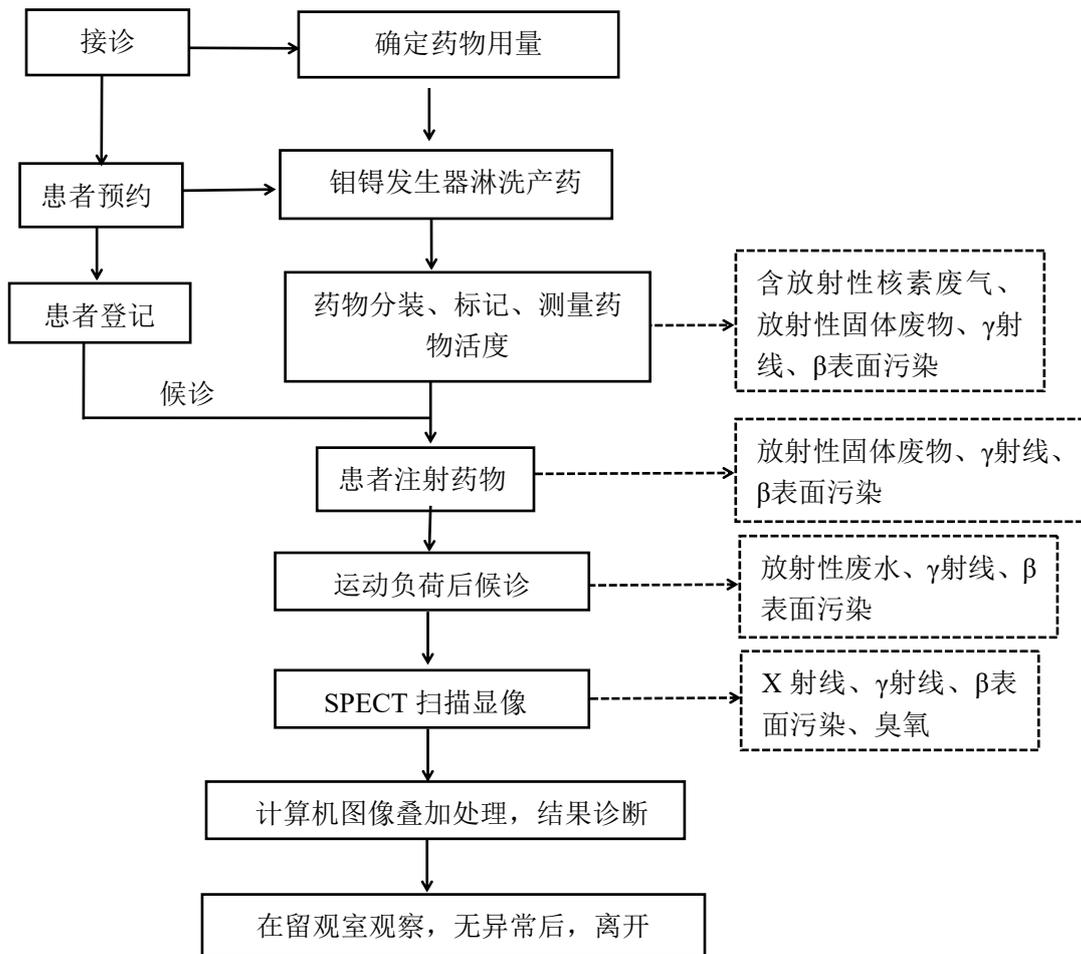


图 9-11 SPECT-CT 诊断项目的工作流程与产污环节

③扫描诊断

患者注射后在 SPECT 注射后等候室内静躺候诊（时间为 15min），待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 SPECT-CT 检查室。技师在控制室内进行语音提示摆位，必要时进入机房指导（个别患者需护士进入机房进行现场摆位，摆位时间 0.5min），摆位完成后离开机房返回控制室。技师隔室操作对患者进行 SPECT 扫描

诊断，SPECT-CT 机房每次扫描 15min。扫描完成后患者在留观室等候 15min 后，确定无不良反应后，从患者出口离开核医学科。

3) 产污环节

在 SPECT-CT 显像检查过程中，主要的环境影响为分装、给药过程对工作人员产生外照射；分装、给药过程对工作台面、地面等造成的表面污染；操作过程产生的放射性固体废物，如使用放射性药物的注射器、注射针头、药物的服药杯、可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物、废 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器等放射性固体废物；操作过程产生的放射性废水，如洗涤废水、使用放射性药物患者的排泄物；分装过程中产生的放射性废气；CT 扫描时产生的 X 射线、臭氧。

(2) PET-CT (PET-MR) 诊断工艺分析

1) 设备组成及工作原理

本项目配置 1 台 PET-CT 和 1 台 PET-MR 进行正电断层扫描 (Positron Emission Tomography, PET)，其工作原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，藉此诊断疾病，又称为生化显像或功能因子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术。

PET-CT 是将 PET 和 X 线计算机断层扫描 (Computer Tomography, CT) 组合而成的多模式成像系统，是目前全球最高端的医学影像设备，同时也是一种可以在分子水平成像的影像技术。PET-CT 将 PET 与 CT 融为一体，使两种成像技术优势互补，PET 图像提供功能和代谢等分子信息，工作时，其 CT 球管发射 X 射线，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融合的结果，即细胞的代谢显像和所处的解剖位置。

PET-MR 是结合正电子扫描 (PET) 和磁极共振照影术 (MR) 的检验方法。MR 可显示人体内部器官的精确结构图像，而 PET 则显示人体的代谢活动情况。利用 PET-MR 照影技术，只需进行一次检查即可同时获取 MR 和 PET 的图像。该设备可进行全身和特定身体部位的检查。

2) PET-CT (PET-MR) 诊断流程与产污环节

1) 诊断规划

PET-CT 和 PET-MR 采用回旋加速器生产的 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 进行显像诊断，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h。其中 PET-CT 显像诊断每日最多诊断 20 人，PET-MR 显像诊断每日最多诊断 10 人。

2) 工作流程

① 药物分装

本项目计划使用放射性药物 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 进行 PET 显像诊断检查，所使用的核素由负一层的回旋加速器制备。工作人员根据临床诊断所需药物的使用量在药物分装准备室手套箱（60mmPb）内进行分装和测活。在分装过程中，工作人员双手通过手套孔进入屏蔽体内进行分装，手套箱内始终负压通风，能够有效避免人员吸入放射性药物造成内照射。

② 注射

患者给药采用注射方式进行给药，工作人员（作好防护措施，穿铅衣、铅手套等）将装有放射性药物的铅罐转移至注射室注射窗口操作台，注射室内的注射窗口操作台安装 50mmPb 防护窗，注射药物时，工作人员从铅罐内用配有铅防护套筒的注射器吸出药物，护士与患者分别位于铅玻璃两侧，通过注射防护窗对患者进行注射，注射时间约为 1min 每人次，护士距患者约 30cm。

③ 扫描

患者注射完成后，接受注射的患者在注射后等候室观察 5-25min。待药物在身体内有一定程度的代谢后，护士通过语音呼叫，进入 PET-CT 或 PET-MR 机房。技师在控制室内进行语音提示摆位，必要时进入机房指导（个别患者需护士进入机房进行现场摆位，每次摆位时间约 0.5min），摆位完成后离开机房返回控制室。技师隔室操作对患者进行扫描诊断，平均每次扫描约 25min。

④ 离开核医学科

扫描完成后患者在留观室等候 30min，无不良反应后从患者出口离开核医学科。

3) 产污环节

PET-CT (PET-MR) 显像诊断的主要环境影响为：分装、给药过程对工作人员产生外照射；分装、给药过程对工作台面、地面等造成的表面污染；操作过程产生

的放射性固体废物，如使用放射性药物的注射器、注射针头、药物的服药杯、可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物；操作过程产生的放射性废水，如洗涤废水、使用放射性药物患者的排泄物；分装过程中产生的放射性废气；CT 扫描时产生的 X 射线、臭氧。

在核素显像检查过程中，主要的环境影响为注射、检前休息观察过程对工作人员产生外照射；注射过程对工作台面、地面等造成的表面污染；操作过程产生的注射器、注射针头、可能沾染放射性药物的棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物；操作过程产生的洗涤废水、使用放射性药物患者的排泄物等放射性废水。

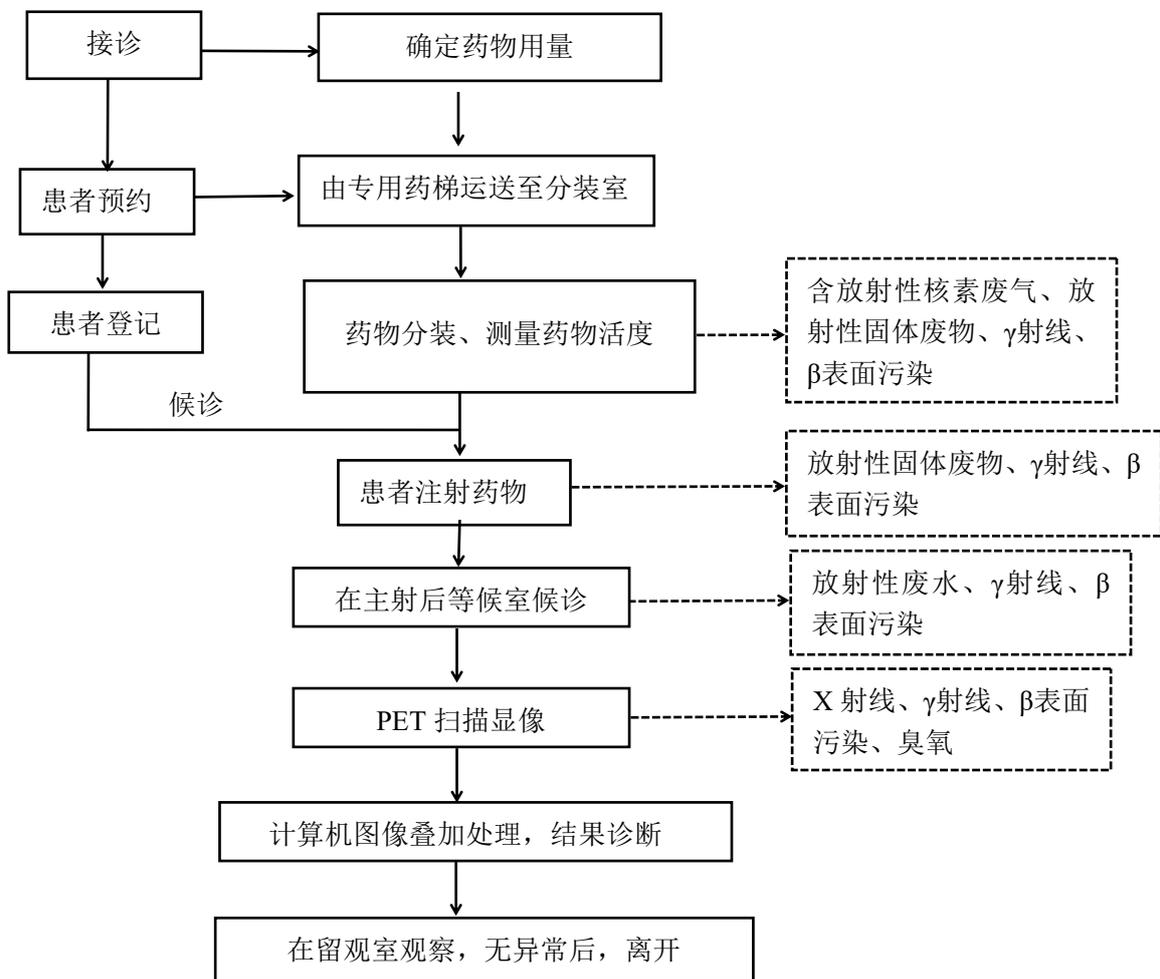


图 9-12 PET 显像诊断及产污流程图

(3) 核医学科影像诊断区路径规划

1) 人员路径

①工作人员路径: 医护人员从医护出入口进入核医学科一层后向东直行, 在医护休息室门口向左转 (向北) 依次经医护人员通道、缓冲通过间后, 进入分装注射室,

然后在分装注射室进行分装、测活度工作，隔着注射防护窗给患者注射核素。

②患者路径：患者经一层东侧的患者入口进入等候大厅，在护士站进行登记、预埋针后在等候区候诊。在听到广播通知后，分别前往对面的 SPECT、PET-CT 和 PET-MR 注射室进行核素的静脉注射，注射完毕后分别进入 SPECT、PET-CT 和 PET-MR 注射后等候室等待；听到医生叫号后进入到 SPECT、PET-CT 和 PET-MR 检查室进行扫描；扫描完毕进入留观室，留观结束后沿患者通道经缓冲间由对应出口离开。

2) 物流路径

①放射性药物进入核医学科工作场所路径：PET 诊断所用放射性药物专用电梯将核素从负一层放射性药物制备区传送至影像诊断区分装注射室，存入储源室，在对应手套箱内经过分装后，送入对应的注射位，由注射人员隔窗为患者注射给药；SPECT 诊断所用 ^{99m}Tc 在分装室对应的手套箱内经过分装后，送入对应的注射位，由注射人员隔窗为患者注射给药。

②放射性固体废物转运路径：在影像诊断区分装注射室内拟放置放射性废物桶，用于收集分装和注射过程产生的放射性固体废物，注射后等候室和留观室内拟放置铅桶，用于收集患者注射后产生的固体废物。放射性固体废物经暂存桶收集后分别送入北侧的放射性废物暂存间 1 和放射性废物暂存间 2，在暂存间内打包后进行衰变处理，达到清洁解控水平后送出核医学科，进入医院医废暂存间暂存，最终交由有资质的单位处理。具体流程及路径见附图 14。

因此，上述人流、物流均有独立的路径，满足 HJ1188-2021 中关于“核医学设置相应物理隔离和单独的人员、物流通道”要求。

3) 放射性废水路径

根据设计图纸，建设单位拟在影像诊断区设置 2 套放射性废水管道，分别为留观区和分装注射区。其中留观区路径从清洁间→PET 留观区卫生间→SPECT 留观区，呈废水流向为自西向东、由南向北倾斜，最终自流进入核医学科楼外北侧的衰期衰变池 2；分装注射区路径为 PET 注射后等候室→分装注射室→SPECT 分装注射室，呈废水流向为自西向东、由南向北倾斜，最终自流进入核医学科楼外北侧的衰期衰变池 2。放射性废水排水管道为防腐、管道内壁光滑的材质，管道走向自西向东、由北向南呈斜坡设计，能够实现废水自流进入衰变池，具体见附图 27。

上述措施满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“核医学科工作场所应设置槽式或推流式废水衰变池，收集放射性药物操作场所、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液”的要求。

4) 放射性废气路径

根据设计方案，建设单位拟在核医学科影像诊断区内设 4 套排风管道，分别为 PET 影像诊断区、SPECT 影像诊断区、PET 分装手套箱、SPECT 手套箱。

①PET 影像诊断区

建设单位拟在 PET 影像诊断区内设 1 套排风管道，排风管道起于患者出口末端的清洁间兼普通废物暂存间，止于核医学科楼北侧排风口，具体路径为清洁间兼普通废物暂存间→缓冲间→PET 留观室→PET-MR 检查室→PET-CT 检查室→PET 注射后等候室→放射性废物暂存间 2→PET 患者走道→进入北侧排风井→高效过滤装置→屋顶排放口。

拟对 PET 分装手套箱设 1 套独立的排风管道，排风管道经分装注射室 PET 分装手套箱（内含过滤装置）引出后，向南沿医生走道直至南侧排风井后，经高效过滤装置过滤后排放。

②SPECT 影像诊断区

建设单位拟在 SPECT 影像诊断区内设 1 套排风管道，排风管道起于患者出口电梯厅，止于核医学科楼北侧排风口，具体路径为电患者出口梯厅→清洁间→缓冲间→SPECT 留观室→SPECT 检查室 2→SPECT-CT 检查室 1→SPECT 注射后等候室→放射性废物暂存间 1→运动负荷室→进入北侧排风井→高效过滤装置→屋顶排放口。拟在注射分装室等区域设一条排风管道，在储源室穿墙后与 SPECT 影像诊断区排风管道合管，具体路径为医生通道缓通过间→沐浴间→分装注射室→储源室→进入北侧排风井→高效过滤装置→屋顶排放口。

拟在 SPECT 分装手套箱设 1 套独立的排风管道，排风管道经分装注射室 SPECT 分装手套箱（内含过滤装置）引出后，向南沿患者走道直至南侧排风井后，经高效过滤装置过滤后排放。

根据核医学科一层通排风系统图（附图 24）可知，影像诊断区各房间排风量大于通风量，拟在排风管道内设置止回阀，防止放射性废气及气溶胶对工作场所造成

交叉污染，核医学科楼排风口 50m 范围内无其他建筑。综上，核医学科影像诊断区放射性废气处理措施满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中密闭和通排风要求：“①保持工作场所负压和各区之间的压差，使得工作场所气流由清洁区流向监督区再流向控制区；②应在手套箱设计独立排风系统，在每一个密闭设备顶壁安装活性炭过滤装置，经过滤装置处理后的废气经管道在楼顶经过活性炭吸附+高效过滤装置处理后排放；③使用回旋加速器制备放射性药物的场所设有单独的通风系统，加速器屏蔽区内有单独的排气管道，并呈负压状态”等相关要求；④通风系统排气口高于本建筑物屋顶，尽可能的远离了附近高层建筑。

3、门诊治疗区

本项目拟在核医学科楼一层北部开展¹³¹I甲亢治疗、⁸⁹Sr骨转移瘤治疗和¹³¹I甲吸（甲状腺吸碘功能测定），使用⁹⁰Sr-⁹⁰Y放射源开展皮肤病、眼科疾病敷贴治疗。

（1）¹³¹I甲亢治疗

1) 工作原理

甲状腺具有高度选择性摄取¹³¹I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¹³¹I后，90%以上的¹³¹I都会聚集到患者的甲状腺，其余的¹³¹I随代谢排出体外。¹³¹I衰变为¹³¹Xe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，一般不会造成甲状腺周围组织例如甲状旁腺、喉返神经等的辐射损伤。因此，¹³¹I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。

2) 工作流程与产污分析

①诊断规划

甲亢治疗项目正式开展后，规划使用放射性药物¹³¹I进行治疗。每年工作250天，每周工作5天，每天工作8h。单日最大就诊人数为15人，年最大诊疗人数为1500人。门诊治疗区有1个留观/抢救室，患者服药后经短暂留观后即可离开医院。甲亢治疗核素单人次最大使用量为 $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ （20mCi）。

②工作流程

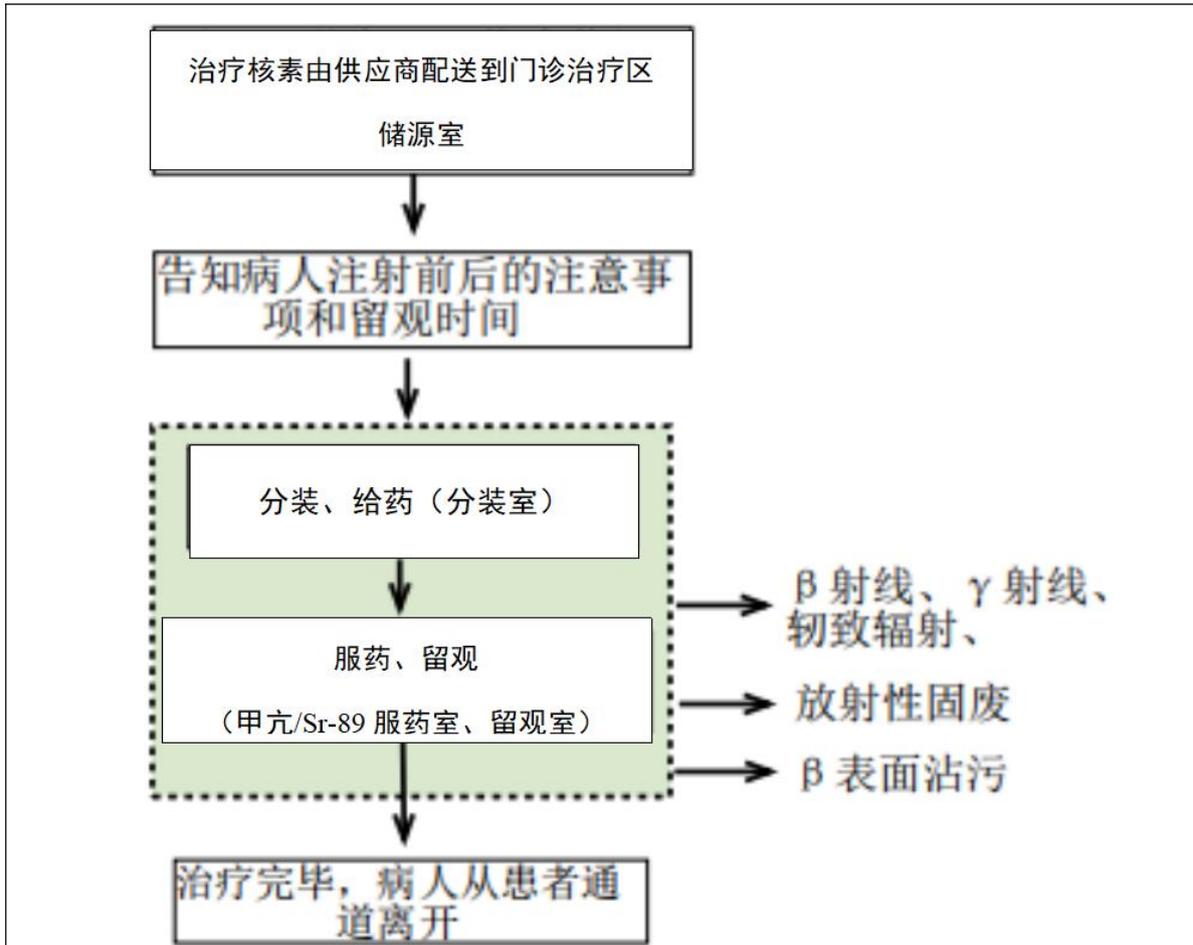


图 9-13 ^{131}I 甲亢治疗项目工作流程及产污环节分析示意图

A、外购药物

本项目计划使用放射性药物 ^{131}I 进行甲亢治疗，工作人员根据所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物以货包形式送达核医学科门诊治疗区，专人接收放射性药品，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室内。

B、药物质控

^{131}I 在每天使用前，注射人员将抽取一定量的放射性核素进行质检。质检过程在分装注射室的手套箱（10mmPb）内完成。质控工作人员（注射工作人员）在手套箱内将待检药物用注射器吸取后，检验药物的 pH 值、形态等，经检验满足《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，方开展后续工作。

C、药物分装

工作人员在收到放射性药物后， ^{131}I 甲亢治疗医护人员在分装室内进行手动分装，分装好的药物经过测活后，装入铅防护罐中，通过传药窗将药物交给患者服用。

D、指导服药

接受甲亢治疗的患者进入服药室，接过铅防护罐后按照医护人员指导的方法进行服药。

E、服药后治疗

甲亢患者服药后，在留观室/抢救室内留观 15~30min 后即可出院。

F、出院

留观结束后，患者无异常反应，甲亢患者从核医学科门诊治疗区西侧患者出口离开核医学科。

(2) ^{89}Sr 骨转移瘤治疗

1) 工作原理

^{89}Sr 放射性药物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，为趋骨性放射性药物，使骨组织代谢活跃的部分浓聚更多的放射性药物。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) 操作流程及产污分析

①医院根据与患者预约情况提前向药物供货商订 ^{89}Sr 注射液，由药物供货商负责药物运输至核医学科楼一层北部门诊治疗区储源室。

②患者先在护士站登记后，告知患者进入卫生间进行排便，医护人员按照患者用量和数量进行分装药物。

③医生通知患者进入服药/注射室，将分装的药物隔着铅玻璃对患者进行注射；

④医院预计使用 ^{89}Sr 病例每天最多 5 例，每名患者所使用 ^{89}Sr 的活度不超过 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ (5mCi)。接受 ^{89}Sr 治疗的患者用药后进行一定时间的观察，如无异常情况，患者随即就可以离开医院。骨转移瘤治疗流程见图 9-14。

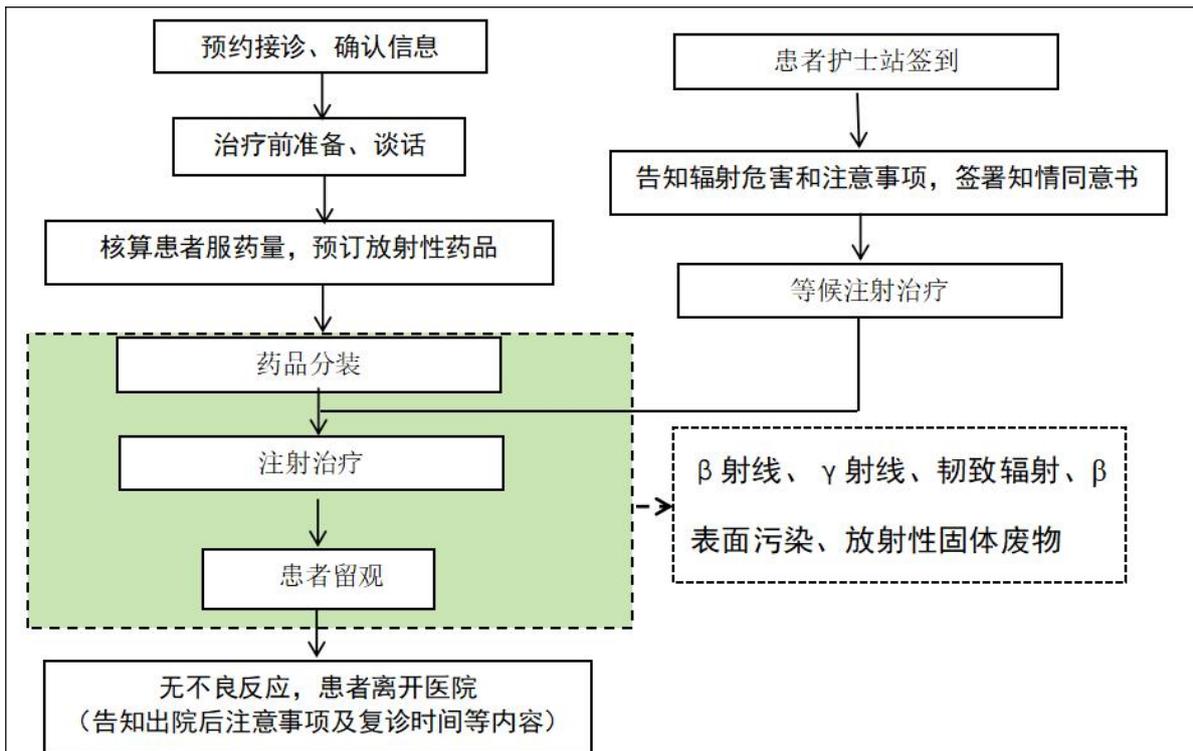


图 9-14 ^{89}Sr 骨癌转移瘤治疗流程图

(3) ^{131}I 甲功检测

1) 检查原理

甲状腺功能检查，简称“甲功”，碘是甲状腺合成甲状腺激素的重要原料之一，而检查中的用药 ^{131}I 与人所需的稳定性的碘具有相同的生化性质和生物学特性。口服 ^{131}I 后可被甲状腺滤泡上皮细胞摄取、浓聚。此时，在体外利用甲状腺功能仪探测甲状腺 ^{131}I 发射的 γ 射线，获得不同时间甲状腺部位的放射性计数率，根据甲状腺摄取 ^{131}I 的数量和速度、释放的速率来判定甲状腺功能状态。目前主要用于指导甲亢患者 ^{131}I 治疗前用药剂量的计算。

2) 诊疗流程与产污分析

- ①接诊患者，预约检查。
- ②患者登记，医生给药。
- ③患者空腹口服 Na^{131}I （碘化钠）胶囊，活度为 0.01mCi ，且继续禁食 $1\sim 2$ 小时。
- ④进行甲功检测，服药后每 $2、4、6、24$ 小时（也可选择服药后 $2、4、24$ 小时或 $2、6、24$ 小时）分别测定本底、标准源计数及甲状腺部位的放射性计数率，按照特殊公式算出对应时间的甲状腺摄 ^{131}I 率，绘制甲状腺摄 ^{131}I 率曲线图；
- ⑤患者离开医院。

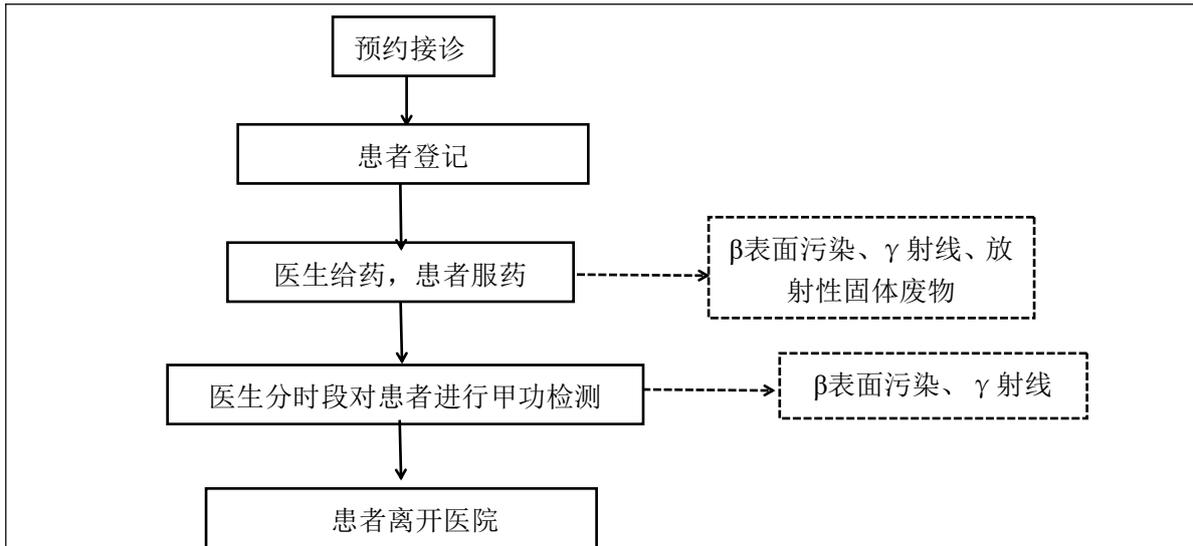


图 9-15 ^{131}I 甲功检测的工作流程与产污环节图

(4) 敷贴治疗

1) 设备组成及工作原理

放射性药物敷贴治疗主要用于某些皮肤病和眼科疾病，本项目治疗用敷贴器的放射源为 ^{90}Sr - ^{90}Y 。

放射性药物敷贴治疗的原理是将一定活度的 ^{90}Sr 放射性核素，通过一定的方式密封一起，制成具有不同形状和面积的面状源，作为敷贴用的放射源。 ^{90}Sr 皮肤敷贴器是将 ^{90}Sr 不溶性化合物均匀滚轧在银底与金面之间，装在铝合金壳内，制成 $30\text{mm}\times 30\text{mm}$ 的敷贴放射源。 ^{90}Sr 敷贴器除铝合金外壳外，还配有铝合金手柄和有机玻璃防护屏，使用时将手柄插入有机玻璃防护屏中心孔内，并拧入铝合金源壳螺栓孔中。 ^{90}Sr 具有较长半衰期，核医学科医生诊断后，根据患者患处的实际情况，设置敷贴治疗时间，敷贴治疗完成后，收回敷贴源，经过消毒处理后再供其他患者使用。

2) 诊疗流程与产污分析

① 接诊患者，确认需要实施敷贴治疗；

② 根据诊断情况，核算敷贴治疗时间；

③ 医生告知患者可能受到的辐射危害后，采用防护材料（如橡皮或塑料等）将病灶周围正常皮肤覆盖，避免受到不必要的照射。然后在敷贴器下放一层玻璃纸，用胶布或绷带将敷贴器固定于病变处，再将敷贴器上面放置大于敷贴器面积的防护材料并固定，记录敷贴时间。

④ 医生为患者完成敷贴，医生收回敷贴源，患者沿就诊路线离开医院。

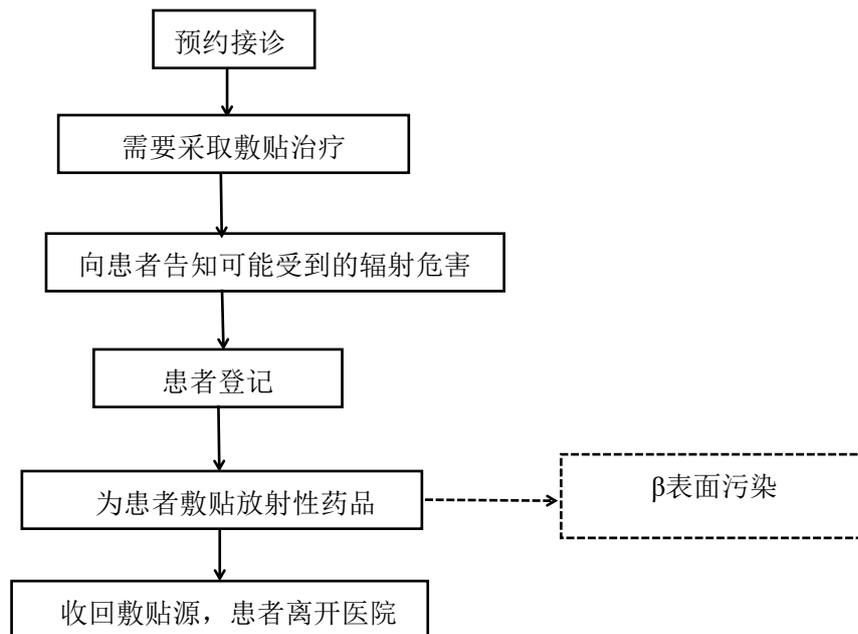


图9-16 敷贴治疗的工作流程与产污环节图

(5) 核医学科门诊治疗路径规划

1) 工作人员路径

①甲亢、骨转移瘤治疗工作人员路径:工作人员从核医学科东侧入口经等候大厅先后进入缓冲通过间、分装室,分装、给药操作完成后原路径离开核医学科。

②甲功和敷贴治疗工作人员路径:工作人员从核医学科东侧入口经等候大厅后,右转分别进入甲测室和敷贴治疗室,患者给药/检测工作完成后原路返回。

2) 患者路径

①甲亢、骨转移瘤治疗患者路径:从核医学科东侧入口进入等候大厅,先在护士站签到后,在候诊大厅等候,根据语音广播通知后向西直行到敷贴治疗室门口左转进入服药/注射室,患者受药后经走道进入留观/抢救室留观,再从患者出口离开核医学科。

②甲功和敷贴治疗患者路径:从核医学科东侧入口进入等候大厅,先在护士站签到后,在候诊大厅等候,听到语音广播通知后向北分别进入甲功室和敷贴治疗室,经服药/治疗后,分别沿原路径离开核医学科。

本项目人流路径见附图 14。

3) 物流路径主要包括放射性药物进入核医学科门诊治疗区路径、放射性固体废物转运路径。

①放射性药物进入核医学科门诊治疗区路径

甲亢、甲功、骨转移瘤、敷贴治疗放射性药物经北侧核医学科北侧楼梯间进入核医学科一层后，在放射性废物暂存间门口与左转（向东）进入储源室，甲功、敷贴室用药从储源室铅柜内取用。

②放射性固体废物转运路径

拟在分装室北侧、服药室东北侧设放射性固体废物暂存间 3，在分装室、甲吸室、服药室放置放射性废物铅桶，用于收集服药过程中产生的放射性固体废物，在暂存间内打包后进行衰变处理，达到解控要求后作为医疗废物转移至医废暂存间暂存，最终交由有资质的单位处理。本项目放射性药物、放射性固体废物路径见附图 14。

上述人流、物流均有独立的路径，满足 HJ1188-2021 中关于“核医学设置相应物理隔离和单独的人员、物流通道”要求。

3) 放射性废水路径

核医学科门诊治疗区设计了专用管道收集留观卫生通过间、紧急淋浴间内产生的放射性废水，废水流向为自西向东、由南向北，最终自流进入核医学科楼外北侧的半衰期衰变池 1。放射性废水排水管道为防腐、管道内壁光滑的材质，管道走向自西向东、由南向北呈斜坡设计，能实现废水自流进入衰变池，具体见附图 27。

上述措施满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“核医学科工作场所应设置槽式或推流式废水衰变池，收集放射性药物操作、病房、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液”的要求。

4) 放射性废气路径

根据设计方案，建设单位拟在门诊治疗区内设 2 套排风管道，场所内排风管道起于患者出口缓冲间，止于核医学科楼北侧排风口，具体路径为患者出口缓冲间→留观/抢救室（卫生间）→服药注射室→放射性废物暂存间 3→分装室→储源室→进入北侧排风井→高效过滤装置→屋顶排放口。拟在分装室分装手套箱设 1 套独立的排风管道，排风管道经分装室手套箱（内含过滤装置）引出后，穿过影像诊断区墙体后向南沿医护走道直至南侧排风井后，经高效过滤装置过滤后排放。

根据核医学科一层通排风系统图（附图 24）可知，门诊治疗区各房间排风量大于通风量，拟在排风管道内设置止回阀，防止放射性废气及气溶胶对工作场所造成交叉污染，核医学科楼排风口 50m 范围内无其他建筑。综上，核医学科一层门诊治

疗区放射性废气处理措施满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中密闭和通排风要求：“①保持工作场所负压和各区之间的压差，使得工作场所气流由清洁区流向监督区再流向控制区；②应在手套箱设计独立排风系统，在每一个密闭设备顶壁安装活性炭过滤装置，经过滤装置处理后的废气经管道在楼顶经过活性炭吸附+高效过滤装置处理后排放；③使用回旋加速器制备放射性药物的场所设有单独的通风系统，加速器屏蔽区内有单独的排气管道，并呈负压状态”等相关要求；④通风系统排气口高于本建筑物屋顶，尽可能的远离了附近高层建筑。

4、病房治疗区

本项目拟在核医学科楼二层东部病房治疗区使用 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{111}In 、 ^{188}Re 、 ^{161}Tb 、 ^{223}Ra 用于肿瘤治疗。

（1） ^{131}I 甲癌治疗

1) 工作原理

放射性药物 ^{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 衰变时发射出射程很短的 β 射线和能量跃迁时发出的 γ 射线，从而对病变组织进行内照射治疗，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或破坏病变组织的目的，而邻近的正常组织吸收剂量很低，从而达到治疗目的。

2) 工作流程与产污分析

①诊断规划

甲癌治疗项目正式开展后，拟使用放射性药物 ^{131}I 进行治疗，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h。单日最大住院人数为 4 人，年最大就诊住院人数为 300 人。甲癌患者需住院 3~5 天后出院（放射性活度降至 400MBq 或距离患者体表 1m 处的周围剂量当量率不大于 25 $\mu\text{Sv/h}$ ），待有床位空余后安排下一批次甲癌患者就医。甲癌治疗核素单人次最大使用量为 $5.55 \times 10^9 \text{Bq}$ （150mCi）。

②工作流程

A、外购药物

本项目计划使用放射性核素 ^{131}I 进行甲癌治疗，工作人员根据临床所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物以货包形式送达核医学科病房治疗区，专人接收放射性药品，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室内。

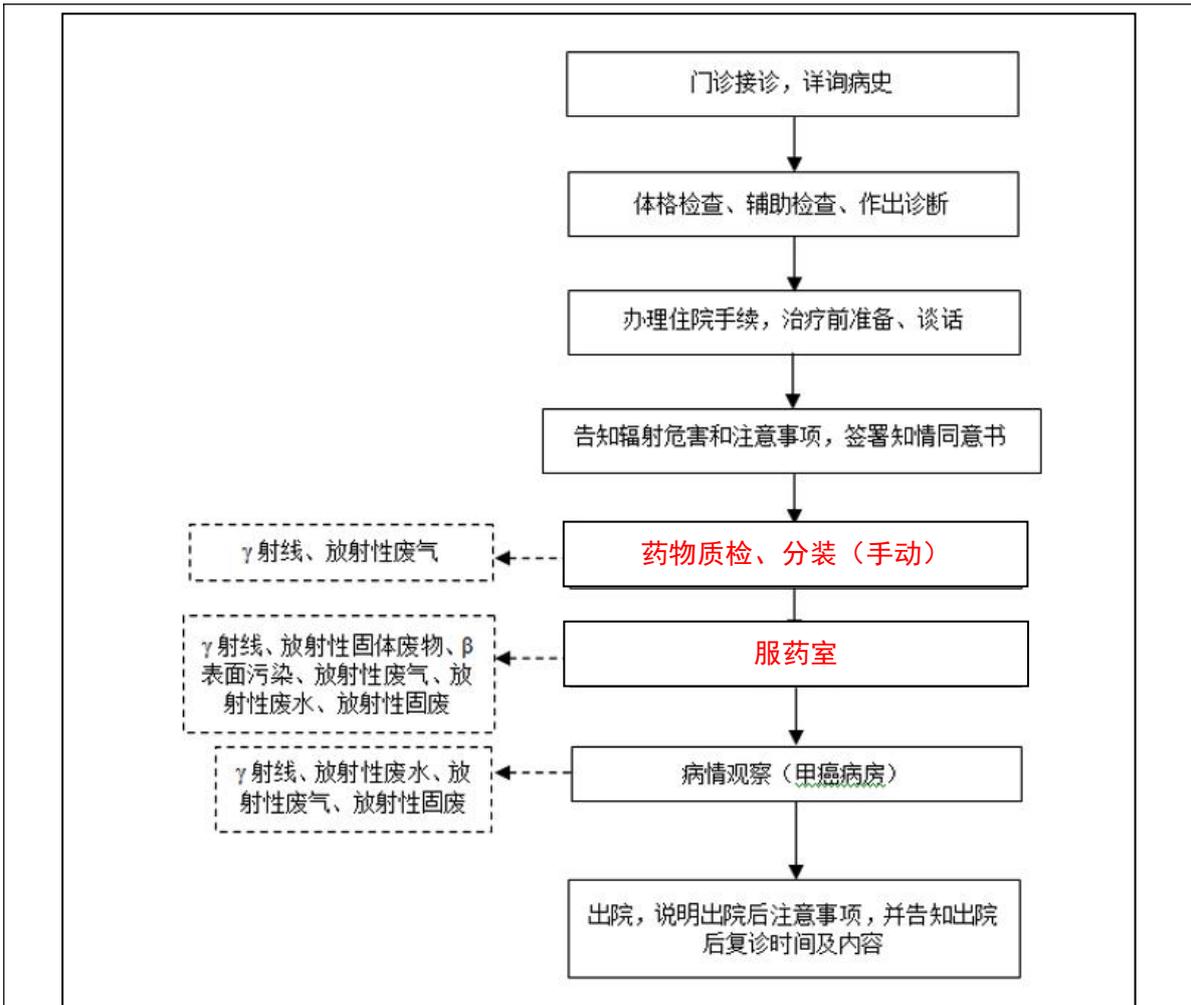


图 9-17 ^{131}I 甲状腺治疗项目工作流程及产污环节分析示意图

B、药物质控

^{131}I 在每天使用前, 注射人员将抽取一定操作量的核素进行质检。质检过程在分装注射室的手套箱 (50mmPb) 内完成。质控工作人员 (注射工作人员) 在手套箱内将待检药物用注射器吸取一定量 ^{131}I 核素, 检验药物的 pH 值、形态等, 经检验满足《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, 方开展后续工作。

C、药物分装

工作人员在收到放射性药物后, ^{131}I 甲状腺治疗医护人员在分装配药室内进行手动分装, 分装好的药物经过测活后, 装入铅防护罐中, 通过传药窗将药物交给患者服用。

D、指导服药/注射

接受甲状腺治疗的患者进入服药室, 接过铅防护罐后按照医护人员指导的方法进行服药。

E、服药后治疗

甲癌患者在服药室内服药后，在医护人员的指导下进入甲癌病房住院治疗，甲癌患者出院前需在 SPECT-CT 机房进行甲扫检查。

F、出院

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）4.5 中要求：甲癌患者经检测患者体内放射性活度降低至 400MBq 或距离患者体表 1m 处的周围剂量当量率不大于 25 $\mu\text{Sv/h}$ 后可离开隔离病房出院。甲癌患者从核医学科病房治疗区东南侧患者电梯离开核医学科。

(2) ^{177}Lu 前列腺癌治疗

1) 工作原理

^{177}Lu 专门用于所谓的肽受体放射性药物治疗，用于治疗晚期前列腺癌的药物包含同位素 ^{177}Lu 和前列腺癌细胞表面上的前列腺特异性膜抗原(PSMA)结合的蛋白质，可以识别位于癌细胞表面并与之结合的靶向受体，放射性成分附着在这种蛋白质载体上，从而将放射性药物靶向递送至恶性细胞。镥-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。

2) 操作流程及产污分析

①医院根据与患者预约情况提前向药物供货商订 ^{177}Lu 注射液，由药物供货商负责药物运输至核医学科楼二层东部病房治疗区储源室。

②患者先在护士站登记并提前入厕，然后医生根据患者情况进行分装配制药物，并将分装后的药物吸入有铅防护的注射器中。

③医生通知患者进入服药室，按配送的药物直接给每个患者注射，不用稀释分装。注射药物时，工作人员手持注射器，隔着铅玻璃对患者进行注射。

医院每天最多接诊 ^{177}Lu 病例 3 例，预计每名患者所使用 ^{177}Lu 的活度不超过 $7.40 \times 10^9 \text{Bq}$ (200mCi)。接受 ^{177}Lu 治疗的患者用药后在 ^{177}Lu 病房住院观察，一般住院 3~5 天即可离开医院。 ^{177}Lu 前列腺癌治疗流程见图 9-18。

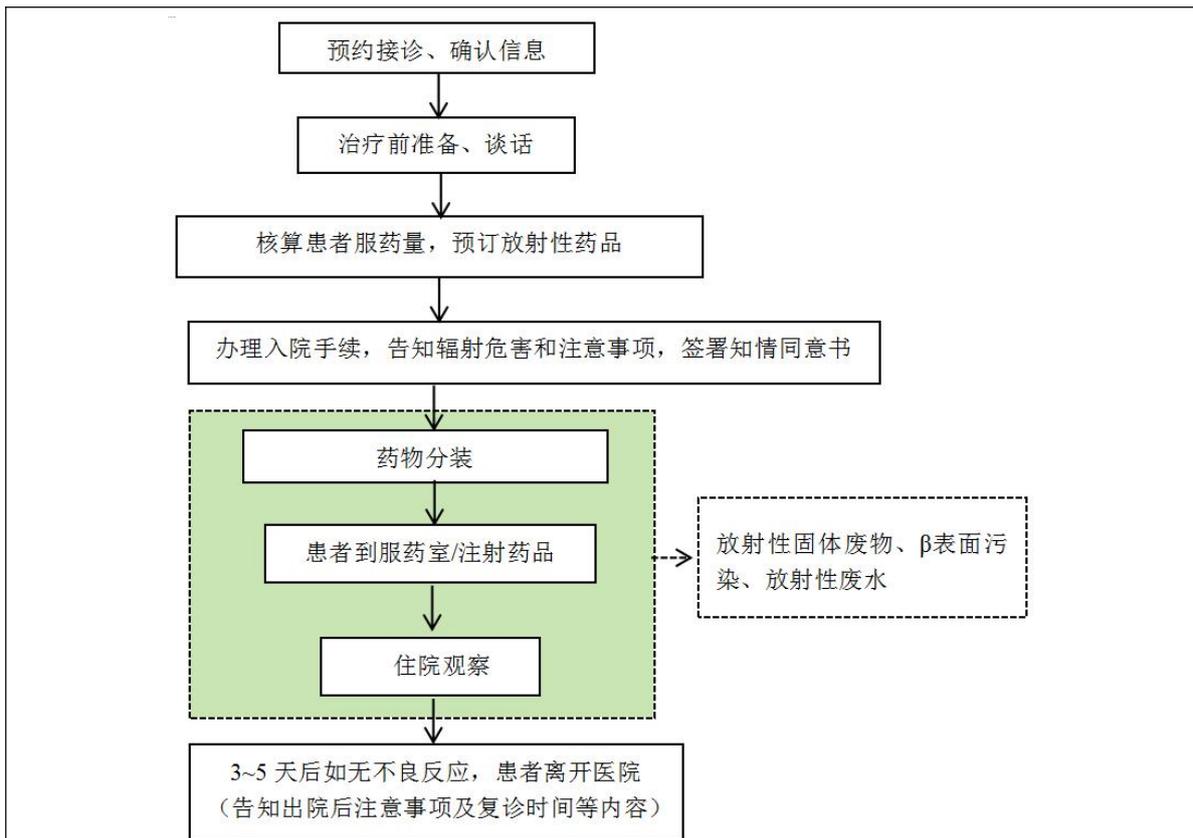


图 9-18 ^{177}Lu 前列腺癌治疗流程图

(3) 其他核素治疗

1) 工作原理

镭-225:镭-225 为 α 治疗核素，半衰期为 10 天。主要发射 α 辐射，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，在镭 ^{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。镭-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: 利用镭-223 进行疾病治疗，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 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。镭-223 药物为 α 治疗核素，用于肿瘤骨转移治疗。

铟-111、铯-161、铯-188: 铟-111、铯-188、铯-161 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。铟-111 为 β 治疗核素，其标记物主要用于治疗垂体腺瘤。铯-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，铽-161 在肿瘤治疗方面比镭-177 更有效。铈-188 主要用于治疗前列腺癌。

2) 工作流程及产污环节

需要铟-111、铽-161、镭-223、铈-188、镅-225 治疗的患者在核医学科病房治疗区服药室窗口接受注射，注射完毕后分别在病房内留观。治疗流程及产污环节见图 9-19~图 9-20。

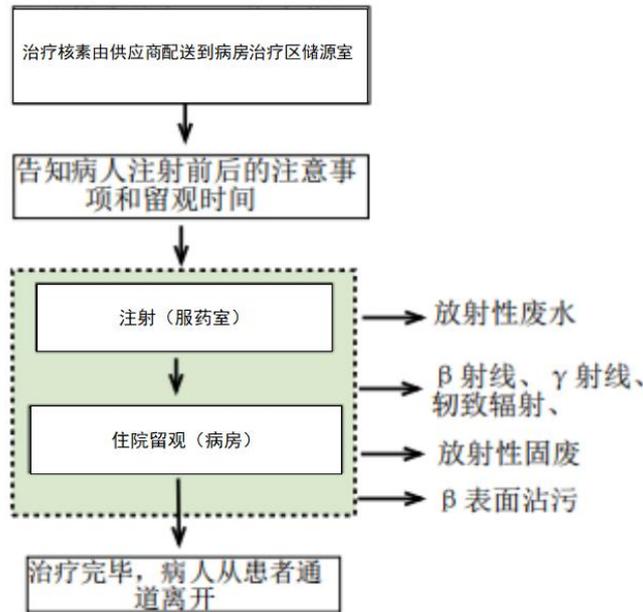


图 9-19 铟-111、铽-161、镭-223 和铈-188 治疗工艺流程及产污环节示意图

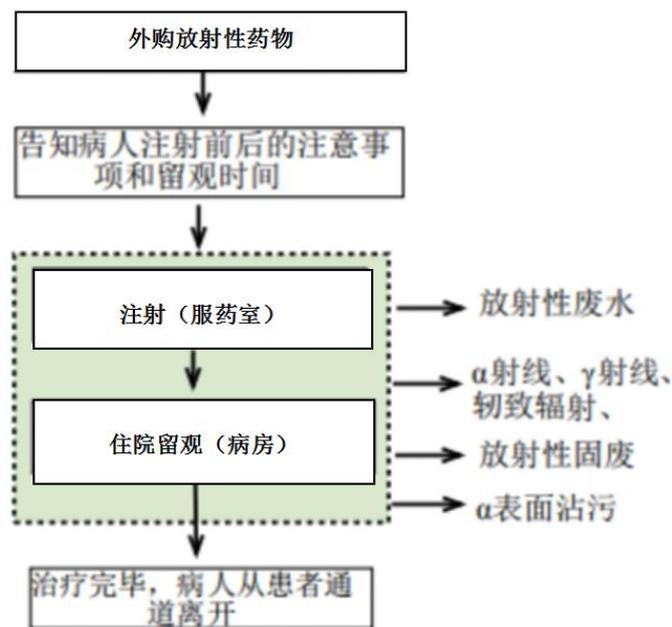


图 9-20 镅-225 治疗工艺流程及产污环节示意图

(4) 核医学科病房治疗区路径规划

1) 工作人员路径

医护人员从核医学科西南侧医护电梯经医生门厅后，向左转（向北）直行，经卫生通过间后进入分装配药室。分装、给药操作完成后原路径离开核医学科。

3) 患者路径

患者从核医学科西北侧患者电梯直行到护士站，在护士站办理相关手续，并签到后，经缓冲间进入病房治疗区，患者服药/注射后，进入病房内进行住院留观，患者达到出院要求后，再从东南侧患者出口离开核医学科。

本项目人流路径见附图 15。

3) 物流路径主要包括放射性药物进入核医学科病房治疗区路径、放射性固体废物转运路径。

①放射性药物进入核医学科病房治疗区路径

核医学科二层病房治疗区放射性药物经北侧患者电梯进入核医学科二层后直行到护士站登记后，在护士的指导下经医护走道（向南）直行经到储源室门口，交由病房治疗区储源室内接药的工作人员，由工作人员暂存到储源室的铅柜中。

②放射性固体废物路径

建设单位拟病房治疗区设 2 个放射性废物暂存间，分别为拟在分装配药室东北侧的放射性废物暂存间 1 和病房 10 南侧放射性废物暂存间 2。其中放射性废物暂存间 1 主要暂存功能辅助区内的放射性固体废物和废活性炭，产生的放射性固体废物由分装配药室、储源室→放射性废物暂存间 1，在暂存间内打包后进行衰变处理，达到解控要求后，经过病房区出口走道后，进入污物电梯作为医疗废物转移至医废暂存间暂存，最终交由有资质的单位处理；放射性废物暂存间 2 主要收集病房 1~病房 10、服药/注射室、治疗兼抢救室内产生的放射性固体废物，路径方向为由北向南，经过收集后的放射性固体废物在暂存间 2 内打包后进行衰变处理，达到解控要求后，经过病房区出口走道后，进入污物电梯作为医疗废物转移至医废暂存间暂存，最终交由有资质的单位处理。**本项目放射性药物、放射性固体废物路径见附图 15。**

上述人流、物流均有独立的路径，满足 HJ1188-2021 中关于“核医学设置相应物理隔离和单独的人员、物流通道”要求。

3) 放射性废水路径

核医学科病房治疗区采用专用管道收集分装注射室紧急淋浴、卫生通过间、核医学科病房卫生间产生的放射性废水，废水流向为自西向东、由南向北，最终自流进入核医学科楼外北侧的衰变池 1。放射性废水排水管道为防腐、管道内壁光滑的材质，管道走向自西向东、由南向北呈斜坡设计，能实现废水自流进入衰变池，具体见附图 25。

上述措施满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“核医学科工作场所应设置槽式或推流式废水衰变池，收集放射性药物操作、病房、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液”的要求。

4) 放射性废气路径

根据设计方案，建设单位拟在病房治疗区内设 5 套排风管道，分别为治疗病房区、功能辅助区、分装手套箱、医生办公及其他区。其中治疗病房区排风管道路径为患者出院缓冲间→出院电梯厅→放射性被服暂存间→放射性废物暂存间 2→病房 10→病房 1→北侧排风井→高效过滤装置→屋顶排放口；功能辅助区排风管道路径为治疗抢救间→服药/注射室→卫生通过间（含沐浴间）→分装配药室→储源室及放射性废物暂存间 1→北侧排风井→高效过滤装置→屋顶排放口；拟在分装配药室手套箱处和服药/注射室预留通风柜各设 1 套独立的排风管道，排风管道经手套箱/通风柜（内含过滤装置）引出后，向南沿病房区患者走道直至南侧排风井后，经高效过滤装置过滤后排放；拟在医生办公及其他区域内设一套排风系统，路径从被服间→护士站→示教室→办公室→医生办公室→主任办公室→护士办公室→值班室（2 间）→（男、女）更淋间→休息就餐室→南侧排风井→楼顶排放口。

根据核医学科二层通排风系统图（附图 25）可知，病房治疗区各房间排风量大于通风量，非放射性区域与放射性区域分开布置，拟在排风管道内设置止回阀，防止放射性废气及气溶胶对工作场所造成交叉污染，核医学科楼排风口 50m 范围内无其他建筑。综上，核医学科影像诊断区放射性废气处理措施满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中密闭和通排风要求：“①保持工作场所负压和各区之间的压差，使得工作场所气流由清洁区流向监督区再流向控制区；②应在手套箱设计独立排风系统，在每一个密闭设备顶壁安装活性炭过滤装置，经过滤装置处理后的废气经管道在楼顶经过活性炭吸附+高效过滤装置处理后排放；③使用回旋加速器制备放射性药物的场所设有单独的通风系统，加速器屏蔽区内有单独的排气管

道，并呈负压状态”等相关要求；④通风系统排气口高于本建筑物屋顶，尽可能的远离了附近高层建筑。

（二）介入手术室

1、设备组成及工作原理

DSA 是影像增强器技术、电视技术和计算机科学技术相结合的产物，是应用最多的数字化 X 射线透视设备。DSA 主要由带有影像增强器电视系统的 X 射线诊断机、高压注射器、电子计算机图像处理系统、治疗床、操作台、磁盘或磁带机和多幅照相机组成。

DSA（数字减影血管造影装置）是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，它是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同的信号，得到一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来。且对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示；由于造影剂用量少，浓度低，损伤小、较安全。通过医用血管造影 X 射线机处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

2、设备主要信息及参数

医院拟在影像科介入手术室内使用 1 台 DSA(型号待定),最大管电压为 150kV、最大管电压为 1000mA,具有不同厚度的过滤片(分别为 0.2mm、0.3mm、0.6mm、0.9mm),在手术过程中根据需要采用两种以内的过滤片进行组合,设备 X 射线管的过滤材料为铜。

3、诊断及治疗流程简述

DSA 在进行曝光时分为拍片和透视两种情况,对应的介入治疗流程及产污图见图 9-21。

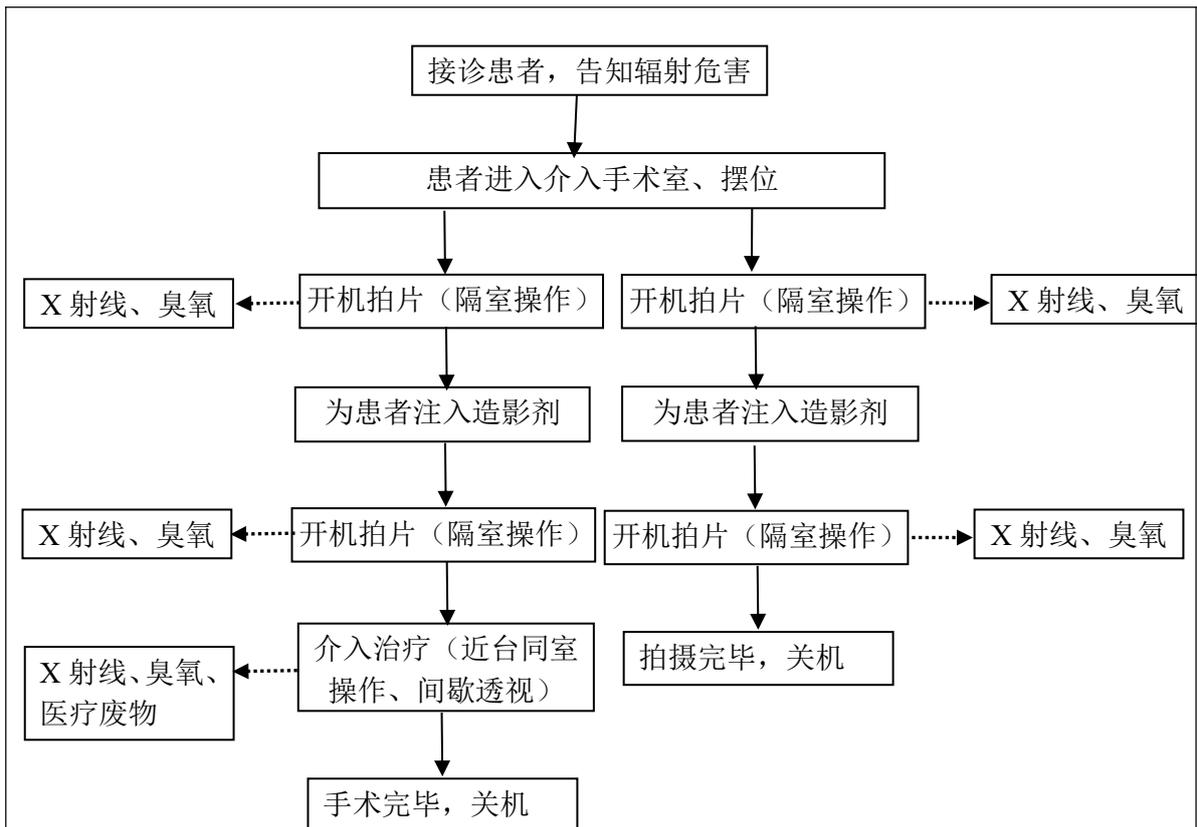


图 9-21 DSA 介入治疗流程及产污环节示意图

(1) DSA 拍片检查

DSA 检查采用隔室操作方式，通过控制 DSA 的 X 线系统曝光，采集造影部位图像。具体方式是受检者位于检查床上，医护人员调整 X 线球管、人体、影像增强器三者之间的距离，然后进入控制室，关好防护门。医师、操作人员通过控制室的计算机系统控制 DSA 的 X 系统曝光，采集造影部位图像。医师根据该图像确诊患者病变的范围、程度，选择治疗方案。

(2) DSA 介入治疗

DSA 介入治疗采用近台同室操作方式。通过控制 DSA 的 X 线系统曝光，对患者的部位进行间歇式透视。具体方式是受检者位于手术床上，介入手术医师位于手术床一旁，距 DSA 的 X 线管 0.5~1.0m 处，在非主射束方向。医护人员在进入介入手术室前穿戴个人防护用品（如铅防护衣、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅内裤、介入防护手套等），手术床旁设有屏蔽挂帘和移动式防护帘，介入手术医生位于屏蔽铅帘和移动式防护帘后方。介入治疗中，手术医生根据操作需求，踩动手术床下的脚踏开关启动 DSA 的 X 线系统进行透视（DSA 的 X 线系统连续发射 X 射线），通过悬挂显示屏上显示的连续画面，完成介入手术操作。每台手术 DSA 系统的 X 线

系统进行透视的次数及每次透视时间因患者的部位、手术的复杂程度而不同。介入手术完后关机，患者离开介入手术室。

4、产污环节

医院拟在介入手术室使用 1 台 DSA，属于 II 类射线装置。产污环节为：在注入造影剂之前拍片产生的 X 射线和臭氧，注入造影剂之后拍片产生的 X 射线和臭氧，介入治疗过程中间歇透视产生的 X 射线和臭氧。在手术时，产生医疗包装物和容器和药棉、纱布、手套等医疗废物。注入的造影剂不含放射性，同时射线装置采用先进的数字显影技术，不会产生废显影液、废定影液和废胶片。

5、本项目医护人员、患者、污物路径分析

医护人员路径：本项目医护人员从扩大前室经过医护更衣室、清洁走廊后，进入 DSA 控制室，再进入对应的介入手术室 1。手术结束后，按照原路径返回。

患者路径：患者在陪护人员陪同下，从扩大前室进入后，经过清洁走廊，进入预麻/复苏间换床，从患者进入门进入介入手术室接受手术，手术结束后原路径返回。

污物路径：手术过程中产生的医疗废物经打包后，在污物暂存间内暂存。

本项目医生、患者、污物路径示意图见图 35。

（三）III 类射线装置工艺流程及污染源分析

（1）设备组成及工作原理

本项目使用 III 类射线装置有 2 台 SPECT-CT 和 1 台 PET-CT，均由 X 射线诊断机和其他部件组成。X 射线诊断机主要由 X 射线管、供给管电压的高压发生器、控制 X 射线质量和曝光时间的控制装置、影响采集装置等。

X 射线管：X 射线管是用来产生 X 射线的射线源，是 X 射线诊断设备的核心部分。X 射线管是玻璃外壳的真空二极管。它的阴极是由钨丝烧成，当通以电流加热时，钨丝就在白炽状态下释放出自由电子。电子在阳极高电压作用下不断加速，撞击阳极而产生 X 射线。X 射线管的主要参数有灯丝加热电压、灯丝加热电流、最高管电压、最大管电流、最长曝光时间、标称功率等。X 射线管被包在特殊的管套内。X 射线管套包有铅屏蔽层以防止无用 X 射线泄漏，其 X 射线出束窗口除了材质本身的固有过滤外，还设置附加过滤片，以过滤去除低能 X 射线。

高压发生器：高压发生器的作用是把输入的交流电变成 X 射线管所需的直流电，

并给 X 射线管灯丝提供加热电压。医用 X 射线诊断机输出管电压一般为 30kV 至 150kV，摄影时管电流可达数百毫安，但工作时间很短。

控制台：控制台主要通过连接电路实现对 X 射线管主要曝光参数（管电压、管电流、曝光时间等）的调节和控制。

影像装置：医用 X 射线诊断机靠终端的影像装置提供诊断信息。影像接收器根据 X 射线诊断机的具体功能与用途进行配置，如：荧光屏、电视设备、摄影设备、成像板、平板探测器及其他影像装置。

(2) 检查流程

医用诊断 X 射线机基本组成包括：X 射线管装置、高压发生装置和控制装置。这类射线装置诊断（检查）流程类似，概括起来包括：患者候诊准备、向患者告知可能受到的辐射伤害、填写病例表信息、患者进入机房、关闭屏蔽门开启安全联锁、安排好患者位置、设定能量、X 光机开机、数字成像、诊断。

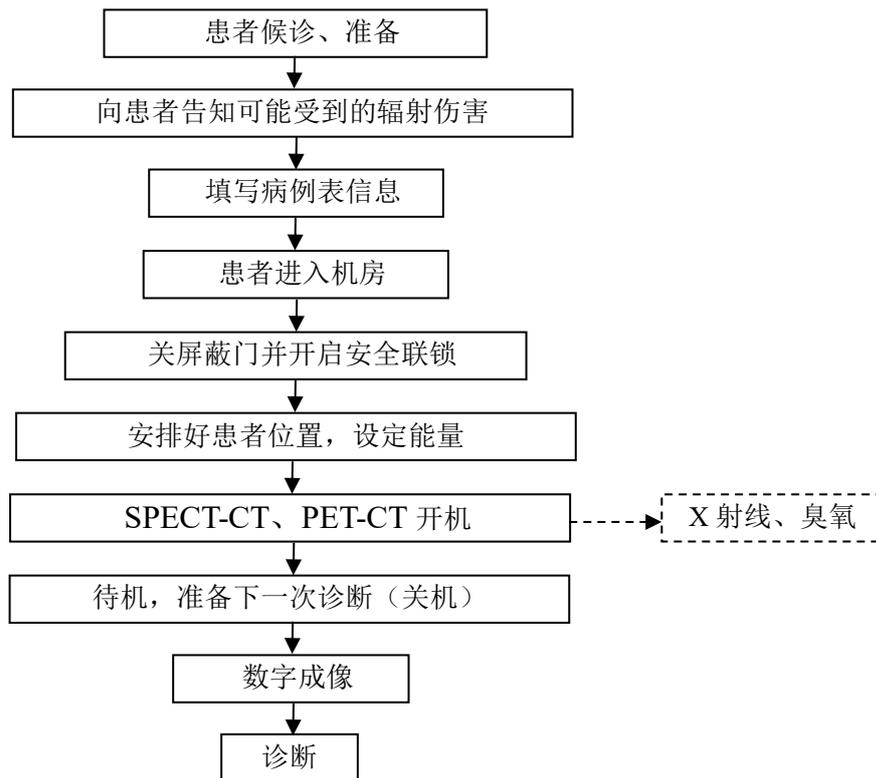


图9-22 医用X射线诊断流程及产污环节图

(3) 产污环节

由 X 射线装置的工作原理可知，电子枪产生的电子经过加速后，高能电子束与靶物质相互作用时产生韧致辐射，即 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量。这种 X 射线是随机器的开、关而产生和消失。本项目使用的 X 射线装置在非诊疗状态

下不产生 X 射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。

污染源项描述

（一）施工期

1、污染源项

本项目施工期没有辐射污染源项，施工内容主要为装修和设备、防护设施安装，工程量小，施工时间短，非放射性物质产生量较小。

2、非放环境影响因子

施工期非放环境影响因子主要是：废气、废水、噪声和固体废物。

（二）运行期

1、放射性药物制备污染源项分析

回旋加速器制药过程中污染因子主要为放射性药物生产过程中产生的中子、 γ 射线和 β 表面污染等，还有含放射性药物的气态、液态和固体废物，此外还会产生少量的臭氧及氮氧化物。根据工艺流程，具体分析污染物和污染途径如下：

（1）贯穿辐射

回旋加速器在制备药物过程中，高速质子与靶物质作用伴随产生中子，中子与靶、部件、屏蔽体等物质相互作用会放出 γ 射线，中子和 γ 射线具有较强的穿透力，如果对其屏蔽不好则可以穿过屏蔽墙、防护门、屋顶等对工作人员和公众产生一定辐射危害。

在进行药物合成分装、淋洗、交接、传输等操作时，核素衰变时会发出 β^+ 射线以及发生正电子湮灭产生的 γ 射线， β^+ 的最大能量为 1.8991MeV， β^+ 在空气中存在时间极短，极易与空气的电子结合(湮灭)而转化为两个 γ 射线光子(能量为 0.511MeV)。

核素制备、合成分装均为自动控制，以上过程中工作人员在加速器控制室进行监控，淋洗、分装均在热室柜中进行，工作人员受到的辐射影响较小。贯穿辐射主要来自质控及传递运输放射性同位素药物过程中。制药区无公众进入，回旋加速器打靶运行、药物转运过程中周围公众活动量很小，对公众造成影响的可能性较小。

（2）空气活化产物

粒子与稳定的非放射性药物作用发生核反应，生成放射性的核素，称该非放射性药物被活化。活化产物决定因素主要包括：中子发生率和能量、空气的组成、核

反应截面、粒子在空气中的行径（自靶点至墙内表面的距离）。回旋加速器在运行期间，中子活化空气产生的活化产物主要为 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{41}Ar 。

这些核素均为 β 、 γ 衰变体，其中 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 半衰期很短，在很短时间内即可发生衰变，故可以不予考虑。主要考虑 ^{41}Ar 的影响，由于空气中可以生成 ^{41}Ar 的 ^{40}Ar 含量仅为1.3%，加上产生 ^{41}Ar 的活化反应截面很小，所以 ^{41}Ar 的生成率极其微小。

（3）表面污染

工作人员在对含有放射性药物制剂的各种操作中，可能会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等发生放射性沾污，造成放射性表面污染。

（4）放射性废物

①放射性废气

在放射性药物打靶生产、淋洗操作、合成分装、质控时，药物挥发产生的含放射性同位素的废气。

②放射性废水

核素制备场所中回旋加速器制备放射性药物的过程是在密闭系统中进行的，回旋加速器的水冷系统使用循环水，冷却水不外排不产生废水。药物医护人员去污、应急洗消、场所清洗时产生一定量的放射性废水。

③放射性固废

核素制备场所中回旋加速器制备放射性药物的过程是在密闭系统中进行的，产生的放射性固体废物主要有合成分装、淋洗、质控过程中产生的固体废物，定期更换的废活性炭和废高效过滤装置，制药过程中产生的废靶部件（膜、片、活化部件等）。

2、核素诊断、治疗项目污染源项分析

（1） γ 及 β 射线

药物在质控、分装、测活、注射、注射后候诊、扫描、留观、病房住院等过程中产生的 γ 射线及 β 射线。

（2） β 放射性表面污染

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

(3) 放射性废气

在放射性药物合成、质控、分装、测活时，药物挥发产生的含放射性同位素废气。

(4) 放射性废水

含有放射性同位素的患者排泄物、工作场所清洗废水等。

(5) 放射性固废

本项目放射性固废主要为工作人员操作过程产生的服药杯子、污染物的注射器、针头、手套、棉签、纱布、破碎杯皿、擦拭污染物地面的物品、更换的废活性炭和高效过滤装置等放射性废弃物。

(6) 放射性同位素衰变子体

本项目使用的放射性同位素中，大多数同位素经过一次衰变后能够达到稳定状态，但是 Th-227、Ac-225 其子体存在多级衰变后才能达到稳定状态。

①Th-227 衰变链

核素 Ra-223 半衰期为 11.43d，衰变产生的子体有 Rn-219、Po-215、Pb-211、Bi-211、Po-211、Tl-207。Th-227 经过多次 α 衰变，最终生成稳定的 Pb-207。Th-227 首先经 α 衰变，放出 5.9MeV 的能量，生成半衰期为 11.43d 的子体 Ra-223。Ra-223 经 α 衰变，放出 5.7MeV 的能量，产生半衰期为 3.96s 的子体 Rn-219。Rn-219 经 α 衰变，放出 6.8MeV 的能量，生成半衰期为 1.78ms 的子体 Po-215。Po-215 经 α 衰变，放出 7.4MeV 的能量，生成半衰期为 36.1min 的子体 Pb-211。Pb-211 为 β^- 发射体，经过衰变后产生半衰期为 2.14min 的子体 Bi-211。Bi-211 最主要的衰变是通过 α 衰变，放出 6.6MeV 的能量，生成半衰期为 4.77min 的 Tl-207。Tl-207 最后经过 β^- 衰变产生稳定的 Pb-207。Bi-211 另一条次要的衰变途径是先经 β^- 衰变产生半衰期为 516ms 的子体 Po-211。最后 Po-211 经 α 衰变，生成稳定状态的 Pb-207。Ra-223 衰变链见下图。

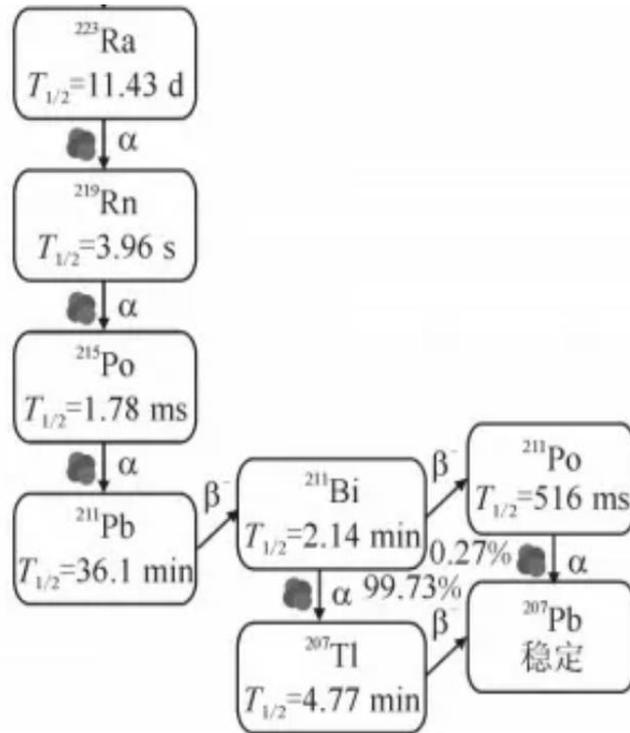


图 9-23 Ra-223 衰变系衰变链

②Ac-225 衰变链

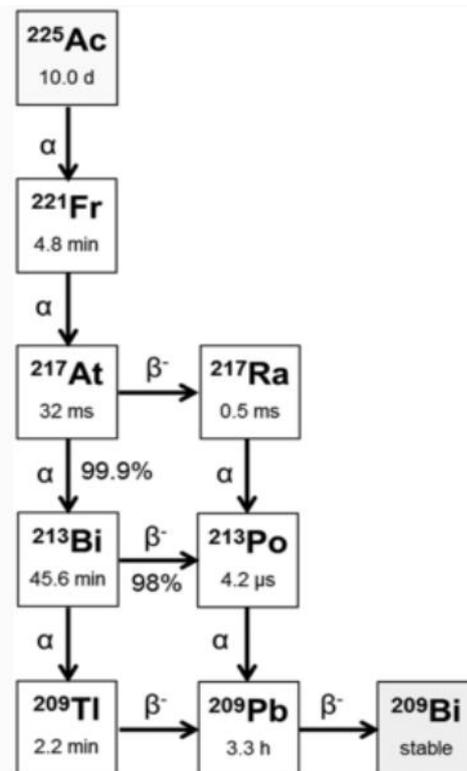


图 9-24 钍-225 衰变系衰变链

根据上图可知，Ac-225 半衰期为 10.0d，产生的放射性同位素子体有

Fr-221、At-217、Bi-213、Po-213、Pb-209 和 Bi-209。Ac-225 经过多次 α 衰变和 β —衰变后，最终生成稳定的 Bi-209。Th-227 首先经 α 衰变，生成半衰期为 4.8min 的子体 Fr-221。Fr-221 经 α 衰变，产生半衰期为 32ms 的子体 At-217。At-217 中 99.9%经 α 衰变，生成半衰期为 45.6min 的子体 Bi-213。Bi-213 子体中 98%进行 β —衰变后，产生半衰期 4.2us 的 Po-213，Po-213 经过 α 衰变、产生半衰期 3.3h 的 Pb-209。At-217 另一条衰变经过 β —衰变后，产生半衰期为 0.5ms 的子体 Ra-217，Ra-217 经 α 衰变，产生半衰期 4.2us 的 Po-213。Bi-213 子体另一条衰变经 α 衰变后，产生半衰期 2.2min 的 Tl-209，经过 β —衰变后，产生半衰期为 3.3h 的 Pb-209，Pb-209 经过 β —衰变后，生成稳定状态的 Bi-209，Ac-225 衰变链见下图。

(3) 小结

根据上述衰变链，本项目使用的Ra-223、Ac-225放射性同位素中含有Rn- 219、Po-215、Pb-211、Bi-211、Po-211、Tl-207多种子体，Ac-225放射性同位素中含有Fr-221、At-217、Bi-213、Po-213、Pb-209和 Bi-209。本项目Ra-223、Ac-225衰变产生的子体半衰期均较短，且子体主要发生衰变与Th-227、Ra-223、Ac-225衰变特性相似，主要发生 α 衰变，释放的能量较低，射线射程较短，对环境的影响较小。因此，后文不再考虑衰变产生的子体对周围环境的影响。

3、非放射性污染物

本项目非放射性污染物主要为电离辐射产生的O₃、NO_x等废气；工作人员产生的生活污水；工作人员产生的办公垃圾和生活垃圾；主要设备运行过程中产生的噪声以及排风系统风机产生的噪声。

4、DSA设备对周围环境的影响

(1) 电离辐射

DSA 在开机状态下产生的 X 射线，不开机状态下不产生 X 射线。

(2) 废气

DSA 曝光过程中臭氧产生量很小，建设单位拟在影像科设专用通排风系统，产生的臭氧通过排风管道引出后进入排风井，经排风井引至楼顶排放，经自然分解和稀释后对环境的影响较小。

(3) 固体废物

①本项目 DSA 采用数字成像，不打印胶片，因此不会有废胶片产生。

②手术时产生一定量的医用器具和药棉、纱布、手套、废造影剂、废造影剂瓶等医用辅料及手术垃圾。这些医疗废物应严格按《医疗废物管理条例》的要求分类暂存于医疗废物暂存间，统一收集后交由有资质的单位处置。

③本项目介入手术室拟配置 10 名辐射工作人员，均为医院新增辐射工作人员，每人每天产生办公垃圾和生活垃圾约 0.5kg，则每年办公垃圾和生活垃圾产生量约 1.25t，工作人员产生的生活垃圾和办公垃圾不属于医疗废物，医院按照当地管理部门要求，进行统一收集后由环卫部门统一定期清运。

因此，本项目产生固废均得到合理处置，不会对周围环境产生明显影响。

(4) 废水

本项目运行后，废水主要为辐射工作人员和患者产生的生活污水和医疗废水。项目辐射工作人员和患者产生的生活废水和医疗废水，依托医院已建的污水处理站，项目产生的废水经过污水处理站处理达《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表2中预处理标准后，外排市政污水管网。

(5) 噪声

本项目所有设备选用低噪声设备，噪声主要为空调噪声和通排风系统，最大源强不超过 65dB（A），通过建筑墙体隔声及距离衰减后，运行期间厂界噪声可达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2 类标准要求。

(6) 造影剂的存储、泄露风险

造影剂（碘海醇）是介入放射学操作中最常使用的药物之一，医院将外购造影剂采用不锈钢药品柜作为普通药品单独密封保存；未使用完和过期的造影剂均作为医疗废物处理；在进行介入手术时，使用带托盘的不锈钢推车进行运送。在使用造影剂前由药剂师进行剂量核算后护士取药，医生用高压注射器按照血液流速注入病人血管内，在 X 射线的照射下达到血管造影的目的，最后由泌尿系统排除体外。医院未使用完和过期的造影剂作为医疗废物进行处理。造影剂不属于重金属和其他持久性有机物，不存在泄露风险。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、工作场所布局与分区

成都医学院第一附属医院拟在新院区新建核医学科和介入手术室，其中核医学科为一栋地上二层、地下一层的独栋矩形建筑，介入手术室位于综合楼一层影像科内。医院拟在核医学科在负一层中部新建放射性药物制备区，在一层南部新建影像诊断区，在一层北部新建门诊治疗区，在二层东侧新建病房治疗区。

1、核医学科楼负一层平面布置

在核医学科负一层放射性药物制备区，西侧为核医学科楼外采光井，南侧、东侧、北侧均为人员通道，放射性药物制备区独立成区。在放射性药物制备区南侧通道外为两间南北排列的预留用房及其他配套用房；东侧通道外自南向北依次为污物暂存间、汇聚机房、预留真空泵房、净化机房、高压细水雾机房纯水机房、医护休息室；北侧通道外自东向西依次为医生办公室、污水提升机房、预留房间等。

核素通道、药梯将放射性药物制备区分为南北排列的放射性药物生产区、放射性药物物质控区。放射性药物生产区回旋加速器机房、热室和固体靶室为紧邻的品子形布局，在回旋加速器和热室南侧，主要有回旋加速器操作室、配电室、更衣室、缓冲间、疏散走道、物料缓冲间、化学品库、灭菌间、洁具间、退更检测间、卫生间等；在固体靶室东侧、热室北侧布置了外包间、留样间、包材及标签库；回旋加速器机房北侧紧邻耗材库、药梯污水提升机房和放射性废物暂存间。放射性物质控区为“回”字形布局，西侧为镜像布局为一更吸收、二更手消室；南侧为无菌检测室；北侧为阳性对照室；东侧为放化室和内毒室。核医学科负一层平面布局见附图 3。

2、核医学科楼一层平面布置

东西走向的 PET 影像诊断区患者通道和护士站将核医学科楼一层分为南北两个部分，南侧为核医学科影像诊断区、北侧为门诊治疗区，核医学科一层平面布局见附图 4。

(1) 影像诊断区平面平面布置

在影像诊断区内，医生走道将影像诊断区分为东、西两个部分，东侧为 SPECT 影像诊断区和患者走道，西侧为 PET 影像诊断区和患者走道，分装注射室和储源室为共用区域。在 PET 影像诊断区内，分装注射室、放射性废物暂存间 2、PET 注射后等待室（兼

抢救室)、PET-CT 检查室、控制室、PET-MR 检查室、PET 留观室和 MR 设备间自北向南呈“一”字排列;在 SPECT 影像诊断区内,运动负荷室北侧紧邻护士站、南侧紧邻分装注射室;分装注射室、放射性废物暂存间 1、SPECT 注射后等候室、SPECT-CT 检查室 1、控制室、SPECT-CT 检查室 2、SPECT 留观室和阅片室自北向南呈“一”字排列;影像诊断区南侧自西向东一次为患者及污物电梯、SPECT 患者出口通道、医护休息室、卫生间、医生门厅、医护电梯等。

(2) 门诊治疗区平面布置

在门诊治疗区内,核医学科等候大厅位于区域东侧中部,等候大厅南侧为护士站,北侧自东向西依次为接待/诊室、甲测室、清洁间、敷贴室、排风机房等;北侧为甲亢/骨转移治疗区域。在甲亢/骨转移治疗区域内,服药/注射室位中部,东侧由近及远为分装室、放射性废物暂存间和储源室、缓冲通过间和沐浴室;西侧由近及远依次为留观/抢救室(含厕所)、缓冲间;南侧为东西走向的 PET 患者走道;北侧为东西走向前往核医学科二层的患者通道。

3、核医学科楼二层平面布置

核医学科楼二层,患者电梯厅位于西北角,医护电梯厅位于西南角,患者出院、污物电梯位于东南角。核医学科楼二层南北走向的医生走道、患者走道将其分为三个区域,自西向东依次为医生办公区、功能辅助区和病房区。在中部功能辅助区自北向南依次为护士站、备餐间、储源室和放射性废物暂存间 1、分装配药室、卫生通过间和服药/注射室、治疗兼抢救间、UPS 间、休息就餐室等;东侧病房区域自北向南依次为被服间、病房 1~病房 10、放射性废物暂存间 2、污染被服暂存间;在医生办公区由北向南依次为示教室、办公室、医生办公室、主任办公室、护士办公室、值班室、更淋室等。核医学科二层平面布局见附图 5。

4、门急诊医技综合楼一层平面布置

本项目门急诊医技综合楼一层影像科,东西走向的医疗街和南北走向的门诊大厅、扩大前室呈“十”字形将门急诊医技综合楼一层分为四个区域。其中东北侧主要为急诊急救区,西北侧为一站式服务中心和儿科门诊区,东南侧为儿保中心和出院、医保、门诊办理区,东南区域为中心药房和影像科。在影像科西侧为医患电梯区,南侧为医生办公区,北侧主要为影像科射线装置设备区。射线装置设备区内,自西向东依次为 CT 室(含设备间)、控制室、乳腺钼靶室、DR 室、DSA 及配套用房;DR 室北侧由近及远

依次为 CT 设备间、CT(128 排)、图像处理室等；DSA 机房北侧由近及远依次为无菌间、MR 设备间、MR 室及配套用房等。

在本项目 DSA 机房（介入手术室）周围，西侧为影像科控制廊，南侧污物暂存间和设备间，东侧为控制室，北侧为无菌间和患者通道；DSA 机房正上方为部分医生走道、示教室、注射，正下方为地下停车长，均无人员长期驻留。

5、小结

综上所述，本项目涉及的各项辐射工作场所与非辐射工作场所相对独立，医护通道和病患通道分开，核医学科工作场所、射线装置使用场所相对比较集中，评价范围内保护目标较少。因此，本项目辐射工作场所布局合理。

二、辐射工作场所两区划分

1、控制区和监督区的划分

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范和管理工作，项目应当按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求在辐射工作场所内划出控制区和监督区，同时在地面设置行走箭头标识，严格规定各类人员的活动路径。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求有专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序如进入控制区的工作许可证和实体屏蔽（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区。放射性工作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查职业照射状况的区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标识；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

本项目控制区和监督区划分情况见表 10-1，两区划分示意图见附图 10~12。

表 10-1 项目控制区和监督区划分情况

项目	控制区	监督区
放射性药物制备区	回旋加速器机房（含迷路）、热室、固体靶室、传药梯、污水提升机房、放射性污物暂存间、阳性对 照室、无菌检测室、防化室、内毒室、衰变池 2	控制室、配电室、废物间、设备间、疏散走道、洁净走廊、沐浴室、退更室、洗衣整衣室、洁具间、物料缓冲室、灭菌室、化学品库、拆包室、核素通道、外包间、留样间、包材及标签库、全检质控室等

影像诊断区	分装注射室、传药梯、放射性废物暂存间 2、PET 注射后等候室（兼抢救室含卫生间）、PET-CT 检查室、PET-MR 检查室（含更衣间）、PET 留观室（含卫生间）、PET 患者走道，放射性废物暂存间 1、SPECT 注射后等候室（含卫生间）、运动负荷室（兼抢救室）、SPECT-CT 检查室 1、SPECT-CT 检查室 2、SPECT 留观室（含卫生间）、SPECT 患者走道、衰变池 2	缓冲间（4 间）、沐浴间、缓冲通过间、设备间、控制室（2 间）、MRI 设备间、阅片室、清洁间（2 间）、医护走道、医护休息室、卫生间等
门诊治疗区	储源室、分装室、服药/注射室、留观/抢救室（含卫生间）、敷贴室、甲测室、衰变池 1	缓冲通过间、沐浴间、患者出口缓冲间
病房治疗区	储源室、分装配药室、服药注射室、治疗兼抢救间、病房 1~病房 10（含卫生间）、放射性废物暂存间 1、患者走道、清洁间、放射性废物暂存间 2、放射性被服暂存间	被服间、缓冲间（2 间）、备餐间、卫生通过间（含沐浴）等。
介入手术室	介入手术室	污物间、设备间、控制室、无菌库房、走道、缓冲间、医护更衣间等

2、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，见图 10-1。

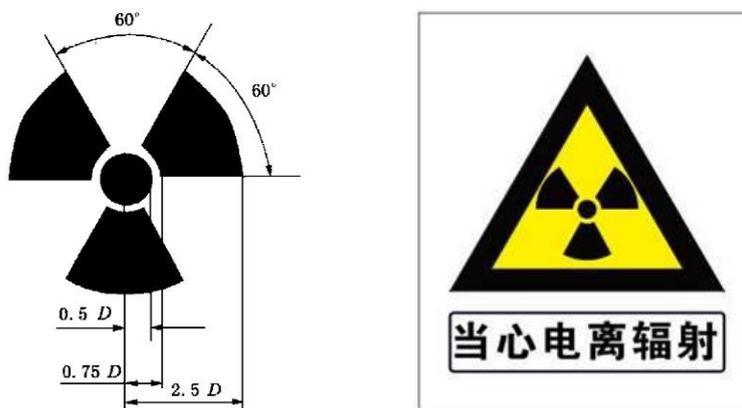


图 10-1 电离辐射标志和电离辐射警告标志

②制定职业防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序。

③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（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。

⑥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。

⑦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。

3、监督区防护手段与安全措施

①以黄线警示监督区为边界；

②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

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

三、辐射防护设施

(一) 核医学科辐射防护屏蔽设计

1、核医学科辐射防护设计要求

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的相关要求，核医学的工作场所按照核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录 G 进行分类（见表 10-4），不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的放射防护要求见表 10-2。

表 10-2 各功能区核素加权活度分类

核素名称	工作场所	日最大操作活度 (MBq)	毒性权重因子	操作性质修正因子	加权活度 (MBq)	综合加权活度 (MBq)	场所分类
放射性药物制备区（核医学科楼负一层中部）							
¹⁸ F	回旋加速器机房	7.40E+04	1	1	7.40E+04	3.52E+05	I 类
¹¹ C		3.70E+04	0.01	1	3.70E+02		
¹³ N		3.70E+04	1	1	3.70E+04		
⁶⁴ Cu		2.22E+03	100	1	2.22E+05		
⁸⁹ Zr		2.78E+03	100	1	2.78E+05		
¹⁸ F	热室、放射性废物暂存间、核素通道、传药梯、全检质控室等	7.40E+04	1	1	7.40E+04	4.87E+05	I 类
¹¹ C		3.70E+04	0.01	1	3.70E+02		
¹³ N		3.70E+04	1	1	3.70E+04		
⁶⁴ Cu		2.22E+03	100	1	2.22E+05		
⁸⁹ Zr		2.78E+03	100	1	2.78E+05		
⁶⁸ Ga		1.33E+04	1	1	1.33E+04		
^{99m} Tc		4.44E+04	1	1	4.44E+04		
¹⁸⁸ Re		4.44E+03	1	1	4.44E+03		
⁶⁸ Ge/ ⁶⁸ Ga 发生器	8.00E+04	100	100	8.00E+04			

$^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器		3.70E+04	100	100	3.70E+04			
$^{188}\text{W}/^{188}\text{Re}$ 发生器		1.85E+04	100	100	1.85E+04			
影像诊断区（核医学科楼一层南部）								
^{18}F	储源室、分装注射室、放射性废物暂存间 1、放射线废物暂存间 2、放射性药物分装室	1.48E+04	1	1	1.48E+04	2.48E+05	I 类	
^{11}C		1.85E+03	0.01	1	1.85E+01			
^{13}N		1.85E+03	1	1	1.85E+03			
^{64}Cu		1.11E+03	100	1	1.11E+05			
^{89}Zr		1.85E+03	100	1	1.85E+05			
^{68}Ga		1.11E+04	1	1	1.11E+04			
$^{99\text{m}}\text{Tc}$		3.70E+04	1	1	3.70E+04			
^{18}F	PET 注射后等候（卫生间）室、PET 留观室（卫生间）、PET-CT 检查室、PET-MR 扫描室（更衣室）、病员通道等	1.48E+04	1	10	1.48E+03	2.11E+04	II 类	
^{11}C		1.85E+03	0.01	10	1.85E+00			
^{13}N		1.85E+03	1	10	1.85E+02			
^{64}Cu		1.11E+03	100	10	1.11E+04			
^{89}Zr		1.85E+03	100	10	1.85E+04			
^{68}Ga		1.11E+04	1	10	1.11E+03			
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	运动负荷室、病员通道、SPECT-CT 注射后等候（卫生间）室、SPECT-CT 留观室（卫生间）、SPECT-CT 检查室 1、SPECT-CT 检查室 2 等	3.70E+04	1	10	3.70E+03	3.70E+03	II 类	
门诊治疗区（核医学科楼一层北部）								
^{131}I	甲亢	储源室、分装室、服药/注射室、放射性废物暂存间 3	1.11E+04	100	1	1.11E+06	1.20E+06	I 类
^{89}Sr	骨转移瘤		9.25E+02	100	1	9.25E+04		
^{131}I	甲测室		3.70E+00	100	1	3.70E+02	3.70E+02	II 类
^{131}I	留观室/抢救室（卫生间）等		1.11E+04	100	1	1.11E+06	1.11E+06	I 类
病房治疗区（核医学科楼二层东侧）								
^{131}I	储源室、分装配药室、服药/注射室、放射性废物暂存间、放射性被服暂	2.22E+04	100	1	2.22E+06	5.12E+06	I 类	
^{177}Lu		2.22E+04	100	1	2.22E+06			
^{225}Ac		1.48E+01	100	1	1.48E+03			
^{111}In		1.11E+03	1	1	1.11E+03			

^{188}Re	存间	4.44E+03	100	1	4.44E+05		
^{223}Ra		7.40E+01	100	1	7.40E+03		
^{161}Tb		2.22E+03	100	1	2.22E+05		
^{131}I	病房 1、病房 2、病房 3、病房 4、病房 5、病房 6、病房 7、病房 8、病房 9、病房 10、患者通道等	1.11E+04	100	1	1.11E+06	2.90E+06	I 类
^{177}Lu		1.48E+04	100	1	1.48E+06		
^{225}Ac		1.48E+01	100	1	1.48E+03		
^{111}In		7.40E+02	1	1	7.40E+02		
^{188}Re		2.22E+03	100	1	2.22E+05		
^{223}Ra		7.40E+01	100	1	7.40E+03		
^{161}Tb		7.40E+02	100	1	7.40E+04		

表 10-3 核医学科工作场所的室内表面及装备结构要求

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

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

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）具体要求如下：

①核医学工作场所的通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的手套箱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

②I类核医学工作场所应设有放射性污水池，以存放放射性污水直至符合排放要求时方可排放，废原液和高污染废液应专门收集存放。

③收集放射性废液的容器上应有放射性标志。放射性废液按照长半衰期和短半衰期分别收集，并给与适当屏蔽，固体废物和污染针头、注射器和破碎的玻璃器皿等应贮于不泄露、较牢固、并有合适屏蔽的容器内。

④在放射性核素的操作区域（药物分装准备室和注射室）地面和墙体表面应使用光滑、

耐腐蚀及易去污的材料，地板与墙壁接缝无缝隙，并在工作场所内设置通风实施，保证工作场所的通风良好。

2、放射性药物制备区辐射防护屏蔽设计

(1) 回旋加速器机房

本项目回旋加速器机房室内净空面积约 76.6m²（净空尺寸长 8.9m×宽 8.7m×高 4.8m），东侧、西侧、北侧屏蔽体厚度均为 150cm 厚的现浇混凝土，顶部为 150cm/120cm 现浇混凝土，南侧迷路内墙为总屏蔽厚度为 110cm~184.5cm 的现浇混凝土，迷路外墙为 70cm 混凝土，防护门材质为 5mmPb 铅钢结构+12cm 含硼聚乙烯。固体靶室和热室为紧邻的房间，西侧墙体为 150cm 混凝土结构；共用墙体厚度与其余两侧墙体厚度相同，均为 30cm 混凝土，防护门均为 8mmPb 铅钢结构。整个负一层地下无房间，地面不做特殊防护。回旋加速器机房送风口和排放口均位于机房顶部采用 U 型设计；回旋加速器机房电缆、水管均采用 U 型地沟设计；放射性药物传输管道采用地沟设计，屏蔽层为 3mm 铅套管+60mm 铅盖板。

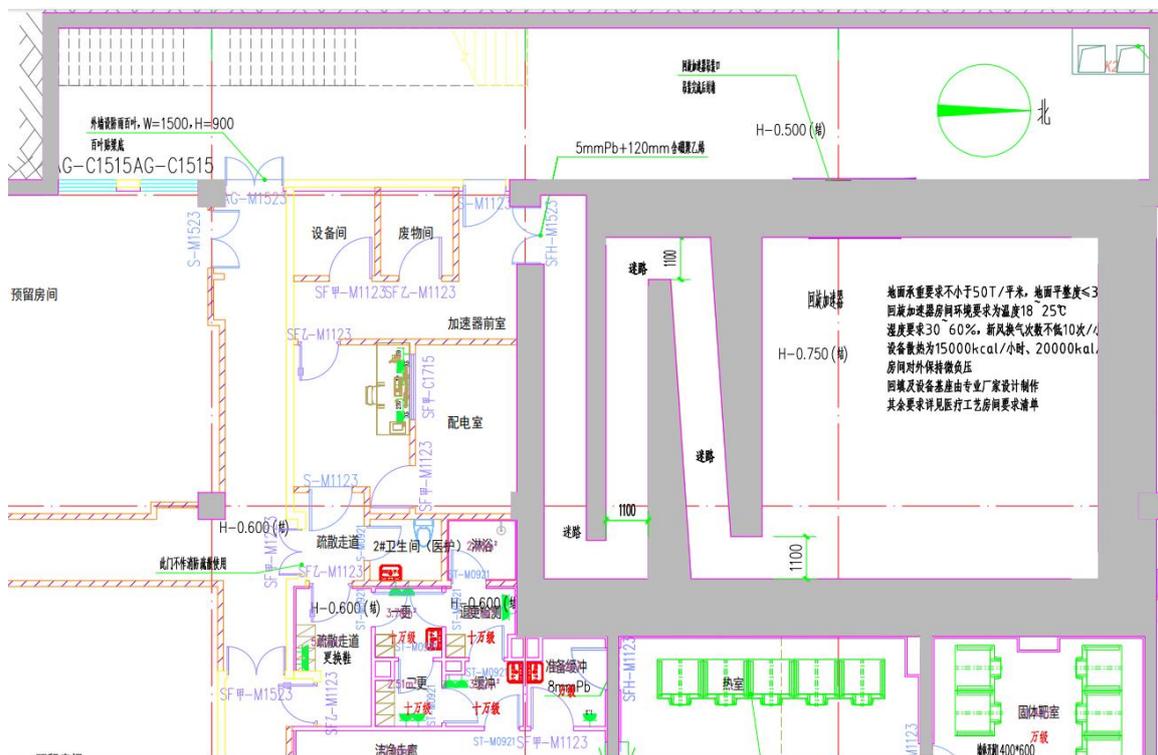


图10-2 回旋加速器机房平面图

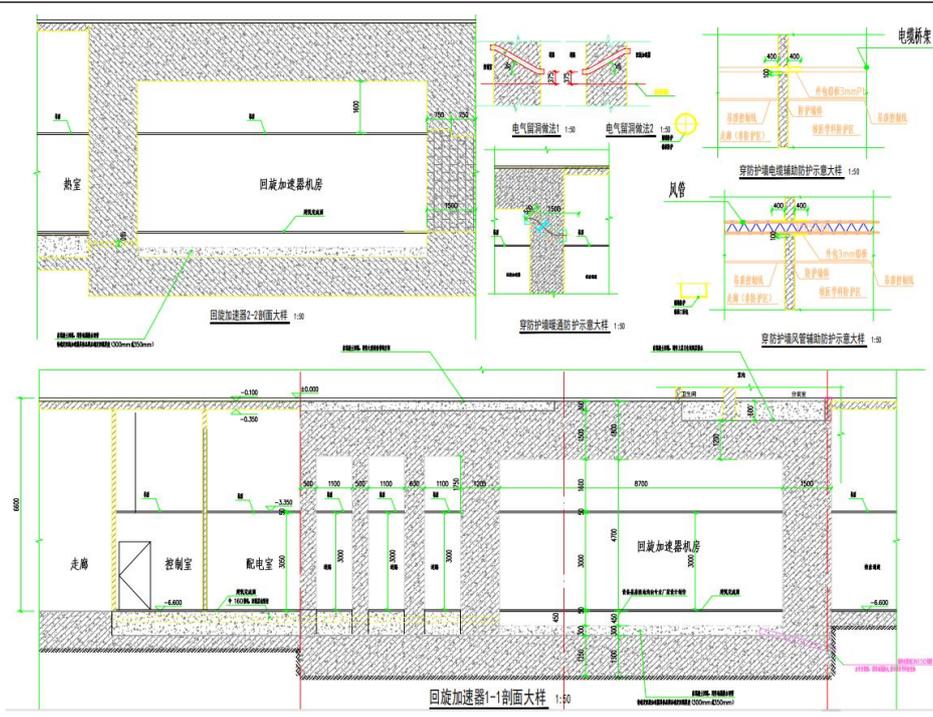


图10-3 回旋加速器机房剖面图及大样图

(2) 放射性药物制备区墙体防护

表 10-4 放射性药物制备区墙体防护屏蔽设计

功能用房	屏蔽体	屏蔽材料	屏蔽厚度或屏蔽效能	
回旋加速器机房	北侧、西侧、东侧屏蔽墙体	混凝土	1500mm	
	南侧	迷路外墙	混凝土	700mm
		迷路内墙	混凝土	1100mm~1845mm
	防护门（东侧）	铅钢结构+含硼聚乙烯	5mmPb+120mm	
	楼顶	混凝土	1200mm/1500mm	
热室	西侧墙体	混凝土	1500mm	
	南侧	墙体	混凝土	300mm
		防护门	铅钢结构	8mmPb
	北侧	墙体	混凝土	300mm
		防护门	铅钢结构	8mmPb
	东侧墙体	混凝土	300mm	
	合成柜	铅钢+铅玻璃结构	70mmPb	
	分装柜	铅钢+铅玻璃结构	70mmPb	
楼顶	混凝土	250mm		
固体靶室	西侧墙体	混凝土	1500mm	
	东侧、北侧墙体	混凝土	300mm	
	南侧	墙体	混凝土	300mm
		墙体	铅钢结构	8mmPb

	药物传输管道地沟	管道+铅套管+铅盖板	3mm 铅套管+60mm 铅盖板
	楼顶	混凝土	250mm
留样间、外包间及包材、包装库	四周墙体	实心砖墙	240mm
	防护门	铅钢结构	5mmPb
质控室（阳性对照室、无菌检测放化室等）	四周墙体	混凝土	200mm
	防护门（南侧、东侧）	铅门	5mmPb
	通风橱箱（六个面）	铅板+不锈钢板/铅玻璃	10mmPb
	楼顶	混凝土	250mm
传药梯	四周墙体	混凝土	200mm
	电梯门	钢结构	50mm
	楼顶	混凝土	250mm
废物暂存间	四周墙体	实心砖墙	240mm
	防护门	铅门	6mmPb
	楼顶	混凝土	250mm

(3) 放射性药物制备区穿墙管道

穿过回旋加速器机房、固体靶室和热室屏蔽墙的各种管道和电缆线弯成S形或U形，不正对工作人员经常停留的地点，具体见下图。

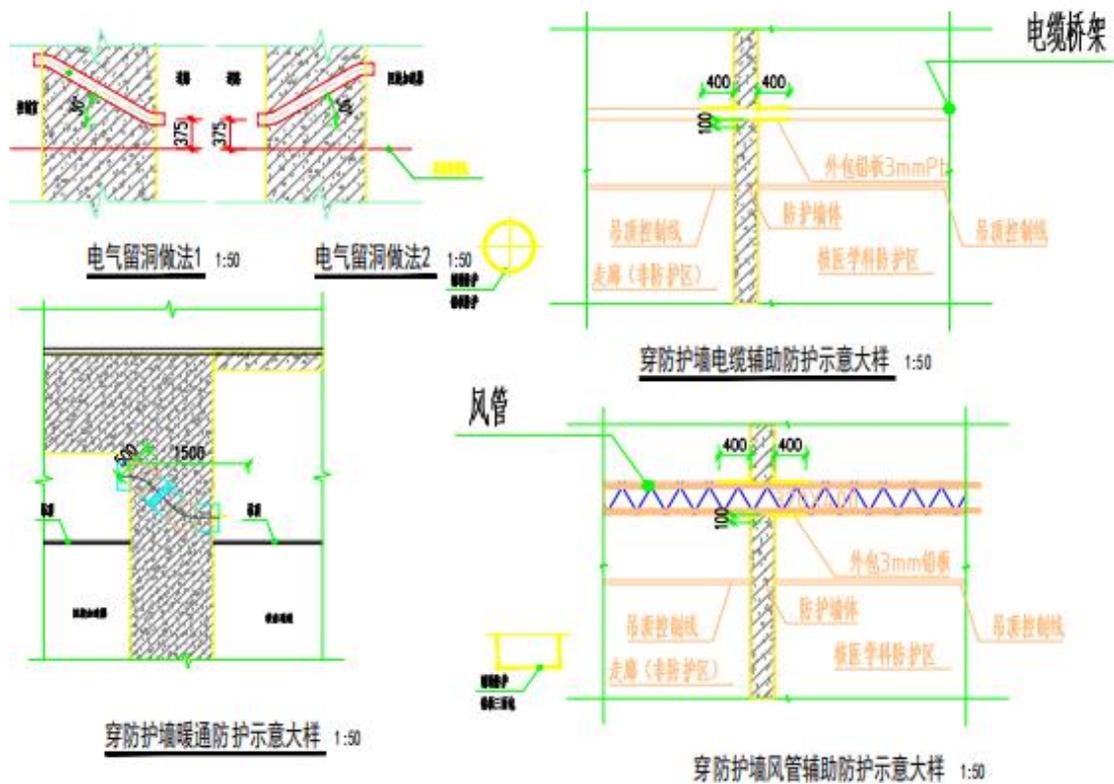


图10-4 穿墙管线做法示意图

3、影像诊断区墙体防护

表10-5 影像诊断区屏蔽设计

位置		屏蔽材料及厚度	
储源室	储源柜	20mmPb 储源柜	
	东侧墙体	370mm 实心砖墙	
	南侧墙体	370mm 实心砖墙	
	西侧墙体	370mm 实心砖墙	
	北侧	墙体	370mm 实心砖墙
		护士站	370mm 实心砖墙
	防护门	5mmPb 防护门	
	楼顶	250mm 厚混凝土	
地面	250mm 厚混凝土		
分装注射室	PET 手套箱	60mmPb 手套箱	
	SPECT 手套箱	10mmPb 手套箱	
	东侧	墙体	370mm 实心砖墙
		防护窗	6mmPb 防护窗
		防护门	6mmPb 防护门
	南侧	墙体	370mm 实心砖墙
		缓冲区防护门	15mmPb 防护门
	西侧	墙体	370mm 实心砖墙
		注射窗口	50mmPb 注射窗
		防护门	20mmPb 防护门
	北侧	患者走道	370mm 实心砖墙
		护士站	370mm 实心砖墙
楼顶	1200mm/250mm 厚混凝土		
地面	250mm 厚混凝土		
PET 注射后等候室	东侧墙体	370mm 实心砖墙+6mmPb 硫酸钡涂层	
	南侧墙体	370mm 实心砖墙+6mmPb 硫酸钡涂层	
	西侧	墙体	370mm 实心砖墙+6mmPb 硫酸钡涂层
		防护门	20mmPb 防护门
	北侧墙体	370mm 实心砖墙+6mmPb 硫酸钡涂层	
	楼顶	250mm 厚混凝土	
	地面	1200mm/1800mm 厚混凝土	
PET-CT 检查室	东侧墙体	370mm 实心砖墙+2mmPb 硫酸钡涂层	
	南侧	墙体	370mm 实心砖墙+2mmPb 硫酸钡涂层
		观察窗	20mmPb 防护窗
		医生进出门	20mmPb 防护门
	西侧	墙体	370mm 实心砖墙+2mmPb 硫酸钡涂层
		防护门	20mmPb 防护门
	北侧墙体	370mm 实心砖墙+6mmPb 硫酸钡涂层	
	楼顶	250mm 厚混凝土	
地面	1200mm/1800mm 厚混凝土		

PET-MR 检查室	东侧墙体		370mm 实心砖墙+2mmPb 硫酸钡涂层
	南侧墙体		370mm 实心砖墙+6mmPb 硫酸钡涂层
	西侧墙体		370mm 实心砖墙+2mmPb 硫酸钡涂层
	北侧	墙体	370mm 实心砖墙+2mmPb 硫酸钡涂层
		观察窗	20mmPb 防护门
		防护门	20mmPb 防护门
	楼顶		250mm 厚混凝土
	地面		250mm 厚混凝土
PET 留观 室	东侧	墙体	370mm 实心砖墙+6mmPb 硫酸钡涂层
		阅片室	370mm 实心砖墙+6mmPb 硫酸钡涂层
	南侧墙体		370mm 实心砖墙+6mmPb 硫酸钡涂层
	西侧	墙体	370mm 实心砖墙+6mmPb 硫酸钡涂层
		防护门	20mmPb 防护门
		PET 患者出口门	6mmPb 防护门
	北侧墙体		370mm 实心砖墙+6mmPb 硫酸钡涂层
	楼顶		250mm 厚混凝土
地面		250mm 厚混凝土	
PET 患者 走道	南侧墙体		370mm 实心砖墙
	西侧墙体		370mm 实心砖墙
	北侧墙体		300mm 厚混凝土
	楼顶		250mm~1800mm 厚混凝土
	地面		250mm 厚混凝土
放射性废物 暂存间 2	四周墙体		370mm 实心砖墙
	防护门（2 扇）		10mmPb 防护门
运动负荷 室	东侧墙体		240mm 厚实心砖
	南侧墙体		370mm 厚实心砖
	西侧墙体		370mm 厚实心砖
	北侧墙体		240mm 厚实心砖+2mmPb 硫酸钡涂层
	楼顶		350mm 厚混凝土
	地面		250mm 厚混凝土
SPECT 注 射后等候 室	东侧	墙体	240mm 厚实心砖+2mmPb 硫酸钡涂层
		防护门	5mmPb 防护门
	南侧墙体		240mm 厚实心砖+2mmPb 硫酸钡涂层
	西侧墙体		240mm 厚实心砖+2mmPb 硫酸钡涂层
	北侧	墙体	240mm 厚实心砖+2mmPb 硫酸钡涂层
		医护人员休息	240mm 厚实心砖+2mmPb 硫酸钡涂层
	楼上病房区		380mm 厚混凝土
地面		250mm 厚混凝土	
SPET-CT 检查室 1	东侧	墙体	240mm 厚实心砖+2mmPb 硫酸钡涂层
		防护门	5mmPb 防护门
	南侧	墙体	240mm 厚实心砖+2mmPb 硫酸钡涂层
		观察窗	5mmPb 防护窗

		医生进出门	5mmPb 防护门
		西侧墙体	240mm 厚实心砖+2mmPb 硫酸钡涂层
		北侧墙体	240mm 厚实心砖+2mmPb 硫酸钡涂层
		楼顶	380mm 厚混凝土
		地面	250mm 厚混凝土
SPET 检查室 2		东侧墙体	240mm 厚实心砖+2mmPb 硫酸钡涂层
		南侧墙体	240mm 厚实心砖+2mmPb 硫酸钡涂层
		西侧墙体	240mm 厚实心砖+2mmPb 硫酸钡涂层
	北侧	墙体	240mm 厚实心砖+2mmPb 硫酸钡涂层
		观察窗	5mmPb 防护窗
		防护门	5mmPb 防护门
		楼顶	350mm 厚混凝土
	地面	250mm 厚混凝土	
SPET 留观室	东侧	墙体	240mm 厚实心砖+2mmPb 硫酸钡涂层
		防护门	5mmPb 防护门
		南侧墙体	240mm 厚实心砖+2mmPb 硫酸钡涂层
		西侧墙体	240mm 厚实心砖+2mmPb 硫酸钡涂层
		北侧墙体	240mm 厚实心砖+2mmPb 硫酸钡涂层
		楼顶	380mm 厚混凝土
		地面	250mm 厚混凝土
SPET 患者走道		东侧墙体	2mmPb 防护窗
		南侧墙体	240mm 厚实心砖
		西侧防护门	2mmPb 防护门
	北侧	防护门	2mmPb 防护门
		护士站	2mmPb 防护门
		楼顶	380mm 厚混凝土
		地面	250mm 厚混凝土
放射性废物暂存间 1	东侧	墙体	370mm 实心砖墙
		防护门	5mmPb 防护门
		南侧、西侧	240mm 实心砖墙
	北侧	墙体	370mm 实心砖墙
		防护门	5mmPb 防护门
		楼顶	380mm 厚混凝土
		地面	250mm 厚混凝土

4、门诊治疗区（敷贴、甲亢、骨转移瘤和甲吸治疗）墙体防护

表10-6 门诊治疗区防护屏蔽设计

位置		屏蔽材料及厚度	
储源室		东侧墙体	250mm 混凝土
	南侧	墙体	250mm 混凝土
		防护门	5mmPb 防护门
		西侧墙体	250mm 混凝土
	北侧	墙体	250mm 混凝土

		防护门	5mmPb 防护门
		楼顶	250mm 厚混凝土
		地面	250mm 厚混凝土
分装室		手套箱表面	30mmPb 手套箱
	东侧	墙体	250mm 混凝土
		防护门	15mmPb 防护门
		南侧墙体	300mm 混凝土
	西侧	墙体	370mm 实心砖墙
		防护门	15mm 防护门
	北侧	墙体	250mm 混凝土
		防护门	5mmPb 铅防护门
		楼上护士站	250mm 厚混凝土
	楼下全检质检区	250mm 厚混凝土	
服药/注射室	东侧	墙体	250mm 混凝土
		传递窗	20mmPb 防护窗
		防护门	15mmPb 防护门
		南侧墙体	250mm 混凝土
	北侧	墙体	250mm 混凝土
		防护门	15mmPb 防护门
		楼顶	250mm 厚混凝土
	地面	250mm 厚混凝土	
留观/抢救室		东侧墙体	250mm 混凝土
		南侧墙体	300mm 混凝土
	西侧	墙体	250mm 混凝土
		防护门	15mmPb 防护门
		北侧墙体	250mm 混凝土
		楼顶	250mm 厚混凝土
	地面	250mm 厚混凝土	
放射性废物暂存间 3		东侧墙体	250mm 混凝土
		南侧墙体	250mm 混凝土
		西侧墙体	250mm 混凝土
	北侧	墙体	250mm 混凝土
		防护门	15mmPb 铅钢结构
		楼顶	250mm 厚混凝土
	地面	250mm 厚混凝土	
敷贴治疗室		四周墙体	240mm 厚实心砖
		防护门	2mmPb 铅钢结构
甲测室		东侧墙体	240mm 厚实心砖
	南侧	墙体	240mm 厚实心砖
		防护门	2mmPb 铅钢结构
		西侧墙体	240mm 厚实心砖
	北侧墙体	240mm 厚实心砖	

	楼顶	250mm 厚混凝土
	地面	250mm 厚混凝土

5、病房治疗区墙体防护

表10-7 病房治疗区防护屏蔽设计

位置		屏蔽厚度	
储源室	储源柜		20mmPb 储源柜
	东侧	墙体	370mm 实心砖墙
		防护门	5mm 铅防护门
	南侧	墙体	370mm 实心砖墙
		防护门	5mm 铅防护门
	西侧	墙体	370mm 实心砖墙
		防护门	5mm 铅防护门
	北侧墙体		370mm 实心砖墙
	楼顶		150mm 厚混凝土
地面		250mm 厚混凝土	
分装配药室	手套箱		50mmPb 手套箱
	东侧墙体		350mm 厚混凝土
	南侧	墙体	370mm 厚实心砖
		传递窗	30mmPb 传递窗
		防护门	15mmPb 防护门
	西侧墙体		370mm 厚实心砖
	北侧墙体		370mm 厚实心砖
	楼顶		150mm 厚混凝土
	地面		250mm 厚混凝土
服药/注射室	东侧	墙体	350mm 厚混凝土
		防护门	15mmPb 防护门
	南侧墙体		350mm 厚混凝土
	西侧墙体		350mm 厚混凝土
	北侧	墙体	350mm 厚混凝土
		防护窗	30mmPb 防护窗
	楼顶		150mm 厚混凝土
	地面		250mm 厚混凝土
治疗/抢救室	东侧	墙体	350mm 厚混凝土
		防护门	15mmPb 防护门
	南侧墙体		400mm 厚混凝土
	西侧墙体		350mm 厚混凝土
	北侧	墙体	350mm 厚混凝土
		防护门	15mmPb 防护门
	楼顶		150mm 厚混凝土
	地面		250mm 厚混凝土

病房 1	东侧墙体		300mm 厚混凝土
	南侧墙体		300mm 厚混凝土
	西侧	墙体	350mm 厚混凝土
		防护门	20mmPb 防护门
	北侧墙体		400mm 厚混凝土
	楼顶		150mm 厚混凝土
	地面		380mm 厚混凝土
病房 2~病房 9	东侧墙体		300mm 厚混凝土
	南侧墙体		300mm 厚混凝土
	西侧	墙体	350mm 厚混凝土
		防护门	20mmPb 防护门
	北侧墙体		300mm 厚混凝土
	楼顶		150mm 厚混凝土
	地面		380mm 厚混凝土
病房 10	东侧墙体		300mm 厚混凝土
	南侧墙体		300mm 厚混凝土
	西侧	墙体	350mm 厚混凝土
		防护门	20mmPb 防护门
	北侧墙体		300mm 厚混凝土
	楼顶		150mm 厚混凝土
	地面		380mm 厚混凝土
患者通道	南侧	墙体	300mm 厚混凝土
		防护门	20mmPb 防护门
	西侧	墙体	350mm 厚混凝土
		防护窗	40mmPb 防护窗
	北侧	墙体	350mm 厚混凝土
		防护门	20mmPb 防护门
	楼顶		150mm 厚混凝土
地面		380mm 厚混凝土	
放射性废物暂存间 1	东侧	墙体	350mm 厚混凝土
		防护门	15mmPb 铅防护门
	南侧	墙体	350mm 厚混凝土
		防护门	5mmPb 铅防护门
	西侧、北侧	墙体	370mm 实心砖墙
	楼顶		150mm 厚混凝土
地面		250mm 厚混凝土	
放射性废物暂存间 2	东侧、南侧	墙体	240mm 实心砖墙
	西侧	墙体	350mm 厚混凝土
		防护门	5mmPb 铅防护门

	北侧	墙体	300mm 混凝土
		楼顶	150mm 厚混凝土
		地面	380mm 厚混凝土
备餐间	东侧	墙体	350mm 厚混凝土
		防护门	15mmPb
		南侧、北侧墙体	350mm 厚混凝土/370mm 混凝土
		西侧互锁传餐铅柜	10mmPb
患者出口缓冲间	东侧	墙体	240mm 厚实心砖+6mmPb 硫酸钡涂层
		防护门	15mmPb 防护门
		南侧墙体	240mm 厚实心砖+6mmPb 硫酸钡涂层
	西侧	墙体	240mm 厚实心砖+6mmPb 硫酸钡涂层
		防护门	15mmPb 防护门
	北侧	墙体	300mm 混凝土
		防护门	20mmPb 防护门
		楼顶	150mm 厚混凝土
	地面	250mm 厚混凝土	

6、其他医用射线装置机房设计与标准的符合性

表 10-8 其他医用射线装置机房屏蔽防护设计

机房	面积 (m ²)	最短边 长 (m)	四周墙体	屏蔽门	观察窗	楼顶	地面
			结构及厚度			结构及厚度	
SPECT-CT 检查室 1、 SPECT-CT 检查室 2	48	6.0	240mm 厚实心砖墙 +2mmPb 硫酸钡 (约合 4mmPb)	5mmPb	5mmPb	380mm 厚钢筋 混凝土 (> 3mmPb)	250mm 厚钢筋 混凝土
PET-CT 机房、PET-MR 机房	46.9	6.0	370mm 厚实心砖墙 +2mmPb 硫酸钡 (约合 5mmPb)	20mmPb	20mmPb	250mm 厚钢筋 混凝土 (> 3mmPb)	250mm 厚钢筋 混凝土 /1500mm 混个 凝土 (> 3mmPb)
放射诊断放射防护要求	最小有效使用面积 30m ² , 最小单边长 度4.5m		较大工作量2.5mm铅当量, 一般工作量2mm铅当量				
是否满足	满足		满足	满足	满足	满足	满足

(二) 介入手术室辐射防护屏蔽设计

根据医院提供的防护设计方案, 门诊医技综合楼一层影像科介入手术室内使用的 DSA 最大电压为 150kV、最大管电压为 1000mA。根据医院现有 DSA 使用情况得知, 拍片时 DSA 的常用管电压 60~100kV, 常用管电流为 100~300mA; 在 DSA 透视时常用管电压为 70~90kV, 常用管电流为 10~20mA。根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020),

针对DSA主要考虑散射线和泄露射线影响，保守估计，在折合铅当量时，按照主射线辐射衰减拟合参数（150kV）进行铅当量折算，因此根据最大工况下管电压和不同屏蔽体材料铅当量厚度，本项目介入手术室与标准屏蔽措施对照，本项目机房实体屏蔽与标准进行对照，保守折算结果见表10-9。

表 10-9 本项目机房实体防护设施铅当量折合对照表

位置	实体结构	折合铅当量	约合铅当量
四周墙体	370mm 实心砖墙	3mmPb	3mmPb
屏蔽门	3mmPb 含铅防护门	3mmPb	3mmPb
观察窗	3mmPb 含铅玻璃	3mmPb	3mmPb
屋顶	260mm 厚混凝土	3mmPb	3mmPb
地面	260mm 厚混凝土	3mmPb	3mmPb

表 10-10 机房的实体防护设施对照表

机房	机房规格	四周墙体结构及厚度	屏蔽门结构及厚度	观察窗结构及厚度	楼顶结构及厚度	地面结构及厚度
介入手术室	机房净空面积52.8m ² ，介入手术室内最小单边长度6.6m	四周墙体370mm实心砖墙（约合3mmPb）	3mmPb含铅防护门	3mmPb含铅玻璃	260mm厚混凝土（约合3mmPb）	260mm厚混凝土（约合3mmPb）
放射诊断放射防护要求	最小有效使用面积20m ² ，介入手术室内最小单边长度3.5m	非有用线束2mm铅当量	非有用线束2mm铅当量	非有用线束2mm铅当量	有用线束3mm铅当量	非有用线束2mm铅当量
备注	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求

注：表中楼板使用材料为混凝土（密度为2.35g/cm³），砖的密度为1.65g/cm³。

四、辐射防护措施

（一）核医学科

1、一层放射性药物制备区

（1）回旋加速器机房安全设施

1) 自身安全设施

在回旋加速器出束前，会对磁铁电流、高频腔压、靶压、冷却氦气气压进行测量，如果实测值达不到预设值，或者各个设备冷却水单独一路的流量达不到最低值，此时系统将无法开启离子源，从而预防事故的发生。

回旋加速器运行时，系统实时监控靶压以及冷却氦气气压，在正常运行情况下，靶

压和冷却氦气气压保持在一定范围内，如果一旦靶膜破裂或氦冷却循环回路泄露（表现为压力骤降），此时系统将立刻关闭离子源电源、高频功率源输出及磁铁电源输出，从而停止打靶，防止产生过量的感生放射性或避免对加速器内部器件构成破坏。

回旋加速器用户操作控制界面设有密码，只有被专门授权许可的操作人员才能实现回旋加速器的开机操作。

2) 机房安全设施配置

为满足辐射防护的冗余性、多元性和独立性的要求，回旋加速器机房设置有其它安全装置，见表 10-11，安全装置布设见附图 16。

表 10-11 回旋加速器机房安全装置配置一览表

装置名称	功能描述
门与加速器高压触发/束流联锁	防护门与回旋加速器离子源系统及束流阻挡器联锁。当防护门处于开启状态时，加速器高压装置、离子源系统无法开启；运行过程中防护门意外打开时，加速器高压装置、离子源系统停止工作，同时加速器束流阻挡器落下，束流不能进入靶腔。在回旋加速器开机运行前，防护门未正常关闭，回旋加速器不能正常开机出束。
门-灯联锁（工作状态指示灯）	回旋加速器机房入口设置工作状态指示灯，当防护门关闭时，工作状态指示灯亮起，并进行 LED 中文提示，如：正在工作/正在出束。
声光报警及语音播报	防护门入口均安装声光报警装置，其中灯光提示分绿、黄、红 3 种颜色。绿灯亮，指示加速器不工作，辐射水平处于安全水平；黄灯亮，指示加速器准备进入工作状态，并进行语音提示“准备出束”；红灯亮，指示加速器正在工作，红灯闪烁则表明此时加速器机房的辐射剂量超过安全水平。加速器准备出束时，语音提示无关人员撤离机房，运行过程中语音提示会持续响。
门-剂量联锁	机房内安装固定式 γ 剂量监测探头，监测剂量与防护门联锁，当剂量率超过设定阈值时（具体阈值由实际运行调试情况进行设定），防护门无法从外部正常开启。
视频监控系统	机房内和机房外入口设置红外视频监控系统，24h 实时监控机房内状况。
紧急开门装置	防护门内侧设置紧急开门按钮并进行中文标识，当人员误留房间内可通过该按钮实现防护门从内部打开，进行紧急逃逸，同时加速器停止运行。
清场巡更按钮	机房内设置巡检开关。当防护门打开后巡检开关自动复位，工作人员在关闭防护门前，需先进行巡检，并按下所有巡检开关后，防护门才能正常关闭。若巡检开关未被按下，加速器将无法启动，同防护门也不能正常关闭。
紧急停机按钮	在机房内四周墙面和控制台人员易接触的位置设置紧急停机按钮并进行中文标识，所有按钮进行串联，当任意紧急停机按钮按下，加速器高压功率源、离子源均停机，同时束流阻挡器落下。当紧急停机按钮被按下后，重新启用时，需进行人工复位。
延时开门按钮	机房内安装延时开门联锁，加速器停机后需进行至少 1h 排风后，防护门才能从外部正常开启，防止机房内感生放射性气溶胶对工作人员形成照射。

固定式 γ 剂量监测（带中子监测功能）	加速器机房外墙墙面设置固定式剂量监测探头并带有报警提示，对外围场所进行实时监测，当出现剂量率超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 时，将进行报警提示。
控制台和大厅门钥匙控制	控制台设置钥匙控制，当取出钥匙，加速器不能正常开启出束，只有获得资格且单位授权运行人员才能使用该钥匙。防护门入口设置钥匙控制，只有插入正确的钥匙，防护门才能正常打开。
紧急出口标志及应急照明	加速器出入口处粘贴紧急出口标志并有夜光显示或应急照明。
气闸连锁	为保证场所洁净水平、并防止污染物扩散，回旋加速器机房、固体靶制备室等设置气闸连锁装置，即工作人员每次不能同时打开两道通道门。

3) 安全连锁运行逻辑

本项目加速器安全联系系统分为：加速器设备自带安全控制系统（Accelerator Control System-ACS）和场所安全联系系统（Building Safety System-BBS），其中设备自带安全控制系统在设备电气装配时已被设定入加速器连锁控制程序（PLC 系统）中，场所安全连锁系统由 PLC 系统预留可编辑逻辑输入扩展模块，输入扩展模块主要负责将：搜索按钮、急停按钮和钥匙面板等输入设备的状态发送给 PLC。输出扩展模块主要负责将 PLC 的控制信号发送给加速器安全设备，以及警铃警灯等输出设备。LED 显示屏用于显示放射性工作区域的状态信息，其与 PLC 通过 TCP/IP 网络通讯。

所有安全相关功能都通过故障安全 PLC 核心控制器执行。安全相关功能的外围线缆采用双通道冗余设置。除了负责警铃警灯部分的输出扩展模块之外，其它输入输出扩展模块与核心控制器之间的通信均采用满足故障安全协议的总线系统，以保证系统的可靠性。采用自动化技术的安全连锁系统最重要的功能就是有效地防止运行过程人员受到辐射损伤。为此，将对运行过程中安全设备设计故障安全的连锁信号，并由安全连锁系统直接控制。当连锁被破坏时，核心控制器将根据事先定义好的逻辑，最优切断功率源系统。

本项目 BBS、ACS 与加速器输入/输出逻辑关系如下：

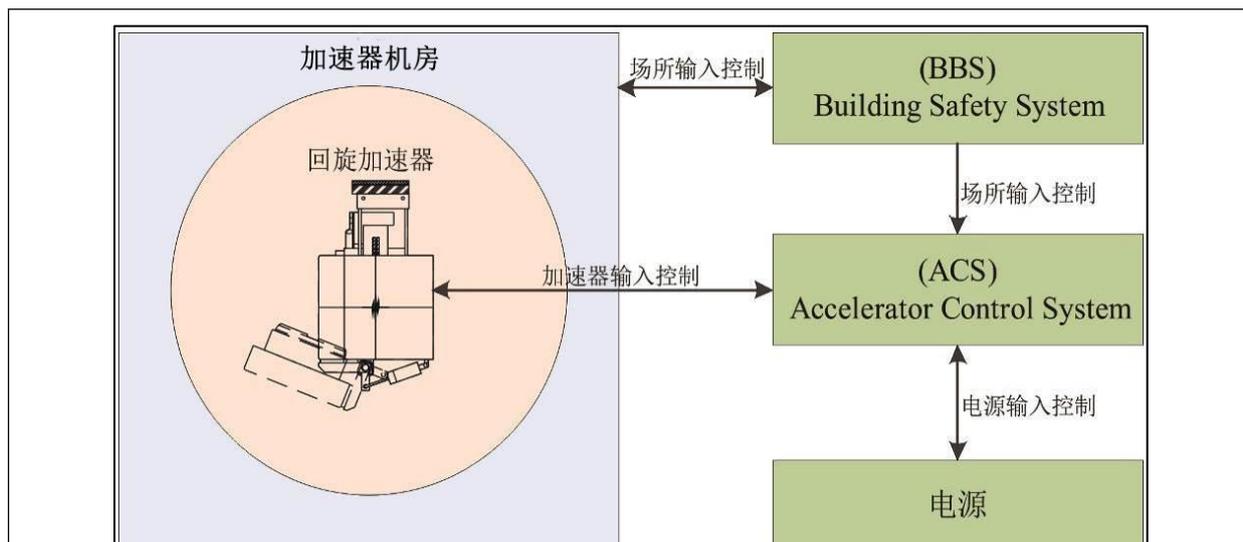


图 10-5 ACS 和 BBS 联锁控制关系示意图

4) 加速器运行逻辑

加速器若需正常开机需要 BBS 和 ACS 同时正常才能正常开机，即需满足下面所有条件：

①ACS 正常需具备条件：磁场系统正常、离子源正常、射频系统正常、真空系统正常、冷却系统正常、束流系统正常、靶系统温度正常、控制系统正常、控制钥匙插入。

②BBS 正常需具备条件：巡检按钮拍下、急停按钮未触动、活塞门正常关闭、紧急开门按钮未触动。

5) 加速器急停逻辑

BBS 和 ACS 中若任意条件被破坏将触发加速器断电停机（冗余性和独立性，不存在逻辑先后关系）如下：

①ACS 破坏条件：磁场系统异常、离子源异常、射频系统异常、控制系统异常、真空失效、温度异常、靶位偏移、束流异常或偏转、控制钥匙拔出。

②BBS 破坏备条件：急停按钮触动、活塞门打开、紧急开门按钮触动。

③本项目场所安全联锁（BBS）建立及运行流程如下：

A、在其他系统就绪后，辐射工作人员进入控制区域准备清场，当插入授权钥匙并按下授权按钮后，语音警示器和警铃响起，通知滞留人员离开控制区，并且 LED 电子屏显示“无关人员请勿进入”，再次提示无关工作人员离开控制区，同时辐射工作人员按照既定的路线巡查清场，清空滞留人员；

B、巡查清场结束后关闭联锁门，归还授权钥匙，安全联锁建立完成。

C、测试控制系统给出“准备”信号，在准备阶段，控制区域进行一定时间的报警，再次提醒误留控制区人员按下紧急停机按钮，保证人身安全；

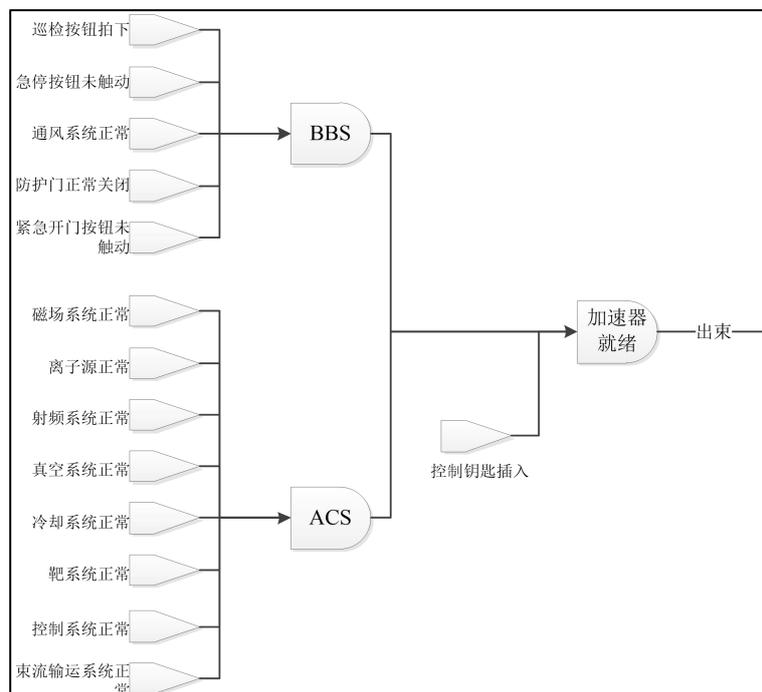


图 10-6 加速器正常开机逻辑关系图

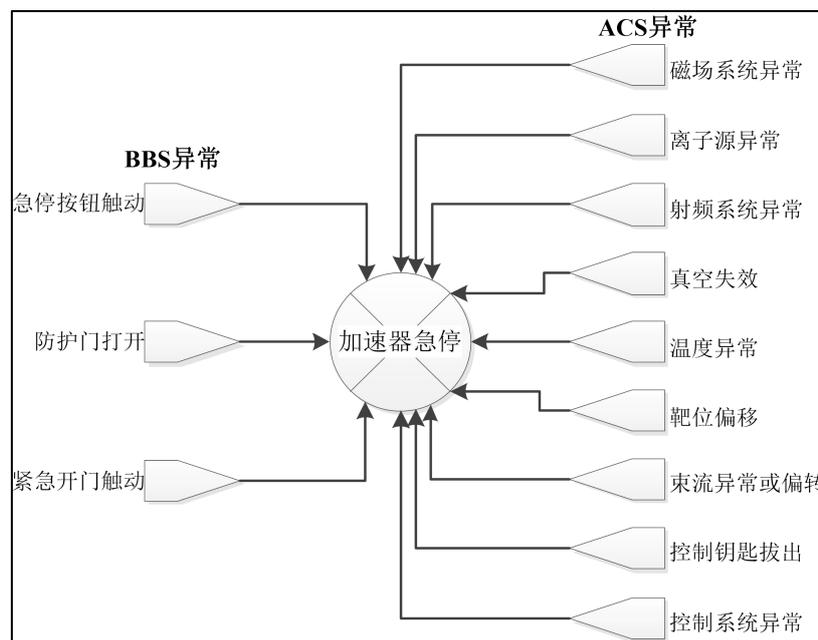


图 10-7 加速器急停逻辑关系图

D、准备阶段结束后，安全联锁系统允许进入运行状态，并启动功率源系统，同时实时监测可能触发停机或紧急停机的各项信号；

E、运行过程中，安全联锁系统建立切束联锁状态，“禁止进入控制区”状态启动；

F、接收到“停机”信号并停机后，如果有进入控制区需求，必须等待剂量衰减到指

定阈值后，且通风时间足够的情况下进入。出现异常情况时，可通过紧急停机按钮、联锁门禁触发紧急停机动作，待异常解除后才可重新复位开机。

(2) 热室辐射防护设施

①**电离辐射警告标志**：拟在热室入口醒目位置设置电离辐射警告标志。

②**热室门与加速器药物传输系统联锁**：当回旋加速器室制备出核素之后，放射性核素传输之前，热室设备将根据程序设定，自动检测热室的门是否已经关闭，热室的压力是否满足负压要求；只有这两项条件均满足的情况下，放射性核素才能通过管道进行传送，同时在控制室内操作台上有相应的核素传输工作状态指示灯。

③**固定式剂量报警仪**：拟在热室内安装固定式多探头辐射剂量率仪，当探测到剂量率超过设置阈值时，则有声光报警，人员马上撤离。

④**视频监控**：拟在热室内安装视频监控系统，便于辐射工作人员观察操作场所内及周边的情况。

⑤淋洗、药物分装过程防护措施

本项目使用核素 ^{99m}Tc 、 ^{67}Ga 、 ^{188}Re 采用发生器淋洗制得，其淋洗及其他药物 (^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N) 分装过程是在热室内的热室柜/手套箱中进行。医护人员在进行核素药品的分药、标记及淋洗操作时首先做好个人防护，包括穿铅衣，戴铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽等，佩戴好个人剂量计，将药物储存罐 (^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N) 或发生器移至手套箱/热室内，进行分装、标记或淋洗操作。操作侧下方设两个活动式铅门，作为两个操作口，医生通过此操作口进行操作。

(3) 全检质控室辐射防护设施

①**电离辐射警告标志**：拟在全检质控室入口醒目位置设置电离辐射警告标志。

②**固定式剂量报警仪**：在全检质控室内安装固定式多探头辐射剂量率仪，当探测到剂量率超过设置阈值时，则有声光报警，人员马上撤离。

(4) 放射性药物的存放控制措施

本项目正电子放射性核素药物均为医院自行制备，药物制备完毕后自动进入转运铅罐，工作人员使用长柄转运小推车进行药物转运，身体与转运铅罐 (50mmPb) 的直线距离取 1.2m ，转运时间取 3min ，运至西侧的专用药梯，由专用传药梯传送至核医学科影像诊断区的储源室内。

建设单位必须配备专(兼) 职人员负责放射性药物的管理并建立健全放射性物质的

保管、领用、注销登记和定期检查制度。要求设置专门的台账(如交收账、库存帐、消耗账), 加强对放射性药物的管理, 严防丢失。放置放射性物质的容器, 必须容易开启和关闭, 容器外必须有明显的标签(注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起止时间、存放负责人等)。放射性药物要设有专门可靠的防火防盗等安全设施的贮存场所, 不得与其他易燃易爆危险品放在一起。

(5) 发生器的存储管理措施

本项目拟外购的钼铯发生器、锶铯发生器、钨铯发生器规格分别为 1Ci、2.2Ci、0.5Ci, 发生器货包出厂前均按《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 $0.005\text{mSv/h} < H \leq 0.5\text{mSv/h}$, 同时发生器设计分别满足相关标准的要求。医院订购的发生器货包由生产厂家运至核医学科负一层的拆包室, 经过拆包后通过传递窗将发生器送入热室, 存入热室柜中待使用。废发生器暂存在负一层的放射性废物暂存间 1 个容积为 250L 的铅废物箱(10mmPb)内, 最终由有资质单位回收。

(6) 放射性“三废”辐射防护设施

①**放射性废水:** 放射性药物制备区放射性废水排水管拟采用柔性接口含铅铸铁管, 具有内壁光滑、少弯曲、扭拐等特点。医院拟在放射性药物制备区内放射性废水管道裸露部分外增加铅皮(3mmPb)包裹。衰变池四周设置隔离, 并设置电离辐射警示标志及中文说明, 以提醒无关人员不要靠近和停留。

②**放射性废气排风系统:** 拟在放射性药物制备区设 8 套专用通排风系统, 第 1 套用于收集回旋加速器机房产生的废气, 拟在穿墙管道外侧至活性炭过滤装置(含)段裸露部分采用 3mmPb 进行包裹; 第 2 套专用排风系统用于收集热固体靶室和热室内合成分装、热室柜产生的放射性废气, 第 3 套主要用于收集热室、固体靶室和放射性废物暂存间内产生的放射性废气; 第 4 套主要用于收集无菌检测室及生物安全柜内产生的放射性废气; 第 5 套主要用于收集阳性对照室及生物安全柜内产生的废气; 第 6 套主要用于收集放化室及生物安全柜、内毒室及生物安全柜产生的废气, 第 7 套主要用于收集提升泵机房产生的放射性废气; 第 8 套主要用辅助用房区域(库房、拆包间、外包间、留样间、包材标签库)产生的放射性废气。本项目区域内的放射性废气排风管道均通过核医学科北侧的排风井在核医学科楼楼顶经过高效过滤装置过滤后高于屋顶 3m 排放。其中还应在热室、固体靶室、全检质控室内手套箱、合成分装热室柜/箱和质控区生物安全柜顶

部设置活性炭过滤装置，放射性药物制备过程中产生的放射性废气采用二级过滤的设计，以最大限度地过滤吸附放射性废气。

③放射性固体废物：在放射性药物制备区产生的放射性固体废物经场所内布置的铅桶进行收集，然后暂存于回旋加速器机房北侧的放射性废物暂存间，在铅桶内经衰变清洁解控后，进行分类处置。

(7) 放射性药物制备区拟配防护用品

表 10-12 放射性药物制备区拟配防护用品一览表

序号	防护用品名称	配置场所	数量	铅当量
1	热室柜	合成分装热室柜	1 组	70mmPb
2	手套箱	全检质控室	1 个	10mmPb
3	转运药品铅罐	热室	2 个	50mmPb
		热室	2 个	10mmPb
4	铅废物桶	热室、全检质控室	3 个	10mmPb
	铅废物箱	放射性废物暂存间	3 个	10mmPb
5	去污工具	洁具室	1 套	/
6	一次性工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	更衣室	若干	/
7	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	操作间、全质全检质控室	3 套	0.5mmPb
8	多探头固定式剂量率仪	回旋加速器机房、热室、固体靶室、全检质控室	2 个	/
9	表面污染监测仪	准备缓冲间、全检质控室东侧防护门门口	2 台	/
10	便携式 X-γ 辐射监测仪	放射性药物制备区	1 台	/
11	便携式中子剂量监测仪	放射性药物制备区	1 台	/
12	个人剂量报警仪	辐射工作人员随身携带	5 台	/
13	个人剂量计	辐射工作人员随身携带	5 套	/
14	防护门	放射性药物制备区、全检质控区	若干	/

2、二层影像诊断区、门诊治疗区

(1) 辐射安全防护措施

①电离辐射警告标志：拟在一层核医学科控制区各房间防护门外设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。拟在 PET-CT 检查室、PET-MR 检查室和 SPECT-CT 检查室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为红色，

防护门打开时，指示灯灭。

②**紧急制动装置**：在控制台上、射线装置机房内、治疗床上安装供紧急情况使用的强制终止照射的紧急制动按钮。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射线装置立即停止运行。

③**操作警示装置**：PET-CT、PET-MR 和 SPECT-CT 扫描时，控制台上的指示灯变亮，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，便于观察患者的情况、核医学科工作场所进出入口情况；PET-CT、PET-MR 和 SPECT-CT 检查室与对应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检查室内受检者联系。

⑤**门禁系统**：在患者入口处设置专用门禁系统，对患者的出入进行控制。

⑥**表面沾污监测**：在控制区出口处，配置表面沾污仪，从控制区离开的人员和物品均进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。

⑦**放射性废水**：放射性废水排水管拟采用柔性接口含铅铸铁管，具有内壁光滑、少弯曲、扭拐等特点。放射性废水排水管(包括重力排水管及压力排水管)的均水平横管敷设在垫层内或专用防辐射吊顶内。医院拟在 SPECT-CT 诊断区放射性废水管道裸露部分外增加铅皮（1mmPb）包裹；在 PET-CT 和 PET-MR 诊断区放射性废水管道裸露部分外增加铅皮（3mmPb）包裹。

衰变池四周设置隔离，并设置电离辐射警示标志及中文说明，以提醒无关人员不要靠近和停留。

⑧**放射性废气**：

拟在影像诊断区和门诊治疗区内设置 6 套排风管道，其中影像诊断区 4 套，门诊治疗区 2 套。

A、影像诊断区：第 1 条为 PET 影像诊断区场所内排风系统，气流走向由低活度区流向高活度区域，经过北侧排风井引出后经高效过滤装置过滤后排放；第 2 条为 PET 影像诊断手套箱专用排风管道，经过管道引至核医学科楼南侧排风井后排放；第 3 条为 SPECT 影像诊断区场所内排风系统，气流走向由低活度区流向高活度区域，经过北侧排风井引出后经高效过滤装置过滤后排放；第 4 条为 SPECT 影像诊断手套箱专用排风管道，经过管道引至核医学科楼南侧排风井后排放。

B、门诊治疗区：第 1 条为甲亢/骨转移瘤治疗区域内的排风系统，气流走向由低活

度区流向高活度区域，经过北侧排风井引出后经高效过滤装置过滤后排放；第2条为甲亢/骨转移瘤治疗区域内手套箱排风管道，经管道引出后至核医学科楼南侧排风井排放。

建设单位应在手套箱/通风橱内设置活性炭过滤装置，并在楼顶排放口前端设置高效过滤装置，分装操作过程中产生的放射性废气经二级过滤的后排放，可最大限度地过滤吸附放射性废气。

(2) 药物存储过程的辐射防护屏蔽及辐射安全设施

本项目影像诊断区 PET 诊断项目、SPECT 诊断项目和门诊治疗项目药物由建设单位制备或外购，制备的 PET 诊断核素和 SPECT 诊断核素直接由放射性药物生产区经传药梯转入分装注射室，外购的核素由送药人员送到传药窗口后转入储源室内，生产的药物当天用完，不贮存。影像诊断区和门诊治疗区储源室内拟配置双人双锁储源保险柜，剩余放射性药物或暂时不用的放射性药品（如碘-131 或外购成品药物）由医护人员转运至该储源室储源柜中暂存，并建立放射性药物存取台账。同时各储源室内分别设置 1 套固定式剂量报警仪和 1 套视频监控系统，当药物出现被盗、失控状态将进行报警。

(3) 诊疗过程中的辐射防护屏蔽及辐射安全设施

1) PET 诊断过程的辐射防护屏蔽及辐射安全设施

PET 诊断药物分装操作均在分装注射室手套箱内完成，该手套箱设计防护铅当量为 50mm，手套箱内设活度计，分装场所设置 1 套固定式辐射剂量监测系统和 1 套视频监控系统。分装后的 PET 诊断药物装于外套 10mm 铅当量铅套的注射器内，注射器装于 10mm 铅盒中转运至注射台，注射时医生和病人间设置有 50mm 铅当量的注射窗。诊断过程中产生的放射性废物采用 10mm 铅当量铅桶收集屏蔽（设置场所包括：分装室、注射后候诊室等），然后装满后转入放射性废物间内 10mm 铅当量的放射性固废暂存容器。诊断过程医生穿着有铅衣、铅帽、铅围领、铅手套、铅眼镜等（防护铅当量为 0.5mm），并佩戴个人剂量报警仪。

2) SPECT 诊断药物诊断过程的辐射防护屏蔽及辐射安全设施

SPECT 诊断药物分装操作均在手套箱内完成，该手套箱设计防护铅当量为 10mm，手套箱内设活度测量计，分装场所设置 1 套固定式辐射剂量监测系统和 1 套视频监控系统。分装后的 SPECT 诊断药物装于外套 5mm 铅当量铅套的注射器内，注射器装于 10mm 铅盒中转运至注射室注射台，注射时医生和病人间设置有 6mm 铅当量的屏蔽铅窗。诊断过程中产生的放射性废物采用 5mm 铅当量铅桶收集（设置场所包括：分装室、注射

后候诊室等)屏蔽,然后装满后转入放射性废物间内 5mm 铅当量的放射性固废暂存容器。诊断过程医生穿着有铅衣、铅帽、铅围领、铅手套、铅眼镜等(防护铅当量为 0.5mm),并佩戴个人剂量报警仪。

3) 放射性药物治疗过程的辐射防护屏蔽及辐射安全设施

① 甲亢/骨转移瘤治疗过程的辐射防护屏蔽及辐射安全设施

医院拟在门诊治疗区拟配备 1 台 30mm 铅当量的手套箱,用于甲亢和骨转移瘤用核素的分装操作,手套箱内设活度计,分装场所设置 1 套固定式辐射剂量监测系统和 1 套视频监控系统。分装后的甲亢用核素碘-131 的分装后置于 20mm 铅当量的服药杯内,骨转移瘤所用核素置于服药杯或者注射器内,通过 20mm 铅当量注射窗给药或注射。甲亢药物制备、给药过程中产生的放射性废物采用 10mm 铅当量铅桶收集屏蔽(设置场所包括:分装室、注射后候诊室等),然后装满后转入放射性废物暂存间 3 内 10mm 铅当量的铅废物箱中;骨转移瘤治疗过程中产生的放射线性固体废物采用 5mmPb 铅废物桶收集后,转入放射性废物暂存间 3 内 5mmPb 铅废物箱中。此过程医生穿着有铅衣、铅帽、铅围领、铅手套、铅眼镜等(防护铅当量为 0.5mm),并佩戴个人剂量报警仪。

② 甲功检测过程辐射防护屏蔽及辐射安全设施

本项目 ^{131}I 甲功检测购买已分装好的碘 ^{131}I 化钠药品,由放射性药物供应单位将分装好的药物直接送至储源室药物储存罐内,由医生取药后供患者口服。医护人员将放射性药物递给患者,在医护人员的注视下完成服药,服药后患者离开甲测室,定时回到甲测室进行监测。给药和检测过程中,医护人员距离患者约 0.5m,医护人员穿着有铅衣、铅帽、铅围领、铅手套、铅眼镜等(防护铅当量为 0.5mm),并佩戴个人剂量报警仪。

4) 敷贴过程中的辐射防护

^{90}Sr - ^{90}Y 皮肤敷贴器是将 ^{90}Sr - ^{90}Y 不溶性化合物均匀滚轧在银底与金面之间,装在铝合金壳内,制成 30mm×30mm 的敷贴放射源。 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器除铝合金外壳外,还配有铝合金手柄和有机玻璃防护屏,使用时将手柄插入有机玻璃防护屏中心孔内,并拧入铝合金源壳螺栓孔中。敷贴器使用中应避免锐器损坏源窗面,不得将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中,使用后应及时存入保险柜内。

5) 放射性药物存储辐射防护措施

① 放射性药品的存储

本项目核医学科 PET 影像诊断区内使用的放射性核素 (^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{89}Zr) 均由

负一层回旋加速器制得， ^{68}Ga 由热室内锗镓发生器淋洗制得，SPECT 影像诊断区使用的放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 由热室内钼锝发生器淋洗制得，制备的药物成品通过净化通道经药梯传送至一层影像诊断区储源室内，分别由医护人员在手套箱内进行分装；门诊治疗区内使用的 ^{131}I 和 ^{89}Sr 通过外购，由厂家发货送到门诊治疗区储源室内进行暂存。一般情况下，放射性药物制备区按需制备放射性药物，储源室拟设置双人双锁的保险柜，未用完的放射性药物放置在储源室保险柜内，日常期间由值班人员巡视检查，储源室出入口安装摄像头、红外报警系统。

影像诊断区储源室四周拟采用 370mm 实心砖、5mmPb 防护门进行防护，门诊治疗区拟采用 250mm 混凝土、5mmPb 防护门进行防护，建设单位应采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的“六防”安全措施。

A、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部分；

B、储源室要有专人进行管理，并定期进行辐射剂量的监测，无关人员不准许进入；

C、储放射放射性药物要有进出登记，包括生产日期、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帐制度；

D、医院有完善的放射性核素存储、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。

②敷贴器的存放

敷贴治疗室敷贴治疗的所使用的 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器，平时存放于门诊治疗区储源室内，每日使用时，由医护人员转移至敷贴室进行使用。敷贴室使用后的敷贴器回收经过消毒后继续使用，不产生放射性废物。

6) 表面污染控制措施

为保证非密封放射性物质工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，环评提出以下管理措施和要求：

①放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏；

②操作放射性药物时，须在有负压的手套箱内进行，防止放射性物质飞散；

③放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品；

④操作台、地面应当选用易于清污和防污染的材料或材质，并且每次操作完成后应

当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。注射窗口的药品操作台上及托盘内，在操作过程中垫上一次性、容易吸附溅洒液体的厚纸，每次完成注射工作后，将其放入放射性废物桶内，这样便于保持操作台免受放射性沾污。

7) 人员防护措施

①对给药后患者的防护措施

本项目甲吸、敷贴治疗、 ^{89}Sr 治疗患者无需住院，服药、敷贴或者注射完成短暂观察后可直接出院。根据设计方案，本项目给药后患者与陪护人员及其他公众的隔离管理，候诊和留观期间禁止患者随意走动，并使用患者专用厕所进行大小便，在观察结束后按指定线路离开核医学科，避免了给药后患者与给药前患者路径的交叉。

②辐射工作人员的防护

为减少辐射工作人员受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护、时间防护和距离防护。

A、屏蔽防护：将辐射源安置在专用、固定的工作场所内，通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的辐射危害；为核素操作人员配备铅防护手套、铅衣等个人防护用品，注射器配备注射防护套和注射器防护提盒，本项目所有拟配备的防护用品和辅助防护设施的铅当量至少为 0.25mmPb。

B、时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少工作时间，使照射时间最小化。

C、距离防护：在不影响工作质量前提下，保持与辐射源尽可能大的距离。

D、表面沾污监测：设置淋浴卫生通过间，辐射工作人员操作后离开辐射工作场所前洗手和进行表面污染监测，如污染水平超过规定值要求，采取相应的去污措施。

E、个人剂量检测：医院拟为辐射工作人员配备个人剂量计，并要求上班期间必须正确佩戴，并定期送检，且定期开展职业健康体检，建立个人剂量档案和个人职业健康监护档案。

③其他人员防护

A、屏蔽防护：辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚、窗等实体进行屏蔽防护。

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

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

8) 影像诊断区、门诊治疗区拟配防护用品

表 10-13 影像诊断区、门诊治疗区内拟配防护用品一览表

序号	防护用品名称	配置场所	数量	备注
1	储源铅柜	影像诊断区储源室	1 个	20mmPb
		门诊治疗区储源室	1 个	30mmPb
2	SPECT-CT 手套箱	分装注射室	1 个	10mmPb
	PET 手套箱		1 个	60mmPb
	甲亢/ ⁸⁹ Sr 手套箱	分装室	1 个	30mmPb
3	注射/给药铅窗	SPECT-CT 注射室	1 个	6mmPb
		PET-CT 注射室	1 个	40mmPb
		门诊治疗区分装室	1 个	30mmPb
4	注射器防护套	SPECT 注射室	若干	5mmPb
		PET 注射室	若干	10mmPb
5	SPECT 注射器防护提盒	分装注射室	1 个	5mmPb
	PET 注射器防护提盒		1 个	10mmPb
	铅防护罐	门诊治疗区分装室	若干	30mmPb
6	SPECT 放射性固体废物暂存桶	分装注射室、注射后等待室、留观室	3 个	5mmPb
	PET 放射性固体废物暂存桶		3 个	10mmPb
7	¹³¹ I 放射性固体废物暂存桶	门诊治疗区分装室	1 个	5mmPb
	⁸⁹ Sr 放射性固体废物暂存桶	门诊治疗区分装室	1 个	10mmPb
8	观察窗	SPECT-CT 检查室	2 个	5mmPb
		PET-CT、PET-MR 检查室	2 个	20mmPb
9	铅废物箱	放射性废物暂存间 1	3 个	5mmPb
		放射性废物暂存间 2	3 个	10mmPb
		放射性废物暂存间 3	1 个	5mmPb
			2 个	10mmPb
10	铅防护屏风	SPECT-CT 注射后等候室	3 扇	5mmPb
		PET-CT 注射后等候室	3 扇	20mmPb
		PET 留观室	3 扇	15mmPb
		留观/抢救室	1 扇	15mmPb

11	去污工具组	清洁间	2 套	/
12	防护门	SPECT-CT 检查室	2 扇	5mmPb
		PET-CT、PET-MR 检查室	2 扇	20mmPb
		SPECT-CT 控制室	2 扇	5mmPb
		PET-CT、PET-MR 控制室	2 扇	20mmPb
		SPECT-CT 注射室	1 扇	6mmPb
		PET 注射室	1 扇	20mmPb
		放射性废物暂存间 1	2 扇	5mmPb
		放射性废物暂存间 2	2 扇	10mmPb
		储源室防护门（双人双锁）	3 扇	5mmPb
		放射性废物暂存间 3	2 扇	5mmPb
		PET 留观室	1 扇	20mmPb
		SPECT 留观室	1 扇	5mmPb
		PET 病患通道	2 扇	6mmPb
		SPECT 病患通道	2 扇	2mmPb
	门诊治疗区患者通道	2 扇	15mmPb	
13	一次性工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	缓冲通过间	若干	/
14	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	缓冲通过间	9 套	0.5mmPb
15	表面污染监测仪	缓冲通过间、病患走道末端、门诊治疗区缓冲通过间	3 台	/
16	便携式 X-γ辐射监测仪	核医学科一层	1 台	/
17	个人剂量报警仪	分装、标记和注射人员，技师和护士随身佩戴	9 台	最多 9 名工作人员同时工作
18	个人剂量计	辐射工作人员随身佩戴	18 套	每人 1 套

9) III 类射线装置的防护

本项目 III 类射线装置为 SPECT-CT 和 PET-CT，根据设计文件，目前设计的主要安全防护措施如下：

1) 安全防护措施

①具有安全设备，当设备出现错误或故障时，能中断照射，并有相应故障显示。

②正常情况下，必须按规定程序并经控制台确认验证设置无误时，才能由"启动"键启动照射。

③紧急止动装置：控制台设置紧急止动按钮（各按钮分别与 X 射线系统连接）。X 射线系统出束过程中，一旦出现异常，按动紧急止动按钮，可停止 X 射线系统出束。

④门灯连锁：机房防护门外顶部设置工作状态指示灯。指示灯为红色，以警示人员注意安全；当防护门打开时，指示灯灭。

⑤警告标志：机房的防护门外的醒目位置，设置明显的电离辐射警告标志。

2) 其他防护措施

①机房操作室上张贴相应的岗位规章制度、操作规程；

②机房门外应有电离辐射警告标志、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句；装置应有“紧急止动”按钮，机房门应有闭门装置，工作状态指示灯与机房门连锁等安全设施；

③机房受检者出入口门外应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近；

④为患者和陪护人员配备个人防护用品；

⑤辐射工作人员必须配备个人剂量计。

3、核医学科病房治疗区

建设单位拟在核医学科楼二层东部使用核素 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{188}Re 、 ^{161}Tb 、 ^{225}Ac 、 ^{223}Ra 和 ^{111}In ，用于肿瘤治疗。

1) 辐射安全防护措施

①**电离辐射警告标志**：拟在核医学科门诊治疗区各房间防护门外设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。

②**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、核医学科工作场所进出入口情况；在分装配药室与服药/注射室、治疗兼抢救室之间，在治疗区医护工作场所与病房之间均安装对讲装置，便于工作人员通过对讲装置与患者联系。

③**门禁系统**：在患者出入口处均设置专用门禁系统，对受检者的出入进行控制。

④**表面沾污监测**：在控制区出口处，配置表面沾污仪，从控制区离开的人员和物品均进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。

⑤**放射性废水**：放射性废水排水管拟采用柔性接口含铅铸铁管，具有内壁光滑、少弯曲、扭拐等特点。放射性废水排水管(包括重力排水管及压力排水管)的均水平横管敷设在垫层内或专用防辐射吊顶内。医院拟在放射性废水管道裸露部分外增加铅皮包裹(3mmPb)。

衰变池四周设置隔离，并设置电离辐射警示标志及中文说明，以提醒无关人员不要靠近和停留。

⑥**放射性废气**

建设单位拟在病房治疗区内设5套排风管道。第1条为治疗病房区内排风管道，第2条为功能辅助区内的排风管道，气流走向均为低活度区域流向高活度区域，经排风管道收集后的放射性废气经核医学科楼北侧排风井引出后，经高效过滤装置过滤再排放。第3条和第4条分别为手套箱和预留通风橱排风管道，第5条为医生办公及其他区域排风管道，均通过核医学科楼南侧排风井引至楼顶，延伸管道远离拟建建筑后排放。

建设单位应在通风橱/手套箱内设置活性炭过滤装置，并在楼顶排放口前端设置高效过滤装置，分装操作过程中产生的放射性废气经二级过滤的后排放，可最大限度地过滤吸附放射性废气。

2) 操作过程辐射防护措施

②**口服药物操作过程中的辐射防护**

患者经前期检查后，医院根据患者病情所需药物的使用量，向放射性核素供应单位提前订购，并由供应单位指定专人负责运送至储源室。对于口服的放射性药物，辐射工作人员穿好防护服，佩戴好个人剂量计后，将装有核素药品的铅罐放置到手套箱内，进行人工药物分装，分装完成后将单人份的放射性药物放入30mmPb的铅防护罐中，再通过传递窗递给患者服用。辐射工作人员当天按计划对患者用药，每日药物分装完成后基本不会有放射性核素剩余。放射性药物由专业供货商每天一早在医院上班之前送至医院。放射性药物送至医院后由核医学科护士站专人接收、登记。核医学科工作人员接收药物后，从护士站西侧入口进入经医护通道将药物送至储源室储存。药物运送全程避开了人群。在分装配药室分装后通过传递窗送至服药/注射室服药或注射，服药注意事项如下：

A、患者听工作人员提示，戴上一一次性手套及吸水纸，从防护罐中用镊子取出药瓶。取出时，另一只手握紧药瓶。

B、请小心打开瓶盖，不要把药液洒出。

C、服药时，不要把药液洒出。

D、服完后，患者请拿起预备好的针筒对准药瓶瓶口，轻轻将针筒内的水打入药品内并喝下。

E、继续根据工作人员提示，患者重复上面的步骤。

F、服完后，盖好空的药瓶，放回铅防护罐中，盖好防护罐。

G、拿起准备好的水杯，将水杯中的水喝下，紧闭嘴巴漱口。

H、完成上述步骤后，患者请把用过的杯子、针筒和手套放入塑料袋中，并封口放入放射性废物暂时收集铅罐。放射性固废在一天的工作结束后需及时分类集中放置于放射性废物暂存库。

I、患者听从工作人员留观或安排病床休息。

患者服药后在专用的甲癌病房内住院治疗，待患者体内的放射性核素活度衰减到国家标准规定的水平以下方能出院。

③注射药物注射过程辐射防护措施

本项目病房治疗区内使用的部分核素，患者给药采用注射方式进行，分装室内的工作人员(作好防护措施，穿铅衣、铅手套等)将装有放射性药物的铅罐装入操作台内，注射药物时，工作人员从铅罐内吸取药物进行注射，患者通过患者通道到达注射窗口接受注射，注射窗口前设置1个带盖的放射性废物暂时收集铅罐（10mm铅当量）。

3) 放射性药物存储辐射防护措施

本项目核医学科治疗使用的 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{161}Tb 、 ^{225}Ac 、 ^{223}Ra 和 ^{111}In 均为医院向有相关资质的放射性核素供应单位购买， ^{188}Re 在负一层放射性核素制备区热室内进行淋洗制备。医院根据临床诊断所需药物的使用量，提前向放射性核素供应单位订购或淋洗，供应单位在约定的时间负责将放射性药物运送至工作场所内，建设单位安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续，暂存于储源室。整个药液瓶被放置在铅罐内，一般在放射性核素送达当天全部使用完，正常情况下不会有放射性核素存放过夜。特殊情况下，由于患者未来就诊等原因，造成放射性核素未在当天使用完，少量放射性核素需在储源室存放过夜。储源室拟设置双人双锁的保险柜，未用完的放射性药物放置在储源室保险柜内，日常期间由值班人员巡视检查，储源室出入口安装摄像头、红外报警系统。

储源室的实体屏蔽（四周为 370mm 实心砖，防护门屏蔽效能为 5mmPb）满足要求，应采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的“六防”安全措施。

A、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部分；

B、储源室要有专人进行管理，并定期进行辐射剂量的监测，无关人员不准许进入；

C、储存放射性药物要有进出登记，包括生产日期、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帐制度；

D、医院有完善的放射性核素存储、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。

4) 表面污染控制措施

为保证非密封放射性物质工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，环评提出以下管理措施和要求：

①放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏；

②操作放射性药物时，须在有负压的手套箱内进行，防止放射性物质飞散；

③放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品；

④操作台、地面应当选用易于清污的台面和防污染覆盖材料，防污染并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。注射窗口的药品操作台上及托盘内，在操作过程中垫上一次性、容易吸附溅洒液体的厚纸，每次完成注射工作后，将其放入放射性废物桶内，这样便于保持操作台免受放射性沾污。

5) 人员防护措施

①对给药或注射后患者的防护措施

本项目核医学科病房治疗区使用不同核素、不同剂量的患者不安排在同一间病房内，避免服用低剂量核素患者受到高剂量核素患者的影响，病房内床位之间拟设置 15mmPb 铅屏风。针对患者住院期间有探视者进入病房的情况，需经医院管理人员同意并登记，探视前需提前告知辐射可能带来的危害性，探视期间严格控制探视时间(不大于 15min) 及与患者之间的距离，并采取必要的辐射屏蔽措施，如穿着铅服或设置隔

离铅屏风等。

②辐射工作人员的防护

为减少辐射工作人员受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护、时间防护和距离防护。

A、屏蔽防护：将放射性药物安置在专用、固定的储源室储源柜内，通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的辐射危害；为核素操作人员配备铅防护手套、铅衣等个人防护用品，注射器配备注射防护套、铅防护罐和注射器防护提盒，并配备的 0.5mmPb 及以上的防护用品和辅助防护设施。

B、时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少工作时间，使照射时间最小化。

C、距离防护：在不影响工作质量前提下，保持与辐射源尽可能大的距离。

D、表面沾污监测：设置淋浴卫生通过间，辐射工作人员操作后离开辐射工作场所前洗手和进行表面污染监测，如污染水平超过规定值要求，采取相应的去污措施。

E、个人剂量检测：医院拟为辐射工作人员配备个人剂量计，并要求上班期间必须正确佩戴，并定期送检，且定期开展职业健康体检，建立个人剂量档案和个人职业健康监护档案。

③其他人员防护

A、屏蔽防护：辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚、窗等实体进行屏蔽防护。

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

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

7) 核医学科治疗拟配防护用品

表 10-14 核医学科门诊治疗区内拟配防护用品一览表

序号	防护用品名称	配置场所	数量	备注
1	储源柜	储源室	1 个	20mmPb
2	手套箱	分装配药室	1 个	50mmPb
3	储源铅罐	分装配药室	1 个	40mmPb
4	防护窗	分装配药室	1 个	40mmPb
		备餐间	1 个	40mmPb

		分装配药室	1 个	40mmPb
		护士站	1 个	40mmPb
5	注射器防护套	分装配药室	若干	10mmPb
6	注射器防护提盒	分装配药室	若干	10mmPb
7	铅防护罐	分装配药室	若干	30mmPb
8	铅废物桶	核医学科病房	10 个	10mmPb
		治疗兼抢救室	1 个	20mmPb
		分装配药室	1 个	20mmPb
		服药/注射室	1 个	20mmPb
9	铅废物箱	放射性废物暂存间 1	3 个	10mmPb
		放射性废物暂存间 2	6 个	10mmPb
10	铅防护屏风	病房 1~病房 10	10 扇	25mmPb
11	去污工具组	污洗室	2 套	/
12	铅衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、有机玻璃面罩	核医学科门诊治疗区卫生通过间	6 套	0.5mmPb
13	表面污染监测仪	卫生通过间、病患走道末端	2 台	/
14	便携式 X-γ辐射监测仪	病房治疗区	1 台	/
15	个人剂量报警仪	给药室辐射工作人员随身佩戴	8 台	每人 1 台
16	个人剂量计	辐射工作人员随身佩戴	8 套	每人 1 套
17	防护门	储源室（双人双锁）	2 扇	5mmPb
		分装配药室（南侧）	2 扇	15mmPb
		服药/注射室	1 扇	15mmPb
		放射性废物暂存间 1	2 扇	5mmPb
		治疗抢救室	2 扇	15mmPb
		病房 1~病房 10	10 扇	20mmPb
		放射性废物暂存间 2	1 扇	10mmPb
		污染被服间	1 扇	10mmPb
		患者走道	2 扇	20mmPb
		患者出口缓冲间	2 扇	15mmPb

4、小结

综上所述，本项目核医学科按照上述辐射安全与防护措施落实后，能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。放射性废水能够得到及时有效的处理，放射性固体废物能够实现规范的管理，放射性废气能够得到有效的治理，放射性物质工作场所的辐射安全能够得到一定的保障。

五、辐射安全防护设施对照分析

综上所述，辐射安全防护分析及措施，医院需对下表所列设施进行配置：

表 10-15 本项目辐射安全防护设施对照分析表

项目	应具备的条件	落实情况	需补充或修改内容
放射性药物制备区			
实体防护	墙体、铅防护门	已设计	/
	隔室操作	已设计	/
	通风设施	拟设计	负压通风
	排风设施	拟设计	拟将回旋加速器机房、热室及合成柜、分装柜等管道采用铅皮包裹（6mmPb）
	单向门禁系统	已设计	/
	入口处电离辐射警告标志	拟设置	/
	入口处工作状态显示	拟设置	/
	回旋加速器制备场所内分区	已设计	/
	地下沟管铅砖防护	已设计	/
应急、联锁	门机联锁	拟设置	/
	紧急停机开关	拟设置	/
	紧急开门按钮	拟设置	/
警示装置	电视监控、对讲装置	拟设置	包含回旋就加速器机房、热室
	广播系统	拟设置	/
监测设备	多探头γ辐射剂量率仪	拟配置	/
	便携式表面污染监测仪	拟配置	/
	便携式中子剂量监测仪	拟配置	/
	个人剂量报警仪	拟配置	/
其他	火灾报警仪	拟配置	/
	灭火器材	拟配置	拟配高压细水雾灭火系统
	衰变池	已设计	/
	放射性废物暂存间，防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄露措施	已设计	/
影像诊断区、门诊治疗区、病房治疗区			
场所设施	墙体、观察窗、机房防护门	已设计	

	场所门外电离辐射警示标志、通道标志	已设计	/
	独立的排风设施（流向）	拟设计	/
	有负压和过滤的工作箱/通风柜（乙级场所）	已设计	/
	注射、给药用屏蔽设施	已设计	/
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料	拟设计	/
	移动放射性液体时容器不易破裂或有不易破裂套	拟设计	/
	患者专用卫生间	已设计	/
	放射性同位素暂存库或设施	已设计	/
	放射性固体废物收集容器和放射性标识	已设计	/
	安全保卫设施（贮存场所必须）	已设计	/
	人员出口配备污染监测仪	计划配备	/
	发生器辐射屏蔽	已设计	/
	操作位屏蔽防护措施	已设计	/
	放射性废液暂存设施	已设计	/
	工作状态指示灯	拟设置	SPECT-CT 机房、PET-CT 机房、 PET-MR 机房
	门灯联锁装置	拟配置	
	室内安装紧急止动装置	拟设置	
	对讲装置	拟配置	影像诊断区、门诊治疗区、病房治疗区
监测设备	储源室安装固定式剂量报警仪	计划配备	/
	便携式X-γ辐射监测仪（污染、辐射水平等）	共用	/
	个人剂量计	计划配备	/
	个人剂量报警仪	计划配备	/
	放射性活度计	计划配备	/
放射性废物和废液	放射性下水系统（衰变池）及标识	已设计	/
	放射性固体废物暂存间（设施）	已设计	/
	废物暂存间屏蔽措施	已设计	/
	废物暂存间通排风系统	拟设计	/
防护器材	通道铅隔板、门禁、监控装置	计划配备	/
	场所门外电离辐射警示及禁止串门的标志	计划配备	/
	个人防护用品	计划配备	/
	放射性表面去污用品和试剂	计划配备	/
	火灾报警仪	计划配备	/
	灭火器材	计划配备	灭火器
介入手术室			
场所设施	操作位局部屏蔽防护设施	已设计	/
	观察窗屏蔽	已设计	设计中已有
	机房防护门	已设计	设计中已有
	通风设施	已设计	设计中已有
	紧急停机按钮	设备自带	增加中文标识
	门灯连锁	/	拟配置

	对讲系统	/	拟配置
	入口处电离辐射警告标志	/	拟配置
	入口处机器工作状态指示灯箱	/	拟配置
监测设备	便携式辐射剂量监测仪	/	拟配置
	个人剂量报警仪	/	需配备 3 台
	个人剂量计	/	拟配置
防护器材	医护人员个人防护	/	配备铅防护服 2 套、铅橡胶帽子 2 套、铅橡胶颈套 2 套、铅橡胶围裙 2 套、铅防护眼镜 2 副、介入防护手套 2 双
	患者防护	/	需配备铅防护服 1 套、铅橡胶帽子 1 套、铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 1 套、铅橡胶围裙 1 套

六、环保投资

本项目总投资**万元，环保投资**万元，占总投资的**%。本项目环保投资估算见下表。

表 10-16 环保设施及投资估算一览表

辐射安全防护设施		数量（套/个）	投资金额（万元）
放射性药物制备区			
实体防护	四周墙体+屋顶屏蔽+传递窗	若干	计入大楼主体建设
	铅防护门	若干	
场所设施	药物合成分装柜	1 台	**
	手套箱	1 个	**
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料	1 套	**
	地下沟管	1 套	**
	铅盖板（60mmPb）	若干	**
	药物转运铅罐	4 个	**
	不锈钢转运推车	2 个	**
	全检质控室通风厨	1 个	**
	视频监控对讲装置	1 套	**
	放射性废物暂存间	1 间	**
警示装置	电离辐射警示标识	2 套	**
监测设备	便携式 X-γ辐射监测仪	1 台	**
	多探头固定式剂量率仪	2 套	**
	放射性活度计	2 台	**
	表面污染监测仪	2 台	**
	便携式中子剂量监测仪	1 台	**

个人防护用品	个人剂量报警仪	5 台	**
	个人剂量计	5 套	**
	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	3 套	**
放射性废物和废液	放射性废水衰变池	1 座	**
	独立下水系统及排水管道屏蔽防护	1 套	**
	10mmPb铅废物桶	3 个	**
	20mmPb铅废物箱	3 个	**
其他	放射性表面去污用品和试剂	若干	**
	合成柜、分装柜等密闭设备独立排风系统（铅皮包裹）	1 套	**
	回旋加速器机房通风系统、排风系统（铅皮包裹）	1 套	**
	其他区域通排风系统	7 套	**
	过滤装置	8 套	**
	高压细水雾灭火系统	1 套	**
影像诊断区			
实体防护	防护墙体、铅防护门、防盗铅门、注射铅窗、传递窗、观察窗	若干	**
场所设施	储源铅柜	1 个	**
	手套箱	2 个	**
	注射器防护提盒	2 个	**
	注射器防护套	若干	**
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料	1 套	**
	铅废物桶	2 个	**
	铅防护屏风	9 扇	**
	去污工具组	2 套	**
	不锈钢转运推车	2 台	**
	对讲装置	4 套	**
警示标识	电离辐射警示标识	1 套	**
	监督区、控制区标识	若干	**
	患者就诊路径标识	若干	**
安全设施	医护人员通道、患者通道门禁系统	2 套	**
	视频监控、语音广播系统	1 套	**
监测设备	储源室固定式剂量报警仪	1 台	**
	放射性活度计	2 台	**
	表面污染监测仪	3 套	**
	便携式X-γ辐射监测仪	1 套	**
个人防护用品	个人剂量报警仪	9 台	**
	个人剂量计	18 套	**
	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜（0.5mmPb）	9 套	**
放射性废物	放射性废水衰变池	1 座	**

和废液	放射性固体废物暂存间1、放射性废物暂存间2	1 间	**
	5mmPb铅废物箱	4 个	**
	10mmPn铅废物箱	5 个	**
	独立下水系统及排水管道屏蔽防护	1 套	**
其他	放射性表面去污用品和试剂	若干	**
	密闭操作设施独立排风系统	2 套	**
	场所区域内通排风系统	2 套	**
	过滤装置	4 套	**
	灭火器材	2 套	**
核医学科门诊治疗区			
实体防护	防护墙体、防护门、防护窗、防盗铅门	若干	**
场所设施	储源铅柜	1 个	**
	手套箱	1 个	**
	铅屏风	1 扇	**
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料	2 套	**
警示标识	电离辐射警示标识	若干	**
	监督区、控制区标识	若干	**
	患者治疗路径标识	若干	**
安全设施	医生通道、患者通道门禁系统	2 套	**
	视频监控	1 套	**
	语音广播系统	1 套	**
	注射器防护套	若干	**
	注射器防护提盒	1 个	**
	铅防护罐	若干	**
监测设备	储源室固定式剂量报警仪	1 台	**
	放射性活度计	1 台	**
	表面污染监测仪	1 套	**
	便携式X-γ辐射监测仪	1 套	**
个人防护用品	个人剂量报警仪	3 台	**
	个人剂量计	7 套	**
	有机玻璃面罩、铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜（0.5mmPb）	2 套	**
放射性废物和废液	放射性废水衰变池	1 座	**
	放射性固体废物暂存间	1 间	**
	铅废物桶	3 个	**
	铅废物箱	3 个	**
	独立下水系统及排水管道屏蔽设施	2 套	**
其他	放射性表面去污用品和试剂	若干	**
	密闭操作设施独立排风系统	1 套	**
	场所区域内通排风系统	1 套	**
	过滤装置	2 套	**
	去污工具组	2 套	**

	灭火器材	1 套	**
核医学科病房治疗区			
实体防护	防护墙体、防护门、防护窗、传递窗等	若干	**
场所设施	储源铅柜	1 个	**
	手套箱	1 个	**
	储源室防盗铅门	2 扇	**
	铅屏风	10 扇	**
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料	2 套	**
警示标识	电离辐射警示标识	若干	**
	监督区、控制区标识	若干	**
	患者治疗路径标识	若干	**
安全设施	医生通道、患者通道门禁系统	2 套	**
	视频监控、对讲系统	2 套	**
	语音广播系统	1 套	**
	注射器防护套	若干	**
	注射器防护提盒	1 个	**
	铅防护罐	若干	**
	一体化注射装置	1 套	**
监测设备	多探头固定式剂量报警仪	1 台	**
	放射性活度计	1 台	**
	表面污染监测仪	2 套	**
	便携式X-γ辐射监测仪	1 套	**
个人防护用品	个人剂量报警仪	8 台	**
	个人剂量计	8 套	**
	有机玻璃面罩、铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜（0.5mmPb）	6 套	**
放射性废物和废液	放射性废水衰变池	1 座	**
	放射性固体废物暂存间	2 间	**
	铅废物桶	13 个	**
	铅废物箱	9 个	**
	独立下水系统及排水管道屏蔽防护	2 套	**
其他	放射性表面去污用品和试剂	若干	**
	手套、通风橱箱独立排风系统	2 套	**
	储源室、分装配药室、放射性废物暂存间 1 等区域通排风系统	1 套	**
	病房、放射性废物暂存间 2 等区域通排风系统	1 套	**
	医生办公及其他区域排风系统	1 套	**
	过滤装置	5 套	**
	去污工具组	2 套	**
	灭火器材	2 套	**
介入手术室			

辐射屏蔽措施	四周墙体+屋顶屏蔽	/	**
安全装置	工作状态指示灯箱	1套	**
	电离辐射警告标志	3个	**
	铅悬挂防护屏/铅防护帘	1副	**
	床侧防护帘/床侧防护屏	1副	**
	门灯连锁装置	1套	**
	紧急止动装置	1套	**
	对讲装置	1台	**
监测仪器和个人防护用品	个人剂量计	10套	**
	个人剂量报警仪	3台	**
	便携式辐射剂量监测仪	1台	**
	配备铅防护衣铅橡胶帽子、铅橡胶颈套、铅橡胶围裙、铅防护眼镜、介入防护手套	4套	**
其他	通排风系统	各1套	**
	灭火器材	1套	**
III类射线装置（SPECT-CT、PET-CT、PET-MR）			
实体防护	四周墙体+屋顶屏蔽	4套	**
	铅防护门、观察窗	4套	**
警示装置	工作状态指示灯	4个	**
	电离辐射警告标志	4个	**
紧急设施	门灯、门机连锁装置	4套	**
	紧急止动装置	4套	**
	紧急开门按钮	4套	**
	视频监控和对讲	4套	**
监测设备	个人剂量计	8套	**
防护设施	铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾等	8套	**
	通风系统	1套	**
	排风系统	1套	**
合计		/	**

今后医院在项目实践中，应根据国家发布的法规内容，结合医院实际情况对环保设施做补充，使之更能满足实际需要。同时医院应定期对环保设施、监测仪器等进行检查、维护。

三废的治理

一、废气治理措施

本项目产生的废气主要为核医学科产生的放射性废气和介入手术室产生的臭氧。核医学科放射性废气来源于放射性药物制备区、影像诊断区、门诊治疗区和病房治疗区放

射性药品制备、操作过程产生的放射性气溶胶。放射性药物生产区、门诊治疗区和病房治疗区放射性废气均单独设置有排风系统，各自独立不交叉，分别经管道引至核医学科楼楼顶排放，且核医学科通排风系统采用独立设计，不与其他非辐射工作区域通排风系统交叉。核医学科设计了独立的排风系统和新风系统，排风量大于新风量，核医学科处理负压状态。

1、放射性药物制备区排风系统

在工作场所内，拟设 8 套专用通排风系统，其中 1 套为回旋加速器排风管道，3 套为质控区域内及生物安全柜/手套箱的排风管道，1 套为热室、固体靶室排风管道，1 套为热室、固体靶室内合成分装热室柜、其他热室柜/手套箱的排风管道，1 套为提升泵机房的排风管道，1 套为其他配套区域（制药原料区、外包间、留样间、包材及标签库）排风管道，以上排气管道拟在楼顶排放口设置高效过滤装置吸附，对于热室、全检质控室手套箱和质控区生物安全柜/手套箱等还应在箱体顶部设置活性炭过滤装置，采用二级过滤的设计，最大限度地过滤吸附放射性废气。

2、影像诊断区排风系统

拟设 4 套专用通排风系统，第 1 条为 PET 影像诊断区场所内排风系统，气流走向由低活度区流向高活度区域，经过北侧排风井引出后经高效过滤装置过滤后排放；第 2 条为 PET 影像诊断手套箱专用排风管道，经过管道引至核医学科楼南侧排风井后排放；第 3 条为 SPECT 影像诊断区场所内排风系统，气流走向由低活度区流向高活度区域，经过北侧排风井引出后经高效过滤装置过滤后排放；第 4 条为 SPECT 影像诊断手套箱专用排风管道，经过管道引至核医学科楼南侧排风井后排放。上述 2 套场所内排风管道均在核医学科北侧的排风井集束后在核医学科楼楼顶排放，且拟在楼顶排放口设置高效活性炭过滤装置吸附，对于 2 套手套箱排风管道应在箱体顶部内侧设置活性炭或其他过滤装置吸附后再通过高效过滤装置进行过滤处置，采用二级过滤的设计，可以最大限度地过滤吸附放射性废气。

3、核医学科门诊治疗区排风系统

门诊治疗区拟设 2 套专用通排风系统，第 1 条为甲亢/骨转移瘤治疗区域内的排风系统，气流走向由低活度区流向高活度区域，经过北侧排风井引出后经高效过滤装置过滤后排放；第 2 条为甲亢/骨转移瘤治疗区域内手套箱排风管道，经管道引出后至核医学科楼南侧排风井排放。上述手套箱排风管道应在箱体顶部内侧设置活性炭或其他过滤装置

吸附后再通过高效过滤装置进行过滤处置，采用二级过滤的设计，可最大限度地过滤吸附放射性废气。

4、核医学科病房治疗区排风系统

建设单位拟在病房治疗区内设5套排风管道。第1条为治疗病房区内排风管道，第2条为功能辅助区内的排风管道，气流走向均为低活度区域流向高活度区域，经排风管道收集后的放射性废气经核医学科楼北侧排风井引出后，经高效过滤装置过滤再排放。第3条和第4条分别为手套箱和预留通风橱排风管道，第5条为医生办公及其他区域排风管道，均通过核医学科楼南侧排风井引至楼顶，延伸管道远离拟建建筑后排放。上述手套箱排风管道应在箱体顶部内侧设置活性炭或其他过滤装置吸附后再通过高效过滤装置进行过滤处置，采用二级过滤的设计，可最大限度地过滤吸附放射性废气。

(5) 小结

本项目合成分装等操作拟在密闭操作箱体/柜体内顶壁安装活性炭/其他过滤装置，场所内气流排风管道均由低活度区域向高活度区域，拟在排风管道内设置止回阀，防止放射性废气及气溶胶对工作场所造成交叉污染，拟在各管道的排风口前端设高效过滤装置。

综上，本项目核医学科排风系统满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中关于“①保持工作场所负压和各区之间的压差，使得工作场所气流由清洁区流向监督区再流向控制区；②应在手套箱设计独立排风系统，在每一个密闭设备顶壁安装活性炭过滤装置，经过滤装置处理后的废气经管道在楼顶经过活性炭吸附+高效过滤装置处理后排放；③使用回旋加速器制备放射性药物的场所应设有单独的通风系统，加速器屏蔽区内应有单独的排气管道，并呈负压状态”等相关要求。

(2) 介入手术室

根据设计方案，建设单位拟在门诊医技综合楼一层影像科设单独的通风系统和排风系统各一套，其中介入手术室排风量不低于 1000m³/h，每小时排风次数约 5 次，介入手术室内产生的放射性废气经管道引出后，与影像科其他排风管道合管后经排风井在楼顶排放，对周围环境的影响较小。

二、废水处理措施

1、放射性废水

医院拟在核医学科楼外北侧建设 2 组地理槽式衰变池，衰变池 2 收集放射性药物制

备区和影像诊断区内产生的含核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 和 ^{188}Re 的放射性废水，衰变池 1 收集核医学科门诊治疗区、病房治疗区内产生的含核素 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{111}In 、 ^{223}Ra 、 ^{188}Re 、 ^{161}Tb 的废水。建设单位应对化粪池、衰变池池底和四周池壁采用重点防渗处理，包含衰变池 1、衰变池 2 均为 4 格，2 个化粪池。

放射性药物制备区拟设 2 套排水管道，核医学科负一层产生的放射性废水分别经过管道收集后，经废水提升泵提升后，向东引出核医学科负一层，再向北进入衰变池 2，核医学科一层影像诊断区产生的放射性废水经过收集后，通过倾斜的管道自流进入衰变池 2。衰变池 2 内放射性废水经过暂存超过 33 天后，可排入医院污水管网，进入污水处理站进行处理；核医学科二层病房治疗区和一层门诊治疗区内产生的放射性废水经过管道收集后，自西向东引出核医学科楼后，再由南向北自流进入衰变池 1，经过暂存超过 180 天后，可排入医院污水管网，进入污水处理站进行处理。

放射性废水衰变池拟设废水取样口和检修口，每次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经审管部门认可后方可排放。建设单位应结合放射性废水在衰变池中的储存周期，制定排水计划，按照计划定期将废水排放至院内污水处理站进一步处理达标后纳入市政管网。每次排放应做好详细记录所含核素名称、体积、废液产生的起始日期、责任人员、排放时间和监测结果，设置专门的废水排放台账，台账应有专人管理，存档保存。

2、非放射性废水

本项目核医学科产生的放射性废水主要为工作人员产生的生活污水和介入手术室工作人员产生的生活污水，生活污水经管道收集后，进入医院污水处理站处理。

三、固体废物处理措施

1、放射性固体废物处理措施

(1) 放射性药物制备区

医院拟在放射性药物制备区热室、质控区各放置 1 个铅废物桶，在回旋加速器机房北侧设置 1 个放射性废物暂存间。在放射性废物暂存间内设置 4 个放射性废物铅箱，分别暂存放射性药物生产、质控等操作过程中时，产生的操作手套、口罩、棉签、滤纸、清洁去污时用过的抹布等含短半衰期核素的废物，更换下的废活性炭和高效过滤装置等。本项目回旋加速器制药过程中产生的高活性废靶部件由厂家回收，废发生器经过衰变达到清洁解控水平后交由厂家回收，其余放射性固体废物在产生点采用专用塑料袋收纳

后及时转送至放射性废物暂存间，暂存超过 33 天经监测辐射剂量率处于环境本底水平， β 表面污染小于 0.8 Bq/cm^2 后，作为医疗废物进行处理。

(2) 影像诊断区

建设单位拟在影像诊断区分装注射室内放置2个铅废物桶、注射后等候室、留观室各放置1个铅废物桶，分别收集PET和SPECT分装过程中产生的放射性固体废物。建设单位在PET影像诊断区和SPECT影像诊断区北侧设置了1个放射性废物暂存间，拟在放射性废物暂存间内各配置3个放射性废物铅箱，用于暂存操作过程中产生的废注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料和废活性炭等。

本项目放射性固体废物在产生点采用专用塑料袋收纳后及时转送至放射性废物暂存间，暂存超过33天经监测辐射剂量率处于环境本底水平， β 表面污染小于 0.8 Bq/cm^2 后，作为医疗废物进行处理。

(3) 门诊治疗区

拟在门诊治疗区内甲测室、敷贴治疗室内各放置一个铅废物桶，用于收集服药、治疗过程中产生的固体废物，在分装室、服药/注射室内分别放置 2 个放射性固体废物桶，用于收集含核素 ^{131}I 的放射性固体废物、核素 ^{89}Sr 的放射性固体废物。拟在门诊治疗区内设置 1 个放射性废物暂存间，在暂存间内放置 3 个放射性固体废物铅箱，分别用于骨转移瘤骨转移瘤治疗产生的固体废物、废活性炭和废高效过滤装置和甲亢治疗、甲功检测产生的放射性固体废物。

本项目门诊治疗区产生的含 ^{131}I 的放射性固体废物，经过统一收集后，采用专用塑料袋收纳、密封，及时转运至放射性废物暂存间，暂存超过 180 天后，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， β 表面污染小于 0.8 Bq/cm^2 的，作为医疗废物进行处理；含 ^{89}Sr 的放射性固废暂存超过 506 天，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， β 表面污染小于 0.8 Bq/cm^2 的，作为医疗废物进行处理。

(4) 病房治疗区

拟在病房治疗区病房 1~病房 10、分装配药室、服药室各设一个铅废物桶，在分装配药室旁和病房 10 旁各设一个放射性废物暂存间。分装配药室间旁放射性废物暂存间拟配置 3 个放射性废物铅箱，主要用于存放医护人员操作过程中产生的放射性固体废物、废活性炭、废高效过滤装置等；拟在病房 10 旁放射性废物暂存间内配置 6 个放射性废物铅箱，用于暂存住院患者产生的一次性卫生用品和垫料等放射性固体废物。

放射性固体废物应分类收集后，采用专用塑料袋收纳、装满、密封，及时转运至放射性废物暂存间暂存铅箱内，在铅废物箱内暂存超过 180 天，经监测达到清洁解控水平后，作为医疗废物进行处理。

(5) 废放射源

敷贴治疗使用的⁸⁹Sr放射源由于半衰期较长，患者治疗完成后回收，用于下一名患者治疗，短期内不会产生废源。PET-CT 和 PET-MR 使用的 7 枚 ²²Na 校准源，大约 5 年换 1 次，废源交由厂家回收，日常暂存在影像诊断区储源室内。

2、一般固体废物处理措施

本项目产生的一般固体废物主要为医疗废物、办公生活垃圾等。医疗固体废物包括核医学科患者未服药前和介入手术过程中产生的药棉、纱布、手套、注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料等，由具备医疗垃圾回收处理资质的单位回收集中处理。

生活垃圾、办公垃圾依托医院收集设施收集后交由市政环卫统一清运。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

（一）施工期环境影响评价

本项目辐射工作场所土建工程属于“成都医学院第一附属医院新院区建设项目”内容之一，《关于成都医学院第一附属医院新院区建设项目环境影响报告表的批复》（成环审（评）[2024]13号）已对核医学科楼整体建设、房间装修和设备安装可能产生的环境影响进行了评价，并提出了污染防治措施。

1、扬尘的防治措施：本项目施工在核医学科楼和介入手术室内进行，通过洒水、设备轻拿轻放、材料集中堆放等措施控制扬尘的产生。

2、废水防治措施：施工废水经沉淀后循环使用；生活污水依托医院既有污水处理站预处理，达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表2中要求后排入市政污水管网进入新都工业东区污水处理厂处理。

3、噪声防治措施：本项目施工在核医学科楼、介入手术室内进行，设施设备轻拿、轻放，选用低噪声设备，合理安排施工时间。

4、固废防治措施：生活垃圾依托医院既有生活垃圾收集设施收集后由市政环卫统一清运；装修和设备安装期间的垃圾经过分类收集，能回收部分由施工单位回收，不能回收部分作为建筑垃圾，由施工单位集中收集，运送到指定的建筑垃圾堆放场处理。

建设单位应强化施工期环境管理，严格落实施工期各项环保措施，采取有效措施，尽可能减缓施工期对环境产生的影响。

（二）防辐射泄露施工要求

（1）本项目回旋加速器机房、热室、固体靶室墙体应进行整体浇筑，使用满足要求的混凝土，强度等级应不低于C50、S8，混凝土密度 $2.35\text{g}/\text{m}^3$ 。

（2）贯穿回旋加速器机房屏蔽墙的各种管道、电缆、进、排风口在主屏蔽墙以外的墙体贯穿，贯穿口应采用S形、U形或斜穿，本项目在贯穿口将采用铅罩（ 3mmPb ）屏蔽补偿，具体见附图16。

（3）防护门结构应考虑因自身重量而发生形变，频繁开关门的振动连接松动、屏蔽体老化龟裂等原因，其宽于门洞的部分应大于“门—墙”间隙的十倍，并预留防护门下沉沟槽。

(4) 医院拟在核医学科放射性废水管道裸露部分外增加铅皮(3mmPb)包裹, 在回旋加速器机房排风管道过滤装置前端裸露部分外增加铅皮(6mmPb)包裹。

(三) 安装调试期环境影响

本项目射线装置在安装调试阶段会产生 X 射线, 造成一定辐射影响。在设备安装调试完后, 现场会有少量的废包装材料产生。

本项目拟购射线装置的运输、安装和调试均由设备厂家专业人员进行, 安装和调试均在辐射防护设施建设完成后进行。

在设备安装调试阶段, 医院应配合设备厂家加强安装调试现场的辐射安全管理, 在此过程中保证各类辐射安全防护设施正常运行。在设备调试期间关闭防护门, 在防护门外设立电离辐射警告标志, 禁止无关人员靠近。

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周边的辐射影响是可接受的。设备安装完成后, 医院方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

医院拟在核医学科楼负一层中部新建放射性药物制备区、一层新建影像诊断区和门诊治疗区、二层新建病房治疗区, 拟在门急诊医技综合楼一层影像科新建介入手术室, 在介入手术室内使用 1 台 DSA(属于 II 类射线装置), 主要情况如下: (1) 核医学科放射性药物制备: 在负一层中部放射性药物制备区使用 1 台 20MeV 回旋加速器生产 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr , 使用 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 发生器、 $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器、 $^{188}\text{W}/^{188}\text{Re}$ 发生器分别淋洗生产放射性同位素 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{188}Re , 并进行质控, 日等效最大操作量为 $2.27 \times 10^9 \text{Bq}$, 属于乙级非密封放射性物质工作场所; (2) 核医学科影像诊断区: 在核医学科楼一层使用 PET-CT 和 PET-MR 各 1 台, SPECT-CT 共 2 台, 使用放射性同位素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{68}Ga 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$, 用于肿瘤显像诊断, 使用 3 枚 ^{22}Na 放射源用于对 PET-CT 和 PET-MR 进行校准, 使用 1 枚活度为 $1.48 \times 10^7 \text{Bq}$ 和 6 枚活度均为 $3.70 \times 10^5 \text{Bq}$ 的放射源(属于 V 类放射源), 日等效最大操作量为 $8.14 \times 10^7 \text{Bq}$, 属于乙级非密封放射性物质工作场所; (3) 核医学科门诊治疗区: 拟在核医学科一层北部新建门诊治疗区, 在门诊治疗区内设甲亢/ ^{89}Sr -89 治疗区、敷贴治疗室和甲功室, 在甲亢/ ^{89}Sr -89 治疗区内使用同位素 ^{131}I 用于甲亢治疗、使用 ^{89}Sr 开展骨转移瘤治疗, 敷贴治疗室内使用 1 枚 ^{90}Sr - ^{90}Y

放射源、用于皮肤敷贴治疗，在甲测室内使用同位素 ^{131}I ，用于甲状腺功能检测，日等效最大操作量为 $1.20 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所；（4）病房治疗区：拟在核医学科二层东部设核医学科病房区，使用放射性同位素 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{111}In 、 ^{188}Re 、 ^{223}Ra 、 ^{161}Tb ，用于肿瘤治疗，日等效最大操作量为 $3.96 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所；（5）介入手术室：门诊急诊医技综合楼一层影像科新建介入手术室，在介入手术室内使用一台 DSA，属于 II 类射线装置。

一、核医学科环境影响分析

经计算得出，核医学科控制区外人员可到达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率最大为 $1.37 \mu\text{Sv/h}$ ，小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；控制区内屏蔽墙外人员偶尔居留的区域周围剂量当量率最大为 $1.46 \mu\text{Sv/h}$ ，小于 $10 \mu\text{Sv/h}$ ；核医学科手套箱外表面 0.3m 处人员操作位处的周围剂量当量率最大为 $0.80 \mu\text{Sv/h}$ ，小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。上述屏蔽体外关注点周围剂量当量率均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）的相关要求。实际上，患者在注射后候诊室等待过程中，由于衰变作用导致患者体内核素的活度不断减少，因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

医院应合理安排患者床位，不得将不同核素治疗患者安排在同一病房内，为方便不同类型给药方式，医院可将病房 1~病房 4 设为 ^{131}I 核素甲癌治疗病房，病房 5~病房 8 分别设为 ^{177}Lu 、 ^{111}In 、 ^{161}Tb 、 ^{188}Re 核素治疗病房，病房 9、病房 10 设为 ^{223}Ra 、 ^{225}Ac 治疗病房。

（四）、辐射工作人员及公众辐射剂量分析

1、辐射工作人员年最大辐射剂量分析

核医学科楼负一层放射性药物制备区职业人员年最大受照剂量为 0.471mSv/a ，叠加巡检所受剂量（ 1.17mSv/a ），则年最大受照剂量为 1.64mSv/a ；一层影像诊断区内职业人员年最大受照剂量为 3.74mSv/a ；一层门诊治疗区内职业人员年最大受照剂量为 0.29mSv/a ；二层病房区职业人员年最大受照剂量为 4.03mSv/a 。本项目核医学科各区域内，职业人员年最大受照剂量均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的“一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a ”要求。

3、公众受照剂量估算

本项目核医学科所致公众年有效剂量最大为 $4.62 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，满足《核医学辐射防护

与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的“公众照射的剂量约束值不超过0.1mSv/a”要求。

（五）、保护目标辐射剂量综合分析

根据本项目核医学科外环境关系，本项目核医学科楼负一层、一层、二层存在叠加影响，二层影像诊断区、甲亢⁸⁹Sr治疗区、甲功检测区、敷贴治疗区收到相互影响，二层医生办公区受到一层PET影像区、分装配药区和病房区的影响，根据辐射剂量率与距离的平方成反比的规律，本次主要考虑距离关注点处最近的保护目标，本项目保护目标受到的综合辐射影响见下表。

表11-22 本项目核医学科保护目标综合分析一览表

保护目标位置	保护目标类型	核算最大值(mSv/a) 人员年最大受照剂量	叠加源项(mSv/a)			年最大受照剂量 (mSv/a)
			正上方	正下方	最近区域	
负一层放射性药物制备区	职业	1.64E+00	1.99E-04	/	/	1.64E+00
	公众	9.04E-03	3.26E-02	/	/	4.16E-02
一层影像诊断区	职业	3.74E+00	1.99E-04	/	1.10E-05	3.74E+00
	公众	9.67E-03	4.20E-03	4.65E-02	1.84E-03	6.22E-02
一层核医学科门诊治疗区	职业	2.85E-01	/	/	5.77E-05	2.85E-01
	公众	1.84E-03	/	/	1.68E-03	3.53E-03
二层核医学科病房治疗区	职业	4.03E+00	/	3.83E-02	/	4.07E+00
	公众	2.87E-02	/	3.83E-02	/	6.70E-02

由上表计算可知，本项目核医学科职业人员受到年综合最大辐射剂量为4.07mSv/a，公众受到年最大有效剂量为6.70×10⁻²mSv/a，分别满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的“一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过5mSv/a，公众照射的剂量约束值不超过0.1mSv/a”的要求。

根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律，距离核医学科最近的关注点可以代表最大可能辐射有效剂量，故核医学科评价范围内的其他保护目标受照年剂量也小于本次评价确定的0.1mSv/a的约束值。在实际工作中，核医学科使用的核素随着时间衰变、且产生的γ射线经墙体、门窗屏蔽、距离衰减后，核医学科周围环境保护目标受照剂量远低于预测剂量。

（六）、β表面沾污的防护措施

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

设方要做到以下防护措施：

①使用、操作放射性同位素的人员应经过培训，具备相应的技能与防护知识；

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

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

④吸取液体的操作必须用合适的器具，严禁用口吸取；

⑤不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；

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

⑦放射性药品用后应及时存放在储源柜/手套箱内，需防盗、防水、防火、柜外应有电离辐射标志；

⑧做好就诊患者的管理，特别是已服药和注射放射性药品的患者管理工作，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动。

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

（七）、“三废”影响分析

1、放射性废水

（1）衰变池设计结构

医院拟在核医学科楼外东北侧建设2组地埋槽式衰变池，一组收集负一层放射性药物制备区和一层影像诊断区产生的短半衰期核素（ ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Zr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）及其他废水，另一组收集核医学科门诊治疗区和门诊治疗区内产生的长半衰期核素（ ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{177}Lu 、 ^{188}Re 、 ^{161}Tb 、 ^{225}Ac 、 ^{223}Rb ）。短半衰期衰变池组包含1个化粪池、4格放射性废水衰变池，每格衰变池有效容积为 31m^3 ，总容量为 124m^3 ；长半衰期衰变池组包含1个化粪池、4格放射性废水衰变池，每格衰变池有效容积均为 326m^3 ，总容量为 1304m^3 。

根据设计资料（附图29），衰变池池底和池身均为混凝土结构，拟对衰变池池底和

池身采用重点防渗处理，检修口和取样口设置井盖，高于地面约 30cm。

建设单位应严格要求工程质量，衰变池池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀，放射性衰变池应加以密封，应有防雨、防渗和防漏的措施，确保放射性废水衰变池达到等效黏土防渗层 $M_b \geq 6.0\text{m}$ ，渗透系数 $\leq 10^{-10} \text{cm/s}$ 。

2) 放射性废水源

本项目敷贴治疗不产生放射性废水；甲功检测用药量很小，且服药后立即离开医院，产生的放射性废水可以忽略；骨转移治疗患者注射前排便，注射后直接离开医院，不产生放射性废水。

病房治疗区内的患者在服药/注射后均只能在核医学科门诊治疗区排便，住院区内每名患者最长住院5天，经检测后即可离开医院。甲亢患者服药后在留观/抢救室观察半个小时后，后离开医院。

本项目放射性药物制备使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用量大于其余核素，因此药物制备考虑核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ；PET影像诊断项目废水核素排放考虑核素 ^{18}F ；SPECT诊断项目所使用核素主要为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ；核医学科门诊治疗区使用 ^{131}I 用于甲亢和甲功能检测；病房治疗区使用 ^{131}I 、 ^{177}Lu 核素用量大于其他核素，但含 ^{131}I 核素要求衰变的大于其他核素的十个半衰期，所以病房治疗区主要考虑核素 ^{131}I 。

医院在开展骨转移治疗时，须提前告知每一名骨转移治疗患者，在接受 ^{89}Sr 放射性药物注射前，应先到卫生间进行排便。

3) 核医学科放射性废水产生量核算

拟在放射性药物制备区和全检质控区放射性废水产生点分别设置了放射性废水收集管道，通过提升泵输送至短半衰期化粪池，在化粪池沉淀后重力自流送至紧邻的衰变池；影像诊断区在放射性废水产生点拟设放射性废水收集管道，在北部汇总到主管道，然后在通过管道输送至短半衰期化粪池，在化粪池沉淀后重力自流至紧邻的衰变池。放射性药物制备区和影像诊断区共用一组放射性废水衰变池。

核医学科病房治疗区、门诊治疗区在放射性废水产生点均设置有放射性废水收集管道，在核医学科楼北部汇总到主管道，然后通过管道斜度自流入长半衰期化粪池，在化粪池沉淀后通过污水泵送至紧邻的衰变池。放射性药物制备区产生的放射性废水主要含 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，以及少量 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 、 ^{188}Re ，来源于制备药物和质检产生微量废水（可忽略不计）、工作人员淋浴废水以及场所冲洗废水；影像诊断区产生的放

放射性废水主要含^{99m}Tc、¹⁸F，以及少量¹¹C、¹³N、⁶⁸Ga、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr，来源于患者注射后候诊过程中少量排泄废水、工作人员淋浴废水以及场地清洗废水；核医学科门诊治疗区和病房治疗区内产生的放射性废水主要为¹³¹I、¹⁷⁷Lu，来源于住院患者产生的放射性废水及场地清洗废水。

根据《四川省用水定额》（川府函[2021]8号），结合《综合医院建筑设计规范》（GB51039-2014），各类别用水定额如下表所示：

表11-23 核医学科废水产生量核算表

序号	产生位置	用水类别	单位用水量 (L/人或L/日)	数量 (人或日)	废水排 放系数	日废水产 生量 (m ³)	放射性废水最大 产生量 (m ³ /日)	备注
1	负一层放射 性药物 制备区、 质控区	医务工作 人员	150	5	0.9	0.675	/	/
		场所清洗	200	1	0.9	0.18	0.18	进入衰变 池 2
2	一层影像 诊断区	门诊医务 人员	150	9	0.9	1.22	2.48	进入衰变 池 2
		患者	15	80	0.9	1.08		
		场所清洗	200	1	0.9	0.18		
3	一层门诊 治疗区	门诊医务 人员	150	7	0.9	0.95	/	/
		患者	15	40	0.9	0.54	0.59	进入衰变 池 1
		场所清洗	50	1	0.9	0.05		
4	二层病房 治疗区	医务工作 人员	150	8	0.9	1.08	/	/
		患者放射 性废水	200	20	0.9	3.6	3.78	进入衰变 池 1
		场所冲洗 废水	200	1	0.9	0.18		

4) 核医学科放射性废水衰变池容量合理性分析

衰变池1: 本项目长半衰期放射性废水日产生量为4.365m³，所含核素包括¹³¹I、¹⁷⁷Lu、¹⁸⁸Re、¹⁶¹Tb、²²⁵Ac、²²³Rb，其中¹³¹I、¹⁷⁷Lu操作量最大，²²³Ra的半衰期最长，10倍半衰期为114.3d，小于180d，故本次对长半衰期衰变池容量的核算按照¹³¹I暂存180d进行。长半衰期衰变池为4格槽式设计，每格衰变池有效容积为326m³，偏保守考虑，放射性废水首次待放满第1格衰变池起才计算衰变时间，直到放满其余3格衰变池，再排放第1格衰变池废水，注满一格需要74个工作日（约15周），注满3格衰变池至少需要315个自然日（45周），即第1格放射性废水排放前的衰变时长已达到315d（>180d）；往后每格衰

变池均放满后开始计算衰变时间，则每次排放间隔至少为105d，每年排放次数约4次。

衰变池2：放射性药物制备区、质检区和影像诊断区共用1组衰变池，最长半衰期核素⁸⁹Zr的半衰期为78.4h (>24h)，日废水产生量为1.26m³，而本项目短半衰期衰变池为4格槽式设计，每格衰变池有效容积为31m³，偏保守考虑，放射性废水待放满第1格衰变池起才计算衰变时间，直到放满其余3格衰变池，再排放第1格衰变池废水，注满1格约25个工作日（至少35天），注满3格衰变池需要75个工作日（至少105天），即第1格放射性废水拟排放前的衰变时长至少为105d，能够满足HJ1188中规定“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”的要求。每格衰变池均设置有通气口和采样口，当短半衰期放射性废水衰变时长超过33天后，经过采样监测其活度不超过1ALI_{min}（ALI是相应于职业照射的食入和吸入ALI值中的较小者）时，经审管部门认可后，排入医院内部污水管网进入医院污水处理站，并作好记录。

本项目每格衰变池均设置有通气口和采样口，拟排放前，需委托有资质的单位进行采样监测，经过采样检测其活度不超过1ALI_{min}（ALI是相应于职业照射的食入和吸入ALI值中的较小者），应经审管部门认可后才能排入医院内部污水管网进入医院污水处理站，并作好记录。衰变池1每年排放次数约为4次，衰变池2每月排放1次，每次排放活度不超过1ALI_{min}，则年排放总活度约为3ALI_{min}，完全满足GB18871中每月排放的总活度不超过10ALI_{min}的要求。

综上，本项目长半衰期衰变池（衰变池1）的容积满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）中关于“含碘-131核素的放射性废液暂存超过180天，监测结果经审管部门认可后，按照GB18871中8.6.2规定方式进行排放”的要求；短半衰期衰变池（衰变池2）的容积满足HJ1188中规定的“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”的要求。

5) 核医学科门诊治疗区放射性废水影响分析

患者体内核素保守按照用量的90%排入了放射性废水中，则废水排放情况见下表。

表11-24 核医学科放射性废水中核素活度

核素名称	日最大用量 (Bq)	体内核素日排入废水比例 (%)	单日衰变池核素最大排入量 (Bq)	注满1格衰变池核素活度 (Bq)
¹³¹ I	3.33E+10	90	3.00E+10	3.39E+12
¹⁷⁷ Lu	2.22E+10	90	1.06E+10	1.20E+12

表11-25 衰变池放射性废水中主要核素活度

核素名称	半衰期 (d)	注满1格衰变池核素活度 (Bq)	衰变时间 (d)	衰变后单次排放活度 (Bq)	衰变后单次排放浓度 (Bq/L)
¹³¹ I	8.02	3.39E+12	180	5.94E+05	2.03E+00
¹⁷⁷ Lu	6.71	1.20E+12	180	1.01E+04	3.45E-02

由上表可知，长半衰期放射性废水衰变池单次排放浓度最大为2.03Bq/L，经衰变池衰变处理后废水中总β满足《医疗机构水污染物排放标准》中总β≤10Bq/L的规定，也满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）中关于放射性废液排放的规定。

建设单位应结合废水在衰变池中的储存周期，制定每3个月进行一次排水计划，按照计划定期将废水排放至院内污水处理站进一步处理达标后纳入市政管网。每次排放应做好详细记录所含核素名称、体积、废液产生的起始日期、责任人员、排放时间和监测结果，设置专门的废水排放台账，台账应有专人管理，存档保存。

2、放射性固废

(1) 放射性药物制备区放射性固废

本项目产生的放射性固体废物主要有合成分装、质控过程中产生的固体废物，定期更换的废活性炭，制药过程中产生的废靶部件（膜、片、活化部件等）。

合成分装、质控等操作时，产生的操作手套、口罩、棉签、滤纸、清洁去污时用过的抹布等含短半衰期核素的废物，产生量约50kg/a，按照平均密度100kg/m³核算，则年产生量为0.5m³（500L）；放射性废气过滤装置更换下来的活性炭，约6个月更换一次，每次产生量为50kg，按照颗粒柱状的活性炭密度500kg/m³核算，则废活性炭每年产生量为0.2m³（200L），在淋洗制作^{99m}Tc、⁶⁸Ga、¹⁸⁸Re过程中分别产生的废钼铈发生器、锗镓发生器、钨铈发生器，年产生量约200个（<200L），在放射性废物暂存间内暂存。

医院应根据批次分类收集后，进行衰变贮存。回旋加速器固体靶件（片）可重复使用，靶件（片）在意外损坏需要更换时，换下的废靶部件（膜、片、活化部件等）按放射性固体废物处理，产生量约15kg/次，按照平均密度800kg/m³核算，则次产生量为0.019m³（19L）。每次更换下来的放射性固体废物经监测后，表面辐射剂量率高于2.5μSv/h的在回旋加速器机房放射性废物铅桶内衰变，达到清洁解控水平后经审管部门确认或批准，按普通医疗废物处理；表面辐射剂量率低于2.5μSv/h与其他放射性废物一起送到放射性药物制备区放射性废物暂存间暂存，经监测达到清洁解控水平后，作为医疗废物进行处理。

放射性药物制备区在回旋加速器机房北侧设置1个放射性废物暂存间，占地面积约

6m²。在放射性废物暂存间内设置3个容积不低于50L的铅废物箱(10mmPb)，分别暂存放射性药物生产、质控等操作时，产生的操作手套、口罩、棉签、滤纸、清洁去污时用过的抹布等含短半衰期核素的废物，更换下的废活性炭和高效过滤装置；1个容积为250L的废物桶(5mmPb)用于收集废发生器、废靶件。每日工作结束后，将当日产生的废物分类收集，利用带有万向轮的铅废物桶转移至放射性废物暂存间的废物箱内静置衰变，并注明核素种类、转入时间，做好台账记录。

根据《核医学辐射防护与安全要求》7.2.3.1中的规定，本项目回旋加速器制药程中产生的高活性废靶部件由厂家回收，废发生器经过衰变达到清洁解控水平后交由厂家回收，其余放射性固体废物在产生点采用专用塑料袋直接收纳后及时转送至放射性废物暂存间，暂存超过33天经监测辐射剂量率处于环境本底水平， β 表面污染小于0.8 Bq/cm²后，作为医疗废物进行处理。

(2) 影像诊断区放射性固体废物

①工作人员操作过程产生的废注射器、针头、手套、棉签、纱布、破碎杯皿、擦拭污染物地面的物品以及其他可能受放射性污染的物品等。医院拟在注射分装室的2个注射位分别配置5mmPb、10mmPb专用脚踏式废物桶(铅废物桶底部带有万向轮)各1个，桶内放置专用塑料袋，对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再放入塑料袋内，每袋不超过20kg，装满后送至危废暂存间。按照每人每天0.02kg产生量进行估算，正常情况下，PET影像诊断区年产生放射性固体废物约200kg，按照平均密度100kg/m³核算，则年产生量为2.0m³（2000L），SPECT影像诊断区年产生的放射性固体废物约250kg，年产生量为2.5m³（2500L）。

②放射性废气过滤装置更换下来的活性炭，约3个月更换一次，每次产生量为100kg，按照颗粒柱状的活性炭密度500kg/m³核算，则废活性炭每次产生量为0.2m³（200L）。

医院在分装注射室西南角设置了1个放射性废物暂存间2，占地面积约5.9m²，用于暂存PET影像诊断区产生的放射性固体废物，其内布置有3个容积为150L的铅废物箱(10mmPb)，用于暂存废活性炭和暂存废注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料等；在分装注射室东南角设置了1个放射性废物暂存间1，占地面积约6.6m²，用于暂存SPECT影像诊断区产生的放射性固体废物，其内布置有1个容积为150L的铅废物箱(5mmPb)，用于暂存废活性炭；布置有2个容积为150L的铅废物箱(5mmPb)，用于暂存废注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料等。

根据《核医学辐射防护与安全要求》7.2.3.1中的规定，放射性固体废物在产生点采用专用塑料袋直接收纳后及时转送至放射性废物暂存间，暂存超过33天经监测辐射剂量率处于环境本底水平， β 表面污染小于 0.8 Bq/cm^2 后，作为医疗废物进行处理。

(3) 核医学科门诊治疗区放射性固体废物

1) 门诊治疗区

①在敷贴室采用 ^{90}Sr 敷贴器进行皮肤疾病敷贴治疗，由于 ^{90}Sr 具有较长半衰期（28.79a），根据患者患处的实际情况，把控敷贴治疗时间，敷贴治疗完成后，收回敷贴源，经过消毒处理后再供其他患者使用，短期内不产生废放射源。

②甲功、甲亢治疗项目服药过程中产生的服药杯子，按照每天 0.01kg 产生量进行估算，正常情况下，废服药杯子年产生量为 87.5kg ，按照平均密度 100kg/m^3 核算，则年产生量为 0.875m^3 （875L）；骨转移瘤治疗项目产生的服药杯、废注射器、针头、手套、棉签、擦拭污染物等，按照每天 0.02kg 产生量进行估算，年产生固体废物量为 25kg ，按照平均密度 100kg/m^3 核算，则年产生量为 0.25m^3 （25L）。

③放射性废气过滤装置更换下来的活性炭，约6个月更换一次，每次产生量为 25kg ，每年产生量为 50kg ，按照颗粒柱状的活性炭密度 500kg/m^3 核算，则废活性炭每次产生量为 0.1m^3 （100L）。

在服药/注射室东北侧和储源室北侧设置了放射性废物暂存间3，占地面积约 4m^2 ，其内拟布置1个容积为250L的铅废物箱(5mmPb)，用于骨转移瘤治疗产生的固体废物、废活性炭和废高效过滤装置；布置2个容积均为250L的铅废物箱(10mmPb)，用于暂存甲亢治疗和甲功检测产生的放射性固体废物。

根据《核医学辐射防护与安全要求》7.2.3.1 中的规定，对核医学科门诊治疗区产生的含有碘-131 的放射性固体废物，经过统一收集后，采用专用塑料袋收纳、密封，及时转运至放射性废物暂存间，暂存超过 180 天后，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， β 表面污染小于 0.8 Bq/cm^2 的，作为医疗废物进行处理。所含核素半衰期大于 24 小时的核素 ^{89}Sr 放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍（506d）后，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， β 表面污染小于 0.8 Bq/cm^2 的，作为医疗废物进行处理。

2) 病房治疗区

核医学科病房治疗区内使用的核素为 ^{131}I 、 ^{177}Lu 、 ^{188}Re 、 ^{161}Tb 、 ^{225}Ac 、 ^{223}Ra ，其最长半衰期的核素 ^{223}Ra 的10倍半衰期为114.3天，低于180天。因此，病房治疗区内产生的

放射性固体废物均按照暂存180天进行管理。产生的放射性固体废物量分析如下：

①医护人员操作过程产生的服药杯子、废注射器、针头、手套、棉签、纱布、一次性卫生用品、破碎杯皿、擦拭污染物以及其他可能受放射性污染的物品等，按照每人每天0.02kg产生量进行估算，正常情况下，每年最多产生90kg，按照平均密度100kg/m³核算，则年产生量为0.9m³(900L)。在分装配药室拟配置了2个专用脚踏式废物桶(10mmPb，铅废物桶底部带有万向轮)用于收集放射性固体废物，桶内放置专用塑料袋，对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再放入塑料袋内。

②住院患者产生一次性卫生用品和垫料等，按照每人每天0.5kg产生量，每周收治一批住院患者，平均住院3天即可出院，则患者放射性固体废物年产生量约为1350kg，按照平均密度100kg/m³核算，则年产生量为13.5m³(13500L)。

③放射性废气过滤装置更换下来的活性炭，约6个月更换一次，每次产生量为50kg，按照颗粒柱状的活性炭密度500kg/m³核算，则废活性炭每年产生量为0.2m³(200L)。

核医学科病房治疗区分装配药室东北角和病房10南侧分别设置有1个放射性废物暂存间，其中分装配药室东北角放射性废物暂存间1占地面积约7.8m²，病房10南侧的放射性废物暂存间占地面积约20m²。放射性废物暂存间1内拟设在其中1个容积为150L的铅废物箱(10mmPb)，用于暂存废活性炭和废高效过滤装置；2个容积为250L的铅废物箱(10mmPb)，用于暂存医护人员操作过程中产生的放射性固体废物；在放射性废物暂存间2内布置150L的铅废物箱(10mmPb)6个。放射性固体废物应分类收集后，采用专用塑料袋收纳、装满、密封，及时转运至放射性废物暂存间暂存铅箱内，在铅废物箱内暂存超过180天，经监测达到清洁解控水平后，作为医疗废物进行处理。上述措施满足《核医学辐射防护与安全要求》7.2.3.1中“所含核素半衰期大于24小时放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍”要求。

4) 放射性固体废物暂存衰变后活度

本项目放射性固体废物沾染的放射性核素量保守按照操作核素总活度的1‰考虑，在暂存时间满足《核医学辐射防护与安全要求》规定后的活度计算结果如下表所示：

表11-26 核医学科放射性固体废物解控后核素活度

核素名称	日最大操作量 (Bq)	日沾染活度 (Bq)	暂存时间 (d)	暂存期满后活度 (Bq)	暂存期满后活度浓度 (Bq/g)	豁免活度 (Bq)	豁免活度浓度 (Bq/g)

放射性药物制备区	¹⁸ F	7.40E+10	7.40E+07	33	3.87E-123	3.36E-125	1.00E+06	1.00E+01
	^{99m} Tc	4.44E+10	4.44E+07	33	1.11E-32	9.61E-35	1.00E+07	1.00E+02
影像诊断区	¹⁸ F	1.48E+10	1.48E+07	33	7.73E-124	3.87E-126	1.00E+06	1.00E+01
	^{99m} Tc	3.70E+10	3.70E+07	33	9.21E-33	3.68E-35	1.00E+07	1.00E+02
门诊治疗区	¹³¹ I	1.11E+10	1.11E+07	180	1.95E+00	2.22E-02	1.00E+06	1.00E+02
	⁸⁹ Sr	9.25E+08	9.25E+05	506	8.95E+02	7.16E+00	1.00E+06	1.00E+03
病房治疗区	¹³¹ I	2.22E+10	2.22E+07	180	3.89E+00	2.05E-02	1.00E+06	1.00E+02
	¹⁷⁷ Lu	2.22E+10	2.22E+07	180	1.97E-01	1.04E-03	1.00E+07	1.00E+03
	²²⁵ Ac	1.48E+07	1.48E+04	180	5.65E-02	2.26E-04	1.00E+04	1.00E+01
	²²³ Ra	7.40E+07	7.40E+04	180	1.34E+00	5.38E-03	1.00E+05	1.00E+02

从上表可知，本项目放射性固体废物在暂存期满后所含核素的活度浓度、活度分别低于豁免水平。

5) 放射性固体废物暂存能力分析

本项目在放射性药物制备区、影像诊断区、门诊治疗区、病房治疗区（2间）分别设置放射性废物暂存间，其暂存能力分析见下表。

表11-27 放射性固体废物暂存能力分析表

暂存场所	放射性固体废物类别	放射性固废年(次)产生量(L)	暂存周期内产生量(L)	铅废物箱容积(L)	暂存间占地面积(m ²)	是否满足暂存要求
放射性药物制备区放射性废物暂存间	废操作手套、口罩、棉签、滤纸、抹布等	500	50	50(150*3)	6	满足
	废活性炭、废过滤装置	200	200	250		满足
	废靶部件、废发生器	200	/	250		满足
影像诊断区放射性废物暂存间2	废注射器、针头、手套、棉签、破碎杯皿等	2000	300	300(150*2)	5.9	满足
	废活性炭、废过滤装置	200	100	150		满足
影像诊断区放射性废物暂存间1	废注射器、针头、手套、棉签、破碎杯皿等	2500	200	300(150*2)	6.6	满足
	废活性炭、废过滤装置	200	100	150		满足
门诊治疗区放射性废物暂存间3	甲亢、甲功项目废服药杯子、一次性卫生用品、垫料等	875	437	500(250*2)	4	满足
	骨转移瘤治疗项目服药杯、废注射器、针头、手套、棉签、擦拭污染物等	25	50	250		满足

	废活性炭、废过滤装置	200	200			满足
病房治疗区 放射性废物 暂存间1	服药杯、废注射器、 针头、手套、棉签、 纱布、一次性卫生用 品、破碎杯皿、擦拭 污染物、可能受放射 性污染的物品等	900	450	500 (250*2)	7.8	满足
	废活性炭、废过滤装置	200	100	150		满足
病房治疗区 放射性废物 暂存间2	一次性卫生用品和垫 料等	13500	675	750 (150*5)	20	满足

从上表可知，本项目设置的放射性固体废物暂存设施满足暂存要求。

3、放射性废气

核医学科产生的含核素的放射性废气经排风系统引出高于楼顶排放。

因甲功检测采购已分装好的成品放射性药品，敷贴治疗使用已制成的敷贴源均不涉及分装，且操作时间较短，医生为患者给药、检查后就直接离开核医学科场所，因此不产生放射性废气；放射性药物制备区生产的核素中¹⁸F、^{99m}Tc日使用量最大，PET诊断项目使用的放射性药物中，同样¹⁸F、^{99m}Tc核素影像诊断人数最多，日使用量最大，因此放射性药品制备区保守按照¹⁸F考虑挥发产生的含放射性同位素的废气，影像诊断区内报告按照¹⁸F、^{99m}Tc进行保守考虑药物挥发产生的放射性同位素的废气；核医学科门诊治疗区内主要使用¹³¹I、和⁸⁹Sr核素开展治疗，但⁸⁹Sr核素用量较小，保守按照¹³¹I挥发产生的放射性同位素的废气；病房治疗区内使用的¹⁷⁷Lu和¹³¹I用量最大，但是¹³¹I对周围环境和保护目标的影响最大，因此保守按照¹³¹I挥发产生含放射性同位素的废气进行考虑。

本项目放射性药物制备区、影像诊断区、门诊治疗区、病房治疗区均单独设置有排风系统，分别经过管道引至核医学科楼楼顶排放。各个工作场所放射性废气的产生量保守按照操作核素总活度的1‰考虑，拟采用活性炭吸附装置+高效排风过滤器二级处理设施，去除效率为99%，假设人呼吸量为1.2m³/h。

表11-28 各场所排气口核素所致公众年吸入量预测结果

序号	场所	所含核素名称	单人次操作量 (Bq)	废气中含核素量 (Bq)	排风量 (m ³ /h)	排气口气溶胶浓度 (Bq/m ³)	年操作时间 (h)	公众年最大吸入量 (Bq)	年最大摄入量限值 (Bq)
1	放射性药物制备区	¹⁸ F (含 ¹¹ C、 ¹³ N、 ⁸⁹ Zr、 ⁶⁸ Ga、 ¹⁸⁸ Re)	3.70E+10	3.70E+07	3000	1.23E+04	1000.0	1.48E+05	1.60E+07
		^{99m} Tc	4.44E+10	4.44E+07	8000	5.55E+03	125.0	8.33E+03	5.00E+07

2	影像诊断区	¹⁸ F (含 ¹¹ C、 ¹³ N、 ⁸⁹ Zr、 ⁶⁸ Ga)	1.48E+10	1.48E+07	2000	7.40E+03	333.3	2.96E+04	1.60E+07
		^{99m} Tc	3.70E+10	3.70E+07	2000	1.85E+04	137.5	3.05E+04	5.00E+07
3	核医学科门诊治疗区	¹³¹ I (含 ⁸⁹ Sr)	7.40E+08	7.40E+05	2000	3.70E+02	14.2	6.30E+01	1.30E+05
4	核医学科门诊治疗区	¹³¹ I (含 ¹¹¹ In、 ¹⁸⁸ Re、 ¹⁶¹ Tb)	5.55E+09	5.55E+06	2500	2.22E+03	133.3	3.55E+03	1.30E+05
		¹⁷⁷ Lu	7.40E+09	7.40E+06	2500	2.96E+03	25.0	8.88E+02	8.30E+05
		²²⁵ Ac	7.40E+06	7.40E+03	2500	2.96E+00	16.7	5.92E-01	1.10E+02
		²²³ Ra	3.70E+07	3.70E+04	2500	1.48E+01	16.7	2.96E+00	1.10E+02

由上表可知，各场所排气口核素所致公众年吸入量小于《公众成员的放射性药物年摄入量限值》（WST613-2018）规定的公众成员（>17岁）吸入放射性气溶胶年摄入量限值。因此，本项目向环境中释放的放射性同位素废气能够能够满足公众年最大摄入限值的要求。

本项目核医学科放射性药物制备区、影像诊断区、门诊治疗区、病房治疗区拟设排风口均位于核医学科楼楼顶（距地面约26m），在排气口附近无公众长期停留。因此，本项目核医学科产生的放射性废气经过空气稀释后，远低于预测公众年最大吸入量。

表11-29 各场所排气口核素所致公众年吸入有效剂量预测结果

序号	场所	所含核素名称	公众年最大吸入量 (Bq)	吸入量所致待积有效剂量转换因子 (Sv/Bq)	气溶胶致公众年受照总剂量 (mSv/a)	年最大受照剂量 (mSv/a)
1	放射性药物制备区	¹⁸ F (含 ¹¹ C、 ¹³ N、 ⁸⁹ Zr、 ⁶⁸ Ga、 ¹⁸⁸ Re)	1.48E+05	5.90E-11	8.73E-03	6.99E-02
		^{99m} Tc	8.33E+03	2.00E-11	1.67E-04	
2	影像诊断区	¹⁸ F (含 ¹¹ C、 ¹³ N、 ⁸⁹ Zr、 ⁶⁸ Ga)	2.96E+04	5.90E-11	1.75E-03	
		^{99m} Tc	3.05E+04	2.00E-11	6.11E-04	
3	门诊治疗区	¹³¹ I (含 ⁸⁹ Sr)	6.30E+01	7.40E-09	4.67E-04	
4	病房治疗区	¹³¹ I (含 ¹¹¹ In、 ¹⁸⁸ Re、 ¹⁶¹ Tb)	3.55E+03	7.40E-09	2.63E-02	
		¹⁷⁷ Lu	8.88E+02	1.20E-09	1.07E-03	
		²²⁵ Ac	5.92E-01	8.50E-06	5.03E-03	
		²²³ Ra	2.96E+00	8.70E-06	2.58E-02	

备注：公众成员吸入单位摄入量所致的待积有效剂量转换因子（Sv/Bq）根据GB18871-2002中附表B7查得，保守取（>17岁）年龄段对应的F、S、M中最大值。

由上表可知，气溶胶中核素所致公众年受照年有效剂量最大为 $6.99 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，小于公众年剂量约束值 0.1mSv 。

活性炭吸附+高效过滤装置的过滤使用寿命一般为8~12个月，医院需每半年对过滤效率进行校核，如果有必要需每半年进行一次更换，以防止过滤装置失效，造成放射性污染事故。

4、非放射性污染物环境影响分析

(1) 水环境影响分析

生活污水经过医院现有污水处理站预处理后，达标排放到市政污水管网，进入新都工业东区污水处理厂处理，对项目所在地水环境影响较小。

(2) 大气环境影响分析

本项目回旋加速器废气为电离辐射产生的 O_3 、 NO_x 等废气。回旋加速器连续开机时间最长为1.5h， O_3 产生浓度较小，通过通风换气等措施后，对工作人员的影响可控制在合理可接受范围内，不会对周围环境及公众造成明显影响。

PET-CT与SPECT-CT产生的X射线能量较小，每次扫描时间短，运行过程产生的 O_3 量少。经机房排风系统排入大气环境稀释后，对工作人员和公众不会造成危害，不会对周围环境及公众造成明显影响。

(3) 声环境影响分析

本项目产噪设备主要是通排风系统，空调机组及风机进出口设软接头、水泵进出口设橡胶减振接头；通风设备及部分风管、水管吊架采用隔振吊架，通风空调系统选用低噪设备，安装采用减振支吊架等措施，经距离衰减后声级较小。

(4) 固体废弃物影响分析

生活垃圾通过集中收集后，统一由市政环卫拖运到指定的垃圾中转站，医疗废弃物委托有资质的单位进行回收处理。

(八)、III类医用射线装置环境影响分析

本次拟在核医学科楼一层SPECT-CT检查室使用2台SPECT-CT、在PET-CT检查室使用1台PET-CT（属于III类射线装置），运行时将产生X射线。拟建SPECT-CT、PET-CT检查室四面墙体、顶棚、防护门以及观察窗均采取了辐射屏蔽，充分考虑邻室（含楼上下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防

护厚度标准规定值。从X射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本项目各检查室的防护设施技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关防护设施的技术要求，即射线装置在正常运行时可满足“周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求，射线装置工作时对机房外公众和辐射工作人员影响较小。

（九）、校准用密封源的环境影响分析

PET 影像诊断区使用 7 枚 ^{22}Na 校准源。一般情况下放射源储存在储源室的保险柜内，进行图片质量校准时从储源室中取出放置在需要校准的设备上采集信息。放射源处于贮存状态时，贮存容器和储源室的屏蔽设施能够完全屏蔽 γ 射线的影响。校准状态时，使用场所在做了专门防护的检查室内，且校准时，源需放置在设备自带屏蔽体内部，对周围环境影响可忽略不计。

校准时间选择在非运营时间，故不会有非相关人员进入。专门负责校准的工作人员穿着铅衣在检查室对机器进行校准，且本项目使用的校准源活度较低，因此校准源使用过程中对周围环境影响很小，对工作人员的剂量贡献较低，可忽略不计。

二、介入手术室 DSA 环境影响分析

医院在介入手术室内使用 1 台 DSA，进行介入手术治疗的工作负荷约 500 人次/年，DSA 主要用于血管造影，介入手术等。

根据原环境保护部和国家卫生计生委联合发布公告 2017 年第 66 号《射线装置分类办法》，DSA 属于 II 类射线装置，工作时不产生放射性废气、废水和固体废物。本机为数字成像设备，不使用显、定影液，其主要环境影响因素为工作时产生的 X 射线，出束方向向上。

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

①造影拍片过程：操作人员采取隔室操作的方式，医生通过开放式操作间铅玻璃观察窗介入手术室内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。在拍片过程中，医生位于操作间内，经介入手术室各屏蔽体屏蔽后，对介入手术室外（包括介入手术室楼上）的公众和工作人员基本没有影响。

②脉冲透视过程

为更清楚的了解病人情况，医生需进入介入手术室，进行治疗时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时手术医生身着铅衣、戴铅防护眼镜等在介入手术室内对病人进

行直接的手术操作。

本次分析采用理论预测方法对本项目 DSA 系统在正常运行期间对辐射工作人员及公众的辐射影响分析。

(一) 辐射环境影响分析

1、本项目关注点的辐射环境影响分析

根据医院实际诊疗情况，拍片时，DSA 的常用电压 60~100kV，常用电流为 100~300mA；透视时，DSA 常用管电压为 70~90kV，常用管电流为 10~20mA。

根据建设单位提供资料，本项目射线装置具有多种厚度的过滤片，常用过滤片为 0.5~1.5mm 的铜，根据《辐射防护手册》（第一分册）图 4.4c，相同材质的过滤片，过滤材料越薄，距靶 1m 处的照射量率（ v_{r0} ）越大。本项目取 0.5mmCu 过滤条件，通过查《辐射防护手册（第一分册）辐射源与屏蔽》图 4.4，对于管电压为 90kV，0.5mmCu 作为过滤板的条件下，当管电压为 90kV 时（透视最大工况），查得 $v_{r0}=0.15R \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$ ；当管电压为 100kV 时（拍片最大工况），查得 $v_{r0}=0.21R \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$ 。经计算后，在透视时管电压为 90kV、管电流为 20mA 时，距靶 1m 处的剂量率 H_0 为 26.19mGy·min⁻¹；在拍片管电压为 100kV、管电流为 300mA 时，距靶 1m 处的剂量率 H_1 为 549.99mGy·min⁻¹。见下表：

表 11-30 本项目 DSA 常用工况及源强取值

工作模式	常用管电压	常用管电流	最大使用工况	v_{r0}	H_0
透视	70~90kV	6~20mA	90kV、20mA	$0.15R \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$	26.19mGy·min ⁻¹
拍片	60~100kV	100~500mA	100kV、300mA	$0.21R \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$	549.99mGy·min ⁻¹

本项目 DSA 投用后，手术过程中介入手术室四周的保护目标，均受到漏射射线和散射射线的影响，介入手术室正上方受主射辐射的影响，介入手术室内的辐射工作人员受到散射和漏射的影响。根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律，距离介入手术室最近关注点可以代表最大可能辐射影响。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）公式 C.1 以及附录表 C.2 可知。屏蔽减弱因子 B：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \dots\dots\dots \text{式 11-12}$$

式中：

B—给定屏蔽材料厚度的屏蔽减弱因子；

β —给定屏蔽材料对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数；
 α —给定屏蔽材料对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数；
 γ —给定屏蔽材料对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数；
 X —屏蔽材料厚度。

散射线的减弱因子将根据实际情况，采用常用工况下散射线拟合参数进行计算；泄漏射线因和主射线能量一样，故采用常用工况下主射线拟合参数计算其减弱因子。

表 11-31 屏蔽材料对 X 射线的辐射衰减拟合参数

管电压90kV（透视）						
材料	α		β		γ	
铅	3.067		18.83		0.7726	
管电压 100kV（拍片）						
材料	α		β		γ	
	主束	散射	主束	散射	主束	散射
铅	2.500	2.507	15.28	15.33	0.7557	0.9124

根据计算，介入手术室不同防护措施对应的屏蔽减弱因子见表11-32。

表 11-32 介入手术室设计屏蔽参数及防护措施铅当量一览表

屏蔽方位	屏蔽材料与厚度	等效约合铅当量	屏蔽减弱因子（透视）	屏蔽减弱因子（拍片）	
				主束	散射
四周墙体	370mm 实心砖	3.7mmPb	9.26×10^{-7}	7.17×10^{-6}	1.09×10^{-5}
屏蔽门	3mm 铅当量铅门	3mmPb	7.93×10^{-6}	4.14×10^{-5}	6.31×10^{-5}
观察窗	3mm 铅当量铅玻璃窗	3mmPb	7.93×10^{-6}	4.14×10^{-5}	6.31×10^{-5}
顶部	260mm 混凝土	3mmPb	7.93×10^{-6}	4.14×10^{-5}	6.31×10^{-5}
地面	260mm 混凝土	3mmPb	7.93×10^{-6}	4.14×10^{-5}	6.31×10^{-5}
医生位	0.5mmPb铅衣+0.5mmPb铅帘	1mmPb	4.08×10^{-3}	/	/
护士位	0.5mmPb铅衣	0.5mmPb	2.52×10^{-2}	/	/
腕部	0.025mmPb 铅手套	0.025mmPb	6.26×10^{-1}	/	/
	0.025mmPb 铅手套+0.5mmPb 铅帘	0.525mmPb	2.27×10^{-1}	/	/

（1）主射线束方向影响分析

①计算模式

本项目主射方向屏蔽防护采用《辐射防护手册》（第一分册）中计算公式如下：

$$D_r = D_1 \cdot \mu \cdot \eta \cdot f \cdot T / r^2 \dots\dots\dots \text{式 11-13}$$

式中:

- D_r —预测点处辐射空气吸收剂量, mGy/a;
- D_1 —X 射线在 1m 处的辐射空气吸收剂量率, mGy/min;
- T —每年工作时间, 15499.8min (包括透视 15000min 和拍片 499.8min) ;
- μ —利用因子, 主射方向取 1;
- η —对防护区的占用因子;
- f —屏蔽材料对初级 X 射线束的减弱因子;
- r —预测点距 X 射线源的距离, m。

②预测结果分析

根据 NCRP147 报告, 患者和接收器对初始线束的减弱倍数为 10 到 100 倍, 考虑最不利影响, 患者和接收器对初始线束的减弱倍数取 10 倍, 则主射方向照射量率取主射线束的 10%。

将相关参数带入 (式 13) 中, 进行各关注点年有效剂量预测, 预测点年剂量估算结果见表 11-33:

表 11-33 介入手术室主射方向预测点年有效剂量估算

关注预测点 保护目标	与出束 口直线 距离 (m)	屏蔽材料与 厚度及等效 铅当量 (mm)	照射 类型	屏蔽减弱 因子 (f)	衰减 倍数	利用 因子 (μ)	占用 因子 (η)	主射辐射 剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	预测点年 有效剂量 (mGy/a)
急诊医技综合楼二层的人员(介入手术室正上方)	5.8	260mm 混凝土	透视	7.93×10^{-6}	10	1	1/4	9.26×10^{-3}	2.32×10^{-3}
			拍片	4.14×10^{-5}	10			1.02	8.46×10^{-3}

(2) 病人体表散射辐射剂量估算

$$H_s = \frac{H_0 \cdot \alpha \cdot B \cdot s}{(d_0 \cdot d_s)^2} \dots\dots\dots \text{式 11-14}$$

式中:

- H_s ——预测点处的散射剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;
- H_0 ——距靶 1m 处的剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;
- α ——患者对 X 射线的散射比; 根据《辐射防护手册》(第一分册)表 10.1 查表取得当 400cm^2 散射面积时, $\alpha=1.3 \times 10^{-3}$; 故当 1cm^2 散射面积时, $\alpha=3.25 \times 10^{-6}$ (90° 散射);

s ——散射面积， cm^2 ，取 100cm^2 ；
 d_0 ——源与病人的距离， m ，取 1m ；
 d_s ——病人与预测点的距离， m ；
 B ——减弱因子。

个人年最大有效剂量估算公式如下：

$$E = H \cdot t \cdot T \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots \text{式11-15}$$

式中：

E ——辐射外照射人均年有效剂量， mSv ；
 H ——辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；
 t ——年工作时间， h ；
 T ——居留因子，职业人员保守取 1，公众保守取 1/4。

各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果见下表 11-34。

表 11-34 散射辐射各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果

关注点保护目标	病人（散射点）到关注点距离（m）	屏蔽材料及厚度	屏蔽材料折合铅当量（mmPb）	照射类型	屏蔽减弱因子	散射辐射剂量率（ $\mu\text{Gy/h}$ ）
1#主刀医生	0.5	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 铅帘	1	透视	4.08×10^{-3}	8.33
2#助手医生	0.8	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 铅帘	1	透视	4.08×10^{-3}	3.25
3#护士	1.0	0.5mmPb 铅衣	0.5	透视	2.52×10^{-2}	12.8
4#技师（铅窗外30cm处）	3.0	3mmPb 铅玻璃窗	3	透视	7.93×10^{-6}	4.50×10^{-4}
				拍片	6.31×10^{-5}	7.52×10^{-2}
5#无菌库房、设备间、污物暂存间等配套用房的医护人员	4.0	3mmPb 铅门	3	透视	7.93×10^{-6}	2.53×10^{-4}
				拍片	6.31×10^{-5}	4.23×10^{-2}
6#CT、DR、MR等门诊影像科其他区域的医护人员、患者及家属	5.0	370mm 实心砖	3.7	透视	9.26×10^{-7}	1.89×10^{-5}
				拍片	1.09×10^{-5}	4.68×10^{-3}
7#中心药房区的人员	21.0	370mm 实心砖	3.7	透视	9.26×10^{-7}	1.07×10^{-6}
				拍片	1.09×10^{-5}	2.65×10^{-4}
8#输液、留观等	43.0	370mm 实心砖	3.7	透视	9.26×10^{-7}	2.56×10^{-7}

急诊急救区的人员				拍片	1.09×10^{-5}	6.32×10^{-5}
9#门急诊医技综合楼一层的其他人员	30.0	370mm 实心砖	3.7	透视	9.26×10^{-7}	5.25×10^{-7}
				拍片	1.09×10^{-5}	1.30×10^{-4}
10#门急诊医技综合楼负一层的人员	5.8	370mm 实心砖	3.7	透视	9.26×10^{-7}	1.40×10^{-5}
				拍片	1.09×10^{-5}	3.48×10^{-3}
11#医技楼的人员	26.0	370mm 实心砖	3.7	透视	9.26×10^{-7}	6.99×10^{-7}
				拍片	1.09×10^{-5}	1.74×10^{-4}

(3) 泄漏辐射剂量估算

泄漏辐射剂量率按初级辐射束的 1‰ 计算，利用点源辐射进行计算，各预测点的泄漏辐射剂量率可用下式进行计算。

$$H = \frac{H_0 \cdot f \cdot B}{R^2} \dots\dots\dots \text{式 11-16}$$

式中：

H—预测点处的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

f—泄漏射线比率，1‰；

H_0 —距靶点 1m 处的最大剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

R—靶点距关注点的距离，m；

B——减弱因子，前文表 11-32 计算取得。

各预测点泄漏辐射剂量率计算参数及结果见下表 11-35。

表 11-35 各预测点的泄漏辐射剂量率计算参数及结果

关注点保护目标描述	靶点距关注点的距离 (m)	屏蔽材料及厚度	屏蔽材料折合铅当量 (mmPb)	照射类型	减弱因子	漏射辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
主刀医生	0.5	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 铅帘	1	透视	4.08×10^{-3}	25.60
助手医生	0.5	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 铅帘	1	透视	4.08×10^{-3}	10.0
护士	0.8	0.5mmPb 铅衣	0.5	透视	2.52×10^{-2}	39.6
技师 (铅窗外 30cm 处)	3.0	3mmPb 铅玻璃窗	3	透视	7.93×10^{-6}	1.38×10^{-3}
				拍片	4.14×10^{-5}	1.52×10^{-1}
无菌库房、设备间、污物暂存间等配套用房的医	4.0	3mmPb 铅门	3	透视	7.93×10^{-6}	7.78×10^{-4}
				拍片	4.14×10^{-5}	8.54×10^{-2}

护人员						
CT、DR、MR 等 门诊影像科其他 区域的医护人员、 患者及家属	5.0	370mm 实心砖	3.7	透视	9.26×10^{-7}	5.82×10^{-5}
				拍片	7.17×10^{-6}	9.46×10^{-3}
中心药房区的人 员	21.0	370mm 实心砖	3.7	透视	9.26×10^{-7}	3.30×10^{-6}
				拍片	7.17×10^{-6}	5.37×10^{-4}
输液、留观等急 诊急救区的人员	43.0	370mm 实心砖	3.7	透视	9.26×10^{-7}	7.86×10^{-7}
				拍片	7.17×10^{-6}	1.28×10^{-4}
门急诊医技综合 楼一层的其他人 员	30.0	370mm 实心砖	3.7	透视	9.26×10^{-7}	1.62×10^{-6}
				拍片	7.17×10^{-6}	2.63×10^{-4}
门急诊医技综合 楼负一层的人员	5.8	370mm 实心砖	3.7	透视	9.26×10^{-7}	4.32×10^{-5}
				拍片	7.17×10^{-6}	7.03×10^{-3}
医技楼的人员	26.0	370mm 实心砖	3.7	透视	9.26×10^{-7}	2.15×10^{-6}
				拍片	7.17×10^{-6}	3.50×10^{-4}

(4) 关注点辐射剂量率综合分析

表11-36 本项目各预测点保护目标最大辐射剂量率表

关注点位保护目标	照射 类型	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)				备注
		主射	散射	漏射	综合剂量率	
主刀医生	透视	/	8.33	25.60	33.93	职业
助手医生	透视	/	3.25	10.0	13.3	职业
护士	透视	/	12.8	39.6	52.4	职业
技师 (铅窗外 30cm 处)	透视	/	4.50×10^{-4}	1.38×10^{-3}	1.83×10^{-3}	职业
	拍片	/	7.52×10^{-2}	1.52×10^{-1}	2.27×10^{-1}	
无菌库房、设备间、污物暂存 间等配套用房的医护人员	透视	/	2.53×10^{-4}	7.78×10^{-4}	1.03×10^{-3}	公众
	拍片	/	4.23×10^{-2}	8.54×10^{-2}	1.28×10^{-1}	
CT、DR、MR 等门诊影像科其 他区域的医护人员、患者及家 属	透视	/	1.89×10^{-5}	5.82×10^{-5}	7.71×10^{-5}	公众
	拍片	/	4.68×10^{-3}	9.46×10^{-3}	1.41×10^{-2}	
中心药房区的人员	透视	/	1.07×10^{-6}	3.30×10^{-6}	4.37×10^{-6}	公众
	拍片	/	2.65×10^{-4}	5.37×10^{-4}	8.02×10^{-4}	
输液、留观等急诊急救区的人 员	透视	/	2.56×10^{-7}	7.86×10^{-7}	1.04×10^{-6}	公众
	拍片	/	6.32×10^{-5}	1.28×10^{-4}	1.91×10^{-4}	
门急诊医技综合楼一层的其他 人员	透视	/	5.25×10^{-7}	1.62×10^{-6}	2.14×10^{-6}	公众
	拍片	/	1.30×10^{-4}	2.63×10^{-4}	3.93×10^{-4}	

门急诊医技综合楼负一层的人员	透视	/	1.40×10^{-5}	4.32×10^{-5}	5.73×10^{-5}	公众
	拍片		3.48×10^{-3}	7.03×10^{-3}	1.05×10^{-2}	
医技楼的人员	透视	/	6.99×10^{-7}	2.15×10^{-6}	2.85×10^{-6}	公众
	拍片		1.74×10^{-4}	3.50×10^{-4}	5.23×10^{-4}	
门急诊医技综合楼二层的人员	透视	9.26×10^{-3}	/	/	9.26×10^{-3}	公众
	拍片	1.02	/	/	1.02	

由表 11-36 可知，本项目介入手术室周围最大辐射剂量率为 $1.02 \mu\text{Sv/h}$ ，低于《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中规定的屏蔽体外 30cm 处辐射剂量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的规定。

(5) 关注点年辐射剂量分析

表 11-37 本项目各预测点理论预测最大受照剂量统计表

关注点位保护目标	照射类型	综合剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年最大受照时间 (h)	居留因子	透视/拍片总辐射剂量 (mSv/a)	年总辐射剂量 (mSv/a)	备注
主刀医生	透视	33.93	250	1	8.49	8.49	职业
助手医生	透视	13.3	250	1	3.32	3.32	
3#护士	透视	52.4	250	1	13.1	13.1	职业
技师(铅窗外 30cm 处)	透视	1.83×10^{-3}	250	1	4.58×10^{-4}	2.35×10^{-3}	职业
	拍片	2.27×10^{-1}	8.33	1	1.89×10^{-3}		
无菌库房、设备间、污物暂存间等配套用房的医护人员	透视	1.03×10^{-3}	250	1/4	6.44×10^{-5}	3.30×10^{-4}	职业
	拍片	1.28×10^{-1}	8.33	1/4	2.66×10^{-4}		
CT、DR、MR 等门诊影像科其他区域的医护人员、患者及家属	透视	7.71×10^{-5}	250	1/4	4.82×10^{-6}	1.94×10^{-6}	公众
	拍片	1.41×10^{-2}	8.33	1/4	2.94×10^{-5}		
中心药房区的人员	透视	4.37×10^{-6}	250	1/4	2.73×10^{-7}	1.94×10^{-6}	公众
	拍片	8.02×10^{-4}	8.33	1/4	1.67×10^{-6}		
输液、留观等急诊急救区的人员	透视	1.04×10^{-6}	250	1/4	6.51×10^{-8}	4.63×10^{-7}	公众
	拍片	1.91×10^{-4}	8.33	1/4	3.98×10^{-7}		
门急诊医技综合楼一层的其他人员	透视	2.14×10^{-6}	250	1/4	1.34×10^{-7}	9.52×10^{-7}	公众
	拍片	3.93×10^{-4}	8.33	1/4	8.18×10^{-7}		
门急诊医技综合楼负一层的人员	透视	5.73×10^{-5}	250	1/4	3.58×10^{-6}	2.55×10^{-5}	公众
	拍片	1.05×10^{-2}	8.33	1/4	2.19×10^{-5}		
医技楼的人员	透视	2.85×10^{-6}	250	1/4	1.78×10^{-7}	1.27×10^{-6}	公众
	拍片	5.23×10^{-4}	8.33	1/4	1.09×10^{-6}		

门急诊医技综合楼二 层的人员	透视	9.26×10^{-3}	250	1/4	2.32×10^{-3}	1.08×10^{-2}	公众
	拍片	1.02	8.33	1/4	8.46×10^{-3}		

注：①本项目 DSA 年最大出束时间为 258.33h（拍片 8.33h，透视 250h）。②根据不同病人手术情况的需要，护士进入手术室内，在术中配合跟台手术，距离辐射点源最近为 1m 的位置。③医生、护士位于介入手术室内进行介入手术时，只存在透视工况，以 DSA 年透视时间 250h 计算保守。

本项目拟配置 5 名手术医生（3 名主刀医生、2 名助手医生），4 名护士，2 名技师，每次手术时，手术室内 2 名医生（1 名主刀医生、1 名助手医生），1 名护士。根据实际情况多名医护人员轮班的岗位工作时间很难人均分配，因此护士和技师本次预测取工作时间不超过人均受照时间的 1.2 倍保守考虑。各科室每名医生及护士技师的年剂量核算见下表 11-38。

表11-38 本项目每名职业人员年剂量核算表

职务	科室年辐射剂量 (mSv/a)	科室年最大受照时间 (h)	人数/名	理论人均受照时间 (h)	保守考虑人均受照时间 (h)	每名职业人员最大年剂量 (mSv/a)
主刀医生	8.49	250	3	83.33	100.00	3.40
助手医生	3.32	250	2	125	150	1.99
护士	13.1	250	4	62.5	75	3.93
技师	2.35×10^{-3}	258.33	2	129.17	155.00	1.41×10^{-3}

由表 11-38 可知，主刀手术医生最大有效剂量为 3.40mSv/a，助手手术医生最大有效剂量为 1.99mSv/a，护士最大有效剂量为 3.93mSv/a，技师最大有效剂量为 1.41×10^{-3} mSv/a，均低于本次评价确定的职业人员 5mSv/a 的管理约束值，也均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的职业人员 20mSv/a 剂量限值；公众最大有效剂量为 1.08×10^{-2} mSv/a 低于本次评价确定的公众 0.1mSv/a 的管理约束值，也低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的公众 1mSv/a 剂量限值。

医院应合理安排手术医生的手术量，控制各科室手术医生的手术台数，每个季度对辐射工作人员个人剂量进行严格监督，辐射工作人员个人剂量单季度超过 1.25mSv、年超过 5mSv 事件的发生，若发现辐射工作人员有单季度超过 1.25mSv 的情况，医院应立即采取有效的管控措施，暂停该辐射工作人员继续从事的放射诊疗作业，同时进行原因调查，调整岗位安排等。

（5）保护目标受照剂量综合分析

因本项目介入手术室位于影像科内，机房周围的辐射工作人员同时受到影像科其他

III 类射线装置曝光引起的剂量叠加。为保守考虑影像科射线装置对本项目周围保护目标的影响，在不考虑本项目现有墙体对射线的屏蔽作用，距离本项目最近的射线装置机房（介入手术室西侧 DR 机房）屏蔽体外 30cm 处辐射剂量率按照 2.5 μ Sv/h，年最大曝光 258.33h 进行考虑。

表 11-39 本项目保护目标受到 III 类射线装置剂量叠加后综合年有效剂量

III类射线装置贡献剂量估算						DSA贡献剂量	年最大辐射剂量照射评价价值 (mSv/a)	照射类型
预测点	最近的射线装置机房屏蔽体外距离 (m)	最大贡献剂量率 (μ Sv/h)	年最大曝光时间 (h)	居留因子	年最大贡献剂量 (mSv/a)	理论预测年最大贡献剂量 (mSv/a)		
主刀医生	10	2.25×10^{-3}	258.33	1	5.81×10^{-4}	3.40	3.40	职业照射
助手医生	10.3	2.12×10^{-3}	258.33	1	5.48×10^{-4}	1.99	1.99	职业照射
护士	10.5	2.04×10^{-3}	258.33	1	5.27×10^{-4}	3.93	3.93	职业照射
技师	17	7.79×10^{-4}	258.33	1	2.01×10^{-4}	1.41×10^{-3}	1.61×10^{-3}	职业照射
周围公众	2	5.63×10^{-2}	258.33	1/4	3.63×10^{-3}	1.08×10^{-2}	1.44×10^{-2}	公众照射

由上表可知，本项目介入手术室周围保护目标在受到放射科其他射线装置影响后，职业人员所受年剂量最大为3.93mSv/a，介入手术室周围公众所受年剂量最大为 1.44×10^{-2} mSv/a。本项目职业人员和公众最大受照剂量均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的职业人员20mSv/a和公众1mSv/a剂量限值，也均低于职业人员5mSv/a，公众0.1mSv/a的管理约束值

根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律，距离介入手术室最近的关注点可以代表最大可能辐射有效剂量。在DSA运行后，实际工作中，常用管电压和管电流远低于预测工况，且项目运行产生的X射线经墙体、门窗屏蔽、距离衰减后，介入手术室周围环境保护目标受照剂量远低于预测剂量，对介入手术室周围公众影响更小。

（6）医生腕部皮肤受照剂量

手术医生和护士在介入手术室内进行介入手术时，会穿联体铅衣、戴介入防护手套、铅防护眼镜、铅橡胶颈套等防护用品，但是仍然有部分皮肤暴露在射线下受到照射，手术医生腕部距离辐射源（非主射束方向）最近，因 X 射线随着距离的增加呈现衰减趋势，故以手术医生腕部剂量估算结果进行核算医护人员皮肤照射年剂量，根据《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）中的公式估算介入手术室或介入手

术室人员年皮肤吸收剂量:

$$D_s = C_{ks} (\dot{k} \cdot t) \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots \text{式 17}$$

$$\dot{k} = \frac{\dot{H}_{(10)}^*}{C_{KH}} \dots\dots\dots \text{式 18}$$

式中: D_s —皮肤吸收剂量, mGy;

\dot{k} —X 辐射场的空气比释动能率, $\mu\text{Gy/h}$;

C_{ks} —空气比释动能到皮肤吸收剂量的转化系数 (Gy/Gy), 本项目 DSA 可近似地视为垂直入射, 而且是 AP 入射方式, 从表 A.4 中查得空气比释动能到皮肤吸收剂量的最大转换系数 $C_{ks}=1.134\text{mGy/mGy}$;

t —人员累积受照时间, h;

$\dot{H}_{(10)}^*$ —X 辐射场的周围剂量当量率, $\mu\text{Sv/h}$;

C_{KH} —空气比释动能到周围剂量当量的转化系数 (Sv/Gy), 从表 A.9 可查得 X 辐射场空气比释动能到周围剂量当量的转化系数 $C_{KH}=1.72\text{Sv/Gy}$ 。

根据前述分析, 医生操作时腕部距辐射源 (非主射方向) 的距离取 0.5m, 按照手术医生年最大工作时间 100h, 其中有 1/5 的时间考虑 0.025mmPb 防护手套屏蔽防护, 则该处的剂量当量率为 $5.21 \times 10^3 \mu\text{Gy/h}$, 由 (公式 7) 计算出辐射场的空气比释动能为 $3.03 \times 10^3 \mu\text{Gy/h}$, 核算出医生腕部皮肤受到当量剂量为 68.72mSv; 有 4/5 的时间考虑 0.025mmPb 防护手套和 0.5mmPb 铅帘屏蔽防护, 则该处的剂量当量率为 $4.21 \times 10^2 \mu\text{Gy/h}$, 由 (公式 7) 计算出辐射场的空气比释动能为 $2.45 \times 10^2 \mu\text{Gy/h}$, 核算出医生腕部皮肤受到当量剂量为 22.23mSv; 则医生手术位腕部总皮肤受照当量剂量为 90.95mSv/a, 满足《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, 四肢 (手和足) 或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv 的要求, 也满足本项目对于放射工作人员四肢 (手和足) 或皮肤当量剂量通常管理限值, 即不超过 125mSv/a 的要求。

(7) 介入治疗对医生和患者的辐射防护要求

介入治疗是一种解决临床疑难病的新方法，但介入治疗时 X 射线曝光量大，曝光时间长，距球管和散射体近，使介入治疗操作者受到大剂量的 X 射线照射。为了减少介入治疗时 X 射线对操作者和其他人员的影响，本评价提出以下几点要求：

介入治疗医生自身的辐射防护要求：①加强教育和培训工作，提高辐射安全文化素养，全面掌握辐射防护法规和技术知识；②结合诊疗项目实际情况，综合运用时间、距离与屏蔽防护措施；③在介入手术期间，必须穿戴个人防护用品，并佩戴个人剂量报警仪；④定期维护 DSA 系统设备，制定和执行介入治疗的质量保证计划。

患者的辐射防护要求：①严格执行 GB18871-2002 中规定的介入诊疗指导水平，保证患者的入射体表剂量率不超过 100mGy/min；②选择最优化的检查参数，为保证影像质量可采用高电压、低电流、限制透视检查时间等措施；③采用剂量控制与分散措施，通过调整扫描架角度，移动扫描床等办法，分散患者的皮肤剂量，避免单一皮肤区域接受全部剂量；④作好患者非照射部位的保护工作。

(8) 射线装置报废

射线装置在报废前，应采取去功能化的措施（如拆除电源和拆解加高压射线管），确保装置无法再次组装通电使用，并按照国有资产和生态环境主管部门的要求，履行相关报废手续。

(二) 大气环境影响分析

本项目在运行过程中，主要大气污染因子为介入手术室内 DSA 曝光时空气中氧受 X 射线电离而产生的臭氧。DSA 曝光过程中臭氧产生量很小，介入手术室采用新风系统通风，送风口位于介入手术室吊顶东南侧；介入手术室采用风机机械排风，排风量不低于 1000m³/h，每小时排风次数约 5 次，为防止 X 射线泄露，拟在排风管道口穿墙管道处增设 3mmPb 铅板进行防护补偿，介入手术室内产生的放射性废气经管道引出后，与影像科其他排风管道合管后经排风井在楼顶排放，经空气稀释后，对周围环境的影响较小。

(三) 废水环境影响分析

项目运行后，废水主要为辐射工作人员的生活污水和医疗废水。辐射工作人员生活用水按每人每天 100L 计，排污系数取 0.85，则生活污水产生量为 0.935m³/d，年最大

废水量 233.7m³/a；医疗废水按 100L/台手术，年最大废水量 42.5m³/a。则本项目废水总产生量约 276.2m³/a。

项目产生的废水依托医院新建的污水管道和污水处理站处理达《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）表 2 中预处理标准后，再通过市政污水管网进入新都工业东区污水处理厂处理，处理达标后排放。

（四）固体废物影响分析

①本项目 DSA 采用数字成像，不打印胶片，因此不会有废胶片产生。

②手术时产生一定量的医用器具和药棉、纱布、手套、废造影剂、废造影剂瓶等医用辅料及手术垃圾，按每台手术产生约 2kg 的医疗废物，每年固体废物产生量约为 1000kg。这些医疗废物严格按国家《医疗废物管理条例》的要求分类暂存于医疗废物暂存间，统一收集后交由有相应资质的单位处置。

③工作人员产生的生活垃圾和办公垃圾不属于医疗废物，办公垃圾和生活垃圾产生量约 1.38t/a，医院按照当地管理部门要求，由市政环卫部门收集清运处置。项目产生固废均得到合理处置，不会对周围环境产生明显影响。

（五）声环境影响分析

本项目噪声源主要为风机噪声，所有设备选用低噪声设备，最大源强不超过 65dB（A），均处于室内，通过建筑墙体隔声及距离衰减后，运行期间厂界噪声可达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2 类标准要求。

事故影响分析

一、环境风险评价目的

环境风险评价是为了分析和预测建设项目存在的潜在危害和有害因素，以及项目在建设、运营期间可能发生的事故（一般不包括自然灾害与人为破坏），引起有毒、有害（本项目为电离辐射）物质泄漏，所造成的环境影响程度和人身安全损害程度，并提出合理可行的防范、应急与减缓措施，以使项目事故发生率、损失和环境影响达到可以接受的水平。

二、风险识别

（一）核医学科风险识别

根据污染源分析，本项目使用回旋加速器存在主要环境风险因子为中子、 γ 射线等，危害因素为中子、 γ 射线外照射导致人员超剂量照射，回旋加速器只有在开机状态下才会产生中子、 γ 射线，一旦切断电源，便不会再有中子、 γ 射线产生。由于回旋加速器在停机后存在剩余辐射，若处理不当也会对人员和环境造成一定的影响。本项目可能发生的辐射事故情景如下：

①安全装置或设备控制系统出现故障，人员非法闯入正在运行的机房，操作人员开启回旋加速器导致人员误照射。

②操作人员未按操作规程对机房进行清场巡更，导致人员滞留机房内，室外操作人员开启回旋加速器导致人员误照射。

③机房开门延时联锁失效，停机后机房内为进行足够时间的排风，或者通风系统失效，工作人员直接进入机房导致受到感生放射性废气的误照射。

④回旋加速器冷却系统失效或火灾事故，导致靶腔破裂，造成非密封放射性物质泄漏。

⑤辐照后的固态靶件在传输过程中因传输管道堵塞导致卡靶或停靶。

⑥工作人员误操作、转运、火灾或因管理不善而丢失被盗，导致放射性物质（原料、产品和废物）撒漏；

⑦工作箱负压不足或破损泄漏导致放射性气溶胶逸散到操作区；

⑧排风系统过滤装置达到饱和或受潮、断电导致过滤失效；

⑨校准源丢失、被盗、失控。

（二）使用Ⅲ类医用射线装置风险识别

本项目共涉及Ⅲ类医用射线装置3台，分别为1台PET-CT、2台SPECT-CT，本项目所用射线装置均为数字成像，无废显定影液及废胶片产生，其主要危害为设备工作时产生X射线。

（三）介入手术室可能发生的事故

本项目使用的 DSA 均属于Ⅱ类射线装置，属中危险射线装置，事故时可使受照人员产生较严重的放射损伤，大剂量照射甚至可导致死亡。DSA 不运行时不可能发生放射性事故，也不存在影响辐射环境质量事故，只有当机器运行期间才会产生 X 射线等危害因素，而且最大可能的事故主要有两种：

①在介入手术操作中，DSA 控制系统失灵；

②DSA 射线装置 X 射线源处于“曝光”状态，介入手术人员在距 X 射线管非主射束方向进行介入手术操作。

三、源项分析及事故等级分析

回旋加速器打靶过程中会产生 γ 射线、中子、臭氧，臭氧经通风设施换气，对大气环境基本无影响，电子线经治疗室屏蔽体的材料和厚度屏蔽后，在环境辐射方面已无影响，故医用直线加速器可能发生的风险事故中，其风险因子主要为 X 射线；后装机使用 ^{192}Ir 放射源，其风险因子主要为 γ 射线；核医学科非密封放射性物质工作场所中所用的核素，产生 β 和 γ 射线，由于 β 射线在空气中射程较短，通过实体屏蔽后影响较小，故核医学科风险因子主要为 γ 射线；III 类医用射线装置主要风险因子为 X 射线。

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第 449 号）第四十条：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、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，详见表 11-36 中。

表 11-36 项目的风险因子辐射伤害程度与事故分级

事故等级	事故类型
特别重大辐射事故	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 人以上（含 3 人）急性死亡。
重大辐射事故	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 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	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 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故	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。

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 11-15。

表 11-15 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	50.0Gy~100.0Gy
	中度	
	重度	
	极重度	
	死亡	100Gy

四、后果计算

1、核医学科可能发生的辐射安全事故分析

(1) 非法闯入或人员滞留机房事故后果影响分析

根据建设单位提供资料,回旋加速器机体表面 1m 处最大辐射剂量当量率为 13Sv/h,当人员非法闯入或滞留回旋加速器机房,假设受照时间为 2min,人员距离机体表面 2m 处,其受照剂量为 108.3mSv,导致人员受照剂量超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中职业 20mSv 的剂量限值,构成一般辐射事故。若事故持续发生 3h,可能导致人员受照剂量超过 10Gy,可能引发人员极重度骨髓型急性放射病发生,构成较大辐射事故。

(2) 停机后人员误入机房事故后果影响分析

假设停机后机房内活化气体未进行衰减和排放(氙-41 活度浓度为 $5.17 \times 10^3 \text{Bq/m}^3$),人员即刻进入机房进行巡检操作,受到氙-41 活化气体的照射,其关键照射途径为浸没外照射,照射时间为 2min,人员受照剂量为 $4.87 \times 10^{-5} \text{mSv}$ 。同时,回旋加速器停机后还存在比较高的剩余辐射剂量,若停机后立即进入机房会对误入人员造成外照射,根据同类加速器停机后的剩余辐射剂量为 164mSv/h,照射时间为 2min,人员受照剂量为 5.47mSv,未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中职业人员 20mSv 的剂量限值,但若持续发生 6min 将导致人员受照剂量超过 20mSv 的剂量限值,构成一般辐射事故。

(3) 回旋加速器机房内射性物质泄漏事故后果影响分析

本项目涉及生产的液态放射性物质为氟-18、碳-11和氮-13,其中因碳-11和氮-13半衰期极短,本次以氟-18作为代表进行分析,单批次生产产额为 1Ci,当氟-18发生泄漏时,泄漏体积约 10mL,体积小,主要造成机房及管路沿线β表面沾污超标,由于回旋加速器大厅设计有防渗措施,泄漏的氟-18对土壤和地下水影响较小,同时氟-18的半衰期相对较短,通过场所封闭衰变和后续去污措施,不会造成较大影响,其事故后果属于辐

射事件。若存在工作人员误入情况，按单批次产额1Ci进行泄漏量考虑，机房最大辐射剂量率为5.29mSv/h，若事故持续发生226min将导致工作人员受照剂量超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业20mSv的剂量限值，构成一般辐射事故。

（4）卡靶或停靶事故后果影响分析

当发生卡靶时，辐照后的放射性固体靶将长时间滞留于管道中，会持续对周围辐射环境造成影响，回旋加速器设计地沟深度为0.425m，管道屏蔽厚度为3mm铅套管，采用60mm铅盖板进行屏蔽，假设传输的放射性固体原料未发生衰变，以氟-18为代表（单次生产活度为 3.70×10^4 MBq），经计算距离其1m处辐射剂量率为 $0.848 \mu\text{Sv/h}$ ，人员居留时间为8h，其最大受照剂量为 6.78×10^{-3} mSv，人员受照射剂量未超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业20mSv的剂量限值，不构成一般辐射事故。若工作人员私自打开铅盖板进行处置，其辐射剂量率将达到5.29mSv/h，事故持续发生4h，可导致工作人员受照剂量超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业20mSv的剂量限值，构成一般辐射事故。

（5）气态放射性物质释放事故状态下的影响分析

1）热室柜泄漏导致气态放射性物质泄漏的事故影响分析

对于热室柜泄漏，选择易挥发的氟-18作为评价核素，主要考虑吸入内照射所致剂量，假设气态放射性物质的释放量以每日最大操作为挥发量作为评价量（ 3.7×10^{10} Bq），当热室柜泄漏时，气态放射性物质均匀分布于热室内（活度浓度为 1.05×10^8 Bq/m³），职业人员受照时间以8h计，受照剂量为0.12mSv，超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员20mSv的剂量限值，不构成辐射事故。

（6）放射性物质撒漏事故状态下影响分析

对于使用热室柜、手套箱进行核素制备、分装的场所，放射性溶液撒漏不会直接沾染工作人员手部皮肤，因而对人体的影响不大。但在给病人服药时容易因误操作导致撒漏对工作人员造成辐射影响，假设发生事故时溅洒活度为单次给药的最大操作活度，溅洒溶液在手部均匀分布，沾染面积取成人平均手部表面积280cm²，假设事故处理时间持续10min。根据《RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK 2002》（Published by Nuclear Technology Publishing）查得，不同放射性核素溅洒到手部时，每1kBq·cm⁻²对皮肤造成的剂量率，据此核算事故状态下受照剂量见

表 11-90。

表 11-90 放射性溶液溅洒对手部照成的剂量计算表

核素	最大给药量 (Bq)	手部沾染活度 (kBq·cm ⁻²)	每 1kBq·cm ⁻² 对皮肤造成的辐射剂量率 (mSv/h)	事故中皮肤受照剂量 (mSv)	全身受照剂量 (mSv)
¹⁸ F	7.40E+08	2.64E+03	1.95	858.9	8.6
⁶⁴ Cu	2.22E+08	7.93E+02	1	132.1	1.3
⁶⁸ Ga	7.40E+08	2.64E+03	1.81	797.3	8.0
^{99m} Tc	7.40E+08	2.64E+03	1.89	832.5	8.3
⁸⁹ Sr	1.85E+08	6.61E+02	1.78	196.0	2.0
¹³¹ I	5.55E+09	1.98E+04	1.62	5351.8	53.5
¹⁸⁸ Re	1.11E+09	3.96E+03	2.32	1532.9	15.3

*注：根据《辐射安全手册》（潘自强主编）表 1.4，皮肤组织权重因子为 0.01，全身受照剂量=皮肤受照剂量率/0.01。

经计算，单次事故状态下职业人员手部最大受照剂量为 5351.8mSv，超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量 500mSv 的限值，对应全身最大受照剂量为 53.5mSv，构成一般辐射事故。若事故持续发生可能导致事故等级升级。

②发生地面撒漏情况下的影响分析

工作人员误操作、转运、火灾或因管理不善而丢失被盗，造成放射性物质撒漏在地面，本次以单种核素单日最大操作量计算，包括储存量。根据式 11-3，选取单日用量最大、周围剂量当量率常数较大等具有代表性的核素氟-18、镓-99、碘-131 和镱-177 分别计算距辐射源 0.1m、0.2m、0.5m、1.0m、2.0m、5.0m、10m、以及超过 0.1mSv/h 处的剂量率。

根据事故情景假设条件计算得出，距源 0.1m~10m 范围内剂量率，计算结果见表 11-91。

表 11-91 放射性药物丢失和泄漏事故和下不同距离处剂量率分布表

距源距离 (m)	各事故持续时段的γ射线剂量率 (μGy/h)			
	氟-18 (单日最大操作量 5Ci)	镓-99 (单日最大操作量 1.2Ci)	碘-131 (单日最大操作量 0.9Ci)	镱-177 (单日最大操作量 0.6Ci)
0.1	2.65E+06	1.35E+05	1.98E+05	1.49E+04
0.2	6.61E+05	3.36E+04	4.95E+04	3.72E+03
0.5	1.06E+05	5.38E+03	7.93E+03	5.95E+02
1	2.65E+04	1.35E+03	1.98E+03	1.49E+02
1.2	1.84E+04	9.34E+02	1.38E+03	1.03E+02
1.4	1.35E+04	6.86E+02	1.01E+03	7.59E+01

3.6	2.04E+03	1.04E+02	1.53E+02	1.15E+01
4.4	1.37E+03	6.95E+01	1.02E+02	7.68E+00
5	1.06E+03	5.38E+01	7.93E+01	5.95E+00
5.2	9.78E+02	4.98E+01	7.33E+01	5.50E+00
7	5.40E+02	2.75E+01	4.04E+01	3.04E+00
8	4.13E+02	2.10E+01	3.10E+01	2.32E+00
10	2.65E+02	1.35E+01	1.98E+01	1.49E+00

根据表 11-91 可知，当日氟-18 全部泄露，事故持续 2.3min 后，周围 10m 半径范围的环境剂量率将超过 0.1mSv；当日锝-99 全部泄露，事故持续 1h 后，周围 3.6m 半径范围的环境剂量将超过 0.1mSv；当日碘-131 全部泄露后，事故持续 1h 后，周围 4.4m 半径范围的环境剂量将超过 0.1mSv；当日镭-177 全部泄露后，事故持续 1h 后，周围 1.2m 半径范围的环境剂量率将超过 0.1mSv；当环境剂量超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众 0.1mSv/a 剂量限值时，构成一般辐射事故。本项目核医学科发生事故后影响最大范围为事故发生处周围 10m 半径的区域。

综上，本项目非密封放射性物质使用过程中发生辐射事故时，最大可能发生的辐射事故等级为一般辐射事故。

（7）校准源丢失、被盗、失控

1) 事故情景假设

- ①1 枚 ^{22}Na 校准源丢失、被盗、失控，活度最大为 $1.48 \times 10^7 \text{Bq}$ ；
- ②距离最近的人员为 0.2m；
- ③从丢失、被盗、失控至找到放射源的时间为 12h。

2) 剂量估算

在假设事故情境下，人员在事故持续时间内的受照剂量为 104mSv/次。

3) 事故等级

在上述事故情景假设下，公众受照剂量已超过 5 个连续年的平均剂量限值（1mSv）。对照表 11-37，不构成轻度急性放射病发病，事故持续周期内可造成人员超剂量照射而导致一般辐射事故。由于计算过程未考虑放射性核素衰变，计算结果偏保守。

2、III类医用射线装置的后果计算

参考《医用 X 射线治疗放射防护要求》（GBZ131-2017），当 X 射线管额定电压 $\leq 150 \text{kV}$ 时，距 X 射线管焦点 1m 处的 X 射线源组件泄漏辐射不超过 1mGy/h，单次诊

断时间不超过 15min，由于机房设有观察窗和摄像头，假设人员被误照射 1min 后被发现有后停止运行设备，受照剂量为 0.017mSv/a（X 射线辐射权重因子取 1，组织权重因子取 1），不构成辐射事故。

3、介入手术室使用射线装置后果计算

1) 事故假设

①射线装置在运行时，介入手术人员或公众在未采取任何防护的情况下位于非主射方向进行介入手术操作；由于安全连锁系统失效，手术过程中，人员误入或滞留在机房内而造成非主射方向的误照射。

②设备维护人员在维护 DSA 的 X 线机射线管或测量探测器时，射线管处于出束状态，维修人员处于主射方向。

2) 剂量估算

①介入手术人员或误入人员在未采取任何防护的情况下位于非主射方向进行介入手术操作，公众进入机房受到非主射方向的照射的事故后果计算结果如下表所示：

表 11-39 事故状态下非主射方向不同停留时间和距离人员受照剂量表

关注点与射线装置的距离 (m)	时间 (min)	散射所致剂量 (mGy)	漏射所致剂量 (mGy)	总剂量 (mGy)
0.5	2	4.09E-01	1.26E+00	1.67E+00
	5	1.02E+00	3.14E+00	4.16E+00
1	2	1.02E-01	3.14E-01	4.16E-01
	5	2.55E-01	7.86E-01	1.04E+00
	10	5.11E-01	1.57E+00	2.08E+00
	15	7.66E-01	2.36E+00	3.12E+00
1.5	2	1.13E-02	3.49E-02	4.63E-02
	5	2.27E-02	6.98E-02	9.25E-02
	10	1.13E-01	3.49E-01	4.63E-01
	15	2.27E-01	6.98E-01	9.25E-01
2	2	6.38E-03	1.96E-02	2.60E-02
	5	1.28E-02	3.93E-02	5.21E-02
	10	6.38E-02	1.96E-01	2.60E-01
	15	1.28E-01	3.93E-01	5.21E-01

②事故状态下，维修人员处于主射方向不同时间和距离所受剂量预测结果如下表所示：

表 11-40 事故状态下主射方向不同停留时间和距离维修人员受照剂量表

距离	时间 (s)	剂量 (mGy)	距离	时间 (s)	剂量 (mGy)	距离	时间 (s)	剂量 (mGy)
0.5	1	10.5	1	1	2.6	2	1	0.7
0.5	2	21.0	1	2	5.2	2	2	1.3
0.5	4	41.9	1	8	21.0	2	4	2.6
0.5	30	314.3	1	16	41.9	2	30	19.6
0.5	60	628.6	1	60	157.1	2	60	39.3
0.5	90	942.8	1	90	235.7	2	90	58.9

3) 事故后果

根据表 11-39 可知，介入手术人员或者公众在不同位置随着时间的推移，非主射方向上最大可能受照剂量为 4.16mGy/次，高于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的公众人员 1mSv/a 的剂量限值。因此，介入手术人员或误入人员单次滞留在机房内而造成非主射方向的误照射，构成一般辐射事故。

根据表 11-40 可知，维修人员在不同位置随着时间的推移，最大可能受照剂量为 942.8mGy/次，高于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的职业人员 20mSv/a 的剂量限值。根据表 11-35 可知，不构成轻度骨髓型急性放射病。因此，本项目介入设备不会导致人员发生急性重度放射病、局部器官残疾，为一般辐射事故。

综上所述，若本项目介入设备（DSA）发生辐射事故，最大可能为一般辐射事故。本项目射线装置一旦发生辐射事故，应立即切断电源，停止射线装置出束。建设单位在管理中必须认真执行安全操作规程和各项规章制度，强化安全管理，杜绝此类事故发生。

五、事故防范措施

1、核医学科可能发生的事故及应对措施

本项目涉及的核医学科放射性药物制备区、影像诊断区、门诊治疗区、病房治疗区均属于乙级非密封放射性物质工作场所。按国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，应参照II类密封型放射源工作场所的相关要求，实施辐射安全管理。由于核素的操作量较大，一旦发生事故有可能导致环境的放射污染。核医学科诊治过程中较常见的事故有：

(1) 回旋加速器制备放射性核素时，回旋加速器打靶期间时人员误入回旋加速器

机房，造成人员误照射事故；

应对措施：回旋加速器机房与防护门实现门机联锁保护装置，防护门打开时加速器自动停止出束，回旋加速器室防护门外设置了工作状态指示灯和悬挂电离辐射警示标识，相关场所的出入口均设置了门禁及视频监控系统，回旋加速器室、入口间及控制室均需设置应急停止按钮，张贴应急预案，放射防护注意事项、设备操作规程、紧急处理措施等。热室内部配备辐射剂量监控系统，可调节监控剂量，当热室内部剂量值大于设定值时，热室门将被联锁装置锁死，不允许打开；热室所在房间内安装固定式剂量率监测探头，当探测到剂量率超过设置阈值时，则有声光报警，人员马上撤离。

(2) 放射性药物或放射源丢失、被盗、放射性药物撒漏或工作场所失火，均可能使放射性药物释放到环境中，这样就会使室内的设备、地面等受到放射性污染；

应对措施：医院应当在放射源和放射性药物的签收、储存和发放等环节有详细的程序和记录，实行专人专锁专管，切实做好防火防盗，以此避免此类事故的发生；对大剂量的治疗用量必须格外小心，要严格按照操作规程进行，尽量避免污染事故的发生，在操作放射性核素和药物后应进行表面污染监测；在核医学工作中，遇到放射性药品抛洒的意外情况时尽快进行处理，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散，争取在最短的时间内将事故排除，事故处理时应穿戴防护用品，以避免不必要的污染。

(3) 在放射性药物的放射性药物制备、质检、给药过程中，因为多种原因导致工作人员获得高剂量照射。

应对措施：医院应制定针对放射性核素紧急情况的应急程序，放射性职业人员应进行辐射防护的培训，并且对辐射工作人员进行个人剂量的监测。

4、III类医用射线装置事故分析与防范应对措施

本项目共涉及III类医用射线装置2台，均为低危险射线装置，发生事故时一般不会对受照者造成辐射损伤，不构成辐射事故。

III类医用射线装置主要事故是由于设备控制失灵或操作失误或质保不佳，使被检者受到不必要照射。因此，在诊断过程中应注意对被检者的防护，合理使用X射线，实施医疗照射防护最优化的原则，实际操作中可采用“高电压、低电流、重过滤、小视野”的办法，使被检者所受的剂量，达到合理的尽可能的低水平。同时，按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，当导致一般辐射事故时，医院即时上报当地生态环境局。

5、事故综合防范应对措施

医院在管理中必须认真执行安全操作规程和各项规章制度，强化安全管理，避免各辐射工作场所出现人员滞留事故发生；定期检查各辐射工作场所的门机联锁等辐射安全环保设施是否有效，同时应当加强控制区和监督区的管理，避免人员误入事故的发生。

当事故发生时应当立即启动事故应急程序，对于可能发生的各种事故，医院方面除在硬件上配齐、完善各种防范措施外，在软件设施上也注意了建设、补充和完善，使之在安全工作中发挥约束和规范作用，其主要内容有：

(1) 建立安全管理领导小组，组织管理医院的安全工作。

(2) 加强人员的辐射安全与防护知识的学习，考试（核）合格、持证上岗。

(3) 建立岗位的安全操作规程和安全规章制度，注意检查考核，并应将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置，认真贯彻实施；操作人员严格按照操作规程进行操作，并做好个人的防护。

(4) 制定医院重大事故处理预案、完善组织、落实经费、准备物资、加强演练、时刻准备应对可能发生的各种事故和突发事件。

(5) 辐射安全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。

以上各种事故的防范与对策措施，可减少或避免放射性事故的发生，从而保证项目正常运营，也保障工作人员、公众的健康与安全。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

一、辐射防护与安全管理机构

成都医学院第一附属医院成立了放射防护管理委员会，并于 2023 年 5 月调整了放射防护管理委员会（成医一附院发〔2023〕25 号），领导小组负责对全院的辐射安全管理工作进行管理（见附件 9），日常办公地点设在医学装备部。文件明确了领导小组的职责要求。

1、领导小组文件已包含内容

（1）领导小组人员组成：

主任委员：周**

副主任委员：刘**

委员：侯**、石**、吴**、任**、胡**、王**、龚**、胡**、汪**、付**、杨**

办公室主任：刘**

秘书：姚**

（2）领导小组办公地点设在医学装备部，负责开展放射防护日常管理工作。

（3）领导小组的主要职责分工

领导小组工作职责：组织贯彻落实国家和地方政府有关辐射安全与环境保护工作的方针、政策；定期召开会议，听取辐射安全与环境保护工作情况汇报，讨论决定辐射安全与环境保护工作中的重大问题和采取的措施；组织开展射线装置安全检查活动，组织事故处理并通报，督促整改辐射事故隐患。

1) 主任委员职责

组织应对应急准备工作，调度人员、设备、物资等，指挥相关成员迅速赶赴现场开展工作；定期召开会议，听取辐射安全与环境保护工作情况汇报。

2) 副主任委员职责

定期组织对放射诊疗工作场所、设备和人员进行放射防护检测、监测和检查；组织放射诊疗工作人员接受专业技术、放射防护知识及有关规定的培训和健康检查；制定放射事件应急预案并组织演练；记录发生的放射事件并及时报告行政主管部门。

3) 委员职责

①依据国家相关法律法规，对放射、辐射防护管理制度提出修订意见，并负责对医学装备部拟定的放射防护相关管理制度进行论证审议；

②负责对本院发生的放射、辐射安全事故进行评估和应急处理；

③负责放射、辐射防护其它重大管理事项的评估、论证和咨询工作。

2、根据成都医学院第一附属医院机构调整相关文件要求，医院在以后工作中还需做到

①补充日常管理工作联系人和紧急情况下联络的生态环境主管部门联系电话。

②文件中应明确定期对医院各项辐射安全管理制度进行修订，并定期检查落实情况，发现异常及时进行调查和纠正。

③应在领导小组成员中增设核医学科相关人员，并明确开展相关应急演练和记录。

二、辐射工作人员配置和能力要求

①医院为本项目拟配备辐射工作人员31人，均为新增辐射工作人员。医院后期可根据设备数量，承担诊疗、科研任务，开展的项目和工作量等实际情况适当增加人员编制。

②射线装置、后装操作人员均需取得射线装置相关操作证书，熟悉专业技术；

③本项目新增辐射工作人员需参加生态环境部辐射培训平台中辐射安全与防护知识的学习，参加考核，考核通过后方能上岗。

④医院应定期委托有资质的单位对辐射工作人员个人剂量进行检测，且应建立辐射工作人员个人剂量档案管理。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定，辐射工作人员和辐射防护负责人均应通过辐射安全与防护的考核，登录国家核技术利用辐射安全与防护学习平台（网址：

<http://fushe.mee.gov.cn>）学习辐射安全与防护知识并通过考核；已取得辐射安全培训合格证的，合格证到期前，需进行再次考核，辐射安全与防护成绩报告单和考核成绩有效期为五年。

医院既有103名辐射工作人员均参加了辐射安全与防护培训并经考核合格。医院应及时安排未通过考核的辐射工作人员及时参加培训并通过考核。辐射工作人员培训情况统计见附件7。

三、射线装置报废

医院报废的射线装置在报废前必须做去功能化处理，如拆除电源或拆除高压零部件，确保装置无法再次通电使用，并上报到生态环境主管部门作备案登记。

四、非密封放射性物质工作场所退役

本项目涉及到的放射性药物制备区、影像诊断区、门诊治疗区、病房治疗区的非密封放射性物质工作场所退役需办理退役环评手续。

辐射安全档案资料管理和规章管理制度

一、档案管理分类

医院应将相关资料进行分类归档妥善放置，包括以下九大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“放射源和射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“辐射应急资料”和“废物处置记录”。

二、辐射安全管理规章制度

根据《核技术利用监督检查技术程序》（生态环境部（国家核安全局），2020发布版）、《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），医院辐射安全管理规章制度已落实、还需补充的内容见下表 12-1：

表 12-1 本项目辐射管理制度汇总对照分析表

序号	国家生态环境部要求		省生态环境厅要求		具体要求	对照分析
	项目	制度名称	制度名称			
1	A 综合	辐射安全与环境 保护管理机构和 岗位职责	辐射安全与环境保 护管理机构和岗位 职责		应建立辐射安全管理机构或配 备专（兼）职管理人员，落实了 部门和人员全面负责辐射安全 管理的具体工作	已制定，需将核医 学科相关负责人和 人员加入管理机 构，并明确核医学 人员职责
2		辐射工作场所安 全管理规定	辐射工作场所安全 管理规定		应悬挂于辐射工作场所。内容应 体现现场操作性和实用性，字体 醒目，尺寸应不小于 400×600mm	本次新增工作场所 应新增管理制度上 墙
3		放疗设备的安 全性能检查维护记 录	辐射安全防护设施 维护维修制度		应定期检查辐射安全防护设施 的有效性	已制定
4		辐射安全防护设 施维护维修制度				

5	B 场所	场所分区管理制度	场所分区管理制度	按要求划分控制区和监督区, 实行分区管理, 应有明确的标识	即有场所已划定, 需按要求划定新增场所的两区
6		设备操作规程	辐射工作设备操作规程	应悬挂于辐射工作场所。内容应体现现场操作性和实用性, 字体醒目, 尺寸应不小于 400×600mm	应补充本次新增设备和核医学科操作规程并上墙
7		核医学去污操作规程	/		
8	C 监测	场所及环境监测方案	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	每年委托有资质的单位进行 1 次场所年度监测; 平时应定期开展自我监测, 并做好记录; 取得《许可证》后 3 个月内完成验收监测。	应补充本项目相关场所的监测方案, 并按要求实施
9		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	需制定并落实监测仪表使用与校验管理制度	已制定
10		校验源管理制度	/	核医学影像诊断场所应制定 ²² Na 校准源管理制度	需补充
11	D 人员	辐射工作人员培训/再培训制度	辐射工作人员培训制度	辐射工作人员和辐射防护负责人均应登录国家核技术利用辐射安全与防护学习平台(网址: http://fushe.mee.gov.cn) 学习辐射安全与防护知识并通过考核; 已取得辐射安全培训合格证满五年需再培训并考核合格	已制定并落实
12		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	个人剂量监测周期为 1 次/季。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。	已制定并落实
13		工作人员岗位职责	辐射工作人员岗位职责	应悬挂于辐射工作场所。内容应体现现场操作性和实用性, 字体醒目, 尺寸应不小于 400×600mm	本次新增诊疗项目应补充制定工作人员岗位职责并上墙
14	E 应急	辐射事故/事件应急预案	辐射事故预防措施及应急处理预案	辐射事故应急预案的主要内容应包括: 应急组织结构, 应急职责分工, 辐射事故应急处置(最大可信事故场景, 应急报告, 应急措施和步骤, 应急联络电话), 应急保障措施, 应急演练计划。应悬挂于辐射工作场所。内容应	已制定并落实, 需根据新增诊疗项目更新补充应急预案内容, 并在新增工作场所墙上悬挂应急预案内容

				体现现场操作性和实用性, 字体醒目, 尺寸应不小于400×600mm	
15	F 三废	放射性“三废”管理规定	“三废”处理	放射性“三废”应分类收集。放射性废水应在衰变池内暂存满足要求后排放; 放射性固体废物贮存场所(设施)应具备“六防”(防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄露)措施, 贮存容器应有放射性标识和放射性核素名称、批号、物理形态、出厂活度及存放日期等相关信息。放射性废气应由专门的排气管道经活性炭过滤后排放。	需补充核医学科“三废”管理制度并落实
16	G 放射源	放射源台账管理	放射性同位素和射线装置台账管理制度	放射源台账和国家辐射安全管理系统档案是否一致; 放射性同位素的购买须在四川省人民政府政务服务中心环保窗口办理备案手续; 台账的内容应该包括: 放射性同位素名称、初始活度、放射源编码、购买时间、收贮时间; 射线装置型号、管电压、管电流、购买时间、报废时间等。	既有射线装置已建立动态管理台账, 本项目新增放射性同位素和射线装置应按要求建立动态台账, 做到帐物相符, 并及时更新。
17		更换放射源管理制度			
18		X 射线诊断中受检者防护规定	/	对核医学科诊断患者采取铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、铅橡胶颈套等防护	本次需新增核医学科诊断场所患者防护设施
19	H 其他	/	质量保证大纲和质量控制检测计划	使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位须制定质量保证大纲和质量控制检测计划, 利用更精确的诊疗计划减少病患受到不必要的照射	已制定, 需补充新增诊疗项目的质量保证大纲和质量控制检测计划

医院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

辐射监测是安全防护的一项必要措施, 通过辐射剂量监测得到的数据, 可以分析判断和估计电离辐射水平, 防止人员受到过量的照射。根据实际情况, 需建立辐射剂量监测制度, 包括工作场所监测和个人剂量监测。

1、工作场所监测

自主验收监测: 医院在取得《辐射安全许可证》后三个月内, 应委托有资质的单位

开展 1 次辐射工作场所验收监测，编制自主验收监测（调查）报告。

2023年度，医院已委托成都中环康源卫生技术服务有限公司分别对辐射工作场所进行了电离环境现状监测，监测报告编号为CDZH(环)-2023-F0276。根据监测报告，该公司对医院对在用2台DSA、1台直线加速器、18台III类射线装置进行了监测，监测数据能够满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)、《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)和《电离辐射防护与辐射源安全标准》(GB18871-2002)的相关要求，具体说明见附件8。

年度监测：委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年；年度监测报告应作为《放射性同位素与射线装置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。

日常自我监测：定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行监测），制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案，监测频次根据医院的实际工作量自行确定。

2、个人剂量监测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量计，监测周期为 1 次/季。

医院应按以下要求做好个人剂量档案的管理：

(1) 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；

(2) 个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度监测报告一起作为《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；

(3) 根据《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)，就本项目而言，辐射主要来自前方，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般左胸前；对于工作中穿戴铅衣的情况，通常应根据佩带在铅衣里面躯干上的剂量计估算工作人员有效剂量；

(4) 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终身保存。

2023年度医院委托了四川中环康源卫生技术服务有限公司对辐射工作人员每季度

个人剂量进行了检测，结果表明辐射工作人员年有效剂量最大为0.86mSv，小于5.0mSv/a剂量约束值，不存在季度个人有效剂量超1.25mSv的情况。具体统计数据见附件6。

3、医院自我监测

医院定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行自行监测），制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案，监测周期为1次/月。

4、监测内容和要求

(1) 监测内容：X-γ辐射剂量率、中子剂量率、α表面污染、β表面沾污、放射性废水中总α、放射性废水中总β。

(2) 监测布点及数据管理：本项目监测布点应参考环评提出的监测计划（表12-3）或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立监测数据台账。

表 12-2 本项目监测布点方案表

场所或设备	监测内容	监测周期	监测布点位置
核医学科	X-γ空气吸收剂量率	验收监测1次，委托有资质的单位监测，频率为1次/年；放射性固体废物暂存期满按照医疗废物处理前进行监测；自行开展辐射监测	回旋加速器机房墙体外30cm处、热室、全检质控室、阳性对照间、储源室、药物分装准备室、PET注射室、SPECT-CT注射室、抢救室、SPECT-CT注射后等候室、PET注射后等候室、留观室、放射性废物暂存间（放射性废物暂存间）、SPECT-CT控制室操作位、PET-CT控制室操作位、患者专用卫生间、患者电梯、核医学科正上方、正下方等。
	β表面放射性污染		回旋加速器机房墙体外30cm处、热室、全检质控室、阳性对照间、净化走廊、药梯、储源室、药物分装准备室、PET注射室、SPECT-CT注射室、抢救室、SPECT-CT注射后等候室、PET注射后等候室、留观室、放射性废物暂存间（放射性废物暂存间）、SPECT-CT检查室、PET-CT检查室、患者专用卫生间、患者电梯、医护通道、患者通道、病房的墙壁、地面、防护门、辐射工作人员工作服、手套、工作鞋、手、皮肤等。
	放射性废水中总β	验收监测1次、长半衰期放射性废水排放前监测1次	衰变池排放口

(3) 监测范围：控制区和监督区域及周围环境

(4) 监测质量保证

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

b、采用国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构

出具的监测报告中的方法；

c、制定辐射环境监测管理制度。

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

5、年度评估报告情况

医院于 2024 年 1 月向四川省生态环境厅提交了 2023 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》，并在全国核技术利用辐射安全申报系统中实施了申报登记。内容包含近一年（四个季度）个人剂量检测报告、辐射工作场所年度监测报告和辐射工作人员培训情况。编写格式满足《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）的规定。医院必须延续、变更许可证，新增或注销射线装置以及单位信息变更、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

1、事故应急预案内容

为了应对放射诊疗中的事故和突发事件，医院应制订辐射事故应急预案，应包含以下内容：

（1）应急机构和职责分工，应急和救助的装备、资金、物资准备，辐射事故应急处理程序，辐射事故分级与应急响应措施，辐射事故调查、报告和处理程序，辐射事故的调查、预案管理；

（2）应急组织体系和职责、应急处理程序、上报电话；

（3）应急人员的培训；

（4）环境风险因子、潜在危害、事故等级等内容；

（5）辐射事故调查、报告和处理程序中相关负责人员及联系电话；

（6）发生辐射事故时，应当立即启动应急预案，采取应急措施，并按规定向所在地县级地方人民政府及其生态环境、公安、卫生等部门报告。

2、应急措施

若本项目发生了辐射事故，医院应迅速、有效采取以下应急措施：

（1）一旦发现放射性药物、放射源被盗或者丢失，及时向公安部门、生态环境主管部门和卫生主管部门报告。

(2) 放射源/放射性药物操作或者贮存过程中发生火灾、爆炸等可能影响放射源/放射性药物的安全，在现场允许情况下，应优先对放射源/放射性药物进行灭火并抢离火灾现场。

(3) 发现误照射事故时，工作人员应立即切断电源，将患者撤出机房，关闭机房门，同时向医院主管领导报告。

(4) 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。

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

(6) 最后查清事故原因，分清责任，消除事故隐患。

3、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) 医院应结合本次新增直线加速器、后装机放疗、核医学制药、诊断和治疗项目，及时补充应急预案内容并演练。

(3) 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

一、项目概况

项目名称：新院区新建核医学科和介入手术室项目

建设单位：成都医学院第一附属医院

建设性质：新建

建设地点：成都市新都区鸿运大道与兴乐北路交叉口东南侧

本项目建设内容与规模为：医院拟在核医学科楼负一层中部新建放射性药物制备区、一层新建影像诊断区和门诊治疗区、二层新建病房治疗区，在门急诊医技综合楼一层影像科新建介入手术室。医院拟在核医学科放射性药物制备区使用 20MeV 的回旋加速器（属于 II 类射线装置）1 台，用于生产 PET 诊断药物 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr ，淋洗 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 发生器制备 ^{68}Ga 、淋洗 $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器制备 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、淋洗 $^{188}\text{W}/^{188}\text{Re}$ 发生器制备 ^{188}Re ，并在质控区进行质控，日等效最大操作量为 $2.27 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所；拟在核医学科影像诊断区内 PET-CT（属于 III 类射线装置）和 PET-MR 各 1 台，用于放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 肿瘤显像，属于乙级非密封放射性物质工作场所，使用 7 枚 ^{22}Na 校准源（ $1.48 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$ 枚 + $3.7 \times 10^5 \text{Bq} \times 6$ 枚），使用 2 台 SPECT-CT（属于 III 类射线装置）用于 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 肿瘤显像，日等效最大操作量为 $8.14 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所；拟在核医学科门诊治疗区内使用放射性核素 ^{131}I 用于甲亢治疗、甲功能检测，使用 1 枚 $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ 放射源 1 枚（ $7.40 \times 10^8 \times 1$ 枚），用于敷贴治疗，使用放射性核素 ^{89}Sr 用于骨转移瘤治疗，日等效最大操作量为 $1.20 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所；拟在核医学科病房治疗区内使用放射性核素 ^{31}I 、 ^{177}Lu 、 ^{225}Ac 、 ^{111}In 、 ^{188}Re 、 ^{161}Tb 、 ^{223}Ra 用于肿瘤治疗，日等效最大操作量为 $3.96 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。并在介入手术室内使用 1 台 DSA（属于 II 类射线装置）。

二、本项目产业政策符合性分析

本项目系核技术应用于医学领域，据中华人民共和国国家发展和改革委员会制定的《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（国家发展改革委令 第 7 号公

布，2024年2月1日起施行），本项目应用属于鼓励类“六、核能”中第4条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”项目，是国家鼓励的应用项目，符合国家产业发展政策。

三、本项目选址合理性分析

成都医学院第一附属医院在建核医学科楼已取得成都市生态环境局签发的环评批复（成环审（评）[2024]13号），选址合理性已在环评报告中进行了论述，且取得了由成都市新都区规划和自然资源局核发的《建设用地规划许可证》（地字第510114202121399号），本项目核医学科楼和介入手术室均位于医院规划建设建筑内，不新增用地。项目建成后50m评价范围内人员活动较少，满足“HJ1188-2021”的选址要求。综上，本项目选址是合理的。

四、所在地区环境质量现状

根据四川瑞迪森检测技术有限公司的监测报告，项目所在地的 γ 辐射空气吸收剂量率背景值属于正常天然本底辐射水平，拟建核医学科场所周围环境 β 表面污染检测结果均低于检测限值。

五、环境影响评价分析结论

（一）施工期环境影响分析

本项目土建工程已在《成都医学院第一附属医院新院区建设项目环境影响报告表》中进行评价分析，建设单位在落实报告表提出的各项污染防治措施后，对周围环境影响较小。

（二）营运期环境影响分析

本项目投入运营后，核医学科所致辐射工作人员年最大有效剂量为4.07mSv/a；公众年最大有效剂量为 6.70×10^{-2} mSv/a，满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)中规定的职业照射个人年有效剂量5mSv和公众人员个人年有效剂量0.1mSv的剂量约束值，也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的职业人员20mSv/a和公众1mSv/a的剂量限值的规定；影像科介入手术室所致辐射工作人员年最大有效剂量为3.93mSv/a；公众年最大有效剂量为 1.44×10^{-2} mSv/a，本项目确定的职业照射个人年有效剂量5mSv和公众人员个人年有效剂量0.1mSv的剂量约束值，也满足《电离辐射防护与辐

射源安全基本标准》(GB18871-2002)中规定的职业人员 20mSv/a 和公众 1mSv/a 的剂量限值的规定。

2、大气的环境影响分析

(1) 核医学科对大气的影响分析

本项目核医学科产生的废气主要为含放射性药物废气,医院拟在合成分装热室、手套箱、生物安全柜等密闭设备设置专用排气管道,在设备顶壁安装活性炭过滤装置,再经管道引至楼顶后经高效过滤装置过滤后在核医学科楼楼顶排放,核医学科各场所内拟设专用排风管道引至北侧排风井,通过排风井引至楼顶经高效过滤装置处理后排放,对周围环境影响较小。

(2) 介入手术室对大气的影响分析

本项目介入手术室产生的废气主要为臭氧,医院拟设置排气管道引出后,在楼顶排放,对周围环境影响较小。

3、声环境影响分析

本项目噪声源主要为风机、空调噪声,所有设备选用低噪声设备,均处于室内,通过建筑墙体隔声及距离衰减后,运行期间厂界噪声可达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)2类标准要求。

4、水环境影响分析

本项目投入运营后,废水主要为放射性废水和医院工作人员、患者产生的生活污水及医疗废水。本项目产生的放射性废水通过铅皮包裹的管道排入衰变池中衰变,经监测满足要求后排入医院污水处理站处理,最终进入新都工业东区污水处理厂处理。

5、固体废物影响分析

本项目产生的医疗废物,按照危废管理相关要求,进行分类收集;核医学科产生的放射性废物分类暂存于放射性废物暂存间,放射性固体废物暂存时间超过《核医学辐射防护与安全要求》要求期限,经监测辐射剂量率处于环境本底水平, β 表面污染小于 0.8 Bq/cm^2 后,与医院其他医疗废物统一交由有资质的单位处理;本项目工作人员和患者会产生少量的办公垃圾和生活垃圾,经统一收集后交由环卫部门定期清运。

六、环保设施与保护目标

按照环评报告落实后，医院环保设施配置较全，总体效能良好，可使保护目标所受年剂量低于本次确定的剂量约束值。

七、事故风险与防范

医院制订的辐射事故应急预案和安全规章制度内容较全面、措施可行，应认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

八、辐射安全管理的综合能力

医院按照环评要求完善相关内容后，对本项目辐射设备和场所而言，其具备辐射安全管理的综合能力。

九、项目环保可行性结论

在坚持“三同时”的原则，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，从环境保护和辐射防护角度看，本项目在成都市新都区宝光大道中段278号成都医学院第一附属医院新院区新建核医学科和介入手术室项目在新院区内建设是可行的。

十、项目环保竣工验收检查内容

表 13-1 项目环保竣工验收辐射安全防护设施检查一览表

辐射安全防护设施		数量（套/个）
放射性药物制备区		
实体防护	四周墙体+屋顶屏蔽+传递窗	若干
	铅防护门	若干
场所设施	药物合成分装柜	1台
	手套箱	1个
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料	1套
	地下沟管	1套
	铅盖板（60mmPb）	若干
	药物转运铅罐	4个
	不锈钢转运推车	2个
	全检质控室通风厨	1个
	视频监控对讲装置	1套
	放射性废物暂存间	1间
警示装置	电离辐射警示标识	2套
监测设备	便携式 X-γ辐射监测仪	1台
	多探头固定式剂量率仪	2套
	放射性活度计	2台

	表面污染监测仪	2 台
	便携式中子剂量监测仪	1 台
个人防护用品	个人剂量报警仪	5 台
	个人剂量计	5 套
	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	3 套
放射性废物和废液	放射性废水衰变池	1 座
	独立下水系统及排水管道屏蔽防护	1 套
	10mmPb铅废物桶	3 个
	20mmPb铅废物箱	3 个
其他	放射性表面去污用品和试剂	若干
	合成柜、分装柜等密闭设备独立排风系统（铅皮包裹）	1 套
	回旋加速器机房通风系统、排风系统（铅皮包裹）	1 套
	其他区域通排风系统	7 套
	过滤装置	8 套
	高压细水雾灭火系统	1 套
影像诊断区		
实体防护	防护墙体、铅防护门、防盗铅门、注射铅窗、传递窗、观察窗	若干
场所设施	储源铅柜	1 个
	手套箱	2 个
	注射器防护提盒	2 个
	注射器防护套	若干
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料	1 套
	铅废物桶	2 个
	铅防护屏风	9 扇
	去污工具组	2 套
	不锈钢转运推车	2 台
	对讲装置	4 套
警示标识	电离辐射警示标识	1 套
	监督区、控制区标识	若干
	患者就诊路径标识	若干
安全设施	医护人员通道、患者通道门禁系统	2 套
	视频监控、语音广播系统	1 套
监测设备	储源室固定式剂量报警仪	1 台
	放射性活度计	2 台
	表面污染监测仪	3 套
	便携式X-γ辐射监测仪	1 套
个人防护用品	个人剂量报警仪	9 台
	个人剂量计	18 套
	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜（0.5mmPb）	9 套
放射性废物和废液	放射性废水衰变池	1 座
	放射性固体废物暂存间1、放射性废物暂存间2	1 间

	5mmPb铅废物箱	4个
	10mmPn铅废物箱	5个
	独立下水系统及排水管道屏蔽防护	1套
其他	放射性表面去污用品和试剂	若干
	密闭操作设施独立排风系统	2套
	场所区域内通排风系统	2套
	过滤装置	4套
	灭火器材	2套
核医学科门诊治疗区		
实体防护	防护墙体、防护门、防护窗、防盗铅门	若干
场所设施	储源铅柜	1个
	手套箱	1个
	铅屏风	1扇
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料	2套
警示标识	电离辐射警示标识	若干
	监督区、控制区标识	若干
	患者治疗路径标识	若干
安全设施	医生通道、患者通道门禁系统	2套
	视频监控	1套
	语音广播系统	1套
	注射器防护套	若干
	注射器防护提盒	1个
	铅防护罐	若干
监测设备	储源室固定式剂量报警仪	1台
	放射性活度计	1台
	表面污染监测仪	1套
	便携式X-γ辐射监测仪	1套
个人防护用品	个人剂量报警仪	3台
	个人剂量计	7套
	有机玻璃面罩、铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜（0.5mmPb）	2套
放射性废物和废液	放射性废水衰变池	1座
	放射性固体废物暂存间	1间
	铅废物桶	3个
	铅废物箱	3个
	独立下水系统及排水管道屏蔽设施	2套
其他	放射性表面去污用品和试剂	若干
	密闭操作设施独立排风系统	1套
	场所区域内通排风系统	1套
	过滤装置	2套
	去污工具组	2套
	灭火器材	1套

核医学科病房治疗区		
实体防护	防护墙体、防护门、防护窗、传递窗等	若干
场所设施	储源铅柜	1 个
	手套箱	1 个
	储源室防盗铅门	2 扇
	铅屏风	10 扇
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料	2 套
警示标识	电离辐射警示标识	若干
	监督区、控制区标识	若干
	患者治疗路径标识	若干
安全设施	医生通道、患者通道门禁系统	2 套
	视频监控、对讲系统	2 套
	语音广播系统	1 套
	注射器防护套	若干
	注射器防护提盒	1 个
	铅防护罐	若干
	一体化注射装置	1 套
监测设备	多探头固定式剂量报警仪	1 台
	放射性活度计	1 台
	表面污染监测仪	2 套
	便携式X-γ辐射监测仪	1 套
个人防护用品	个人剂量报警仪	8 台
	个人剂量计	8 套
	有机玻璃面罩、铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜（0.5mmPb）	6 套
放射性废物和废液	放射性废水衰变池	1 座
	放射性固体废物暂存间	2 间
	铅废物桶	13 个
	铅废物箱	9 个
	独立下水系统及排水管道屏蔽防护	2 套
其他	放射性表面去污用品和试剂	若干
	手套、通风橱箱独立排风系统	2 套
	储源室、分装配药室、放射性废物暂存间 1 等区域通排风系统	1 套
	病房、放射性废物暂存间 2 等区域通排风系统	1 套
	医生办公及其他区域排风系统	1 套
	过滤装置	5 套
	去污工具组	2 套
	灭火器材	2 套
介入手术室		
辐射屏蔽措施	四周墙体+屋顶屏蔽	/

安全装置	工作状态指示灯箱	1套
	电离辐射警告标志	3个
	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘	1副
	床侧防护帘/床侧防护屏	1副
	门灯联锁装置	1套
	紧急止动装置	1套
	对讲装置	1台
监测仪器和个人防护用品	个人剂量计	10套
	个人剂量报警仪	3台
	便携式辐射剂量监测仪	1台
	配备铅防护衣铅橡胶帽子、铅橡胶颈套、铅橡胶围裙、铅防护眼镜、介入防护手套	4套
其他	通排风系统	各1套
	灭火器材	1套
III类射线装置 (SPECT-CT、PET-CT、PET-MR)		
实体防护	四周墙体+屋顶屏蔽	4套
	铅防护门、观察窗	4套
警示装置	工作状态指示灯	4个
	电离辐射警告标志	4个
紧急设施	门灯、门机联锁装置	4套
	紧急止动装置	4套
	紧急开门按钮	4套
	视频监控和对讲	4套
监测设备	个人剂量计	8套
防护设施	铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾等	8套
	通风系统	1套
	排风系统	1套

建议和要求

- 1、建设单位应加强与周边公众的沟通，做好解释协调工作。
- 2、落实本报告表中的各项辐射防护措施和安全管理制度的。
- 3、定期组织辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的学习与考核，成绩合格单到期，应再次考核。
- 4、年度评估报告须按照《四川省核技术利用单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》固定的格式进行编制；年度评估报告应签章后上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。
- 5、定期检查辐射工作场所的电离辐射标志和电离辐射警告标志，工作状态

指示灯，若出现松动、脱落或损坏，应及时修复或更换。

6、医院须重视控制区和监督区的管理。

7、射线装置在报废处置时，应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化。

8、医院在更换辐射安全许可证之前，需登录全国核技术利用辐射安全申报系统，对相关信息进行修改。

9、若日后核医学科非密封放射性物质工作场所不再使用，须办理退役手续后，方可再行他用。

10、回旋加速器退役时，应对加速器部件测定辐射水平，高于豁免值的部件应作为放射性固体废物进行处理。

11、根据原环保部《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）规定：

（1）建设单位可登陆生态环境部网站查询建设项目竣工环境保护验收相关技术规范（<http://www.mee.gov.cn>）。

（2）项目竣工后，建设单位应当如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收（调查）报告。

（3）本项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，方可投入使用，未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

（4）除按照国家需要保密的情形外，建设单位应当通过其网站或其他便于公众知晓的方式，向社会公开下列信息：

①本项目配套建设的环境保护设施竣工后，公开竣工日期；

②对项目配套建设的环境保护设施进行调试前，公开调试的起止日期；

③验收报告编制完成后5个工作日内，公开验收报告，公示的期限不得少于20个工作日。

建设单位公开上述信息的同时，应当在建设项目环境影响评价信息平台（<https://cepc.lem.org.cn>）中备案，且向项目所在地生态环境主管部门报送相关信息，并接受监督检查。