编号：BG-ZFFB25220065

核技术利用建设项目

新北区人民医院项目（一期）
配套核技术利用建设项目
环境影响报告表

（公示稿）

常州国家高新技术产业开发区（新北区）卫生健康局

2026 年 5 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

新北区人民医院项目（一期）
配套核技术利用建设项目
环境影响报告表

建设单位名称：常州国家高新技术产业开发区（新北区）卫生健康局

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：江苏省常州市新北区崇信路 8 号

邮政编码：213002　　联系人：**

电子邮箱：******@qq.com　　联系电话：**********

目　录

表 1 项目基本情况 1
表 2 放射源 17
表 3 非密封放射性物质 17
表 4 射线装置 19
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） 22
表 6 评价依据 25
表 7 保护目标与评价标准 29
表 8 环境质量和辐射现状 47
表 9 项目工程分析与源项 55
表 10 辐射安全与防护 119
表 11 环境影响分析 165
表 12 辐射安全管理 257
表 13 结论与建议 265
表 14 审批 271

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="7">新北区人民医院项目（一期）配套核技术利用建设项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="7">常州国家高新技术产业开发区（新北区）卫生健康局</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>***</td><td>联系人</td><td>***</td><td>联系电话</td><td colspan="2">**********</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="7">江苏省常州市新北区崇信路 8 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="7">江苏省常州市新北区新桥街道，长江路以西、乐山路以东、嫩江路以北、新科中路以南地块</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">/</td><td>批准文号</td><td colspan="3">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>20000</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>1223</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td colspan="2">6.12%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">☑新建 □改建 □迁扩建 □其它</td><td>占地面积(m^2)</td><td colspan="2">/</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td colspan="5">□Ⅰ类 □Ⅱ类 □Ⅲ类 □Ⅳ类 □Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">□Ⅰ类（医疗使用） □Ⅱ类 ☑Ⅲ类 □Ⅳ类 ☑Ⅴ类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>□生产</td><td colspan="5">□制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">/</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">☑乙 □丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td colspan="5">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td colspan="5">□Ⅱ类 □Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">☑Ⅱ类 ☑Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="6">/</td></tr>
</table>

1.1 项目背景及建设单位概况

当前常州市及新北区卫生健康事业发展还存在亟须提升的方面，包括健康优质资源总量不足、布局不均衡，卫生健康服务体系整合、协同不够，多元化健康服务体系有待培育；区域性医疗中心能级有待提升，高水平临床研究能力不足，医学科技创新策源力亟待提升；基层服务品质和能效仍需加强等。经常州国家高新技术产业开发区（新北区）行政审批局批复同意，由常州国家高新技术产业开发区（新北区）卫生健康局进行新北区人民医院项目（工程统一项目代码为：2309-320411-04-01-859252）的建设，选址位于江苏省常州市新北区新桥街道，长江路以西、乐山路以东、嫩江路以北、新科中路以南地块。新北区人民医院项目（一期）主要建设内容包含综合楼 A 楼（门诊 A1 区、医技 A2 区、教学科研 A3 区）和住院楼 B 楼、C 楼，设整体连通的地

下两层，综合楼 A 楼地上设四层，住院楼 B 楼、C 楼地上设十三层。新增总建筑面积约 36 万平方米，项目分期建设，其中一期涉及用地 150.24 亩。

《新北区人民医院项目（一期）环境影响报告书》已于 2024 年 12 月 18 日取得常州高新区（新北区）政务服务管理办公室批复，批复文号为：常新政务环书〔2024〕6 号（见附件 4），目前医院主体工程正在建设中。

新北区人民医院具体注册医疗机构的名称尚未注册成立，不具备独立法人资格，因此，本项目以医院前期建设的负责单位——常州国家高新技术产业开发区（新北区）卫生健康局作为本次核技术利用项目的建设单位。在医院建成后，再由具体的运营、管理单位以医院实际名称进行辐射安全许可证的申领。常州国家高新技术产业开发区（新北区）卫生健康局统一社会信用代码证书见附件 2。



图 1-1　医院建筑效果图

1.2 建设内容和规模

本次环评为新北区人民医院项目（一期）配套核技术利用项目辐射环境影响评价，针对涉及核医学科、放疗科、动物核医学实验中心、介入手术项目、内镜中心、放射诊断相关的核技术利用项目进行评价。上述核技术利用项目中核医学科、放疗科均设在住院楼 C 楼地下一层，小动物核医学实验中心设在综合楼 A 楼教学科研（A3 区）地上四层动物实验室内北侧，介入手术项目分别设在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上三层和四层，内镜中心设在综合楼 A 楼门诊（A1 区）地上四层，放射诊断项目设在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科。

1.2.1 核医学科

在住院楼 C 楼地下一层建设核医学科，核医学辐射工作场所相对独立，其中核医学科范围内北侧设置核素门诊显像诊断区域，南侧设置核素治疗区域。在住院楼 C 楼地下二层建设两套衰变池组，其中 A 衰变池组用于核医学科北侧区域产生的放射性废液，B 衰变池组用于核医学科南侧区域产生的放射性废液。核医学科北侧区域主要建设 1 间 SPECT/CT 机房、1 间 PET/CT 机房、1 间 PET/MR 机房及准备间、1 间 SPECT 专用分装注射室、1 间 PET 专用分装注射室、1 间储源室、1 间废物间、1 间肺通气室（兼抢救室、运动平板室）、1 间 SPECT 注射后候诊室、2 间 PET 注射后候诊室、1 间 VIP 注射后候诊室、1 间 SPECT 留观室、1 间 PET 留观室、1 间污物暂存间等功能用房及控制廊、卫生通过间、设备间、工具间等附属用房，核医学科南侧区域主要建设 1 间分装注射室、1 间服碘室、1 间废物间、4 间核素治疗病房、1 间患者取餐间、1 间抢救室、2 间甲亢留观室、2 间敷贴室、1 间敷贴储源室、1 间测定室、1 间污物暂存间等功能用房及诊室、值班室、卫生通过间、送餐间、洁净被服间等附属用房。核医学科北侧和南侧区域中间为医护走廊，为共用区域。

拟新购 1 台 PET/CT（属III类射线装置）和 1 台 PET/MR，在核医学科北侧（核素门诊显像诊断区域）使用 ^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr 核素用于显像诊断，其中 ^{68}Ga 由医院购买锗镓发生器淋洗标记；新购 1 台 SPECT/CT（属III类射线装置），在核医学科北侧（核素门诊显像诊断区域）使用 ^{99m}Tc、^{123}I 核素用于显像诊断；在核医学科南侧（核素治疗区域）使用 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 核素用于骨转移治疗，使用 ^{225}Ac 核素用于前列腺癌治疗，使用 ^{227}Th 核素用于肿瘤靶向α治疗，使用 ^{131}I 核素用于甲状腺摄碘率测定、甲亢治疗及甲癌治疗，使用 ^{177}Lu 核素用于前列腺癌治疗，使用 2 枚 ^{90}Sr-^{90}Y 敷贴源（单枚敷贴源最大活度分别为 1.85E+09Bq，属V类放射源）用于敷贴治疗。另外 PET/CT 和 PET/MR 拟配备 3 枚 ^{68}Ge 校准源（单枚 ^{68}Ge 校准源最大活度分别为 1.11E+08Bq、5.55E+07Bq，属V类放射源），用于设备校准。

根据后文计算可知，本项目核医学科非密封放射性物质日等效最大操作量为 3.72E+09Bq（具体核算情况见表 10.1.1.3-1），为乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目核医学科核素、放射源和射线装置使用情况见表 1.2-1~表 1.2-3。

表 1.2-1　本项目核医学科核素情况

使用核素	物理状态	日最大诊疗量（人次）	年最大诊疗量（人次）	患者单次最大使用量	给药方式	用途
^{18}F	液体	30	7500	3.70E+08Bq（10mCi）	静脉注射	PET 显像诊断

^{64}Cu	液体	1	250	3.70E+08Bq（10mCi）	静脉注射	PET 显像诊断
^{68}Ga	液体	3	750	3.70E+08Bq（10mCi）	静脉注射	PET 显像诊断
^{68}Ge（^{68}Ga）	固体	/	/	/	/	^{68}Ge 淋洗标记
^{89}Zr	液体	1	250	3.70E+08Bq（10mCi）	静脉注射	PET 显像诊断
^{99m}Tc	液体	28	7000	9.25E+08Bq（25mCi）	静脉注射	SPECT 显像诊断（静脉注射）
	气态	2	500		肺通气	SPECT 显像诊断（肺通气）
^{123}I	液体	1	250	3.70E+08Bq（10mCi）	静脉注射	SPECT 显像诊断（静脉注射）
^{89}Sr	液体	1	250	1.48E+08Bq（4mCi）	静脉注射	骨转移治疗
^{223}Ra	液体	1	250	3.70E+06Bq（0.1mCi）	静脉注射	骨转移治疗
^{225}Ac	液体	1	250	1.11E+07Bq（0.3mCi）	静脉注射	前列腺癌治疗
^{227}Th	液体	1	250	1.11E+07Bq（0.3mCi）	静脉注射	肿瘤靶向α治疗
^{131}I	液体	2	100	7.40E+09Bq（200mCi）	口服	甲癌治疗
		5	1250	3.70E+08Bq（10mCi）	口服	甲亢治疗
		5	1250	3.70E+05Bq（0.1mCi）	口服	甲状腺摄碘率测定
^{177}Lu	液体	2	100	7.40E+09Bq（200mCi）	静脉注射	前列腺癌治疗

注：①锗镓发生器一年购买1个，单次购买的规格为1.85E+09（50mCi），则^{68}Ge的日最大操作量和年最大操作量均为1.85E+09Bq。

②锗镓发生器每天淋洗1次，锗镓发生器淋洗效率取70%，则^{68}Ga的日最大操作量为1.85E+09*0.7=1.295E+09Bq（35mCi），其中1.11E+09Bq（30mCi）用于核医学科，1.85E+08（5mCi）用于动物核医学实验中心，能够满足本项目需求。

③^{131}I甲癌治疗患者和^{177}Lu治疗患者每周均开展1批，每批均最多安排2人进行住院治疗，其中^{131}I甲癌治疗患者住院2~5天，^{177}Lu治疗患者住院2天。

表 1.2-2　本项目核医学科放射源情况

放射源名称	类别	活动种类	单枚源活度	数量	用途
^{90}Sr-^{90}Y	V 类	使用	1.85E+09Bq	2	敷贴治疗
^{68}Ge	V类	使用	1.11E+08Bq	1	PET 设备校准
^{68}Ge	V类	使用	5.55E+07Bq	2	

表 1.2-3　本项目核医学科射线装置情况

装置名称	数量	型号	最大管电压、管电流	射线装置类别	工作场所	用途
PET/CT	1 台	待定	140kV、800mA	III类	PET/CT 机房	显像诊断
SPECT/CT	1 台	待定	140kV、800mA	III类	SPECT/CT 机房	显像诊断

1.2.2 小动物核医学实验中心

在综合楼 A 楼教学科研（A3 区）地上四层动物实验室内北侧建设小动物核医学实验中心，主要建设 1 间小动物成像室、1 间储源室、1 间分装注射室、1 间短期观察室、1 间操作室、1 间污物暂存间、1 间洗消室、1 间洁存间等功能用房及控制室、洁具间、洗消与传递间、卫生通过间（包括一更间、二更间、退缓检测间、应急淋浴间）、缓冲间等附属用房。在综合楼 A 楼教学科研（A3 区）地下一层建设一套衰变池组，专门用于小动物核医学实验中心产生的放射性废液。

拟新购 1 台小动物 PET/SPECT/CT 三模态成像系统（属III类射线装置），使用 ^{18}F、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{123}I、^{177}Lu 核素用于小动物显像扫描、分布实验，每天最多使用 2 种核素，每种核素每天最多使用 10 只小动物（主要为大鼠和小鼠），年最多工作 80 天，最多使用 1600 只小动物。PET/SPECT/CT 拟使用 CT 进行校准，不使用密封校准源。

根据后文计算可知，本项目小动物核医学实验中心非密封放射性物质日等效最大操作量为 2.59E+07Bq（具体核算情况见表 10.1.1.3-1），为乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目小动物核医学实验中心核素和射线装置使用情况见表 1.2-4~表 1.2-5。

表 1.2-4　本项目小动物核医学实验中心核素情况

使用核素	物理状态	小动物每日实验数量（只）	小动物每年实验数量（只）	日最大操作量（Bq）	给药方式	用途
^{18}F	液体	10	1600	3.70E+08	静脉注射	小动物显像扫描、分布实验
^{68}Ga	液体	10		1.85E+08	静脉注射	
^{99m}Tc	液体	10		7.40E+08	静脉注射	
^{123}I	液体	10		1.85E+08	静脉注射	
^{177}Lu	液体	10		1.11E+08	静脉注射	

表 1.2-5　本项目小动物核医学实验中心射线装置情况

装置名称	数量	型号	最大管电压、管电流	射线装置类别	工作场所	用途
PET/SPECT/CT	1 台	待定	80kV、0.7mA	III类	小动物成像室	小动物显像扫描

1.2.3 放疗科

在住院楼 C 楼地下一层东北侧建设放疗科，整体位于核医学科东侧。放疗科建设 1 间 TOMO 机房，并在机房中安装 1 台螺旋断层放射治疗系统（以下简称“TOMO”，

属II类射线装置）用于放射治疗；建设 4 间加速器机房，并在每间机房分别安装 1 台医用电子直线加速器（以下简称“直线加速器”，属II类射线装置）用于放射治疗；建设 1 间射波刀机房，并在机房中安装 1 台 X 射线立体定向放射外科治疗系统（以下简称“射波刀”，属II类射线装置）用于放射治疗；建设 1 间磁共振加速器机房，并在机房中安装 1 台磁共振直线加速器（以下简称“磁共振加速器”，属II类射线装置）用于放射治疗；建设 1 间后装机房，并在机房内安装 1 台后装机进行近距离放射治疗，拟使用 1 枚出厂活度为 5.55E+11Bq 的 ^{192}Ir 放射源，为III类放射源；建设 1 间 CT 模拟定位机房，并在机房中安装 1 台 CT 模拟定位机（属III类射线装置）用于肿瘤定位。

本项目放疗科放射源和射线装置使用情况见表 1.2-6~表 1.2-7。

表 1.2-6　本项目放疗科放射源情况

放射源名称	类别	活动种类	单枚源活度（Bq）	数量	用途	工作场所名称
^{192}Ir	III类	使用	5.55E+11	1	放射治疗	住院楼 C 楼地下一层放疗科后装机房

表 1.2-7　本项目放疗科射线装置情况

装置名称	类别	数量	参数			用途	工作场所名称
			射线种类	最大射线能量	最大剂量率		
TOMO	II类	1 台	治疗束 X 射线	6MV	等中心最大剂量率 10.6Gy/min	放射治疗 放疗治疗	住院楼 C 楼地下一层放疗科 TOMO 机房
			CT 扫描束 X 射线	最大管电压 140kV，最大管电流 200mA			
直线加速器	II类	4 台	X 射线	10MV	等中心最大剂量率 6Gy/min	放射治疗	住院楼 C 楼地下一层放疗科 1~4 号加速器机房
					等中心最大剂量率 22Gy/min（FFF 模式）		
				6MV	等中心最大剂量率 6Gy/min		
					等中心最大剂量率 14Gy/min（FFF 模式）		
			电子线	4、6、8、10、12、15MeV	等中心最大剂量率 6Gy/min		
射波刀	II类	1 台	X 射线	6MV	等中心最大剂量率 10Gy/min	放射治疗	住院楼 C 楼地下一层放疗科射波刀机房
				定位系统自带 2 台 X 射线装置，最大管电压 150kV，最大管电流 640mA			

磁共振加速器	II类	1 台	X 射线	7.2MV	等中心最大剂量率 7Gy/min	放射治疗	住院楼 C 楼地下一层放疗科磁共振加速器机房
CT 模拟定位机	III类	1 台	最大管电压：140kV 最大管电流：1000mA			肿瘤定位	住院楼 C 楼地下一层放疗科 CT 模拟定位机房

1.2.4 介入手术项目

本项目拟在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上三层建设 4 间 DSA 机房（分别为 DSA 机房 1~4），机房内分别安装使用 1 台 DSA（属II类射线装置），用于影像诊断和介入治疗。

另外，拟在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上四层建设 1 间 DSA 复合手术室，机房内安装使用 1 台 DSA。DSA 复合手术室西侧的 CT 存放间拟放置 1 台滑轨 CT（属III类射线装置），用于影像诊断。在 DSA 介入手术过程中需要 CT 曝光时，可将滑轨 CT 移动至 DSA 复合手术室，技师在 DSA 控制室内操作 CT 进行隔室曝光。滑轨 CT 在 DSA 复合手术室使用时，通过兼容的操作系统能够实现功能互锁，确保 DSA 与 CT 不会同时运行出束。

该滑轨 CT 除了用于 DSA 复合手术室，还用于 CT 存放间西侧的 CT 复合手术室。若手术过程中需要 CT 曝光时，可将滑轨 CT 移动至 CT 复合手术室，技师在 CT 复合手术室控制室内操作 CT 进行隔室曝光。

本项目介入手术项目射线装置使用情况见表 1.2-8。

表 1.2-8　介入手术项目射线装置情况

设备名称	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	类别	用途	机房名称
DSA	150	1250	II类	影像诊断和介入治疗	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上三层 DSA 机房 1
	150	1250	II类	影像诊断和介入治疗	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上三层 DSA 机房 2
	150	1250	II类	影像诊断和介入治疗	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上三层 DSA 机房 3
	150	1250	II类	影像诊断和介入治疗	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上三层 DSA 机房 4
	150	1250	II类	影像诊断和介入治疗	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上四层 DSA 复合手术室
滑轨 CT	140	800	III类	影像诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上四层 DSA 复合手术室或 CT 复合手术室

1.2.5 内镜中心

本项目拟在综合楼 A 楼门诊（A1 区）地上四层内镜中心建设 1 间 ERCP 机房，

机房内安装使用 1 台 ERCP，用于影像诊断和介入治疗。本项目 ERCP 具备数字减影血管造影功能，属于血管造影用 X 射线装置的分类范围，为 II 类射线装置。

本项目内镜中心射线装置使用情况见表 1.2-9。

表 1.2-9　内镜中心射线装置情况

设备名称	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	类别	用途	机房名称
ERCP	125	250	II类	影像诊断和介入治疗	综合楼 A 楼门诊（A1 区）地上四层内镜中心 ERCP 机房

1.2.6 放射诊断项目

本项目拟新增 12 台III类射线装置，主要设在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科。由于目前尚未开展招投标工作，各设备型号及具体参数（尤其是最大管电压、管电流）暂未确定，故本评价暂按市面上常见参数进行列示，详见下表。

表 1.2-10　新增III类射线装置清单

序号	射线装置名称	型号	数量（台）	类别	拟定最大管电压及最大管电流	用途	工作场所
1	DR	待定	1	III类	125kV，1000mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 DR 机房 1
2	DR	待定	1	III类	125kV，1000mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 DR 机房 2
3	DR	待定	1	III类	125kV，1000mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 DR 机房 3
4	DR	待定	1	III类	125kV，1000mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 DR 机房 4
5	钼靶机	待定	1	III类	50kV，160mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科钼靶机房 1
6	钼靶机	待定	1	III类	50kV，160mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科钼靶机房 2
7	CT 机	待定	1	III类	140kV，800mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 CT 机房 1
8	CT 机	待定	1	III类	140kV，800mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 CT 机房 2
9	CT 机	待定	1	III类	140kV，800mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 CT 机房 3
10	CT 机	待定	1	III类	140kV，800mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 CT 机房 4

11	CT 机	待定	1	III类	140kV，800mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 CT 机房 5
12	CT 机	待定	1	III类	140kV，800mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 CT 机房 6

1.3 任务由来

根据“1.2 建设内容和规模”分析内容可知，本次环评内容包括使用III类、V 类放射源，使用II类、III类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所。

根据《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》、《建设项目环境保护管理条例》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等的规定，本项目建设前应进行建设项目环境影响评价工作。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）（生态环境部令第 16 号），并对照“1.2 建设内容和规模”分析内容可知，本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—使用III类、V 类放射源，使用II类、III类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所”，本项目建设内容涉及两个以上项目类别，其环境影响评价类别应按照其中单项等级最高的确定，因此，本项目环境影响评价类别为编制环境影响报告表。

为此，常州国家高新技术产业开发区（新北区）卫生健康局委托中辐环境科技有限公司开展本项目环评工作。在接受委托后，评价单位组织相关技术人员进行了现场勘察、资料收集和辐射环境现状的委托监测等工作，并结合项目特点，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）等规定要求编制完成本环评报告表。

1.4 项目选址及周边环境保护目标

1.4.1 地理位置

新北区人民医院项目选址位于江苏省常州市新北区新桥街道，长江路以西、乐山路以东、嫩江路以北、新科中路以南地块。项目地理位置见附图 1。

1.4.2 医院周边概况

本项目东侧为规划公园绿地，隔绿地为农田和姜巢家塘零星住宅；南侧为新四河，隔河为嫩江路，隔路为常州旅游商贸高等职业技术学校；西南侧为局前街小学新龙湖分校和规划住宅用地；西侧为乐山路，隔路为常州市第二工人文化宫在建工地和农田；北侧为农田。医院外环境关系见图 1.4-1。

本项目地下设两层，其中东侧地块（图 1.4-1 白色斜线标注区域）地下两层属于本项目规划地下空间利用范围，地上部分为规划公园绿地（不属于本项目规划用地红线范围）。规划公园绿地是指向公众开放，以游憩为主要功能，同时兼有生态、景观、文教和应急避险等综合作用的绿化用地。

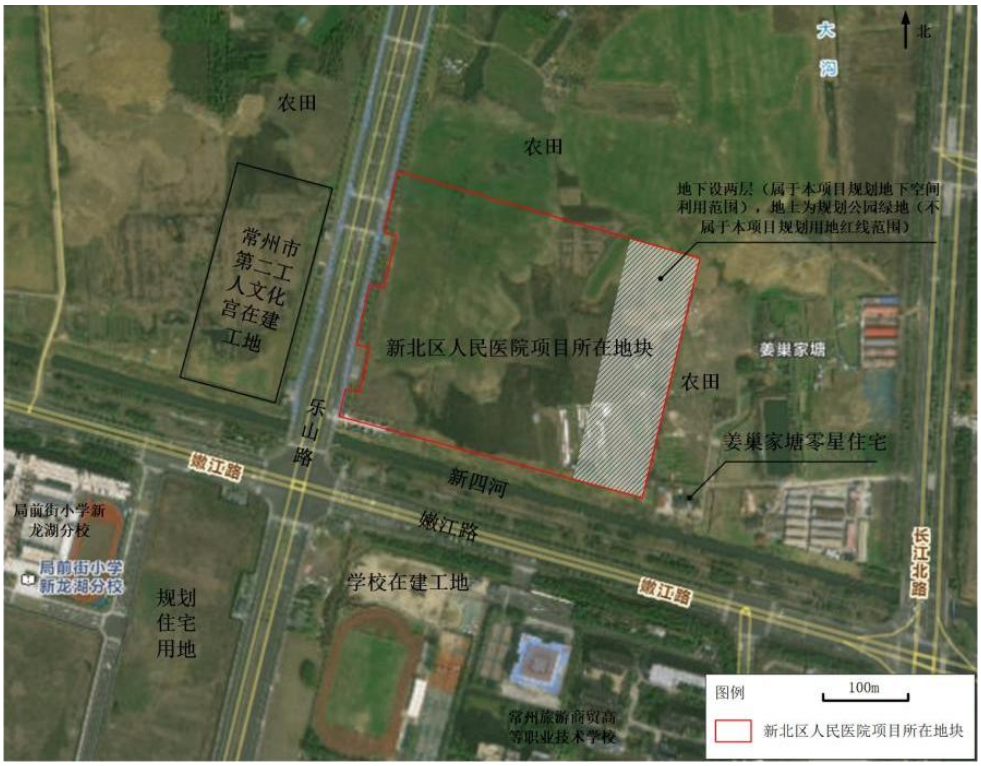


图 1.4-1　医院周边环境关系图

1.4.2 核技术利用项目与外环境四周情况

本项目核医学科、放疗科均设在住院楼 C 楼地下一层，小动物核医学实验中心设在综合楼 A 楼教学科研（A3 区）地上四层，介入手术项目 4 间 DSA 机房设在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上三层，介入手术项目 1 间 DSA 复合手术室和 1 间 CT 复合手术室设在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上四层，内镜中心 ERCP 机房设在综合楼 A 楼门诊（A1 区）地上四层，放射诊断项目设在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科。核医学科两套衰变池设在住院楼 C 楼地下二层，小动物核医学实验中心一套衰变池设在综合楼 A 楼教学科研（A3 区）地下一层。各工作场所四侧、上方、下方环境情况具体见表 10 平面布局分析，此处不展开详细描述。

在以上辐射工作场所中，放疗科机房位于规划用地红线和规划地下空间利用范围线之间，其他辐射工作场所均位于规划用地红线范围内。放疗科机房距离东侧规划地下空间利用范围线为 63m，放疗科后装机房、CT 模拟定位机房、核医学科、核医学科两套

衰变池距离东侧规划用地红线分别为 5m、7m、14m、25m；放疗科机房、DSA 复合手术室、CT 复合手术室距离南侧规划用地红线分别为 108m、110m、110m；ERCP 机房距离东侧规划用地红线为 65m；小动物核医学实验中心及其衰变池距离东侧规划用地红线分别为 78m、53m，距离北侧规划用地红线分别为 43m、72m。以上距离描述均为地面投影水平距离。

综上所述，本项目各拟建辐射工作场所边界外 50m 范围主要为医院内部建筑物、内部道路和东侧规划公园绿地，无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等环境敏感区。项目总平面布置图见附图 2。

1.4.3 核技术利用项目选址合理性分析

（1）核医学科

本项目核医学科设在住院楼 C 楼地下一层，不毗邻食堂（与食堂相距 27m，且中间有放疗科配套用房墙体隔断，具体位置见附图 4）、产科、儿科等部门及人员密集区。根据后文“项目工程分析与源项”分析可知，本项目核医学科设有相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。核医学科放射性废气由风机抽排至住院楼 C 楼楼顶（地上十三层，楼高 61.9m）高出屋脊排放，排风管内设置止回阀，防止气流倒灌，排放口设置活性炭过滤装置。根据后文环境影响分析可知，经采取相应防护治理措施后，电离辐射对周围环境与公众的影响是可接受的。核医学科两套衰变池设在住院楼 C 楼地下二层衰变池间内，周围活动人员较少，其选址便于核医学科放射性废液的收集衰变。

因此，核医学科选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）关于核医学工作场所选址的相关要求，项目选址合理。

（2）小动物核医学实验中心

本项目小动物核医学实验中心设在综合楼 A 楼教学科研（A3 区）地上四层，不毗邻食堂、产科、儿科等部门及人员密集区。根据后文“项目工程分析与源项”分析可知，本项目小动物核医学实验中心设有相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。小动物核医学实验中心放射性废气由风机抽排至综合楼 A 楼教学科研（A3 区）的楼顶（地上四层，楼高 20.4m）高出屋脊排放，排风管内设置止回阀，防止气流倒灌，排放口设置活性炭过滤装置。根据后文环境影响分析可知，经采取相

应防护治理措施后，电离辐射对周围环境与公众的影响是可接受的。小动物核医学实验中心衰变池设在综合楼 A 楼教学科研（A3 区）地下一层衰变池间内，周围活动人员较少，其选址便于小动物核医学实验中心放射性废液的收集衰变。

因此，小动物核医学实验中心选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）关于核医学工作场所选址的相关要求，项目选址合理。

（3）放疗科

本项目放疗科位于住院楼 C 楼地下一层东北侧，其中 1 间 TOMO 机房、4 间加速器机房、1 间射波刀机房和 1 间后装机房等治疗机房位于住院楼 C 楼地下一层东北侧，下方均为土层，不在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。放疗科治疗机房集中设置，避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，相邻也无人员流动性大的商业活动区域。

1 间 CT 模拟定位机房设在放疗科范围内，便于患者在开展放射治疗前的肿瘤定位。CT 模拟定位机房及其配套用房集中设置，相邻区域没有产房、儿科病房等敏感人群集中的场所。根据后文环境影响分析可知，CT 模拟定位机房周围各关注点处的辐射剂量率能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中规定的标准限值。

因此，本项目放疗科符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）关于放射治疗场所选址的相关要求，符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）X 射线设备机房设置要求。

（4）介入手术项目和内镜中心

介入手术项目 4 间 DSA 机房设在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上三层，介入手术项目 1 间 DSA 复合手术室和 1 间 CT 复合手术室设在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上四层，内镜中心 ERCP 机房设在综合楼 A 楼门诊（A1 区）地上四层，各射线装置机房及其配套用房集中设置，相邻区域没有产房、儿科病房等敏感人群集中的场所。经计算，各机房周围各关注点处的辐射剂量率能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中规定的标准限值。

因此，本项目介入手术项目和内镜中心各射线装置机房符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）X 射线设备机房设置要求。

（5）放射诊断项目

放射诊断项目新增的 12 台 III 类射线装置主要分布在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科。各射线装置经过机房实体屏蔽体屏蔽后，屏蔽体外剂量率符合标准要求，对周围辐射环境及人员影响是可以接受的，因此各射线装置机房平面布局合理可行。

综合上述，整个核技术利用项目布置在满足医疗流程完整、顺畅运行的前提下，充分考虑了周围环境的影响和辐射类项目尽量集中设置的原则；主要的工作场所核医学科、放疗科设置在住院楼 C 楼地下一层，该区域人员流动相对较少，因此，医院的整体布局及主要辐射工作场所的位置选择较为合理。

1.4.4 本项目的环境保护目标

根据医院周边关系及项目周边环境关系情况可见，本项目各拟建辐射工作场所边界外 50m 范围主要为医院内部建筑物、内部道路和东侧规划公园绿地（见附图 2），因此，本项目环境保护目标主要为评价范围内从事本项目的辐射工作人员、医院内活动的医患人员以及东侧规划公园绿地内公众，具体见表 7.2-1。

1.5 工作人员及工作制度

核医学科拟配置辐射工作人员 24 人，其中技师均在核医学科北侧（核素门诊显像诊断区域）开展工作，护士在北侧（核素门诊显像诊断区域）和南侧（核素治疗区域）轮班开展工作；小动物核医学实验中心拟配置辐射工作人员 4 人；放疗科拟配置辐射工作人员 30 人；介入手术项目拟配置辐射工作人员 41 人；内镜中心拟配置辐射工作人员 4 人；放射诊断项目拟配置辐射工作人员 12 人。

本项目辐射工作人员实行 8h 单班工作制度，年工作日为 250 天，辐射工作人员均为新增辐射工作人员，不同岗位互不兼岗，具体人员配置计划见表 1.5-1。

表 1.5-1　本项目拟配备辐射工作人员情况表

工作场所		工作内容	人员配置	人数
核医学科	诊室、办公室、敷贴室	接诊、办公、读片、敷贴治疗	医生	6 人
	护士站、测定室、SPECT 专用分装注射室、PET 专用分装注射室、分装注射室、肺通气室	预约登记、甲状腺摄碘率测定、标记分装、放射性药物给药	护士	6 人
	控制廊、PET/CT 机房、PET/MR 机房、SPECT/CT 机房	操作 PET/CT 和 PET/MR、患者摆位	技师	8 人
		操作 SPECT/CT、患者摆位	技师	4 人
小动物核医学实验中心	分装注射室	从核医学科转移 ^{68}Ga，放射性药物分装、注射，转移小动物	实验员	4 人
	操作室	小动物处死或处死解剖，检测台操作仪器		

	控制室、小动物成像室	操作 PET/SPECT/CT、小动物固定摆位		
放疗科	TOMO 机房和控制室	操作 TOMO、患者摆位	技师	2 人
	直线加速器机房和控制室（4 间）	操作直线加速器、患者摆位	技师	8 人
	射波刀机房和控制室	操作射波刀、患者摆位	技师	2 人
	磁共振加速器机房和控制室	操作磁共振加速器、患者摆位	技师	2 人
	后装机房和控制室	操作后装机、患者摆位	技师	2 人
	CT 模拟定位机房和控制室	操作 CT 模拟定位机、患者摆位	技师	2 人
	诊室、办公室	问诊、出具治疗方案	医生	8 人
	计划室	制定治疗计划	物理师	4 人
介入手术项目	DSA 控制廊和 DSA 复合手术室控制室	设备控制	技师	10 人
	机房内（5 间）	影像诊断和介入治疗	医生	20 人
			护士	10 人
	CT 复合手术室控制室	设备控制	技师	1 人
内镜中心	ERCP 控制室	设备控制	技师	1 人
	机房内	影像诊断和介入治疗	医生	2 人
			护士	1 人
放射诊断项目	4 间 DR 机房和控制廊	操作 DR 机、患者摆位	技师	4 人
	2 间钼靶机房和控制室	操作钼靶机、患者摆位	技师	2 人
	6 间 CT 机房和控制廊	操作 CT 机、患者摆位	技师	6 人

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号）和《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 2021 年第 9 号），本项目新增辐射工作人员应在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加相应类别培训学习，考核合格后上岗，并按时接受再培训。其中仅从事 III 类射线装置的辐射工作人员参加医院自行组织的辐射安全与防护考核，取得合格成绩方可上岗，并建立成绩档案。

1.6 相关规划符合性

1.6.1 用地符合性分析

《新北区人民医院项目（一期）环境影响报告书》已于 2024 年 12 月 18 日取得常州高新区（新北区）政务服务管理办公室批复，批复文号为：常新政务环书〔2024〕6 号（见附件 4）。本次环评为新北区人民医院项目（一期）配套核技术利用项目辐射环境影响评价，不涉及新的用地及建筑物。

本项目用地已取得常州市自然资源和规划局颁发的不动产权证书（见附件 5），

用途为医院用地，符合当地规划要求。

1.6.2 实践正当性分析

本项目的建设可以更好地满足患者就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，对保障人民群众身体健康、拯救生命起到了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。

医院在核技术利用项目开展过程中，对放射源、射线装置和非密封放射性物质的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，并建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理放射源、射线装置和非密封放射性物质的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

1.6.3 生态环境分区管控符合性分析

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。

根据《生态环境分区管控管理暂行规定》（环环评〔2024〕41 号）、《江苏省 2023 年度生态环境分区管控动态更新成果公告》（江苏省生态环境厅 2024 年 6 月 13 日发布）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于常州市中心城区（新北区），为重点管控单元，环境管控单元编码：ZH32041120179，评价范围内不涉及优先保护单元和一般管控单元。对照重点管控单元管控要求，本项目为核技术利用项目，满足重点管控单元的管控要求，本项目江苏省生态环境分区管控综合查询报告书见附件 7。

本项目的建设符合江苏省生态环境分区管控要求。

1.7 产业政策符合性

本项目属于核技术在医学领域内的运用。本项目的建设属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中第一类“鼓励类”第六项“核能”中第 6 款**“同位素、加速器及辐照应用技术开发”**和第一类“鼓励类”第十三项“医药”第 5 款“新型医用诊断设备和试剂、**数字化医学影像设备**，人工智能辅助医疗设备，**高端放射治疗设备**，……”，也属于“第一类 鼓励类”第三十七项“卫生健康”中第 1 款“……医疗卫生服务设施建设……”项目，因此本项目符合国家产业政策要求。

1.8 原有核技术利用项目许可情况

新北区人民医院为新建医院，不存在原有核技术利用项目。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度（Bq）/ 活度（Bq）×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	^{192}Ir	5.55E+11/5.55E+11×1 枚	III类	使用	放射治疗	住院楼 C 楼地下一层放疗科后装机房	放疗科后装机房后装机内	新购
2	^{90}Sr-^{90}Y	3.70E+09/1.85E+09×2 枚	V类	使用	敷贴治疗	住院楼 C 楼地下一层核医学科	核医学科敷贴储源室	新购
3	^{68}Ge	1.11E+08/1.11E+08×1 枚	V类	使用	PET 设备校准	住院楼 C 楼地下一层核医学科	核医学科储源室	新购
4	^{68}Ge	1.11E+08/5.55E+07×2 枚	V类	使用	PET 设备校准	住院楼 C 楼地下一层核医学科	核医学科储源室	新购

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{18}F	液态/低毒/半衰期109.8min	使用	3.33E+10	3.33E+07	8.33E+12	PET显像诊断	很简单操作	住院楼C楼地下一层核医学科	根据实际使用量向有资质单位购买（现买现用），购买后的放射性药物连同铅罐存放于储源室内，设双人双锁管理。
2	^{64}Cu	液态/低毒/半衰期12.7h	使用	3.70E+08	3.70E+06	9.25E+10	PET显像诊断	简单操作		
3	^{68}Ga（以淋洗量计）	液态/低毒/半衰期68.3min	使用	1.295E+09	1.295E+07	3.24E+11	PET显像诊断	简单操作		
4	^{68}Ge（^{68}Ga）	液态/中毒/半衰期270.8d	贮存	1.85E+09	1.85E+06	1.85E+09	淋洗药物	贮存		
5	^{89}Zr	液态/中毒/半衰期78.43h	使用	3.70E+08	3.70E+07	9.25E+10	PET显像诊断	简单操作		
6	^{99m}Tc	液态，低毒，半衰期6.02h	使用	2.07E+10	2.07E+07	5.18E+12	SPECT 显像诊断（静脉注射）	很简单操作		
		气态，低毒，半衰期 6.02h	使用	1.85E+09	1.85E+08	4.63E+11	SPECT 显像诊断	很简单操作		

							（肺通气）			
7	^{123}I	液态/低毒/半衰期13.2h	使用	3.70E+08	3.70E+06	9.25E+10	SPECT 显像诊断	简单操作		
8	^{89}Sr	液态，中毒，半衰期50.53d	使用	1.48E+08	1.48E+07	3.70E+10	骨转移治疗	简单操作		
9	^{223}Ra	液态/极毒/半衰期11.44d	使用	3.70E+06	3.70E+07	9.25E+08	骨转移治疗	简单操作		
10	^{225}Ac	液态/极毒/半衰期10d	使用	1.11E+07	1.11E+08	2.78E+09	前列腺癌治疗	简单操作		
11	^{227}Th	液态，极毒，半衰期18.7d	使用	1.11E+07	1.11E+08	2.78E+09	肿瘤靶向α治疗	简单操作		
12	^{131}I	液态，中毒，半衰期 8.02d	使用	1.48E+10	1.48E+09	7.40E+11	甲癌治疗	简单操作		
			使用	1.85E+09	1.85E+08	4.63E+11	甲亢治疗	简单操作		
			使用	9.25E+05	9.25E+04	2.31E+08	甲状腺摄碘率测定	简单操作		
13	^{177}Lu	液态/中毒/半衰期6.73d	使用	1.48E+10	1.48E+09	7.40E+11	前列腺癌治疗	简单操作		
14	^{18}F	液态/低毒/半衰期109.8min	使用	3.70E+08	3.70E+06	1.85E+10	小动物显像扫描、分布实验	简单操作	综合楼A楼教学科研（A3区）地上四层小动物核医学实验中心	根据实际使用量向有资质单位购买（现买现用），购买后的放射性药物连同铅罐存放于储源室内，设双人双锁管理。
15	^{68}Ga	液态/低毒/半衰期68.3min	使用	1.85E+08	1.85E+06	9.25E+09	小动物显像扫描、分布实验	简单操作		
16	^{99m}Tc	液态，低毒，半衰期6.02h	使用	7.40E+08	7.40E+06	3.70E+10	小动物显像扫描、分布实验	简单操作		
17	^{123}I	液态，低毒，半衰期8.02d	使用	1.85E+08	1.85E+06	9.25E+09	小动物显像扫描、分布实验	简单操作		
18	^{177}Lu	液态/中毒/半衰期6.73d	使用	1.11E+08	1.11E+07	5.55E+09	小动物显像扫描、分布实验	简单操作		

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

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量（MeV）	额定电流（mA）/剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
1	螺旋断层放射治疗系统（TOMO）	II类	1	待定	电子	X射线：6MV	治疗束 X 射线 6MV，距靶等中心最大剂量率 636Gy/h；CT 最大管电压 140kV，最大管电流 200mA	放射治疗	住院楼 C 楼地下一层放疗科 TOMO 机房	新购
2	医用电子直线加速器	II类	4	待定	电子	X射线：10MV/6MV 电子线：15MeV	X 射线 10MV 等中心最大剂量率 360Gy/h，FFF 模式等中心最大剂量率 1320Gy/h；X 射线 6MV 等中心最大剂量率 360Gy/h，FFF 模式等中心最大剂量率 840Gy/h 电子线 15MeV 等中心最大剂量率 360Gy/h	放射治疗	住院楼 C 楼地下一层放疗科 1~4 号加速器机房	新购
3	X 射线立体定向放射外科治疗系统（射波刀）	II类	1	待定	电子	X射线：6MV	X 射线 6MV，等中心最大剂量率 600Gy/h；射波刀自带定位系统，含 2 台 X 射线装置，最大管电压 150kV，最大管电流 640mA	放射治疗	住院楼 C 楼地下一层放疗科射波刀机房	新购
4	磁共振加速器	II类	1	待定	电子	X射线：7.2MV	等中心最大剂量率 420Gy/h	放射治疗	住院楼 C 楼地下一层放疗科磁共振加速器机房	新购

（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	DSA	II 类	4	待定	150	1250	影像诊断和介入治疗	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上三层 DSA 机房 1~4	新购

2	DSA	II 类	1	待定	150	1250	影像诊断和介入治疗	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上四层 DSA 复合手术室	新购
3	滑轨 CT	III 类	1	待定	140	800	影像诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上四层 DSA 复合手术室或 CT 复合手术室	新购
4	ERCP	II 类	1	待定	125	250	影像诊断和介入治疗	综合楼 A 楼门诊（A1 区）地上四层内镜中心 ERCP 机房	新购
5	PET/CT	III 类	1	待定	140	800	显像诊断	住院楼 C 楼地下一层核医学科 PET/CT 机房	新购
6	SPECT/CT	III 类	1	待定	140	800	显像诊断	住院楼 C 楼地下一层核医学科 SPECT/CT 机房	新购
7	PET/SPECT/CT	III 类	1	待定	80	0.7	小动物显像扫描、分布实验	综合楼 A 楼教学科研（A3 区）地上四层小动物核医学实验中心小动物成像室	新购
8	CT 模拟定位机	III 类	1	待定	140	1000	肿瘤定位	住院楼 C 楼地下一层放疗科 CT 模拟定位机房	新购
9	DR	III 类	1	待定	125kV	1000mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 DR 机房 1	新购
10	DR	III 类	1	待定	125kV	1000mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 DR 机房 2	新购
111	DR	III 类	1	待定	125kV	1000mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 DR 机房 3	新购
12	DR	III 类	1	待定	125kV	1000mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 DR 机房 4	新购
13	钼靶机	III 类	1	待定	50kV	160mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科钼靶机房 1	新购
14	钼靶机	III 类	1	待定	50kV	160mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科钼靶机房 2	新购
15	CT	III 类	1	待定	140kV	800mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 CT 机房 1	新购
16	CT	III 类	1	待定	140kV	800mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 CT 机房 2	新购

17	CT	III 类	1	待定	140kV	800mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 CT 机房 3	新购
18	CT	III 类	1	待定	140kV	800mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 CT 机房 4	新购
19	CT	III 类	1	待定	140kV	800mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 CT 机房 5	新购
20	CT	III 类	1	待定	140kV	800mA	放射诊断	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 CT 机房 6	新购

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称		状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
核医学科放射性废液	北侧（核素门诊显像诊断区域）	液态	^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{123}I	/	/	190m^3/年	总α≤1Bq/L、总β≤10Bq/L	暂存于 3 个并联衰变池中（池体有效容积 15m^3）	暂存衰变超过 33 天后（满足半衰期最长核素 ^{89}Zr 废水暂存十个半衰期），经监测符合清洁解控要求后经审管部门确认后排入医院污水处理站
	南侧（核素治疗区域）	液态	主要包含 ^{131}I、^{177}Lu	/	/	127.5m^3/年	总α≤1Bq/L、总β≤10Bq/L、^{131}I 活度浓度≤10Bq/L	暂存于 3 个并联衰变池中（池体有效容积 70m^3）	暂存衰变超过 180 天后经审管部门确认后排入医院污水处理站
小动物核医学实验中心放射性废液		液态	^{18}F、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{123}I、^{177}Lu	/	/	5.518m^3/年	总α≤1Bq/L、总β≤10Bq/L	暂存于 3 个并联衰变池中，每个衰变池有效容积不低于 1m^3	暂存衰变超过 68 天后（满足半衰期最长核素 ^{177}Lu 废水暂存十个半衰期），经监测符合清洁解控要求后经审管部门确认后排入医院污水处理站
核医学科放射性固废	一次性注射器、一次性服药杯、棉签、滤纸、手套、擦拭污染地面的物品	固态	^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{123}I、^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{123}I、^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th、^{131}I、^{177}Lu	/	/	1350kg/年	辐射剂量率处于本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm^2，β表面污染≤0.8Bq/m^2	暂存于各工作场所相应废物间和污物暂存间内	放射性固废（含 ^{18}F、^{99m}Tc 等半衰期小于 24h 核素）衰变超过 30 天，含 ^{89}Zr 核素的固废集中贮存衰变超过 33 天，含 ^{89}Sr 核素的固废集中贮存衰变 505 天，含 ^{225}Ac 核素的固废集中贮存衰变超过 100 天，含 ^{223}Ra 核素的固废集中贮存衰变超过 115 天，含 ^{227}Th 核素的固废集中贮存衰变超过 187 天，含 ^{131}I 核素的固废集中贮存衰变超过 180 天，含 ^{117}Lu 核素的固废集中贮存衰变超过 68 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物
	废活性炭			/	/	60kg/年			

									清洁解控并作为医疗废物处理
	废弃锗镓发生器		^{68}Ge（^{68}Ga）	/	/	1 个/年	/		供货商回收
小动物核医学实验中心放射性固废	一次性注射器、棉棒、滤纸、手套、擦拭污染地面的物品、含排泄物的垫料等	固态	^{18}F、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{123}I、^{177}Lu	/	/	16kg/年	辐射剂量率处于本底水平，β表面污染≤0.8Bq/m^2	暂存于污物暂存间内	放射性固废（含 ^{18}F、^{99m}Tc 等半衰期小于 24h 核素）衰变超过 30 天，含 ^{117}Lu 核素的固废集中贮存衰变超过 68 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理
	动物尸体及组织器官			/	/	400kg/年			
	废活性炭			/	/	20kg/年			
废旧放射源		固态	^{68}Ge	^{68}Ge放射源拟购3枚，每4年更换一次，共产生3枚废^{68}Ge放射源				不暂存	送交有资质的单位收贮或者直接送交有资质的放射性固体废物处置单位处置
废旧放射源		固态	^{90}Sr-^{90}Y	^{90}Sr-^{90}Y放射源拟购2枚，每10年更换一次，共产生2枚废^{90}Sr放射源					
核医学科放射性废气		气态	^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{123}I、^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr、^{99m}Tc、^{123}I、^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th、^{131}I、^{177}Lu	/	/	/	/	/	引至住院楼C楼楼顶高出屋脊排放，排风管内设置止回阀，防止气流倒灌，排放口设置活性炭过滤装置
小动物核医学实验中心放射性废气		气态	^{18}F、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{123}I、^{177}Lu	/	/	/	/	/	引至综合楼A楼教学科研（A3区）的楼顶高出屋脊排放，排风管内设置止回阀，防止气流倒灌，排放口设置活性炭过滤装置
放疗科加速器机房感生放射性气体		气态	^{15}O、^{13}N、^{41}Ar	/	/	/	/	/	引至住院楼 C 楼楼顶高出屋脊排放
废 ^{192}Ir 放射源		固态	^{192}Ir	每年产生 3 枚废 ^{192}Ir 放射源				不暂存	由源供应单位回收，购源前签订废旧源回收协议

放疗科加速器废靶	固态	/	退役后产生	不暂存	加速器退役时应进行监测，存在放射性污染的，按放射性固体废物进行管理，最终送交有资质的单位收贮

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m^3；年排放总量用 kg。

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

表 6 评价依据

法规文件	（1）《中华人民共和国环境保护法》（1989 年 12 月 26 日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过；2014 年 4 月 24 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订），中华人民共和国主席令第九号，2015 年 1 月 1 日施行修订版； （2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2002 年 10 月 28 日第九届全国人民代表大会常务委员会第三十次会议通过，自 2003 年 9 月 1 日起施行；2016 年 7 月 2 日第一次修订；2018 年 12 月 29 日第二次修订），中华人民共和国主席令第四十八号，2018 年 12 月 29 日施行修订版； （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 6 月 28 日中华人民共和国第十届全国人民代表大会常务委员会第三次会议通过），中华人民共和国主席令第六号，2003 年 10 月 1 日施行； （4）《建设项目环境保护管理条例》（1998 年 11 月 29 日中华人民共和国国务院令第 253 号发布施行；2017 年 7 月 16 日中华人民共和国国务院第 682 号令修订），自 2017 年 10 月 1 日起施行修订版； （5）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，（2005 年 9 月 14 日经中华人民共和国国务院令第 449 号公布，2014 年 7 月 29 日经中华人民共和国国务院令第 653 号修订，2019 年 3 月 2 日经中华人民共和国国务院令第 709 号修订），自 2019 年 3 月 2 日起施行修订版； （6）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年 1 月 18 日国家环境保护总局令第 31 号公布，2008 年 12 月 6 日经环境保护部令第 3 号修正，2017 年 12 月 20 日经环境保护部令第 47 号修正，2019 年 7 月 11 日经生态环境部令第 7 号修改，2020 年 12 月 25 日经生态环境部令第 20 号修改），2021 年 1 月 4 日施行修改版； （7）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（2011 年 4 月 18 日环境保护部令第 18 号），自 2011 年 5 月 1 日起施行； （8）《放射性废物安全管理条例》（2011 年 12 月 20 日中华人民共和国国务院令第 612 号公布），自 2012 年 3 月 1 日起施行； （9）《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（环境保护部 国家卫生和计划

	生育委员会 公告 2017 年第 66 号），自 2017 年 12 月 5 日起施行； （10）《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号），自 2005 年 12 月 23 日起施行； （11）《关于发布<放射性废物分类>的公告》（环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局 公告 2017 年第 65 号），自 2018 年 1 月 1 日起施行； （12）《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（中华人民共和国生态环境部令第 16 号），自 2021 年 1 月 1 日起施行； （13）《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年 12 月 27 日中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号公布，自 2024 年 2 月 1 日起施行； （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 2019 年第 57 号），自 2020 年 1 月 1 日起施行； （15）《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 2021 年第 9 号），自 2021 年 3 月 15 日起施行； （16）《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号），自 2017 年 11 月 20 日起施行； （17）《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号），自 2006 年 9 月 26 日起施行。 （18）《江苏省辐射污染防治条例》（江苏省第十届人民代表大会常务委员会公告第 142 号公布，江苏省第十三届人民代表大会常务委员会公告第 2 号修改），自 2018 年 5 月 1 日起施行修改版； （19）《江苏省生态环境厅关于印发辐射安全许可证办理等工作程序和规范的通知》（苏环规〔2019〕4 号），自 2019 年 11 月 19 日起施行； （20）《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》（苏环办〔2021〕187 号），自 2021 年 11 月 9 日起施行； （21）《关于印发<生态环境分区管控管理暂行规定>的通知》（环环评〔2024〕41 号），生态环境部，2024 年 7 月 8 日发布； （22）《省政府关于印发<江苏省国家级生态保护红线规划>的通知》（苏政办〔2018〕74 号），自 2018 年 6 月 9 日起施行； （23）《省政府关于印发<江苏省生态空间管控区域规划>的通知》（苏政发

	〔2020〕1 号），自 2020 年 1 月 8 日起施行； （24）《常州市生态环境分区管控动态更新成果》，常州市生态环境局于 2024 年 7 月 2 日发布； （25）《省政府办公厅关于印发江苏省辐射事故应急预案的通知》（苏政办函[2020]26 号），江苏省人民政府办公厅，2020 年 2 月 19 日发布。
技术标准	（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）； （2）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）； （3）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （4）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； （5）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； （6）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； （7）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《生态环境部辐射源安全监管司关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20 号）； （8）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）； （9）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）； （10）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）； （11）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； （12）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）； （13）《操作非密封源的辐射防护规定》（GBZ11930-2010）； （14）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）； （15）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）； （16）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）； （17）《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）； （18）《职业性内照射个人监测规范》（GBZ129-2016）。

其他	（1）环境影响评价委托书； （2）建设单位提供的图纸设计资料、设备参数等； （3）《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》； （4）《中华人民共和国生态环境法典》（2026 年 3 月 12 日第十四届全国人民代表大会第四次会议通过），自 2026 年 8 月 15 日起施行。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

参考《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016)中对于报告书项目的评价范围规定“乙级非密封放射性物质工作场所项目的评价范围取半径 50m 的范围，放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”，结合本项目特点，确定评价范围为核技术利用项目辐射工作场所周围 50m 的区域（不同工作场所重合区域时取最大范围），具体评价范围示意图见附图 2。

7.2 保护目标

根据附图 2 可知，核技术利用项目工作场所周边 50m 范围内主要为医院内部建筑物、内部道路和东侧规划公园绿地，人员分布主要为本项目工作场所内辐射工作人员、医院内活动的医患人员以及东侧规划公园绿地内公众。

本项目评价范围内无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区等环境敏感区，且不涉及江苏省国家级生态保护红线和江苏省生态空间管控区域。本项目所在区域为重点管控单元，不占用优先保护单元，符合《江苏省 2023 年度生态环境分区管控动态更新成果公告》（江苏省生态环境厅 2024 年 6 月 13 日发布）和《常州市生态环境分区管控动态更新成果》（市生态环境局 2024 年 7 月 2 日发布）的相关要求。

本项目保护目标具体详见表 7.2-1。

表 7.2-1 本项目环境保护目标一览表

项目		环境保护目标	方位	与辐射工作场所最近距离（m）	规模	人员类别
核医学科	北侧（核素门诊显像诊断区域）	放疗科等候区	东侧	紧邻	患者和家属等流动人员	公众
		放疗科护士站和休息室	东侧	紧邻	2 人	
		强、弱电间	西侧	2	平时无人员逗留	
		电梯厅和楼道	西侧	2	流动人员	
		放疗科走廊	北侧	紧邻	流动人员	
		住院楼 C 楼一层（主要是住院药房、静配中心）	上方	紧邻	20 人	
		院内道路	上方	紧邻	流动人员	
		地下车库	下方	紧邻	流动人员	
		辐射工作人员	内部	/	24 人	职业

		医护走廊	南侧	紧邻		
	南侧（核素治疗区域）	辐射工作人员	内部	/		
		医护走廊	北侧	紧邻		
		值班室和护士站	西侧	紧邻		
		补风机房	东侧	紧邻	平时无人员逗留	公众
		放疗科模具间	东侧	紧邻	10 人	
		放疗科第三方办公室	东南侧	3	4 人	
		下沉庭院	南侧	紧邻	流动人员	
		核医学科诊室和等候区	西侧	3	50 人	
		住院楼 C 楼一层（主要是配套用房）	上方	紧邻	20 人	
		院内道路	上方	紧邻	流动人员	
		地下车库	下方	紧邻	流动人员	
		核医学科专用衰变池间	下方	紧邻	平时无人员逗留	
核医学科衰变池间		垃圾暂存间	南侧	紧邻	平时无人员逗留	公众
		地下车库	西侧	紧邻	流动人员	
		污梯/消防电梯间	北侧	紧邻	流动人员	
		核医学科核素治疗区域	上方	紧邻	主要是住院患者，一般无公众进入	
小动物核医学实验中心		辐射工作人员	内部	/	4 人	职业
		楼道、电梯厅等	东侧	紧邻	流动人员	公众
		走廊	南侧	紧邻	流动人员	
		污物电梯	西侧	紧邻	流动人员	
		空调机房、排烟机房、屋面	上方	紧邻	平时无人员逗留	
		实验室、仪器室、耗材暂存间及空调机房	下方	紧邻	10 人	
小动物核医学实验中心衰变池间		地下车库	东侧	紧邻	流动人员	公众
		防汛器材室	南侧	紧邻	平时无人员逗留	
		预处理机房	北侧	紧邻	平时无人员逗留	
		院内道路	上方	紧邻	流动人员	
		储藏室	下方	紧邻	平时无人员逗留	
放疗科	TOMO 机房	控制室	西侧	紧邻	2 人	职业
		地下车库	东侧	紧邻	流动人员	职业和公众
		1 号加速器机房	南侧	紧邻	工作人员：约 2 人 其余为患者等流动人员	
		设备间、变频室机房	西侧	紧邻	平时无人员逗留	

		准备室	西侧	紧邻	患者和家属等流动人员	
		气体灭火、检修间	北侧	紧邻	平时无人员逗留	
		规划公园绿地*	上层	紧邻	流动人员	
	1~4 号加速器机房	控制室	西侧	紧邻	8 人	职业
		地下车库	东侧	紧邻	流动人员	职业和公众
		射波刀机房	4 号机房南侧	紧邻	工作人员：约 2 人 其余为患者等流动人员	
		辅助机房	西侧	紧邻	平时无人员逗留	
		准备室	西侧	紧邻	患者和家属等流动人员	
		TOMO 机房	1 号机房北侧	紧邻	工作人员：约 2 人 其余为患者等流动人员	
		规划公园绿地*	上层	紧邻	流动人员	
	射波刀机房	控制室	西侧	紧邻	2 人	职业
		地下车库	东侧	紧邻	流动人员	职业和公众
		核磁共振机房	南侧	紧邻	工作人员：约 2 人 其余为患者等流动人员	
		准备室	西侧	紧邻	患者和家属等流动人员	
		设备间	西侧	紧邻	平时无人员逗留	
		4 号加速器机房	北侧	紧邻	工作人员：约 2 人 其余为患者等流动人员	
		规划公园绿地*	上层	紧邻	流动人员	
	核磁共振机房	控制室	西侧	紧邻	2 人	职业
		预留设备用房	东侧	紧邻	平时无人员逗留	职业和公众
		检修、强弱电间、污提间	南侧	紧邻	平时无人员逗留	
		楼道	南侧	紧邻	流动人员	
		准备室	西侧	紧邻	患者和家属等流动人员	
		射波刀机房	北侧	紧邻	工作人员：约 2 人 其余为患者等流动人员	
		规划公园绿地*	上层	紧邻	流动人员	
	后装机房	控制室	西南侧	紧邻	2 人	职业
		走廊	东侧	紧邻	流动人员	公众
		准备室	南侧	紧邻	患者和家属等流动人员	
		下沉庭院	西侧	紧邻	流动人员	
		通道	北侧	紧邻	流动人员	

		院内道路	上方	紧邻	流动人员	
	CT 模拟定位机房	控制室	西侧	紧邻	2 人	职业
		水冷机房	东侧	紧邻	平时无人员逗留	公众
		走廊	南侧	紧邻	流动人员	
		走廊	北侧	紧邻	流动人员	
		院内道路	上方	紧邻	流动人员	
综合楼 A 楼医技（A2 区）	三层内 DSA 机房 1~3	医护人员	内部	紧邻	18 人	职业
		控制廊	南侧	紧邻	6 人	
		医护通道	机房 3 东侧	紧邻	流动人员	公众
		走廊	西侧	紧邻	流动人员	
		设备间、库房	北侧	紧邻	平时无人员逗留	
		患者走廊	北侧	紧邻	流动人员	
		手术室、走廊	上层	紧邻	20 人	
		示教室、休息区、办公室、走廊	下层	紧邻	10 人	
	三层内 DSA 机房 4	医护人员	内部	紧邻	6 人	职业
		控制廊	南侧	紧邻	2 人	
		走廊	东侧	紧邻	流动人员	公众
		医护通道	西侧	紧邻	流动人员	
		设备间	北侧	紧邻	平时无人员逗留	
		患者走廊	北侧	紧邻	流动人员	
		走廊	上层	紧邻	流动人员	
		库房	上层	紧邻	平时无人员逗留	
		值班室、走廊	下层	紧邻	10 人	
	四层 DSA 复合手术室	医护人员	内部	紧邻	6 人	职业
		控制室	东侧	紧邻	2 人	
		设备间	东侧	紧邻	平时无人员逗留	公众
		污物走廊	南侧	紧邻	流动人员	
		CT 存放间和库房	西侧	紧邻	平时无人员逗留	
		洁净走廊	北侧	紧邻	流动人员	
		屋面	上方	紧邻	平时无人员逗留	
		库房	下层	紧邻	平时无人员逗留	
		走廊	下层	紧邻	10 人	
	四层 CT 复合手术室	控制室	西侧	紧邻	1 人	职业
		库房	西侧	紧邻	平时无人员逗留	公众
		CT 存放间和库房	东侧	紧邻	平时无人员逗留	
		污物走廊	南侧	紧邻	流动人员	
		洁净走廊	北侧	紧邻	流动人员	
综合	四层内	医护人员	内部	紧邻	3 人	职业

楼 A 楼门诊（A1 区）	镜中心 ERCP 机房	控制室	东侧	紧邻	2 人	
		VIP 消化镜室	西侧	紧邻	工作人员：约 4 人 其余为患者等流动人员	公众
		患者走廊	北侧	紧邻	流动人员	
		屋面	上方	紧邻	平时无人员逗留	
		急诊留观区	下方	紧邻	流动人员	
放射诊断项目		控制室、控制廊	机房屏蔽墙外	紧邻	12 人	职业
		候诊大厅、患者走廊、库房等	机房屏蔽墙外	紧邻	约 300 人次/d	公众
		检验大厅、合血室、会议室、缓冲间、报告审核区、更衣室、资料室、库房、卫生间等	上方	紧邻	约 100 人次/d	公众
		地下车库	下方	紧邻	流动人员	公众
/		规划公园绿地**	上方	紧邻	200 人	公众
注*：根据附图 5 可知，1 间 TOMO 机房、4 间加速器机房、射波刀机房、1 间磁共振加速器机房上方为规划公园绿地，规划公园绿地不属于本项目规划用地红线范围，故纳入本项目保护目标。 **：因本项目核医学科、放疗科评价范围内均有规划公园绿地，为避免重复描述取距离最近机房进行描述。						

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值和剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

表 7.3-1 剂量限值的相关内容

相关条款	具体内容
B1.1 职业照射	B1.1.1.1 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： a)由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均）20mSv。
B1.2 公众照射	B1.2.1 实践使公众中有关关键人群的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值： a）年有效剂量，1mSv。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）照射剂量约束和潜在照射危险约束的防护要求，剂量约束值通常应在公众照射剂量限值的 10%-30%范围之内。同时，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），本项目职业人员和公众剂量约束值如下：

对于职业人员，本项目取年有效剂量限值的四分之一，即不超过 5mSv 作为年剂量约束值；对于公众，本项目取年有效剂量限值 1mSv 的十分之一，即不超过 0.1mSv 作为年剂量约束值。

7.3.2 核医学科辐射工作场所评价标准

（1）辐射防护分区

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。

4.3.3 核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。

4.3.4 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。

（2）辐射工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C，应按表 7.3-2 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7.3-2　非密封源工作场所的分级

级别	具体内容
甲	＞4×10^{9}Bq
乙	2×10^{7}~4×10^{9}Bq
丙	豁免活度值以上~2×10^{7}Bq

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。

（3）表面污染控制水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 B11，对于工作场所的放射性表面污染，应满足表 7.3-3 的控制水平。

表 7.3-3　工作场所放射性表面污染控制水平

表面类型		α放射性物质（Bq/cm²）		β放射性物质（Bq/cm²）
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 1)	4	4×10	4×10
	监督区	4×10^{-1}	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4×10^{-1}	4×10^{-1}	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-1}
1) 该区内的高污染子区除外				

（4）核医学科工作场所辐射剂量率控制水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）中的相关规定，本项目核医学科辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平见表 7.3-4。

表 7.3-4　本项目核医学科屏蔽体外周围剂量当量率控制水平

场所	位置		剂量率控制水平（μSv/h）
核医学科	控制区外人员可到达处，距屏蔽体外 30cm 处		2.5
	控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处	控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2）	2.5
		控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子＜1/2）	10
	放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位		2.5
	放射性药物合成和分装的箱体等设备外表面 30cm 处非正对人员操作位		25
	固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道外表面 30cm 处		2.5

（5）放射性废液排放控制要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）中相关规定，结合本项目核素使用情况、衰变池设计情况，放射性废液排放满足以下要求：

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

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

含碘-131 放射性废水可按照下列任意一种方式进行排放：

（一）根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》第 8.6.2 条规定，经监管部门确认单次排入普通下水道的废水中碘-131 活度不超过 1ALI_{min}（9E+5 贝可），每月排放的废水中碘-131 总活度不超过 10ALI_{min}(9E+6 贝可)。

（二）暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放。

（三）暂存不满 180 天但监测结果表明碘-131 活度浓度已降至不高于 10 贝可/升水平，也可直接排放。

医院应做好相关排放记录。

（6）固体放射性废物排放控制要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关规定，固体放射性废物暂存和处理应满足以下要求：

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

a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

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

c）含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

（7）核医学工作场所通风要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），核医学工作场所通风要求如下：

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

6.3.3 碘-131 治疗病房应设有单独的通风系统，病房的门窗应有封闭措施，保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气应经单独的排气管道有组织排放。

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

6.3.5 设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

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

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

处理。

（8）患者出院的管理要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），^{131}I 治疗的患者出院管理要求如下：

接受 ^{131}I 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至 400MBq 或距离患者体表 1m 处的周围剂量当量率不大于 25μSv/h 方可出院，以控制该患者家庭与公众成员可能受到的照射。

7.3.3 放射治疗机房评价标准

（1）工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相关规定，放疗科机房屏蔽体外剂量率控制水平要求如下：

6.1.4 剂量控制应符合以下要求:

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

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

机房外辐射工作人员：$\dot{H}_c$≤100μSv/周；

机房外非辐射工作人员：$\dot{H}_c$≤5μSv/周。

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

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

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

b）穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量 250μSv 加以控制。

c）对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30cm 处

的剂量率参考控制水平可按 100μSv/h 加以控制可在相应位置处设置辐射告示牌）。

表 7.3-5　加速器机房周围各关注点剂量率控制水平

关注点			使用因子 U	居留因子 T	t h/周	$\dot{H}_c$ μSv/周	$\dot{H}_{c,d}$ μSv/h	$\dot{H}_{c,max}$ μSv/h	$\dot{H}_c$ μSv/h
1号加速器机房	a	北墙主屏蔽区外 30cm（TOMO 机房）	1	1/2	6.25	5	1.60	10	1.60
	b	南墙主屏蔽区外 30cm（加速器机房 2）	1	1/2	6.25	5	1.60	10	1.60
	c	北墙次屏蔽区外 30cm（TOMO 机房）	1	1/2	6.25	5	1.60	10	1.60
	d	南墙次屏蔽区外 30cm（加速器机房 2）	1	1/2	6.25	5	1.60	10	1.60
	e	东侧墙体外 30cm（地下车库）	1	1/16	6.25	5	12.80	10	10.00
	f	迷路外墙外 30cm（控制室）	1	1	6.25	100	16.00	2.5	2.50
	k	迷路外墙外 30cm（辅助机房）	1	1/16	6.25	5	12.80	10	10.00
	g	防护门外 30cm（准备室）	1	1/8	6.25	5	6.40	10	6.40
	l	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处（规划公园绿地）	1	1/16	6.25	5	12.8	2.5*	2.50
	m	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处（规划公园绿地）	1	1/16	6.25	5	12.80	2.5*	2.50
4号加速器机房	b1	南墙主屏蔽区外 30cm（射波刀机房）	1	1/2	6.25	5	1.60	10	1.60
	d1	南墙次屏蔽区外 30cm（射波刀机房）	1	1/2	6.25	5	1.60	10	1.60
注*：考虑到该规划公园绿地尚未进行建设，具体平面布局尚未可知，故$\dot{H}_{c,max}$保守按照 2.5μSv/h 考虑，下同。									

表 7.3-6　TOMO 机房周围各关注点剂量率控制水平

关注点			使用因子 U	居留因子 T	t h/周	$\dot{H}_c$ μSv/周	$\dot{H}_{c,d}$ μSv/h	$\dot{H}_{c,max}$ μSv/h	$\dot{H}_c$ μSv/h
TOMO 机房	a	北墙外 30cm（检修间）	1	1/16	12.5	5	6.40	10	6.40
	b	南墙外 30cm（1 号加速器机房）	1	1/2	12.5	5	0.80	2.5	0.80
	d	南墙外 30cm（1 号加速器机房）	1	1/2	12.5	5	0.80	2.5	0.80
	e	东墙外 30cm（地下车库）	1	1/16	12.5	5	6.40	10	6.40
	f	迷路外墙外 30cm（控制室）	1	1	12.5	100	8.00	2.5	2.50
	k	迷路外墙外 30cm（设备间）	1	1/16	12.5	5	6.40	10	6.40
	g	防护门外 30cm（准备室）	1	1/8	12.5	5	3.20	10	3.20

	l	顶棚主屏蔽区地面上30cm 处（规划公园绿地）	1	1/16	12.5	5	6.40	2.5	2.50

表 7.3-7　射波刀机房周围各关注点剂量率控制水平

关注点			使用因子 U	居留因子 T	t h/周	$\dot{H}_c$ μSv/周	$\dot{H}_{c,d}$ μSv/h	$\dot{H}_{c,max}$ μSv/h	$\dot{H}_c$ μSv/h
射波刀机房	a	北墙主屏蔽区外 30cm（4 号加速器机房）	0.05	1/2	33.4	5	6	10	6
	b	南墙外 30cm（磁共振加速器机房）	0.05	1/2	33.4	5	6	10	6
	c	北侧次屏蔽区外 30cm（4 号加速器机房）	0.05	1/2	33.4	5	6	10	6
	e	东侧墙体外 30cm（地下车库）	0.05	1/16	33.4	5	48	10	10
	f	迷路外墙外 30cm（控制室）	0.05	1	33.4	100	60	2.5	2.5
	k	迷路外墙外 30cm（设备间）	0.05	1/16	33.4	5	48	10	10
	g	防护门外 30cm（准备室）	0.05	1/8	33.4	5	24	10	10
	l	顶棚地面上 30cm 处（规划公园绿地）	0.05	1/16	33.4	5	48	2.5	2.50
注：根据 GBZ/T201.2-2011 中 D3.3.1“各面均按有用线束（U<0.05）考虑机房屏蔽”，因此各关注点使用因子均取 0.05。									

表 7.3-8　磁共振加速器机房周围各关注点剂量率控制水平

关注点			使用因子 U	居留因子 T	t h/周	$\dot{H}_c$ μSv/周	$\dot{H}_{c,d}$ μSv/h	$\dot{H}_{c,max}$ μSv/h	$\dot{H}_c$ μSv/h
磁共振加速器机房	a	北墙外 30cm（射波刀机房）	1	1/2	12.5	5	0.80	10	0.80
	b	南墙外 30cm（楼道）	1	1/16	12.5	5	6.40	10	6.40
	e	东墙外 30cm（预留设备用房）	1	1/16	12.5	5	6.40	10	6.40
	f	西墙外 30cm（控制室）	1	1	12.5	5	8.00	2.5	2.50
	k	西墙外 30cm（控制室）	1	1	12.5	100	8.00	2.5	2.50
	g	防护门外 30cm（准备室）	1	1/8	12.5	5	3.20	10	3.20
	l	顶棚地面上 30cm 处（规划公园绿地）	1	1/16	12.5	5	6.40	2.5	2.50

表 7.3-9　后装机房周围各关注点剂量率控制水平

关注点			使用因子 U	居留因子 T	t h/周	$\dot{H}_c$ μSv/周	$\dot{H}_{c,d}$ μSv/h	$\dot{H}_{c,max}$ μSv/h	$\dot{H}_c$ μSv/h
后装机	a	北墙外30cm处（走廊）	1	1/4	7.5	5	2.67	10	2.67
	b	南墙外 30cm（准备室）	1	1/16	7.5	5	10.67	10	10
	e	东墙外 30cm（走廊）	1	1/4	7.5	5	2.67	10	2.67

房	k	西墙外 30cm（下沉庭院）	1	1/16	7.5	5	10.67	10	10
	f	西墙外 30cm（控制室）	1	1	7.5	100	13.33	2.5	2.5
	g	防护门外 30cm（缓冲间）	1	1/8	7.5	5	5.33	10	5.33
	l	顶棚地面上 30cm 处（规划公园绿地）	1	1/16	7.5	5	10.67	2.5	2.50

（2）辐射工作场所分区

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），控制区和监督区分区原则如下：

5.2 分区原则

5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应确定为临时控制区。

5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

（3）辐射工作场所布局要求

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），放射治疗机房布局要求如下：

6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端;放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。

6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区;其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。

6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室,尽可能避开被有用线束直接照射。

6.1.6X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路；γ 刀治疗

设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路;其他治疗机房均应设置迷路。

（4）辐射工作场所安全防护要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），放射治疗机房安全设施和措施要求如下：

6.2.1 放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等；

a）放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志，贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明；

b）放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯；

c）控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统。

6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。

6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施：

a）放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门—机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束 /出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；

b）放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；

c）放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；

f）安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

（5）通风要求

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

（6）放射性废物管理要求

8.2.2.1 质子/重离子加速器、直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如活化后的回旋加速器、准直器、束流阻止器及加速器靶等组成部件，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固态废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。

8.2.2.2 低水平的活化部件如质子/重离子加速器治疗头器件、磁铁等，以及处理质子/重离子加速器冷却水的废树脂，集中放置在固态废物暂存间暂存衰变，经衰变后仍超出清洁解控水平的（放射性废物豁免的活度、活度浓度见附录 B）送交有资质的单位收贮。

8.2.2.3 建立放射性固态废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率)、监测日期、去向等相关信息，低于清洁解控水平的可作为一般固态废物处置，并做好存档记录。

7.3.5 放射诊断工作场所评价标准

（1）机房外剂量率控制水平

DSA 机房、ERCP 机房、CT 机房（包括 CT 模拟定位机、PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房、DSA 复合手术室、CT 复合手术室）以及钼靶机房屏蔽体剂量率控制水平参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关规定：机房外周围剂量当量率水平不大于 2.5μSv/h；DR 机房外的周围剂量当量率水平不大于 25μSv/h。

（2）机房建设要求

DSA 机房、ERCP 机房 CT 机房（包括 CT 模拟定位机、PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房、DSA 复合手术室、CT 复合手术室）以及 DR 机房、钼靶机房有效使用面积及最小单边长详见表 7.3-10，机房屏蔽要求详见表 7.3-11，个人防护用品及辅助用品配置要求详见表 7.3-12。

表 7.3-10 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 [d] m^2	机房内最小单边长度 [e] m
CT 机（不含头颅移动 CT）	**30**	**4.5**
单管头 X 射线设备 [b] (含 C 形臂，乳腺 CBCT)	**20**	**3.5**

乳腺机	**10**	**2.5**

[a] 双管头或多管头X射线设备的所有管球安装在同一间机房内。
[b] 单管头、双管头或多管头X射线设备的每个管球各安装在1个房间内。
[d] 机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。
[e] 机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

表 7.3-11 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
标称 125kV 以上的摄影机房	**3.0**	**2.0**
标称 125kV 及以下的摄影机房	**2.0**	**1.0**
C 型臂 X 射线设备机房	**2.0**	**2.0**
透视机房、骨密度仪机房、口内牙片机房、牙科全景机房（无头颅摄影）、碎石机房、模拟定位机房、乳腺摄影机房、乳腺 CBCT 机房	**1.0**	**1.0**
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	**2.5**	

表 7.3-12 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	—
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/ 床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	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	—

注1：“—”表示不做要求。
注2：各类个人防护用品和辅助防护设施，指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品，特别是非铅介入防护手套。

7.3.6 参考资料

《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》，刘明、王承保。辐射防护，1993 年第 13 卷第 2 期。

表 7.3-13 江苏省环境天然γ辐射水平（单位：nGy/h）

	原野γ辐射剂量率	道路γ辐射剂量率	室内γ辐射剂量率
范围	33.1～72.6	18.1-102.3	50.7～129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差（s）	7.0	12.3	14.0

根据上表，本报告取江苏省环境天然贯穿辐射水平调查结果中的“均值±3 倍标准差”为评价参考范围，即原野γ辐射剂量率参考范围取（50.4±21.0）nGy/h，道路γ辐射剂量率参考范围取（47.1±36.9）nGy/h，室内γ辐射剂量率参考范围取（89.2±42.0）nGy/h。

7.3.6 本次核技术利用项目限值及控制要求汇总

表 7.3-14　核医学科限值及控制要求汇总

工作场所	机房要求	剂量率控制水平	工作场所放射性表面污染控制水平			放射性废液浓度控制水平	放射性固废剂量率控制水平/表面污染控制水平
			位置	控制区	监督区		
核医学科和小动物核医学实验中心	SPECT/CT 机房和 PET/CT 机房最小有效使用面积不小于 30m^2，最小单边长度不小于 4.5m，机房屏蔽防护铅当量不小于 2.5mmPb	控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h。放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等屏蔽结构外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。放射性药物合成和分装的箱体非正对人员操作位外表面 30cm 处周围剂量当量率小于 25μSv/h	工作台、设备、墙壁、地面	极毒性α放射性物质不大于 4Bq/cm^2、其他α放射性物质不大于 40Bq/cm^2；β放射性物质不大于 40Bq/cm^2	极毒性α放射性物质不大于 0.4Bq/cm^2、其他α放射性物质不大于 4Bq/cm^2；β放射性物质不大于 4Bq/cm^2	放射性废液最高允许排放浓度 总α不大于 1.0Bq/L，总β不大于 10Bq/L，^{131}I 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L	辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm^2
			手、皮肤、内衣、工作袜	β放射性物质不大于 4×10^{-1} Bq/cm^2			
标准依据	《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）			《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

表 7.3-15　放疗科限值及控制要求汇总

工作场所	机房要求		剂量率控制水平	
	直线加速器机房、TOMO 机房、射波刀机房、磁共振加速器机房、后装机房	CT 模拟定位机房	直线加速器机房、TOMO 机房、射波刀机房、磁共振加速器机房、后装机房	CT 模拟定位机房
放疗科各放射治疗机房	放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要	最小有效使用面积不小于 30m^2，最小单边长度不小于 4.5m 机房屏蔽防护铅当量不小于 2.5mmPb 设置动力通风装置	周围剂量当量率不大于参考控制水平要求	屏蔽体外关注点周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h

标准依据	《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）	《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）	《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

表 7.3-16　介入手术项目限值要求汇总

工作场所	机房要求				剂量率控制水平
	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上三层 DSA 机房 1~4	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上四层 DSA 复合手术室	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上四层 CT 复合手术室	综合楼 A 楼门诊（A1 区）地上四层内镜中心 ERCP 机房	
各射线装置机房	最小有效使用面积不小于 20m²，最小单边长度不小于 3.5m	最小有效使用面积不小于 30m²，最小单边长度不小于 4.5m	最小有效使用面积不小于 30m²，最小单边长度不小于 4.5m	最小有效使用面积不小于 20m²，最小单边长度不小于 3.5m	屏蔽体外关注点周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h
	有用线束方向屏蔽防护铅当量不小于 3.0mmPb，非有用线束方向屏蔽防护铅当量不小于 2.0mmPb	有用线束方向屏蔽防护铅当量不小于 3.0mmPb，非有用线束方向屏蔽防护铅当量不小于 2.5mmPb	机房屏蔽防护铅当量不小于 2.5mmPb	有用线束方向屏蔽防护铅当量不小于 2.0mmPb，非有用线束方向屏蔽防护铅当量不小于 2.0mmPb	
	设置动力通风装置	设置动力通风装置	设置动力通风装置	设置动力通风装置	
标准依据	《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）				

表 7.3-17　放射诊断项目限值要求汇总

工作场所	机房要求			剂量率控制水平
	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 DR 机房 1~4	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科钼靶机房 1-2	综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 CT 机房 1-6	
各射线装置机房	最小有效使用面积不小于 20m²，最小单边长度不小于 3.5m	最小有效使用面积不小于 10m²，最小单边长度不小于 2.5m	最小有效使用面积不小于 30m²，最小单边长度不小于 4.5m	钼靶机房和 CT 机房屏蔽体外关注点周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h，DR 机房屏蔽体外关注点周围剂量当量率不大于 25μSv/h
	有用线束方向铅当量为 2mmPb，非有用线束方向铅当量为 1mmPb	有用线束方向铅当量为 1mmPb，非有用线束方向铅当量为 1mmPb	有用线束及非有用线束方向铅当量均为 2.5mmPb	
	设置动力通风装置	设置动力通风装置	设置动力通风装置	
标准依据	《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）			

表 7.3-18　本项目人员受照剂量控制汇总

人员类型	年有效剂量限值	剂量约束值
职业人员	应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均）20mSv	不大于 5mSv/a
公众	实践使公众中有关关键人群的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：年有效剂量，1mSv	不大于 0.1mSv/a
标准依据	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

（1）项目地理位置

新北区人民医院项目选址位于江苏省常州市新北区新桥街道，长江路以西、乐山路以东、嫩江路以北、新科中路以南地块，项目地理位置见附图 1。目前项目处于基础建设阶段，项目场址现状情况见图 8.1-1。





图 8.1-1　项目场址现状图

（2）场所位置

本项目核医学科、放疗科均设在住院楼 C 楼地下一层，小动物核医学实验中心设在综合楼 A 楼教学科研（A3 区）地上四层，介入手术项目 4 间 DSA 机房设在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上三层，介入手术项目 DSA 复合手术室、CT 复合手术室设在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上四层，内镜中心 ERCP 机房设在综合楼 A 楼门诊（A1 区）地上四层，放射诊断项目设在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科。核医学科两套衰变池设在住院楼 C 楼地下二层，小动物核医学实验中心一套衰变池设在综合楼 A 楼教学科研（A3 区）地下一层。具体位置见附图 3、附图 4、附图 6、附图 8 和附图 9。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

（1）环境现状评价对象：拟建辐射项目地块

（2）监测因子：γ辐射剂量率、α表面污染、β表面污染、中子剂量当量率

（3）监测点位：本项目拟建的所有辐射工作场所尚未建设完成，环境状况较为单一。考虑兼顾点位现状可到达性的条件下，在项目所在地块均匀布设监测点，并且在地块边界及周围环境状况不一致的区域布设监测点。



图 8.2-1 本项目监测点位示意图

8.3 监测方案、质量保证措施及监测结果

8.3.1 监测方案

①监测单位：浙江建安检测研究院有限公司

②监测日期：2025 年 7 月 16 日

③监测方式：现场检测

④监测依据：《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《表面污染测定 第 1 部分：β发射体（Eβmax＞0.15MeV）和α发射体》（GB/T 14056.1-2008）

⑤监测频次：依据标准予以确定

⑥监测工况：辐射环境本底

⑦天气环境条件：天气：阴；温度：33℃；相对湿度：65%RH

⑧监测设备

表 8.3-1 X、γ辐射剂量当量率仪

仪器名称	X、γ辐射剂量当量率仪
仪器型号	FH40G-L10+FHZ672E-10
生产厂家	Thermo SCIENTITIC
仪器编号	05035404
能量范围	30keV～4.4MeV
量　程	主机：10nSv/h～100mSv/h；探头：1nSv/h～100μSv/h
检定/校准单位	上海市计量测试技术研究院，华东国家计量测试中心
检定证书	2025H21-20-5778968001
检定有效期	2025 年 03 月 13 日～2026 年 03 月 12 日
校准证书	2025H21-10-5778968002
校准日期	2025 年 03 月 13 日

表 8.3-2 α、β表面污染仪

仪器名称	α、β表面污染仪
仪器型号	CoMo 170
生产厂家	S.E.A.
仪器编号	05034714
探测器灵敏窗面积	170cm2
探测器本底	α:0.1CPS；β:15～25CPS
检定单位	上海市计量测试技术研究院，华东国家计量测试中心
检定证书	2025H21-20-5721628003
检定有效期	2025 年 01 月 22 日～2026 年 01 月 21 日

表 8.3-3 中子剂量当量仪

仪器名称	中子剂量当量仪
仪器型号	LB134
生产厂家	德国伯托

仪器编号	05038076
能量范围	热中子～20 MeV
量　程	30 nSv/h～100 mSv/h
检定单位	中国计量科学研究院
检定证书	DLjs2024-03420
检定有效期	2024 年 09 月 09 日～2025 年 09 月 08 日

8.3.2 质量保证措施

①本项目监测单位为浙江建安检测研究院有限公司，具有中国国家认证认可监督管理委员会颁发的资质认定计量认证证书、质量管理体系认证及环境管理体系认证，并在允许范围内开展工作和出具有效的监测报告，保证了监测工作的合法性和有效性；

②采用国家有关部门颁布的监测标准方法，每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

③监测仪器每年定期经计量部门检定或校准，符合要求后方可使用。

④监测实行全过程的质量控制，严格按照浙江建安检测研究院有限公司《质量手册》《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行，监测人员经培训、考核合格后上岗。

⑤监测报告严格实行三级审核制度，经校核、审核，最后由授权签字人审定。

8.3.3 监测结果

本项目辐射环境各监测点位的监测结果见表 8.3-4~表 8.3-6。

表 8.3-4　本项目场地γ辐射水平监测结果

监测点编号	测量位置	监测结果（nGy/h）	备注
1#	项目所在地块点位 1	42.2±0.4	道路
2#	项目所在地块点位 2	42.9±0.4	道路
3#	项目所在地块点位 3	41.5±0.5	道路
4#	项目所在地块点位 4	36.1±0.5	道路
5#	项目所在地块点位 5	34.4±0.5	道路
6#	项目所在地块点位 6	34.0±0.7	道路
7#	项目所在地块点位 7	29.8±0.7	道路
8#	项目所在地块点位 8	33.9±0.5	道路
9#	项目所在地块点位 9	36.5±0.5	道路
10#	项目所在地块点位 10	45.3±0.7	道路
11#	项目所在地块点位 11	49.9±0.2	道路
12#	项目所在地块点位 12	58.6±0.4	道路

13#	项目所在地块点位 13	62.6±0.4	道路
14#	项目所在地块点位 14	56.0±0.5	道路
15#	项目所在地块点位 15	51.1±0.4	道路
16#	项目所在地块点位 16	36.8±0.4	道路
17#	项目所在地块点位 17	52.8±0.4	原野
18#	项目所在地块点位 18	56.8±0.5	原野
19#	项目所在地块点位 19	62.3±0.2	原野
20#	项目所在地块点位 20	60.7±0.6	原野
21#	项目所在地块点位 21	51.8±0.3	原野
22#	项目所在地块点位 22	42.4±0.4	原野
23#	地块北侧：农田	37.6±0.2	原野
24#	地块北侧：农田	41.4±0.3	原野
25#	地块东侧：农田	40.4±0.3	原野
26#	地块东侧：农田	43.2±0.3	原野
27#	地块东侧：姜巢家塘零星住宅	35.7±0.3	道路
28#	地块南侧：新四河岸边	50.9±0.3	道路
29#	地块南侧：新四河岸边	53.4±0.3	道路
30#	嫩江路	54.6±0.3	道路
31#	常州旅游商贸高等职业技术学校在建工地	47.1±0.3	道路
32#	常州旅游商贸高等职业技术学校北门	49.9±0.3	道路
33#	地块西侧：绿化带	37.7±0.3	道路
34#	地块西侧：绿化带	36.6±0.2	道路
35#	乐山路	34.7±0.3	道路
36#	常州市第二工人文化宫在建工地	45.1±0.3	道路
37#	地块西北侧：农田	51.8±0.3	原野
38#	地块西南侧：规划住宅用地	39.5±0.3	道路
39#	局前街小学新龙湖分校东门	42.6±1.1	道路

注：1.测量时探头距离地面约 1m；
2.每个监测点测量 10 个数据取平均值，以上监测结果均已扣除仪器对宇宙射线的响应值；
3.环境γ辐射空气吸收剂量率=仪器读数平均值×仪器校准因子 k_1×仪器检验源效率因子 k_2÷空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子 k_3×测量点宇宙射线响应值 Dc，校准因子 k_1 为 1.14，仪器使用 ^{137}Cs 进行校准，效率因子 k_2 取 1，换算系数为 1.20Sv/Gy，k_3 楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1，测量点宇宙射线的响应值为 12.3nGy/h（监测地址：宁波东钱湖湖心水面，监测时间：2024 年 9 月 11 日）。

表 8.3-5　本项目场地α、β表面污染监测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果（Bq/cm²）	
		α表面污染	β表面污染
1#	项目所在地块点位 1	＜0.01	＜0.06
2#	项目所在地块点位 2	＜0.01	＜0.06
3#	项目所在地块点位 3	＜0.01	＜0.06
4#	项目所在地块点位 4	＜0.01	＜0.06

5#	项目所在地块点位 5	＜0.01	＜0.06
6#	项目所在地块点位 6	＜0.01	＜0.06
7#	项目所在地块点位 7	＜0.01	＜0.06
8#	项目所在地块点位 8	＜0.01	＜0.06
9#	项目所在地块点位 9	＜0.01	＜0.06
10#	项目所在地块点位 10	＜0.01	＜0.06
11#	项目所在地块点位 11	＜0.01	＜0.06
12#	项目所在地块点位 12	＜0.01	＜0.06
13#	项目所在地块点位 13	＜0.01	＜0.06
14#	项目所在地块点位 14	＜0.01	＜0.06
15#	项目所在地块点位 15	＜0.01	＜0.06
16#	项目所在地块点位 16	＜0.01	＜0.06
17#	项目所在地块点位 17	＜0.01	＜0.06
18#	项目所在地块点位 18	＜0.01	＜0.06
19#	项目所在地块点位 19	＜0.01	＜0.06
20#	项目所在地块点位 20	＜0.01	＜0.06
21#	项目所在地块点位 21	＜0.01	＜0.06
22#	项目所在地块点位 22	＜0.01	＜0.06
23#	地块北侧：农田	＜0.01	＜0.06
24#	地块北侧：农田	＜0.01	＜0.06
25#	地块东侧：农田	＜0.01	＜0.06
26#	地块东侧：农田	＜0.01	＜0.06
27#	地块东侧：姜巢家塘零星住宅	＜0.01	＜0.06
28#	地块南侧：新四河岸边	＜0.01	＜0.06
29#	地块南侧：新四河岸边	＜0.01	＜0.06
30#	嫩江路	＜0.01	＜0.06
31#	常州旅游商贸高等职业技术学校在建工地	＜0.01	＜0.06
32#	常州旅游商贸高等职业技术学校北门	＜0.01	＜0.06
33#	地块西侧：绿化带	＜0.01	＜0.06
34#	地块西侧：绿化带	＜0.01	＜0.06
35#	乐山路	＜0.01	＜0.06
36#	常州市第二工人文化宫在建工地	＜0.01	＜0.06
37#	地块西北侧：农田	＜0.01	＜0.06
38#	地块西南侧：规划住宅用地	＜0.01	＜0.06
39#	局前街小学新龙湖分校东门	＜0.01	＜0.06

注 1.每个监测点测量 10 个数据取平均值；
2.CoMo 170 型α、β表面污染仪/05034714 的α表面污染探测下限为 0.01Bq/cm^2，β表面污染探测下限为 0.06Bq/cm^2。

表 8.3-6　本项目场地中子剂量当量率监测结果

监测点编号	测量位置	监测结果（μSv/h）	备注

1#	项目所在地块点位 1	＜0.06	道路
2#	项目所在地块点位 2	＜0.06	道路
3#	项目所在地块点位 3	＜0.06	道路
4#	项目所在地块点位 4	＜0.06	道路
5#	项目所在地块点位 5	＜0.06	道路
6#	项目所在地块点位 6	＜0.06	道路
7#	项目所在地块点位 7	＜0.06	道路
8#	项目所在地块点位 8	＜0.06	道路
9#	项目所在地块点位 9	＜0.06	道路
10#	项目所在地块点位 10	＜0.06	道路
11#	项目所在地块点位 11	＜0.06	道路
12#	项目所在地块点位 12	＜0.06	道路
13#	项目所在地块点位 13	＜0.06	道路
14#	项目所在地块点位 14	＜0.06	道路
15#	项目所在地块点位 15	＜0.06	道路
16#	项目所在地块点位 16	＜0.06	道路
17#	项目所在地块点位 17	＜0.06	原野
18#	项目所在地块点位 18	＜0.06	原野
19#	项目所在地块点位 19	＜0.06	原野
20#	项目所在地块点位 20	＜0.06	原野
21#	项目所在地块点位 21	＜0.06	原野
22#	项目所在地块点位 22	＜0.06	原野
23#	地块北侧：农田	＜0.06	原野
24#	地块北侧：农田	＜0.06	原野
25#	地块东侧：农田	＜0.06	原野
26#	地块东侧：农田	＜0.06	原野
27#	地块东侧：姜巢家塘零星住宅	＜0.06	道路
28#	地块南侧：新四河岸边	＜0.06	道路
29#	地块南侧：新四河岸边	＜0.06	道路
30#	嫩江路	＜0.06	道路
31#	常州旅游商贸高等职业技术学校在建工地	＜0.06	道路
32#	常州旅游商贸高等职业技术学校北门	＜0.06	道路
33#	地块西侧：绿化带	＜0.06	道路
34#	地块西侧：绿化带	＜0.06	道路
35#	乐山路	＜0.06	道路
36#	常州市第二工人文化宫在建工地	＜0.06	道路
37#	地块西北侧：农田	＜0.06	原野
38#	地块西南侧：规划住宅用地	＜0.06	道路

39#	局前街小学新龙湖分校东门	＜0.06	道路
注：1.每个监测点测量 10 个数据取平均值； 2.LB134 型中子剂量当量仪/05038076 的探测下限为 0.06μSv/h。			

8.4 环境现状评价

根据表 8.3-4 可知，本项目拟建场地道路γ辐射水平在 29.8±0.7nGy/h~62.6±0.4nGy/h 之间，原野γ辐射水平在 37.6±0.2nGy/h~62.3±0.2nGy/h 之间。由江苏省环境天然放射性水平调查测量结果可知，江苏省道路γ辐射水平在 47.1±36.9nGy/h 之间，江苏省原野γ辐射水平在 50.4±21.0nGy/h 之间，可见本项目拟建辐射工作场所及周围 X-γ辐射剂量率基本处于当地本底水平范围之内。

根据表 8.3-5 和表 8.3-6 可知，本项目拟建场地α、β表面污染和中子剂量当量率监测结果均低于仪器的探测下限，未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 核医学科

在住院楼C楼地下一层建设核医学科，核医学辐射工作场所相对独立，其中核医学科范围内北侧设置核素门诊显像诊断区域，南侧设置核素治疗区域。本项目核医学科北侧（核素门诊显像诊断区域）拟使用 ^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr共 4 种核素开展PET/CT和PET/MR显像诊断，其中 ^{68}Ga由医院购买锗镓发生器淋洗标记；在核医学科北侧（核素门诊显像诊断区域）使用 ^{99m}Tc、^{123}I核素开展SPECT/CT显像诊断；在核医学科南侧（核素治疗区域）使用 ^{89}Sr和 ^{223}Ra核素用于骨转f移治疗，使用 ^{225}Ac核素用于前列腺癌治疗，使用 ^{227}Th核素用于肿瘤靶向α治疗，使用 ^{131}I核素用于甲状腺摄碘率测定、甲亢治疗及甲癌治疗，使用 ^{177}Lu核素用于前列腺癌治疗，拟使用 ^{90}Sr-^{90}Y敷贴源用于敷贴治疗。

9.1.1.1PET/CT 诊断项目

（1）设备组成

PET（Positron Emission Tomography，正电子发射断层扫描）的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，借此诊断疾病，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 的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。探测系统是整个正电子发射显像系统中的主要部分，它采用的块状探测结构有利于消除散射、提高计数率。许多块结构组成一个环，再由数十个环构成整个探测器。

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，CT 提供精细的解剖和病理信息，通过融合技术，一次诊断即可获得疾病的病理生理变化和形态学改变。

PET/MR 是将 PET 与 MR 联合在一起组成的大型功能代谢与分子影像诊断设备，

扫描过程中 PET 对进入体内的正电子核素进行扫描并显像，可获得代谢显像，而 MR 可对 PET 图像做放射性的衰减校正，提供解剖学和组织学特征，两者结合可以看到组织功能和新陈代谢，提供比传统成像方式更优质的影像结果。系统还可以分别收集 PET 和 MR 影像。

（2）工作原理

PET/CT 和 PET/MR 的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，借此诊断疾病，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。

（3）诊疗规划及工作方式

PET 诊断项目正式开展后，使用 1 台 PET/CT 和 1 台 PET/MR 开展工作，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h，共规划使用 ^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr 共 4 种核素进行显像诊断。^{18}F 显像诊断每日最多 30 人，^{64}Cu、^{89}Zr 显像诊断每日最多 1 人，^{68}Ga 显像诊断每日最多 3 人。PET/CT 每日最多扫描 25 人，PET/MR 每日最多扫描 10 人。

表 9.1.1.1-1　PET 诊断项目诊疗规划

使用核素	物理状态	日最大诊疗量（人次）	年最大诊疗量（人次）	单次最大使用量	给药方式	来源
^{18}F	液体	30	7500	3.70E+08Bq（10mCi）	静脉注射	外购药物，自动分装
^{64}Cu	液体	1	250	3.70E+08Bq（10mCi）	静脉注射	外购单支成品药物
^{68}Ga	液体	3	750	3.70E+08Bq（10mCi）	静脉注射	锗镓发生器淋洗标记
^{89}Zr	液体	1	250	3.70E+08Bq（10mCi）	静脉注射	外购单支成品药物

（4）工艺流程与产污环节

订药：PET 诊断用的放射性核素 ^{18}F、^{64}Cu、^{89}Zr 均为外购罐装成品药物，^{68}Ga 为外购锗镓发生器进行淋洗（流程见“9.1.1.2 锗镓发生器淋洗 ^{68}Ga”）。医院根据临床诊断所需用药量、患者预约情况，提前向放射性核素供应单位订购药品，在约定的时间由药物供应单位负责运送至核医学科，安排专人接收放射性核素，经确认无误完成

相关交接、登记手续后，暂存在储源室内。

注射给药：工作人员在操作放射性药物前应穿戴相应防护用品，规范佩戴个人剂量计。放射性药物注射前由分装人员在 PET 专用分装注射室内的手套箱内进行分装、测活等工作，并在铅屏蔽窗的屏蔽下为患者注射。医护人员提前为患者做好留置针，这样可以节省注射时间。

诊断：根据工作人员语音指导和地面引导标识，患者注射放射性药物后在相应 PET 注射后候诊室内候诊，候诊 30-60min、待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 PET/CT 机房或 PET/MR 机房扫描。技师在控制廊内进行语音提示摆位，必要时进入机房指导，摆位不超过 1min、完成后离开机房返回控制廊。技师隔室操作对患者进行 PET 扫描诊断，其中 PET/CT 扫描约 15min，PET/MR 扫描约 30min。扫描完成后，患者离开机房按需进入 PET 留观室内留观，留观结束后由专用检查出口离开。

PET 诊断工艺流程与产污环节分析示意图具体如下。

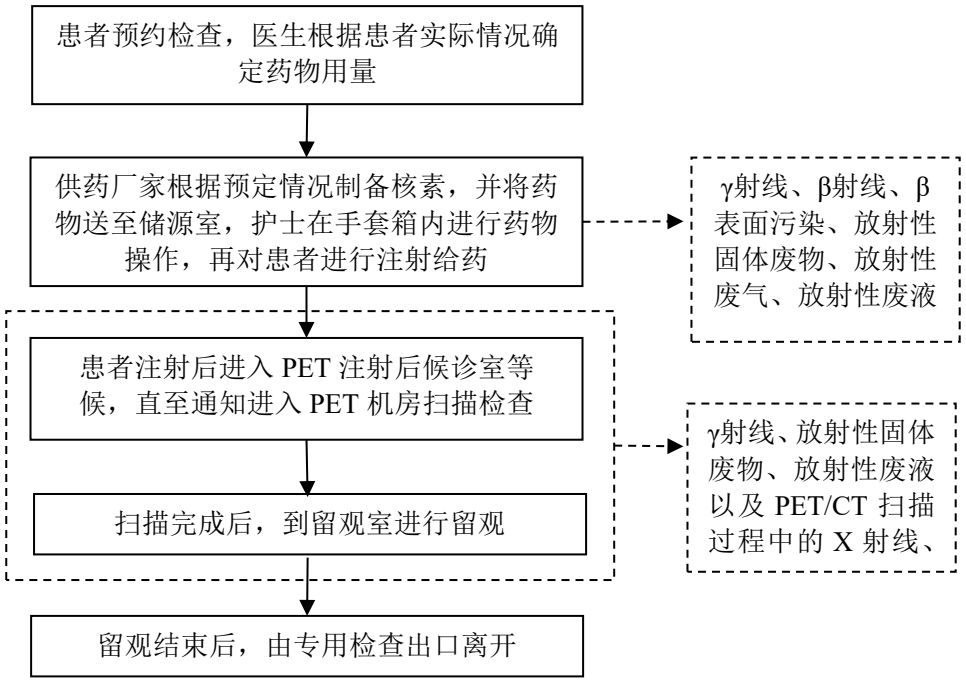


图 9.1.1.1-1　PET 诊断工艺流程及产污环节分析示意图

因此，PET 显像诊断项目污染因子是：γ射线、β射线、β表面污染、放射性废气、放射性废液、放射性固废，PET/CT 扫描过程中的 X 射线、臭氧、氮氧化物。

9.1.1.2 锗镓发生器淋洗 ^{68}Ga

PET 诊断用的放射性核素 ^{68}Ga 为外购锗镓发生器进行淋洗。单个发生器规格为 1.85E+09Bq（50mCi），每天淋洗 1 次，据厂家提供资料（具体见附件 8）可知，首

次淋洗率≥80%、长期≥70%，故本项目锗镓发生器淋洗效率整体取 70%，则 ^{68}Ga 的日最大操作量为 1.85E+09*0.7=1.295E+09Bq（35mCi），其中 1.11E+09Bq（30mCi）用于核医学科，1.85E+08（5mCi）用于动物核医学实验中心，能够满足本项目需求。

（1）组成及工作原理

^{68}Ga 由硅基玻璃吸附剂柱（以 SnO_2 或 TiO_2 用来吸附 ^{68}Ge）上吸附的 ^{68}Ge 不断裂变产生，^{68}Ga 并不被吸附剂柱吸附，当加入适当的淋洗剂（无菌超纯 0.1M 高纯盐酸）时，^{68}Ga 便以 $^{68}Ga^{3+}Cl$ 的形式被淋洗出来。按规定量的淋洗液，连接在发生器的进口，以规定速度匀速淋洗，在出口处用装于防护铅罐内的西林瓶接收淋洗液，淋洗完毕后转入合成模块，合成完毕的药物进行分装。^{68}Ge-^{68}Ga 发生器属于色谱柱型发生器，基本部件是硅基玻璃吸附剂柱、淋洗系统和用于保护工作人员的辐射屏蔽套。^{68}Ge-^{68}Ga 发生器拟从具备发生器销售资质的公司直接购买 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器为成熟产品，具有良好的辐射屏蔽。



图 9.1.1.2-1　锗镓发生器整体外观示意图

（2）工艺流程与产污环节

检查药盒的完整性：发生器从生产厂家购入后即进入储源室内存放，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，厂家药品名是否不符。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。

^{68}Ga 淋洗：锗镓发生器暂存在储源室，淋洗前连同储源铅罐（40mmPb）转移至 PET 专用分装注射室，在手套箱内即可对发生器进行淋洗操作。具体的淋洗操作如下：

①准备：准备 5ml 0.1M 盐酸溶液、一次性压力延长管、无菌注射剂、无菌注射针、一次性无菌三通旋塞、无菌空气滤头、无菌瓶（置入 20mmPb 铅制的防护罐中）。

打开锗镓发生器顶部的铅屏蔽保护盖，手动拧下发生器进口和出口的鲁尔锁帽，将发生器的出口鲁尔接头与一次性压力延长管相连，延长管另一端连接无菌注射针，并插入无菌瓶中，无菌瓶再插入一个无菌注射针（用作排气针，排气针头需与排液针头有高位差，防止淋洗液直接从排气针排出）。

发生器的进口鲁尔接头与一次性压力延长管相连，压力延长管连接无菌三通阀，三通阀中间通气口连接无菌空气滤头，另一端接口连接 10ml 无菌注射器。

②淋洗：移取 5ml 0.1M 盐酸溶液至 10ml 注射器中，三通连通发生器进口，缓慢压注至发生器中。旋转三通阀旋钮，连通注射器和无菌滤头方向，吸取 10ml 空气。旋转三通阀旋钮，连通注射器和发生器进口，缓慢压注空气，排空发生器中淋洗溶液，重复一至两次，收集溶液至铅罐内的无菌瓶中，即为淋洗所得的 ^{68}Ga。整个淋洗过程约 5min。

淋洗结束后，拆卸延长管，使用鲁尔锁帽密封发生器进口、出口，关闭锗镓发生器顶部的铅屏蔽保护盖。

^{68}Ge 装在锗镓发生器内，发生器内置厚约 40mmPb 的铅屏蔽层，在整个使用过程中 ^{68}Ge 都保持在发生器柱子里，使用后的柱子回收至发生器生产厂家，^{68}Ge 也就随发生器而被完全转移到厂家。据厂家提供资料（具体见附件 8）推算可知，在装有 50mCi 的发生器铅罐表面的γ剂量率小于 0.37mSv/h。

④测量活度：测量活度在手套箱内进行。使用镊子拔下无菌注射针，并盖上针帽，丢至放射性利器盒中。从铅罐中取出无菌瓶垂直放入活度计井中，测量其放射性活度，用时预计 1min。活度测量结束后，放回铅罐，盖上铅罐上盖待用。

⑤标记：标记过程在手套箱内进行，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手套箱。工作人员将已测量好活度的淋洗液迅速转移至药盒，并充分摇匀，稀释到预设体积，常温静置 5min。药物标记完成后，抽取至西林瓶内，放至铅防护罐内。

⑥质检：完成淋洗标记后均需进行放射性质检，质检项目主要包括：pH 值、性状检查、放射化学纯度等。

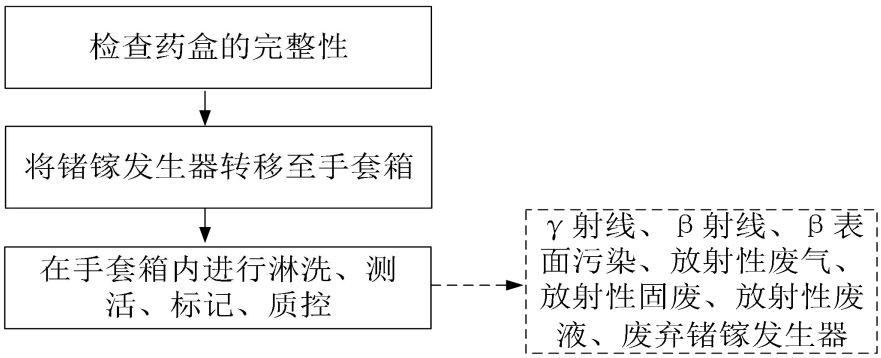


图 9.1.1.2-2　锗镓发生器淋洗 ^{68}Ga 工艺流程与产污环节示意图整体外观示意图

因此，锗镓发生器淋洗 ^{68}Ga 过程中的污染因子主要是γ射线、β射线、β表面污染、放射性废气、放射性废液、放射性固废、废弃锗镓发生器。

9.1.1.3PET 配套校准源

PET/CT 和 PET/MR 共配备 2 枚 5.55E+07Bq^{68}Ge 校准源和 1 枚 1.11E+08Bq^{68}Ge 校准源。密封校准源 ^{68}Ge 主要用于 PET 的能量及图像校准，3 枚 ^{68}Ge 校准源平常存放于核医学科储源室保险箱内。当 PET 图像空间位置不准确时，由专人从校准保险箱内取出，在 PET/CT 和 PET/MR 机房使用，一般每半年校准一次。工作人员将含密封校准源铅罐推至设备外挂放射源支架上，工作人员退出机房，设备进行校准。校准源使用过程中不产生放射性废物，图像配准及能量校准过程中释放出γ射线贯穿屏蔽层对操作人员产生影响甚微。

因此，^{68}Ge 校准源衰变放出γ射线，同时也会产生退役校准源。

9.1.1.4SPECT/CT 诊断项目

（1）设备组成

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

SPECT/CT 主要由三部分组成，即探头、旋转运动机架、计算机及其辅助设备。探头部分主要由准直器、晶体、光导、光电倍增管、模拟定位计算电路组成。SPECT/CT 自身带有一个 CT 球管，在 SPECT 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做出全面、准确的判断。

（2）工作原理

SPECT 其使用放射性核素进行诊断的基本原理是：受检者注射含放射性核素的药物，放射性核素在特定的器官或组织发射出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射线能力转换为光信号，再通过光电倍增管将光信号转化为电信号并进行放大，得到的测量值代表在该投影线上的放射性大小，再利用计算机从投影求解断层图形。其主要的功能特点是：除了显示脏器形态结构外，更重要的是可观察到脏器血流灌注、功能和代谢的变化。临床主要应用于骨骼显像、心脏灌注断层显像、甲状腺显像、肺显像、肾动态显像等。

（3）诊疗规划及工作方式

SPECT 诊断项目正式开展后，使用 1 台 SPECT/CT 开展工作，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h，规划使用放射性核素 ^{99m}Tc、^{123}I 核素共 2 种核素进行显像诊断。^{99m}Tc 显像诊断每日最多 30 人，^{123}I 显像诊断每日最多 1 人。

表 9.1.1.4-1　SPECT 诊断项目诊疗规划

使用核素	物理状态	日最大诊疗量（人次）	年最大诊疗量（人次）	单次最大使用量	给药方式	来源
^{99m}Tc	液体	28	7000	9.25E+08Bq（25mCi）	静脉注射	外购单支成品药物
^{99m}Tc	气态	2	500	9.25E+08Bq（25mCi）	肺通气	外购单支成品药物
^{123}I	液体	1	250	3.70E+08Bq（10mCi）	静脉注射	外购单支成品药物

（4）工艺流程与产污环节

订药：本项目 ^{99m}Tc、^{123}I 为单支成品药物形式的外购药物。医院根据临床诊断所需用药量、患者预约情况，提前向放射性核素供应单位订购药品，在约定的时间由药物供应单位负责运送至核医学科，安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接、登记手续后，暂存在储源室内。

给药：工作人员在操作放射性药物前应穿戴相应防护用品，规范佩戴个人剂量计。^{99m}Tc、^{123}I 为按一人份分装好的单支成品药物，由分装人员在 SPECT 专用分装注射室

内的手套箱内测量活度后，在铅屏蔽窗的屏蔽下为患者注射；针对肺通气患者，提前把一人份液态放射性药物 ^{99m}Tc 装入肺通气室的雾化器，患者利用雾化器吸入呈雾化的放射性药物 ^{99m}Tc（佩戴鼻夹，采用密闭呼吸罩式吸入，吸入药物时间为 5min）。

诊断：患者注射放射性药物后根据工作人员指导，进入 SPECT 注射后候诊室内候诊，候诊约 40min、待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 SPECT/CT 机房扫描；针对肺通气患者，待药物充分代谢至肺部时，直接进入 SPECT/CT 机房扫描。

技师在控制廊内进行语音提示摆位，必要时进入 SPECT/CT 机房指导，摆位不超过 1min，完成后离开机房返回控制廊。技师隔室操作对患者进行 SPECT/CT 扫描诊断，扫描约 15min。扫描完成后，患者离开机房按需进入 SPECT 留观室内留观，留观结束后由专用检查出口离开。

SPECT 诊断工艺流程与产污环节分析示意图具体如下。

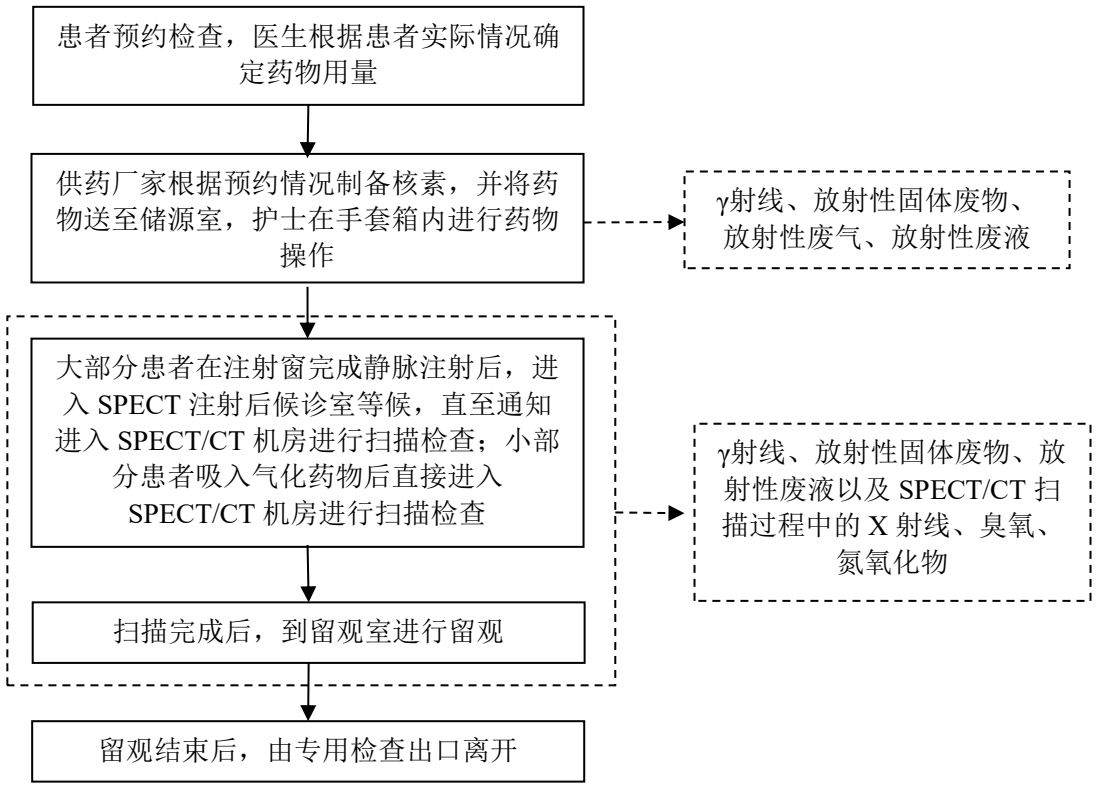


图 9.1.1.4-1　SPECT 诊断工艺流程与产污环节示意图

因此，SPECT 显像诊断项目污染因子是：γ射线、放射性废气、放射性废液、放射性固废，SPECT/CT 扫描过程中的 X 射线、臭氧、氮氧化物。

9.1.1.5PET/CT 和 SPECT/CT 配套 CT

（1）设备组成及工作原理

PET/CT 和 SPECT/CT 配套用 CT 为 X 射线装置。产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成，X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。典型 X 射线管结构见下图。

CT 是计算机断层 X 射线摄影术（Computed Tomography）的简称，它使用了精确准直的 X 射线从各种不同的离散角度扫描所关注的平面，利用探测器记录透射光束的衰减量，并经过数学运算，电子计算机处理相应数据。它根据人体不同组织对 X 线的吸收与透过率的不同，应用灵敏度极高的仪器对人体进行测量，然后将测量所获取的数据输入电子计算机，电子计算机对数据进行处理后，就可摄下人体被检查部位的断面或立体的图像，发现体内任何部位的细小病变。

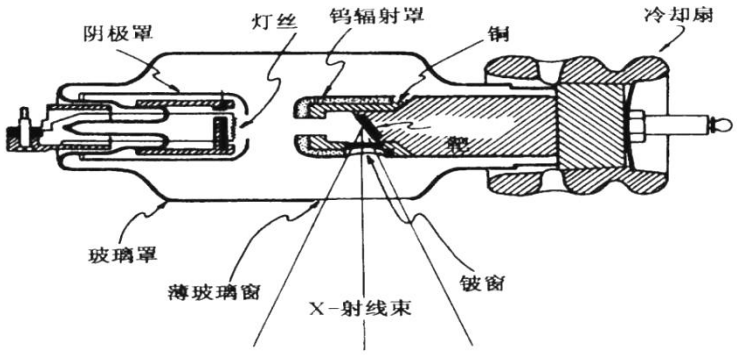


图 9.1.1.5-1　典型 X 射线管结构图

（2）工艺流程与产污环节

工艺流程与产污环节具体见“9.1.1.1PET/CT 诊断项目”和“9.1.1.4SPECT/CT 诊断项目”，在开机期间，SPECT/CT 和 PET/CT 配套用 CT 污染因子主要为 X 射线、臭氧、氮氧化物。

9.1.1.6 骨转移、前列腺癌及肿瘤靶向α治疗项目

（1）工作原理

静脉注射放射性药物如 ^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th 等，通过高度选择性聚集在病变部位的放射性核素所发射出的射程很短的β射线或α粒子，对病变进行集中照射，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，其有效射程很

短，因而邻近正常组织和全身辐射吸收剂量很低，从而达到止痛和破坏肿瘤的目的。

（2）诊疗规划及工作方式

骨转移治疗项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，共规划使用 2 种放射性核素 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra，均为外购单支成品药物。^{89}Sr 核素每日最多治疗 1 人，^{223}Ra 核素每日最多治疗 1 人。

前列腺癌治疗项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，共规划使用 1 种放射性核素 ^{225}Ac，为外购单支成品药物。^{225}Ac 核素每日最多治疗 1 人。

肿瘤靶向α治疗项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，共规划使用 1 种放射性核素 ^{227}Th，为外购单支成品药物。^{227}Th 核素每日最多治疗 1 人。

表 9.1.1.6-1　骨转移、前列腺癌及肿瘤靶向α项目诊疗规划

治疗项目	使用核素	物理状态	日最大诊疗量（人次）	年最大诊疗量（人次）	单次最大使用量	给药方式	来源
骨转移治疗	^{89}Sr	液体	1	250	1.48E+08Bq（4mCi）	静脉注射	外购单支成品药物
	^{223}Ra	液体	1	250	3.70E+06Bq（0.1mCi）	静脉注射	外购单支成品药物
前列腺癌治疗	^{225}Ac	液体	1	250	1.11E+07Bq（0.3mCi）	静脉注射	外购单支成品药物
肿瘤靶向α治疗	^{227}Th	液体	1	250	1.11E+07Bq（0.3mCi）	静脉注射	外购单支成品药物

（3）工艺流程与产污环节

订药：医院根据临床诊断所需用药量、患者预约情况，提前向放射性核素供应单位订购药品，在约定的时间由药物供应单位负责运送至核医学科，安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接、登记手续后，暂存在储源室内。

注射给药：工作人员在操作放射性药物前应穿戴相应防护用品，规范佩戴个人剂量计。骨转移、前列腺癌及肿瘤靶向α治疗项目用的放射性核素 ^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th 均为外购单支成品药物，由工作人员在核医学科南侧（核素治疗区域）分装注射室内的手套箱内测量活度后，在铅屏蔽窗的屏蔽下为患者注射。注射完成后，患者直接由专用检查出口离开。

骨转移、前列腺癌及肿瘤靶向α治疗项目工艺流程与产污环节分析示意图具体如下。

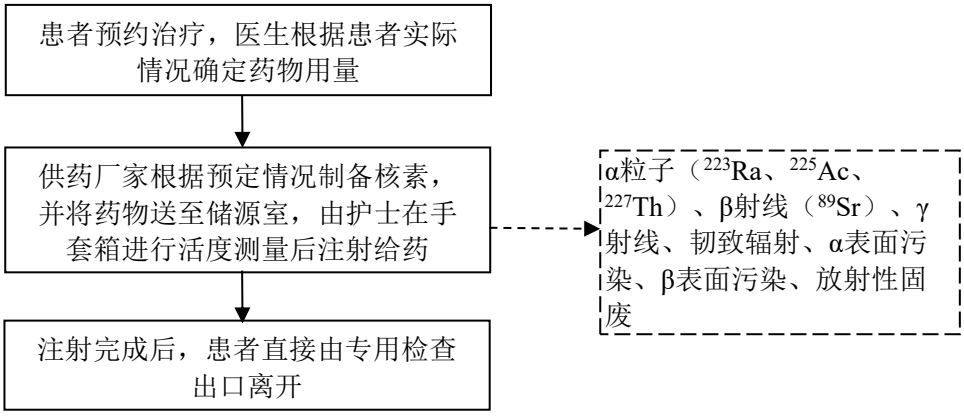


图 9.1.1.6-1　骨转移、前列腺癌及肿瘤靶向α治疗项目工艺流程及产污环节分析示意图

因此，骨转移、前列腺癌及肿瘤靶向α治疗项目污染因子是：α粒子（^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th）、β射线（^{89}Sr）、γ射线、韧致辐射、α表面污染、β表面污染、放射性固废。

9.1.1.7 敷贴治疗项目

（1）工作原理

当患者患有血管瘤、痣、疤痕疙瘩、酒渣鼻、毛细血管扩张、神经性皮炎、局限性慢性湿疹、局限性皮肤瘙痒和某些皮肤癌等病症时，通过放射源的敷贴照射，让敷贴充分接近病变皮肤，通过核素在衰变过程中释放的纯β射线，作用于增生组织细胞，可以降低细胞分裂速度，延长核分裂周期，闭塞毛细血管及止痒和镇痛等作用而达到治疗目的。

本项目敷贴器为外购商品敷贴器，^{90}Sr-^{90}Y 放射源初始活度为 1.85E+09Bq，属于 V 类放射源。放射源衰变时释放β射线，β射线在人体组织内的射程仅有几毫米，通过β射线对病变部位的电离辐射生物效应，可达到治疗的目的，并且减少对其它组织的损伤。由于 ^{90}Sr 半衰期为 28.1a，使用过程中只需半年进行一次衰变校正。

（2）诊疗规划及工作方式

敷贴治疗项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，使用 2 枚 ^{90}Sr-^{90}Y 敷贴源用于敷贴治疗，单枚敷贴源每天最多治疗 10 人次。医务人员会提前了解患者瘤、痣、疤痕疙瘩等需要治疗部位的形状和情况，进而确定采用的敷贴治疗方案，根据患者情况安排治疗，并且在敷贴治疗时，禁止其他人员进入敷贴室。

（3）工艺流程与产污环节

^{90}Sr-^{90}Y 敷贴源开展敷贴治疗的工艺流程与产污环节分析示意图具体如下。

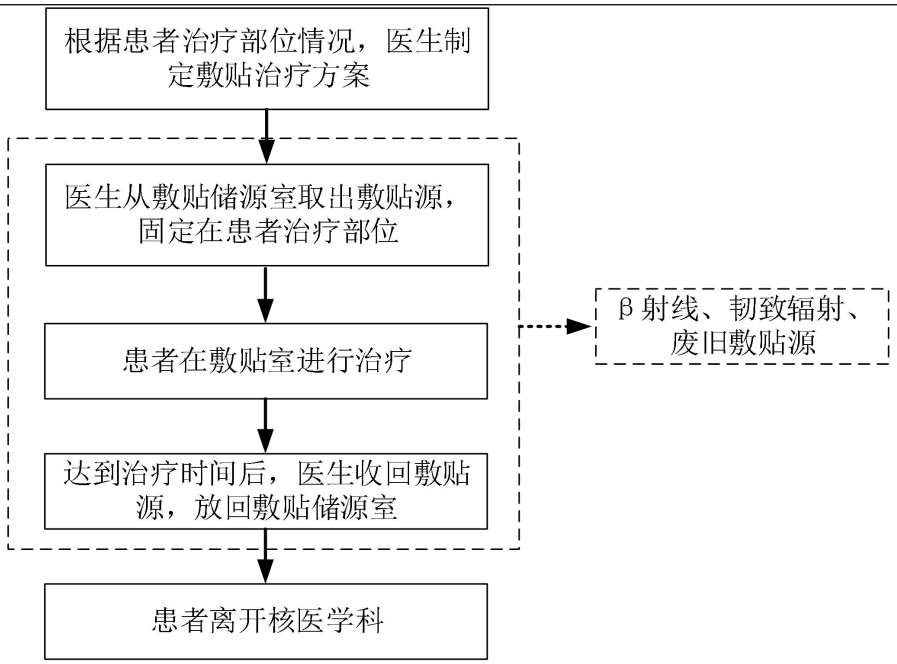


图 9.1.1.7-1　^{90}Sr 敷贴源开展敷贴治疗工艺流程及产污环节图

患者在敷贴室等待治疗，医生从敷贴储源室取出敷贴源。敷贴器是固定敷贴器，一般有圆形和方形，操作时由医生首先用橡皮圈在疤痕疙瘩附近固定遮盖，凸出病变位置，用防护材料（如橡皮泥或塑料等）将病灶周围正常皮肤覆盖，然后按下敷贴器，用胶布或绷带固定于病变处，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，达到预定治疗剂量时及时取掉。治疗均由专业医生操作，过程中医生佩戴有机玻璃眼镜或面罩（10mm 厚有机玻璃）。达到治疗时间后，医生收回敷贴源，放回敷贴储源室。

综上所述，^{90}Sr-^{90}Y 敷贴源开展敷贴治疗项目污染因子是：β射线、韧致辐射、废旧敷贴源。

9.1.1.8 甲状腺摄碘率测定、甲亢治疗和甲癌治疗项目

（1）治疗原理

甲状腺摄碘率测定：碘是甲状腺合成甲状腺激素的原料之一，放射性的 ^{131}I也能被摄取并参与甲状腺激素的合成，其被摄取的量和速度与甲状腺功能密切相关。将 ^{131}I 引入受检者体内，利用体外探测仪器测定甲状腺部位放射性计数的变化，可以了解 ^{131}I 被甲状腺摄取的情况，从而判断甲状腺的功能。甲状腺摄碘率测定单次 ^{131}I给药量很小，最大用量仅为 10μCi。

甲亢治疗：甲状腺具有高度选择性摄取 ^{131}I的能力，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多，可高达血浆的几百倍，且在甲状腺内停留的时间较长，有效半衰期可达 7.6

天。在患者服用 ^{131}I后，90%以上的 ^{131}I都会聚集到患者的甲状腺，其余的 ^{131}I随代谢排出体外。^{131}I衰变为 ^{131}Xe时放射出 95%的β射线，该射线能量低，在甲状腺内的平均射程仅有 0.5mm，一般不会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，^{131}I治疗可使部分甲状腺组织受到β射线的集中照射，使部分甲状腺细胞发炎症、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的功能恢复正常，达到治疗的目的。

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

（2）诊疗规划及工作方式

拟使用 ^{131}I 核素用于甲状腺摄碘率测定、甲亢治疗及甲癌治疗，甲状腺摄碘率测定正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，最多每天诊断 5 人；甲亢治疗正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，最多每天治疗 5 人；甲癌治疗正式开展后，每周安排 1 批次，每批次最多安排 2 人次，每批次住院 2~5 天，每年最多 100 人次。

表 9.1.1.8-1　甲状腺摄碘率测定、甲亢治疗和甲癌治疗项目规划

项目	使用核素	物理状态	日最大治疗量（人次）	年最大治疗量（人次）	单次最大使用量	给药方式	来源
甲癌治疗	^{131}I	液体	2	100	7.40E+09Bq（200mCi）	口服	外购药物，自动分装
甲亢治疗	^{131}I	液体	5	1250	3.70E+08Bq（10mCi）	口服	外购药物，自动分装
甲状腺摄碘率测定	^{131}I	液体	5	1250	3.70E+05Bq（0.1mCi）	口服	外购药物，自动分装

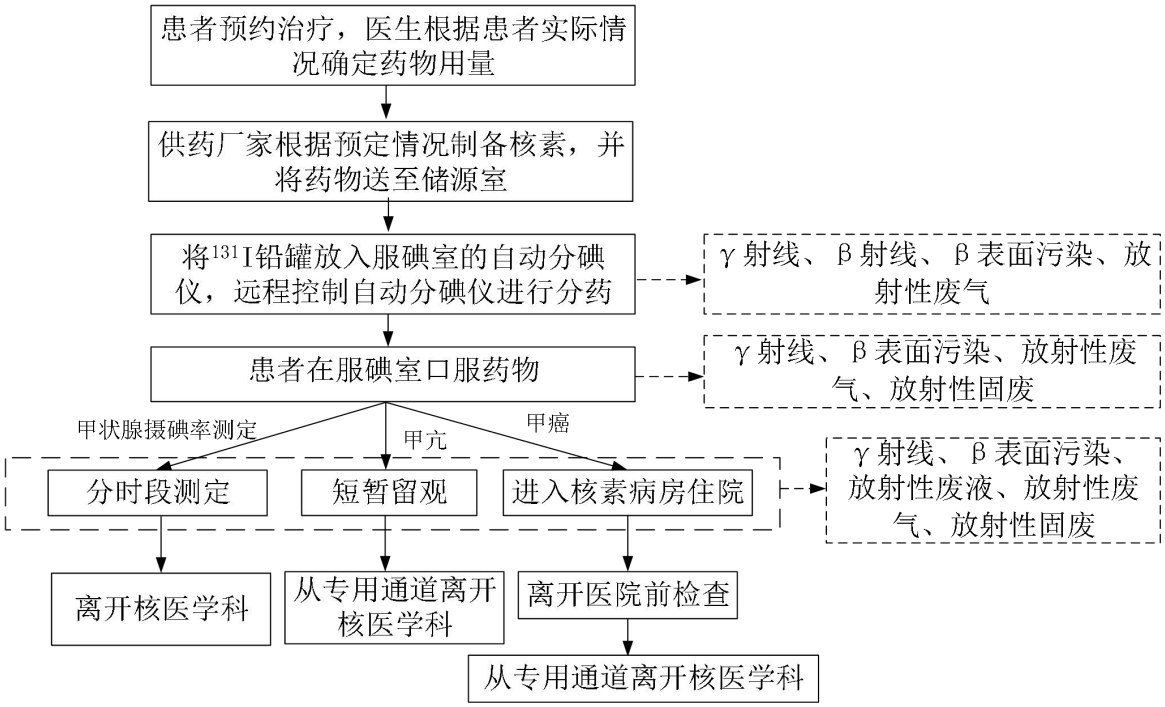
（3）工艺流程与产污环节

订药：医院根据临床诊断所需用药量、患者预约情况，提前向放射性核素供应单位订购药品，在约定的时间由药物供应单位负责运送至核医学科，安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接、登记手续后，暂存在储源室内。

给药：工作人员将 ^{131}I 铅罐放入服碘室的自动分碘仪，利用自动分碘仪远程控制

系统，进行药物自动分装，通过监控和双向语音对讲系统远程指导患者在服碘室服药。

给药后安排：甲癌患者服药后，根据医护人员语音指导和路线指示标志进入核素病房住院治疗，甲癌患者一般住院 2~5 天，病房出口通道门禁内一侧墙体上设置固定式辐射剂量率监测仪，住院病人住院时间到期根据医生安排，通过监测仪监测患者体表 1m 处的周围剂量当量率低于 25μSv/h 后，方可离开核医学科出院；甲亢患者服药后，进入甲亢留观室进行短暂观察，无特殊情况发生则从甲亢专用通道离开核医学科；摄碘率测定患者服药后，分别于 2h、4h、6h、24h 进入测定室进行甲状腺摄碘率测定，每次测定约 1min，测定结束后离开核医学科。项目工艺流程与产污环节分析示意图具体如下。



9.1.1.8-1　项目工艺流程与产污环节示意图

因此，^{131}I 核素开展甲状腺摄碘率测定、甲亢治疗及甲癌治疗项目污染因子是：γ射线、β射线、β表面污染、放射性废液、放射性废气和放射性固废。

9.1.1.9^{177}Lu 核素用于前列腺癌治疗项目

（1）工作原理

^{177}Lu 放射性药物用于治疗前列腺癌，被称为靶向放射性核素治疗的精准治疗方法。目前最著名的代表药物是 ^{177}Lu-PSMA-617，药物通过静脉注射进入患者体内，随血液循环遍布全身。由于 PSMA 配体的存在，药物会主动寻找并结合到前列腺癌细胞表面的 PSMA 上，^{177}Lu 衰变时释放的β射线在细胞内和细胞间产生不可修复的 DNA

双链断裂，由于射程短，杀伤效应主要局限在结合了药物的癌细胞及其微环境内，对周围骨髓、肾脏等关键器官的辐射剂量控制在安全范围内。

（2）诊疗规划及工作方式

^{177}Lu 核素用于前列腺癌治疗项目正式开展后，每周安排 1 批次，每批次最多安排 2 人次，每批次住院 2 天，每年最多 100 人次。

表 9.1.1.9-1 ^{177}Lu 核素用于前列腺癌治疗项目治疗规划

使用核素	物理状态	日最大治疗量（人次）	年最大治疗量（人次）	单次最大使用量	给药方式	来源
^{177}Lu	液体	2	100	7.40E+09Bq（200mCi）	静脉注射	外购单支成品药物

（3）工艺流程与产污环节

订药：医院根据临床诊断所需用药量、患者预约情况，提前向放射性核素供应单位订购药品，在约定的时间由药物供应单位负责运送至核医学科，安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接、登记手续后，暂存在储源室内。

注射给药：工作人员在操作放射性药物前应穿戴相应防护用品，规范佩戴个人剂量计。本项目使用的 ^{177}Lu 为外购单支成品药物，由工作人员在分装注射室内的手套箱内测量活度后，将装有 ^{177}Lu 药物的注射器安装至注射泵，设置注射泵参数，在高活室注射窗的屏蔽下为患者注射，注射泵可以控制注射流速，注射时间约为 10min。

给药后安排：根据工作人员语音指导和地面引导标识，患者注射放射性药物后进入核素病房住院治疗，一般住院 2 天，病房出口通道门禁内一侧墙体上设置固定式辐射剂量率监测仪，住院病人住院时间到期根据医生安排，通过监测仪监测患者体表 1m 处的周围剂量当量率低于 25μSv/h 后，患者由专用出院出口离开。

^{177}Lu核素用于前列腺癌治疗项目工艺流程与产污环节分析示意图具体如下。

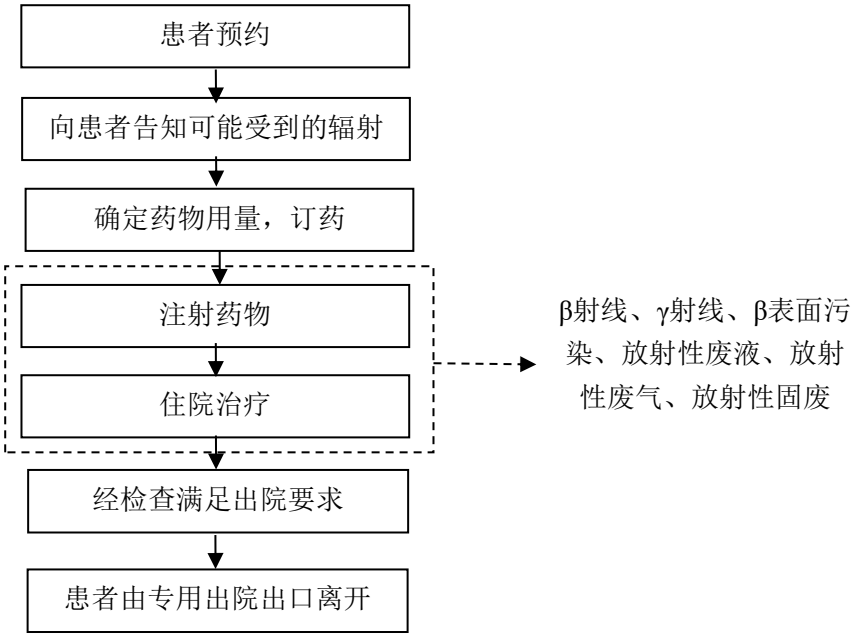


表 9.1.1.9-1 ^{177}Lu 核素用于前列腺癌治疗项目工艺流程与产污环节示意图

因此，^{177}Lu 核素用于前列腺癌治疗项目污染因子是：β射线、γ射线、β表面污染、放射性废液、放射性废气和放射性固废。

9.1.1.10 核医学科人员、物流路径

（1）工作人员路径

药物操作：护士进入卫生通过间，根据工作安排分别进入北侧和南侧的分装注射室。

进入北侧分装注射室后，在 PET 专用分装注射或 SPECT 专用分装注射内的手套箱内进行核素操作，在专用注射窗对患者进行注射给药，或在肺通气室协助患者吸入气化药物。工作结束后，监测确认无表面污染后（如监测有污染则进行去污至监测达标后）原路返回。

进入南侧分装注射室后，将 ^{131}I 铅罐放入服碘室的自动分碘仪，由护士在分装注射室内通过计算机操作自动分碘仪进行自动分装给药，并回到分装注射室通过监控和双向语音对讲系统远程指导患者在服碘室服药；在分装注射室内的手套箱内进行 ^{177}Lu 核素操作，在专用注射窗对患者进行注射给药。工作结束后，监测确认无表面污染后（如监测有污染则进行去污至监测达标后）原路返回。

设备操作：技师由北侧过道进入控制廊，在 SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、PET/MR 机房对应观察窗前进行设备操作；必要时，技师从控制廊进入机房协助患者进行摆位，工作结束后原路返回。

敷贴治疗：医生从诊室进入敷贴储源室取出敷贴源，进入敷贴室固定在患者治疗部位。达到治疗时间后，医生进入敷贴室收回敷贴源，放回敷贴储源室。工作结束后原路返回。

甲状腺摄碘率测定：护士从护士站进入测定室，对患者进行甲状腺摄碘率测定，工作结束后原路返回。

（2）患者路径

PET 显像诊断患者：由过道进入北侧（核素门诊显像诊断区域）患者通道，在 PET 注射窗口接受药物注射，注射后在 PET 注射后候诊室进行候诊，候诊完成后进入相应的机房进行扫描检查，在完成扫描检查后进入 PET 留观室留观，最终乘核医学科专用电梯离开。

SPECT 显像诊断患者：由过道进入北侧（核素门诊显像诊断区域）患者通道，在 SPECT 注射窗口接受药物注射，注射后在 SPECT 注射后候诊室进行候诊，候诊完成后进入相应的机房进行扫描检查，在完成扫描检查后进入 SPECT 留观室留观，最终乘核医学科专用电梯离开。

敷贴治疗：患者根据护士引导进入相应敷贴室，完成敷贴治疗后原路返回。

甲状腺摄碘率测定、甲亢治疗和甲癌治疗：由过道进入南侧（核素治疗区域）患者通道，在服碘室口服药物，其中摄碘率测定患者服药后从南侧专用通道离开，之后分别于 2h、4h、6h、24h 进入测定室进行摄碘率测定；甲亢治疗服药后进入对应甲亢留观室，留观结束后，从南侧专用通道离开；甲癌治疗患者服药后进入对应核素治疗病房，出院时乘核医学科出院专用电梯离开。

^{177}Lu 前列腺癌治疗：由过道进入南侧（核素治疗区域）患者通道，在注射窗口接受药物注射，随后进入对应核素治疗病房，出院时乘核医学科出院专用电梯离开。

骨转移、前列腺癌及肿瘤靶向α治疗项目患者：由过道进入南侧（核素治疗区域）患者通道，在注射窗口接受药物注射。注射完成后，患者直接从南侧专用通道离开。

（3）放射性药物路径

核医学科设置专用核素电梯，专梯入口设置在地下二层地下车库，放射性药物运输车辆在地下车库专用卸货点卸货，从院外直接进入地下封闭区；专梯终点位于住院楼C楼地下一层核医学科内部；专梯仅作为一个垂直管道，从入口直达终点，杜绝了在中间楼层与任何其他功能区域产生交叉的可能。

供药厂家药物运输人员乘坐核医学科专用核素电梯，将外购药物送入核医学科缓冲间，与医院辐射工作人员完成药物交接，医院辐射工作人员将药物送至储源室。

^{68}Ga由医院购买锗镓发生器在核医学科淋洗标记后，部分需运至小动物核医学实验中心。^{68}Ga核素置于储源铅罐（40mmPb）内，经专用核素电梯运出核医学科。辐射工作人员采用长柄小推车将 ^{68}Ga核素转移至综合楼A楼教学科研（A3 区）一层北侧户外，经小动物核医学实验中心专用核素电梯送至储源室。

（4）污物路径

放射性固体废物经收集先转移至废物间和污物暂存间进行暂存衰变，废物经清洁解控后经患者走廊送入污梯，最终运至医院医疗废物暂存库作为医疗废物处理。

9.1.1.11 核医学科工作负荷

本项目核医学科拟配置 24 名辐射工作人员，配置情况见表 1.5-1。各工作人员相对固定，不存在兼岗情况。核医学运行过程中各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见表 9.1.1.11-1。

表 9.1.1.11-1　核医学各工序涉及辐射工作人员情况以及操作时间一览表

工作场所	工作内容	操作时间	人员数量
诊室、办公室	接诊、办公、读片	8h/天	6 名医生
敷贴室	持手柄取出敷贴源放在患者患处，治疗结束后取走敷贴器。	166.67h（2500 人次/枚×2 枚×2min）	
护士站	预约登记	8h/天	6 名护士（3 人一组轮岗）
测定室	甲状腺摄碘率测定	83.34h（1250 人×4 人次×1min）	
SPECT 专用分装注射室	^{99m}Tc、^{123}I 核素的测活	64.59h（7750 人次×30s）	
	^{99m}Tc、^{123}I 核素的注射	64.59h（7750 人次×30s）	
PET 专用分装注射室	^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr 的分装、测活等操作	145.84h（8750 人次×1min）	
	^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr 的注射	72.92h（8750 人次×30s）	
	锗镓发生器淋洗、标记、质控	83.34h（250 次×20min）	
服碘室	将 ^{131}I 铅罐安装到自动分碘仪	20.84h（5 次/周×50 周×5min）	
分装注射室 2	远程操作 ^{131}I 药品在服碘室自动分装，远程指导患者在服碘室服药	43.34h（2600 人次×1min）	
	^{177}Lu、^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th 的测活	9.17h（1100 人次×30s）	
	^{177}Lu 的注射	16.67h（100 人次×10min）	
	^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th 的注射	8.34h（1000 人次×30s）	

PET/CT 机房	指导患者躺至正确的位置	104.17h（6250 人次×1min）	8 名技师（4 人一组轮岗）
PET/MR 机房	指导患者躺至正确的位置	41.67h（2500 人次×1min）	
控制廊	操作 PET/CT 设备进行扫描	1562.5h（6250 人次×15min） 注：其中 CT 扫描 20 秒/次	
	操作 PET/MR 设备进行扫描	1250h（2500 人次×30min）	
	操作 SPECT/CT 设备进行扫描	1937.5h（7750 人次×15min） 注：其中 CT 扫描 20 秒/次	4 名技师（2 人一组轮岗）
SPECT/CT 机房	指导患者躺至正确的位置	129.17h（7750 人次×1min）	

9.1.2 小动物核医学实验中心

本项目小动物核医学实验中心拟新购 1 台小动物 PET/SPECT/CT 三模态成像系统（属III类射线装置），使用 ^{18}F、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{123}I、^{177}Lu 核素用于小动物显像扫描、分布实验。本项目购置三模态成像系统，旨在构建一个“一站式”小动物分子影像平台。该平台不仅具备 PET 的高灵敏度，还兼具 SPECT 的多靶点成像能力，能够全面覆盖当前核医学研究的主流方向。本项目使用核素 ^{18}F、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{123}I、^{177}Lu 都是小动物核医学成像研究中非常常规和常用的核素，它们在 PET 和 SPECT 显像中各有独特的定位，且在全球范围内的动物实验中均有广泛的应用基础，本次小动物核医学实验中心的开展能为医院内相关课题组提供关键的活体影像学数据支撑，加速从“体外分子水平”到“整体动物水平”的验证过程。

（1）设备组成

小动物 PET/SPECT/CT 三模态成像系统（属III类射线装置），是一种先进的临床前分子影像设备，可以对动物的生理过程进行活体、无创、高分辨的分子显像。该设备配备的微米量级分辨率 CT 可以精确地显像出代谢机体的解剖结构，通过对同一体位 CT 和 PET/SPECT 图像的融合，为实验人员提供生物更准确的生理、病理生理及生化等信息。PET/SPECT/CT 是将三种技术有机融合的产物，即同时进行 PET、SPECT 和 CT 扫描获得融合图像的成像技术。该系统能在细胞和分子层面对活体生物的生理、病理、生化、代谢情况进行成像，与传统结构影像相比，它注重探测细胞生物学和分子生物学水平上的变化，是体外研究过渡到体内研究的重要工具，对疾病产生和治愈机理探究以及新药在预临床试验阶段的评价具有重要作用。

（2）工作原理

本项目小动物核医学实验中心拟使用 ^{18}F、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{123}I、^{177}Lu 核素用于小动物显像扫描、分布实验，当放射性核素及其标记物通过注射等方式进入动物体内，放射性核素及其标记物将根据其化学及生物学特性随血液进入特定的组织器官，参与或模仿部分生命物质在生物体内的病理生理及代谢过程，该过程中正常组织和病变组织富集放射性核素及其标记物的能力有所差异，可利用 PET/SPECT/CT 探测放射性核素发射的电子/光子在动物体内的分布情况，并将影像转换为图件以显示脏器的功能、代谢及病变位置、形态、大小等解剖结构。

（3）诊疗规划及工作方式

小动物核医学实验中心正式开展后，使用 1 台 PET/SPECT/CT 开展工作，使用 ^{18}F、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{123}I、^{177}Lu 核素用于小动物显像扫描、分布实验，每天最多使用 2 种核素，每种核素每天最多使用 10 只小动物（主要为大鼠和小鼠），年最多工作 80 天，最多使用 1600 只小动物。PET/SPECT/CT 每日最多扫描 20 只小动物，每次扫描不超过 15min。

表 9.1.2-1　PET 诊断项目诊疗规划

使用核素	物理状态	小动物每日实验数量（只）	小动物每年实验数量（只）	单次最大使用量	给药方式	来源
^{18}F	液体	10	1600	3.70E+07Bq（1mCi）	静脉注射	外购药物，手动分装
^{68}Ga	液体	10		1.85E+07Bq（0.5mCi）	静脉注射	由医院购买锗镓发生器在核医学科淋洗标记后，运至小动物核医学实验中心再进行手动分装
^{99m}Tc	液体	10		7.40E+07Bq（2mCi）	静脉注射	外购药物，手动分装
^{123}I	液体	10		1.85E+07Bq（0.5mCi）	静脉注射	外购药物，手动分装
^{177}Lu	液体	10		1.11E+07Bq（0.3mCi）	静脉注射	外购药物，手动分装

（4）工艺流程与产污环节

订药：医院根据实验计划，提前向放射性核素供应单位订购药品，在约定的时间由药物供应单位负责运送至小动物核医学实验中心，安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接、登记手续后，暂存在储源室内。其中 ^{68}Ga 由医院购买锗镓发生器在核医学科淋洗标记后，经专用核素电梯运至小动物核医学实验中心。

实验动物编号登记：实验动物向有资质的动物饲养单位订购动物实验专用动物

（主要为大鼠和小鼠），并由饲养单位为实验动物接种肿瘤细胞，使其体内生长肿瘤，模拟肿瘤患者的症状。小动物运至综合楼 A 楼教学科研（A3 区）地上四层动物实验室进行饲养，实验开始前对实验动物进行编号登记，并将实验动物转移至小动物核医学实验中心的分装注射室。

注射给药：放射性药物注射前由工作人员在分装注射室内的手套箱内进行手动分装，工作人员在操作放射性药物前应穿戴相应防护用品，规范佩戴个人剂量计。将实验动物用异氟烷麻醉，在手套箱（正面 20mmPb，非正面 10mmPb）内进行小动物注射，给药后实验动物置于 10mmPb 暂养铅箱中（铅箱内设有鼠笼，鼠笼底部铺有垫料），并通过长柄推车进行转运。给药后可开展显像扫描和分布实验。

显像扫描：根据研究目的不同，小动物给药后等待时间不同（通常为 1~120min），部分小动物给药后直接转运至小动物成像室进行扫描，部分先转运至动物短期观察室、等待一段时间后再进行扫描。实验员对麻醉状态下的实验动物进行摆位，摆位合适后，实验员在控制室操作设备，CT 采集时间一般为 1 分钟之内，PET 或 SPECT 采集时间约为 10~15min。

图像采集结束后将实验动物转运至操作室处死，动物尸体直接收集装袋，贴上标签，注明实验者编号、所用核素、总活度和时间等信息，存于铅盒中置于污物暂存间冷冻冰柜暂存。废弃手套、棉签、垫料和注射器等放射性固废装入污物暂存间衰变箱内。

分布实验：给药后实验动物转运至动物短期观察室，于给药后不同时间（根据研究目的不同时间差异较大，通常为 1~120min）运至操作室处死并解剖。解剖后的组织器官装入试管中，在检测仪器进行分析，分析完成后将组织器官收集装袋，贴上标签，注明实验者编号、所用核素、总活度和时间等信息，置于污物暂存间内冷冻冰柜铅废物桶中暂存。废弃手套、棉签、垫料和注射器等放射性固废装入污物暂存间衰变箱内。操作完成后清理实验台面，对台面、地面进行表面污染监测，记录监测数据，开展实验人员体表污染监测，重点是手部和脚部，确认没有污染后离开控制区。

小动物核医学实验中心工艺流程与产污环节分析示意图具体如下。

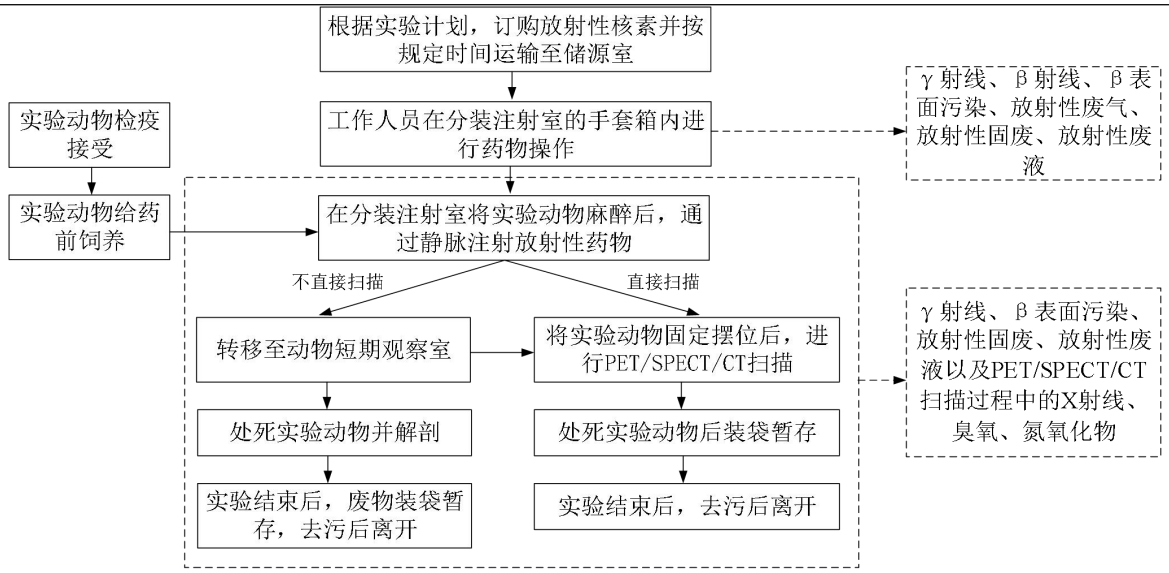


图 9.1.2-1　小动物核医学实验中心工艺流程及产污环节分析示意图

因此，小动物核医学实验中心污染因子是：γ射线、β射线、β表面污染、放射性废气、放射性废液、放射性固废，PET/SPECT/CT 扫描过程中的 X 射线、臭氧、氮氧化物。

9.1.2.2 人员、物流路径

（1）工作人员路径

实验员进入卫生通过间，通过工作走廊进入分装注射室，在手套箱内操作放射性药物，并对小动物进行注射药物；通过工作走廊进入操作室将小动物处死或处死解剖；通过工作走廊进入控制室进行设备操作；进入小动物成像室，对小动物进行固定、摆位。工作结束后，监测确认无表面污染后（如监测有污染则进行去污至监测达标后）原路返回。

（2）小动物路径

小动物通过洗消与传递间的传递窗送入洁存间，在分装注射室经放射性药物注射后，部分小动物直接转移至小动物成像室进行扫描，部分转移至动物短期观察室；小动物最终送入操作室处死或处死解剖。

（3）放射性药物路径

小动物核医学实验中心设置专用核素电梯，专梯入口设置在综合楼A楼教学科研（A3 区）一层北侧户外，设有独立的对外门厅，与主体建筑内部空间物理隔绝；专梯终点位于综合楼A楼教学科研（A3 区）地上四层小动物核医学实验中心内部；专梯仅作为一个垂直管道，从入口直达终点，在穿行的中间楼层（二层和三层）完全封闭，

不设任何厅门，严格做到“只通过，不开门”，形成一个密闭的穿行通道，杜绝了在中间楼层与任何其他功能区域产生交叉的可能。

针对外购药物，供药厂家药物运输人员乘坐小动物核医学实验中心专用核素电梯，将外购药物送入缓冲间，与医院辐射工作人员完成药物交接，医院辐射工作人员将药物送至储源室；针对核医学科 ^{68}Ga核素，辐射工作人员采用长柄小推车将 ^{68}Ga核素转移至综合楼A楼教学科研（A3 区）一层北侧户外，乘坐小动物核医学实验中心专用核素电梯，将外购药物送入缓冲间，完成药物交接后最终送至储源室。

（4）污物路径

小动物尸体和组织器官送入污物暂存间冷冻冰柜进行暂存衰变，废弃手套、棉签、垫料和注射器等放射性固废送入污物暂存间衰变箱进行暂存衰变，以上废物经清洁解控后经缓冲间送入污梯，最终运至医院医疗废物暂存库作为医疗废物处理。

9.1.2.3 工作负荷

本项目小动物核医学实验中心拟配置辐射工作人员 4 人，配置情况见表 1.5-1。各工作人员相对固定，不存在兼岗情况。小动物核医学实验中心运行过程中各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见表 9.1.2.3-1。

表 9.1.2.3-1　小动物核医学实验中心各工序涉及辐射工作人员情况以及操作时间一览表

工作场所	工作内容	操作时间	人员数量
分装注射室	从核医学科转移 ^{68}Ga	26.67h （20min/次×1 次/d×80d）	4 名实验员（2 人一组轮岗）
	放射性药物分装、测活等操作	26.67h （1min×20 次/d×80d）	
	放射性药物注射	13.34h （30s/次×20 次/d×80d）	
	转移小动物	26.67h （1min/次×20 次/d×80d）	
操作室	小动物处死或处死解剖	133.34h （5min/次×20 次/d×80d）	
	检测台操作仪器	133.34h （5min/次×20 次/d×80d）	
控制室	操作 PET/SPECT/CT	400h （15min/次×20 次/d×80d） 注：其中 CT 扫描不超过 1min/次	
小动物成像室	小动物固定位置	4.45h （10s/次×20 次/d×80d）	

9.1.3 放疗科

9.1.3.1 直线加速器

（1）设备组成

直线加速器主要由三大部分组成：电子发射单元，电子加速单元和电子束引出单元。它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子治疗子系统基本组成部件主要包括初级准直器、散射箔、托盘、均整器、电离室、光阑、附件接口、限光筒。典型直线加速器外部结构示意如 9.1.3.1-1 所示，内部结构示意图如 9.1.3.1-2 所示。本项目直线加速器具有电子束和 X 射线两种治疗模式，示意图如 9.1.3.1-3 所示。

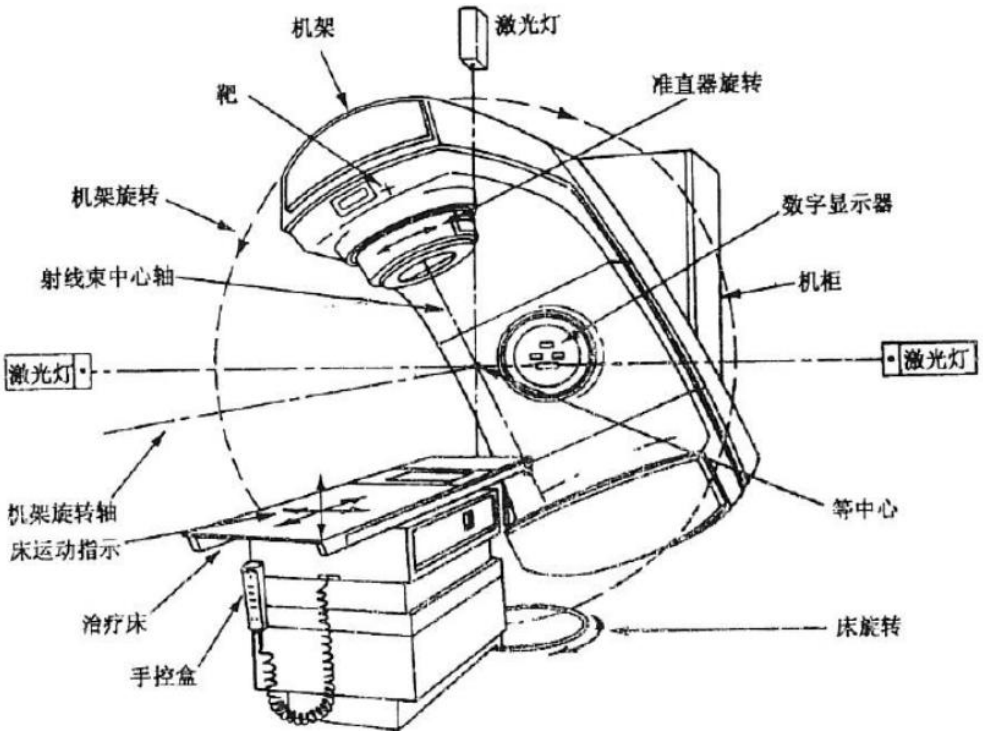


图 9.1.3.1-1　典型医用电子直线加速器机外部结构示意图

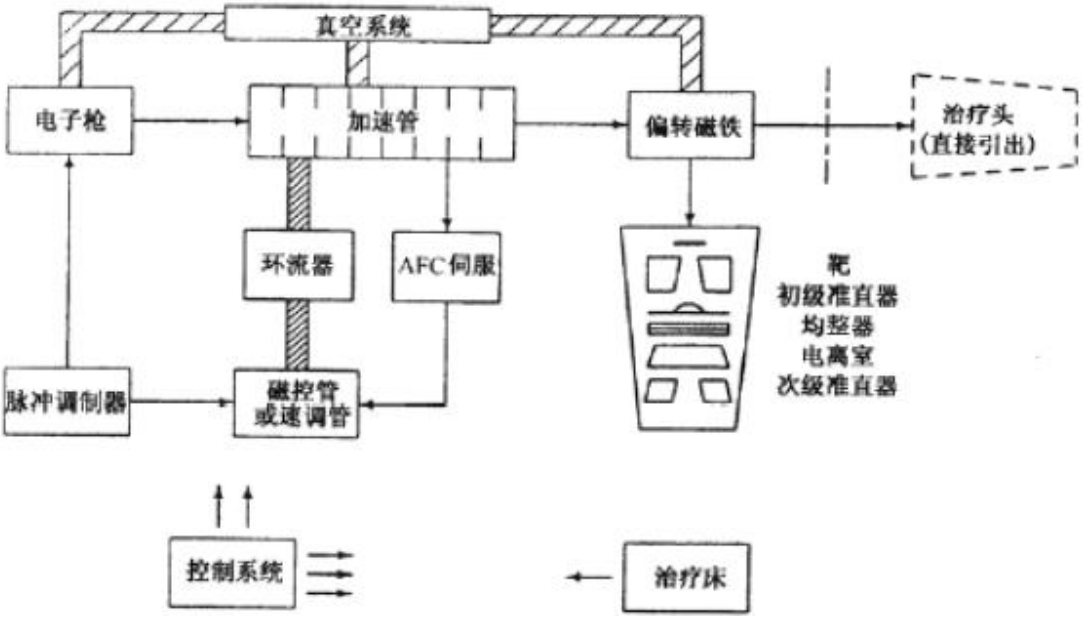


图 9.1.3.1-2　典型医用电子直线加速器机内部结构示意图

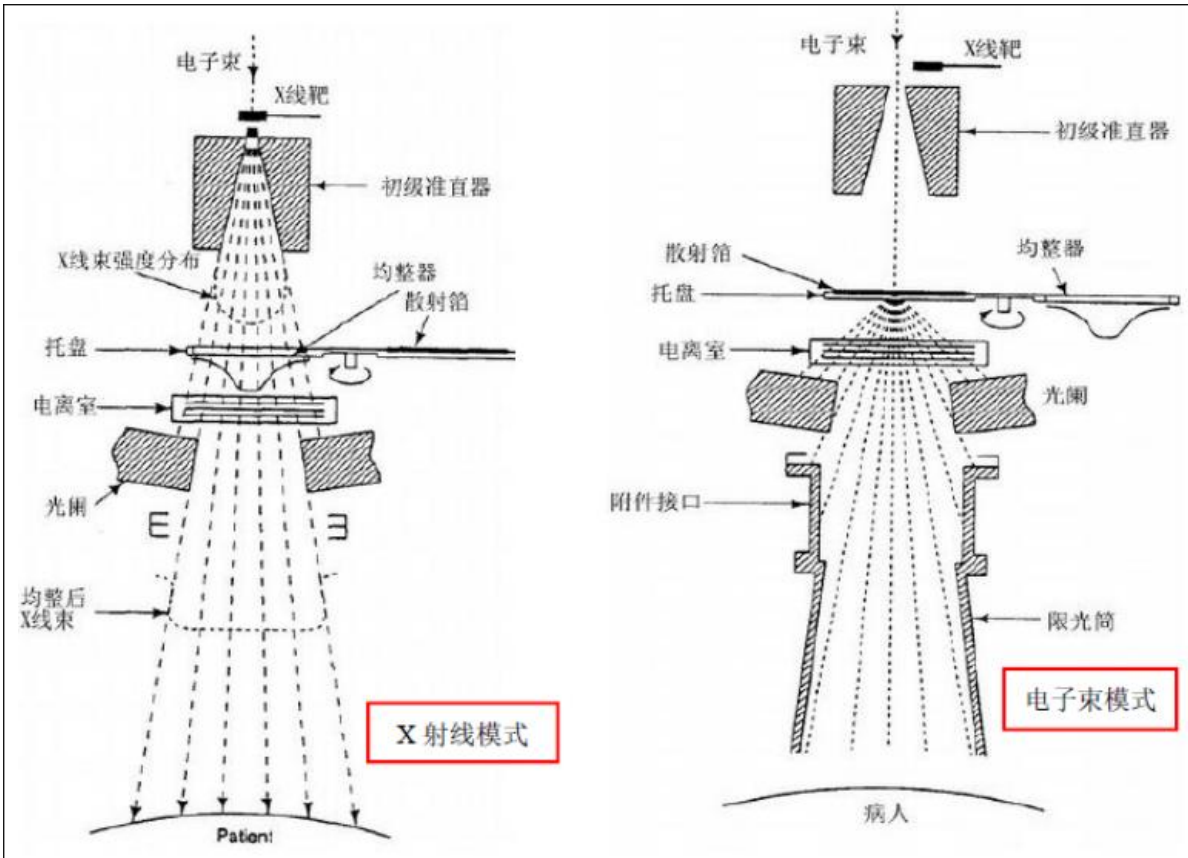


图 9.1.3.1-3　X 射线和电子束治疗模式结构示意图

（2）工作原理

直线加速器是将电子枪产生的电子经加速管加速后形成高能电子束的装置。电子枪产生的电子束由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，经调制、准直后射向患者病灶；或电子束靶物质相互作用产生韧致辐射 X 射线束，经一次准直器和滤线器形成剂量均匀的 X 射线束，再经监测电离室和二次准直器限束，到达患者病灶实现治疗目的。

因此，作为一种体外照射的放射治疗设备，直线加速器利用产生的电子束或 X 射线，对人体病灶部位进行照射，使肿瘤组织受到不可逆损伤。根据癌症类型及其所在位置、患者的身体状况等，选择不同的输出方式对肿瘤进行照射，同时使肿瘤周围正常组织得到最大限度的保护，达到治疗肿瘤的目的。

（3）直线加速器技术参数

根据医院配置计划，拟购 4 台直线加速器的主要技术参数如表 9.1.3.1-1 所示。

表 9.1.3.1-1　直线加速器的技术参数

设备名称	直线加速器
型号	待定
能量	X 射线能量：10MV、6MV；电子线最大能量：15MeV

X 射线泄漏率	≤0.1%
源轴距（SAD）	1m
等中心高度	1.24m
X 射线有用线束张角	≤28°
等中心剂量率	X 射线 10MV 等中心最大剂量率 360Gy/h，FFF 模式等中心最大剂量率 1320Gy/h； X 射线 6MV 等中心最大剂量率 360Gy/h，FFF 模式等中心最大剂量率 840Gy/h
最大照射野尺寸	40cm×40cm
机架旋转角度	±180°
靶材料	铅

（4）工艺流程与产污环节

治疗前先确认治疗方案，包括确定照射时间和剂量，定位患者照射部位，调整照射角度和视野，再开机进行治疗。在直线加速器治疗过程中，除患者外其他人员均不在治疗室内，医护人员通过视频监控系统观察患者情况。工艺流程与产污环节分析示意图具体见图 9.1.3.1-4。

具体操作流程为：

①患者经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者进行预约登记，告知辐射危害；

②预约患者首先在模拟定位机上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状（依托本项目放疗科新增 CT 模拟定位机）；

③物理师通过医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划；

④肿瘤患者在技师协助下躺上治疗床，进行摆位，根据 TPS 确定照射位置和面积；

⑤技师离开治疗室，进入控制室，根据 TPS 计划进行出束治疗；

⑥治疗结束后，关机，打开治疗室防护门，患者离开治疗室。

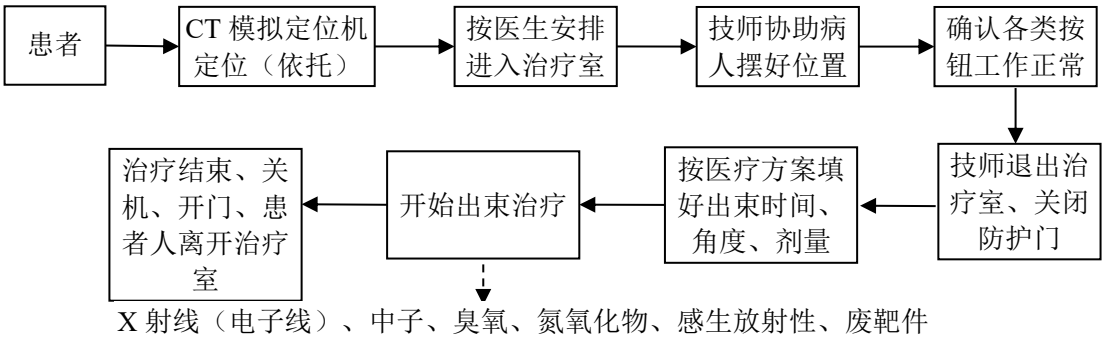


图 9.1.3.1-4　医用电子加速器工艺流程及产污环节分析示意图

因此，医用电子加速器正常工况下，污染源项主要为开机状态下产生的 X 射线（电子线）、中子，同时产生少量臭氧、氮氧化物及感生放射性。直线加速器正常运行时，无废靶产生，加速器退役时应进行监测，存在放射性污染的，按放射性固体废物进行管理。依托的放疗科 CT 模拟定位机相关评价内容见“9.1.3.6 CT 模拟定位机”。

（5）人员路径

①患者路径：患者在放疗科等候区等待叫号，根据叫号进入相应准备间，由机房西侧防护门进入相应直线加速器机房进行治疗，治疗结束后原路返回。

②医护人员路径：医护人员经准备间进入相应直线加速器控制室，操作设备出束；由机房西侧防护门进入相应直线加速器机房，对患者进行摆位，完成工作后原路返回控制室。

（6）工作负荷

本项目拟新建 4 间直线加速器机房，分别安装 1 台直线加速器，投入使用后，预计每台加速器每天放射治疗患者最多为 50 人次，平均每名患者治疗照射时间为 1.5min，每周工作 5 天，则单台直线加速器周出束时间为 6.25h，年出束时间为 312.5h。

9.1.3.2 X 射线立体定向放射外科治疗系统（射波刀）

（1）设备组成和工作原理

射波刀是一种新型立体定向放射治疗装置，1994 年开始投入使用。它集影像引导系统和高准确性的治疗系统于一身，将一个 6MV X 射线的轻型直线加速器安放在一个有 6 个自由度的机械臂上，利用机械臂的全向投照能力对肿瘤进行精确地、非共面和多中心的放射治疗。射波刀是全球唯一整合最先进的机器人技术和智能影像实时监控、追踪系统的放射治疗系统，尤其擅长对颅内肿瘤进行立体定向放射治疗、对运动器官进行追踪治疗。

射波刀结构包括：直线加速器、机器人机械臂、治疗床、靶区定位（影像）追踪系统、治疗计划系统、呼吸追踪系统、计算机网络集成与控制系统等。

①直线加速器：射波刀使用一个紧凑型、能产生 6MV X 射线的轻型直线加速器，直线加速器安装在由机器人控制的机械臂上。

②机器人机械臂：机器人机械臂头端上安装有直线加速器，它带动直线加速器围绕患者在前、后、左、右、上、下六度空间自由转动，按照计算机预设的路线，机械臂可将直线加速器调整到最多两百余个位置（或节点）。在每个节点处可以从 12 个

角度投照射线，因此提供多达最多三千个方位发出射线。每到一个预设治疗点，机械臂停止运动，直线加速器对准靶区投照相应的放射剂量。

③治疗床：射波刀的治疗床也由机器人控制，可以在六度空间自由移动。

④靶区定位（影像）追踪系统：与传统放射外科使用立体定向架固定患者头部以确保射线精确投照不同，射波刀使用人体骨骼结构作为参考框架，颅内病灶与颅骨之间产生固定的对应关系。靶区定位（影像）追踪系统是利用天花板上安装的两组诊断X射线球管和安装于地板平面下的影像探测器组成。两组X射线球管发出的低能X线相互垂直，交叉穿过头颅（或患者肿瘤的治疗部位），影像探测器获得颅骨的数字图像，并将影像资料传输到数据处理系统，计算机与事先CT扫描获得的颅骨数字重建图像(DDR)相比较，首先确定颅骨的精确位置，然后得出治疗靶目标（病灶）的精确位置。靶区定位追踪系统使用4套计算机软件，治疗颅内病变时，使用6维颅骨追踪软件：治疗脊髓、脊柱及其周围肿瘤时，使用X sight Spine(脊柱追踪软件)；治疗部分周围型肺癌时，使用X sight Lung(肺部追踪软件)；治疗随呼吸运动的肿瘤时或需要埋置金标时，使用金标追踪和呼吸追踪系统。

⑤治疗计划系统：由计算机工作站和Multiplan治疗计划软件组成。病人治疗前，先由自带定位系统作X-ray定位，将定位影像传输到计算机内。医生先勾画出计划治疗的肿瘤和重要器官，然后设置中心点，最后选择准直器并给出肿瘤和重要器官的剂量要求，计算机能自动设计一个满足设定条件、适形满意、剂量分布均匀、照射范围与肿瘤形状几乎吻合的治疗计划。根据治疗的需要，医生可设计单次治疗，也可设计分次治疗。射波刀治疗计划系统不仅具有常规的正向治疗计划，而且还有任意形状逆向治疗计划。正向治疗计划是医生根据病灶的大小和形状，选择相应的准直器和照射方式逐步设计出一个和病灶形状几乎一样的照射形状，然后给出周边剂量和中心剂量。逆向治疗计划是医生先勾画出计划照射的靶区以及给出靶区和重要器官的剂量要求，计算机自动设计一个满足设定条件的治疗计划。

⑥呼吸追踪系统：当治疗肺部肿瘤或受呼吸运动影响的肿瘤时，肿瘤随着病人的呼吸而上下左右运动。治疗这些体部肿瘤之前，需要向肿瘤内或周围放置金标（由黄金制成的，长5mm、直径0.8mm的圆柱体称为金标），金标放置5-7天后才能实施射波刀治疗。呼吸追踪是让病人穿上胸前戴有发红光二极管的背心，呼吸追踪摄像机通过捕捉二极管的运动获得肺部的呼吸运动节律，计算机建立呼吸模型。治疗时，通

过追踪金标的位置获得肿瘤的精确位置，同时计算机根据呼吸节律，自动微调机器人机械臂，让射线始终精确瞄准病灶。

⑦计算机网络集成与控制系统：射波刀拥有一个计算机工作站(SGI)，SGI 计算机通过网络控制机器人机械臂、控制直线加速器何时投照射线、治疗床的移动和治疗靶区位置的追踪。此外，治疗时获得的骨骼图像与定位图像的自动比对均在 SGI 计算机掌控下自动进行。与现有的直线加速器和伽马刀相比较，射波刀有如下优势：治疗精确、无痛无创、治疗时间短、毒副作用小。

射波刀外形结构见图 9.1.3.2-1，其射线治疗示意图见图 9.1.3.2-2。

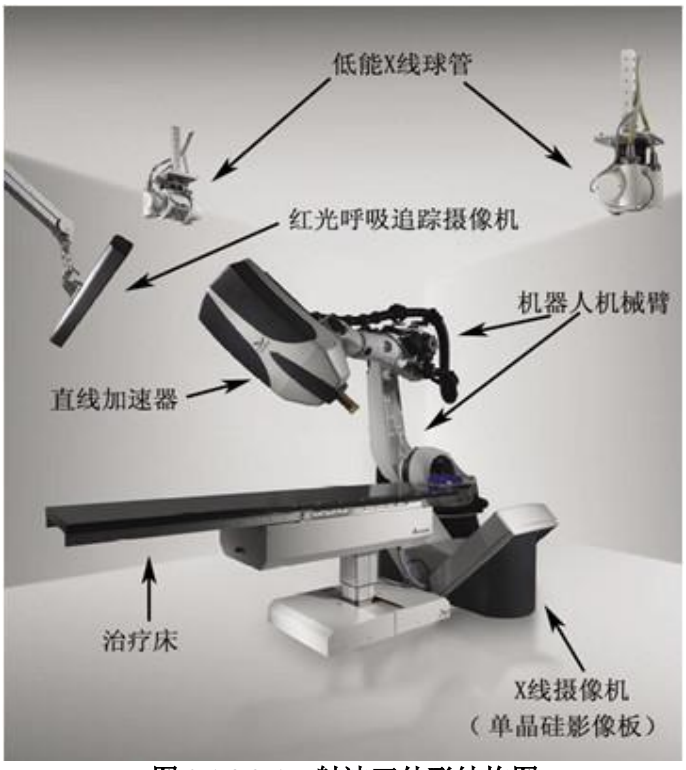


图 9.1.3.2-1　射波刀外形结构图

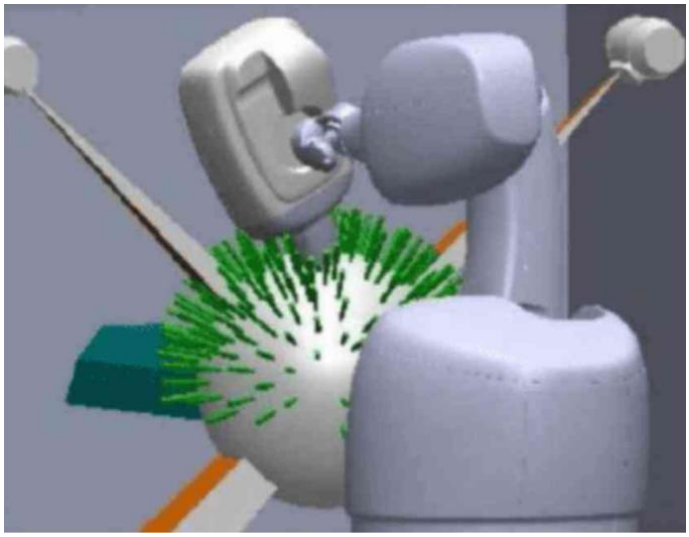


图 9.1.3.2-2　射波刀射线治疗示意图

（2）射波刀技术参数

射波刀主要的技术参数如表 9.1.3.2-1 所示。

表 9.1.2.3-1　射波刀内直线加速器的主要技术参数

设备名称	射波刀
型号	待定
最大 X 射线能量	6MV
源轴距（SAD）	0.8m
等中心剂量率	等中心最大剂量率10Gy/min
最大照射野尺寸	11.5cm×10cm
X 射线泄漏率	≤0.1%
等中心距地面高度	0.92m
定位系统	含 2 台 X 射线装置，最大管电压 150kV，最大管电流 640mA

（3）工艺流程与产污环节

射波刀在放射治疗应用中，采用非等中心且从不同方向，以上千个小的圆形照射野（直径一般为 1.5cm）照射肿瘤部位，主射束会照射到治疗室机房的大部分墙面上。工艺流程与产污环节分析示意图具体见图 9.1.3.2-3。

具体操作流程为：

①诊断和肿瘤定位

患者经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者进行预约登记，告知辐射危害。预约患者在模拟定位机上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状（依托本项目放疗科新增 CT 模拟定位机）。

②治疗计划

根据之前定位图像等，主治医师勾画靶区，选择合适的追踪模式，选择准直器的大小、射线强度、靶区范围、剂量分布、治疗剂量和其它参数，计算机能自动设计一个满足设定条件、适形满意、剂量分布均匀、照射范围与肿瘤形状几乎吻合的治疗计划。治疗计划设计完毕，将治疗计划保存并传输到射波刀主控计算机。

③靶区定位

患者平卧并固定在治疗床上，其余人员撤离治疗室，关闭大门。影像系统采集靶区的实时影像，并与治疗计划系统的治疗影像进行比对，找到靶区方位误差，工作人员通过电脑操作，移动治疗床，使实时影像与治疗影像完全拟合。此时计算机获得了患者病灶的初步方位。

④射线治疗

机械臂将直线加速器旋转到初始坐标位，然后按照程序将加速器围绕着患者旋转到预定节点，直线加速器每到一个节点，机械臂停止运动，此时靶区定位追踪系统立刻获得新的靶区影像，计算机确认目前的靶区影像与治疗开始时影像完全一致。如果病人靶区有轻微的移动，靶区定位追踪系统立刻计算出移动造成的偏差，并将此偏差传输到机器人机械臂，机械臂微调加速器的方位或射线的入射角度，最后加速器将所需的剂量精确投射到病灶内。如果患者的移动超过计算机自动调整的范围，治疗会紧急暂停。加速器每到一个预定节点，将重复上述影像实时验证步骤。在治疗过程中，X 射线球管每 10 秒钟发射一次，靶区影像追踪系统获取一次影像信息，从摄像到调整数据只需要几秒钟，射波刀基本上做到了在治疗过程中实时跟踪治疗靶区，根据病情需要射波刀可将单次治疗变成多次分割治疗。

⑤治疗结束

治疗结束后，关机，打开治疗室防护门，患者离开治疗室。

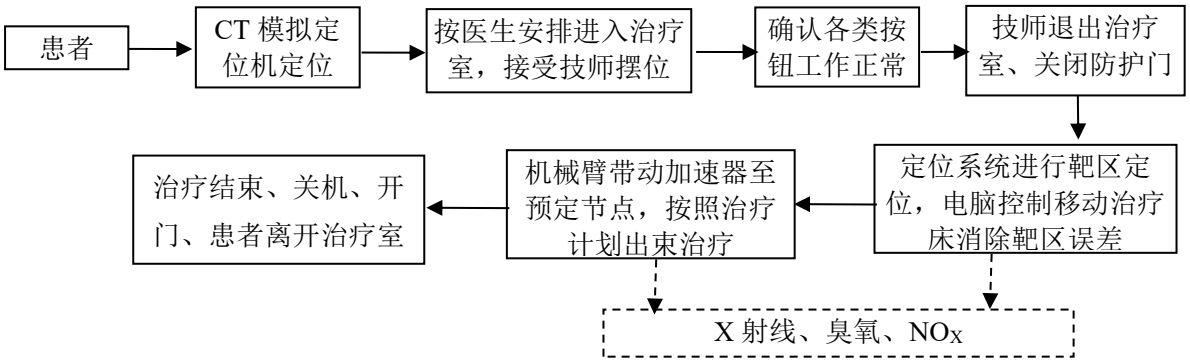


图 9.1.3.2-3　射波刀工作流程及产污环节图

因此，射波刀正常工况下，污染源项主要为开机状态下产生的 X 射线，同时产生少量臭氧和氮氧化物。依托的放疗科 CT 模拟定位机相关评价内容见“9.1.3.6 CT 模拟定位机”。

（4）人员路径

①患者路径：患者在放疗科等候区等待叫号，根据叫号进入准备间，由机房西侧防护门进入射波刀机房进行治疗，治疗结束后原路返回。

②医护人员路径：医护人员经准备间进入射波刀机房控制室，操作设备出束；由机房西侧防护门进入射波刀机房，对患者进行摆位，完成工作后原路返回控制室。

（5）工作负荷

本项目拟新建 1 间射波刀机房，拟安装 1 台射波刀，投入使用后，预计每天放射治疗工作量最多为 10 人次，平均每人次治疗照射时间为 40min，每周工作 5 天，则

周治疗时间为 33.4h；1 年工作 50 周，则年治疗时间为 1666.7h。

9.1.3.3 螺旋断层放射治疗系统（TOMO）

（1）工作原理

螺旋断层放射治疗系统是一个综合的放射治疗系统，集成了计划、剂量计算、CT 扫描定位和螺旋治疗等功能调强放疗治疗。这一系统的主要特点在于：高能 X 射线束 360 度旋转聚焦注射肿瘤，靶区适形性佳，剂量分布均匀，使正常组织及器官得到最大限度的保护；具有图像引导功能，每次治疗前在治疗机上进行 CT 成像，确认治疗体位在三维空间上与治疗计划一致后再进行放疗，从而保证了治疗的精确性。

6MV 直线加速器安装在螺旋 CT 滑环机架上，加速管沿机架的径向安装，机架能够 360 度旋转。它可产生 6MV 的扇形束 X 射线，经射线出口处的二元开/关式多叶准直器调制，从而实现 360 度螺旋断层调强放射治疗。在治疗开始前经螺旋扫描进行 CT 成像扫描，重建出患者的三维影像，与计划 CT 影像进行比较，从三维方向上修正摆位误差，从而实现图像引导下的 IMRT 治疗。

（2）设备组成

螺旋断层放射治疗系统包括以下几部分：

①机架及设备机壳：直线加速器部分、CT 探测器子系统、温控系统安装在旋转机架上，组件产生辐射并将其传送给患者；

②患者治疗床：带有复合材料的平板床面，用于支撑患者和旋转孔内移动患者，同时在治疗过程中对患者进行定位；

③激光定位系统：带有复合材料的平板床面，用于支撑患者和旋转孔内移动患者；

④操作台工作站：控制室内，操作人员可控制和监视断层图像的采集、患者定位和治疗情况；

⑤状态控制台：配有选择步骤类型的钥匙开关，开始、停止出束、紧急停止按钮及其状态指示灯；

⑥计划系统工作站：用于治疗 CT 图像采集和组织定义，评估及保存优化治疗计划；

⑦共享数据库服务器：包含整个系统所使用的患者数据和机器数据；

⑧最优化引擎：采用剂量优化和剂量计算，该设备采用专用硬件来加速优化和剂量计算过程。

TOMO 外观图见图 9.1.3.3-1。TOMO 系统为 360°旋转，有用线束区带有自屏蔽部件，15.2cm 厚的铅板位于主线束源对面的旋转机架上，始终位于主射照射面。TOMO 系统结构示意图见图 9.1.3.3-2 和图 9.1.3.3-3。

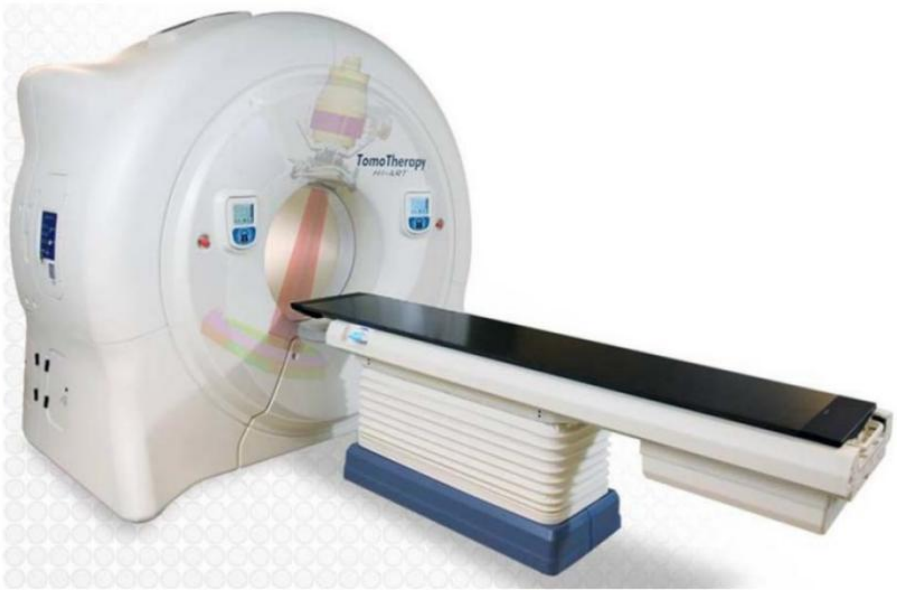


图 9.1.3.3-1　TOMO 外观图

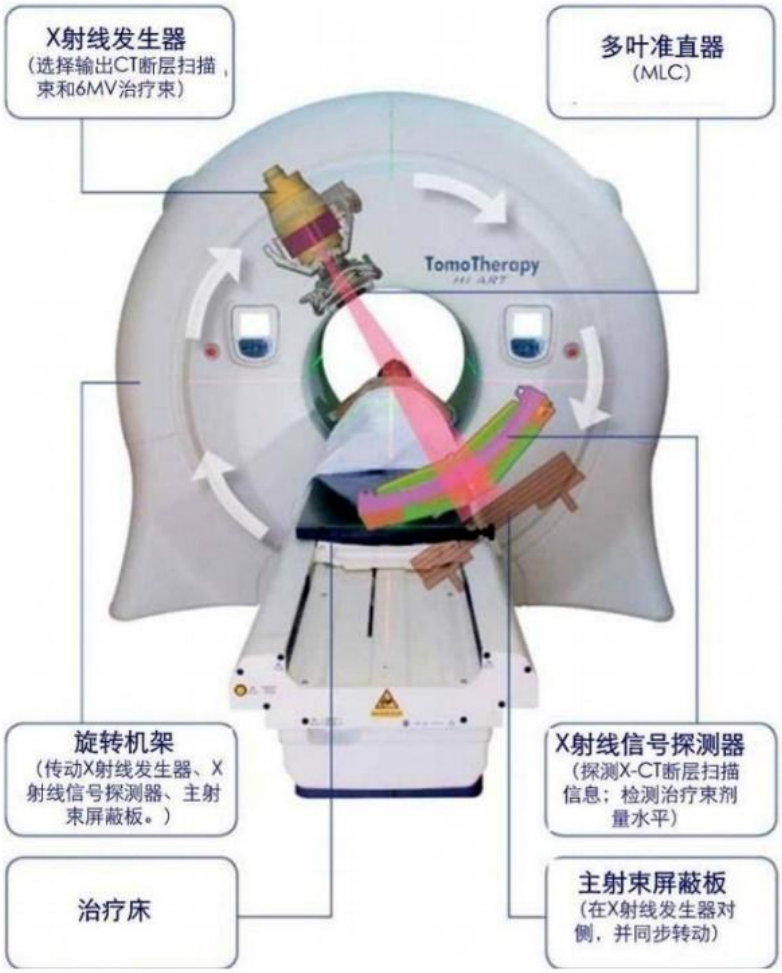


图 9.1.3.3-2　TOMO 系统结构示意图

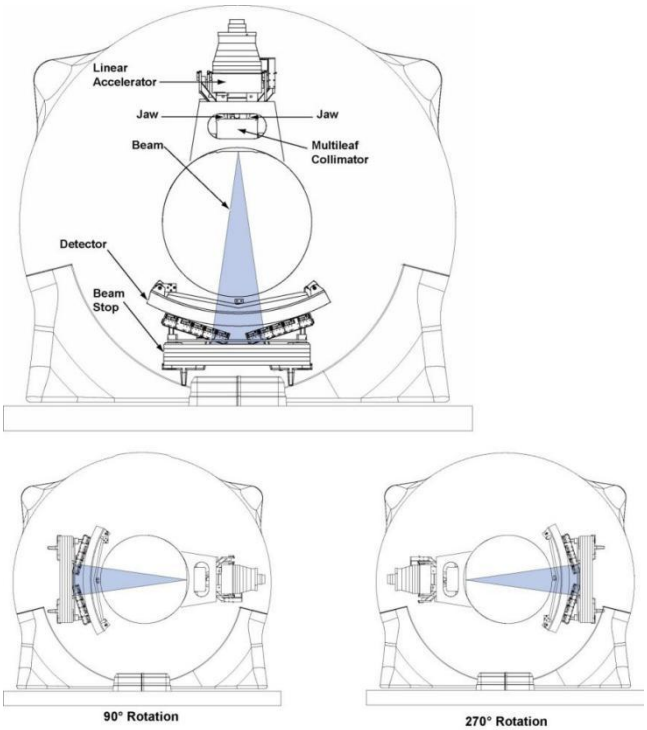


图 9.1.3.3-3　TOMO 系统自屏蔽区构造示意图

（3）TOMO 技术参数

TOMO 系统主要的技术参数如表 9.1.3.3-1 所示。

表 9.1.3.3-1　TOMO 主要技术参数

设备名称	TOMO
治疗束种类及能量	X射线6MV
等中心治疗剂量率	治疗束等中心最大剂量率10.6Gy/min
源轴距（SAD）	85cm
等中心点相对水平地面高度	113cm
系统等中心处最大照射尺寸	5cm×40cm
辐射源运动类型	主射束360度旋转，治疗床同步移动
系统自带主束挡铅厚度	15.2cm厚铅板，安装于X射线发生器对侧位置上，并同步转动
CT管电压	100-140kV
CT管电流	80-200mA

（4）工艺流程与产污环节

TOMO 治疗装置的核心部件是 6MV 电子加速器，属于一种窄束调强放射治疗装置。治疗束在等中心处的照射野：长 5cm，宽 40cm。在加速器机架旋转、多叶光栅的窄束适形调强“断层”照射的同时，治疗床推移，使待照射区通过窄治疗束，待照射区以断层截面扫描照射的方式获得治疗计划的准确、均匀的治疗剂量，整个工作过程类似于螺旋 CT。工艺流程与产污环节分析示意图具体见图 9.1.3.3-4。

具体操作流程为：

①患者经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者进行预约登记，告知辐射危害；

②预约患者首先在模拟定位机上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状（依托本项目放疗科新增 CT 模拟定位机）；

③物理师通过医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划；

④肿瘤患者在技师协助下躺上治疗床，进行摆位，根据 TPS 确定照射位置和面积；

⑤技师离开治疗室，进入控制室，根据 TPS 计划进行出束治疗；

⑥通过 CT 扫描结果确认治疗体位在三维空间上与治疗计划一致；

⑦工作人员启动 TOMO 治疗束部分开始照射治疗，治疗时工作人员隔室操作；

⑧治疗结束后，关机，打开治疗室防护门，患者离开治疗室。

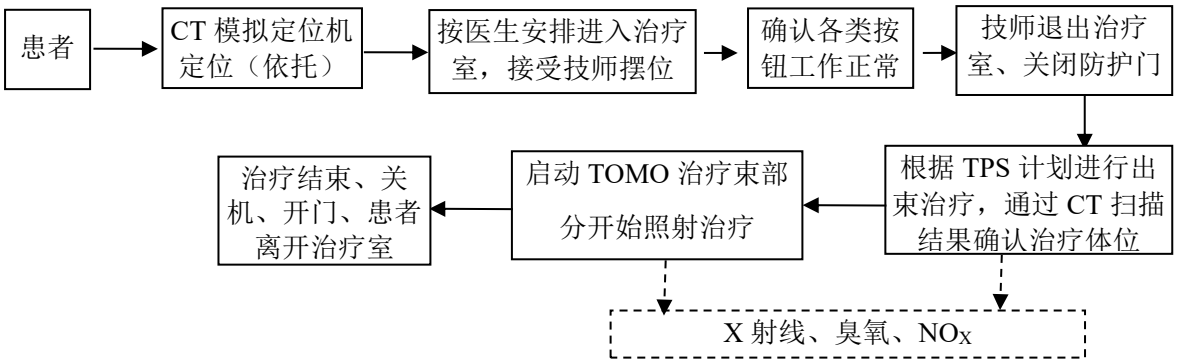


图 9.1.3.3-4　TOMO 工艺流程及产污环节分析示意图

因此，TOMO 正常工况下，污染源项主要为开机状态下产生的 X 射线，同时产生少量臭氧和氮氧化物。依托的放疗科 CT 模拟定位机相关评价内容见“9.1.3.6 CT 模拟定位机”。

（5）人员路径

①患者路径：患者在放疗科等候区等待叫号，根据叫号进入准备间，由机房西侧防护门进入 TOMO 机房进行治疗，治疗结束后原路返回。

②医护人员路径：医护人员经准备间进入 TOMO 机房控制室，操作设备出束；由机房西侧防护门进入 TOMO 机房，对患者进行摆位，完成工作后原路返回控制室。

（6）工作负荷

TOMO 机房预计每天放射治疗工作量最多为 30 人，平均每名患者 CT 扫描影像

采集和患者病变区治疗照射时间为 5min，每周工作 5 天，则每台周照射时间为 12.5h，年照射时间为 625h。

9.1.3.4 磁共振加速器

（1）工作原理

磁共振直线加速器是将直线加速器与磁共振扫描相结合，通过磁共振扫描来捕捉肿瘤及其周围组织的高品质图像，能清楚的看到病人的实时解剖成像，因此，在放射治疗过程中可以精确定位并锁定肿瘤从而做出精确的辐射治疗，减少了正常组织在辐射下的暴露时间。由于在肿瘤病人的治疗过程中，肿瘤和周围的解剖结构每天都会自然的改变形状和位置，在实际的治疗过程中，这种改变对放疗精度的影响很大，利用磁共振成像，可以给肿瘤辐射更多的放疗剂量，并同时减少周围器官的副作用。

（2）设备组成

磁共振加速器直加部分产生 X 射线基本同医用直线加速器，该设备的特殊性在于：设备是由一个 1.5T 的 MRI 系统和一个安装在滑环机架上的 7.2MV 直线加速器集为一体而成，是一个高场强磁共振影像引导的放疗系统，具备在辐射射束治疗肿瘤的同时进行高软组织分辨成像的功能，支持实时图像引导下的自适应放射治疗。

设备的 MRI 在图像质量和成像速度方面与诊断 MRI 相似。滑环机架被隐藏在射频电磁屏蔽网罩外面，使得本产品的外观更像是一个诊断扫描仪而不像是一个治疗装置。辐射光束通过一个固定角度的多叶准直器（MLC）形成治疗射野，沿头脚方向运动。加速器产生的射线束穿过特殊设计的超导磁体，对患者实施照射。

滑环机架上加速器束流发生装置的对侧安装了射线屏蔽系统 Beam Stop，其功能有二：一是将射线的强度减弱；二是起到系统配重的作用，在加速器旋转时可以保持系统的动态平衡。

射线屏蔽系统 Beam Stop，安装位置位于加速器束流发生装置的对侧，主射线方向的受检者的背后；此屏蔽材料会对主射线进行阻挡作用，并且此屏蔽板会跟随主线束方向旋转而旋转，可以有效地对直线加速器的主线束进行有效地屏蔽。屏蔽阻挡的长度和宽度能覆盖到射线出束最大角度 8°的范围。主射线穿过设备自带屏蔽板后，使得设备主束方向的总的辐射泄漏率降至 0.2%，其他方向的辐射泄漏率降低至 0.1%。

设备为等机架旋转中心照射，出束方向旋转角度为 360 度，自屏蔽板始终垂直于主束，由于设备主束方向的射线强度是最大的，所以进行主射线方向的屏蔽设计，主

射线穿过设备自带屏蔽板后，主要为散射线和漏射线。核磁部分不属于核技术利用范畴，本项目不做相关评价。

磁共振直线加速器设备示意图如 9.1.3.4-1 所示，结构示意图如 9.1.3.4-2 所示。

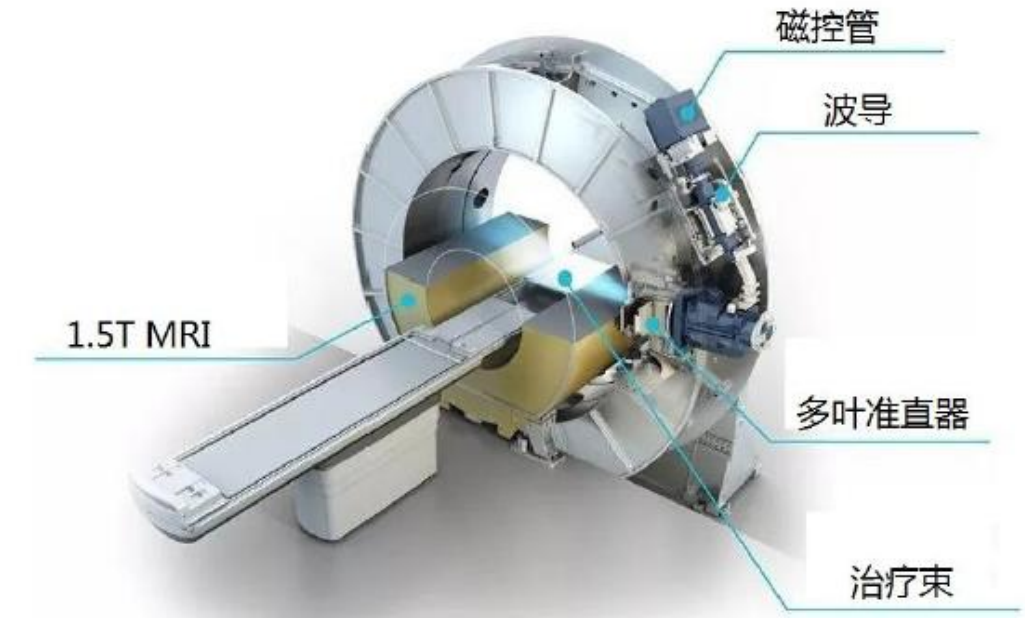


图 9.1.3.4-1　磁共振直线加速器设备示意图

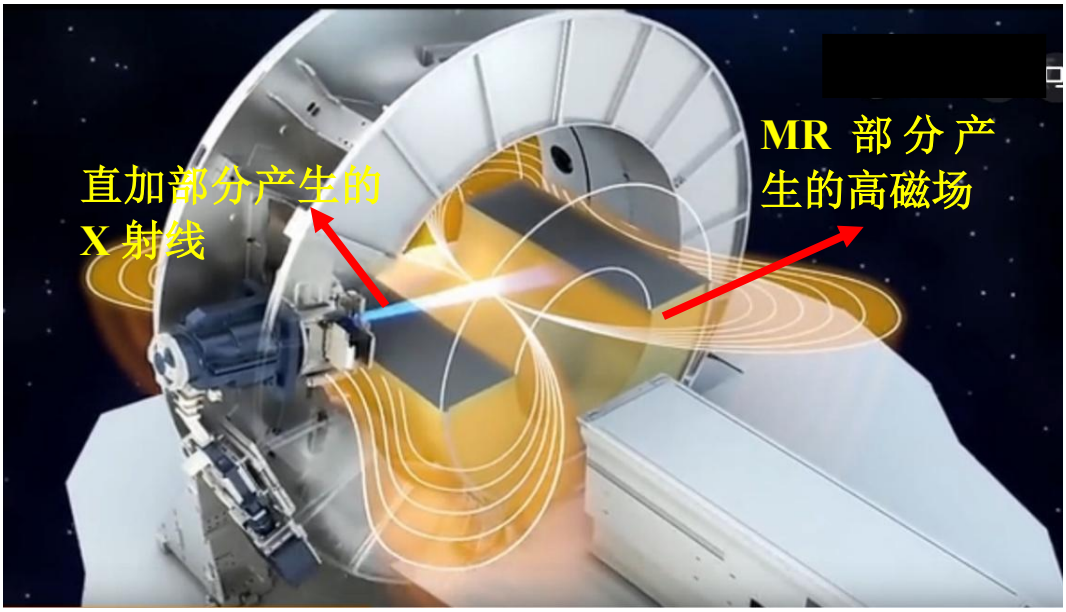


图 9.1.3.4-2　磁共振直线加速器结构示意图

（3）技术参数

磁共振直线加速器主要的技术参数如表 9.1.3.4-1 所示。

表 9.1.3.4-1　磁共振直线加速器主要技术参数

设备名称	磁共振直线加速器
治疗束种类及能量	X射线 7.2MV
等中心剂量率	治疗束等中心最大剂量率7Gy/min

源轴距（SAD）	1435mm
系统等中心处最大照射尺寸	574mm×220mm
主射束和辐射泄漏	主射线穿过设备自带屏蔽板后，使得设备主束方向的总的辐射泄漏率降至0.2%，其他方向的辐射泄漏率降低至0.1%
等中心点相对水平地面高度	100cm

（4）工艺流程与产污环节

磁共振直线加速器的操作流程与使用常规直线加速器利用 X 射线图像引导定位实施放疗的操作流程有很多相似之处。最大的不同之处在于设备本身提供在线自适应计划的能力，简单地描述在线自适应放疗需包括以下步骤：

①患者依模拟体位在治疗床上固定，用适当的 MRI 序列采集患者治疗体位的三维影像。

②在线计划 MRI 与模拟计划 MRI 进行可形变配准，根据配准变换自动勾画在线 MRI 的结构，结构勾画和电子密度赋值的结果由放疗医师检查核准。

③以治疗前计划为基础对在线 MRI 定义的靶区设计在线治疗计划。医师和物理师审核在线治疗计划并用软件检验剂量计算的准确性。

④治疗前和治疗中连续采集 MRI 影像，在新的影像上显示靶区轮廓。医师在指令实施治疗前确认患者定位的稳定性。

⑤在治疗中实时监控肿瘤的位置，肿瘤位置发生偏离时采取纠正的措施。

⑥治疗结束后，关机，打开治疗室防护门，患者离开治疗室。

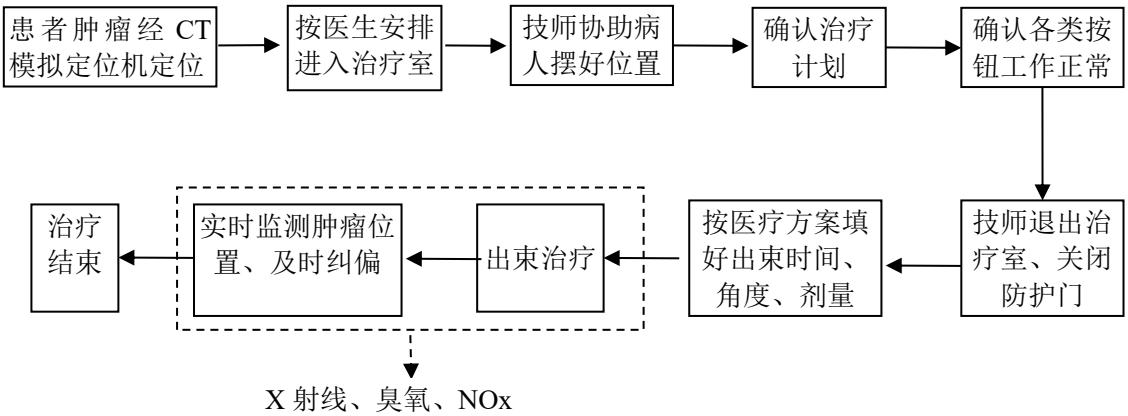


图 9.1.3.4-3　磁共振加速器工艺流程及产污环节分析示意图

磁共振直线加速器的 X 射线最大能量为 7.2MV，根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），无需考虑中子防护和感生放射性的放射防护。因此，磁共振直线加速器正常工况下，污染源项主要为开机状态下产生的 X 射线，同时产生少量臭氧和氮氧化物。依托的放疗科 CT 模拟定位机相关评价内容见“9.1.3.6 CT 模拟

定位机”。

（5）人员路径

①患者路径：患者在放疗科等候区等待叫号，根据叫号进入准备间，由机房西侧防护门进入磁共振直线加速器机房进行治疗，治疗结束后原路返回。

②医护人员路径：医护人员经准备间进入磁共振直线加速器机房控制室，操作设备出束；由机房西侧防护门进入磁共振直线加速器机房，对患者进行摆位，完成工作后原路返回控制室。

（6）工作负荷

本项目拟新建 1 间磁共振直线加速器机房，拟安装 1 台磁共振直线加速器，投入使用后，预计每天放射治疗工作量最多为 25 人，平均每名患者治疗照射时间为 6min，每周工作 5 天，则每台周照射时间为 12.5h，年照射时间为 625h。

9.1.3.5 后装机

（1）后装机基本情况

本项目后装机采用 ^{192}Ir 核素为放射源，设计装源活度为 5.55×10^{11}Bq。^{192}I 放射源的性能参数见下表。

表 9.1.3.5-1　放射源 ^{192}Ir 的性能参数

核素	活度（Bq）	状态	半衰期	γ射线能量均值	空气比释动能率常数 K_r	源距地面高度
^{192}Ir	5.55E+11	固态	74.0d	0.37MeV	0.111μSv/(h·MBq)	1.0m

（2）工作原理

后装治疗是放射治疗的一种方法，所谓后装就是预先在患者需要治疗的部位正确地放置施源器，然后采用遥控程序控制，将贮源器内放射源输入施源器内实施治疗的技术。本项目后装治疗属近距离放疗，治疗时依照临床要求，使γ放射源在人体自然腔、管道或组织间驻留而达到预定的剂量及其分布的治疗手段，后装治疗具有放射源强度小、治疗距离短、局部剂量高、周边剂量迅速跌落的特点，主要治疗不同部位的肿瘤以及手术难以切净而周围又有重要脏器限制外照射剂量的患者，如胰腺、胆管、膀胱癌、直肠癌及宫颈癌等。

（3）设备组成

后装机为计算机控制的遥控后装系统，包括后装主机、3D 近距离治疗计划系统和各种施源器。后装主机部分包括后装治疗机和控制台，后装治疗机安装在治疗室内，

控制台电脑安放在控制室内，遥控操作。配备彩色闭路电视监视系统和对讲机系统，监视系统包含“推、拉、摇、移”功能的云台、摄像头、监视器和控制面板；对讲机系统，用于治疗师和病人之间的通话；系统自带独立的射线监测装置，并在治疗室内及控制台处装有声光显示。

贮源器是贮存后装治疗用放射源的容器，包括供运输（或暂存）放射治疗源用的运输贮源器和供后装机配套用的工作贮源器，工作贮源器位于后装机机体中央，一般采用钨合金屏蔽材料，保证贮源器没有伽玛射线泄漏的直接路径。运输（或紧急/维修）贮源器用于放射源的运输、在放射源不能进入后装机的贮源器，或在维修后装机驱动机械部分时，临时存放放射源，运输贮源器由设备供货厂家提供并同放射源一起更换。

施源器是预先放入人体腔、管道或组织间，供放射源驻留或运动，并实施治疗的特殊容器；通道是在后装机中专供密封放射源或其组件在其中运动的轨迹，此通道与贮源器和施源器相连接。典型后装机和施源器外形如图 9.1.3.5-1 所示。



后装机



妇科施源器



鼻咽施源器

图 9.1.3.5-1　典型后装机和施源器外形图

（4）工艺流程与产污环节

本项目后装治疗机使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源，新源的活度大约 555GBq（15Ci），其直径<1.0mm，长度<4.6mm，用激光焊接于弹性驱动线缆上，从分度盘至最远的位置为 1500mm。工艺流程与产污环节分析示意图具体见图 9.1.3.5-2。

具体操作流程为：

①患者经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者进行预约登记，告知辐射危害；

②预约患者首先在模拟定位机上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状（依托本项目放疗科新增 CT 模拟定位机）；

③治疗前，在准备室根据患者患处情况放置施源器，随后患者进入治疗室，接上与放射源相连的导管，然后借助后装机将源送到需要照射的部位。确认除患者外无人滞留后，技师离开机房并关好门。

④放射源的输送由技师在控制室遥控操作，先驱动假源探路，正常后缩回假源，再驱动真源按计划执行治疗，放射源步进到位精度为毫米级。

⑤达到治疗时间后，技师通过遥控控制源返回贮源器内，系统装有联锁装置，在治疗室的门未关闭或按下紧急按钮时，源不会送出或将已送出的源撤回，确认源安全返回贮源器内，方可通过操作台控制打开迷路防护门。

⑥打开治疗室防护门，患者离开治疗室。

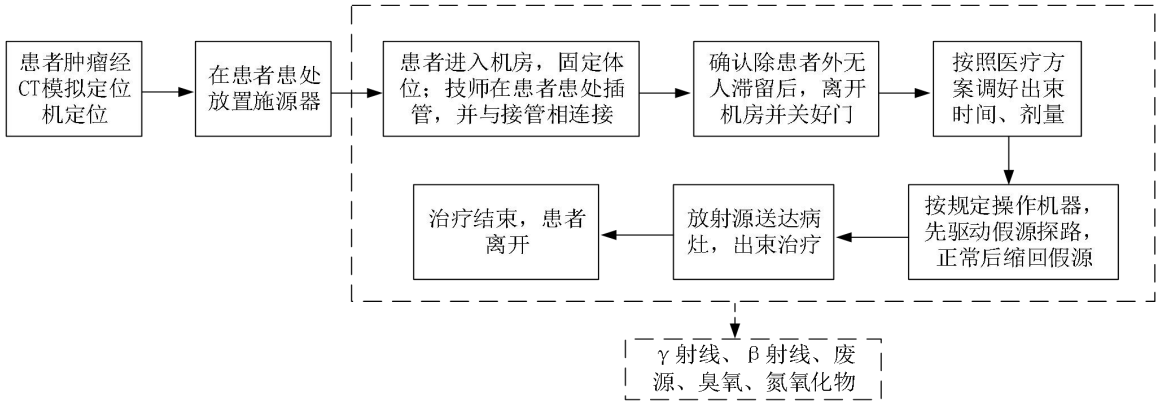


图 9.1.3.5-2　后装机近距离治疗工作流程及产污环节示意图

因此，后装机正常工况下，污染源项主要为γ射线、β射线、废源，同时产生少量臭氧和氮氧化物。后装机配套使用 UPS 电源，该 UPS 电源采用铅蓄电池供电，其更换周期约 5 年/次，更换周期后产生废 UPS 电源。依托的放疗科 CT 模拟定位机相关评价内容见“9.1.3.6 CT 模拟定位机”。

（5）人员路径

①患者路径：患者在放疗科等候区等待叫号，根据叫号进入准备室，由机房南侧防护门进入后装机房进行治疗，治疗结束后原路返回。

②医护人员路径：医护人员经缓冲间进入后装机房控制室，操作放射源送达病灶；由机房南侧防护门进入后装机房，对患者进行摆位，完成工作后原路返回控制室。

（6）工作负荷

本项目拟新建 1 间后装机房，拟安装 1 台后装机，投入使用后，预计每天放射治疗工作量最多为 15 人，每周工作 5 天，参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中附录 F.1 的“示例条件与基本参数”：平均每位患者的治疗照射时间为 6min，则周照射时间为 7.5h，年照射时间为 375h。

9.1.3.6 CT 模拟定位机

（1）设备技术参数

本项目拟新建 1 间 CT 模拟定位机房，拟安装 1 台 CT 模拟定位机，主要技术参数如表 9.1.3.6-1 所示。

表 9.1.3.6-1　模拟定位机的技术参数

装置名称	类别	数量	型号	最大管电压	最大管电流	使用位置
CT 模拟定位机	III类	1 台	待定	140kV	1000mA	住院楼 C 楼地下一层放疗科 CT 模拟定位机房

（2）设备组成及工作原理

CT 模拟定位机主要功能就是 CT 扫描，其设备组成及工作原理具体见“9.1.1.5PET/CT 和 SPECT/CT 配套 CT”。

（3）工艺流程与产污环节

本项目 CT 模拟定位机具体操作流程为：

①患者经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要肿瘤定位的患者进行预约登记，告知辐射危害；

②患者在技师的指导下正确摆位；

③技师进行隔室操作，利用 CT 模拟定位机进行肿瘤定位；

④检查结束，打开治疗室防护门，患者离开检查室。

工艺流程与产污环节分析示意图具体见图 9.1.3.6-1。

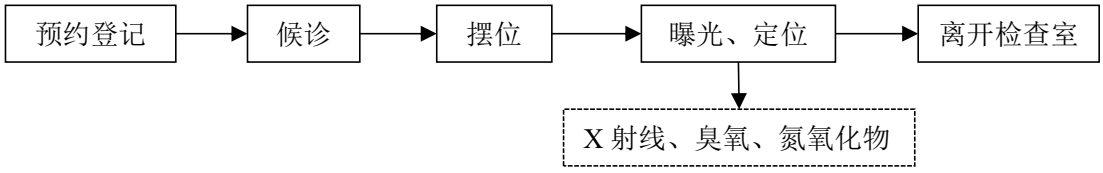


图 9.1.3.6-1　模拟定位诊断流程及产污环节

因此，CT 模拟定位机正常工况下，污染源项主要为开机状态下产生的 X 射线，同时产生少量臭氧和氮氧化物。

（4）人员路径

①患者路径：患者在放疗科等候区等待叫号，由机房南侧防护门进入 CT 模拟定位机房，检查结束后原路返回。

②医护人员路径：医护人员经走廊进入 CT 模拟定位机房控制室，操作设备出束；从控制室进入 CT 模拟定位机房，对患者进行摆位，完成工作后原路返回控制室。

（5）工作负荷

本项目拟新建 1 间 CT 模拟定位机房，安装 1 台 CT 模拟定位机，投入使用后，预计每天诊断患者最多为 200 人次，设备单次曝光时间不超过 20 秒，每周工作 5 天，则 CT 模拟定位机周照射时间为 5.56h，年照射时间为 278h。

9.1.4 介入手术项目

本项目拟在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上三层建设 4 间 DSA 机房（分别为 DSA 机房 1~4），机房内分别安装使用 1 台 DSA（属II类射线装置），用于影像诊断和介入治疗。

本项目拟在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上四层建设 1 间 DSA 复合手术室，机房内安装使用 1 台 DSA。DSA 复合手术室西侧的 CT 存放间拟放置 1 台滑轨 CT（属III类射线装置），在 DSA 介入手术过程中需要 CT 曝光时，可将滑轨 CT 移动至复合手术室进行隔室曝光。

该滑轨 CT 除了用于 DSA 复合手术室，还用于 CT 存放间西侧的 CT 复合手术室。若手术过程中需要 CT 曝光时，可将滑轨 CT 移动至 CT 复合手术室进行隔室曝光。

（1）工作原理

①DSA

数字减影血管造影技术（Digital Subtraction Angiography，简称"“DSA”）是血管造影术和电子计算机图像处理技术相结合的产物。DSA 成像的基本原理是将受检部位注入造影剂（造影剂主要成分为碘帕醇，是为增强影像观察效果而注入（或服用）到人体组织或器官的化学制品，不含有放射性）之前和注入造影剂后的血管造影 X 射线荧光图像，分别经影像增强器增益后，再用高分辨率的电视摄像管扫描，将图像分割成许多的小方格，做成矩阵化，形成由小方格中的像素所组成的视频图像，经对数增幅和模/数转换为不同数值的数字，形成数字图像并分别储存起来，然后输入电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，获得的不同数值的差值信号，再经对比度增

强和数/模转换为普通的模拟信号，获得去除骨骼、肌肉和其他软组织，只留下单纯血管影像的减影图像，通过显示器显示出来。

②CT

CT 主要功能就是 CT 扫描，其工作原理具体见“9.1.1.5PET/CT 和 SPECT/CT 配套 CT”。

③复合手术

在一些重大复杂的手术中，有时候需要通过 CT 诊断、DSA 手术多次才能完成。复合手术是通过将现代化影像诊断或介入治疗和外科手术整合在一起，实现介入手术与传统外科开放式手术相结合，发挥各自优势。原本需要多次才能完成的手术，现在在一次手术中就能完成，避免患者在手术室和放射科之间多次转运，减少了多次麻醉和转运可能带来的风险，提高了手术效率和手术的安全性。

（2）设备组成

①DSA：DSA 射线装置主要由影像探测器、X 线管头（本项目 DSA 均为单球管设备）、显示器、导管床、高压注射器、操作台、控制装置及工作站系统组成。典型 DSA 装置整体外观示意图如图 9.1.4-1 所示。

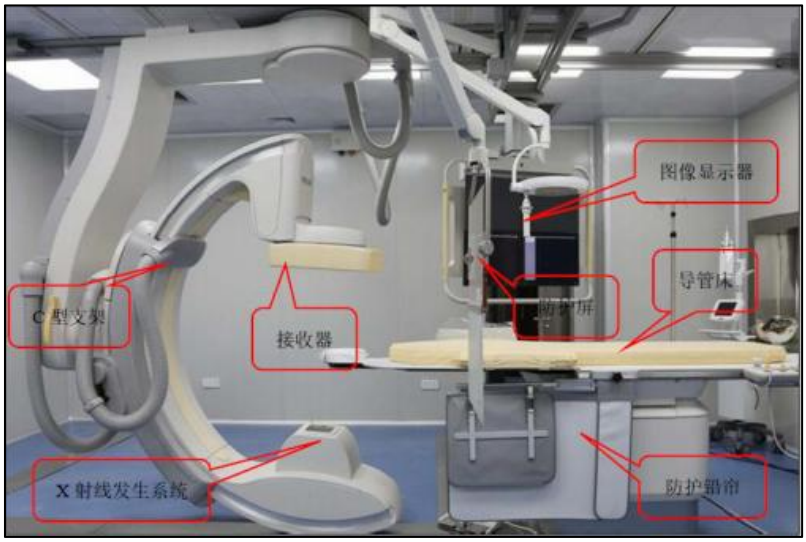


图 9.1.4-1　典型 DSA 装置整体外观示意图

②滑轨 CT：CT 设备主要由 X 线管、探测器、扫描架、计算机系统、图像显示与存储系统等部分组成。滑轨 CT 整体外观示意图如图 9.1.4-2 所示。



图 9.1.4-2　滑轨 CT 整体外观示意图

（3）工作方式

①DSA

在医学影像系统监视引导下，经皮针穿刺或引入导管做抽吸注射、引流或对管腔、血管等做成型、灌注、栓塞等。本项目介入手术过程中，介入手术医生须在手术床旁并在 X 射线导视下进行操作。

②CT

位于 DSA 复合手术室和 CT 复合手术室中间的 CT 存放间拟放置 1 台滑轨 CT（属III类射线装置），用于影像诊断。在 DSA 介入手术过程中需要 CT 曝光时，可将滑轨 CT 移动至 DSA 复合手术室，技师在 DSA 控制室内操作 CT 进行隔室曝光。滑轨 CT 在 DSA 复合手术室使用时，不与 DSA 同时运行。

在手术过程中需要 CT 曝光时，可将滑轨 CT 移动至 CT 复合手术室，技师在 CT 复合手术室控制室内操作 CT 进行隔室曝光。

复合手术采用无缝转接方式，把现代化影像诊断和介入治疗手术整合在一起。

（4）工艺流程与产污环节

①DSA

接诊患者后根据其病情确认诊疗方法，告知患者及家属采用 DSA 治疗的辐射危害。患者进入机房后，技师或护士协助摆位后离开机房（患者留下）。开启 DSA 设备，技师在控制室内首次拍片初步确认病灶部位后，手术医生穿戴好防护用品进入机房，在透视操作下插入导管，输入造影剂，之后离开机房，技师在控制室内再次拍片，当确诊病灶部位后，手术医生穿戴好防护用品后再次进入机房进行介入治疗直到治疗结束，关机。

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况，透视。进行介入手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师位于铅帘后身着铅服、铅眼镜在曝光室内对病人进行直接的介入手术操作。该种情况在实际运行中占绝大多数，是本次评价的重点。

第二种情况，摄影。操作人员采取隔室操作的方式（即技师在控制室内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况。

②DSA 复合手术

DSA 复合手术室西侧的 CT 存放间拟放置 1 台滑轨 CT，复合手术室与 CT 存放间之间设有电动推拉式防护门。复合手术需由麻醉医生、外科手术医师、影像技师及介入手术医师合作、分步骤完成，具体操作流程为：

a）进行 DSA 透视时，介入手术项目辐射工作人员在 DSA 复合手术室内对患者进行直接的介入手术操作，属于同室操作（DSA 复合手术室内仅有介入手术项目辐射工作人员，其他工作人员均离开）。

b）进行 DSA 摄影时，所有工作人员均离开 DSA 复合手术室，由 DSA 技师在控制室内操作 DSA 进行透视出束，属于隔室曝光。

c）需要 CT 曝光时，打开 DSA 复合手术室和 CT 存放间之间的铅防护门，将滑轨 CT 移动至复合手术室，所有工作人员均离开手术室，手术室和 CT 存放间之间的铅防护门关闭，由技师在 DSA 控制室内操作滑轨 CT 进行隔室曝光，属于隔室曝光；滑轨 CT 不与 DSA 同时使用。

d）CT 诊断完成后，将滑轨 CT 移动至 CT 存放间，手术室和 CT 存放间之间的铅防护门关闭。医护人员穿戴好防护用品后再次进入 DSA 复合手术室进行介入治疗直到治疗结束。

工艺流程与产污环节分析示意图具体见图 9.1.4-3。

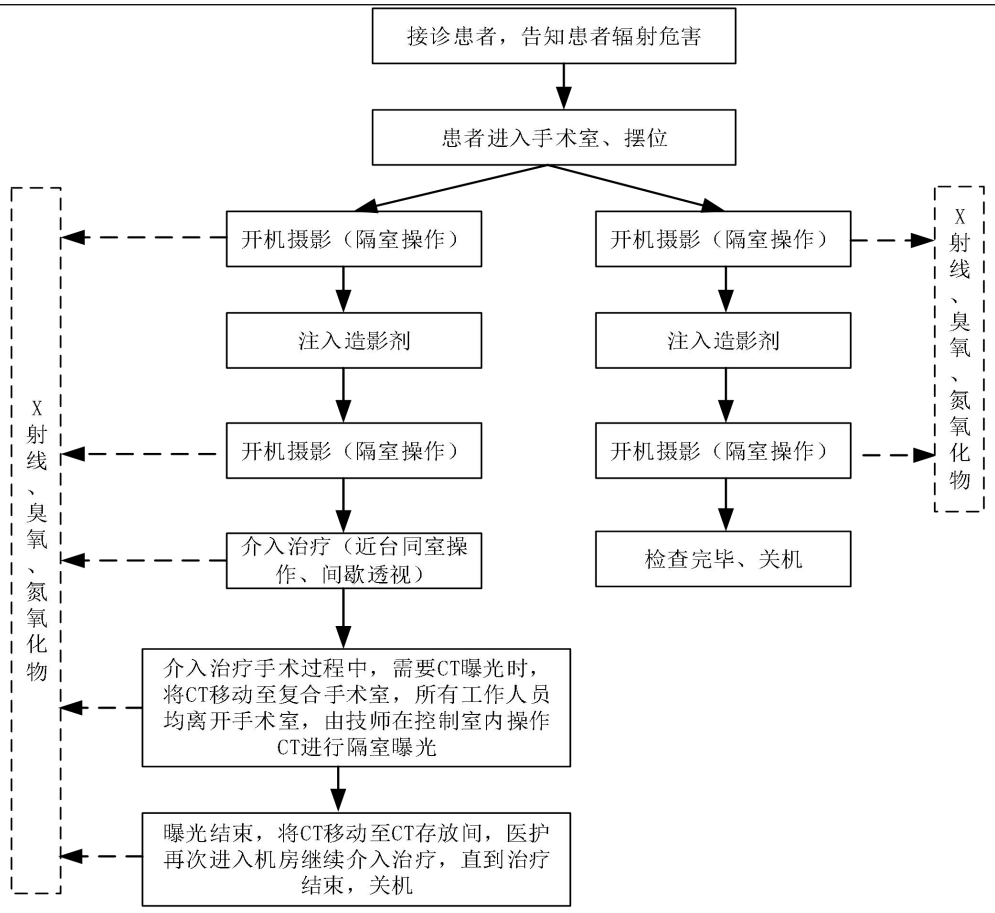


图 9.1.4-3　DSA 工艺流程与产污环节分析示意图

③CT 复合手术

在手术过程中需要 CT 曝光时，可将滑轨 CT 移动至 CT 复合手术室，技师在 CT 复合手术室控制室内操作 CT 进行隔室曝光。其工艺流程与产污环节分析基本同“②DSA 复合手术中 c、d 环节”。

因此，DSA 和 CT 正常工况下，污染源项主要为开机状态下产生的 X 射线，同时产生少量臭氧和氮氧化物。

（5）人员、物流路径

①DSA 机房 1~4

患者路径：患者麻醉后通过走廊，通过 DSA 机房 1~4 北侧防护门进入机房。治疗结束后，患者可沿原路离开。

介入医护人员路径：辐射工作人员经医护电梯进入控制廊，通过 DSA 机房 1~4 南侧防护门进入机房。治疗结束后，医护人员可按原路离开。

污物路径：本项目介入手术会产生药棉、纱布和手套等医疗废物，这些医疗废物采用专用容器收集后，待手术结束通过 DSA 机房 1~4 北侧防护门运出机房，沿北侧

走廊往西，运至污物暂存间内暂存。

②DSA 复合手术室

患者路径：患者由换床间进入，沿走廊由 DSA 复合手术室北侧防护门进入手术室。治疗结束后，患者沿走廊进入复苏室，后经换床间离开。

介入医护人员：辐射工作人员沿走廊进入控制室，通过 DSA 复合手术室东侧防护门进入机房。治疗结束后，医护人员可按原路离开。

污物路径：本项目介入手术会产生药棉、纱布和手套等医疗废物，这些医疗废物采用专用容器收集后，待手术结束从 DSA 复合手术室南侧防护门运出机房，沿污物走廊往北，运至污物暂存间内暂存。

③CT 复合手术室

患者路径：患者由换床间进入，沿走廊由 CT 复合手术室北侧防护门进入手术室。治疗结束后，患者沿走廊进入复苏室，后经换床间离开。

介入医护人员：辐射工作人员沿走廊进入控制室，通过 CT 复合手术室西侧防护门进入机房。治疗结束后，医护人员可按原路离开。

污物路径：本项目介入手术会产生药棉、纱布和手套等医疗废物，这些医疗废物采用专用容器收集后，待手术结束从 CT 复合手术室南侧防护门运出机房，沿污物走廊往北，运至污物暂存间内暂存。

（6）工作负荷

DSA 机房 1~4 和 DSA 复合手术室共配备 40 名辐射工作人员，包括手术医生 20 名、护士 10 名、技师 10 名。40 名辐射工作人员分为 10 组，每组配备手术医生 2 名、护士 1 名，控制室技师 1 名。本项目正常运行后，保守预计每年每台最大工作量为 300 台手术，则每组医护人员和技师年手术台数为 150 台。

本项目 DSA 包括透视和摄影两种模式，DSA 涉及的科室主要为介入血管科、消化内科和胃肠外科，手术类型有心脏血管及综合介入等类型。因每台手术类型不同，1 台手术中 DSA 的摄影和透视 X 射线出束时间也不尽相同。本项目按照常规手术出束时间考虑，即摄影按每台手术时间 1min，透视按每台手术时间 20min 进行分析。

本项目介入手术项目最大工作负荷统计见表 9.1.4-1。

表 9.1.4-1　介入手术项目单台 DSA 工作负荷

射线装置	工作状态	平均每台手术最长出束时间（min）	全年开展手术量（台）	设备年总出束时间（h）	单个医生年最大受照时间（h）	单个护士年最大受照时间（h）	单个技师年最大受照时间（h）
DSA	摄影	1	300	5	/	/	2.5
	透视	20		100	50	50	50

CT 复合手术室控制室另配备 1 名技师，保守预计每年每台最大工作量为 500 台手术，滑轨 CT 单次曝光时间不超过 20s。滑轨 CT 最大工作负荷统计见表 9.1.4-2。

表 9.1.4-2　滑轨 CT 出束时间

射线装置	工作状态	平均每次出束时间（s）	全年开展手术量（台）	设备年总出束时间（h）	单个技师年最大受照时间（h）
滑轨 CT	曝光	20	500	2.78	2.78

9.1.5 内镜中心

（1）工作原理

ERCP 即经内镜逆行胰胆管造影，是目前微创治疗胆胰疾病的主要手段之一，是指将十二指肠镜插至十二指肠降部，找到十二指肠乳头，由活检管道内插入造影导管至乳头开口部，注入造影剂后 X 线摄片，以显示胰胆管的技术。由于 ERCP 不用开刀，创伤小，手术时间短，住院时间也大大缩短。在 ERCP 的基础上，可以进行经内镜奥狄氏括约肌切开取石术、经十二指肠奥狄氏括约肌切开成形术、经十二指肠镜乳头扩张术、经胃十二指肠胆道结石取出术等，涉及科室主要有消化内科（内镜下）、肝胆外科（内镜下）等治疗。

（2）设备组成

ERCP 设备主要由平板探测器、专用 X 线机（球管）、C-arm 支持系统、造影导管、操作台与工作站组成。典型 ERCP 整体外观示意图如图 9.1.5-1 所示。



图 9.1.5-1　典型 ERCP 装置整体外观示意图

（3）工艺流程与产污环节

接诊患者后根据其病情确认诊疗方法，告知患者及家属采用介入治疗的辐射危害。患者进入机房后，护士协助摆位，并对病人进行局部消毒处理和局部防护处理。ERCP 手术操作过程主要分为以下几步：

①插镜：患者一般采取俯卧位或左侧卧位，十二指肠镜经口依次通过食管、胃、进入十二指肠降段，找到十二指肠乳头。

②插管：选择性插管是顺利进行 ERCP 诊断和治疗的基础。经活检孔插入导管，调节角度钮及抬钳器，使导管与乳头开口垂直，将导管插入乳头。多数 ERCP 医生插管成功率应大于 85%以上，导丝引导下选择性插管成功率高，并发症少。

③透视：在透视下将导管送达胆管或胰管，经导管注入造影剂，在荧光屏上见到胆管或胰管显影，显示病变。尽量减少不必要的胰管显影，以防术后胰腺炎的发生。

④拍片：胰胆管显影后确认病灶，医护人员离开机房，技师在控制室内进行摄影拍片存储。

⑤治疗：根据拍片结果，得到患者胰胆管病变情况，医生采取不同内镜下治疗措施对病人病灶部分进行相应治疗。为更清楚地了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时医护位于铅帘后身着铅橡胶围裙、铅防护眼镜在曝光室内对患者

进行直接的介入手术操作。该种情况在实际运行中占绝大多数，是本次评价的重点。

ERCP 工艺流程及产污环节示意图见图 9.1.5-2 所示。

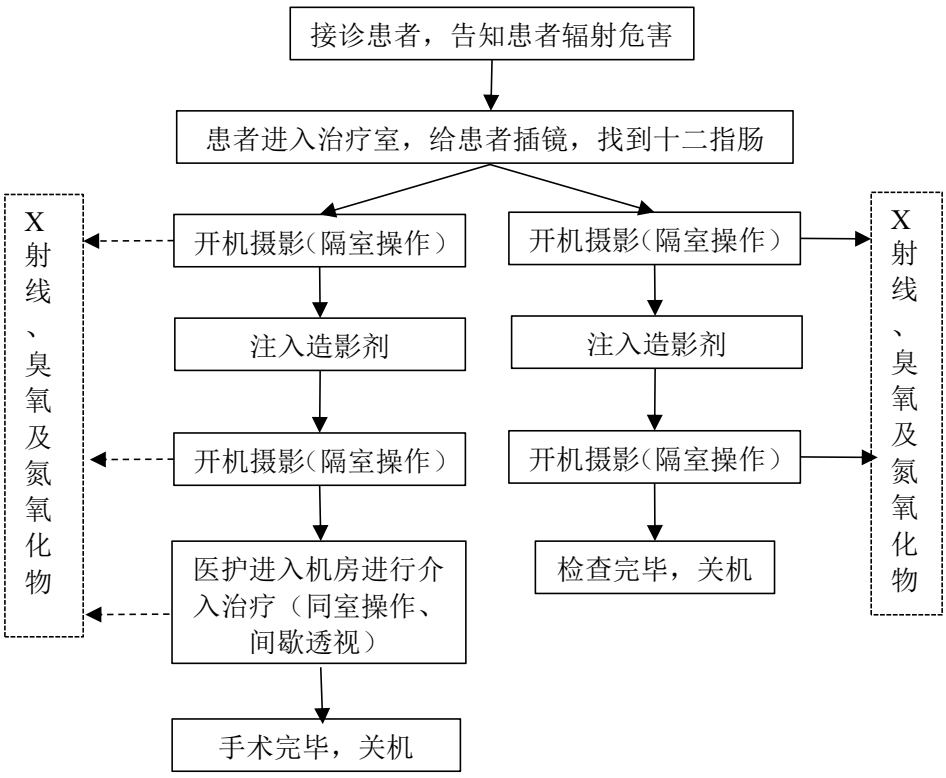


图 9.1.5-2　ERCP 工艺流程及产污环节示意图

综上所述，ERCP 正常工况下，污染源项主要为开机状态下产生的 X 射线，同时产生少量臭氧和氮氧化物。

（4）人员、物流路径

患者路径：患者由 ERCP 机房北侧防护门进入机房。治疗结束后，患者可沿原路离开。

介入医护人员路径：辐射工作人员沿走廊进入控制室，通过 ERCP 机房东侧防护门进入机房。治疗结束后，医护人员可按原路离开。

污物路径：本项目介入手术会产生药棉、纱布和手套等医疗废物，这些医疗废物采用专用容器收集后，待手术结束从 ERCP 机房北侧防护门运出机房，沿走廊往北，运至污物暂存间内暂存。

（5）工作负荷

本项目 ERCP 拟配备手术医生 2 名、护士 1 名，控制室配备 1 名技师。本项目 ERCP 包括透视和摄影两种模式，本项目正常运行后，保守预计每年每台最大工作量为 300 台手术，每台需要手术医生 1-2 名，护士 1 名，技师 1 名。预计参与 ERCP 介

入手术的医生、护士和技师每年最大手术量为 300 台。本项目按照常规手术出束时间考虑，即摄影按每台手术时间 1min，透视按每台手术时间 20min 进行分析。

本项目内镜中心 ERCP 最大工作负荷统计见表 9.1.4-1。

表 9.1.4-1　内镜中心 ERCP 工作负荷

射线装置	工作状态	平均每台手术最长出束时间（min）	全年开展手术量（台）	设备年总出束时间（h）	单个医生年最大受照时间（h）	单个护士年最大受照时间（h）	单个技师年最大受照时间（h）
ERCP	摄影	1	300	5	/	/	5
	透视	20		100	100	100	100

9.1.6 放射诊断项目

DR 是直接数字化 X 射线摄影系统（Digital Radiography）的简称，它使用 X 射线探测器将人体的 X 线能量转换和数字化，包括 X 线采集、转换、量化、传输、处理、显示等在内的整个 X 线成像过程均是数字化信息处理过程。

乳腺机是一种低剂量乳腺 X 光拍摄乳房的技术，它能清晰显示乳腺各层组织，可以发现乳腺增生、各种良恶性肿瘤以及乳腺组织结构紊乱，可观察到小于 0.1 毫米的微小钙化点及钙化簇，是早期发现，诊断乳腺癌的最有效和可靠的方式，尤其是对于临床不可能及的，以微小钙化簇为唯一表现的早期乳腺癌具有特征性的诊断意义。

CT 是计算机断层 X 射线摄影术（Computed Tomography）的简称，它使用了精确准直的 X 射线从各种不同的离散角度扫描所关注的断层平面，利用探测器记录透射光束的衰减量，并经过数学运算，电子计算机处理相应数据，从而产生一个以检查层的相对衰减系数为依据的躯体横断面的影响。

CT 等III类 X 射线装置工作流程基本相同，其工作流程如下：患者经医生诊断、诊断正当性判断后，确定需要 X 射线影像诊断的患者与相关科室预约登记；患者按约定时间在候诊区准备和等候；在放射科医生的指导下，患者在射线装置机房内正确摆位；技师进行隔室操作，利用各种 X 射线影像诊断设备进行拍片/透视；检查结束后，患者离开射线装置机房。

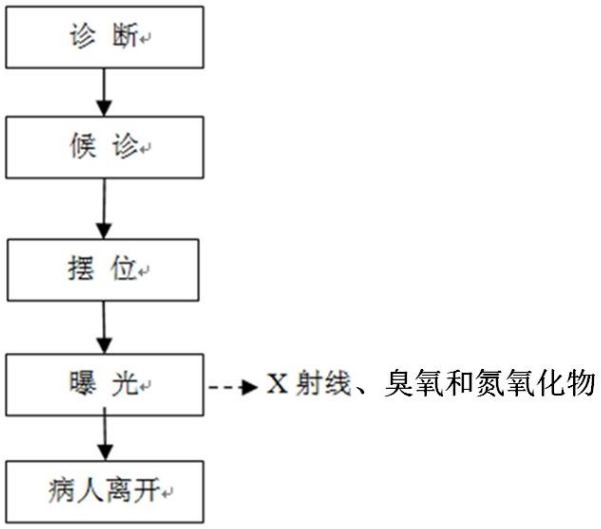


图 9.1.5-2　X 射线装置工艺流程及产污环节示意图

综上所述，CT 等III类 X 射线装置在正常工况下，污染源项主要为开机状态下产生的 X 射线，同时产生少量臭氧和氮氧化物。

9.2 污染源项描述

9.2.1 正常工况

9.2.1.1 核医学科

由前文核医学工作流程可知，射线外照射将伴随核素在核医学诊疗项目整个开展过程中，包括分装、测活、注射（服药）等过程。患者注射（服药）放射性药物后，本身短时间内也成为一个“辐射体”，随着患者的移动，将对周围环境造成辐射影响，排泄物也成为放射性污染物。在诊疗过程产生的固体废物也可能受放射性污染而成为放射性固体废物。本项目核医学科放射性核素的特性参数见表 9.2-1。

表 9.2-1　本项目放射性核素的特性参数

核素名称	状态	半衰期	毒性级别	衰变方式	α/β最大能量（MeV）	光子能量（MeV）	周围剂量当量率常数（裸源）μSv·m²/(h·MBq)
^{18}F	液态	109.8min	低毒	β^+，EC	0.63	0.511	0.143
^{64}Cu	液态	12.7h	低毒	β^-，β^+、EC	0.65	0.511，1.346	0.029
^{68}Ga	液态	68.3min	低毒	β^+，EC	1.9	0.511	0.134
^{68}Ge（^{68}Ga）	固态	288d	中毒	EC	1.9	0.511	0.134
^{89}Zr	液态	78.41h	中毒	β^+，EC	0.902	0.909	0.1543
^{99m}Tc	液态	6.02h	低毒	IT	-	0.140	0.0303

^{123}I	液态	13.2h	低毒	EC	-	0.027，0.159，0.529	0.061
^{89}Sr	液态	50.53d	中毒	β^-	1.48	-	-
^{90}Sr-^{90}Y	固体	28.1a	高毒	β^-	2.28	-	-
^{223}Ra	液态	11.4d	极毒	α	5.8713	0.0117，0.0838，0.2695	0.04134
^{225}Ac	液态	10d	极毒	α	7.067	0.44046，0.218，0.465	0.00302
^{227}Th	液态	18.7d	极毒	α	6.038	0.235，0.05	0.0151
^{131}I	液态	8.02d	中毒	β^-	0.602	0.284，0.365，0.637	0.0595
^{177}Lu	液态	6.73d	中毒	β^-	0.498	0.2084	0.00517
注：表格中数据来源于《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)、《辐射防护手册》（第一分册）和《Radionuclide Information Booklet》 (Canada's Nuclear Regulator)。							

核医学科项目主要污染因素和辐射影响如下：

（1）γ射线、β射线和α粒子

①本项目使用的核素 ^{18}F、^{99m}Tc、^{131}I、^{177}Lu 等在发生衰变时会伴随产生γ射线，在进行药物交接、分装、注射（服药）等操作时，在周围停留的操作人员和患者可能受到核素释放出的γ射线外照射影响。

②本项目使用的核素 ^{18}F、^{131}I、^{89}Sr 及放射源 ^{90}Sr-^{90}Y 在发生衰变时会伴随产生β射线。

③本项目使用的核素 ^{225}Ac、^{223}Ra 和 ^{227}Th 等在发生衰变时会伴随产生α射线。

④患者注射/口服放射性药物后，本身短时间内是一个辐射体（源），在候诊、扫描、留观过程对周围环境可能造成γ射线外照射影响。

（2）X 射线

SPECT/CT 和 PET/CT 扫描时会产生 X 射线。

（3）韧致辐射

本项目使用的核素 ^{89}Sr 及放射源 ^{90}Sr-^{90}Y 产生的β射线被高原子序数物质阻挡，会产生韧致辐射。

（4）α、β表面污染

放射性药物在分装、注射等活动过程中，不可避免地会引起工作台、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，造成α、β表面污染。

（5）放射性废液

核医学科产生的放射性废液主要包括：给药后患者在候诊、留观或者住院期间产生的排泄物及冲洗水等含有放射性核素的废水，核医学科工作人员完成放射性药物操作后清洗去污的废水，核医学科工作场所清洗及应急洗消产生的可能含放射性物质的废水。

①核医学科北侧（核素门诊显像诊断区域）

核医学科北侧（核素门诊显像诊断区域）场所日最大门诊量为 66 人，参考《综合医院建筑设计标准》（GB51039-2014），门诊患者每人次用水定额取 10L，则核医学科北侧场所患者每天用水量为 660L；工作人员在完成一天的给药工作后需进行表面污染监测，如有污染需进行去污清洗而产生放射性废液，同时工作场所定期清洗，每天清洗废水产生量约为 100L；核医学科北侧场所按一年工作 250 天考虑，则放射性废液产生量为 0.76m^3/d，即 190m^3/a。

②核医学科南侧（核素治疗区域）

接受 ^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th 治疗的患者，在用药后直接离开核医学科，可不考虑其产生的放射性废液；接受 ^{90}Sr-^{90}Y 敷贴治疗的患者不产生放射性废液，治疗结束后直接离开核医学科；摄碘率测定患者在用药后直接离开核医学科，且用药量极少，故不考虑其产生的放射性废液。

核医学科南侧场所设有 4 间核素治疗病房（单人）、2 间甲亢留观室，根据《综合医院建筑设计标准》（GB51039-2014）：病房设浴室、卫生间、盥洗室每个病人用水量为 110L~200L，因本项目核素治疗病房卫生间均使用节水型水龙头和节水型坐便器且拟设置刷卡用水系统，严格控制每个患者用水量，因此，根据《综合医院建设设计规范》并结合医院用水管理手段，本项目核素治疗病房住院病人每人用水量取 150L/d，^{131}I 甲癌治疗患者和 ^{177}Lu 治疗患者一周均最多安排 2 人住院，前者住院 2~5 天，后者住院 2 天，因此周用水量为 2100L；甲亢治疗患者日最大门诊量为 5 人，参考《综合医院建筑设计标准》（GB51039-2014），门诊患者每人次用水定额取 10L，则甲亢治疗患者每周用水量为 250L；工作场所和工作人员清洗用水量为 200L/周；核医学科南侧场所按一年工作 50 周考虑，则放射性废液产生量为 2.55m^3/周，即 127.5m^3/a。

（6）放射性固体废物

主要是放射性药物操作使用过程中沾染放射性药物的固体废物，包括一次性注射器、一次性服药杯、棉签、滤纸、手套、擦拭污染地面的物品等，核医学科废气处理系统定期更换的废活性炭和更换的 ^{68}Ge 校准源、^{90}Sr-^{90}Y 敷贴源、锗镓发生器也作为放射性固体废物管理。

①核医学科北侧（核素门诊显像诊断区域）

根据同类型医院类比调查，门诊患者诊疗过程放射性固废产生量约0.05kg/（d·人次）。核医学科北侧（核素门诊显像诊断区域）场所日最大门诊量为66人，按一年工作250天考虑，则放射性固废产生量为825kg/a。

^{68}Ge 的半衰期为 280 天，当其衰变至其活度不能满足校准需要时，将更换放射源，从而产生废 ^{68}Ge 放射源。医院预计约每 4 年更换一次源，一次产生 3 枚废源。

锗镓发生器淋洗 ^{68}Ga 过程中会产生废弃锗镓发生器，本项目共使用 1 个锗镓发生器，医院预计约 1 年更换一次，一次产生 1 个废弃锗镓发生器。

②核医学科南侧（核素治疗区域）

甲亢、摄碘率测定患者日最大门诊量均为5人，^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac和^{227}Th治疗患者日最大治疗量合计为4人，患者诊疗过程放射性固废产生量约0.05kg/（d·人次），按一年工作250天考虑，则放射性固废产生量为175kg/a（其中含^{89}Sr核素的放射性固体废物约为12.5kg/a）。

根据同类型医院类比调查，患者住院过程放射性固废产生量约0.5kg/（d·人次）。核医学科南侧（核素治疗区域）^{131}I甲癌治疗患者和^{177}Lu治疗患者一周均最多安排2人住院，前者住院2~5天，后者住院2天，因此一周放射性固废产生量为7kg，按一年工作50周考虑，则放射性固废产生量为350kg/a。以上合计产生放射性固废525kg/a。

^{90}Sr-^{90}Y 敷贴源开展敷贴治疗项目将产生废旧放射源，约 10 年产生 1 枚。本项目共使用 2 枚 ^{90}Sr-^{90}Y 敷贴源，预计十年产生 2 枚废源。

核医学科废气处理系统每 6 个月更换一次活性炭，每次会产生 30kg 废活性炭，每年产生的废活性炭为 60kg。

（7）放射性废气

①核医学科北侧（核素门诊显像诊断区域）

放射性药物存放于储源室，待患者注射前放置于SPECT专用分装注射室的手套箱或PET专用分装注射室的手套箱中，放射性药物在分装、活度测量和给药过程中，药

物挥发产生含放射性核素的废气。

②核医学科南侧（核素治疗区域）

放射性药物存放于储源室，其中 ^{131}I 使用时，工作人员将铅罐置于服碘室自动分碘仪，患者使用口杯进行服药，空气中会挥发散逸一定量的 ^{131}I 放射性气溶胶；^{177}Lu 核素送至分装注射室的手套箱，使用过程中核素处于密闭状态，无开放性液面，空气中挥发散逸的放射性气溶胶极少。

9.2.1.2 非正常工况下污染源项描述

（1）PET/CT 或 SPECT/CT 机房门灯联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房，对人员造成误照射。

（2）放射性药物试剂操作时打翻、洒漏造成操作台、地面、仪器设备表面污染。

（3）核医学科发生火灾造成的放射试剂瓶洒漏。

（4）核医学科管理工作不到位，造成放射性药物、放射源丢失或被盗。

9.2.2 小动物核医学实验中心污染源项分析

9.2.2.1 正常工况下污染源项描述

（1）X 射线、γ射线及β射线

小动物 PET/SPECT/CT 扫描时产生的 X 射线；在药物分装、测活、注射，小动物注射后观察、扫描等过程中产生的γ射线及β射线。

（2）β表面污染

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

（3）放射性废气

本项目使用 ^{18}F、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{123}I、^{177}Lu 核素用于小动物显像扫描、分布实验，待注射前放置于通风橱中，放射性药物在分装、活度测量和给药过程中，药物挥发产生含放射性核素的废气。

（4）放射性废液

小动物核医学实验中心产生的放射性废液主要包括：实验器具（鼠笼、托盘等）清洗废水、操作台解剖后清洗废水、工作场所清洁废水及应急洗消产生的可能含放射性物质的废水。

工作人员在每天工作结束后对实验器具（鼠笼、托盘等）进行清洗，实验器具废

水按照 50L/d 考虑，年最多工作 80 天，则实验器具清洗废水产生量为 4m^3/a。

实验动物解剖后需对操作台台面进行冲洗，冲洗废水按照 0.1L/只实验动物考虑，年最多使用 1600 只小动物，则操作台解剖后清洗废水产生量为 0.61m^3/a。

工作场所场地清洗频率为每周一次，地面清洁用水标准为 0.2L/m^2•次，小动物核医学实验中心面积约 190m^2，年最多工作 80 天，则场地清洗废水产生量为 38L/周、0.608m^3/a（以 16 周计）。

辐射工作人员工作时穿戴连体式放射性污染防护服和手套等，直接沾污到身体的概率很小，沾污事故发生概率按照每季度 1 次考虑，应急情况下辐射工作人员去污废水按 100L/次考虑，则应急情况下核素操作人员去污废水产生量为 100L/季度，年最多工作 80 天，则年产生量为 0.30m^3/a(以 3 季度计)。

综上所述，小动物核医学实验中心放射性废液年产生量为 5.518m^3/a。

（5）放射性固体废物

小动物核医学实验中心产生的放射性固废主要包括：工作人员在核素测活、注射、清洁去污过程中产生的一次性注射器、棉棒、滤纸、手套、擦拭污染地面的物品、含排泄物的垫料等废旧耗材，实验结束后产生的动物尸体及组织器官。小动物核医学实验中心废气处理系统定期更换的废活性炭也作为放射性固废管理。

①废旧耗材

工作人员在核素测活、注射、清洁去污过程中产生的一次性注射器、棉棒、滤纸、手套、擦拭污染地面的物品、含排泄物的垫料等废旧耗材，每天平均产生0.2kg，年最多工作80天，则放射性固废产生量为16kg/a。

②动物尸体及组织器官

实验结束后会产生动物尸体及组织器官，实验动物主要为大鼠和小鼠，大鼠平均每只重量为250g，小鼠平均每只重量为25g，最多使用1600只小动物。保守按照1600只大鼠考虑，则放射性固废产生量为400kg/a。

③废活性炭

小动物核医学实验中心废气处理系统每6个月更换一次活性炭，每次会产生10kg废活性炭，每年产生的废活性炭为20kg。

9.2.2.2 非正常工况下污染源项描述

（1）小动物成像室门灯联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机

房，对人员造成误照射。

（2）放射性药物试剂操作时打翻、洒漏造成操作台、地面、仪器设备表面污染。

（3）小动物核医学实验中心发生火灾造成的放射试剂瓶洒漏。

（4）小动物核医学实验中心管理工作不到位，造成放射性药物丢失或被盗。

（5）给药后实验动物管理不当，跑出小动物核医学实验中心后对周边无关人员造成误照射和对周围环境造成辐射污染。

9.2.3 放疗科污染源项分析

9.2.3.1 直线加速器项目污染源项分析

9.2.3.1.1 正常工况下污染源项描述

本项目电子加速器正常工况下，污染源项主要为开机状态下产生的 X 射线（电子线）、中子，同时产生少量臭氧、氮氧化物及感生放射性。加速器退役时应进行监测，存在放射性污染的，按放射性固体废物进行管理。

（1）X 射线

直线加速器以 X 射线模式运行时，从加速器电子枪里发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到靶上，产生 X 射线。发射出来的 X 射线主要用于治疗，治疗剂量与剂量率的大小、加速器电子能量、受照射的靶体材料、电子束流强度、电子入射方向、考察点到源的距离等因素有关。医院拟新增的直线加速器 X 射线最大能量为 10MV，由于 X 射线的贯穿能力极强，可能对工作人员、公众及周围环境造成辐射污染。

（2）电子线

当加速器按电子束模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗病人。产生的电子属初级辐射，贯穿物质时受物质库仑场的影响，贯穿深度有限。加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在加速器电子束治疗时，电子线对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗。

（3）中子

本项目拟配置的加速器 X 射线最大能量为 10MV、电子线最大能量为 15MeV，根据《辐射防护手册》（第三分册）图 4.27（P125），当加速器入射电子能量超过 8MeV 时会产生中子，加速器在出束时会产生一定的中子，但产额不高。

（4）感生放射性

根据《辐射防护手册》（第三分册）图 4.27（P125），当加速器入射电子能量超过 8MeV 时，它发射的强电离辐射照射在机房内的各种设备、器械以及墙壁等物质上时，都可能使它们活化而产生感生放射性。

根据《医用电子直线加速器感生放射性的测量和分析》，X 射线能量为 10MV 的直线加速器在停止出束后，加速器机头和摆位处辐射剂量会对停机后进入机房摆位的辐射工作人员产生一定的辐射影响，该辐射剂量逐渐减弱，约在 5min 左右回到本底水平；加速器机房内空气活化产生的放射性核素大部分半衰期都小于 1 分钟，这些放射性气体在空气中存在的时间较短，且本项目加速器 X 射线能量不超过 10MV，机房内活化产生的放射性气体较少，感生放射性气体影响可忽略不计。

因此，本项目仅考虑加速器结构部件产生的感生放射性对停机后进入机房摆位的辐射工作人员的辐射影响。

（5）放射性固废

直线加速器正常运行时，无废靶产生。加速器退役时应进行监测，存在放射性污染的，按放射性固体废物进行管理，最终送交有资质的单位收贮。

（6）臭氧和氮氧化物

直线加速器在运行过程中 X 射线与空气作用引起空气中氧分解生成自由基，产生臭氧和氮氧化物。

9.2.3.1.2 非正常工况下污染源项描述

（1）安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行加速器，则可能造成误照射事故。

（2）除受治疗患者以外，机房中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认机房中环境便运行加速器，则会造成机房中人员误照射。

9.2.3.2 射波刀、TOMO 和磁共振直线加速器项目污染源项分析

9.2.3.2.1 正常工况下污染源项描述

射波刀和 TOMO 的 X 射线最大能量为 6MV，磁共振直线加速器的 X 射线最大能量为 7.2MV，根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），无需考虑中子防护和感生放射性的放射防护。

射波刀、TOMO 和磁共振直线加速器正常工况下，污染源项主要为开机状态下产

生的 X 射线，同时产生少量臭氧和氮氧化物。

（1）X 射线

本项目拟使用的射波刀、TOMO 和磁共振直线加速器利用 X 射线对患者病灶部位进行照射。X 射线随射线装置的关闭而消失。因此，射波刀、TOMO 和磁共振直线加速器开机期间，X 射线为主要辐射环境污染因素，辐射途径为外照射。

（2）臭氧和氮氧化物

射波刀、TOMO 和磁共振直线加速器运行过程中 X 射线与空气作用引起空气中氧分解生成自由基，产生臭氧和氮氧化物。

9.2.3.2.2 非正常工况下污染源项描述

（1）安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行设备，则可能造成误照射事故。

（2）除受治疗患者以外，机房中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认机房中环境便运行设备，则会造成机房中人员误照射。

9.2.3.3 后装机项目污染源项分析

9.2.3.3.1 正常工况下污染源项描述

后装机正常工况下，污染源项主要为开机状态下产生的γ射线、β射线、废源，同时产生少量臭氧和氮氧化物。后装机配套使用 UPS 电源，该 UPS 电源采用铅蓄电池供电，其更换周期约 5 年/次，更换时产生废铅蓄电池。

（1）γ射线、β射线

^{192}Ir 放射源为密封源，其衰变类型为γ衰变、β衰变及电子俘获，衰变过程会发出β、γ射线。其中β射线穿透能力很弱，设备的外包装可以完全屏蔽，使β射线不能释放到环境中；γ射线穿透能力较强，有可能对环境产生辐射影响。

（2）废源

^{192}Ir 的半衰期约为 74 天，当其衰变至其活度不能满足放射治疗需要时，将更换放射源，从而产生废 ^{192}Ir 放射源。医院预计约 120 天更换一次源，一年产生 3 枚废源。

（3）固体废物

后装机配套使用 UPS 电源，该 UPS 电源采用铅蓄电池供电。根据《国家危险废物名录》（2025 年版），废铅蓄电池属于危险废物（废物类别 HW31 含铅废物，废

物代码：900-052-31），其更换周期约 5 年/次，更换下的 UPS 电源交由有资质单位处置。

（4）臭氧和氮氧化物

后装机运行过程γ射线与空气作用引起空气中氧分解生成自由基，产生臭氧和氮氧化物。

9.2.3.3.2 非正常工况下污染源项描述

（1）在后装机对患者的治疗过程中，可能发生警示灯和联锁装置损坏，治疗室防护门意外开启，人员误认为治疗完成，误入后装机治疗室中，可能导致误入人员的误照射；

（2）在使用过程中可能出现卡源，使放射源不能回到设备的贮源器中，此时放射源处于裸源状态，可能会对人员造成误照射；

（3）在后装机投入使用较长时间后，工作贮源器有可能出现破损，导致治疗室内的辐射水平增高，可能对人员造成误照射；

（4）在后装机投入使用较长时间后，输源管可能会出现老化损坏进而脱落，导致放射源掉落，可能导致人员的误照射；

（5）在不进行治疗时，放射源一直位于后装机中，安全保卫管理出现问题，导致可能会出现放射源丢失、被盗的情况。

9.2.3.4 CT 模拟定位机污染源项分析

9.2.3.4.1 正常工况下污染源项描述

由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。X 射线装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，CT 模拟定位机正常工况下，污染源项主要为开机状态下产生的 X 射线、臭氧和氮氧化物，无其他放射性废气、废水及固体废物产生。

9.2.3.4.2 非正常工况下污染源项描述

（1）在给患者做检查时，X 射线装置控制键失效，无法停止出束，导致患者受到意外照射。

（2）X 射线装置联锁装置出现故障，设备在屏蔽门没有关紧的情况下出束，对门外人员造成的误照射。

（3）X 射线装置安全联锁装置发生故障状况的情况下，人员误入正在运行的 X

射线装置机房受到外照射。

9.2.4 介入手术项目、内镜中心和放射诊断项目污染源项分析

9.2.4.1 正常工况下污染源项描述

由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。X 射线装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，介入手术项目、内镜中心和放射诊断项目涉及到的 DSA、ERCP、CT、DR、钼靶机等 X 射线装置在正常工况下，污染源项主要为开机状态下产生的 X 射线、臭氧和氮氧化物，无其他放射性废气、废水及固体废物产生。

9.2.4.2 非正常工况下污染源项描述

（1）诊疗过程中，X 射线装置控制键失效，无法停止出束，导致患者受到意外照射。

（2）X 射线装置联锁装置出现故障，设备在屏蔽门没有关紧的情况下出束，对门外人员造成的误照射。

（3）X 射线装置安全联锁装置发生故障状况的情况下，人员误入正在运行的 X 射线装置机房受到外照射。

9.2.5 污染源项分析小结

综上所述，本项目主要的环境影响因子及其相应的影响阶段详见表 9.2-2。

表 9.2-2　本项目主要环境影响因子

项目/装置	工作场所	影响（污染）因子	影响阶段
核医学科	核医学科工作场所	γ射线、β射线、α粒子、X 射线、韧致辐射、α表面污染、β表面污染、废源、放射性废液、放射性固体废物、放射性废气	操作过程及操作后
	SPECT/CT 和 PET/CT 机房	X 射线、臭氧、氮氧化物	诊断过程
小动物核医学实验中心	小动物核医学实验中心工作场所	γ射线、β射线、β表面污染、放射性废液、放射性固体废物、放射性废气	操作过程及操作后
	小动物成像室	X 射线、臭氧、氮氧化物	扫描过程
放疗科	直线加速器机房（4 间）	X 射线、电子线、中子、感生放射性、臭氧、氮氧化物、废靶	治疗过程
	射波刀机房	X 射线、臭氧、氮氧化物	治疗过程
	TOMO 机房	X 射线、臭氧、氮氧化物	治疗过程
	磁共振加速器机房	X 射线、臭氧、氮氧化物	治疗过程
	后装机机房	γ射线、β射线、废源、废 UPS 电源、臭氧、氮氧化物	治疗过程
	CT 模拟定位机房	X 射线、臭氧、氮氧化物	诊断过程

介入手术项目	DSA 机房（4 间）	X 射线、臭氧、氮氧化物	摄影和透视阶段
	DSA 复合手术室		
	CT 复合手术室		曝光阶段
内镜中心	ERCP 机房	X 射线、臭氧、氮氧化物	摄影和透视阶段
放射诊断项目	DR 机房、钼靶机房、CT 机房	X 射线、臭氧、氮氧化物	曝光阶段

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施与防护分析

10.1.1核医学科和小动物核医学实验中心

10.1.1.1工作场所平面布局分析

本项目核医学科设在住院楼 C 楼地下一层，小动物核医学实验中心设在综合楼 A 楼教学科研（A3 区）地上四层，均为非密封放射性物质工作场所，各场所四周相邻环境情况见表 10.1.1.1-1。

表 10.1.1.1-1 非密封放射性物质工作场所相邻环境状况

位置	东面	南面	西面	北面	上方	下方
核医学科	放疗科配套用房	下沉庭院和核医学科配套用房	电梯厅和核医学科其他功能用房	放疗科其他功能用房	住院楼 C 楼一层（主要是住院药房、静配中心及配套用房）及院内道路	地下车库和专用衰变池间
小动物核医学实验中心	电梯厅	走廊	电梯厅	临空	空调机房、排烟机房、屋面	实验室、仪器室、耗材暂存间及空调机房

（1）核医学科

本项目核医学科北侧设置核素门诊显像诊断区域，南侧设置核素治疗区域，住院治疗场所与门诊诊断场所做到分开布置。核医学科工作场所用房相对独立，核医学科北侧和南侧均设有独立的废物间和污物暂存间，放射性药物经核素专梯暂存于储源室。诊疗流程连续完整，有相对独立的辐射防护措施，有明确的监督区和控制区划分，工作场所设置了相对独立的辐射工作人员通道、患者通道、药物通道和污物通道。患者通道与辐射工作人员通道分开，患者单向流动，注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，避免了患者之间交叉影响；放射性药物在上班之前送至储源室，避免与患者交叉。

核医学科工作人员出入口处设有卫生通过间，卫生通过间包含更衣、淋浴、去污工具并配备α/β表面污染监测仪；核医学科患者出口主要有三个，其中北侧（核素门诊显像诊断区域）设有一个专用电梯、通向住院楼C楼一层东侧出口，出口周边为院内道路，远离人员密集区；南侧（核素治疗区域）设有两个出口，其中一个通向下沉庭院，该庭院为绿化景观功能，庭院行至地面四周为院内道路，远离人员密集区，另一

个出口通过专用电梯通向住院楼C楼一层东侧出口，出口周边为院内道路，远离人员密集区。

北侧（核素门诊显像诊断区域）设置有单独的PET注射后候诊室、SPECT注射后候诊室、PET留观室和SPECT留观室，南侧（核素治疗区域）设置有单独的核素住院病房，且均设有专用卫生间，患者产生的放射性废液均通至衰变池处理；各辐射工作场所均采取了辐射防护措施；所有出入口均设有单向门禁系统，非工作人员的引导不能进入，且出口避开了人流密集区域，设置合理。

综上所述，本项目核医学科工作场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中第 5.2 节关于布局的要求。

（2）小动物核医学实验中心

本项目小动物核医学实验中心主要由小动物成像室、储源室、分装注射室、短期观察室、操作室、污物暂存间、洗消室、洁存间等功能用房及控制室、洁具间、洗消与传递间、卫生通过间（包括一更间、二更间、退缓检测间、应急淋浴间）、缓冲间等附属用房组成，其中放射性药物暂存于储源室，放射性废物暂存于污物暂存间，小动物成像室、分装注射室、操作室、污物暂存间等控制区主要功能用房布置相对集中，避免交叉污染。

小动物核医学实验中心工作人员出入口处设有卫生通过间，卫生通过间包含更衣、淋浴、去污工具并配备α/β表面污染监测仪；小动物通过洗消与传递间的传递窗送至洁存间；实验流程连续完整，有相对独立的辐射防护措施，有明确的监督区和控制区划分，工作场所设置了相对独立的辐射工作人员通道、药物通道和污物通道；工作场所产生的放射性废液均通至衰变池处理。

综上所述，本项目小动物核医学实验中心工作场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中第 5.2 节关于布局的要求。

10.1.1.2 非密封放射性物质工作场所分区

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射

防护与安全要求》（HJ1188-2021）对控制区和监督区的定义，结合核医学科和小动物核医学实验中心工作场所辐射防护和环境情况特点，该两处非密封放射性物质工作场所分区情况详见表 10.1.1.2-1。分区图见附图 10、附图 11、附图 21 和附图 25。

表 10.1.1.2-1　非密封放射性物质工作场所分区情况表

工作场所		控制区	监督区
核医学科	北侧（核素门诊显像诊断区域）	SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、PET/MR 机房及准备间、SPECT 专用分装注射室、PET 专用分装注射室、储源室、废物间 1、肺通气室（兼抢救室、运动平板室）、SPECT 注射后候诊室、PET 注射后候诊室（2 间）、VIP 注射后候诊室、SPECT 留观室、PET 留观室、污物暂存间 1、给药后患者走廊	卫生通过间、设备间（2 间）、控制廊、医护走廊、工具间（2 间）、强电间、弱电间、楼道等
	南侧（核素治疗区域）	分装注射室、服碘室、废物间 2、核素治疗病房（4 间）、患者取餐间、抢救室、甲亢留观室（2 间）、敷贴室（2 间）、敷贴储源室、污物暂存间 2、给药后患者走廊	卫生通过间、医护走廊、送餐间、洁服间、诊室、值班室、补风机房（2 间）、工具间
小动物核医学实验中心		小动物成像室、控制室、储源室、分装注射室、短期观察室、操作室、污物暂存间、洗消室、洁存间、洁具间	卫生通过间、洗消与传递间、污梯及电梯厅
核医学科两套衰变池		衰变池内部	配电间和检修通道
小动物核医学实验中心衰变池		衰变池内部	前室

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，建设单位应做到：

（1）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；

②制定辐射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（包括门锁）限制进出控制区；

④在进入高活室前卫生通过间应有个人防护用品、工作服、表面污染监测仪、消洗设施和被污染防护衣具的贮存柜等；

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

（2）监督区防护手段与安全措施

①以黄线警示监督区的边界；

②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标识；

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。

10.1.1.3 工作场所分级

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号，2016年3月7日施行），满足以下特点的放射性药品生产、使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：

①有相对独立、明确的监督区和控制区划分；

②工艺流程连续完整；

③有相对独立的辐射防护措施。

核医学科北侧和南侧场所共用一个储源室，监督区和控制区不易独立划分，故核医学科整体按一个单独场所进行日等效操作量核算。小动物核医学实验中心和核医学科分别位于两栋楼，为两个单独场所，满足相对独立、具有明确的监督区和控制区划分，工艺流程连续完整，有相对独立的辐射防护措施。

由于核医学科工作场所使用的^{18}F核素半衰期较短，为保证每批次最后一位患者注射的含^{18}F核素的放射性药物量为10mCi，拟采取增加放射性药物出厂活度的方式确保活度满足使用要求，即要考虑放射性药物的使用过程中的衰减量，本项目拟暂定一天送2次药，每天额外备药量即衰减损耗量为实际注射量的2倍，则^{18}F核素实际使用量为3.33E+10Bq。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录C提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法（日等效最大操作量计算公式为：日等效最大操作量=日最大操作量×毒性组别修正因子/操作方式修正因子），经计算本项目核医学科和小动物核医学实验中心放射性核素日等效最大操作量分别为3.72E+09Bq和2.59E+07Bq，均属于乙级非密封放射性物质工作场所，计算结果见表10.1.1.3-1。

表10.1.1.3-1　　本项目工作场所分级计算表

工作场所	核素名称	日最大操作量（Bq）	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量（Bq）		分级
核医学科	^{18}F	3.33E+10	0.01	10	3.33E+07	3.72E+09	乙级
	^{64}Cu	3.70E+08	0.01	1	3.70E+06		
	^{68}Ga	1.295E+09	0.01	1	1.295E+07		
	^{68}Ge（^{68}Ga）	1.85E+09	0.1	100	1.85E+06		
	^{89}Zr	3.70E+08	0.1	1	3.70E+07		
	^{99m}Tc	2.59E+10	0.01	10	2.59E+07		

	^{99m}Tc（肺通气）	1.85E+09	0.01	0.1	1.85E+08		
	^{123}I	3.70E+08	0.01	1	3.70E+06		
	^{89}Sr	1.48E+08	0.1	1	1.48E+07		
	^{223}Ra	3.70E+06	10	1	3.70E+07		
	^{225}Ac	1.11E+07	10	1	1.11E+08		
	^{227}Th	1.11E+07	10	1	1.11E+08		
	^{131}I（甲亢）	1.85E+09	0.1	1	1.85E+08		
	^{131}I（甲状腺摄碘率测定）	1.85E+06	0.1	1	1.85E+05		
	^{131}I（甲癌）	1.48E+10	0.1	1	1.48E+09		
	^{177}Lu	1.48E+10	0.1	1	1.48E+09		
小动物核医学实验中心	^{18}F	3.70E+08	0.01	1	3.70E+06	2.59E+07	乙级
	^{68}Ga	1.85E+08	0.01	1	1.85E+06		
	^{99m}Tc	7.40E+08	0.01	1	7.40E+06		
	^{123}I	1.85E+08	0.01	1	1.85E+06		
	^{177}Lu	1.11E+08	0.1	1	1.11E+07		
注：①根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：放射性药品生产中，分装、标记活动视为“简单操作”；医疗机构使用 ^{18}F、^{99m}Tc 相关活动视为“很简单操作”，使用 ^{131}I 核素相关活动视为“简单操作”。②锗镓发生器淋洗中，母体（液体）操作方式视为“贮存”；^{99m}Tc 肺通气操作方式视为气体的“很简单操作”。							

10.1.1.4 工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 G 核医学的工作场所分类，根据日操作最大量放射性核素的加权活度将场所分为三级，见表 10.1.1.4-1。

表 10.1.1.4-1　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发的加权活度，MBq
Ⅰ	>50000
Ⅱ	50~50000
Ⅲ	<50
注：加权活度=（计划的日最大操作活度×核素毒性权重因子）/操作性质修正因子	

本项目放射性核素毒性权重因子和操作性质修正因子见表 10.1.1.4-2 和 10.1.1.4-3。

表 10.1.1.4-2　核医学科常用放射性核素毒性权重因子

类别	放射性核素	权重因子
A	^{75}Se、^{89}Sr、^{125}I、^{131}I、^{23}P、^{90}Y、^{99}Mo、^{153}Sm	100
B	^{11}C、^{13}N、^{13}O、^{18}F、^{51}Cr、^{68}Ga、^{99}Tc^{m}、^{111}In、^{113}In^{m}、^{123}I、^{201}Tl	1
C	^{14}C、^{3}H、^{81}Kr^{m}、^{127}Xe、^{133}Xe	0.01

表 10.1.1.4-3　不同操作性质的修正因子

操作方式和地区	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
复杂放射性药物配置	0.1

本项目核医学科核素权重活度计算结果见表 10.1.1.4-4。

表 10.1.1.4-4　本项目核医学科非密封放射性物质加权活度计算结果

工作场所		核素	毒性权重因子	操作性质修正因子	日操作最大活度（Bq）	放射性核素加权活度（Bq）	总加权活度	场所分类
核医学科	储源室	^{18}F	1	100	3.33E+10	3.33E+08	3.45E+10	II类
		^{64}Cu	1	100	3.70E+08	3.70E+06		
		锗镓发生器	100	100	1.85E+09	1.85E+09		
		^{89}Zr	100	100	3.70E+08	3.70E+08		
		^{99m}Tc	1	100	2.59E+10	2.59E+08		
		^{99m}Tc（肺通气）	1	100	1.85E+09	1.85E+07		
		^{123}I	1	100	3.70E+08	3.70E+06		
		^{89}Sr	100	100	1.48E+08	1.48E+08		
		^{223}Ra	100	100	3.70E+06	3.70E+06		
		^{225}Ac	100	100	1.11E+07	1.11E+07		
		^{227}Th	100	100	1.11E+07	1.11E+07		
		^{131}I（甲亢）	100	100	1.85E+09	1.85E+09		
		^{131}I（甲状腺摄碘率测定）	100	100	1.85E+06	1.85E+06		
		^{131}I（甲癌）	100	100	1.48E+10	1.48E+10		
		^{177}Lu	100	100	1.48E+10	1.48E+10		
	PET专用分装注射室	^{18}F	1	1	1.11E+10	1.11E+10	4.96E+10	II类
		^{64}Cu	1	1	3.70E+08	3.70E+08		
		^{68}Ga	1	1	1.11E+09	1.11E+09		
		^{89}Zr	100	1	3.70E+08	3.70E+10		
	SPECT专用分装注射室	^{99m}Tc	1	1	2.59E+10	2.59E+10	2.63E+10	II类
		^{123}I	1	1	3.70E+08	3.70E+08		
	肺通气室	^{99m}Tc（肺通气）	1	0.1	1.85E+09	1.85E+10	1.85E+10	II类
	废物间1和污物暂存间1	^{18}F	1	10	1.11E+08	1.11E+07	7.77E+07	II类
		^{64}Cu	1	10	3.70E+06	3.70E+05		
		^{68}Ga	1	10	1.11E+07	1.11E+06		
		^{89}Zr	100	10	3.70E+06	3.70E+07		
		^{99m}Tc	1	10	2.59E+08	2.59E+07		

		^{99m}Tc（肺通气）	1	10	1.85E+07	1.85E+06		
		^{123}I	1	10	3.70E+06	3.70E+05		
	分装注射室2	^{131}I（甲亢）	100	1	1.85E+09	1.85E+11	3.16E+12	I类
		^{131}I（甲状腺摄碘率测定）	100	1	1.85E+06	1.85E+08		
		^{131}I（甲癌）	100	1	1.48E+10	1.48E+12		
		^{177}Lu	100	1	1.48E+10	1.48E+12		
		^{89}Sr	100	1	1.48E+08	1.48E+10		
		^{223}Ra	100	1	3.70E+06	3.70E+08		
		^{225}Ac	100	1	1.11E+07	1.11E+09		
		^{227}Th	100	1	1.11E+07	1.11E+09		
	废物间2和污物暂存间2	^{131}I（甲亢）	100	10	1.85E+07	1.85E+08	3.16E+09	II类
		^{131}I（甲状腺摄碘率测定）	100	10	1.85E+04	1.85E+05		
		^{131}I（甲癌）	100	10	1.48E+08	1.48E+09		
		^{177}Lu	100	10	1.48E+08	1.48E+09		
		^{89}Sr	100	10	1.48E+06	1.48E+07		
		^{223}Ra	100	10	3.70E+04	3.70E+05		
		^{225}Ac	100	10	1.11E+05	1.11E+06		
		^{227}Th	100	10	1.11E+05	1.11E+06		
	PET/CT机房、PET/MR机房、PET注射后候诊室、PET留观室	^{18}F	1	10	1.11E+10	1.11E+09	4.96E+09	II类
		^{64}Cu	1	10	3.70E+08	3.70E+07		
		^{68}Ga	1	10	1.11E+09	1.11E+08		
		^{89}Zr	100	10	3.70E+08	3.70E+09		
	SPECT/CT机房、SPECT注射后候诊室、SPECT留观室	^{99m}Tc	1	10	2.59E+10	2.59E+09	2.81E+09	II类
		^{99m}Tc（肺通气）	1	10	1.85E+09	1.85E+08		
		^{123}I	1	10	3.70E+08	3.70E+07		
	甲亢留观室	^{131}I（甲亢）	100	10	3.70E+08	3.70E+09	3.70E+09	II类
	核素病房	^{131}I（甲癌）	100	1	7.40E+09	7.40E+11	7.40E+11	I类
	核素病房	^{177}Lu	100	1	7.40E+09	7.40E+11	7.40E+11	I类
小动物核医	储源室	^{18}F	1	100	3.70E+08	3.70E+06	1.26E+08	II类
		^{68}Ga	1	100	1.85E+08	1.85E+06		
		^{99m}Tc	1	100	7.40E+08	7.40E+06		
		^{123}I	1	100	1.85E+08	1.85E+06		

学实验中心		^{177}Lu	100	100	1.11E+08	1.11E+08		
	分装注射室	^{18}F	1	1	3.70E+08	3.70E+08	1.26E+10	II类
		^{68}Ga	1	1	1.85E+08	1.85E+08		
		^{99m}Tc	1	1	7.40E+08	7.40E+08		
		^{123}I	1	1	1.85E+08	1.85E+08		
		^{177}Lu	100	1	1.11E+08	1.11E+10		
	小动物成像室、短期观察室	^{18}F	1	10	3.70E+08	3.70E+07	1.26E+09	II类
		^{68}Ga	1	10	1.85E+08	1.85E+07		
		^{99m}Tc	1	10	7.40E+08	7.40E+07		
		^{123}I	1	10	1.85E+08	1.85E+07		
		^{177}Lu	100	10	1.11E+08	1.11E+09		
	污物暂存间	^{18}F	1	10	3.70E+06	3.70E+05	1.26E+07	III类
		^{68}Ga	1	10	1.85E+06	1.85E+05		
		^{99m}Tc	1	10	7.40E+06	7.40E+05		
		^{123}I	1	10	1.85E+06	1.85E+05		
		^{177}Lu	100	10	1.11E+06	1.11E+07		
注：核素进入固废按 1%计算。								

针对核医学科的计算分析可知，核医学科南侧的分装注射室 2、核素病房为I类场所，其余均为II类场所；针对小动物核医学实验中心的计算分析可知，污物暂存间为III类场所，其余均为II类场所。

表 10.1.1.4-5　不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接触无缝隙	与墙壁接触无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强通风	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
盥洗及去污	洗手盆 [b] 和去污设备	洗手盆 [b] 和去污设备	洗手盆 [b]
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			

医院应按表 10.1.1.4-5 的要求，Ⅰ类和Ⅱ类辐射工作区均应设置结构屏蔽，地面与墙壁接触应采用无缝隙设计；工作台表面采用易清洗的材料，如不锈钢；均应设置分装柜；配备洗手盆和去污设备。另外Ⅰ类辐射工作区应设置特殊的强通风装置；含放射性废液的排水管道应为特殊管道，且在满足需要的情况下，尽量缩短管道长度，并做有标记。Ⅱ类和Ⅲ类辐射工作区应保证良好的通风；含放射性废液的排水管道可

采用能满足工作需要的普通管道。

10.1.1.5 辐射屏蔽设计

本项目核医学科和小动物核医学实验中心辐射工作场所均由有资质的单位进行设计和建造，具体的防护设计见表 10.1.1.5-1 和表 10.1.1.5-2。

表 10.1.1.5-1　本项目核医学科辐射工作场所屏蔽情况一览表

场所名称		屏蔽体	屏蔽材料及厚度
北侧（核素门诊显像诊断区域）	储源室	四侧墙体	370mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 10mm 铅板
	废物间 1	四侧墙体	370mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 10mm 铅板
	PET 专用分装注射室	四侧墙体	370mm 混凝土实心砖
		PET 注射窗	40mmPb 铅玻璃
		PET 手套箱	40mm 铅当量
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 10mm 铅板
	SPECT 专用分装注射室	四侧墙体	370mm 混凝土实心砖
		SPECT 注射窗	20mmPb 铅玻璃
		SPECT 手套箱	20mm 铅当量
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 10mm 铅板
	肺通气室（兼抢救室、运动平板室）	南、西、北侧墙体	240mm 混凝土实心砖
		东墙	370mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 4mm 铅板
	PET 注射后候诊室（2 间）	四侧墙体	240mm 混凝土实心砖
		顶棚	350mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 10mm 铅板
	VIP 注射后候诊室	东、北、西侧墙体	240mm 混凝土实心砖
		南墙	240mm 混凝土实心砖

		顶棚	350mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 8mm 铅板
	SPECT 注射后候诊室	西、南侧墙体	370mm 混凝土实心砖
		东、北侧墙体	240mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 4mm 铅板
	PET 留观室	东、南、北侧墙体	370mm 混凝土实心砖
		西墙	240mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 8mm 铅板
	SPECT 留观室	南、北侧墙体	370mm 混凝土实心砖
		东、西侧墙体	240mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 4mm 铅板
	PET/CT 机房	四侧墙体	370mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土+40mm 细石混凝土+500mm 轻骨料混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 8mm 铅板
		观察窗	8mmPb 铅玻璃
	PET/MR 机房	北、东、西侧墙	240mm 混凝土实心砖
		南墙	370mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土+40mm 细石混凝土+500mm 轻骨料混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 8mm 铅板
		观察窗	8mmPb 铅玻璃
	SPECT/CT 机房	四侧墙体	370mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土+40mm 细石混凝土+500mm 轻骨料混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 4mm 铅板
		观察窗	4mmPb 铅玻璃
	污物暂存间 1	四侧墙体	240mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土

		防护门	内衬 10mm 铅板
	患者通道	患者出入口墙体	200mm-370mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 10mm 铅板
中间医护走廊		防护门	内衬 10mm 铅板
南侧（核素治疗区域）	分装注射室	四侧墙体	240mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		服药窗	40mm 铅当量
		手套箱	40mm 铅当量
		防护门	内衬 10mm 铅板
	服碘室	四侧墙体	370mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 12mm 铅板
	废物间 2	东、北、西侧墙	240mm 混凝土实心砖
		南墙	370mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 10mm 铅板
	核素治疗病房 4	四侧墙体	370mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 12mm 铅板
	核素治疗病房 1-3、抢救室	四侧墙体	370mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 12mm 铅板
	甲亢留观室 1	南、北、西侧墙	370mm 混凝土实心砖
		东墙	240mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		顶棚	250mm 混凝土
		防护门	内衬 4mm 铅板
	甲亢留观室 2	南、北侧墙	370mm 混凝土实心砖
		东、西侧墙	240mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		顶棚	250mm 混凝土
		防护门	内衬 4mm 铅板

	敷贴室 1	南、北侧墙	370mm 混凝土实心砖
		东、西侧墙	240mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 2mm 铅板
	敷贴室 2	墙体	240mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 2mm 铅板
	敷贴储源室	墙体	240mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 2mm 铅板
	污物暂存间 2	西、北侧墙体	240mm 混凝土实心砖
		南墙	370mm 混凝土实心砖
		东墙	400mm 混凝土
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 10mm 铅板
	患者通道	患者出入口墙体	240mm-370mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 10mm 铅板
注：混凝土实心砖密度不低于 2.1g/cm^3，混凝土的密度为 2.35g/cm^3，细石混凝土取 2.5g/cm^3，轻骨料混凝土取 1.9g/cm^3，铅密度为 11.34g/cm^3。			

表 10.1.1.5-2　本项目小动物核医学实验中心辐射工作场所屏蔽情况一览表

场所名称		屏蔽体	屏蔽材料及厚度
小动物核医学实验中心	小动物成像室	四侧墙体	240mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 3mm 铅板
	储源室	四侧墙体	240mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 3mm 铅板
	分装注射室	四侧墙体	240mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 3mm 铅板
	短期观察室	四侧墙体	240mm 混凝土实心砖

		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 3mm 铅板
	操作室	四侧墙体	240mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 3mm 铅板
	污物暂存间	四侧墙体	240mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 3mm 铅板
	洗消室	四侧墙体	240mm 混凝土实心砖
		顶棚	250mm 混凝土
		地坪	250mm 混凝土
		防护门	内衬 3mm 铅板
注：混凝土实心砖密度不低于 2.1g/cm^3，混凝土的密度为 2.35g/cm^3，铅密度为 11.34g/cm^3。			

PET/CT、SPECT/CT 中的 CT 部分属III类射线装置，其屏蔽设计及有效使用面积、最小单边长度与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）符合性如表 10.1.1.5-2 和表 10.1.1.5-3 所示。

表 10.1.1.5-2　CT 机房有效使用面积和最小单边长度一览表

机房	拟设置情况		GB130-2020 要求		是否符合要求
	最小单边长度（m）	有效使用面积（m^2）	最小单边长度（m）	有效使用面积（m^2）	
PET/CT 机房	4.88	48.8	4.5	30	符合
SPECT/CT 机房	4.88	34.2	4.5	30	符合

表 10.1.1.5-3　PET/CT 和 SPECT/CT 机房屏蔽防护设计评价表

机房名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度	折算后铅当量（mm）	GB130-2020 要求铅当量（mm）	是否符合要求
PET/CT 机房（CT 部分）	四侧墙体	370mm 混凝土实心砖	4.3	2.5	符合
	顶棚	250mm 混凝土+40mm 细石混凝土+500mm 轻骨料混凝土	10.3		符合
	地坪	250mm 混凝土	3		符合
	防护门	内衬 8mm 铅板	8		符合
	观察窗	8mmPb 铅玻璃	8		符合
SPECT/CT 机房（CT 部分）	四侧墙体	370mm 混凝土实心砖	4.3		符合
	顶棚	250mm 混凝土+40mm 细石混凝土+500mm 轻骨料混凝土	10.3		符合
	地坪	250mm 混凝土	3		符合

	防护门	内衬 4mm 铅板	4		符合
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4		符合

注：1.混凝土密度取2.35g/cm^3，细石混凝土取2.5g/cm^3，轻骨料混凝土取1.9g/cm^3，混凝土实心砖密度为2.1g/cm^3，由于《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录C中未提供混凝土实心砖、细石混凝土和轻骨料混凝土的拟合参数，故按照混凝土的密度进行折算，经计算370mm混凝土实心砖等效330mm混凝土，经计算250mm混凝土+40mm细石混凝土+500mm轻骨料混凝土等效696mm混凝土。2.参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中附录C中式（C.1）、式（C.2）及表C.2，在140kV得250mm混凝土折算为3mmPb当量，330mm混凝土折算为4.3mmPb当量，696mm混凝土折算为10.3mmPb当量。

10.1.1.6辐射安全和防护、环保相关设施

（1）核医学科辐射安全防护措施

1）辐射安全设施

①SPECT专用分装注射室、PET专用分装注射室、SPECT/CT机房、PET/CT机房、PET/MR机房、分装注射室、核素病房、甲亢留观室、2间废物间、2间污物暂存间、场所出入口等防护门均设置电离辐射警告标志，手套箱、铅废物桶、衰变箱等辐射设施同样设置电离辐射标志，实行两区管理，入口处设置明显的监督区和控制区标识。

②SPECT专用分装注射室、PET专用分装注射室、分装注射室均设置有手套箱，放射性药物操作在手套箱内进行，手套箱通风速率不小于0.5m/s；操作台下面设置1个脚踏式铅桶，用于收集放射性固废。

③SPECT专用分装注射室、PET专用分装注射室、分装注射室与患者候诊区设有语言对讲系统；各分装注射室设有注射窗、注射器防护套等防护用品，并备有一次性工作服、工作帽、口罩及橡胶手套等；辐射工作人员通过卫生通过间进出各分装注射室，卫生通过设有去污工具组和淋浴功能。

④储源室设置视频监控，实行双人双锁管理，并做好防火、防盗措施。对于核素种类、生产单位、活度、出入库使用及注销等，严格登记建档。出入口安装摄像头、红外报警装置，并入医院安保监控系统。

⑤患者进出设置专用通道，防护门均为单向门禁。

2）放射性药物操作过程防护措施

医院提前向放射性核素供应单位订购药品，在约定的时间由药物供应单位负责运送至核医学科，安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接、登记手续后，暂存在储源室内。

放射性药物 ^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr 在注射前，工作人员做好个人防护，在 PET 手

套箱内进行操作，经 PET 注射窗口给患者注射；放射性药物 ^{99m}Tc、^{123}I 在注射前，在 SPECT 手套箱内进行操作，经 SPECT 注射窗口给患者注射；放射性药物 ^{177}Lu、^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th 在注射前，在分装注射室 2 手套箱内进行操作，经注射窗口给患者注射。

在注射过程中工作人员要做好个人防护措施，注射器外还配有注射器防护套。注射操作时，工作人员与患者及药物分别位于铅玻璃窗的两侧，隔室注射。药物操作时，放射性药物及铅罐均放置在垫有滤纸的磁盘内进行，以防止放射性药物洒漏造成操作台污染。

本项目放射性药物 ^{131}I 均在服碘室的自动分碘仪内进行分装操作。工作人员先做好个人防护，然后将 ^{131}I 装入自动分碘仪，工作人员只需在输入厂家标定的 ^{131}I 放射性药物活度、标定时间等参数，系统会自动完成定量分配、在线活度测量和体积配比等全部工作，最后工作人员在计算机上输入患者姓名，服用药物的量等参数，系统会自动按照输入的药量给患者分装药物，工作人员通过监控和双向语音对讲系统远程指导患者在服碘室服药，不近距离接触放射性药物，减少了工作人员直接接触时间。

3）扫描机房及候诊留观室内安全防护措施

SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、PET/MR 机房与控制廊之间设置观察窗和对讲装置；控制廊与各注射后候诊室、留观室设置视频监控系统和双向对讲装置；注射后候诊室设置移动铅屏风，以防止患者之间相互照射影响，患者注射后等候和检查后等候期间严禁随意活动，严禁在通道内穿行，以避免与其他受检者之间的交叉照射；注射后候诊室、留观室均设置专用厕所，并设置感应式+水龙头和节水坐便器，废水收集至衰变池衰变处理。

4）内照射防护措施

操作非密封型放射性药物时，液体洒落、挥发泄漏造成地面、工作台面、操作人员衣服、手套和空气等污染，污染的表面一方面成为外照射的辐射源，一方面通过皮肤渗透、呼吸、进食使放射性物质进入体内形成内照射。

为降低内照射对辐射工作场所内辐射工作人员的影响，本项目要求放射性药物操作均在手套箱中进行，手套箱通风速率不低于 0.5m/s。严格规范辐射工作人员工作和生活习惯，禁止在核医学科饮食饮水、化妆等；辐射工作人员定期进行培训，严格按照操作规程操作，尽量避免放射性药物洒漏，并经常用湿法清洁台面、地面及设备等

表面。严格遵守个人卫生制度和安全操作规程，穿戴个人防护用品，如工作服、手套、口罩、帽子、防护眼镜等，防止放射性核素沾染手和体表。辐射工作人员离开辐射工作场所在卫生通过间内进行必要的表污监测和污染洗消后才能离开。

5）工作场所表面污染控制与防护

①工作场所分区管理

本项目按照开展临床核医学非密封性放射性同位素的种类及用量，对工作场所进行了划分，从非活性区进出活性工作区需经卫生通过间（含淋浴和去污功能），并在卫生通过间内设置检测区和消洗设施，检测区内配备表面污染监测仪等检测设备。

②工作场所表面污染防护

涉及放射性药物操作的工作场所拟按要求采用易清洗且不易渗透材料（如 PVC 板等），拐角使用弧线处理；地面要求平整光滑，易于清洗，可铺设塑料地坪或涂刷塑料油漆；墙面要求平整光滑，1 米以下部位拟采用浅色无光耐酸油漆或其他易于清洗的涂料，瓷质面砖等；工作台面要求平整、光滑、易于清洗。可以铺砌磨光花岗岩板材或不锈钢面板等。墙面与地面、墙面与顶棚、墙面连接转角处，以及工作台边沿宜采取弧形，以尽可能减少表面污染。

放射性药物的操作均在手套箱内进行，手套箱内操作台面要求光滑、平整、易于清洗去污。所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。

6）工作人员的防护措施

辐射工作人员通过卫生通过间进入各分装注射室，经卫生通过间更换服装，并穿戴工作服、帽、鞋、防护口罩、胶质手套及相应个人防护用品。工作人员离开各分装注射室时，需返经卫生通过间，经对工作服、手部等体表部位进行污染测定，确认未受放射污染，方可更衣离开。如果发现污染，工作服需进行清洗、处理，经清洗消除污染后，需再次监测，直至污染达到标准限值以下后方可使用；皮肤、手部等体表部位污染，需至淋浴间进行清洗、处理，经清洗消除污染后，需再次监测，直至污染达到标准限值以下后方可离开。

7）患者防护措施

患者根据预约按时来院，在完成给药后，到指定地点候诊、检查，不应随意走动，并在患者专用厕所如厕。检查或治疗完毕由专门出口处离开，尽量减少对其他人员的影响。患者通道入口防护门和出口防护门均带门禁系统的单向门，实现“入口患者只

入不出、出口患者只出不入”，保证控制区内患者的单向流动，避免无关人员进入控制区。

核医学科住院病人住院时间到期根据医生安排，通过监测仪监测患者体表 1m 处的周围剂量当量率低于 25μSv/h 后，患者由专用出院出口离开。住院期间，患者与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在病房内驻留，同时要求患者在住院期间禁止随意走动，住院期间的呕吐物和排泄物要排入患者专用厕所。患者离院时，医院应给出书面指导，限制与儿童或孕妇密切接触，避免与他人长时间接触，近期避免到公共场所活动。

8）放射性药物的存放

本项目核医学科使用的放射性药物置于防护罐中，由专人直接送至储源室；储源室拟实行视频监控和双人双锁管理，并做好防火、防盗措施。建立非密封放射性物质使用台账，放射性药物源需要使用时，由专职人员进行登记出入库，确保账物相符；储源室安装摄像头、红外报警装置，并入医院监控系统，日常安排专人巡视检查。

（2）小动物核医学实验中心辐射安全防护措施

1）辐射安全设施

①分装注射室、小动物成像室、污物暂存间、场所出入口等防护门均设置电离辐射警告标志，手套箱、铅废物桶、衰变箱等辐射设施同样设置电离辐射标志，实行两区管理，入口处设置明显的监督区和控制区标识。

②分装注射室设置有手套箱，放射性药物操作在手套箱内进行，手套箱通风速率不小于0.5m/s；操作台下面设置1个脚踏式铅桶，用于收集放射性固废。

③辐射工作人员通过卫生通过间进出场所内部，卫生通过间设有去污工具组和淋浴功能。

④储源室设置视频监控，实行双人双锁管理，并做好防火、防盗措施。对于核素种类、生产单位、活度、出入库使用及注销等，严格登记建档。出入口安装摄像头、红外报警装置，并入医院安保监控系统。

2）放射性药物操作过程防护措施

医院提前向放射性核素供应单位订购药品，在约定的时间由药物供应单位负责运送至核医学科，安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接、登记手续后，暂存在储源室内。^{68}Ga 由医院购买锗镓发生器在核医学科淋洗标记后，部分需运至小

动物核医学实验中心，^{68}Ga 核素置于储源铅罐（40mmPb）内，经专用核素电梯运出核医学科。辐射工作人员采用长柄小推车将 ^{68}Ga 核素转移至综合楼 A 楼教学科研（A3 区）一层北侧户外，经小动物核医学实验中心专用核素电梯送至储源室。

在注射过程中工作人员要做好个人防护措施，在手套箱（正面 20mmPb，非正面 10mmPb）内进行小动物注射，并穿戴有 0.5mmPb 铅橡胶围裙。药物操作时，放射性药物及铅罐均放置在垫有滤纸的磁盘内进行，以防止放射性药物洒漏造成操作台污染。

3）扫描机房内安全防护措施

小动物成像室与控制室之间设置观察窗，便于观察到机房内状态及防护门开闭情况；防护门上方安装工作状态指示灯，并设置门灯联锁装置。

小动物核医学实验中心工作场所的“内照射防护措施、工作场所表面污染控制与防护、工作人员的防护措施、放射性药物的存放”分析基本同前文核医学科一致。

（3）防护设备与防护用品

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中个人防护用品的配置要求，结合本项目的情况，医院拟配置的防护用品和设备见表 10.1.1.6-1。

表 10.1.1.6-1　本项目核医学科和小动物核医学实验中心拟配置的防护用品/设备一览表

序号	种类名称	设置场所	数量	备注
核医学科				
1	贮源箱	敷贴储源室	1 个	10mm 有机玻璃 +4mm 铅
2	储源铅罐	储源室	随放射性药物自带，其中 ^{18}F、^{131}I 为 50mmPb，^{177}Lu 为 10mmPb，^{99m}Tc 为 6mmPb，^{89}Sr 为 4mmPb，^{64}Cu、^{89}Zr、^{123}I、^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th 为 10mmPb，^{68}Ga 为 40mmPb	
3	PET 手套箱	PET 专用分装注射室	1 个	40mmPb
4	自动分装仪	PET 专用分装注射室	1 个	PET 手套箱内
5	SPECT 手套箱	SPECT 专用分装注射室	1 个	20mmPb
6	PET 注射窗	PET 专用分装注射室	1 个	40mmPb
7	SPECT 注射窗	SPECT 专用分装注射室	1 个	20mmPb
8	手套箱	分装注射室 2	1 个	20mmPb
9	注射窗	分装注射室 2	1 个	20mmPb
10	自动分碘仪	服碘室	1 个	/

11	注射器防护套	各分装注射室	若干	8mmPb/4mmPb
12	注射器防护提盒	各分装注射室	3 个	8mmPb/4mmPb
13	活度计	各分装注射室	3 台	/
14	有机玻璃眼镜或面罩	敷贴室	2 套	10mm 有机玻璃
15	铅废物桶	各分装注射室、SPECT 注射后候诊室、PET 注射后候诊室、VIP 注射后候诊室、SPECT 留观室、PET 留观室、甲亢留观室、核素治疗病房等	若干	10mmPb/4mmPb
16	衰变箱	废物间和污物暂存间	若干	10mmPb
17	人员立式注射防护车	肺通气室（兼抢救室、运动平板室）	1 个	20mmPb
18	放射性污染防护服、工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	PET/SPECT 专用分装注射室	若干	/
19	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、铅围裙	各分装注射室、控制廊	若干	0.5mmPb
20	铅防护屏风	PET/CT 机房、PET/MR 机房、2 间 PET 注射后候诊室	4 个	8mmPb
21	铅防护屏风	SPECT/CT 机房、SPECT 注射后候诊室	4 个	4mmPb
22	表面污染监测仪	各卫生通过间	2 台	/
23	便携式 X-γ射线巡测仪	各卫生通过间	1 台	核医学科共用
24	个人剂量报警仪	人员随身携带	4 台	/
小动物核医学实验中心				
1	储源铅罐	储源室	随放射性药物自带，其中 ^{18}F 为 50mmPb，^{68}Ga 为 40mmPb，^{99m}Tc 为 6mmPb，^{123}I 为 10mmPb，^{177}Lu 为 10mmPb	
2	手套箱	分装注射室	1 个	正面 20mmPb，非正面 10mmPb
3	活度计	分装注射室	1 台	/
4	注射器防护套	分装注射室	若干	4mmPb
5	暂养铅箱（用于转运）	分装注射室、短期观察室	若干	10mmPb
6	铅废物桶	分装注射室、小动物成像室	2 个	5mmPb
7	冷冻冰柜	污物暂存间	1 个	/
8	铅废物桶	污物暂存间冷冻冰柜内	1 个	5mmPb
9	衰变箱	污物暂存间	1 个	5mmPb
10	放射性污染防护服、工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	卫生通过间	若干	/

11	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、铅围裙	控制室、分装注射室	2 套	0.5mmPb
12	表面污染监测仪	卫生通过间	1 台	/
13	便携式 X-γ射线巡测仪	卫生通过间	1 台	/
14	个人剂量报警仪	人员随身携带	2 台	/

本项目核医学科和小动物核医学实验中心运行期间主要污染物为 X 射线、γ射线、β表面污染等，根据项目特点，医院拟配置α/β表面污染仪、便携式 X-γ射线巡测仪等，项目配备的监测仪器符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对监测仪器的配置要求。

10.1.2 放疗科

10.1.2.1 场所选址与布局

（1）工作场所布局合理性分析

本项目拟在住院楼 C 楼地下一层东北侧建设放疗科，放疗科建设 1 间 TOMO 机房、4 间加速器机房、1 间射波刀机房、1 间磁共振加速器机房、1 间后装机机房和 1 间 CT 模拟定位机房。放疗科 7 间治疗机房从北至南依次并列，后装机机房和 CT 模拟定位机房位于放疗治疗机房西侧，各机房四周相邻环境情况见表 10.1.2.1-1。

表 10.1.2.1-1　放疗科放疗机房四周布局情况汇总

方位	辐射工作场所						
	TOMO 机房	**1 号加速器机房**	**2 号加速器机房**	**3 号加速器机房**	**4 号加速器机房**	**射波刀机房**	**磁共振加速器机房**
东	地下车库	地下车库	地下车库	地下车库	地下车库	地下车库	预留设备用房
南	1 号加速器机房	2 号加速器机房	3 号加速器机房	4 号加速器机房	射波刀机房	磁共振加速器机房	检修、强弱电间、污提间、楼道
西	控制室、准备室、设备间	控制室、准备室、辅助机房	控制室、准备室、辅助机房	控制室、准备室、辅助机房	控制室、准备室、辅助机房	控制室、准备室、设备间	控制室、准备室
北	气体灭火、检修间	TOMO 机房	1 号加速器机房	2 号加速器机房	3 号加速器机房	4 号加速器机房	射波刀机房
上层	规划公园绿地						
下层	土层						

表 10.1.2.1-2　放疗科 CT 模拟定位机房四周布局情况汇总

方位	辐射工作场所	
	后装机房	**CT 模拟定位机房**
东	走廊	水冷机房
南	准备室、缓冲间	走廊

西	下沉庭院和控制室	控制室
北	通道	走廊
上层	院内道路	
下层	土层	

本项目放疗科 7 间放疗治疗机房和 1 间后装机房由治疗室、迷道、防护门组成。各机房与各种控制室等辅助用房分开设置，控制室均位于机房西侧；机房设有 L 型迷道，迷路口设有防护门。本项目放疗科 7 间放疗机房位置相对封闭且独立，降低了公众受到照射的可能性，周围无明显环境制约因素。放疗机房集中布置，便于医院进行统一管理，各组成部分功能分区明确，既能有机联系，又不相互干扰；各机房布局符合《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“治疗设备控制室应与治疗机房分开设置”、“放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要”、“其他治疗机房均应设置迷路”等规定。

本项目 CT 模拟定位机房西侧设置了控制室，且避开了人群较多的办公场所，选址靠近放疗科治疗机房。因此。机房平面布局合理可行。

综上所述，本项目放疗科各机房布局是合理可行的。

（2）辐射分区管理

为便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求，在放射工作场所内划出控制区和监督区。结合本项目特点，放疗科工作场所控制区和监督区划分见表 10.1.2.1-2，两区划分图见附图 10。

表 10.1.2.1-2　放疗科工作场所分区表

辐射工作场所	控制区	监督区
TOMO 机房（1 间）	机房内部	控制室、准备室、设备间、变频器机房
直线加速器机房（4 间）	机房内部	控制室、准备室、辅助机房
射波刀机房（1 间）	机房内部	控制室、准备室、设备间
磁共振加速器机房（1 间）	机房内部	控制室、准备室、预留设备用房
后装机房（1 间）	机房内部	控制室、准备室
CT 模拟定位机房（1 间）	机房内部	控制室

控制区通过实体屏蔽措施、警告标志等进行控制管理，在 TOMO、直线加速器、射波刀、磁共振加速器、后装机和 CT 模拟定位机使用时，除工作人员和患者外，禁止其他无关人员进入；监督区通过电离辐射警告标志提醒人员尽量避开该区域，并委托具有相关资质的单位定期对监督区周围剂量当量率进行监测。如果发现异常，医院

应立即进行整改，整改完成后方可继续使用。

10.1.2.2 机房屏蔽防护措施

（1）7 间治疗机房和 1 间后装机房墙体屏蔽设计

本项目放疗科 7 间治疗机房和 1 间后装机房四侧墙体、顶棚及地坪均拟采用标准混凝土（ρ≥2.35g/cm^3）浇筑而成。

4 间直线加速器机房布局相同，有用线束均不照向迷路，加速器机房东、西、顶棚三面墙体按主屏蔽区设计，并根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中 6.1.2，“使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备，需考虑中子屏蔽”。辐射屏蔽设计参数详见表 10.1.2.2-1。

表 10.1.2.2-1　放疗科机房辐射屏蔽设计技术参数

<table>
<tr><td rowspan="2">机房名称</td><td colspan="2" rowspan="2">部位</td><td colspan="5">设计参数</td></tr>
<tr><td colspan="5">尺寸</td></tr>
<tr><td rowspan="8">TOMO 机房（1 间）</td><td colspan="2">机房几何尺寸</td><td colspan="5">机房东西宽 7.4m（不含迷路），南北长 8m，迷路内入口宽 2.0m，迷路外入口（门洞）宽 1.8m，迷路长 8m，迷路宽度 2.0m，机房总面积 87.2m^2（含迷路），机房有效使用面积 78.35m^2，净高 5.2m。</td></tr>
<tr><td colspan="2">屏蔽墙</td><td colspan="5">屏蔽厚度</td></tr>
<tr><td colspan="2">东墙</td><td colspan="5">1.5m 混凝土</td></tr>
<tr><td colspan="2">南墙</td><td colspan="5">1.7~3.0m 混凝土</td></tr>
<tr><td rowspan="2">西墙</td><td>迷路内墙</td><td colspan="5">1.5m 混凝土</td></tr>
<tr><td>迷路外墙</td><td colspan="5">1.5m 混凝土</td></tr>
<tr><td colspan="2">北墙</td><td colspan="5">1.5m 混凝土</td></tr>
<tr><td colspan="2">顶棚</td><td colspan="5">2.0m 混凝土</td></tr>
<tr><td colspan="2">机房防护门</td><td colspan="5">18mm 铅，外加相应钢板固定</td></tr>
<tr><td rowspan="13">加速器机房（4 间）</td><td colspan="2">机房几何尺寸</td><td colspan="5">每间机房东西宽 9.6m（不含迷路），南北长 10.6m，迷路内入口宽 3.35m，迷路外入口（门洞）宽 1.8m，迷路长 10.6m，迷路宽度 2.4m，机房总面积 137.8m^2（含迷路），机房有效使用面积 112.64m^2，净高 5.5m。</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">屏蔽墙</td><td colspan="4">屏蔽厚度</td><td rowspan="2">宽度</td></tr>
<tr><td>1 号机房</td><td>2 号机房</td><td>3 号机房</td><td>4 号机房</td></tr>
<tr><td>东墙</td><td>侧屏蔽区</td><td colspan="4">1.7m 混凝土</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">南墙</td><td>主屏蔽区</td><td colspan="3">4.3m 混凝土</td><td>3.8m 混凝土</td><td>6.0m</td></tr>
<tr><td>次屏蔽区</td><td colspan="3">1.7m 混凝土</td><td>2.5m 混凝土</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">西墙</td><td>迷路内墙</td><td colspan="4">1.0~1.6m 混凝土</td><td>-</td></tr>
<tr><td>迷路外墙</td><td colspan="4">1.2~1.7m 混凝土</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">北墙</td><td>主屏蔽区</td><td>3.0m 混凝土</td><td colspan="3">4.3m 混凝土</td><td>6.0m</td></tr>
<tr><td>次屏蔽区</td><td>1.7m 混凝土</td><td colspan="3">1.7m 混凝土</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">顶棚</td><td>主屏蔽区</td><td colspan="4">3.0m 混凝土</td><td>6.0m</td></tr>
<tr><td>次屏蔽区</td><td colspan="4">1.7m 混凝土</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">机房防护门</td><td colspan="4">18mm 铅+140mm 含硼聚乙烯，外加相应钢板固定</td><td>-</td></tr>
<tr><td>射波刀机房</td><td colspan="2">机房几何尺寸</td><td colspan="5">机房东西宽 7m（不含迷路），南北长 8m，迷路内入口宽 2m，迷路外入口（门洞）宽 1.8m，迷路长 8m，迷路宽度 2m，机房总面</td></tr>
</table>

（1 间）			积 86.26m²（含迷路），机房有效使用面积 76.1m²，净高 4.7m。
	屏蔽墙		屏蔽厚度
	东墙		2.5m 混凝土
	南墙		2.5m 混凝土
	西墙	迷路内墙	0.9m~2.6m 混凝土
		迷路外墙	1.5~2.6m 混凝土
	北墙		2.5m~3.8m 混凝土
	顶棚		1.5m 混凝土
	机房防护门		18mm 铅，外加相应钢板固定
磁共振加速器机房（1 间）	机房几何尺寸		机房东西宽 8m（不含迷路），南北长 8m，迷路内入口宽 2 m，迷路外入口（门洞）宽 1.8m，迷路长 8m，迷路宽度 2m，机房总面积 92m²（含迷路），机房有效使用面积 83m²，净高 5.1m。
	屏蔽墙		屏蔽厚度
	东墙		2.0m 混凝土
	南墙		1.8m 混凝土
	西墙	迷路内墙	1.5m 混凝土
		迷路外墙	1.5m 混凝土
	北墙		2.5m
	顶棚		2.1m 混凝土
	机房防护门		18mm 铅，外加相应钢板固定
后装机房（1 间）	机房几何尺寸		机房东西宽 4.9m（不含迷路），南北长 5.2m，迷路内入口宽 1.5m，迷路外入口（门洞）宽 1m，迷路长 5.2m，迷路宽度 2m，机房总面积 39.52m²（含迷路），机房有效使用面积 36.93m²，净高 4.3m。
	屏蔽墙		屏蔽厚度
	东墙		0.7m 混凝土
	南墙		0.7m 混凝土
	西墙	迷路内墙	0.7m 混凝土
		迷路外墙	0.7m 混凝土
	北墙		0.7m 混凝土
	顶棚		1.0m 混凝土
	机房防护门		10mm 铅，外加相应钢板固定
注：混凝土密度不小于 2.35g/cm³。磁共振加速器机房核磁的相关屏蔽防护按设备需求进行设计。			

表 11 环境影响预测表明，本项目放疗科 7 间治疗机房和 1 间后装机房的辐射屏蔽设计均能够使机房外的辐射剂量率满足周围剂量当量率参考控制水平要求。因此，本项目放疗科机房屏蔽设计基本合理。

（2）模拟定位机房墙体屏蔽设计

依据建设单位提供的 CT 模拟定位机房防护设计方案，将本项目各机房屏蔽体

的主要技术参数列表分析，并根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中对 X 射线机房防护设计的技术要求、最小有效使用面积及最小单边长度的要求，对本项目屏蔽措施进行对照分析，结果见下表。

表 10.1.2.2-2　CT 模拟定位机房有效使用面积及单边长度一览表

工作场所	拟设置情况		GBZ130-2020 表 2 标准要求		符合性评价
	最小单边长度（m）	有效使用面积（m^2）	最小单边长度（m）	最小有效使用面积（m^2）	
CT 模拟定位机房	5.1	41.82	4.5	30	符合

表 10.1.2.2-3　CT 模拟定位机房屏蔽防护情况一览表

工作场所	防护设施	屏蔽材料及厚度（折算铅当量：mmPb）	GBZ130-2020 表 3 标准要求	符合性评价
CT 模拟定位机房	四侧墙体	300mm 混凝土实心砖（3.3mmPb）	有用线束及非有用线束方向铅当量均不小于 2.5mmPb	符合
	顶棚	250mm 混凝土（3mmPb）		符合
	地坪	250mm 混凝土（3mmPb）		符合
	防护门	内衬 4mm 铅板（4mmPb）		符合
	观察窗	4mmPb 铅玻璃（4mmPb）		符合

注：①混凝土密度不小于 2.35g/cm^3，混凝土实心砖密度不小于 2.1g/cm^3。②混凝土实心砖密度不低于 2.1g/cm^3，300mm 混凝土实心砖等效 267mm 混凝土。③折算铅当量参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中附录 C 中式（C.1）、式（C.2）及表 C.2，得 250mm 混凝土（140kV CT）折算为 3.0mmPb，267mm 混凝土（140kV CT）折算为 3.3mmPb。

通过上表可知，本项目 CT 模拟定位机房面积、最小单边长度均大于标准要求，其四侧墙体、顶棚、地坪、防护门以及观察窗均采取了辐射屏蔽措施，充分考虑了邻室（含楼上及楼下）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，本项目介入手术项目机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关防护设施的技术要求。

（3）电缆等管线布设

TOMO、加速器、射波刀、磁共振加速器和后装机机房与控制室、辅助用房、设备间之间的各种电缆管线，室内部分以地沟形式在地坪以下布设，电缆沟盖板采用 2mm 厚铅板覆盖。机房穿墙部分均位于西侧迷路外墙，穿墙管道呈“⌙”型穿墙，下沉后穿越屏蔽墙到达设备间，通过多次折返的电缆沟设计和下沉地面穿越屏蔽墙的设计，增加了泄漏射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。其他所有电、水、气管、物理测试管线布设走向必须符合辐射屏蔽防护要求，在北侧迷路穿越墙体，如在防护墙体部位设置开关箱等嵌入式电气设备，要在箱体后补充相应的屏蔽防护措施。电缆沟穿墙示意图见下图。

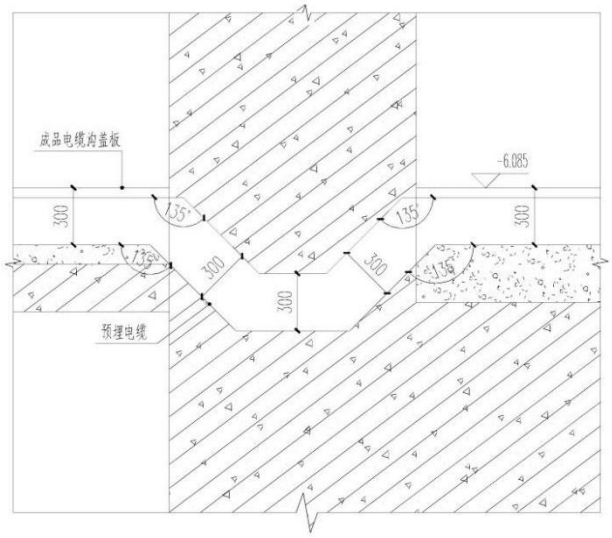


图 10.1.2.2-1　放疗科机房电缆沟的铺设及穿墙示意图

（4）机房通风设计

本项目放疗科 7 间治疗机房和 1 间后装机房的东侧墙体均预留通风管道进出口，拟在机房内西侧装饰天花板设置新风口，在机房东侧墙角处设置排风口，风管底部（吸风口）离地 30cm，风管沿墙体内壁向上沿天花板顶部经迷路，最终经预留风管接入放疗科排风井。采用全排全送的通风方式，送风口与排风口呈“上进下出，对角设置”设置，利于密度相对大的臭氧排出。本项目放疗科 7 间治疗机房和 1 间后装机房设计排风次数均大于 4 次/h，各机房排风管道最终接入放疗科排风井，排风井通至住院楼 C 楼楼顶，排放口高出所在建筑屋脊，并且排放口风管端口进行了防雨、防鸟、防虫设计，废气最终排至大气环境。放疗科新风管道和排风管道布设见附图 20。

因此，本项目放疗科 7 间治疗机房和 1 间后装机房均符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。”的要求。

本项目核医学科和放疗科均位于住院楼 C 楼地下一层，但核医学科的排风系统和放疗科的排风系统是各自独立设置的，且接入不同排风井。

10.1.2.3 辐射防护措施

一、TOMO、直线加速器、射波刀、磁共振加速器

（1）设备固有安全性

本项目 TOMO、直线加速器、射波刀、磁共振加速器拟购于正规厂家，采用目前较先进的技术，设备各项安全措施齐备，本身具备多种安全防护措施。

①控制台上的显示装置可显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数，操作人员可以随时了解设备运行情况。

②患者剂量监测与治疗控制安全联锁。为保证病人治疗剂量准确，不致出现超剂量照射，系统设置了治疗剂量联锁、治疗时间联锁和治疗中旋转机架角度联锁。当治疗剂量、时间及治疗机头旋转角度其中之一到达设定值时，联锁装置会自动停止照射。

③运动使能开关。为防止工作人员误操作造成事故，在手控盒两侧设置了运动使能开关，只有当左右两侧的开关同时按下时才有可能对机器运动部件进行起动和控制。

④红色急停开关。当发现异常后，按下急停开关，机器将自动切断 TOMO、直线加速器、射波刀、磁共振加速器主电源。

⑤剂量测试系统。在控制系统主菜单中有“剂量系统测试”部分，可以随时了解病人剂量情况。

⑥密码设置。设置有密码，操作密码只有具体操作人员掌握，只有输入正确的密码后才可能进行操作和参数的修改等。

⑦系统操作联锁。TOMO、直线加速器、射波刀、磁共振加速器均设置了硬件联锁，在非正常操作或在异常情况下，可以停止机器运行或切断电源，以备特殊情况下应急之用。系统操作联锁情况见下表。

表 10.1.2.3-1　TOMO、直线加速器、射波刀、磁共振加速器硬件联锁一览表

名称	装置部位	功能	备注
紧急开关	主机架、治疗床及控制台	紧急切断系统控制电源	意外情况下可以切断控制电源
碰撞保护环	附件盘、影子盘	发生碰撞时停止机械部件运动	发生碰撞时自动停止机器运动
运动部件二级限位开关	旋转机架、治疗床升降、辐射头旋转	二级限位开关，切断动力电源	异常情况切断动力电源

（2）机房辐射防护设施设计

①固定式辐射剂量监测仪（带有报警功能）：每间 TOMO、直线加速器、射波刀、磁共振加速器机房迷道内入口处设置带有异常情况下报警功能的固定式辐射剂量监测仪，其显示单元装在控制室内。对监测点进行实时剂量率监测和报警。实时剂量率、累积剂量监测值同时显示在主机面板上，实时剂量率、累积剂量的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪器有声光报警，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。

②每间 TOMO、直线加速器、射波刀、磁共振加速器机房均设置门机安全联锁和门灯联锁，防护门上方设有工作状态指示灯与设备关联，防护门未完全关闭时不能出束照射，出束状态下防护门打开，设备立即停止出束。设备启动时工作状态指示灯亮起。防护门为电动移门，防护门与墙搭接处应尽可能减小缝隙泄漏辐射，防护门宽于门洞的部分应大于“门-墙”间隙的十倍。防护门设红外防挤压装置，防止人员被夹伤。

③急停开关：TOMO、直线加速器、射波刀、磁共振加速器设备自带急停开关。医院拟在每台设备的机房内四侧墙体、迷道、防护门内侧和控制台处设置急停开关，急停开关为红色按钮式开关，设在工作人员易于接触的地方（距离地面 1.2m 高处），且相互串联，每个急停开关独立工作，按下任意开关可使设备停止出束，以避免机房内人员尚未完全撤离或误入的情况下受到误照射。急停开关按下后，只有人工就地复位并通过控制台才能重新启动设备；急停开关应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。

④电离辐射警告标志和工作状态指示灯：在每间 TOMO、直线加速器、射波刀、磁共振加速器机房防护门上及墙体醒目位置设置电离辐射警告标志和中文警示说明，控制区和监督区设相应标识。防护门上方设工作状态指示灯，以显示设备工作状态。

⑤紧急开门装置：每间 TOMO、直线加速器、射波刀、磁共振加速器机房防护门内侧装有紧急开门按钮，在事故状态下工作人员快速移动至迷道内可通过该按钮开启防护门，实现紧急逃离。

⑥视频监视系统、双向交流对讲系统：每间 TOMO、直线加速器、射波刀、磁共振加速器机房的治疗室和控制室之间均安装有视频监控 3 个（迷道 1 个，南、北墙体各 1 个）、双向交流对讲装置 1 套，控制室内能通过视频监视治疗室内患者的治疗情况，并通过对讲系统与室内人员联系，以便于医生在控制室观察患者在治疗室的状况、及时处理意外情况。视频监控数量和位置能实时、全方位观察治疗室及迷道内状况，可以保障治疗室内及迷道不留视频监控死角，因此视频监控布局数量及位置可行。

二、后装机

（1）设备固有安全性

①后装治疗设备的控制系统，必须能准确地控制照射条件，有放射源起动、传输、驻留及返回工作贮源器的源位显示与治疗日期、通道、照射总时间及倒计数时间的显

示。

②后装治疗设备控制系统有安全锁等多重保护和联锁装置。必须能防止由于计时器控制、放射源传输系统失效，源通道或控制程序错误以及放射源连接脱落等电气、机械发生故障或发生误操作的条件下造成对患者的误照射。严禁在去掉保护与联锁控制装置的条件下运行。

③实施治疗期间，当发生停电、卡源或意外中断照射时，放射源必须能自动返回工作贮源器。必须同时显示和记录已照射的时间和剂量，直到下一次照射开始，同时发出声光报警信号。当自动回源装置功能失效时，必须有手动回源措施进行应急处理。

④在控制台上，必须能通过γ射线监测仪器显示放射源由工作贮源器内输出和返回贮存位置的状态。控制照射时间的计时误差必须小于1%。

⑤必须在生产厂家给出的放射源最大安全传输次数内，不发生放射源脱落、卡源等故障。放射治疗机随机文件中必须给出放射源从贮源器到施源器的最大传输时间。

（2）机房辐射防护设施设计

①固定式辐射剂量监测仪（带有报警功能）：后装机机房迷道内入口处设置带有异常情况下报警功能的固定式辐射剂量监测仪，其显示单元装在控制室内。对监测点进行实时剂量率监测和报警。实时剂量率、累积剂量监测值同时显示在主机面板上，实时剂量率、累积剂量的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪器有声光报警，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。

②设置门源联锁和门灯联锁，防护门上方设有工作状态指示灯与设备出源关联，防护门未完全关闭时不能出源照射，出源状态下防护门打开，源自动回到后装机安全位置。后装机设有断电自动回源措施。后装机出源时工作状态指示灯亮起。防护门为电动移门，防护门与墙搭接处应尽可能减小缝隙泄漏辐射，防护门宽于门洞的部分应大于“门-墙”间隙的十倍。防护门设红外防挤压装置，防止人员被夹伤。

③急停开关：后装机设备自带急停开关。医院拟在后装机机房内四侧墙体、迷道、防护门内侧和控制台处设置急停开关，急停开关为红色按钮式开关，设在工作人员易于接触的地方（距离地面 1.2m 高处），且相互串联，每个急停开关独立工作，按下任意开关可使设备立即回源，以避免机房内人员尚未完全撤离或误入的情况下受到误照射。急停开关按下后，只有人工就地复位并通过控制台才能重新启动设备；急停开关应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且易于

触发。

④电离辐射警告标志和工作状态指示灯：在后装机机房防护门上及墙体醒目位置设置电离辐射警告标志和中文警示说明，控制区和监督区设相应标识。防护门上方设工作状态指示灯，以显示后装机工作状态。后装治疗机使用的 ^{192}Ir 密封放射源符合《密封放射源及密封γ放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114-2006），放射源安装在铅、钨防护材质的机头储源室内，源容器外表面张贴电离辐射标志和中文警示说明。

⑤紧急开门装置：后装机机房防护门内侧，人员易接触的位置装有紧急开门按钮，在事故状态下工作人员逃逸至迷道内可通过该按钮开启防护门，实现紧急逃离。

⑥视频监控、双向交流对讲系统：后装机机房的治疗室和控制室之间安装有视频监控 3 个（迷道 1 个、南、北墙体各 1 个）、双向交流对讲装置 1 套，控制室内能通过视频监视治疗室内患者的治疗情况，并通过对讲系统与室内人员联系，以便于医生在控制室观察患者在治疗室的状况、及时处理意外情况。视频监控数量和位置能实时、全方位观察治疗室及迷道内状况，可以保障治疗室内及迷道不留视频监控死角，因此视频监控布局数量及位置可行。后装机机房防护门采取双人双“锁”管理，放射源工作场所视频监控系统接入医院安保系统。

⑦后装机房应配备应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。治疗室内合适位置应张贴应急指示。

⑧应加强放射源倒装活动的辐射安全管理，倒装工作应由有相应能力且通过辐射安全考核的专业人员进行；应制定放射源倒装活动方案，对辐射监测与报警仪器的有效性、操作场所分区隔离设置、倒源屏蔽体搭建进行确认；倒装放射源时应对倒装热室周围和含源设备表面进行辐射监测，关注倒源屏蔽体的辐射防护效果和含源设备的表面污染情况，做好安装和更换的放射源清点并记录；倒源结束后对含放射源的放射治疗设备、场所与周围环境进行辐射监测。

放疗科机房安全装置布设位置图见附图 18。

三、CT 模拟定位机

机房辐射安全措施：

①机房内布局要合理，避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置；CT 模拟定位机机房尺寸和屏蔽情况详见表 10.1.2.2-2、表 10.1.2.2-3，其防护能力符合相关标准

要求。

②控制室上张贴相应的各项规章制度、操作规程。

③机房门外设电离辐射警告标志，门上方设醒目的工作状态指示灯，灯箱处设警示语句；候诊区设放射防护注意事项告知栏。机房门设有闭门装置，工作状态指示灯能与机房门有效关联。

④所有辐射工作人员必须配备个人剂量计。

⑤机房拟采用动力通风装置进行通风，排放口均设置于机房吊顶，保证机房内有良好的通风。设备管线等均拟以地沟穿过墙体，地沟上盖钢板。

⑥在满足诊断要求的前提下，在每次使用射线装置进行诊断之前，根据诊断要求和病人实际情况制定最优化的诊断方案，选择合理可行尽量低的射线照射参数，以及尽量短的曝光时间，减少工作人员和相关公众的受照时间，也避免病人受到额外剂量的照射。

⑦机房应配备相应的防护用品与辅助防护设施，其配置要求需按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求进行配置。

表 10.1.2.3-2　个人防护用品和辅助防护设施配置要求

场所类型	工作人员		患者和受检者	
	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	—	—	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子各 1 件	—
注：“—”表示不需要。				

10.1.2.4 其他防护措施

（1）本项目放疗科 1 台 TOMO、4 台直线加速器、1 台射波刀、1 台磁共振加速器、1 台后装机和 1 台 CT 模拟定位机拟共配备辐射工作人员 30 名，其中医生 8 人，物理师 4 人，技师 18 人（分别为：TOMO 操作人员 2 人，加速器操作人员 8 人，射波刀操作人员 2 人，磁共振加速器操作人员 2 人，后装机操作人员 2 人，CT 模拟定位机操作人员 2 名），共配备 17 台个人剂量报警仪（7 间放疗机房和 1 间后装机房各 2 台，CT 模拟定位机房 1 台），为每名辐射工作人员配备个人剂量计，工作人员在工作期间应正确佩戴个人剂量计，在进入机房时应持个人剂量报警仪。

（2）放疗科拟配备 1 台便携式 X-γ射线巡测仪和 1 台中子剂量仪。

（3）控制室上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等。

（4）机房出入口门外应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

（5）在机房墙体合适位置和防护门上张贴电离辐射警告标志，在控制区墙体合适位置张贴警告标志。

10.1.3 介入手术项目和内镜中心

10.1.3.1 场所选址与布局

（1）工作场所布局合理性分析

本项目拟在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上三层建设 4 间 DSA 机房（分别为 DSA 机房 1~4），拟在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上四层建设 1 间 DSA 复合手术室和 1 间 CT 复合手术室，拟在综合楼 A 楼门诊（A1 区）地上四层内镜中心建设 1 间 ERCP 机房。各机房六面情况（东、南、西、北、上、下）如表 10.1.3.1-1 所示。

表 10.1.3.1-1　介入手术项目和内镜中心机房周边场所布局一览表

/	辐射工作场所名称						
方位	**DSA 机房 1**	**DSA 机房 2**	**DSA 机房 3**	**DSA 机房 4**	**DSA 复合手术室**	**CT 复合手术室**	**ERCP 机房**
东	DSA 机房 2	DSA 机房 3	医护通道	走廊	控制室和设备间	CT 存放间	控制室
南	控制廊	控制廊	控制廊	控制廊	污物走廊	污物走廊	内庭院四上空
西	走廊	DSA 机房 1	DSA 机房 2	医护通道	CT 存放间	控制室和库房	VIP 消化镜室
北	患者走廊	患者走廊	患者走廊	设备间	洁净走廊	洁净走廊	患者走廊
上	手术室、走廊	手术室、走廊	手术室、走廊	走廊	屋面	屋面	屋面
下	示教室、休息区、办公室、走廊	示教室、休息区、办公室、走廊	示教室、休息区、办公室、走廊	库房、值班室、走廊	库房和走廊	准备室、UPS 室、库房和走廊	急诊留观区

本项目 DSA 机房（4 间）、DSA 复合手术室、CT 复合手术室和 ERCP 机房工作场所相对集中布置，设置有患者通道、医护通道和污物通道，各射线装置经过机房实体屏蔽体屏蔽后，屏蔽体外剂量率符合标准要求，对周围辐射环境及人员影响是可以接受的，因此各机房平面布局合理可行。

（2）辐射分区管理

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防护工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。控制区和监督区的划分见附图 26、附图 27 和附

图 28。

表 10.1.3.1-2　本项目介入手术项目和内镜中心机房辐射工作场所两区划分

辐射工作场所名称	控制区	监督区
DSA 机房 1	机房内部	设备间、控制廊
DSA 机房 2	机房内部	设备间、控制廊
DSA 机房 3	机房内部	库房、控制廊、通道
DSA 机房 4	机房内部	设备间、控制廊、通道
DSA 复合手术室	机房内部	设备间、控制室、库房、CT 存放间
CT 复合手术室	机房内部	控制室、库房
ERCP 机房	机房内部	控制室

控制区通过实体屏蔽措施、警示标志等进行控制管理，在射线装置使用时，除介入治疗的医护人员和患者外，禁止其他人员进入；监督区通过辐射危险警示标志提醒人员尽量避开该区域，并委托有资质的单位定期对监督区进行监测、检查，如果发现异常应立即进行整改，整改完成后方可继续使用射线装置。

10.1.3.2 机房屏蔽防护措施

（1）机房屏蔽设计

依据建设单位提供的防护设计方案，将各机房屏蔽体的主要技术参数列表分析，并根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中对 X 射线机房防护设计的技术要求、最小有效使用面积及最小单边长度的要求，对本项目屏蔽措施进行对照分析，结果见下表。

表 10.1.3.2-1　本项目介入手术项目和内镜中心机房拟采取屏蔽防护措施分析

机房名称	屏蔽防护	屏蔽材料及厚度（铅当量：mmPb）	标准要求	评价
综合楼 A 楼医技（A2 区）地上三层 DSA 机房 1~4	四周墙体	300mm 混凝土实心砖（3.2）	有用线束方向铅当量为 3mmPb，非有用线束方向铅当量为 2mmPb	符合
	顶棚	300mm 混凝土（3.74）		符合
	地坪	300mm 混凝土（3.74）		符合
	防护门	内衬 4mm 铅门（4.0）		符合
	观察窗	4mm 铅玻璃（4.0）		符合
综合楼 A 楼医技（A2 区）地上四层 DSA 复合手术室	四周墙体	300mm 混凝土实心砖（3.2）	有用线束方向铅当量为 3mmPb，非有用线束方向铅当量为 2.5mmPb	符合
	顶棚	300mm 混凝土（3.74）		符合
	地坪	300mm 混凝土（3.74）		符合
	防护门	内衬 4mm 铅门（4.0）		符合
	观察窗	4mm 铅玻璃（4.0）		符合
综合楼 A 楼	四周墙体	300mm 混凝土实心砖（3.27）	2.5mmPb	符合

医技（A2区）地上四层 CT 复合手术室	顶棚	250mm 混凝土（3.0）		符合
	地坪	250mm 混凝土（3.0）		符合
	防护门	内衬 3mm 铅门（3.0）		符合
	观察窗	3mm 铅玻璃（3.0）		符合
综合楼 A 楼门诊（A1区）地上四层内镜中心 ERCP 机房	四周墙体	240mm 混凝土实心砖（2.84）	有用线束方向铅当量为 2mmPb，非有用线束方向铅当量为 2mmPb	符合
	顶棚	200mm 混凝土（2.63）		符合
	地坪	200mm 混凝土（2.63）		符合
	防护门	内衬 4mm 铅门（4.0）		符合
	观察窗	4mm 铅玻璃（4.0）		符合

注：①本项目 DSA 机房 1~4 的屏蔽防护设计相同。②混凝土实心砖密度不低于 2.1g/cm^3，240mm 混凝土实心砖等效 214mm 混凝土，300mm 混凝土实心砖等效 267mm 混凝土。③混凝土密度取 2.35g/cm^3 核算等效屏蔽厚度，折算铅当量参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中附录 C 中式（C.1）、式（C.2）及表 C.2，得 300mm 混凝土（5 台 DSA 对应 150kV 主束）折算为 3.74mmPb，267mm 混凝土（5 台 DSA 对应 150kV 主束）折算为 3.2mmPb，267mm 混凝土（滑轨 CT 对应 140kV 主束）折算为 3.27mmPb，250mm 混凝土（滑轨 CT 对应 140kV 主束）折算为 3mmPb，200mm 混凝土（ERCP 对应 125kV 主束）折算为 2.63mmPb，214mm 混凝土（ERCP 对应 125kV 主束）折算为 2.84mmPb。

表 10.1.3.2-2　本项目介入手术项目和内镜中心机房规格与标准对照表

机房名称	规格		标准要求		符合性评价
	有效使用面积 m^2	最小单边长 m	最小有效使用面积 m^2	最小单边长 m	
DSA 机房 1	66.15	7.35	20	3.5	符合
DSA 机房 2	64.35	7.15	20	3.5	符合
DSA 机房 3	48.15	5.35	20	3.5	符合
DSA 机房 4	50.54	6.65	20	3.5	符合
DSA 复合手术室	66.75	7.5	30	4.5	符合
CT 复合手术室	48	6.4	30	4.5	符合
ERCP 机房	38.25	5.0	20	3.5	符合

通过上表可知，本项目 DSA 机房（4 间）、DSA 复合手术室、CT 复合手术室和 ERCP 机房的面积、最小单边长度均大于标准要求，其四侧墙体、顶棚、地坪、防护门以及观察窗均采取了辐射屏蔽措施，充分考虑了邻室（含楼上及楼下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于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，本项目介入手术项目机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关防护设施的技术要求。

10.1.3.3 辐射防护措施

本项目 DSA 和 ERCP 主要辐射为 X 射线，对 X 射线的基本防护原则是减少照射时间、远离射线源以及加以必要的屏蔽。本项目对 X 射线外照射的防护措施主要有以下几方面。

（1）设备固有安全性

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“X 射线设备防护性能的技术要求——5.1 一般要求和 5.8 介入放射学、近台同室操作（非普通荧光屏透视）用 X 射线设备防护性能的专属要求”，本项目 DSA 和 ERCP 设备应具有以下防护功能：

①X 射线设备出线口上应安装限束系统（如限束器、光阑等）；

②X 射线管组件上应有清晰的焦点位置标识；

③X 射线管组件上应标明固有滤过，所有附加滤过片均应标明其材料及厚度；

④随机文件应说明下列与防护有关的性能：X 射线管组件的固有过滤、X 射线管组件的滤过、滤过片的特性、距焦点 100cm 远处球面上泄漏辐射的空气比释动能率、限制有用线束的方法、在焦点到影像接收器的各种距离下有用线束照射野尺寸、焦点到影像接收面的最大和最小距离、管电压和管电流的加载条件、各种使用条件下焦皮距的说明、位于有用线束中床板和滤线栅对 X 射线束的衰减当量等；

⑤在机房内应具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键；

⑥X 射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于 20cm 的装置；

⑦介入操作中，设备控制台和机房内显示器上应能显示当前受检者的辐射剂量测定指示和多次曝光剂量记录。

（2）距离防护

机房将严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，且在机房人员防护门的醒目位置张贴固定的电离辐射警告标志并安装工作状态指示灯。限制无关人员进入，以免受到不必要的照射。

（3）时间防护

在满足诊断要求的前提下，在每次使用射线装置进行诊断之前，根据诊断要求和病人实际情况制定最优化的诊断方案，选择合理可行尽量低的射线照射参数，以及尽量短的曝光时间，减少工作人员和相关公众的受照时间，也避免病人受到额外剂量的照射。

（4）其他辐射安全防护措施

①机房门外拟设电离辐射警告标志、醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；本项目机房门设有曝光时关闭机房门的管理措施

和防夹装置，工作状态指示灯能与机房门有效关联；在监督区、控制区墙体合适位置张贴监督区、控制区警示标识。

②控制室墙上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等。

③设备配备可升降的含铅挡板或悬挂防护屏，为受检人的非检查部位提供遮挡，尽量减少受照剂量。床侧配套防护铅帘，以减少对手术医生的受照剂量。

④机房受检者出入口门外应设置黄色警戒线，警告无关人员请勿靠近。手术期间，陪护人员禁止进入监督区域和控制区域。

⑤本项目每名辐射工作人员必须配备个人剂量计，其中介入医护人员采用双剂量计检测方法（分别佩戴于铅橡胶围裙外锁骨对应的领口位置、铅橡胶围裙内躯干上）；介入手术项目共配置 6 台个人剂量报警仪和 1 台环境辐射巡测仪，内镜中心 ERCP 机房配置 1 台个人剂量报警仪和 1 台环境辐射巡测仪。

⑥机房内分别设置视频对讲装置 1 套，监视器位于操作位。在控制台上、介入手术床旁设置急停开关（各按钮串联并与 X 射线系统连接），一旦出现异常，按动任一个急停开关，均可停止 X 射线系统出束，并在急停开关旁设置醒目的中文提示。

⑦机房拟采用动力通风装置进行通风，排放口均设置于机房吊顶，保证机房内有良好的通风。设备管线等均拟以地沟穿过墙体，地沟上盖钢板。

⑧机房内不堆放与本项目诊断无关的杂物。

⑨机房候诊区设置辐射防护注意事项告知栏。

⑩医院计划为介入手术项目工作人员、患者和受检者配备相应的个人防护用品和辅助防护设施，具体配置情况及与标准要求对照情况见下表。

表 10.1.3.3-1　个人防护用品和辅助防护设施配置要求

场所类型	人员类型	GBZ130-2020 要求		本项目拟配置情况		是否符合
		个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施	
DSA 机房（4 间）、DSA 复合手术室、ERCP 机房	工作人员	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	每间机房：铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 各 3 件	每间机房：铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏 移动铅防护屏风 各 1 件	符合
	患者和受检者	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套	—	每间机房：铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽	—	符合

		选配：铅橡胶帽子		子各 2 件（儿童和成人患者各 1 套）		
CT 复合手术室	工作人员	—	—	—	—	符合
	患者和受检者	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	—	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子 2 件（儿童和成人患者各 1 套）	—	符合
注：①“—”表示不需要；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；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb。 ②儿童的防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。						

10.1.4 放射诊断项目

10.1.4.1 场所选址与布局

（1）工作场所布局合理性分析

放射诊断项目新增的 12 台 III 类射线装置主要分布在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科。DR 机房 1、DR 机房 2、DR 机房 3、钼靶机房 1、钼靶机房 2 从西至东依次并列，CT 机房 1、CT 机房 2、CT 机房 3 从西至东依次并列，DR 机房 4、CT 机房 4、CT 机房 5、CT 机房 6 从西至东依次并列。各机房四周相邻环境情况见表 10.1.4.1-1。

表 10.1.4.1-1　放射诊断项目机房周边场所布局一览表

/	辐射工作场所名称					
方位	**DR 机房 1**	**DR 机房 2**	**DR 机房 3**	**钼靶机房 1**	**钼靶机房 2**	**CT 机房 1**
东	DR 机房 2	DR 机房 3	钼靶机房 1	缓冲间和控制室	医护走廊	CT 机房 2
南	控制廊	控制廊	控制廊	控制廊	控制廊	患者走廊
西	候诊大厅	DR 机房 1	DR 机房 2	DR 机房 3	缓冲间和控制室	库房
北	患者走廊	患者走廊	患者走廊	患者走廊	患者走廊	控制廊
上	检验大厅	检验大厅	检验大厅	合血室	合血室	检验大厅
下	地下车库					
/	辐射工作场所名称					
方位	**CT 机房 2**	**CT 机房 3**	**DR 机房 4**	**CT 机房 4**	**CT 机房 5**	**CT 机房 6**
东	CT 机房 3	库房	CT 机房 4	CT 机房 5	CT 机房 6	控制廊
南	患者走廊	患者走廊	控制廊	控制廊	控制廊	控制廊
西	CT 机房 1	CT 机房 2	候诊大厅	DR 机房 4	CT 机房 4	CT 机房 5
北	控制廊	控制廊	患者走廊	患者走廊	患者走廊	患者走廊
上	检验大厅和会议室	会议室和缓冲间	报告审核区	报告审核区和更衣室	资料室和库房	库房和卫生间
下	地下车库					

放射诊断项目中各射线机房相对集中布置，设置了控制廊或控制室，且避开了人群较多的办公场所。因此。机房平面布局合理可行。

（2）辐射分区管理

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防护工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。控制区和监督区的划分见附图 30。

表 10.1.4.1-2　本项目放射诊断项目机房辐射工作场所两区划分

辐射工作场所名称	控制区	监督区
综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 DR 机房 1	机房内部	控制廊
综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 DR 机房 2	机房内部	控制廊
综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 DR 机房 3	机房内部	控制廊
综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 DR 机房 4	机房内部	控制廊
综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科钼靶机房 1	机房内部	缓冲间、控制室
综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科钼靶机房 2	机房内部	缓冲间、控制室
综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 CT 机房 1	机房内部	控制廊
综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 CT 机房 2	机房内部	控制廊
综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 CT 机房 3	机房内部	控制廊
综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 CT 机房 4	机房内部	控制廊
综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 CT 机房 5	机房内部	控制廊
综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 CT 机房 6	机房内部	控制廊

控制区通过实体屏蔽措施、警示标志等进行控制管理，在射线装置使用时，除辐射工作人员和患者外，禁止其他人员进入；监督区通过辐射危险警示标志提醒人员尽量避开该区域，并委托有资质的单位定期对监督区进行监测、检查，如果发现异常应立即进行整改，整改完成后方可继续使用射线装置。

10.1.4.2 机房屏蔽防护措施

（1）机房屏蔽设计

依据建设单位提供的防护设计方案，将各机房屏蔽体的主要技术参数列表分析，并根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中对 X 射线机房防护设计

的技术要求、最小有效使用面积及最小单边长度的要求，对本项目屏蔽措施进行对照分析，结果见下表。

表 10.1.4.2-1　本项目放射诊断项目机房拟采取屏蔽防护措施分析

机房名称	屏蔽防护	屏蔽材料及厚度（铅当量：mmPb）	标准要求	评价
综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 DR 机房 1~4	四周墙体	240mm 混凝土实心砖（2.84）	有用线束方向铅当量为 2mmPb，非有用线束方向铅当量为 1mmPb	符合
	顶棚	220mm 混凝土（2.93）		符合
	地坪	250mm 混凝土（3.4）		符合
	防护门	内衬 3mm 铅门（3.0）		符合
	观察窗	3mm 铅玻璃（3.0）		符合
综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科钼靶机房 1-2	四周墙体	240mm 混凝土实心砖（2.2）	有用线束方向铅当量为 1mmPb，非有用线束方向铅当量为 1mmPb	符合
	顶棚	220mm 混凝土（2.26）		符合
	地坪	250mm 混凝土（2.54）		符合
	防护门	内衬 3mm 铅门（3.0）		符合
	观察窗	3mm 铅玻璃（3.0）		符合
综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科 CT 机房 1-6	四周墙体	240mm 混凝土实心砖（3.05）	有用线束及非有用线束方向铅当量均为 2.5mmPb	符合
	顶棚	220mm 混凝土（3.15）		符合
	地坪	250mm 混凝土（3.64）		符合
	防护门	内衬 3mm 铅门（3.0）		符合
	观察窗	3mm 铅玻璃（3.0）		符合

注：①混凝土实心砖密度不低于 2.1g/cm^3，240mm 混凝土实心砖等效 214mm 混凝土。②混凝土密度取 2.35g/cm^3 核算等效屏蔽厚度，折算铅当量参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中附录 C 中式（C.1）、式（C.2）及表 C.2，得 220mm 混凝土（4 台 DR 对应 125kV 主束）折算为 2.93mmPb，220mm 混凝土（2 台钼靶机对应 70kV）折算为 2.26mmPb，220mm 混凝土（6 台 CT 对应 140kV）折算为 3.15mmPb，250mm 混凝土（4 台 DR 对应 125kV 主束）折算为 3.4mmPb，250mm 混凝土（2 台钼靶机对应 70kV）折算为 2.54mmPb，250mm 混凝土（6 台 CT 对应 140kV）折算为 3.64mmPb，214mm 混凝土（4 台 DR 对应 125kV 主束）折算为 2.84mmPb，214mm 混凝土（2 台钼靶机对应 70kV）折算为 2.2mmPb，214mm 混凝土（6 台 CT 对应 140kV）折算为 3.05mmPb。

表 10.1.4.2-2　本项目放射诊断项目机房规格与标准对照表

机房名称		规格		标准要求		符合性评价
		有效使用面积 m^2	最小单边长 m	最小有效使用面积 m^2	最小单边长 m	
综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科	DR 机房 1	28.9	4.9	20	3.5	符合
	DR 机房 2	24.4	4.56	20	3.5	符合
	DR 机房 3	24.4	4.56	20	3.5	符合
	DR 机房 4	25.1	4.86	20	3.5	符合
	钼靶机房 1	17.5	4.92	10	2.5	符合
	钼靶机房 2	16.3	3.57	10	2.5	符合
	CT 机房 1	35.2	4.76	30	4.5	符合
	CT 机房 2	35.4	4.76	30	4.5	符合
	CT 机房 3	36.4	5.12	30	4.5	符合
	CT 机房 4	40.0	5.16	30	4.5	符合

	CT 机房 5	40.0	5.16	30	4.5	符合
	CT 机房 6	36.0	5.16	30	4.5	符合

通过上表可知，放射诊断项目新增的 12 台 III 类射线装置机房的面积、最小单边长度均大于标准要求，其四侧墙体、顶棚、地坪、防护门以及观察窗均采取了辐射屏蔽措施，充分考虑了邻室（含楼上及楼下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于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，放射诊断项目机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关防护设施的技术要求。

10.1.4.3 辐射防护措施

①机房内布局要合理，避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置；项目各射线装置机房屏蔽情况详见表 10-20，其防护能力符合相关标准要求。

②各机房控制室或控制廊上张贴相应的各项规章制度、操作规程。

③射线装置机房门外设电离辐射警告标志，门上方设醒目的工作状态指示灯，灯箱处设警示语句；候诊区设放射防护注意事项告知栏。机房门设有闭门装置，工作状态指示灯能与机房门有效关联。

④涉及的辐射工作人员必须配备个人剂量计。

⑤各射线装置机房设置动力排风装置，保证机房内良好通风。

⑥在满足诊断要求的前提下，在每次使用射线装置进行诊断之前，根据诊断要求和病人实际情况制定最优化的诊断方案，选择合理可行尽量低的射线照射参数，以及尽量短的曝光时间，减少工作人员和相关公众的受照时间，也避免病人受到额外剂量的照射。

⑦各射线装置机房应配备相应的防护用品与辅助防护设施，其配置要求需安装 GBZ130-2013 的要求进行配制。

表 10.1.4.3-1　个人防护用品和辅助防护设施配置要求

场所类型	工作人员		患者和受检者		是否符合
	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、DR、钼靶机所在机房	—	—	单个机房：铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子各 1 件	—	符合
注：“—”表示不需要。					

10.2三废治理

10.2.1核医学科

一、放射性废液

核医学科产生的放射性废液主要包括：给药后患者在候诊、留观或者住院期间产生的排泄物及冲洗水等含有放射性核素的废水，核医学科工作人员完成放射性药物操作后清洗去污的废水，核医学科工作场所清洗及应急洗消产生的可能含放射性物质的废水。

本项目拟在住院楼C楼地下二层建设两套衰变池组，两套衰变池组设置在一间衰变池间内，其中A衰变池组用于核医学科北侧区域产生的放射性废液，B衰变池组用于核医学科南侧区域产生的放射性废液。A衰变池组由 1 个沉淀池+3 个有效容积不低于 15m^3 衰变池（1#、2#、3#）并联组成，B衰变池组由 1 个沉淀池+3 个有效容积不低于 70m^3 衰变池（4#、5#、6#）并联组成。核医学科衰变池间平面、剖面布置图见附图 11。

衰变池间四周、顶部、底部均采用 400mm厚混凝土，各衰变池四侧墙体采用400mm厚混凝土，材质坚固、耐酸碱腐蚀，无渗透性，可确保辐射防护安全。两组衰变池组均采用并联设置，轮流收集贮存，交替轮流排放，并配置动力及自动运行控制系统，可实现全自动或手动两种运行控制方式。核医学科北侧区域放射性废液经贮存超过 33 天后（满足半衰期最长核素 ^{89}Zr废水暂存十个半衰期），经监测总α≤1Bq/L，总β≤10Bq/L，经审管部门确认后方可解控排入医院污水处理站；核医学科南侧区域放射性废液贮存超过 180 天后，经审管部门确认后方可解控排入医院污水处理站。

（1）核医学放射性废液收集管线

医院核医学科产生的放射性废液通过专门的管道进行统一收集，并经管道排入衰变池。核医学科放射性废液管道均要求抗酸碱、耐腐蚀并有一定防辐射功能，放射性废液管道拟采用镀锌钢管并地埋设置，管道裸露部分外包裹 1.5mmPb铅皮进行屏蔽防护。衰变后的废水满足暂存时间要求、检测达标后排入医院污水处理系统。核医学科放射性废液排水管线如附图 14 所示。

（2）衰变池设计

2 个衰变池组均为并联设计，废水出口设置有废水监测井和自动取样监测装置。整个衰变池采用“槽式”排放，通过阀门切换并联运行，以“核医学科南侧区域衰变

池组 3 个衰变池（分别为 6#、7#、8#）为例”，运行时先关闭 7#、8#进水管上电动阀，打开 6#进水管上的电动阀，使废水进入 6#衰变池，当 6#衰变池废水到达设定水位后，关闭 6#进水电动阀并开启 7#衰变池进水电动阀，废水经 7#进水电动阀流入 7#衰变池，当 7#衰变池废水到达设定水位后，关闭 7#进水电动阀并开启 8#衰变池进水电动阀，废水经 8#进水电动阀流入 8#衰变池；当 8#衰变池内废水到达设定水位时，打开 6#排水管上的电动阀，并检测 6#衰变池是否已排空，如果没有则报警。如果 6#衰变池为空槽则关闭 8#电动阀并开启 6#衰变池电动阀，以此类推。

衰变池进水管上的电动阀和衰变池排水泵均有自动控制和手动控制两种模式。衰变池组的自动化控制系统除能自动控制电动阀开关外，还能实时监控池内液位状态，各衰变池的水位、衰变时间自动显示在电脑的显示屏和控制柜的文本显示器上，并可随时查阅或打印当前和历史的相关记录。出水检测井设置两套水泵，一用一备。衰变池和出水检测井的水泵要求建立巡查制度，以保证其正常运行。

二、放射性废气

①核医学科北侧（核素门诊显像诊断区域）

1号排风管线：PET/CT机房、SPECT机房、PET/MR机房及准备间、SPECT留观及其卫生间、PET留观及其卫生间、洁具间、污物暂存间1，排风风量6000m^3/h；2号排风管线：SPECT专用分装注射室、PET专用分装注射室、储源室、废物间1、SPECT注射后候诊室及卫生间、2间PET注射后候诊室及卫生间、VIP注射后候诊室及卫生间、注射后患者走廊、卫生通过间，排风风量6000m^3/h；3号排风管线：PET专用分装注射室手套箱，排风风量1500m^3/h；4号排风管线：SPECT专用分装注射室手套箱，排风风量1500m^3/h。

②核医学科南侧（核素治疗区域）

1号排风管线：4间核素治疗病房及卫生间，排风风量2500m^3/h；2号排风管线：抢救室及卫生间、2间甲亢留观室及卫生间、患者走廊、分装注射室2、服碘室、废物间1、患者取餐间、污物暂存间2、2间敷贴室及储源室、卫生通过间，排风风量6000m^3/h；3号排风管线：分装注射室2的手套箱，排风风量1500m^3/h。

所有排风管道均通向排风井，废气经风机抽排至住院楼 C 楼楼顶高出屋脊排放，排风管内设置止回阀，防止气流倒灌，排放口设置一级活性炭过滤装置，各手套箱顶部设活性炭吸附装置。排风管线设计图见附图 13。

三、放射性固体废物

本项目核医学工作场所放射性固废主要是放射性药物操作使用过程中沾染放射性药物的固体废物，包括一次性注射器、一次性服药杯、棉签、滤纸、手套、擦拭污染地面的物品等。医院拟将上述放射性固体废物收集于工作场所铅桶内专用塑料包装袋，包装袋要标明收贮时间、种类及数量等内容。每袋废物的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，重量不超过20kg。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，然后再装入塑料袋内，装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于废物间和污物暂存间内。

2间废物间和2间污物暂存间均设有240mm/370mm混凝土实心砖墙、10mm铅防护门，顶棚和地坪屏蔽不低于250mm混凝土，机房内各设置不低于10mmPb衰变箱，用于贮存放射性固体废物。放射性物质自行衰变，所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30天，所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍，含^{131}I核素的放射性固体废物暂存超过180天。经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于0.08Bq/cm^2，β表面污染小于0.8Bq/cm^2，可对废物清洁解控并作为医疗废物进行处理。

核医学科排放口定期更换下来的废活性炭也属于放射性固体废物，应及时转运暂存至铅衰变箱内，让放射性物质自行衰变，待衰变满足标准后，作为医疗废物进行处理。

更换的废旧^{68}Ge放射源和^{90}Sr-^{90}Y敷贴源应当送交有资质的单位收贮或者直接送交有资质的放射性固体废物处置单位处置；废弃锗镓发生器置于衰变箱中，由供货单位直接回收。

建设单位应做到：

①严格区分放射性固体废物与一般固体废物，不可混同处理，应力求控制和减少放射性废物产生量。

②对所有放射性固废采用先收集在各自相关工作场所的专用废物桶内，再将废物桶内的固体废弃物连同垃圾袋分期存放到废物间内，集中收储一段时间后（控制不同的收贮时间，以减少放射性废物的收贮量）再分类处理。

③放射性固废的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令第612号）的“放射性固体废物贮存单位应当建立放射性固体废物贮存情况记录档

案，如实完整地记录贮存的放射性固体废物的来源、数量、特征、贮存位置、清洁解控、送交处置等与贮存活动有关的事项”等相关规定。

10.2.2小动物核医学实验中心

一、放射性废液

小动物核医学实验中心产生的放射性废液主要包括：实验器具（鼠笼、托盘等）清洗废水、操作台解剖后清洗废水、工作场所清洁废水及应急洗消产生的可能含放射性物质的废水。小动物核医学实验中心放射性废液年产生量为 5.518m^3/a，本项目拟在综合楼 A 楼教学科研（A3 区）地下一层建设一套衰变池组，专门用于小动物核医学实验中心产生的放射性废液。衰变池组设置在一间衰变池间内，衰变池间四周采用 240mm 厚砖墙。

衰变池组由 1 个沉淀池+3 个有效容积不低于 1m^3 衰变池并联组成，池体均为成品不锈钢槽体，材质坚固、耐酸碱腐蚀，无渗透性，可确保辐射防护安全，衰变池组设计见附图 25。衰变池组采用并联设置，轮流收集贮存，交替轮流排放，并配置动力及自动运行控制系统，可实现全自动或手动两种运行控制方式。小动物核医学实验中心产生的放射性废液经贮存超过 68 天后（满足半衰期最长核素 ^{177}Lu废水暂存十个半衰期），经监测总α≤1Bq/L，总β≤10Bq/L，经审管部门确认后方可解控排入医院污水处理站。

（1）放射性废液收集管线

小动物核医学实验中心产生的放射性废液通过专门的管道进行统一收集，并经管道排入衰变池。核医学科放射性废液管道均要求抗酸碱、耐腐蚀并有一定防辐射功能，放射性废液管道拟采用镀锌钢管并地埋设置，管道裸露部分外包裹 1.5mmPb铅皮进行屏蔽防护。衰变后的废水满足暂存时间要求、检测达标后排入医院污水处理系统。小动物核医学实验中心放射性废液排水管线如附图 23 所示。

（2）衰变池设计

衰变池组为并联设计，废水出口设置有废水监测井和自动取样监测装置。整个衰变池采用“槽式”排放，通过阀门切换并联运行，运行时先关闭 2#、3#进水管上电动阀，打开 1#进水管上的电动阀，使废水进入 1#衰变池，当 1#衰变池废水到达设定水位后，关闭 1#进水电动阀并开启 2#衰变池进水电动阀，废水经 2#进水电动阀流入 2#衰变池，当 2#衰变池废水到达设定水位后，关闭 2#进水电动阀并开启 3#衰变池进水

电动阀，废水经 3#进水电动阀流入 3#衰变池；当 3#衰变池内废水到达设定水位时，打开 1#排水管上的电动阀，并检测 1#衰变池是否已排空，如果没有则报警。如果 1#衰变池为空槽则关闭 3#电动阀并开启 1#衰变池电动阀，以此类推。

衰变池进水管上的电动阀和衰变池排水泵均有自动控制和手动控制两种模式。衰变池组的自动化控制系统除能自动控制电动阀开关外，还能实时监控池内液位状态，各衰变池的水位、衰变时间自动显示在电脑的显示屏和控制柜的文本显示器上，并可随时查阅或打印当前和历史的相关记录。出水检测井设置两套水泵，一用一备。衰变池和出水检测井的水泵要求建立巡查制度，以保证其正常运行。

二、放射性废气

1号排风管线：小动物成像室、储源室、分装注射室、动物短期观察室、操作室、污物暂存间、洗消室、洁存间、控制室、洁具间、卫生通过间（包括一更间、二更间、退缓检测间、应急淋浴间）、缓冲间，排风风量2500m^3/h。

2号排风管线：分装注射室手套箱，排风风量1500m^3/h。

所有排风管由核素显像场所西侧的风井经风机抽排至综合楼A楼教学科研（A3区）楼顶高出屋脊排放，排风管内设置止回阀，防止气流倒灌，排放口设置一级活性炭过滤装置。分装注射室手套箱顶部设活性炭吸附装置。排风管线设计图见附图22。

三、放射性固体废物

小动物核医学实验中心产生的放射性固废主要包括：工作人员在核素测活、注射、清洁去污过程中产生的一次性注射器、棉棒、滤纸、手套、擦拭污染地面的物品、含排泄物的垫料等废旧耗材，实验结束后产生的动物尸体及组织器官。小动物核医学实验中心废气处理系统定期更换的废活性炭也作为放射性固废管理。

放射性固废收集于铅桶内专用塑料包装袋，然后及时转运暂存于污物暂存间（其中动物尸体及组织器官暂存于冰柜），暂存时间结束后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

放射性废物桶和衰变箱应按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关规定：废物桶张贴电离辐射标志，放置专用塑料包装袋，在装满后的包装袋上标明废物类型、收贮时间、核素种类及数量等内容；每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg；对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，然后再装入包装袋内，装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于衰变箱内，衰变箱表面注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息。

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，详细记录固体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。

10.2.3放疗科

（一）废气

本项目放疗科 TOMO、直线加速器、射波刀、磁共振加速器、CT 模拟定位机运行时，X 射线会与空气发生电离作用，产生臭氧、氮氧化物等有害气体；后装机运行时，γ射线会与空气发生电离作用，产生臭氧、氮氧化物等有害气体。

本项目放疗科 1 间 TOMO 机房、4 间加速器机房、1 间射波刀机房、1 间磁共振加速器机房、1 间后装机机房和 1 间 CT 模拟定位机房均设有强制排风系统，各机房内设置新风口和排风口，送风口与排风口呈“上进下出，对角设置”设置，换气次数均不小于 4 次/h。总排风管道最终接入放疗科西侧排风井，排风井通至住院楼 C 楼楼顶，排放口高出所在建筑屋脊，并且排放口风管端口进行了防雨、防鸟、防虫设计，废气最终排至大气环境。

直线加速器机房产生的感生放射性气体产生量较少，且产生的气态感生放射性核素主要为 ^{15}O 和 ^{13}N，其半衰期分别为 2.0min 和 10.0min，一般在正常通风情况下，感生放射性气体不会对辐射工作人员和患者造成危害。

（二）固体废物

直线加速器正常运行时，无废靶产生。加速器退役时应进行监测，存在放射性污染的，按放射性固体废物进行管理，最终送交有资质的单位收贮。

后装机更换的废 ^{192}Ir 放射源应当按照废旧放射源返回合同规定，将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方。

后装机配套使用 UPS 电源，该 UPS 电源采用铅蓄电池供电。根据《国家危险废物名录》（2025 年版），废铅蓄电池属于危险废物（废物类别 HW31 含铅废物，废物代码：900-052-31），其更换周期约 5 年/次，更换下的 UPS 电源交由有资质单位处置。

10.2.3 介入手术项目、内镜中心和放射诊断项目

介入手术项目、内镜中心和放射诊断项目涉及到的DSA、ERCP、CT、DR、钼靶机等X射线装置在使用过程中无放射性废液、放射性废气及放射性固体废物产生。各射线装置在开机状态下，X射线对空气的电离会产生微量的臭氧，医院拟根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）标准要求，在射线装置机房均设置动力通风装置，并保持机房内良好的通风。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 施工期环境影响分析

本项目主体土建工程环评报告书《新北区人民医院项目（一期）环境影响报告书》，已于 2024 年 12 月 18 日取得常州高新区（新北区）政务服务管理办公室批复，批复文号为：常新政务环书〔2024〕6 号（见附件 4）。本项目主体土建工程施工期影响详见《新北区人民医院项目（一期）环境影响报告书》有关章节，本次评价不再分析。

11.1.2 设备安装调试期间的环境影响分析

本项目设备的安装、调试应请设备厂家专业人员进行，医院方不得自行安装及调试设备，且安装调试阶段不涉及放射源和非密封放射性物质的操作。在设备安装调试阶段，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，在各个机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。由于各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是可接受的。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 核医学科

11.2.1.1α射线辐射影响分析

本项目使用的核素 ^{225}Ac、^{223}Ra 和 ^{227}Th 等在发生衰变时会伴随产生α射线，α粒子的体积比较大，又带两个正电荷，很容易就可以电离其他物质，因此，它的能量亦散失得较快，穿透能力在众多电离辐射中是最弱的，人类的皮肤或一张纸已能隔阻α粒子。本项目核医学科采用实体屏蔽，在满足γ射线防护的情况下，α射线对周围环境和人员外照射辐射影响较小，可忽略不计。

本项目使用的核素 ^{225}Ac、^{223}Ra 和 ^{227}Th 的测活均在设有通风装置的手套箱内进行，辐射工作人员进入控制区均穿戴工作服、一次性手套、工作鞋，人员不在控制区内进行进食、饮水、吸烟、化妆等无关工作，本项目放射性核素正常操作过程中，不会被工作人员摄入体内，其对人员吸入体内造成的内照射影响可以忽略。

11.2.1.2β射线辐射影响分析

本项目核医学科涉及使用的核素在衰变过程中会有β射线，根据《辐射防护导论》

（方杰，北京，1991）P127，β粒子射程估算见下式。

$$R=0.412E^{(1.265-0.09541\ln E)} \qquad 0.01<E<2.5MeV\ldots（式\ 11.2.1.2\text{-}1）$$

$$d=R/\rho \qquad （式\ 11.2.1.2\text{-}2）$$

式中：

R—粒子在低原子序数物质中的射程，g/cm^2；

d—β射线在介质中的射程，cm；

ρ—介质的密度，空气密度为 1.29E-03g/cm^3；铅密度为 11.34g/cm^3，铅玻璃密度为 4.6g/cm^3；

E_{MAX}—β射线的最大能量，MeV。

表 11.2.1.2-1　核素衰变产生的β射线在各介质中的理论最大射程

核素	^{18}F	^{64}Cu	^{68}Ga	^{89}Zr	^{89}Sr	^{90}Sr-^{90}Y	^{131}I	^{177}Lu
β射线能量（MeV）								
空气密度（g/cm^3）								
空气中的射程（cm）								
铅密度（g/cm^3）								
铅中的射程（cm）								
铅玻璃密度（g/cm^3）								
铅玻璃中射程（cm）								

由上表可知，^{90}Sr-^{90}Y敷贴源衰变产生的β射线在铅中的射程最大：即0.097cm，各核素外部的铅屏蔽厚度均远超过在铅中的射程。本项目核医学科各放射性药物从专业放射性同位素供应单位购买，运输到医院后在储源室暂存，采用铅罐进行屏蔽；^{90}Sr-^{90}Y敷贴源从专业放射性同位素供应单位购买，运输到医院后在敷贴储源室暂存，采用贮源箱进行屏蔽。本项目核医学科非密封放射性物质工作场所设置防护墙体和铅门进行屏蔽，并设置手套箱、注射窗、铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等防护用品和设备，故本项目核医学科放射性核素产生的β射线对周围环境影响很小。

11.2.1.3韧致辐射影响分析

本项目核医学科涉及使用的核素 ^{89}Sr和 ^{90}Sr-^{90}Y敷贴源为纯β衰变，屏蔽强β粒子的高原子序数材料会产生韧致辐射。本次评价重点考虑 ^{89}Sr开展骨转移治疗以及 ^{90}Sr-^{90}Y敷贴源开展敷贴治疗的韧致辐射影响。根据《辐射防护导论》，对β辐射源，韧致辐射采用下式进行计算。

$$H_r = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \cdot (\frac{E_b}{r})^2 \cdot (\frac{\mu_{en}}{\rho}) \cdot q \cdot \eta$$ ……（式 11.2.1.3-1）

式中：

H_r——距离屏蔽层源 r 米处的辐射剂量率，Gy/h；

r——参考点与屏蔽层的距离，m；

A——放射源活度，Bq；

Z_e——屏蔽材料的有效原子序数；取自《辐射防护导论》表 4.4，有机玻璃取 5.85，空气取 7.36，铅取 82；

E_b——韧致辐射的平均能量 E_b 是入射β粒子的最大能量的 1/3，即 $E_b=E_{max}/3$，MeV；

μ_{en}/ρ——平均能量为 E_b 的韧致辐/射在空气中的质量能量吸收系数，m^2/kg，取自《辐射防护导论》附表 1 干燥空气中的质量能量吸收系数，本项目 ^{89}Sr 取 $2.966\times10^{-3}m^2/kg$，^{90}Sr-^{90}Y 敷贴源取 $2.953\times10^{-3}m^2/kg$；

q——参考点所在区域相应的居留因子，保守取 1；

η——透射比，根据公式$\eta=10^{-d/TVL}$ 或$\eta=（1/2）^{d/HVL}$ 得出（其中 d 为屏蔽材料的厚度，TVL 为屏蔽层在β粒子平均能量下的什值层厚度，HVL 为屏蔽层在 β 粒子平均能量下的半值层厚度，根据《辐射防护导论》附表 11，^{89}Sr 保守取衰变倍数为 2 下、0.5MeV 的参数，即在铅中的 HVL 为 0.50cm；^{90}Sr-^{90}Y 敷贴源保守取衰变倍数为 2 下，0.662MeV 与 1MeV 的参数进行内插法计算，即在铅中的 HVL 为 0.93cm）。

表 11.2.1.3-1　韧致辐射剂量率计算结果

位置	源活度 A（Bq）	E_b（MeV）	距离 r（m）	屏蔽厚度	η	辐射剂量率（μSv/h）
手套箱取药位						
注射位						
敷贴储源室贮源箱外表面						
敷贴储源室防护门外						
敷贴室工作人员操作位						

注：屏蔽计算时，参考 GBZ/T201.1，μGy/h 与μSv/h 的转化因子取 1。

根据上表，^{89}Sr 核素在手套箱取药位和注射位的辐射剂量当量率均为 5.17E-03μSv/h，均远小于 2.5μSv/h；^{90}Sr-^{90}Y 敷贴源在贮源箱外表面的辐射剂量率为 1.86μGy/h，

在敷贴储源室防护门外表面的辐射剂量率为 1.24E-01μSv/h，在敷贴室工作人员操作位的辐射剂量率为 4.25μSv/h，在满足治疗需求的情况下，辐射工作人员应采取有效的个人防护措施，如戴有机玻璃眼镜或面罩和尽量使用远距离操作工具，增加身体与敷贴器的距离和减少操作时间。

考虑到核医学科四侧墙体、顶棚和防护门的屏蔽和距离衰减，^{89}Sr 和 ^{90}Sr-^{90}Y 敷贴源放出的β粒子所致韧致辐射对周围环境影响较小。

11.2.1.4α、β表面污染影响分析

α、β表面沾污的影响主要来源于辐射工作人员操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对职业人员和公众造成辐射影响，因此，为了使本项目非密封放射性物质工作场所的α、β表面污染水平达到 GB18871-2002 规定的要求，医院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搪瓷盘内进行，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专用柜内，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，特别是已服用或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，去污染经监测符合标准后方可重新开展业务。

11.2.1.5γ射线辐射影响分析

1、诊疗人数及使用量

本项目核医学科使用 ^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr 核素用于 PET 显像诊断，使用 ^{99m}Tc、

^{123}I 核素用于 SPECT 显像诊断，使用 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 核素用于骨转移治疗，使用 ^{225}Ac 核素用于前列腺癌治疗，使用 ^{227}Th 核素用于肿瘤靶向α治疗，使用 ^{131}I 核素用于甲状腺摄碘率测定、甲亢治疗及甲癌治疗，使用 ^{177}Lu 核素用于前列腺癌治疗，使用 2 枚 ^{89}Sr 和 ^{90}Sr-^{90}Y 敷贴源用于敷贴治疗，具体诊疗人数和核素用量见表 1.2-1。

^{89}Sr 核素和 ^{90}Sr-^{90}Y 敷贴源在衰变过程中只有β射线产生，因此本项目预测γ射线辐射影响分析时不考虑。

2、关注点处剂量率计算公式

辐射工作人员对放射性药物进行分装、活度测量和对患者进行给药，这个过程主要是放射性核素产生的γ射线引起的辐射照射。当患者完成放射性药物的给药，患者又成为一个活动的辐射体，其所在的工作场所则要考虑来自患者身体的射线辐射。对于发射γ射线的放射性药物在进行辐射环境影响预测时，将药物及已注射药物的患者简化成点源，其辐射剂量率可近似按照点源模式计算。

根据表 9.2-1 可知，用于 PET 诊断的各核素的主要光子能量、周围剂量当量率相近。考虑到 ^{64}Cu、^{89}Zr 日诊断人数为 1 人，^{68}Ga 日诊断人数为 3 人，^{18}F 核素日诊断人数最多为 30 人，则 ^{18}F 核素操作量最大，且各核素诊断流程相同，综合考虑后，PET 诊断用核素对工作场所的辐射影响分析均按照 ^{18}F 核素进行辐射屏蔽分析。

SPECT 诊断项目使用的放射性核素中，^{99m}Tc 核素日诊断人数最多为 30 人，^{123}I 核素日诊断人数最多为 1 人，故 ^{99m}Tc 核素操作量最大，由于各核素诊断流程相同，因此 SPECT 诊断用核素对工作场所的辐射影响分析均按照 ^{99m}Tc 核素进行辐射屏蔽分析。

核素操作场所屏蔽计算公式参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），辐射剂量率估算公式为：

$$H=10^{-X/TVL}\cdot A\cdot \Gamma/R^2 \qquad （式 11.2.1.5-1）$$

式中：

H——屏蔽体外关注点剂量率，单位为μSv/h；

X——屏蔽厚度，单位为 mm；

TVL——γ射线的十分之一值层厚度，单位为 mm，见表 11.2.1.5-1；

A——单个患者或受检者所用放射源的最大活度，单位为 MBq；

Γ——距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为μSv·m^2/(h·MBq)；

R——参考点与放射源间的距离，m。

表 11.2.1.5-1　本项目涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	^{18}F	^{99m}Tc	^{223}Ra	^{225}Ac	^{227}Th	^{131}I	^{177}Lu
铅什值层厚度 TVL（mm）（ρ=11.3t/m³）							
混凝土什值层厚度 TVL（mm）（ρ=2.35t/m³）							
周围剂量当量率常数（裸源）μSv·m²/(h·MBq)							
患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率（μSv·m²/(h·MBq)）							

注：①^{18}F、^{99m}Tc、^{131}I 的周围剂量当量率常数取值参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），其余核素取值参考《辐射防护手册》（第一分册）进行单位换算取得；②^{18}F、^{99m}Tc、^{131}I 的 TVL 取值参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），其余核素取值参考《Radionuclide Information Booklet》 (Canada's Nuclear Regulator)以及《辐射防护手册》（第三分册）中“表 2.12 几种常用屏蔽材料对宽束 γ 射线的半值层和 1/10 值层厚度”进行内插法取得。

居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）附录 A 选取，具体数值见表 11.2.1.5-2。

表 11.2.1.5-2　居留因子的选取

场所	居留因子（T）		停留位置
	典型值	范围	
全停留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分停留	1/4	1/2-1/5	1/2：相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5：走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然停留	1/16	1/8-1/40	1/8：各治疗室房门 1/20：公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40：仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场，车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

3、工作负荷及计算参数

（1）储源室

医院根据临床诊断所需用药量、患者预约情况，提前向放射性核素供应单位订购药品，在约定的时间由药物供应单位负责运送至核医学科，安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接、登记手续后，暂存在储源室内。

储源室源强具体如下：

PET 诊断用核素均按照 ^{18}F 进行考虑，单个患者注射 ^{18}F 药物最大使用量为 3.70E+08Bq，^{18}F 显像诊断每日最多 30 人（考虑额外 2 倍备药量），^{64}Cu、^{89}Zr 显像诊断每日最多 1 人，^{68}Ga 显像诊断每日最多 3 人，则 ^{18}F 源项为 3.70E+08Bq*（90+1+1+3）=3.52E+10Bq。放射性药物 ^{18}F 自带铅罐 50mmPb。

SPECT 诊断用核素均按照 ^{99m}Tc 进行考虑，单个患者注射 ^{99m}Tc 药物最大使用量为

9.25E+08Bq，^{99m}Tc 显像诊断每日最多 30 人，^{123}I 显像诊断每日最多 1 人，则 ^{99m}Tc 源项为 9.25E+08Bq*（30+1）=2.87E+10Bq。放射性药物 ^{99m}Tc 自带铅罐 6mmPb。

单个患者注射 ^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th 药物最大使用量分别为 3.70E+06Bq、1.11E+07Bq、1.11E+07Bq，每日均最多治疗 1 人，则 ^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th 源项分别为 3.70E+06Bq、1.11E+07Bq、1.11E+07Bq。放射性药物 ^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th 自带铅罐 10mmPb。

甲状腺摄碘率测定最多每天诊断 5 人，单个患者服用 ^{131}I 药物最大使用量为 1.85E+05Bq；甲亢治疗最多每天治疗 5 人，单个患者服用 ^{131}I 药物最大使用量为 3.70E+08Bq；甲癌治疗每周安排 1 批次，每批次最多安排 2 人次，单个患者服用 ^{131}I 药物最大使用量为 7.40E+09Bq。则 ^{131}I 源项为 1.67E+10Bq，放射性药物 ^{131}I 自带铅罐 50mmPb。

^{177}Lu 核素用于前列腺癌治疗项目正式开展后，每周安排 1 批次，每批次最多安排 2 人次，单个患者注射 ^{177}Lu 药物最大使用量为 7.40E+09Bq，则 ^{177}Lu 源项为 1.48E+10Bq。放射性药物 ^{177}Lu 自带铅罐 10mmPb。

（2）分装注射室

①核医学科北侧（核素门诊显像诊断区域）

放射性药物给药前，护士将 ^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr等核素从储源室连同铅罐拿到PET专用分装注射室，将 ^{99m}Tc、^{123}I等核素从储源室连同铅罐拿到SPECT专用分装注射室。

给药前的相关操作均在手套箱（SPECT 为 20mmPb 手套箱、PET 为 40mmPb 手套箱）内进行，其中 ^{18}F 需要进行自动分装，^{68}Ga 为外购锗镓发生器淋洗，其他核素为外购单支成品药物。锗镓发生器的淋洗操作在 PET 专用分装注射室的手套箱内进行，标记后药物存放于手套箱中，据厂家提供资料（具体见附件 8）推算可知，在装有 50mCi 的发生器铅罐表面的γ剂量率小于 0.37mSv/h。药物注射前置于注射器防护套内，药物注射在铅玻璃注射窗（SPECT 为 20mmPb 注射窗、PET 为 40mmPb 注射窗）后进行。

②核医学科南侧（核素治疗区域）

放射性药物给药前，将 ^{131}I、^{177}Lu、^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th等核素从储源室连同铅罐拿到分装注射室。其中 ^{131}I铅罐放入服碘室的自动分碘仪内，护士利用自动分碘仪远程控制系统，进行药物自动分装，通过监控和双向语音对讲系统远程指导患者在服碘室服药。在药物分装和患者服药过程中，工作人员不近距离接触药物。

^{177}Lu、^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th 给药前的相关操作均在手套箱（20mmPb）内进行，药物

注射前置于注射器防护套内，药物注射在铅玻璃注射窗（20mmPb 注射窗）后进行。

（3）废物间和污物暂存间

核素应用过程中产生的固废表面核素活度按不超过使用量的 1%计，放射性固废暂存于废物间和污物暂存间的衰变箱内。

表 11.2.1.5-3　衰变箱内放射性固废源强核算表

位置	涉及核素	半衰期	日最大操作核素活度（Bq）	单日转移至固废中核素活度（Bq）	暂存衰变时间（天）	经衰变后放射性废物最大活度（Bq）
核医学科北侧废物间和污物暂存间对应衰变箱	^{18}F	109.8min				
	^{64}Cu	12.7h				
	^{68}Ga	68.3min				
	^{89}Zr	78.41h				
	^{99m}Tc	6.02h				
	^{123}I	13.2h				
核医学科南侧废物间和污物暂存间对应衰变箱	^{131}I	8.02d				
	^{177}Lu	6.73d				
	^{223}Ra	11.4d				
	^{225}Ac	10d				
	^{227}Th	18.7d				

废物间和污物暂存间源强具体如下：

①核医学科北侧（核素门诊显像诊断区域）

根据表 11.2.1.5-3 计算结果，经衰变后 PET 诊断用核素放射性废物最大活度合计为 3.36E+07Bq；由于 PET 诊断用核素对工作场所的辐射影响分析均按照 ^{18}F 核素进行辐射屏蔽分析，考虑到单个患者注射 ^{18}F 药物最大使用量为 3.70E+08Bq，PET 诊断用核素每日最多 35 人，则废物间和污物暂存间源项为 ^{18}F：3.70E+08Bq*35*1%=1.30E+08Bq；保守选择 1.30E+08Bq 作为 PET 诊断用核素放射性废物源强，放射性固废暂存于 10mmPb 衰变箱。

根据表 11.2.1.5-3 计算结果，SPECT 诊断用核素放射性废物最大活度合计为 1.04E+08Bq；由于 SPECT 诊断用核素对工作场所的辐射影响分析均按照 ^{99m}Tc 核素进行辐射屏蔽分析，考虑到单个患者注射 ^{99m}Tc 药物最大使用量为 9.25E+08Bq，SPECT 诊断用核素每日最多 31 人，则废物间和污物暂存间源项为 ^{99m}Tc：9.25E+08Bq*31*1%=2.87E+08Bq；保守选择 2.87E+08Bq 作为 SPECT 诊断用核素放射性废物源强，放射性固废暂存于 10mmPb 衰变箱。

②核医学科南侧（核素治疗区域）

根据表 11.2.1.5-3 可知，废物间和污物暂存间中 ^{131}I 源项为 3.82E+08Bq，^{177}Lu 源项为 2.85E+08Bq，^{223}Ra 源项为 6.03E+05Bq，^{225}Ac 源项为 1.59E+06Bq，^{227}Th 源项为 2.97E+06Bq。放射性固废暂存于 10mmPb 衰变箱。

（4）注射后候诊室和留观室

PET 和 SPECT 患者注射完放射性药物后，通过患者通道进入相关候诊室，随后进入相应机房进行显像和诊断；患者结束检查后通过患者通道进入留观室，无特殊情况发生则由患者通道离开。

核医学科北侧场所拟设置 2 间 PET 注射后候诊室，病床之间设置铅屏风（8mm 铅当量）。PET/CT 和 PET/MR 每次仅能扫描一个患者，患者注射 ^{18}F 药物后经过一段时间的等待，药物活度已经小于 3.70E+08Bq，偏保守的角度仍按单个患者 3.70E+08Bq 的点源计算。2 间 PET 注射后候诊室均按 2 个 ^{18}F 患者同时候诊，则单间 PET 注射后候诊室源强总活度为：7.40E+08Bq。

核医学科北侧场所拟设置 1 间 VIP 注射后候诊室和 1 间 PET 留观室，患者如有需要可进行候诊或留观，均按 1 个 ^{18}F 患者进行考虑，则单间 VIP 注射后候诊室或 PET 注射后候诊室源强总活度为：3.70E+08Bq。

核医学科北侧场所拟设置 1 间 SPECT 注射后候诊室，病椅均匀分布，病椅之间设置铅屏风（4mm 铅当量）。SPECT/CT 每次仅能扫描一个患者，^{99m}Tc 扫描患者注射药物经过一段时间的等待，药物活度已经小于 9.25E+08Bq，偏保守的角度仍按单个患者 9.25E+08Bq 的点源计算。SPECT 注射后候诊室按 4 个 ^{99m}Tc 患者同时候诊，则单间 SPECT 注射后候诊室源强总活度为：3.7E+09Bq。

核医学科北侧场所拟设置 1 间 SPECT 留观室，患者扫描后如有需要可进行留观，按 2 个 ^{99m}Tc 患者同时留观，则 SPECT 留观室源强总活度为：1.85E+08Bq。

（5）机房摆位人员

摆位过程工作人员在防护屏风（PET/CT 为 8mm 铅当量，SPECT/CT 机房 4mm 铅当量，PET/MR 机房不考虑防护屏风）后进行摆位工作，按身体距离患者约 1m 进行估算。

（6）肺通气室（兼抢救室、运动平板室）

肺通气室（兼抢救室、运动平板室）存在使用 ^{99m}Tc 的患者，患者不同时出现，故

按 1 个 ^{99m}Tc 患者进行考虑，则源强总活度为：9.25E+08Bq。

（7）核素治疗病房、甲亢留观室和测定室

核医学科南侧场所拟设置 4 间核素治疗病房，均为单人间。住院期间，^{131}I 甲癌治疗患者和 ^{177}Lu 治疗患者的药物活度已经小于 7.4E+09Bq，偏保守的角度仍按单个患者 7.4E+09Bq 的点源计算，则单间核素治疗病房的源强总活度为：7.4E+09Bq。

核医学科南侧场所拟设置 2 间甲亢留观室，均按 1 个患者进行留观。甲亢患者服药后进入甲亢留观室进行留观，^{131}I 的药物活度已经小于 3.70E+08Bq，偏保守的角度仍按单个患者 3.70E+08Bq 的点源计算，则甲亢留观室源强总活度为：3.7×10^{8}Bq。

核医学科南侧场所拟设置 1 间测定室，按 1 个患者进行甲状腺摄碘率测定，患者服药后离开核医学科，等到检查时间后再进入测定室检查测定，^{131}I 的药物活度已经小于 3.70E+05Bq，偏保守的角度仍按单个患者 3.70E+05Bq 的点源计算，则测定室源强总活度为：3.70E+05Bq。

拟建核医学科场所周边辐射剂量率计算结果见表 11.2.1.5-4，预测关注点示意图见附图 15。

表 11.2.1.5-4　核医学科工作场所周边γ辐射剂量率计算结果

序号	位置		距离 m	源强（Bq）	屏蔽厚度	辐射剂量率（μSv/h）
1	储源室	南墙外 30cm处	2.6	^{18}F3.52E+10		
				^{99m}Tc2.87E+10		
				^{223}Ra3.70E+06		
				^{225}Ac1.11E+07		
				^{227}Th1.11E+07		
				^{131}I1.67E+10		
				^{177}Lu1.48E+10		
2		防护门外 30cm处	1.5	同上		
3		西墙外 30cm处				
4		顶棚外 30cm处	5.1	同上		
5		下方距地 170cm处	3.4	同上		
6	废物间 1	防护门外 30cm处	1.6	^{18}F1.30E+08		
				^{99m}Tc2.87E+08		
7		北墙外	1.6	同上		

		30cm处		
8		西墙外30cm处	3.2	同上
9		顶棚外30cm处	5.1	同上
10		下方距地170cm处	3.4	同上
11	PET专用分装注射室	PET手套箱取药位	0.5	^{18}F3.52E+10
				^{18}F3.70E+08
				50mCi锗镓发生器表面剂量率370μSv/h
12		PET注射位	0.5	^{18}F3.70E+08
13	SPECT专用分装注射室	SPECT手套箱取药位	0.5	^{99m}Tc2.87E+10
				^{99m}Tc9.25E+08
14		SPECT注射位	0.5	^{99m}Tc9.25E+08
15	肺通气室（兼抢救室、运动平板室）	防护门外30cm处	2.2	^{99m}Tc9.25E+08
16		西墙外30cm处	2.2	同上
17		西墙外楼道	4.2	同上
18		顶棚外30cm处	5.1	同上
19		下方距地170cm处	3.4	同上
20	SPECT注射后候诊室	防护门外30cm处	3.3	^{99m}Tc3.7E+09
21		北墙外30cm处	3.3	同上
22		顶棚外30cm处	5.1	同上
23		下方距地170cm处	3.4	同上
24	PET注射后候诊室	防护门外30cm处	2.8	^{18}F7.40E+08
25		北墙外30cm处	2.8	同上
26		东墙外30cm处	2.5	同上
27		顶棚外30cm处	5.1	同上
28		下方距地170cm处	3.4	同上
29	VIP注射后候诊室	防护门外30cm处	2.7	^{18}F3.70E+08

30		东墙外30cm处	2.7	同上
31		南墙外30cm处	2.1	同上
32	SPECT/CT机房	观察窗外30cm处	3.4	^{99m}Tc9.25E+08
33		西墙外30cm处	4.2	同上
34		南墙外30cm处	3.4	同上
35		防护门外30cm处	3.4	同上
36		摆位处	1	同上
37		顶棚外30cm处	5.1	同上
38		下方距地170cm处	3.4	同上
39	PET/CT机房	观察窗外30cm处	3.4	^{18}F3.70E+08
40		观察窗外走廊	4.7	同上
41		东墙外30cm处	5.9	同上
42		南墙外30cm处	3.4	同上
43		防护门外30cm处	3.4	同上
44		摆位处	1	同上
45		顶棚外30cm处	5.1	同上
46		下方距地170cm处	3.4	同上
47	PET/MR机房	观察窗外30cm处	4.9	^{18}F3.70E+08
48		防护门外30cm处	4.9	同上
49		南墙外30cm处	3.4	同上
50		摆位处	1	同上
51	SPECT留观室	北墙外30cm处	2.5	^{99m}Tc1.85E+08
52		西墙外30cm处	3.6	同上
53		防护门外30cm处	2.5	同上
54	PET留观室	北墙外30cm处	2.5	^{18}F3.70E+08

55		东墙外30cm处	2.5	同上
56		防护门外30cm处	2.5	同上
57		护士站	6.3	同上
58	污物暂存间 1	防护门外30cm处	1.6	^{18}F1.30E+08
				^{99m}Tc2.87E+08
59		南墙外30cm处	1.6	同上
60	分装注射室 2	手套箱取药位	0.5	^{223}Ra3.70E+06
				^{225}Ac1.11E+07
				^{227}Th1.11E+07
				^{177}Lu1.48E+10
				^{223}Ra3.70E+06
				^{225}Ac1.11E+07
				^{227}Th1.11E+07
				^{177}Lu7.40E+09
61		注射位	0.5	^{223}Ra3.70E+06
				^{225}Ac1.11E+07
				^{227}Th1.11E+07
				^{177}Lu7.40E+09
62	服碘室	自动分碘仪安装操作位	0.5	^{131}I1.67E+10
63		防护门外30cm处	1.7	同上
64		西墙外30cm处	2.6	^{131}I7.40E+09
65		顶棚外30cm处	5.1	同上
66		下方距地170cm处	3.4	同上
67	废物间 2	北墙外30cm处	2.7	^{131}I3.82E+08
				^{177}Lu2.85E+08
				^{223}Ra6.03E+06
				^{225}Ac1.59E+06
				^{227}Th2.97E+06
68		防护门外30cm处	2.6	同上
69		顶棚外30cm处	5.1	同上
70		下方距地170cm处	3.4	同上
71	污物暂存间 2	南墙外30cm处	2.7	同上

72		防护门外30cm处	2.7	同上
73		西墙外30cm处	2.6	同上
74		东墙外30cm处	2.6	同上
75		顶棚外30cm处	5.1	同上
76		下方距地170cm处	3.4	同上
77	甲亢留观室 1	防护门外30cm处	3.9	^{131}I3.70E+08
78		西墙外30cm处	2.6	同上
79		西墙外护士站	4.1	同上
80		南墙外30cm处	3.9	同上
81		顶棚外30cm处	5.1	同上
82		下方距地170cm处	3.4	同上
83	核素治疗病房 1	防护门外30cm处	3.9	^{131}I7.40E+09
84		东墙外30cm处	2.5	同上
85		南墙外30cm处	3.9	同上
86		西墙外30cm处	2.5	同上
87		顶棚外30cm处	5.1	同上
88		下方距地170cm处	3.4	同上
89	核素治疗病房 4	防护门外30cm处	3.9	^{177}Lu7.40E+09
90		东墙外30cm处	2.5	同上
91		南墙外30cm处	3.9	同上
92		第三方办公室	6.5	同上
93		西墙外30cm处	2.5	同上
94		顶棚外30cm处	5.1	同上
95		下方距地170cm处	3.4	同上
96	测定室	人员操作位	0.5	^{131}I3.70E+05

注：由于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中无混凝土实心砖的什值层参数，因此混凝土实心砖根据混凝土按密度进行折算，混凝土密度为 2.35t/m³，混凝土实心砖密度为 2.1t/m³，则 1mm 混凝土实心砖等效约 0.89mm 混凝土。

由上表计算结果可以看出，本项目核医学科手套箱外 30cm 处工作人员操作位周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外 30cm 处的周围剂量当量率也小于 2.5μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）屏蔽要求。在实际过程中，由于衰变作用，核医学科内带药患者对墙外的辐射影响不断降低，实际比理论估算值低，因此本项目核医学科运行期间对周围辐射环境较小，满足相关要求。

11.2.1.6PET/CT和SPECT/CT X射线辐射影响分析

本项目核医学科所使用的 PET/CT 和 SPECT/CT 配套 CT 额定管电压均为 140kV，由于 CT 自身带有屏蔽系统，机房周围主要受泄漏辐射影响，参考《医用电气设备 第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB9706.103-2020）中“12.4 加载状态下的泄漏辐射”，本项目 CT 泄漏辐射空气比释动能不超过 1mGy/h。屏蔽计算时，参考 GBZ/T201.1，μGy/h 与μSv/h 的转化因子取 1。

根据表 10.1.1.5-3 可知，PET/CT 机房屏蔽体外最低铅当量为 3mmPb，根据《放射诊断放射防护要求》附录 C 的 C.1.2 中式 C.1 计算得屏蔽透射因子为 1.28E-04。距离屏蔽体外最近关注点的距离取 3.4m，以上述数据核算，CT 设备运行所致的辐射剂量率为 1.10E-02μSv/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定的 2.5μSv/h 控制剂量率要求。根据表 11.2.1.5-4 中 PET/CT 机房控制区边界外的附加剂量率估算结果（9.71E-01μSv/h）叠加 CT 运行所致辐射剂量率后，叠加值 9.82E-01μSv/h 也不超过设定的 2.5μSv/h 的剂量率控制水平。

同理，SPECT/CT 机房屏蔽体外最低铅当量为 3mmPb，距离屏蔽体外最近关注点的距离取 3.4m，CT 设备运行所致的辐射剂量率为 1.10E-02μSv/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定的 2.5μSv/h 控制剂量率要求。根据表 11.2.1.5-4 中 SPECT/CT 机房控制区边界外的附加剂量率估算结果（8.84E-03μSv/h）叠加 CT 运行所致辐射剂量率后，叠加值 1.98E-02μSv/h 也不超过设定的 2.5μSv/h 的剂量率控制水平。

11.2.1.7校准源辐射影响分析

PET 使用 3 枚 ^{68}Ge 校准源，一般情况下放射源贮存在储源室保险箱的铅罐内，保险箱表面剂量很低，进行图片质量校准时从保险箱中取出，放置在 PET 设备上采集信

息，运输时间短。处于贮存状态时，贮存容器和校准源室的屏蔽设施能够完全屏蔽掉γ射线对周围环境的影响。校准状态时，源放置在设备自带屏蔽体内部，放射源发出的光子几乎全部被 PET 的扫描探测器所吸收，因此，放射源对周围区域的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的进入。专门负责的校准技师在操作室对设备进行校准，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。

11.2.1.8工作人员及公众个人剂量估算

①辐射工作人员受照剂量估算

根据表 11.2.1.5-4 预测的辐射剂量率，结合医院预估工作量（见表 9.1.1.11-1）、关注点处人员居留因子等参数，采用式 11.2.1.8-1 计算即可得到辐射工作人员的年有效剂量，具体见表 11.2.1.8-1。

关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算，计算公式如下：

$$D_{Eff} = D_r \times t \times T \times U \quad （式11.2.1.8-1）$$

式中：D_{Eff}——辐射外照射人均年有效剂量，Sv；

D_r——辐射剂量率，Sv/h；

t——年工作时间，h；

T——居留因子；

U——使用因子。本项目核医学科使用因子取 1。

表11.2.1.8-1　核医学科辐射工作人员年有效剂量估算

工作场所	人员类型	操作	参照表 11.2.1.5-4		居留因子	年工作时间（h）	年有效剂量（mSv）
			点位	辐射剂量率（μSv/h）			
敷贴室	医生	敷贴治疗					
护士站（考虑甲亢留观室 1 的辐射影响）	护士	预约登记	79#				
测定室		甲状腺摄碘率测定	96#				
SPECT 专		核素测活	13#				

用分装注射室		核素注射	14#
PET 专用分装注射室		核素分装、测活	11#
		核素注射	12#
		锗镓发生器淋洗、标记、质控	11#
服碘室		将 ^{131}I 铅罐安装到自动分碘仪	62#
分装注射室 2		远程操作 ^{131}I 药品在服碘室自动分装，远程指导患者在服碘室服药	63#
		^{177}Lu、^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th 的测活	60#
		^{177}Lu 的注射	61#
		^{89}Sr、^{223}Ra、^{225}Ac、^{227}Th 的注射	61#
PET/CT 机房	技师	摆位	44#
PET/MR 机房		摆位	50#
控制廊		PET/CT扫描	39#
		CT扫描	1.10 11.2.
		PET/MR扫描	47#
SPECT/CT 机房		摆位	36#
控制廊		SPECT/CT 扫描	32#
		CT扫描	1.10 11.2.

综上，核医学科辐射工作人员的年有效剂量最大为 2.34mSv，满足辐射工作人员年有效剂量约束值不超过 5mSv的要求。

②公众受照剂量估算

根据预测的各关注点处辐射剂量率，结合核医学科工作场所周围公众情况、关注点处人员居留因子等参数，由式11.2.1.8-1计算即可得到核医学科工作场所周围公众的年有效剂量，具体见表11.2.1.8-2。

表11.2.1.8-2　核医学科公众人员年有效剂量估算

关注场所		参照表 11.2-7		居留因子	受照时间（h）	年有效剂量（mSv）
		点位	辐射剂量率（μSv/h）			
北侧（核素门诊显像诊断区域）	东侧：放疗科等候区	55#				
	东侧：放疗科护士站和休息室	57#				
	西侧：强、弱电间	33#				
	西侧：电梯厅和楼道	17#				
	北侧：放疗科走廊	40#				
	上方：住院楼 C 楼一层（主要是住院药房、静配中心）和院内道路	27#				
	下方：地下车库	28#				
南侧（核素治疗区域）	东侧：补风机房	74#				
		90#				
	东南侧：放疗科第三方办公室	92#				
	南侧：下沉庭院	85#				
	西侧：核医学科等候区	96#				
	上方：住院楼 C 楼一层（主要是配套用房）	69#				
		65#				
	上方：院内道路	87#				
	下方：地下车库和核医学科专用衰变池间	88#				

核医学科北侧和南侧区域中间为医护走廊，一般情况下公众不能到达，故不考虑公众受照剂量。综上，核医学科工作场所周边的公众所受年有效剂量最大为 7.34E-02mSv，满足本项目公众成员年有效年剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

11.2.1.8“三废”影响分析

（1）放射性废液

本项目拟在地下二层建设两套衰变池组，其中A衰变池组用于核医学科北侧区域产生的放射性废液，B衰变池组用于核医学科南侧区域产生的放射性废液。A衰变池组由1个沉淀池+3个有效容积不低于15m^{3}衰变池（1#、2#、3#）并联组成，B衰变池组由1个沉淀池+3个有效容积不低于70m^{3}衰变池（4#、5#、6#）并联组成。两套衰变池组设置在一间衰变池间内。

①核医学科北侧（核素门诊显像诊断区域）

由源项分析可知，核医学科北侧（核素门诊显像诊断区域）放射性废液产生量为0.76m^3/d，则注满一个15m^3衰变池约需要19.7个工作日，第一个衰变池最后进入的废水存储时间（即第二、第三个衰变池注满的时间）约为39个工作日（53个自然日）。放射性废液经贮存超过33天后（满足半衰期最长核素^{89}Zr废水暂存十个半衰期），经监测总α≤1Bq/L，总β≤10Bq/L，经审管部门确认后方可解控排入医院污水处理站。

②核医学科南侧（核素治疗区域）

由源项分析可知，核医学科南侧（核素治疗区域）放射性废液产生量为2.55m^3/周，则注满一个70m^3衰变池约需要29.4周，第一个衰变池最后进入的废水存储时间（即为将第二、第三个衰变池注满的时间）约为58.8周（411个自然日）满足含^{131}I核素废水暂存超过180天的要求后，经审管部门确认后即可排入医院污水处理系统。

放射性废液管道拟采用镀锌钢管并地埋设置，管道裸露部分外包裹1.5mmPb铅皮进行屏蔽防护。两套衰变池组设置在一间衰变池间内，衰变池间四周、顶部、底部均采用400mm厚混凝土，各衰变池四侧墙体采用400mm厚混凝土，材质坚固、耐酸碱腐蚀，无渗透性，可确保辐射防护安全。因此放射性废液收集管道和衰变池对周围辐射环境影响很小。

（2）放射性废气

为保持工作场所良好通风，本项目核医学科共设有7支独立排风管线且工作场所内保持负压。

①核医学科北侧（核素门诊显像诊断区域）

1号排风管线：PET/CT机房、SPECT机房、PET/MR机房及准备间、SPECT留观及其卫生间、PET留观及其卫生间、洁具间、污物暂存间1，排风风量6000m^3/h；2号排风管线：SPECT专用分装注射室、PET专用分装注射室、储源室、废物间1、SPECT注射后候诊室及卫生间、2间PET注射后候诊室及卫生间、VIP注射后候诊室及卫生间、注射后患者走廊、卫生通过间，排风风量6000m^3/h；3号排风管线：PET专用分装注射室手套箱，排风风量1500m^3/h；4号排风管线：SPECT专用分装注射室手套箱，排风风量1500m^3/h。

②核医学科南侧（核素治疗区域）

1号排风管线：4间核素治疗病房及卫生间，排风风量2500m^3/h；2号排风管线：抢救室及卫生间、2间甲亢留观室及卫生间、患者走廊、分装注射室2、服碘室、废物间1、患者取餐间、污物暂存间2、2间敷贴室及储源室、卫生通过间，排风风量6000m^3/h；3

号排风管线：分装注射室2的手套箱，排风风量1500m^3/h。

所有排风管道均通向排风井，废气经风机抽排至住院楼 C 楼楼顶高出屋脊排放，排风管内设置止回阀，防止气流倒灌，排放口设置一级活性炭过滤装置，各手套箱顶部设活性炭吸附装置。排风管线设计图见附图 13。

因此，本项目核医学科产生的气态放射性废物经收集、处理后，引至所在建筑屋顶，并高出屋脊排放，尽量远离周围高层建筑，对周围环境影响较小。

（3）放射性固体废物

主要是放射性药物操作使用过程中沾染放射性药物的固体废物，包括一次性注射器、一次性服药杯、棉签、滤纸、手套、擦拭污染地面的物品等，核医学科废气处理系统定期更换的废活性炭和更换的 ^{68}Ge 校准源、^{90}Sr-^{90}Y 敷贴源、废弃锗镓发生器也作为放射性固体废物管理。本项目放射性药物根据治疗计划按需订购，一般不会产生剩余放射性药物。

医院拟对放射性固废进行分类收集分类贮存衰变处理。首先放射性固废收集于各工作场所的脚踏式铅桶内专用塑料包装袋，包装袋要标明收贮时间、种类及数量等内容。每袋废物的表面剂量率控制在 0.1mSv/h 以下，重量不超过 20kg。装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于衰变场所，让放射性物质自行衰变至符合清洁解控水平后按照一般医疗废物处置。

①核医学科北侧（核素门诊显像诊断区域）

含 ^{18}F 和 ^{99m}Tc 等半衰期小于 24h 核素的固废集中贮存衰变超过 30 天，含 ^{89}Zr 核素的固废集中贮存衰变超过 33 天，以上放射性固体废物均集中贮存在相应废物间和污物暂存间，可以做到不同核素的分类收集分类贮存，其容积也满足贮存要求。放射性固体废物暂存衰变时间满足要求后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm^2 后，β表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，按一般医疗废物委托当地有资质单位处置。

更换的废旧 ^{68}Ge 放射源和 ^{90}Sr-^{90}Y 敷贴源应当送交有资质的单位收贮或者直接送交有资质的放射性固体废物处置单位处置；废弃锗镓发生器置于衰变箱中，由供货单位直接回收。

②核医学科南侧（核素治疗区域）

含 ^{117}Lu 核素的固废集中贮存衰变超过 68 天，含 ^{131}I 核素的固废集中贮存衰变超过

180 天，含 ^{89}Sr 核素的固废集中贮存衰变 505 天，含 ^{225}Ac 核素的固废集中贮存衰变超过 100 天，含 ^{223}Ra 核素的固废集中贮存衰变超过 115 天，含 ^{227}Th 核素的固废集中贮存衰变超过 187 天，以上放射性固体废物均集中贮存在相应废物间和污物暂存间，可以做到不同核素的分类收集分类贮存，其容积也满足贮存要求。放射性固体废物暂存衰变时间满足要求后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，按一般医疗废物委托当地有资质单位处置。

核医学科废气处理系统定期更换的废活性炭含有放射性核素也属于放射性固体废物，医院将更换下的活性炭先统一存放于污物暂存间，标注活性炭名称、存放日期、存放量等，衰变后经监测符合清洁解控水平作为医疗废物处置。

放射性固体废物暂存于铅桶和衰变箱中，铅桶防护为 10mmPb，衰变箱防护为 10mmPb，能保证铅桶和衰变箱外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。医院应定期对铅桶和衰变箱外表面 30cm 处的周围剂量当量率进行监测，确保小于 2.5μSv/h。

因此本项目核医学科产生的放射性固体废物经分类收集，暂存衰变满足要求、经监测满足要求后可对废物清洁解控并作为一般医疗废物处理，对周围环境影响较小。

11.2.2小动物核医学实验中心

11.2.2.1β表面污染影响分析

小动物核医学实验中心使用 ^{18}F、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{123}I、^{177}Lu 核素用于小动物显像扫描、分布实验，均为核医学科涉及核素，β表面污染影响分析基本同“11.2.1.4α、β表面污染影响分析”。

11.2.2.2β射线辐射影响分析

本项目小动物核医学实验中心涉及使用的^{18}F、^{68}Ga、^{177}Lu核素在衰变过程中会有β射线，根据式11.2.1.2-1和式11.2.1.2-2对β粒子射程进行估算，具体见下表。

表 11.2.2.2-1　核素衰变产生的β射线在各介质中的理论最大射程

核素	^{18}F	^{68}Ga	^{177}Lu
β射线能量（MeV）			
空气密度（g/cm³）			
空气中的射程（cm）			
铅密度（g/cm³）			
铅中的射程（cm）			
铅玻璃密度（g/cm³）			
铅玻璃中射程（cm）			

由上表可知，核素^{68}Ga衰变产生的β射线在铅中的射程最大：即0.079cm，各核素外

部的铅屏蔽厚度均远超过在铅中的射程。小动物核医学实验中心使用核素均从专业放射性同位素供应单位购买，运输到医院后在储源室暂存，其中^{68}Ga由医院购买锗镓发生器在核医学科淋洗标记后，运至小动物核医学实验中心储源室，以上核素均采用铅罐进行屏蔽；小动物核医学实验中心非密封放射性物质工作场所设置防护墙体和铅门进行屏蔽，并设置手套箱、铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等防护用品和设备，故小动物核医学实验中心放射性核素产生的β射线对周围环境影响很小。

11.2.2.3γ射线辐射影响分析

1、小动物核素使用量

小动物核医学实验中心使用 ^{18}F、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{123}I、^{177}Lu 核素用于小动物显像扫描、分布实验，每天最多使用 2 种核素，每种核素每天最多使用 10 只小动物（主要为大鼠和小鼠），年最多工作 80 天，最多使用 1600 只小动物。具体核素用量见表 1.2-4。

2、关注点处剂量率计算公式

小动物核医学实验中心场所屏蔽计算公式同“**11.2.1.5γ射线辐射影响分析**”中式 11.2.1.5-1，根据公式可知：在相同的辐射屏蔽设施中，评价关注点的γ辐射剂量率实际与放射性药物的活度 A，及其对应的剂量率常数Γ和什值层有关。根据表 11.2.1.5-1 中各放射性核素数据：核素裸源周围剂量当量率常数乘以核素操作量，可初步识别出相应核素的剂量贡献程度，以此识别屏蔽核算应该选用的核素种类。放射性核素剂量贡献识别一览见表 11.2.2.3-1。

表 11.2.2.3-1　放射性核素剂量贡献识别一览表

核素名称	裸源剂量率常数 μSv·m^2/（h·MBq）	日最大操作量（Bq）	1m 处裸源辐射剂量率（μSv/h）
^{18}F			
^{68}Ga			
^{99m}Tc			
^{123}I			
^{177}Lu			

根据表 11.2.2-1 可知，不考虑屏蔽情况下 ^{18}F 的辐射剂量率显著高于其余核素，其次是 ^{68}Ga 核素。由于小动物核医学实验中心每天最多使用 2 种核素，故选取 ^{18}F、^{68}Ga 作为代表进行辐射屏蔽分析，核素辐射剂量率估算相关参数见表 11.2.2.3-2。

表 11.2.2.3-2　本项目涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	^{18}F	^{68}Ga
铅什值层厚度 TVL（mm）（ρ=11.3t/m^3）	16.6	16.6
混凝土什值层厚度 TVL（mm）（ρ=2.35t/m^3）	176	176
周围剂量当量率常数（裸源）μSv·m^2/(h·MBq)	0.143	0.134

注：^{68}Ga 与 ^{18}F 主要光子能量相近，因此 TVL 参考 ^{18}F 的 TVL。

3、工作负荷及计算参数

（1）储源室

医院根据实验计划，提前向放射性核素供应单位订购药品，在约定的时间由药物供应单位负责运送至小动物核医学实验中心，安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接、登记手续后，暂存在储源室内。

放射性核素 ^{18}F 自带 50mmPb 铅罐，源强为 3.70E+08Bq；放射性核素 ^{68}Ga 由医院购买锗镓发生器在核医学科淋洗标记后，运至小动物核医学实验中心，自带 40mmPb 铅罐，源强为 1.85E+08Bq。

（2）分装注射室

医护人员给药前，将放射性药物从储源室连同铅罐拿到分装注射室，放置于手套箱内，给药前的相关操作均在手套箱内进行。药物根据实验的需要进行手动分装，分装后放入注射器防护套内。

在手套箱（正面 20mmPb，非正面 10mmPb）内进行小动物注射，工作人员穿戴有 0.5mmPb铅橡胶围裙。一次仅注射一种核素，两种核素不同时开展实验。完成注射后的实验动物源强为：3.70E+07Bq（^{18}F）或 1.85E+07Bq（^{68}Ga）。

给药后实验动物置于 10mmPb暂养铅箱中，并通过长柄推车进行转运，按身体距离小动物约 1m进行估算。

（4）小动物成像室

根据研究目的不同，小动物给药后等待时间不同（通常为 1~120min），部分小动物给药后直接转移至小动物成像室进行扫描。在小动物固定位置时，工作人员穿着 0.5mmPb铅橡胶围裙，按身体距离小动物约 0.5m进行估算。保守按照完成注射后的实验动物考虑源强：3.70E+07Bq（^{18}F）或 1.85E+07Bq（^{68}Ga）。

（5）短期观察室

小动物给药后置于 10mmPb暂养铅箱中，并通过长柄推车转运至动物短期观察室。保守按照实验动物注射后全部转运至动物短期观察室，则源强为：3.70E+08Bq（^{18}F）或 1.85E+08Bq（^{68}Ga）。

（6）操作室

工作人员在操作室将小动物处死或处死解剖，工作人员穿着 0.5mmPb铅橡胶围裙，按身体距离小动物约 0.5m进行估算。

（3）污物暂存间

表 11.2.2.3-3　废物箱内放射性固废源强核算表

位置	涉及核素	半衰期	日操作最大核素活度（Bq）	单日转移至固废中核素活度（Bq）	周操作天数（d）	2 个衰变周期时间	衰变箱内废物活度（Bq）
污物暂存间衰变箱	^{18}F						
	^{68}Ga						

经计算，小动物核医学实验中心工作场所辐射剂量率计算结果见表 11.2.2.3-4，关注点位置见附图 24。

表 11.2.2.3-4　小动物核医学实验中心工作场所辐射剂量率计算结果

序号	位置		距离（m）	源强	屏蔽厚度	辐射剂量率（μSv/h）
/	从核医学科转移 ^{68}Ga		1	^{68}Ga1.85E+08		
1	储源室	东墙外 30cm 处	1.5	^{18}F3.70E+08		
				^{68}Ga1.85E+08		
2		东墙外楼道、电梯厅	3.5	同上		
3		南墙外 30cm 处	1.45	同上		
4		防护门外 30cm 处	1.5	同上		
5		顶棚外 30cm处	3.9	同上		
6		下方距地	4.3	同上		

		170cm处			
7	分装注射室	手套箱正面取药位	0.5	^{18}F3.70E+08	
				^{68}Ga1.85E+08	
				^{18}F3.70E+07	
				^{68}Ga1.85E+07	
8		手套箱非正面取药位	0.5	^{18}F3.70E+08	
				^{68}Ga1.85E+08	
				^{18}F3.70E+07	
				^{68}Ga1.85E+07	
9		注射位	0.5	^{18}F3.70E+07	
				^{68}Ga1.85E+07	
10		暂养铅箱转运位	1.0	^{18}F3.70E+07	
				^{68}Ga1.85E+07	
11	小动物成像室	东墙外30cm 处	2.9	^{18}F3.70E+07	
				^{68}Ga1.85E+07	
12		防护门外30cm 处	2.55	同上	
13		南墙外30cm 处	2.55	同上	
14		观察窗外30cm 处	2.9	同上	
15		防护门外30cm 处	2.9	同上	
16		固定摆位处	0.5	同上	
17		顶棚外30cm处	3.9	同上	
18		下方距地170cm处	4.3	同上	
19	短期观	东墙外	1.5	^{18}F3.70E+08	

	察室	30cm 处		^{68}Ga1.85E+08
20		防护门外30cm处	2.55	同上
21		外部走廊	7.25	同上
22		顶棚外30cm处	3.9	同上
23		下方距地170cm处	4.3	同上
24	操作室	处死解剖操作位	0.5	^{18}F3.70E+07
				^{68}Ga1.85E+07
25		检测台	0.5	同上
26	污物暂存间	东墙外30cm处	1.2	^{18}F4.03E+07
				^{68}Ga1.25E+07
27		防护门外30cm处	2.55	同上
28		西墙外30cm处	2.0	同上
29		顶棚外30cm处	3.9	同上
30		下方距地170cm处	4.3	同上

由上表估算结果可知，小动物核医学实验中心控制区实体屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h，手套箱外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h，手套箱外表面 30cm 处非人员操作位的周围剂量当量率均小于 25μSv/h，屏蔽设计满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）屏蔽要求，对周围辐射环境影响较小。在实际过程中，小动物注射放射性药物后，由于衰变作用导致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。

11.2.2.4PET/SPECT/CT X 射线辐射影响分析

本项目小动物核医学实验中心所使用的 PET/SPECT/CT 中 CT 额定管电压为 80kV，由于 CT 自身带有屏蔽系统，机房周围主要受泄漏辐射影响。参考《医用电气设备 第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》

（GB9706.103-2020）中“12.4 加载状态下的泄漏辐射”，本项目 CT 泄漏辐射空气比释动能不超过 1mGy/h。屏蔽计算时，参考 GBZ/T201.1，μGy/h 与μSv/h 的转化因子取 1。

根据表 10.1.1.5-3 可知，小动物成像室四侧墙体为 240mm 混凝土实心砖（折合 3mmPb）、顶棚地坪均为 250mm 混凝土（折合 3.5mmPb）、防护门为内衬 3mm 铅板，屏蔽体最低铅当量为 3mmPb。根据《放射诊断放射防护要求》附录 C 的 C.1.2 中式 C.1 计算得屏蔽透射因子为 7.93E-06，距离屏蔽体外最近关注点的距离取 2.55m，以上述数据核算，CT 设备运行所致的辐射剂量率为 1.22E-03μSv/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定的 2.5μSv/h 控制剂量率要求。根据表 11.2.2.3-3 中小动物成像室控制区边界外的附加剂量率估算结果（7.86E-01μSv/h）叠加 CT 运行所致辐射剂量率后，叠加值 7.87E-01μSv/h 也不超过设定的 2.5μSv/h 的剂量率控制水平。

11.2.2.5 工作人员及公众个人剂量估算

①辐射工作人员受照剂量估算

根据表 11.2.2.3-4 预测的辐射剂量率，结合医院预估工作量（见表 9.1.2.3-1）、关注点处人员居留因子等参数，采用式 11.2.1.8-1 计算即可得到辐射工作人员的年有效剂量，具体见表 11.2.2.5-1。

表11.2.2.5-1　小动物核医学实验中心辐射工作人员年有效剂量估算

工作场所	人员类型	操作	辐射剂量率（μSv/h）	居留因子	年工作时间（h）	年有效剂量（mSv）
/	实验员	从核医学科转移 ^{68}Ga	/			
分装注射室		放射性药物分装、测活等操作	7#			
		放射性药物注射	9#			
		转运小动物	10#			
操作室		小动物处死、处死解剖	24#			
		检测台操作仪器	25#			

控制室		操作 PET/SPECT/CT						
		CT 扫描						
小动物成像室		小动物固定位置						

综上，小动物核医学实验中心辐射工作人员的年有效剂量最大为 2.09mSv，满足辐射工作人员年有效剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

（3）公众受照剂量估算

根据预测的各关注点处辐射剂量率，结合小动物核医学实验中心周围公众情况、关注点处人员居留因子等参数，由式11.2.1.8-1计算即可得到小动物核医学实验中心工作场所周围公众的年有效剂量，具体见表11.2.2.5-2。

表 11.2.2.5-2　动物实验场所所致公众年有效剂量

关注场所	剂量率（μGy/h）		居留因子	受照时间（h）	年有效剂量（mSv）
东侧：楼道、电梯厅公众	2#				
南侧：走廊公众	21#				
西侧：污物电梯公众	28#				
上方：空调机房、排烟机房、屋面公众	22#				
下方：实验室、仪器室、耗材暂存间及空调机房	23#				

由上表可知，小动物核医学实验中心工作场所周边的公众所受年有效剂量最大为 2.71E-02mSv，满足本项目公众成员年有效年剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。小动物核医学实验中心是相对封闭的区域，张贴有电离辐射警告标志，有严格的“两区”管理制度，除工作人员外，其它人员不得入内，普通公众成员不会到达控制区与监督区。

综上所述，本项目小动物核医学实验中心辐射工作人员和周围公众受外照射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“限值”的要求和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于剂量约束值的要求，也低于本环评要求的年有效剂量管理约束值即工作人员 5mSv 和公众 0.1mSv。

11.2.2.6“三废”影响分析

（1）放射性废液

本项目拟在综合楼A楼教学科研（A3区）地下一层建设一套衰变池组，专门用于小动物核医学实验中心产生的放射性废液。衰变池组由1个沉淀池+3个有效容积不低于1m^3衰变池并联组成，池体均为成品不锈钢槽体。

由源项分析可知，小动物核医学实验中心放射性废液产生量为 8m^3/a，按照 250 工作日考虑，则平均每天产生放射性废液 0.032m^3/d，则注满一个 1m^3 衰变池约需要 31.25 个工作日，第一个衰变池最后进入的废水存储时间（即为将第二、第三个衰变池注满的时间）约为 62.5 个工作日（87 个自然日）。放射性废液经贮存超过 68 天后（满足半衰期最长核素 ^{177}Lu废水暂存十个半衰期），经监测总α≤1Bq/L，总β≤10Bq/L，经审管部门确认后方可解控排入医院污水处理站。

放射性废液管道拟采用镀锌钢管并地埋设置，管道裸露部分外包裹 1.5mmPb 铅皮进行屏蔽防护。衰变池组设置在一间衰变池间内，衰变池间四周采用 240mm 厚砖墙，可确保辐射防护安全。因此放射性废液收集管道和衰变池对周围辐射环境影响很小。

（2）放射性废气

为保持工作场所良好通风，本项目小动物核医学实验中心设有 2 支独立排风管线且工作场所内保持负压。

1号排风管线：小动物成像室、储源室、分装注射室、动物短期观察室、操作室、污物暂存间、洗消室、洁存间、控制室、洁具间、卫生通过间（包括一更间、二更间、退缓检测间、应急淋浴间）、缓冲间，排风风量2500m^3/h。

2号排风管线：分装注射室手套箱，排风风量1500m^3/h。

所有排风管由核素显像场所西侧的风井经风机抽排至综合楼A楼教学科研（A3区）楼顶高出屋脊排放，排风管内设置止回阀，防止气流倒灌，排放口设置一级活性炭过滤装置。分装注射室手套箱顶部设活性炭吸附装置。排风管线设计图见附图22。

因此，本项目小动物核医学实验中心产生的气态放射性废物经收集、处理后，引至所在建筑屋顶，并高出屋脊排放，尽量远离周围高层建筑，对周围环境影响较小。

（3）放射性固体废物

小动物核医学实验中心产生的放射性固废主要包括：工作人员在核素测活、注射、清洁去污过程中产生的一次性注射器、棉棒、滤纸、手套、擦拭污染地面的物品、含排泄物的垫料等废旧耗材，实验结束后产生的动物尸体及组织器官。小动物核医学实验中

心废气处理系统定期更换的废活性炭也作为放射性固废管理。本项目放射性核素按需订购，一般不会产生剩余放射性核素。

医院拟对放射性固废进行分类收集分类贮存衰变处理。首先放射性固废收集于各工作场所的脚踏式铅桶内专用塑料包装袋，包装袋要标明收贮时间、种类及数量等内容。每袋废物的表面剂量率控制在 0.1mSv/h 以下，重量不超过 20kg。装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于衰变场所，让放射性物质自行衰变至符合清洁解控水平后按照一般医疗废物处置。

放射性固废（含 ^{18}F、^{99m}Tc 等半衰期小于 24h 核素）衰变超过 30 天，含 ^{117}Lu 核素的固废集中贮存衰变超过 68 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

小动物核医学实验中心废气处理系统定期更换的废活性炭含有放射性核素也属于放射性固体废物，医院将更换下的活性炭先统一存放于污物暂存间，标注活性炭名称、存放日期、存放量等，衰变后经监测符合清洁解控水平作为医疗废物处置。

放射性固体废物暂存于铅桶和衰变箱中，铅桶防护为 5mmPb，衰变箱防护为 5mmPb，能保证铅桶和衰变箱外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。医院应定期对铅桶和衰变箱外表面 30cm 处的周围剂量当量率进行监测，确保小于 2.5μSv/h。

因此本项目小动物核医学实验中心产生的放射性固体废物经分类收集，暂存衰变满足要求、经监测满足要求后可对废物清洁解控并作为一般医疗废物处理，对周围环境影响较小。

11.2.3放疗科

11.2.3.1直线加速器

本项目 4 台直线加速器均有电子束和 X 射线两种治疗模式，因电子线的穿透能力弱于 X 射线，所以一般情况下，机房屏蔽设计满足屏蔽 X 射线防护要求时即可满足屏蔽电子线的防护需要。

（1）预测点位的选取

本项目 1、2、3、4 号加速器机房南北并联，东侧均为地下车库，西侧均为相应的控制室、准备室和辅助机房。1 号加速器机房北面为 TOMO 机房，4 号机房南侧为射波刀机房。加速器机房顶部为覆土层，覆土层上方为地面规划公园绿地，底部为土层，4 间加速器机房均设置“L”型迷路，有用线束均不向迷路照射，并于迷道出口设置防护

门。4 间加速器机房主屏蔽墙均为南、北两侧屏蔽墙体和顶棚。

本项目 4 间加速器机房防护设计基本相同且面积相近，考虑到机房南北并联，因此本项目选取 1 号和 4 号加速器机房进行理论预测分析。本项目 4 间加速器机房底部为土层，故对机房四周和顶部外的关注点给予考虑，机房关注点位详见图 11.2.3.1-1。

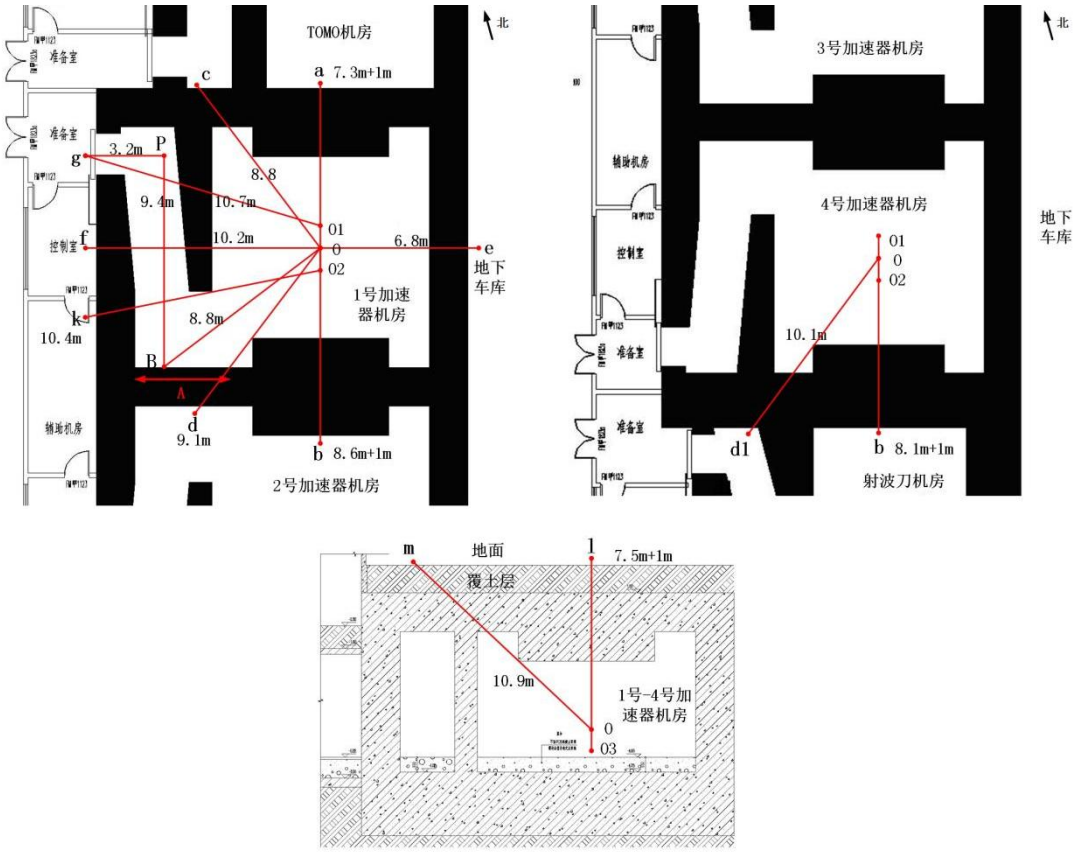


图 11.2.3.1-1　加速器机房关注点位示意图

表 11.2.3.1-1　加速器机房预测关注点位基本情况汇总

机房名称	关注点	点位描述	辐射类型	居留因子（T）	路径/距离 R（m）
1 号加速器机房	a	北墙主屏蔽区外 30cm（TOMO 机房）	有用线束	1/2	O_2-o-a 1+7.3
	b	南墙主屏蔽区外 30cm（加速器机房 2）	有用线束	1/2	O_1-o-b 1+8.6
	c	北墙次屏蔽区外 30cm（TOMO 机房）	泄漏	1/2	o-c 8.8
			散射		O_2-o-c 8.8
	d	南墙次屏蔽区外 30cm（加速器机房 2）	泄漏	1/2	o-d 9.1
			散射		O_1-o-d 9.1
	e	东侧墙体外 30cm（地下车库）	泄漏	1/16	O-e 6.8
	f	迷路外墙外 30cm（控制室）	泄漏	1	O-f 10.2
	k	迷路外墙外 30cm（辅助机房）	泄漏	1/16	O_2-k

					10.4
	g	防护门外 30cm（准备室）	泄漏	1/8	O_1-g 10.70
			散射		O_1-o-B-P-g 8.8/9.4/3.2
	l	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处（规划公园绿地）	有用线束	1/16	o_3-l 1+7.5
	m	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处（规划公园绿地）	泄漏	1/16	o-m 10.9
			散射		o_3-o-m 10.9
4 号加速器机房	b	南墙主屏蔽区外 30cm（射波刀机房）	有用线束	1/2	O_1-o-b 1+8.1
	d_1	南墙次屏蔽区外 30cm（射波刀机房）	泄漏	1/2	o-d_1 10.1
			散射		O_1-o-d_1 10.1

（2）剂量率参考控制水平$\dot{H}_c$的确定

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）6.1.4 及《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)附录 A 来确定，机房墙和入口门外 30cm 处各关注点的周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_{c,d}$：

①使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由周剂量参考控制水平求得关注点的导出剂量率参考控制水平$\dot{H}_{c,d}$（μSv/h）；

$$\dot{H}_{c,d} \leq \dot{H}_c/(t \cdot U \cdot T) \qquad \text{(式 11.2.3.1-1)}$$

式中：

$\dot{H}_{c,d}$——周围剂量当量率参考控制水平，μSv/h；

$\dot{H}_c$——周剂量参考控制水平（μSv/周），机房外非辐射工作人员≤5μSv/周；治疗机房外辐射工作人员≤100μSv/周；

U——有用线束向关注位置的方向照射的使用因子；

T——人员在相应关注点位置的居留因子，取值参考表 11.2.1.5-2；

t——设备周最大累计照射的小时数，h/周；根据医院提供资料，本项目单台加速器每周出束时间为 6.25h。

②根据关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_{c,max}$：

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

人员居留因子 T≤1/2 的场所：$\dot{H}_{c,max}$≤10μSv/h

③由上述①中的导出周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_{c,d}$和②中的最高周围剂量当

量率参考控制水平$\dot{H}_{c,max}$，选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平$\dot{H}_c$。

本项目直线加速器机房各关注点剂量率控制水平见表 7.3-5。

（3）预测模式

①有用线束主屏蔽区宽度核算

依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）中相应的计算模式及相关参数。

主屏蔽墙体的宽度计算公式：

$$Y_p=2[(a+SAD)\times\tan\theta+0.3] \quad （式 11.2.3.1-2）$$

式中：

Y_p——机房有用射线束主屏蔽区的宽度，m；

θ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；射线最大出射角 28°，θ取 14°；

SAD——源轴距，m；（对于医用加速器 SAD=1m）

a——等中心至“墙”的距离；当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽墙区向机房外凸时，“墙”指与主屏蔽区墙（或顶）的外表面。

②防护材料厚度与透射因子

引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）第 5.1 节关于防护材料厚度与透射因子的公式进行计算。

a）有效防护材料厚度

当 X 射线束以θ角斜入射厚度为 X 的防护材料时，射线束在斜射路径上的防护材料有效 Xe 见下式。

$$X_e = X\sec\theta \quad （式 11.2.3.1-3）$$

式中：

Xe—防护材料有效厚度，cm；

X—防护材料厚度，cm；

θ—为斜射角（即入射射线与防护材料平面的垂直线之间的夹角）；

b）防护材料厚度与透射因子的关系

$$B = 10^{-(X_e+TVL-TVL_1)/TVL}$$ （式 11.2.3.1-4）

式中：

B—透射因子，无量纲；

TVL_1—第一个十分之一值层厚度，cm；

TVL—平衡十分之一值层厚度，cm。

③有用线束和泄漏辐射影响剂量率估算

引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）第 5.2.1 节对于给定防护材料厚度时，防护墙体外关注点的剂量率计算公式如下。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B$$ （式 11.2.3.1-5）

式中：

$\dot{H}$—防护实体外关注点的剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_o$—加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（下简称：靶）1m 处的常用最高剂量率，μSv·m^2/h；

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f—泄漏辐射比率，无量纲；

B—透射因子，无量纲。

④散射辐射影响剂量率估算

对于与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区，除了考虑有用线束的泄漏辐射外，还需考虑有用线束水平或向顶部照射时，人体散射辐射穿过次屏蔽区后的剂量影响。散射辐射主要考虑患者一次散射辐射的剂量率。

利用以下公式计算患者体表的散射辐射在防护实体外关注点的剂量率。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{{R_S}^2} \cdot B$$ （式 11.2.3.1-6）

式中：

$\dot{H}$—防护实体外关注点的剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_o$—加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率，μSv·m^2/h；

R_s—患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

α_{ph}—患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量

比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子；

B—透射因子，无量纲；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm^2。

⑤治疗机房（≤10MV）迷道入口处关注点剂量水平估算

（a）入口处的泄漏辐射剂量率$\dot{H}_{og}$

入口处的泄漏辐射剂量率估算方法与有用线束相同，同式 11.2.3.1-5。

（b）入口处的散射辐射剂量率$\dot{H}_g$

入口处的散射辐射剂量率$\dot{H}_g$按下式计算：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph}\cdot(F/400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \times \frac{\alpha_2 \cdot A'}{R_3^2} \cdot \dot{H}_0 \qquad （式 11.2.3.1-7）$$

式中：

$\dot{H}_g$—g 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

α_{ph}—患者 400cm^2 面积上的散射因子，通常取 45°散射角的值；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm^2；

α_2—砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，通常取 i（本项目为 B）处的入射角为 45°，散射角为 0°，α值见（GBZ/T201.2-2011）附录 B 表 B.6，通常使用其 0.5MeV 栏内的值；

A—i 处（本项目为 B）的散射面积，m^2；

A’—迷道的截面积，m^2；

R_1—“o-i”（本项目为 o-B）之间的距离，m；

R_2—“i-g”（本项目为 B-P）之间的距离，m；

R_3—“i-g”（本项目为 P-g）之间的距离，m；

$\dot{H}_0$—加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率，μSv•m^2/h。

（c）防护门外辐射剂量率计算

在给定防护门的铅屏蔽厚度 X（cm）时，防护门外的辐射剂量率$\dot{H}$（μSv/h）按下式计算：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(\frac{X}{TVL})} + \dot{H}_{og} \qquad （式 11.2.3.1-8）$$

式中：

$\dot{H}$—防护门外的辐射剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_g$—g 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_{og}$—g 处的泄漏辐射剂量率，μSv/h；

X—防护门厚度，mm；

TVL—十分之一值层厚度，cm；在 g 处散射的辐射能量约 0.2MeV，铅中的 TVL 为 0.5cm。

（4）参数的选取

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011），治疗机房屏蔽设计与评价，应估算的辐射束为治疗装置在 X 射线治疗时可达到的最高 MV 条件下的有用线束、泄漏辐射和其产生的散射辐射。本项目直线加速器最大能量为 10MV，距靶 1m 处常用最大剂量率 1320Gy/h；当 X 射线能量为 6MV 时，距靶 1m 处常用最大剂量率 840Gy/h。10MV 档位对应的能量与最大剂量率均大于 6MV 档位，因此 10MV 档位对周围环境的影响大于 6MV 档位，机房的辐射屏蔽防护在满足 10MV 档位防护要求的基础上，便能满足 6MV 档位的屏蔽防护要求。因此，本项目在理论预测分析时，以 10MV 档位对应的能量和剂量率保守进行理论预测分析，不对 6MV 档位进行额外的分析。

引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 B 表 B.1 和表 B.4 内容，可知 X 射线在标准混凝土中的 TVL_1 和 TVL。

表 11.2.3.1-2　标准混凝土（密度为 2.35g/cm^3）的 X 射线 TVL 值表

参数	10MV
有用线束的 TVL_1	41cm
有用线束的 TVL	37cm
90°泄漏辐射的 TVL_1	35cm
90°泄漏辐射的 TVL	31cm
患者散射辐射（散射角 30°）的 TVL	28cm

引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 B 表 B.2、表 B.4 内容，可知患者受照面积 400cm^2 的散射因子α_{ph}和患者散射辐射在混凝土中的什值层。

表 11.2.3.1-3　散射因子（α_{ph}）和什值层（TVL）

参数		散射因子（α_{ph}）	什值层（TVL）
10MV	30	3.18E-03	28cm
	45	1.35E-03	25cm
	90	3.81E-04	18cm

引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 B 表 B.6 内容，混凝土对 45°入射辐射的散射因子（α_2）为 2.2E-02（0.5MeV）。

（5）预测结果与分析

①有用线束主屏蔽区宽度计算

本项目直线加速器机房需考虑南侧、北侧和顶棚主防护区，计算结果见下表。

表 11.2.3.1-4　主屏蔽墙体的宽度计算一览表

机房名称	主屏蔽墙位置	a（m）	计算值（m）	设计值（m）	评价结果
1 号直线加速器机房	北侧墙主屏蔽墙宽度（内凸）				满足
	南侧墙主屏蔽墙宽度（外凸）				满足
	顶棚主屏蔽墙宽度（内凸）				满足
2 号直线加速器机房	北侧墙主屏蔽墙宽度（外凸）				满足
	南侧墙主屏蔽墙宽度（外凸）				满足
	顶棚主屏蔽墙宽度（内凸）				满足
3 号直线加速器机房	北侧墙主屏蔽墙宽度（外凸）				满足
	南侧墙主屏蔽墙宽度（外凸）				满足
	顶棚主屏蔽墙宽度（内凸）				满足
4 号直线加速器机房	北侧墙主屏蔽墙宽度（外凸）				满足
	南侧墙主屏蔽墙宽度（内凸）				满足
	顶棚主屏蔽墙宽度（内凸）				满足

由计算结果可知：本项目 4 间直线加速器机房南侧、北侧和顶部主屏蔽区宽度符合计算要求。

注意：设备厂家和建设单位在进行直线加速器安装时，必须严格按照既定的摆位方式和等中心位置进行安装，即主射束为南墙、北墙、地面及顶棚，杜绝安装后主射方向超出主屏蔽区范围的情况出现。

②屏蔽体外剂量的计算

表 11.2.2.1-5　有用线束主屏蔽区外预测点位辐射剂量率计算结果

场所名称	2 号加速器机房			4 号加速器机房
参数	北墙（a 点）	南墙（b 点）	顶棚（1 点）	南墙（b1 点）
屏蔽材料				
设计厚度 X（cm）				
斜射角Θ(°)				
有效厚度 Xe（cm）				
距离 R（m）				
$\dot{H}_o$(μSv.m^2/h)				
f				

TVL1（cm）				
TVL（cm）				
B				
$\dot{H}$(μSv/h)				
导出剂量控制限值 $\dot{H}_c$(μSv/h)				
是否满足要求	满足	满足	满足	满足

表 11.2.2.1-6　预测点位泄漏辐射剂量率计算结果

场所名称	2 号加速器机房			
参数	东墙（e 点）	西墙（f 点）	g 点（迷道内墙）	k 点（迷道外墙）
屏蔽材料	混凝土	混凝土	混凝土	混凝土
设计厚度 *X*（cm）				
斜射角Θ(°)				
有效厚度 X_e（cm）				
距离 *R*（m）				
$\dot{H}_o$(μSv.m^2/h)				
f				
B				
TVL_1（cm）				
TVL（cm）				
H(μSv/h)				
导出剂量控制限值 $\dot{H}_c$(μSv/h)				
是否满足要求	满足	满足	满足	满足

表 11.2.2.1-7　预测点位泄漏辐射和患者一次散射的屏蔽效果预测

场所名称	2 号加速器机房						4 号加速器机房	
参数	北墙（c）		南墙（d）		顶棚（m)		南墙（d1）	
辐射类型	泄漏	散射	泄漏	散射	泄漏	散射	泄漏	散射
设计厚度 *X*（cm)								
有效厚度 X_e(cm）								
R（m）								
$\dot{H}_o$(μSv.m^2/h)								
α_{ph}								
F（cm^2）								
f								
斜射角Θ								
TVL_1（cm）								
TVL（cm）								
B								
H(μSv/h)								

H_c(μSv/h)	1.6	1.6	10	1.6
是否满足要求	满足	满足	满足	满足

③防护门外迷路散射辐射剂量

本项目直线加速器的有用线束不向迷道照射，加速器能量为 10MV 时，迷道入口处的辐射剂量主要考虑散射辐射剂量率和泄漏辐射，关注点 g 点处的散射辐射剂量率及防护门外辐射剂量率计算参数及结果见下表。

表 11.2.2.1-8　关注点g点处的散射辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_o$(μSv.m^2/h)	a_{ph}	a_2	A m^2	A' m^2	F cm^2	R_1 m	R_2 m	R_3 m	$\dot{H}_g$ μSv/h
g										

表 11.2.2.1-9　防护门外的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_g$ μSv/h	X mm	TVL mm	$\dot{H}_{og}$ μSv/h	$\dot{H}$ μSv/h
g					

④加速器治疗室辐射防护评价小结

表 11.2.2.1-10　剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较

场所名称	关注点	点位描述	剂量率预测结果（μSv/h）	剂量控制水平（μSv/h）	是否符合要求
1 号加速器机房	a	北墙主屏蔽区外 30cm（TOMO 机房）			符合
	b	南墙主屏蔽区外 30cm（加速器机房 2）			符合
	c	北墙次屏蔽区外 30cm（TOMO 机房）			符合
	d	南墙次屏蔽区外 30cm（加速器机房 2）			符合
	e	东侧墙体外 30cm（地下车库）			符合
	f	迷路外墙外 30cm（控制室）			符合
	k	迷路外墙外 30cm（辅助机房）			符合
	g	防护门外 30cm（准备室）			符合
	l	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处（规划公园绿地）			符合
	m	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处（规划公园绿地）			符合
4 号加速器机房	b1	南墙主屏蔽区外 30cm（射波刀机房）			符合
	d1	南墙次屏蔽区外 30cm（射波刀机房）			符合

通过上表可以看出，本项目 1 号和 4 号加速器机房的辐射屏蔽措施均能够使机房外的辐射剂量率满足周围剂量当量率参考控制水平要求，同理可知 2、3 号加速器机房的辐射屏蔽措施均能够使机房外的辐射剂量率满足周围剂量当量率参考控制水平要求。

（6）项目运行对辐射工作人员和周围公众年有效剂量的影响

①工作负荷

本项目 4 台加速器各配备辐射工作人员（技师）2 名，这 8 名辐射工作人员均为新增，且为加速器机房专职辐射工作人员，不交叉操作其他放疗设备。本项目辐射工作人员每天工作 8 小时，每年工作 250 天。

本项目拟新建 4 间直线加速器机房，分别安装 1 台直线加速器，投入使用后，预计每台加速器每天放射治疗患者最多为 50 人次，平均每名患者治疗照射时间为 1.5min，每周工作 5 天，则单台直线加速器周出束时间为 6.25h，年出束时间为 312.5h。

②剂量估算

根据表 11.2.2.1-10 预测的辐射剂量率，结合加速器工作负荷、关注点处人员居留因子等参数，采用式 11.2.1.8-1 计算即可得到辐射工作人员和周围公众的年有效剂量，具体见下表。

表 11.2.2.1-11　加速器辐射工作人员和周围公众年有效剂量估算

场所名称	关注点	点位描述	剂量率预测结果（uSv/h）	使用因子	居留因子	受照时间（h）	年有效剂量（mSv）	年剂量约束值（mSv）
1 号加速器机房	a	北墙主屏蔽区外 30cm（TOMO 机房）						公众 0.1 和职业人员 5.0
	b	南墙主屏蔽区外 30cm（加速器机房 2）						
	c	北墙次屏蔽区外 30cm（TOMO 机房）						
	d	南墙次屏蔽区外 30cm（加速器机房 2）						
	e	东侧墙体外 30cm（地下车库）						公众 0.1
	f	迷路外墙外 30cm（控制室）						职业人员 5.0
	k	迷路外墙外 30cm（辅助机房）						公众 0.1
	g	防护门外 30cm（准备室）						公众 0.1
	l	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处（规划公园绿地）						公众 0.1
	m	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处（规划公园绿地）						公众 0.1
4 号加速器机房	b1	南墙主屏蔽区外 30cm（射波刀机房）						公众 0.1 和职业人员 5.0
	d1	南墙次屏蔽区外 30cm（射波刀机房）						

由上表可知，本项目 1 号加速器机房控制室内辐射工作人员受照射剂量为 1.12E-05mSv/a，其他相邻治疗室辐射工作人员最大受照射剂量为 2.99E-02mSv/a；本项目 1 号、4 号加速器运行过程中公众最大受照剂量为 2.99E-02mSv/a，均低于本报告提出的 0.1mSv/a 的剂量约束值，本项目 4 间直线加速器机房屏蔽设计基本相同，因此其他加速器机房公众受照剂量，均能满足本报告提出的剂量约束值的要求。

（7）电子线及感生放射性辐射影响分析

根据《辐射防护手册》第三分册 4.1.5 加速器的辐射源（P95），“能量为 E(MeV)的单能电子线，在物质中的最大射程（单位为 $g \cdot cm^{-2}$）约为能量（单位为 MeV）的 0.6 倍”。本项目医用电子直线加速器以电子档工作时最大电子线能量为 15MeV，射程为 $15 \times 0.6=9g/cm^2$，可以估算出 15MeV 的电子在密度为 $2.35g/cm^3$ 的混凝土中的深度约为 3.83cm，而本项目加速器机房屏蔽体厚度远大于该深度，对电子线能被完全屏蔽。因此，可不考虑电子线对屏蔽墙外的辐射影响。

由于机房有足够的屏蔽，直线加速器运行期间产生的感生放射性不会对机房外的环境产生辐射污染。但每次治疗结束后，辐射工作人员需进入机房引导治疗后患者离开并对下一位患者进行摆位。往往由于患者较多，辐射工作人员一般在医用电子直线加速器停机后 2min 左右就进入治疗室内，此时大部分感生放射性核素未能充分衰变。本项目按照平均每位患者摆位时间为 30s 考虑，则年总摆位时间为 104.2h，本项目单台直线加速器配有 2 名技师，则单名技师的年摆位时间保守按 52.1h 考虑，保守采用《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS674-2020）标准规定限值最大值（距离外壳表面 1m 处≤20μSv/h）进行估算，则本项目辐射工作人员在摆位时受到的年有效剂量最大为 1.04mSv。

综上所述，本项目辐射工作人员的年有效剂量为 1.04+1.12E-05=1.04mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”要求，也满足本项目辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv/a 的剂量约束值要求。

医院应对加速器机房加强通风排气，并采取人员延时进入机房，以降低活化空气的感生放射性水平，减少人员受照剂量。

（8）废靶对环境的影响分析

加速器靶物质（件）以及机头等金属部件由于受电子的轰击会产生感生放射性，加速器退役时应进行监测，存在放射性污染的，按放射性固体废物进行管理，最终送交有

资质的单位收贮，医院不暂存。因此满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中废物管理要求。

（9）废气对环境的影响分析

本项目电子直线加速器机房设计有强制排风系统，采取全排全送的通风方式，设计换气次数大于 4 次/h，废气经由排风井内单独密闭管道排至住院楼 C 楼楼顶，并高出屋脊排放，符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中通风换气次数应不小于 4 次/h 的规定。

本项目放疗科加速器 X 射线能量不超过 10MV，机房内活化产生的放射性气体较少，感生放射性气体影响可忽略不计。臭氧和氮氧化物排入大气环境后，经自然分解，可达标排放，对周围环境影响较小。

11.2.3.2 射波刀

本项目射波刀带有定位装置，辐射源为 150kV 的 X 射线，对周围环境辐射影响远小于 6MV 的 X 射线，并且不与治疗线束同时出束。因此，本次评价只考虑射波刀最大 X 射线能量为 6MV 时对关注点的辐射影响，并将该工况作为射波刀正常运行时的全年工况。根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中相关内容及本项目设备情况，本项目射波刀机房屏蔽计算全部按 6MV X 射线工况下的有用束（U<0.05）核算，不考虑中子和感生放射性的防护问题。

（1）预测点位的选取

本项目射波刀机房底部为土层，故对机房四周和顶部外的关注点给予考虑，机房关注点位详见图 11.2.3.2-1。

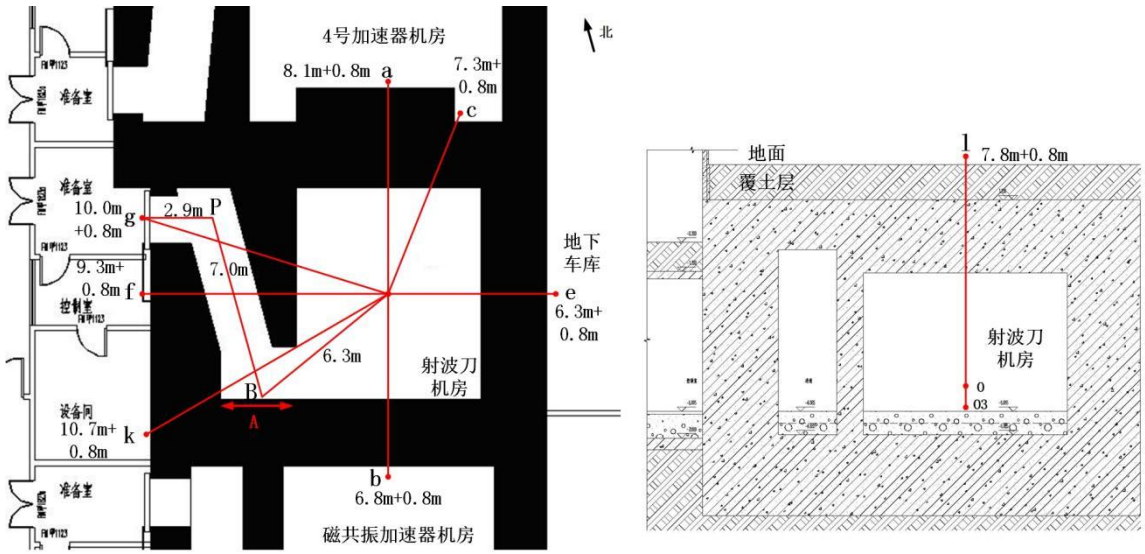


图 11.2.3.2-1 射波刀机房关注点布置示意图

表 11.2.3.2-1　射波刀机房预测关注点位基本情况汇总

机房名称	关注点	点位描述	辐射类型	居留因子（T）	路径/距离 R（m）
射波刀机房	a	北墙主屏蔽区外 30cm（4 号加速器机房）	有用线束	1/2	O-a 8.9
	b	南墙外 30cm（磁共振加速器机房）	有用线束	1/2	O-b 7.6
	c	北侧次屏蔽区外 30cm（4 号加速器机房）	有用线束	1/2	O-c 8.1
	e	东侧墙体外 30cm（地下车库）	有用线束	1/16	O-e 7.1
	f	迷路外墙外 30cm（控制室）	有用线束	1	O-f 10.1
	k	迷路外墙外 30cm（设备间）	有用线束	1/16	O-k 11.5
	g	防护门外 30cm（准备室）	有用线束	1/8	O-g 10.8
			散射		O-B-P-g 6.3/7.0/2.9
	l	顶棚地面上 30cm 处（规划公园绿地）	有用线束	1/16	O-l 8.6

（2）剂量率参考控制水平$\dot{H}_c$的确定

根据医院提供资料，本项目射波刀设备每周出束时间为 33.4h。

剂量率参考控制水平计算同 11.2.3.1 直线加速器—（2）剂量率参考控制水平$\dot{H}_c$的确定中内容。

本项目射波刀机房各关注点剂量率控制水平见表 7.3-7。

（3）预测模式

①防护材料厚度与透射因子

见上述 11.2.3.1 直线加速器--（3）--②中内容。

②有用线束辐射影响剂量率估算

见上述 11.2.3.1 直线加速器--（3）--③中内容。

③治疗机房迷道入口处关注点散射剂量水平估算

见上述 11.2.3.1 直线加速器--（3）--⑤中内容。

（4）参数的选取

引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 B 表 B.1 和表 B.4 内容，可知 X 射线在标准混凝土中的 TVL_1 和 TVL。

表 11.2.3.2-2　标准混凝土（密度为 2.35g/cm³）的 X 射线 TVL 值表

材料名称	参数	6MV
混凝土	有用线束和泄漏辐射的 TVL_1	37cm
	有用线束和泄漏辐射的 TVL	33cm
	90°泄漏辐射的 TVL_1	34cm
	90°泄漏辐射的 TVL	29cm
铅	有用线束和泄漏辐射的 TVL_1	5.7cm
	有用线束和泄漏辐射的 TVL	5.7cm

引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 B 表 B.2、表 B.4 内容，可知患者受照面积 400cm² 的散射因子α_{ph}为和患者散射辐射在混凝土中的什值层。

表 11.2.3.2-3　散射因子（α_{ph}）和什值层（TVL）

参数		散射因子（α_{ph}）	什值层（TVL）
6MV	30	2.77×10^{-3}	26cm
	45	1.39×10^{-3}	23cm
	90	4.26×10^{-4}	17cm

引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 B 表 B.6 内容，混凝土对 45°入射辐射的散射因子（α_2）为 2.2×10^{-2}（0.5MeV）。

（5）预测结果与分析

①屏蔽体外剂量的计算

射波刀采用 6MV X 射线治疗时，有用线束在距靶中心 80cm 处的辐射剂量率为 10Gy/min（600Gy/h），有用线束在距靶 1m 处辐射剂量率为 384Gy/h。

表 11.2.3.2-4　各关注点有用线束的预测结果

场所名称	关注点	点位描述	$\dot{H}_o$ Gy/h	斜射角 °	屏蔽厚度 m	有效厚度 m	R m	f	TVL_1 cm	TVL cm	$\dot{H}$ μSv/h
射波刀机房	a	北墙主屏蔽区外 30cm（4 号加速器机房）									
	b	南墙外 30cm（磁共振加速器机房）									
	c	北侧次屏蔽区外 30cm（4 号加速器机房）									
	e	东侧墙体外 30cm（地下车库）									

	f	迷路外墙外 30cm（控制室）
	k	迷路外墙外 30cm（设备间）
	g	防护门外 30cm（准备室）
	l	顶棚地面上 30cm 处（规划公园绿地）

②防护门外迷路散射辐射剂量

本项目射波刀最大能量为 6MV，关注点 g 点处的散射辐射剂量率$\dot{H}_g$及防护门外辐射剂量率计算参数及结果见下表。

表 11.2.3.2-5　关注点g点处的散射辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_o$ Sv/h	a_{ph}	a_2	A m²	A' m²	F cm²	R_1 m	R_2 m	R_3 m	$\dot{H}_g$ μSv/h
g										

表 11.2.3.2-6　防护门外的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_g$ μSv/h	X mm	TVL mm	$\dot{H}_{og}$ μSv/h	$\dot{H}$ μSv/h
g					

③射波刀机房辐射防护评价小结

表 11.2.3.2-7　剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较

场所名称	关注点	点位描述	剂量率预测结果（μSv/h）	剂量控制水平（μSv/h）	是否符合要求
射波刀机房	a	北墙主屏蔽区外 30cm（4 号加速器机房）			符合
	b	南墙外 30cm（磁共振加速器机房）			符合
	c	北侧次屏蔽区外 30cm（4 号加速器机房）			符合
	e	东侧墙体外 30cm（地下车库）			符合
	f	迷路外墙外 30cm（控制室）			符合
	k	迷路外墙外 30cm（设备间）			符合
	g	防护门外 30cm（准备室）			符合
	l	顶棚地面上 30cm 处（规划公园绿地）			符合

通过上表可以看出，本项目射波刀机房的辐射屏蔽措施均能够使机房外的辐射剂量率满足周围剂量当量率参考控制水平要求。

（6）项目运行对辐射工作人员和周围公众年有效剂量的影响

①工作负荷

本项目射波刀拟配备辐射工作人员（技师）2 名，这 2 名辐射工作人员均为新增，

且为射波刀机房专职辐射工作人员，不交叉操作其他放疗设备。本项目辐射工作人员每天工作 8 小时，每年工作 250 天。

本项目拟新建 1 间射波刀机房，拟安装 1 台射波刀，投入使用后，预计每天放射治疗工作量最多为 10 人，平均每名患者治疗照射时间为 40min，每周工作 5 天，则周治疗时间为 33.4h；1 年工作 50 周，则年治疗时间为 1666.7h。

②剂量估算

根据表 11.2.3.2-7 预测的辐射剂量率，结合射波刀工作负荷、关注点处人员居留因子等参数，采用式 11.2.1.8-1 计算即可得到辐射工作人员和周围公众的年有效剂量，具体见下表。

表 11.2.2.1-11　射波刀辐射工作人员和周围公众年有效剂量估算

关注点	点位描述	剂量率预测结果（μSv/h）	使用因子	居留因子	受照时间（h）	年有效剂量（mSv）	年剂量约束值（mSv）
a	北墙主屏蔽区外 30cm（4 号加速器机房）						
b	南墙外 30cm（磁共振加速器机房）						公众 0.1 和职业人员 5.0
c	北侧次屏蔽区外 30cm（4 号加速器机房）						
e	东侧墙体外 30cm（地下车库）						公众 0.1
f	迷路外墙外 30cm（控制室）						职业人员 5.0
k	迷路外墙外 30cm（设备间）						公众 0.1
g	防护门外 30cm（准备室）						公众 0.1
l	顶棚地面上 30cm 处（规划公园绿地）						公众 0.1

由上表可知，本项目射波刀机房控制室辐射工作人员受照射剂量为 1.69E-05mSv/a，其他相邻治疗室辐射工作人员最大受照射剂量为 9.73E-03mSv/a，低于本报告提出的 5mSv/a 的剂量约束值；本项目射波刀运行过程中公众最大受照剂量为 9.73E-03mSv/a，均低于本报告提出的 0.1mSv/a 的剂量约束值。

（7）定位系统 X 射线辐射环境影响分析

本项目射波刀自带定位系统，含 2 台 X 射线装置，最大管电压 150kV，最大管电流 640mA。定位束所产生的低能射线能量远低于治疗束所产生的射线能量，经过机房屏蔽后，不会对周围工作场所辐射工作人员和公众造成额外的辐射照射。

（8）臭氧和氮氧化物对环境的影响分析

本项目射波刀机房设计有强制排风系统，采取全排全送的通风方式，设计换气次数大于 4 次/h，废气经由排风井内单独密闭管道排至住院楼 C 楼楼顶，并高出屋脊排放。符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中通风换气次数应不小于 4 次/h 的规定。臭氧和氮氧化物排入大气环境后，经自然分解，可达标排放，对周围环境影响较小。

11.2.3.3 TOMO

TOMO 治疗射线能量（额定）为 6MV，靶至等中心的距离为 85cm；等中心处最大治疗野：床行进方向的长度为 1cm~5cm 可调，在治疗束中心轴旋转平面上与治疗束中心轴垂直方向上的宽度为 40cm；有用线束 85cm 处最大剂量率为 636Gy/h，泄漏辐射比率为 0.1%。在运行中无需考虑中子和感生放射性的防护问题，只对 TOMO 运行中产生的 X 射线进行影响分析。

在 TOMO 系统机架旋转治疗筒内，有用束对应的筒壁区带有 15.2cm 的铅板，由于其和治疗筒结构件的总屏蔽效能，使有用束对应的治疗筒外的辐射剂量与泄漏辐射相当。TOMO 机房忽略患者散射辐射，按屏蔽泄漏辐射考虑机房屏蔽；对有用线束直接投射的区域，也按泄漏辐射考虑。

（1）预测点位的选取

本项目 TOMO 机房底部为土层，故对机房四周和顶部外的关注点给予考虑，机房关注点位详见图 11.2.3.3-1。

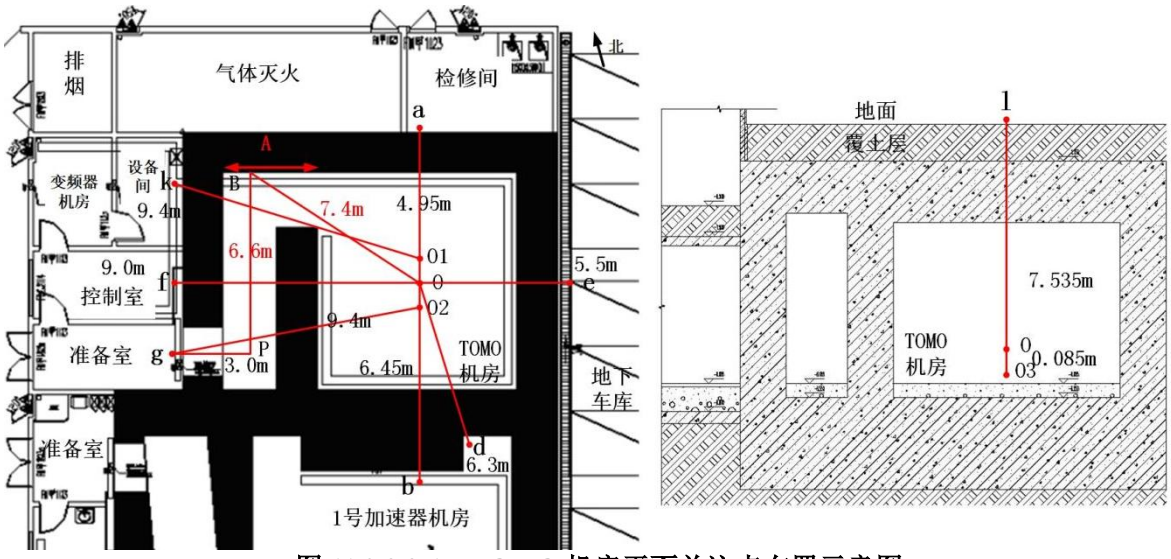


图 11.2.3.3-1　TOMO 机房平面关注点布置示意图

表 11.2.3.3-1　TOMO 机房预测关注点位基本情况汇总

机房名称	关注点	点位描述	辐射类型	居留因子	路径/距离 R（m）
TOMO	a	北墙外 30cm（检修间）	泄漏	1/16	O_1-a

机房					4.95
	b	南墙外 30cm（1 号加速器机房）	泄漏	1/2	O_2-b 6.45
	d	南墙外 30cm（1 号加速器机房）	泄漏	1/2	O-d 6.3
	e	东墙外 30cm（地下车库）	泄漏	1/16	O-e 5.5
	f	迷路外墙外 30cm（控制室）	泄漏	1	O-f 9.0
	k	迷路外墙外 30cm（设备间）	泄漏	1/16	O_1-k 9.4
	g	防护门外 30cm（准备室）	泄漏	1/8	O_2-g 9.4
			散射		O-B-P-g 7.4/6.6/3.0
	l	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处（规划公园绿地）	泄漏	1/16	O_3-l 7.62

（2）剂量率参考控制水平$\dot{H}_c$的确定

根据医院提供资料，本项目 TOMO 设备每周出束时间为 12.5h。

剂量率参考控制水平计算同 11.2.3.1 直线加速器—（2）剂量率参考控制水平$\dot{H}_c$的确定中内容。

本项目 TOMO 机房各关注点剂量率控制水平见表 7.3-6。

（3）预测模式

①防护材料厚度与透射因子

见上述 11.2.3.1 直线加速器--（3）--②中内容。

②泄漏辐射影响剂量率估算

见上述 11.2.3.1 直线加速器--（3）--③中内容。

③治疗机房迷道入口处关注点散射剂量水平估算

见上述 11.2.3.1 直线加速器--（3）--⑤中内容。

（4）参数的选取

引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 B 表 B.1 和表 B.4 内容，可知 X 射线在标准混凝土中的 TVL_1 和 TVL。

表 11.2.3.3-2　标准混凝土（密度为 2.35g/cm^3）的 X 线 TVL 值表

参数	6MV
90°泄漏辐射的 TVL_1	34cm
90°泄漏辐射的 TVL	29cm

引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》

（GBZ/T201.2-2011）附录 B 表 B.2、表 B.4 内容，可知患者受照面积 400cm^2 的散射因子α_{ph}和患者散射辐射在混凝土中的什值层。

表 11.2.3.3-3　散射因子（α_{ph}）和什值层（TVL）

参数		散射因子（α_{ph}）	什值层（TVL）
6MV	30	2.77×10^{-3}	26cm
	45	1.39×10^{-3}	23cm
	90	4.26×10^{-4}	17cm

引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 B 表 B.6 内容，混凝土对 45°入射辐射的散射因子（α_2）为 2.2×10^{-2}（0.5MeV）。

（5）预测结果与分析

①屏蔽体外剂量的计算

TOMO 系统采用 6MV X 射线治疗时，有用线束在距靶中心 85cm 处的辐射剂量率为 1060cGy/min（636Gy/h），系统等中心处最大照射野为 5cm×40cm；有用线束在距靶 1m 处辐射剂量率为 460Gy/h（漏射率按 0.1%计）。

表 11.2.3.3-4　各关注点泄漏辐射剂量率的预测结果

场所名称	关注点	点位描述	辐射类型	$\dot{H}_o$ Gy/h	斜射角°	屏蔽厚度 m	有效厚度 m	R m	f	TVL_1 cm	TVL cm	$\dot{H}$ μSv/h
TOMO 机房	a	北墙外 30cm（检修间）	泄漏									
	b	南墙外 30cm（1 号加速器机房）										
	d	南墙外 30cm（1 号加速器机房）										
	e	东墙外 30cm（地下车库）										
	f	迷路外墙外 30cm（控制室）										
	k	迷路外墙外 30cm（设备间）										
	g	防护门外 30cm（准备室）										

	l	顶棚主屏蔽区地面上30cm处（规划公园绿地）	

②防护门外迷路散射辐射剂量

本项目TOMO设备能量最大为6MV，关注点g点处的散射辐射剂量率$\dot{H}_g$及防护门外辐射剂量率计算参数及结果见下表。

表11.2.3.3-5 关注点g点处的散射辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_o$ Gy/h	a_{ph}	a_2	A m²	A' m²	F cm²	R_1 m	R_2 m	R_3 m	$\dot{H}_g$ μSv/h
g										

表11.2.3.3-6 防护门外的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_g$ μSv/h	X mm	TVL mm	$\dot{H}_{og}$ μSv/h	$\dot{H}$ μSv/h
g					

③TOMO机房辐射防护评价小结

表11.2.3.3-7 剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较

场所名称	关注点	点位描述	剂量率预测结果（μSv/h）	剂量控制水平（μSv/h）	是否符合要求
TOMO机房	a	北墙外30cm（检修间）			符合
	b	南墙外30cm（1号加速器机房）			符合
	d	南墙外30cm（1号加速器机房）			符合
	e	东墙外30cm（地下车库）			符合
	f	迷路外墙外30cm（控制室）			符合
	k	迷路外墙外30cm（设备间）			符合
	g	防护门外30cm（准备室）			符合
	l	顶棚主屏蔽区地面上30cm处（规划公园绿地）			符合

通过上表可以看出，本项目TOMO机房的辐射屏蔽措施均能够使机房外的辐射剂量率满足周围剂量当量率参考控制水平要求。

（6）项目运行对辐射工作人员和周围公众年有效剂量的影响

①工作负荷

本项目TOMO设备配备辐射工作人员（技师）2名，2名辐射工作人员均为新增，且为TOMO机房专职辐射工作人员，不交叉操作其他放疗设备。本项目辐射工作人员每天工作8小时，每年工作250天。

TOMO机房预计每天放射治疗工作量最多为30人，平均每名患者CT扫描影像采

集和患者病变区治疗照射时间为 5min，每周工作 5 天，则每台周照射时间为 12.5h，年照射时间为 625h。

②剂量估算

根据表 11.2.3.3-7 预测的辐射剂量率，结合 TOMO 工作负荷、关注点处人员居留因子等参数，采用式 11.2.1.8-1 计算即可得到辐射工作人员和周围公众的年有效剂量，具体见下表。

表 11.2.3.3-8　TOMO 辐射工作人员和周围公众附加剂量估算结果

关注点	点位描述	剂量率预测结果（μSv/h）	居留因子 T	使用因子 U	受照时间 h	年有效剂量 mSv	年剂量约束值 mSv
a	北墙外 30cm（检修间）						公众 0.1
b	南墙外 30cm（1 号加速器机房）						公众 0.1 和职业人员 5
d	南墙外 30cm（1 号加速器机房）						
e	东墙外 30cm（地下车库）						公众 0.1
f	迷路外墙外 30cm（控制室）						职业人员 5
k	迷路外墙外 30cm（设备间）						公众 0.1
g	防护门外 30cm（准备室）						
l	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处（规划公园绿地）						

由上表可知，本项目 TOMO 机房控制室内辐射工作人员受照射剂量为 2.38E-07mSv/a，其他相邻治疗室辐射工作人员最大受照射剂量为 9.16E-04mSv/a；低于本报告提出的 5mSv/a 的剂量约束值；本项目 TOMO 运行过程中公众最大受照剂量为 7.33E-03mSv/a，低于本报告提出的 0.1mSv/a 的剂量约束值。

（7）TOMO 自带 CT 的 X 射线辐射环境影响分析

本项目 TOMO 自带 CT 成像扫描系统，CT 管电压最大为 140kV，其产生的射线能量远低于治疗束所产生的射线能量，经过机房屏蔽后，不会对周围工作场所辐射工作人员和公众造成额外的辐射照射。

（8）臭氧和氮氧化物对环境的影响分析

本项目 TOMO 机房设计有强制排风系统，采取全排全送的通风方式，设计换气次数大于 4 次/h，废气经由排风井内单独密闭管道排至住院楼 C 楼楼顶，并高出屋脊排

放。符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中通风换气次数应不小于4 次/h 的规定。臭氧和氮氧化物排入大气环境后，经自然分解，可达标排放，对周围环境影响较小。

11.2.3.4 磁共振加速器

本项目磁共振加速器治疗射线能量（额定）为 7.2MV，等中心最大剂量率 420Gy/h。磁共振加速器自带射线屏蔽系统，安装在加速器束流发生装置的对侧，主射线方向的受检者的背后；主射线照射至屏蔽材料上产生的韧致辐射影响包含在主射线方向的辐射影响中，主射线穿过设备自带屏蔽板后，使得设备主束方向的总的辐射泄漏率降至0.2%，其他方向的辐射泄漏率降低至 0.1%。

（1）预测点位的选取

本项目磁共振加速器机房底部为土层，故对机房四周和顶部外的关注点给予考虑，机房关注点位详见图 11.2.3.4-1。

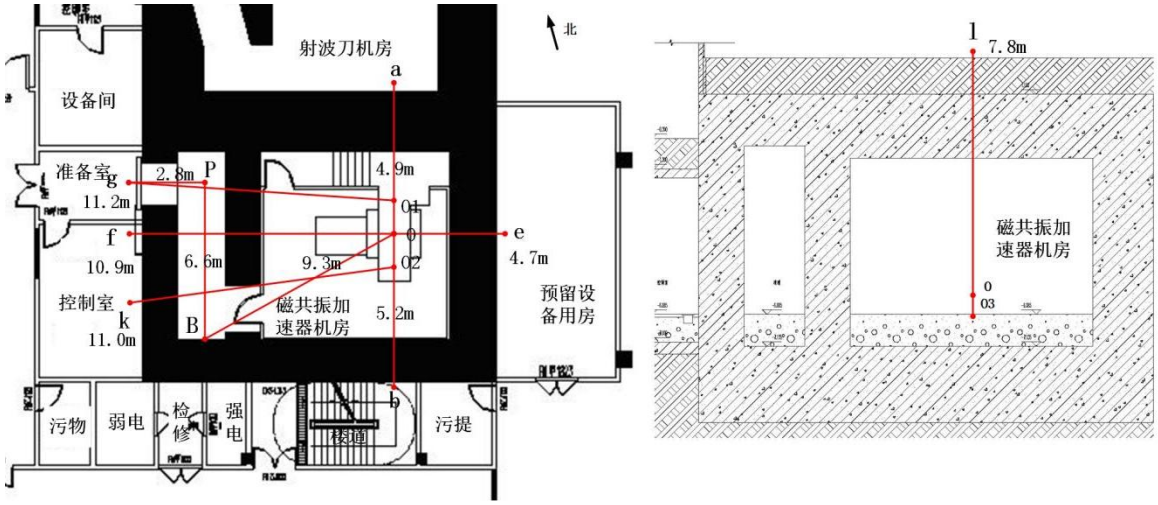


图 11.2.3.4-1 磁共振加速器机房平面关注点布置示意图

表 11.2.3.4-1 磁共振加速器机房预测关注点位基本情况汇总

机房名称	关注点	点位描述	辐射类型	居留因子（T）	路径/距离 R（m）
磁共振加速器机房	a	北墙外 30cm（射波刀机房）	泄漏	1/2	O_1-a 4.9
	b	南墙外 30cm（楼道）	泄漏	1/16	O_2-b 5.2
	e	东墙外 30cm（预留设备用房）	泄漏	1/16	O-e 4.7
	f	西墙外 30cm（控制室）	泄漏	1	O-f 10.9
	k	西墙外 30cm（控制室）	泄漏	1	O_2-k 11.0
	g	防护门外 30cm（准备室）	泄漏	1/8	O_1-g 11.2

			散射		O-B-P-g 9.3/6.6/2.8
	1	顶棚地面上 30cm 处（规划公园绿地）	泄漏	1/16	O_3-l 7.8

（2）剂量率参考控制水平$\dot{H}_c$的确定

根据医院提供资料，本项目磁共振加速器设备每周出束时间为 12.5h。

剂量率参考控制水平计算同 11.2.3.1 直线加速器—（2）剂量率参考控制水平$\dot{H}_c$的确定中内容。

本项目磁共振加速器机房各关注点剂量率控制水平见表 7.3-8。

（3）预测模式

①防护材料厚度与透射因子

见上述 11.2.3.1 直线加速器--（3）--②中内容。

②泄漏辐射影响剂量率估算

见上述 11.2.3.1 直线加速器--（3）--③中内容。

③治疗机房迷道入口处关注点散射剂量水平估算

见上述 11.2.3.1 直线加速器--（3）--⑤中内容。

（4）参数的选取

引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 B 表 B.1 和表 B.4 内容，可知 X 射线在标准混凝土中的 TVL_1 和 TVL。本项目磁共振加速器治疗射线能量（额定）为 7.2MV，保守按照 10MV 对应参数考虑。

表 11.2.3.4-2　标准混凝土（密度为 2.35g/cm^3）的 X 射线 TVL 值表

参数	10MV
90°泄漏辐射的 TVL_1	35cm
90°泄漏辐射的 TVL	31cm
患者散射辐射（散射角 30°）的 TVL	28cm

引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 B 表 B.2、表 B.4 内容，可知患者受照面积 400cm^2 的散射因子α_{ph}和患者散射辐射在混凝土中的什值层。

表 11.2.3.4-3　散射因子（α_{ph}）和什值层（TVL）

参数		散射因子（α_{ph}）	什值层（TVL）
10MV	30	3.18E-03	28cm
	45	1.35E-03	25cm
	90	3.81E-04	18cm

引用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 B 表 B.6 内容，混凝土对 45°入射辐射的散射因子（α_2）为 2.2E-02（0.5MeV）。

（5）预测结果与分析

①屏蔽体外剂量的计算

本项目磁共振加速器采用 7.2MV X 射线治疗时，有用线束在距靶中心 1.435m 处的辐射剂量率为 420Gy/h，在距靶 1m 处辐射剂量率为 865Gy/h。设备主束方向的总的辐射泄漏率为 0.2%，其他方向的辐射泄漏率为 0.1%。

表 11.2.3.4-4　各关注点泄漏辐射剂量率的预测结果

场所名称	关注点	点位描述	辐射类型	$\dot{H}_o$ Gy/h	斜射角 °	屏蔽厚度 m	有效厚度 m	R m	f	TVL_1 cm	TVL cm	$\dot{H}$ μSv/h
磁共振加速器机房	a	北墙外 30cm（射波刀机房）	泄漏									
	b	南墙外 30cm（楼道）										
	e	东墙外 30cm（预留设备用房）										
	f	西墙外 30cm（控制室）										
	k	西墙外 30cm（控制室）										
	g	防护门外 30cm（准备室）										
	l	顶棚地面上 30cm 处（规划公园绿地）										

②防护门外迷路散射辐射剂量

本项目磁共振加速器能量最大为 7.2MV，关注点 g 点处的散射辐射剂量率$\dot{H}_g$及防护门外辐射剂量率计算参数及结果见下表。

表 11.2.3.4-5 关注点g点处的散射辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_o$ Gy/h	a_{ph}	a_2	A m^2	A' m^2	F cm^2	R_1 m	R_2 m	R_3 m	$\dot{H}_g$ μSv/h
g										

表 11.2.3.4-6 防护门外的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_g$ μSv/h	X mm	TVL mm	$\dot{H}_{og}$ μSv/h	$\dot{H}$ μSv/h
g					

③磁共振机房辐射防护评价小结

表 11.2.3.4-7　剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较

场所名称	关注点	点位描述	剂量率预测结果（μSv/h）	剂量控制水平（μSv/h）	是否符合要求
磁共振加速器机房	a	北墙外 30cm（射波刀机房）			符合
	b	南墙外 30cm（楼道）			符合
	e	东墙外 30cm（预留设备用房）			符合
	f	西墙外 30cm（控制室）			符合
	k	西墙外 30cm（控制室）			符合
	g	防护门外 30cm（准备室）			符合
	l	顶棚地面上 30cm 处（规划公园绿地）			符合

通过上表可以看出，本项目磁共振加速器机房的辐射屏蔽措施均能够使机房外的辐射剂量率满足周围剂量当量率参考控制水平要求。

（6）项目运行对辐射工作人员和周围公众年有效剂量的影响

①工作负荷

本项目磁共振直线加速器配备辐射工作人员（技师）2 名，2 名辐射工作人员均为新增，且为磁共振直线加速器机房专职辐射工作人员，不交叉操作其他放疗设备。本项目辐射工作人员每天工作 8 小时，每年工作 250 天。

本项目拟新建 1 间磁共振直线加速器机房，拟安装 1 台磁共振直线加速器，投入使用后，预计每天放射治疗工作量最多为 25 人，平均每名患者治疗照射时间为 6min，每周工作 5 天，则每台周照射时间为 12.5h，年照射时间为 625h。

②剂量估算

根据表 11.2.3.4-7 预测的辐射剂量率，结合磁共振直线加速器工作负荷、关注点处人员居留因子等参数，采用式 11.2.1.8-1 计算即可得到辐射工作人员和周围公众的年有效剂量，具体见下表。

表 11.2.3.4-8　磁共振直线加速器辐射工作人员和周围公众附加剂量估算结果

关注点	点位描述	剂量率预测结果（μSv/h）	居留因子 T	使用因子 U	受照时间 h	年有效剂量 mSv	年剂量约束值 mSv
a	北墙外 30cm（射波刀机房）						公众 0.1 和职业人员 5.0
b	南墙外 30cm（楼道）						公众 0.1
e	东墙外 30cm（预留设备用房）						

f	西墙外 30cm（控制室）	职业人员 5
k	西墙外 30cm（控制室）	
g	防护门外 30cm（准备室）	公众 0.1
l	顶棚地面上 30cm 处（规划公园绿地）	

由上表可知，本项目磁共振加速器机房控制室内辐射工作人员受照射剂量为 8.72E-02mSv/a，其他相邻治疗室辐射工作人员最大受照射剂量为 2.61E-04mSv/a，低于本报告提出的 5mSv/a 的剂量约束值；本项目磁共振加速器运行过程中公众最大受照剂量为 5.25E-03mSv/a，低于本报告提出的 0.1mSv/a 的剂量约束值。

（7）臭氧和氮氧化物对环境的影响分析

本项目磁共振加速器机房设计有强制排风系统，采取全排全送的通风方式，设计换气次数大于 4 次/h，废气经由排风井内单独密闭管道排至住院楼 C 楼楼顶，并高出屋脊排放。符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中通风换气次数应不小于 4 次/h 的规定。臭氧和氮氧化物排入大气环境后，经自然分解，可达标排放，对周围环境影响较小。

11.2.2.5后装机

本项目治疗时假设放射源全部被传送至施源器，则辐射环境影响预测时保守将其视为点源来预测计算。^{192}Ir 放射源衰变产生的β射线比γ射线穿透力弱很多，在空气中传播距离很短，经治疗室墙体屏蔽后，对周边环境影响较γ射线可以忽略。

本评价主要考虑放射源发射的γ射线（即初级辐射）对墙和治疗室顶的直接照射及其散射辐射在机房入口处的照射，评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中推荐的公式进行辐射屏蔽估算。

（1）预测点位的选取

将治疗室内治疗源可能的使用区域见图 11.2.3.5-1 中矩形框线区域，该区域边界线位置即为对外环境影响最大的位置，医院应在后装机治疗室地面进行划线标识，后装治疗应严格控制放射源使用位置，不得超出该区域。

本项目后装机房底部为土层，故对机房四周和顶部外的关注点给予考虑，机房关注点位详见图 11.2.3.5-1。

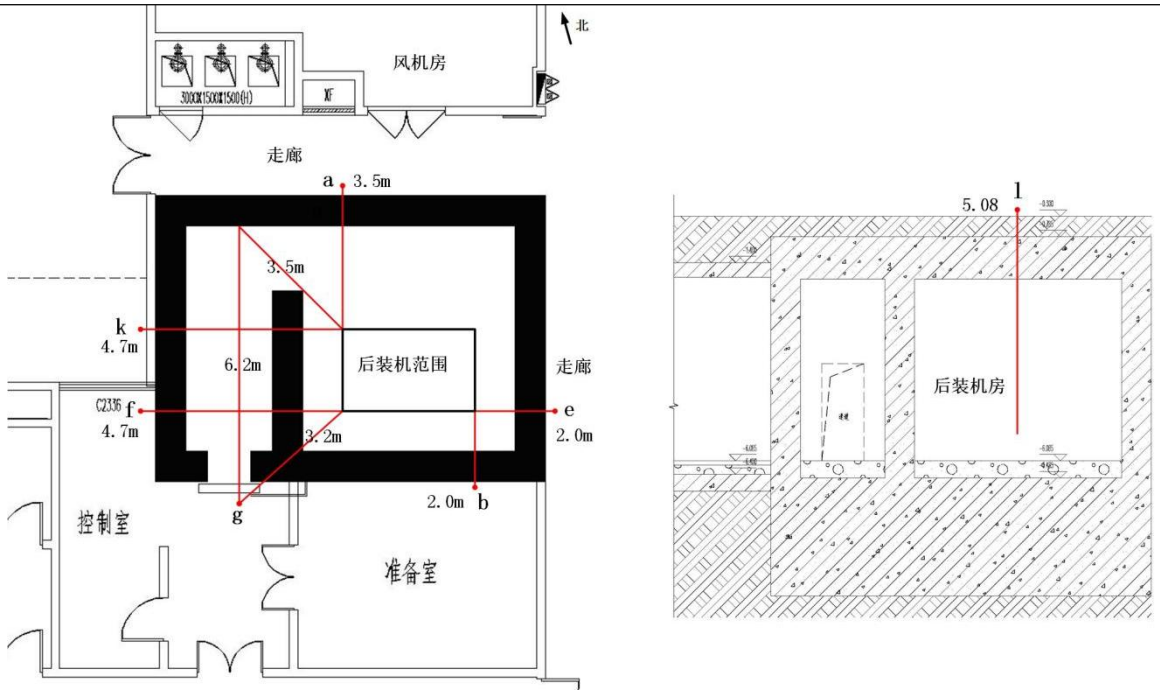


图 11.2.3.5-1　后装机房关注点布置示意图

表 11.2.3.5-1　后装机房预测关注点位基本情况汇总

	关注点	点位描述	辐射类型	居留因子	路径/距离 R（m）
后装机房	a	北墙外30cm处（走廊）	初级	1/4	O-a 3.5
	b	南墙外 30cm（准备室）	初级	1/16	O-b 2.0
	e	东墙外 30cm（走廊）	初级	1/4	O-e 2.0
	k	西墙外 30cm（下沉庭院）	初级	1/16	O-k 4.7
	f	西墙外 30cm（控制室）	初级	1	O-f 4.7
	g	防护门外 30cm（缓冲间）	初级	1/8	O-g 3.2
			散射		O-B-g 3.5/6.2
	l	顶棚地面上 30cm 处（规划公园绿地）	初级	1/16	O-l 5.08

（2）剂量率参考控制水平$\dot{H}_c$的确定

本项目后装治疗系统投入使用后预计平均每天治疗工作量 15 人次，治疗照射时间为 6min/人次，周工作负荷（治疗照射时间）t=7.5 小时/周。

剂量率参考控制水平计算同 11.2.3.1 直线加速器—（2）剂量率参考控制水平$\dot{H}_c$的确定中内容。

本项目后装机机房各关注点剂量率控制水平见表 7.3-9。

（3）预测模式

①初级辐射的屏蔽

在给定屏蔽物质厚度 X（mm）时，按（式 11.2.3.5-1）计算有效厚度 X_e（mm），按（式 11.2.3.5-2）计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，再按（式 11.2.3.5-3）计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率$\dot{H}$（μSv/h）。

$$X_e = X \cdot \sec\theta \qquad （式 11.2.3.5-1）$$

式中：

Xe—有效屏蔽厚度，cm；

X—屏蔽厚度，cm；

θ—斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的法线的夹角。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \qquad （式 11.2.3.5-2）$$

式中：

B—辐射屏蔽透射因子；

TVL_1—辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度，mm；

TVL—辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚，mm。

当未指明 TVL_1 时，TVL_1=TVL，查 GBZ/T201.3-2014 表 C.1，^{192}Ir 在混凝土中 TVL 为 152mm。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H_0} \cdot f}{R^2} \cdot B \qquad （式 11.2.3.5-3）$$

式中：

$\dot{H}$—关注点剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_0$—活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率，μSv/h；

f—对有用线束为 1；

R—辐射源至关注点的距离，m。

②散射辐射的屏蔽

入口 g 处的散射辐射剂量率$\dot{H}$采用下式计算：

$$\dot{H} = \frac{A \times K_\gamma \times S_w \times \alpha_w}{R_1^2 \times R_2^2} \qquad （式 11.2.3.5-4）$$

式中：

A—放射源的活度，单位为兆贝可（MBq）；

K_γ—放射源的空气比释动能率常数（或称 K_γ常数），在屏蔽计算中以周围剂量当

量作为空气比释动能率的近似，此时，K_γ单位记为μSv/（h·MBq）；

S_w—迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可视见的墙区面积，m^2；

a_w—散射体的散射因子；

R_1—辐射源至散射体中心点的距离，m；

R_2—散射体中心点至计算点的距离，m。

在给定防护门的铅屏蔽厚度（X）mm 时，防护门外的辐射剂量率 H（μSv/h）计算见下式：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-\left(\frac{X}{TVL}\right)} + \dot{H}_{og} \qquad （式 11.2.3.5-5）$$

式中：

$\dot{H}_g$—入口 g 处的散射辐射剂量率，μSv/h；

$\dot{H}_{og}$—O 位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在 g 处的剂量率，μSv/h；

TVL—辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度[式中TVL=5.0mm（铅）]，单位为mm。

（4）参数的选取

本项目拟建设 ^{192}Ir 后装机 1 台，根据医院提供的资料，该后装机的技术参数如表 11.2.3.5-2 所示。

表 11.2.3.5-2- 后装机的技术参数

核素	活度（Bq）	γ射线能量均值	空气比释动能率常数 K_r	源距地面高度
^{192}Ir	5.55E+11（15Ci）	0.37MeV	0.111 μSv/(h·MBq)	1.0m

（5）预测结果与分析

①屏蔽体外剂量的计算

本项目后装机拟使用 1 枚活度为 5.55E+11Bq 的 ^{192}Ir 放射源进行放射治疗。

表 11.2.3.5-3 各关注点初级辐射剂量率的预测结果

场所名称	关注点	点位描述	A MBq	K_γ μSv/（h·MBq）	屏蔽厚度 m	有效厚度 m	R m	f	TVL=TVL_1 cm	$\dot{H}$ μSv/h
后装机房	a	北墙外30cm处（走廊）								
	b	南墙外 30cm（准备室）								
	e	东墙外 30cm（走廊）								
	k	西墙外 30cm（下沉庭院）								
	f	西墙外 30cm								

		（控制室）
	g	防护门外 30cm（缓冲间）
	l	顶棚地面上 30cm 处（规划公园绿地）

②防护门外迷路散射辐射剂量

表11.2.3.5-4　关注点g点处未经防护门屏蔽的散射辐射剂量率预测结果

关注点	A MBq	K_γ μSv/（h·MBq）	S_w m^2	α_w	R_1 m	R_2 m	$\dot{H}_g$ μSv/h
g							

表 11.2.3.5-5　防护门外的辐射剂量率计算参数及结果

关注点	$\dot{H}_g$ μSv/h	X mm	TVL mm	$\dot{H}_{og}$ μSv/h	$\dot{H}$ μSv/h
g					

③后装机机房辐射防护评价小结

表 11.2.3.5-6　剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较

场所名称	关注点	点位描述	剂量率预测结果（μSv/h）	剂量控制水平（μSv/h）	是否符合要求
后装机房	a	北墙外30cm处（走廊）			符合
	b	南墙外 30cm（准备室）			符合
	e	东墙外 30cm（走廊）			符合
	k	西墙外 30cm（下沉庭院）			符合
	f	西墙外 30cm（控制室）			符合
	g	防护门外 30cm（缓冲间）			符合
	l	顶棚地面上 30cm 处（规划公园绿地）			符合

通过上表可以看出，本项目后装机房的辐射屏蔽措施均能够使机房外的辐射剂量率满足周围剂量当量率参考控制水平要求。

（6）项目运行对辐射工作人员和周围公众年有效剂量的影响

①工作负荷

本项目后装机配备辐射工作人员（技师）2 名，2 名辐射工作人员均为新增，且为后装机机房专职辐射工作人员，不交叉操作其他放疗设备。本项目辐射工作人员每天工作 8 小时，每年工作 250 天。

本项目拟新建 1 间后装机房，拟安装 1 台后装机，投入使用后，预计每天放射治疗工作量最多为 15 人，每周工作 5 天，参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分：

γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中附录 F.1 的“示例条件与基本参数”：平均每位患者的治疗照射时间为 6min，则周照射时间为 7.5h，年照射时间为 375h。

②人员受照剂量估算

根据表 11.2.3.5-6 预测的辐射剂量率，结合后装机工作负荷、关注点处人员居留因子等参数，采用式 11.2.1.8-1 计算即可得到辐射工作人员和周围公众的年有效剂量，具体见下表。

表 11.2.3.5-7　后装机辐射工作人员和周围公众附加剂量估算结果

关注点	点位描述	$\dot{H}$（μSv/h）	居留因子 T	使用因子 U	受照时间 h	年有效剂量 mSv	年剂量约束值 mSv
a	北墙外30cm处（走廊）						公众 0.1
b	南墙外 30cm（准备室）						
e	东墙外 30cm（走廊）						
k	西墙外 30cm（下沉庭院）						
f	西墙外 30cm（控制室）						职业人员 5.0
g	防护门外 30cm（缓冲间）						公众 0.1
l	顶棚地面上 30cm 处（规划公园绿地）						

由上表可知，本项目控制室内辐射工作人员受照射剂量为 6.44E-07mSv/a；本项目后装机运行过程中公众最大受照剂量为 3.58E-02mSv/a，低于本报告提出的 0.1mSv/a 的剂量约束值。

后装机摆位人员辐射影响：辐射工作人员协助患者摆位时在治疗室内的停留时间按 2min 计，与工作贮源器的平均距离按 1m 考虑。参考《后装γ源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）中“4.2.2 工作贮源器内装载最大容许活度时，距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 5μSv/h”的要求，以该泄漏辐射的剂量率限值作为辐射工作人员工作位的最大辐射剂量率进行计算，则辐射工作人员全年摆位过程所受的个人剂量为 5μSv/h×2min/人×15 人/d×250d/a=6.25E-01mSv/a。

辐射工作人员在控制位所受照射剂量为 6.44E-07mSv/a，考虑到摆位和控制室工作人员可能的重复性，则本项目后装机治疗辐射工作人员所受照射的年有效剂量为 6.25E-

01mSv/a，满足工作人员年剂量约束值不大于 5mSv 的要求。

（7）废旧放射源对环境的影响分析

后装机更换的废 ^{192}Ir 放射源应当按照废旧放射源返回合同规定，将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方，对周边环境无影响。

（8）固体废物对环境的影响分析

后装机配套使用 UPS 电源，该 UPS 电源采用铅蓄电池供电，根据《国家危险废物名录》（2025 年版），废铅蓄电池属于危险废物（废物类别 HW31 含铅废物，废物代码：900-052-31），其更换周期约 5 年/次，更换下的 UPS 电源交由有资质单位处置，对周边环境无影响。

（9）臭氧和氮氧化物对环境的影响分析

本项目后装机房设计有强制排风系统，采取全排全送的通风方式，设计换气次数大于 4 次/h，废气经由排风井内单独密闭管道排至住院楼 C 楼楼顶，并高出屋脊排放。符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中通风换气次数应不小于 4 次/h 的规定。臭氧和氮氧化物排入大气环境后，经自然分解，可达标排放，对周围环境影响较小。

11.2.3.6 CT 模拟定位机

（1）屏蔽体外剂量的计算

①参数的选取

本项目放疗科所使用的 CT 模拟定位机额定管电压均 140kV，由于 CT 自身带有屏蔽系统，机房周围主要受泄漏辐射影响，参考《医用电气设备 第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB9706.103-2020）中“12.4 加载状态下的泄漏辐射”，本项目 CT 泄漏辐射空气比释动能不超过 1mGy/h。屏蔽计算时，参考 GBZ/T201.1，μGy/h 与μSv/h 的转化因子取 1。

②预测结果与分析

根据表 10.1.2.2-3 可知，本项目 CT 模拟定位机房屏蔽体外最低铅当量为 3mmPb，根据《放射诊断放射防护要求》附录 C 的 C.1.2 中式 C.1 计算得屏蔽透射因子为 1.28E-04。距离屏蔽体外最近关注点的距离取 3.15m，以上述数据核算，CT 设备运行所致的辐射剂量率为 1.29E-02μSv/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定的 2.5μSv/h 控制剂量率要求。

（2）项目运行对辐射工作人员和周围公众年有效剂量的影响

①工作负荷

本项目 1 间 CT 模拟定位机房配备辐射工作人员 2 名（均为技师），2 名辐射工作人员均为新增，且为 CT 模拟定位机房专职辐射工作人员，不交叉操作其他放疗设备。本项目辐射工作人员每天工作 8 小时，每年工作 250 天。

CT 模拟定位机投入使用后，预计每天诊断患者最多为 200 人次，设备单次曝光时间不超过 20 秒，则单台设备年出束时间为 278h。

②人员受照剂量估算

根据各关注点的剂量率，对 CT 模拟定位机机房工作人员及周围的公众人员进行年有效剂量估算。据式 11.2.1.1-4 进行计算，居留因子参考表 11.2.1.1-6。机房外职业人员和周围公众人员可能接受的最大辐射年有效剂量见下表：

表 11.2.2.5-1　CT 模拟定位机辐射工作人员和周围公众附加剂量估算结果

人员类型	位置描述		T	t（h）	$\dot{H}$（μSv/h）	年有效剂量（mSv）	年剂量约束值（mSv/a）	结论
辐射人员	CT 模拟定位机机房控制室						职业人员 5.0	满足
公众人员	CT 模拟定位机房	东侧水冷机房					公众 0.1	满足
		南侧走廊						
		北侧走廊						
		上层规划公园绿地						

由上表可知，本项目控制室内辐射工作人员受照射剂量为 3.57E-03mSv/a，低于本报告提出的 5mSv/a 的剂量约束值；本项目 CT 模拟定位机运行过程中公众最大受照剂量为 8.93E-04mSv/a，均低于本报告提出的 0.1mSv/a 的剂量约束值。

11.2.3.7 人员剂量叠加

由于本项目放疗科 7 间放疗机房从北至南一字排列，辐射工作人员进入机房摆位时会受到南北两侧机房的辐射影响。考虑到摆位和控制室工作人员可能的重复性，因此需叠加考虑南北两侧机房对辐射工作人员的影响。

表 11.2.3.7-1　放疗科辐射工作人员个人剂量叠加

人员类别		年有效剂量				年剂量约束值 mSv
		控制室 mSv	北侧机房对其影响 mSv	南侧机房对其影响 mSv	叠加 mSv	
辐射	TOMO 机房					5.0
	1 号加速器机房					

工作人员	2 号加速器机房	
	3 号加速器机房	
	4 号加速器机房	
	射波刀机房	
	磁共振加速器机房	

注：①直线加速器控制室辐射工作人员已叠加摆位时感生放射性对辐射工作人员的影响。

11.2.4 介入手术项目和内镜中心

本项目拟在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上三层建设 4 间 DSA 机房（分别为 DSA 机房 1~4），在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上四层建设 1 间 DSA 复合手术室。拟新增的 5 台 DSA 最大管电压均为 150kV，最大管电流均为 1250mA，主束方向均为主要向上。在综合楼 A 楼门诊（A1 区）地上四层内镜中心建设 1 间 ERCP 机房，拟新增的 1 台 ERCP 最大管电压为 125kV，最大管电流均为 250mA，主束方向为主要向上。

由于 DSA 机房 1~4 防护设计和设备参数均相同，故选取使用面积和最小单边长在 4 间机房中均为最小的 DSA 机房 3 开展理论分析，在 DSA 机房 3 屏蔽设计满足相关标准要求的情况下，其余 3 间 DSA 机房均可满足相关要求。由于 DSA 复合手术室、ERCP 机房与 DSA 机房 1~4 的防护设计和设备参数不尽相同，另外单独进行计算。

11.2.4.1设备参数和机房情况

根据医院提供资料，本项目拟新增的 5 台 DSA 和 1 台 ERCP，设备参数与工况、机房防护情况如表 11.2.4.1-1。

表11.2.4.1-1　本项目DSA设备参数与工况及防护情况

4 间 DSA 机房和 1 间 DSA 复合手术室	厂家型号		未定	
	技术参数		管电压 150kV/管电流 1250mA	
	过滤材料		2.5mmAl①	
	工况模式	摄影	工况下，最大常用电压 80kV，最大常用电流 500mA②	距靶点 1m 处的空气比释动能率为 1.08E+08μGy/h③
		透视	工况下，最大常用电压 80kV，最大常用电流 20mA②	距靶点 1m 处的空气比释动能率为 4.32E+06Gy/h③
	泄漏辐射源强		离靶点 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率不超过 1mGy/h④	
	机房尺寸		DSA 机房 1	长 9m×宽 7.35m×高 4.8m
			DSA 机房 2	长 9m×宽 7.15m×高 4.8m
			DSA 机房 3	长 9m×宽 5.35m×高 4.8m
			DSA 机房 4	长 7.6m×宽 6.65m×高 4.8m
			DSA 复合手术室	长 8.9m×宽 7.5m×高 4.8m
	防护设施	四周墙体	300mm 混凝土实心砖	

		防护门	300mm 混凝土	
		观察窗	300mm 混凝土	
		顶棚	内衬 4mm 铅门	
		地坪	4mm 铅玻璃	
		铅屏风	0.5mmPb铅板	
		个人防护用品	铅衣、铅围脖、铅眼镜等防护用品（0.5mmPb）、介入防护手套（0.025mmPb）	
1 间 ERCP 机房	厂家型号		未定	
	技术参数		管电压 125kV/管电流 250mA	
	过滤材料		2.5mmAl①	
	工况模式	摄影	工况下，最大常用电压 80kV，最大常用电流 60mA②	距靶点 1m 处的空气比释动能率为 1.30E+07μGy/h③
		透视	工况下，最大常用电压 80kV，最大常用电流 5mA②	距靶点 1m 处的空气比释动能率为 1.08E+06μGy/h③
	泄漏辐射源强		离靶点 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率不超过 1mGy/h④	
	机房尺寸		ERCP 机房	长 8.2m×宽 5.5m×高 4.8m
	防护设施	四周墙体	240mm 混凝土实心砖	
		顶棚	200mm 混凝土	
		地坪	200mm 混凝土	
		防护门	内衬 4mm 铅门	
		观察窗	4mm 铅玻璃	
		铅屏风	0.5mmPb铅板	
		个人防护用品	铅衣、铅围脖、铅眼镜等防护用品（0.5mmPb）、介入防护手套（0.025mmPb）	

注：①本项目 DSA 和 ERCP 拟购置正规生产厂家生产的设备，但暂未确定设备厂家及设备型号，未取得设备厂商提供的相应资料，因此参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中 5.1.5C）“除牙科摄影和乳腺摄影用 X 射线设备外，X 射线有用线束中的所有物质形成的等效总滤过，应不小于 2.5mmAl”的要求，本次计算总滤过取 2.5mmAl 保守读数。

②根据 DSA 和 ERCP 设备的工作原理，设备在正常工况时，设备参数无法同时达到最大管电压和最大管电流。正常工况时，不同手术类型和不同患者身体状况都会影响管电压和管电流的参数。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常留有一定的余量。环评拟进行保守估算，采用摄影工况下的设备参数：DSA 最大常用电压 80kV，最大常用电流 500mA；ERCP 最大常用电压 80kV，最大常用电流 60mA。透视工况下的设备参数：DSA 最大常用电压 80kV，最大常用电流 20mA；ERCP 最大常用电压 80kV，最大常用电流 5mA。

③根据《辐射防护导论》（第三分册）图 3.1 可知，X 射线过滤材料为 2.5mmAl，80kV 电压下，发射率常数为 0.06mGy/mAs。

④参考国际放射防护委员会第 33 号出版物《医用外照射源的辐射防护》“（77）用于诊断目的的每一个 X 射线管必须封闭在管套内，以使得位于该套管内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1m 处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1mGy/h”。

11.2.4.2预测点位情况

取医生手术位、控制室操作位、各防护墙外30cm处、铅防护门外30cm处、防护窗外30cm处、楼上离地100cm处、楼下离地170cm处为预测点位。

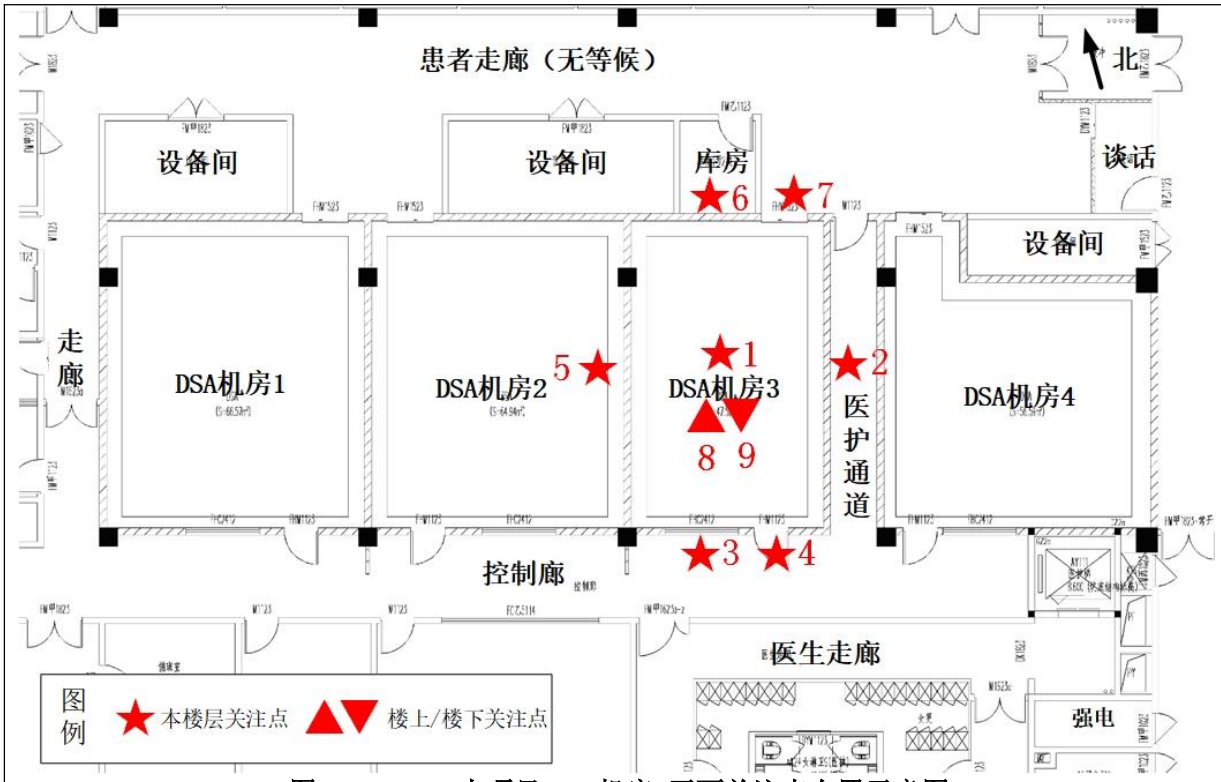


图11.2.4.2-1　本项目DSA机房3平面关注点布置示意图

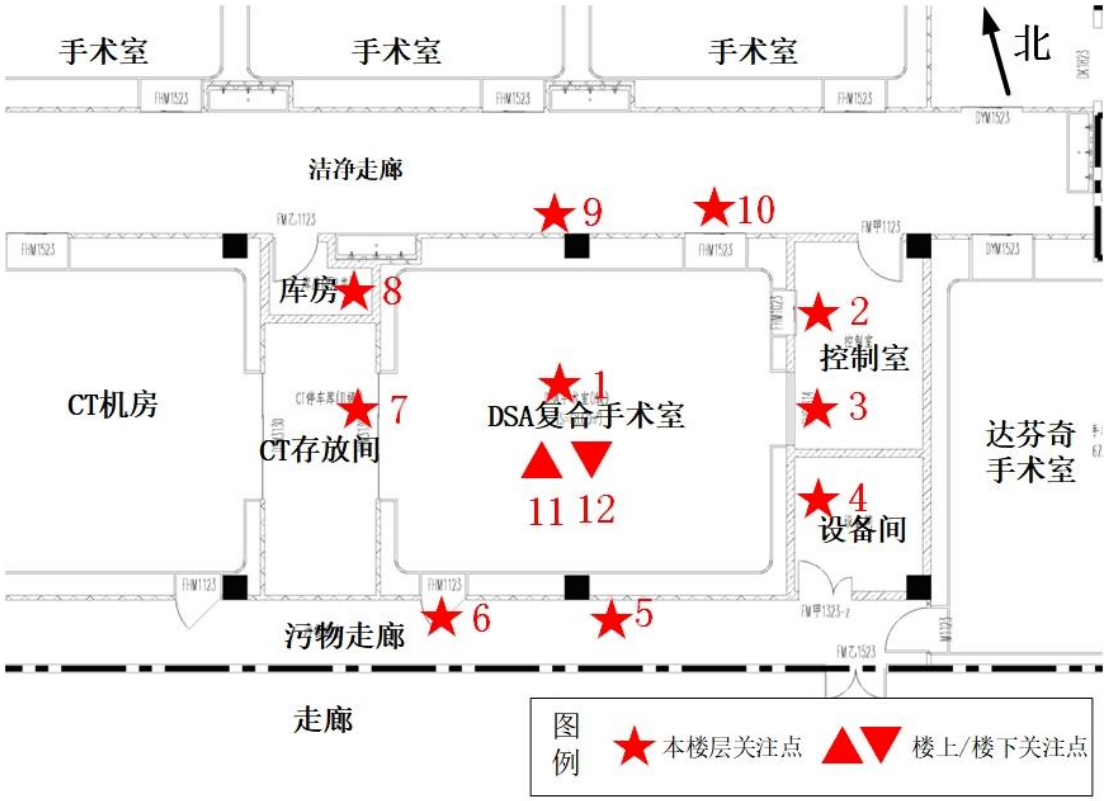


图11.2.4.2-2　本项目DSA复合手术室机房平面关注点布置示意图

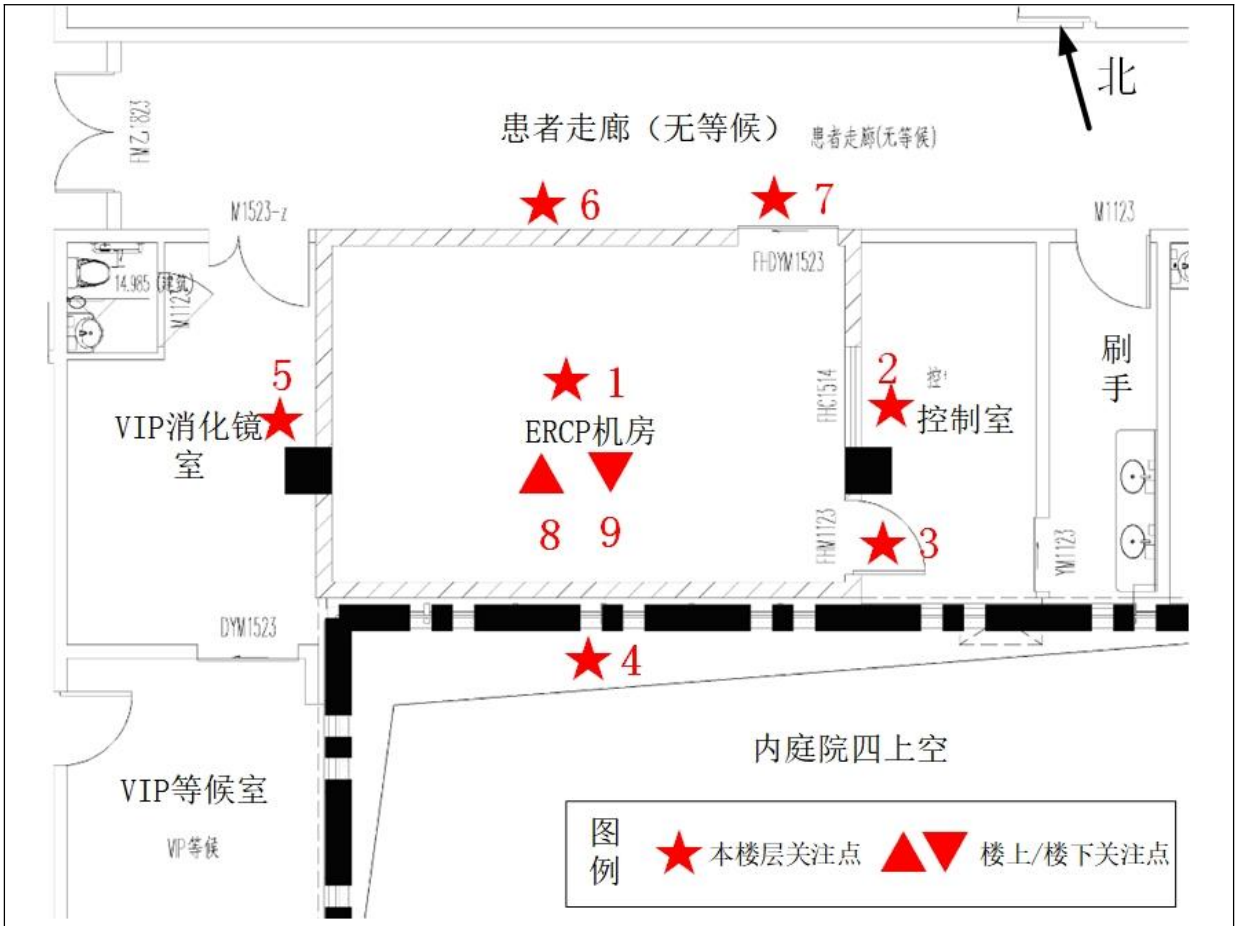


图11.2.4.2-3　本项目ERCP机房平面关注点布置示意图

11.2.4.3有用线束辐射影响

介入手术过程中，DSA和ERCP的图像增强器对X射线主束有屏蔽作用，NCRP147号报告“Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities”4.1.6节（Primary Barriers，P41~P45）及5.1节（Cardiac Angiography，P72）指出，屏蔽估算时不需要考虑主束照射。因此DSA和ERCP运行主要考虑泄漏和散射辐射对周围环境的影响。

11.2.4.4泄漏和散射辐射影响

本项目 DSA 和 ERCP 设备主束方向主要向上，设备运行时，机房顶棚会受到主束照射，医生手术位、机房的四侧墙体、地坪、防护门及铅玻璃窗，会受到患者体表散射辐射和泄漏辐射影响。

手术医生和护士在机房内进行介入手术时，会配铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等个人防护物品，另外配备铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘等辅助防护设施，其中铅橡胶围裙、铅防护眼镜、铅悬挂防护屏、铅防护吊帘和床侧防护帘的防护铅当量按 0.5mmPb 计算，介入防护手套按 0.025mmPb 计算。

（1）患者体表散射屏蔽估算

以下公式根据李德平、潘自强主编《辐射防护手册》（第一分册—辐射源与屏蔽）中公式（10.8）、（10.9）、（10.10）等公式演化而来。

$$H_S = \frac{H_0 \cdot a \cdot B \cdot (s/400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \cdot \mathrm{K} \qquad （式 11.2.4.4-1）$$

式中：

H_S—预测点处的散射剂量率，μGy/h；

H_0—距靶 1m 处初级 X 射线束造成的空气比释动能率，μGy/h；

α—患者对 X 射线的散射比，由《辐射防护手册》（第一分册）表 10.1 查取；本项目常用最大管电压 80kV，保守以表 10.1 中所给最大值（散射角为 135°）采用内插法求取 80kV 对应的α值为 0.0016；

s—散射面积，cm^2，本项目考虑手术需要的常用最大照射面积 $256cm^2$；

d—源与病人的距离，m，取 0.45m；

d_S—*患者*与预测点的距离，m；

K—有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy；查《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T830-2024）表 G.2，根据内插法取宽谱 70kV 时 K 值 1.60Sv/Gy；

B—屏蔽透射因子，参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 的 C.1.2 中式（C.1）及表 C.2 的相关参数进行计算。

$$\mathrm{B} = \left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)\mathrm{e}^{\alpha\gamma \mathrm{X}} - \frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \qquad （式 11.2.4.4-2）$$

式中：

B—给定铅厚度的屏蔽透视因子；

β—铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

α—铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

γ—铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

X—铅厚度。

此处散射线是指本项目最大常用管电压 80kV 下有用线束（初级 X 射线）的散射线，其能量偏保守取有用线束侧向（散射角θ=90°）的一次散射线能量，可借鉴康普顿散射定律计算一次散射线能量 E 与入射的初级 X 射线能量 E_0之比值：$E/E_0=1/[1+E_0(1-\cos\theta)/0.511]=1/[1+0.08\times(1-\cos 90°)/0.511]\approx 0.865$，继而计算一次散射线能量 E 对应的 kV 值为 80kV×0.865=69.2kV≈70kV。70kV 下铅对 X 射线衰减的有关的拟合参数具体见

表 11.2.4.4-1。

表 11.2.4.4-1　70kV 下铅对 X 射线衰减的有关的拟合参数

管电压	铅		
	α	β	γ
70kV	5.369	23.49	0.5881

根据式11.2.4.4-2，70kV下各预测点的屏蔽透射因子计算结果具体见表11.2.4.4-2。

表 11.2.4.4-2　70kV 下各预测点屏蔽透射因子计算结果

场所	预测点位	屏蔽材料及厚度	α	β	γ	B
DSA 机房 3	1#第一术者位					
	1#第二术者位					
	2#东侧防护墙外 30cm 处					
	3#南侧观察窗外 30cm 处					
	4#南侧防护门外 30cm 处					
	5#西侧防护墙外 30cm 处					
	6#北侧防护墙外 30cm 处					
	7#北侧防护门外 30cm 处					
	8#顶棚上方距顶棚地面 100cm 处					
	9#机房地面下方距楼下地面 170cm 处					
DSA 复合手术室	1#第一术者位					
	1#第二术者位					
	2#东侧防护门外 30cm 处					
	3#南侧观察窗外 30cm 处					
	4#东侧防护墙外 30cm 处					
	5#南侧防护墙外 30cm 处					
	6#南侧防护门外 30cm 处					
	7#西侧防护门外 30cm 处					
	8#西侧防护墙外 30cm 处					

	9#北侧防护墙外30cm处	
	10#北侧防护门外30cm处	
	11#顶棚上方距顶棚地面100cm处	
	12#机房地面下方距楼下地面170cm处	
ERCP机房	1#第一术者位	
	1#第二术者位	
	2#东侧观察窗外30cm处	
	3#东侧防护门外30cm处	
	4#南侧防护墙外30cm处	
	5#西侧防护墙外30cm处	
	6#北侧防护墙外30cm处	
	7#北侧防护门外30cm处	
	8#顶棚上方距顶棚地面100cm处	
	9#机房地面下方距楼下地面170cm处	

根据式11.2.4.4-1和表11.2.4.4-2，各预测点位散射辐射剂量率计算参数及结果见表11.2.4.4-3。

表11.2.4.4-3　各预测点位散射辐射剂量率计算参数及结果

场所	工作模式	关注点位置描述	H_0	α	s	d_0	d_S	B	K	H_S
			μGy/h	/	cm^2	m	m	/	Sv/Gy	μSv/h
DSA机房3	摄影	2#东侧防护墙外30cm处								
		3#南侧观察窗外30cm处								
		4#南侧防护门外30cm处								
		5#西侧防护墙外30cm处								
		6#北侧防护墙外30cm处								
		7#北侧防护门外30cm处								

			8#顶棚上方距顶棚地面100cm处
			9#机房地面下方距楼下地面170cm处
		透视	1#第一术者位
			1#第二术者位
			2#东侧防护墙外30cm处
			3#南侧观察窗外30cm处
			4#南侧防护门外30cm处
			5#西侧防护墙外30cm处
			6#北侧防护墙外30cm处
			7#北侧防护门外30cm处
			8#顶棚上方距顶棚地面100cm处
			9#机房地面下方距楼下地面170cm处
	DSA复合手术室	摄影	2#东侧防护门外30cm处
			3#南侧观察窗外30cm处
			4#东侧防护墙外30cm处
			5#南侧防护墙外30cm处
			6#南侧防护门外30cm处
			7#西侧防护门外30cm处
			8#西侧防护墙外30cm处
			9#北侧防护墙外30cm处
			10#北侧防护门外30cm处
			11#顶棚上方距顶棚地面100cm处

			12#机房地面下方距楼下地面170cm 处
		透视	1#第一术者位
			1#第二术者位
			2#东侧防护门外 30cm 处
			3#南侧观察窗外 30cm 处
			4#东侧防护墙外 30cm 处
			5#南侧防护墙外 30cm 处
			6#南侧防护门外 30cm 处
			7#西侧防护门外 30cm 处
			8#西侧防护墙外 30cm 处
			9#北侧防护墙外 30cm 处
			10#北侧防护门外 30cm 处
			11#顶棚上方距顶棚地面100cm 处
			12#机房地面下方距楼下地面170cm 处
ERCP机房		摄影	2#东侧观察窗外 30cm 处
			3#东侧防护门外 30cm 处
			4#南侧防护墙外 30cm 处
			5#西侧防护墙外 30cm 处
			6#北侧防护墙外 30cm 处
			7#北侧防护门外 30cm 处
			18#顶棚上方距顶棚地面100cm 处
			9#机房地面下方距楼下地面170cm 处
		透视	1#第一术者位
			1#第二术者位

		2#东侧观察窗外 30cm 处	
		3#东侧防护门外 30cm 处	
		4#南侧防护墙外 30cm 处	
		5#西侧防护墙外 30cm 处	
		6#北侧防护墙外 30cm 处	
		7#北侧防护门外 30cm 处	
		18#顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	
		9#机房地面下方距楼下地面 170cm 处	

（2）泄漏辐射剂量估算

泄漏辐射剂量率利用点源辐射进行计算，各预测点的泄漏辐射剂量率可用式11.2.4.4-3进行计算。

$$H_L = \frac{H_0 \cdot B}{d^2} \cdot \mathrm{K} \qquad （式 11.2.4.4-3）$$

式中：

H_L—预测点处的泄漏辐射剂量率，μGy/h；

H_0—距靶 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率，μGy/h，本项目取 1mGy/h；

d—靶点距关注点的距离，m；

K—有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy；查《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T830-2024）表 G.2，表中 80kV 时 K 值为 1.67Sv/Gy；

B—屏蔽透射因子，公式计算同式 11.2.4.4-2；由 NCRP147 报告 TABLE A.1、TABLE C.1 查取 80kV 管电压下铅对 X 射线衰减的有关的拟合参数，具体见下表。

表 11.2.4.4-4　80kV 下铅、混凝土对 X 射线衰减的有关的拟合参数

管电压	铅		
	α	β	γ
80kV（主束）	4.04	21.69	0.7187

根据式11.2.4.4-1，80kV下各预测点的屏蔽透射因子计算结果具体见表11.2.4.4-5。

表 11.2.4.4-5　80kV 下各预测点屏蔽透射因子计算结果

场所	预测点位	屏蔽材料及厚度	α	β	γ	B
DSA 机	1#第一术者位					

房 3	1#第二术者位	
	2#东侧防护墙外 30cm 处	
	3#南侧观察窗外 30cm 处	
	4#南侧防护门外 30cm 处	
	5#西侧防护墙外 30cm 处	
	6#北侧防护墙外 30cm 处	
	7#北侧防护门外 30cm 处	
	8#顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	
	9#机房地面下方距楼下地面 170cm 处	
DSA 复合手术室	1#第一术者位	
	1#第二术者位	
	2#东侧防护门外 30cm 处	
	3#南侧观察窗外 30cm 处	
	4#东侧防护墙外 30cm 处	
	5#南侧防护墙外 30cm 处	
	6#南侧防护门外 30cm 处	
	7#西侧防护门外 30cm 处	
	8#西侧防护墙外 30cm 处	
	9#北侧防护墙外 30cm 处	
	10#北侧防护门外 30cm 处	
	11#顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	
	12#机房地面下方距楼下地面 170cm 处	
ERCP 机房	1#第一术者位	
	1#第二术者位	
	2#东侧观察窗外 30cm 处	

	3#东侧防护门外 30cm 处	
	4#南侧防护墙外 30cm 处	
	5#西侧防护墙外 30cm 处	
	6#北侧防护墙外 30cm 处	
	7#北侧防护门外 30cm 处	
	18#顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	
	9#机房地面下方距楼下地面 170cm 处	

根据式 11.2.4.4-3 和表 11.2.4.4-5，各预测点位泄漏辐射剂量率计算参数及结果见表 11.2.4.4-6。

表11.2.4.4-6　各预测点泄漏辐射剂量率计算参数及结果

场所	工作模式	关注点位置描述	H_0	d	B	K	H_L
			μGy/h	m	/	Sv/Gy	μSv/h
DSA 机房3	摄影	2#东侧防护墙外 30cm 处					
		3#南侧观察窗外 30cm 处					
		4#南侧防护门外 30cm 处					
		5#西侧防护墙外 30cm 处					
		6#北侧防护墙外 30cm 处					
		7#北侧防护门外 30cm 处					
		8#顶棚上方距顶棚地面 100cm 处					
		9#机房地面下方距楼下地面 170cm 处					
	透视	1#第一术者位					
		1#第二术者位					
		2#东侧防护墙外 30cm 处					
		3#南侧观察窗外 30cm 处					
		4#南侧防护门外 30cm 处					
		5#西侧防护墙外 30cm 处					
		6#北侧防护墙外 30cm 处					
		7#北侧防护门外 30cm 处					
		8#顶棚上方距顶棚地面 100cm 处					
		9#机房地面下方距楼下地面 170cm 处					
DSA 复合	摄影	2#东侧防护门外 30cm 处					
		3#南侧观察窗外 30cm 处					

手术室		4#东侧防护墙外 30cm 处	
		5#南侧防护墙外 30cm 处	
		6#南侧防护门外 30cm 处	
		7#西侧防护门外 30cm 处	
		8#西侧防护墙外 30cm 处	
		9#北侧防护墙外 30cm 处	
		10#北侧防护门外 30cm 处	
		11#顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	
		12#机房地面下方距楼下地面 170cm 处	
	透视	1#第一术者位	
		1#第二术者位	
		2#东侧防护门外 30cm 处	
		3#南侧观察窗外 30cm 处	
		4#东侧防护墙外 30cm 处	
		5#南侧防护墙外 30cm 处	
		6#南侧防护门外 30cm 处	
		7#西侧防护门外 30cm 处	
		8#西侧防护墙外 30cm 处	
		9#北侧防护墙外 30cm 处	
		10#北侧防护门外 30cm 处	
		11#顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	
		12#机房地面下方距楼下地面 170cm 处	
ERCP 机房	摄影	2#东侧观察窗外 30cm 处	
		3#东侧防护门外 30cm 处	
		4#南侧防护墙外 30cm 处	
		5#西侧防护墙外 30cm 处	
		6#北侧防护墙外 30cm 处	
		7#北侧防护门外 30cm 处	
		18#顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	
		9#机房地面下方距楼下地面 170cm 处	
	透视	1#第一术者位	
		1#第二术者位	
		2#东侧观察窗外 30cm 处	
		3#东侧防护门外 30cm 处	
		4#南侧防护墙外 30cm 处	
		5#西侧防护墙外 30cm 处	

		6#北侧防护墙外 30cm 处	
		7#北侧防护门外 30cm 处	
		18#顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	
		9#机房地面下方距楼下地面 170cm 处	

（3）总辐射剂量率估算

根据表 11.2.4.4-4 和表 11.2.4.4-6 的计算结果，将各个预测点的总的辐射剂量率统计于表 11.2.4.4-7。

表11.2.4.4-7　各个预测点的总辐射剂量率

场所	工作模式	关注点位置描述	散射辐射剂量率	泄漏辐射剂量率	总辐射剂量率
			μSv/h	μSv/h	μSv/h
DSA机房3	摄影	2#东侧防护墙外 30cm 处			
		3#南侧观察窗外 30cm 处			
		4#南侧防护门外 30cm 处			
		5#西侧防护墙外 30cm 处			
		6#北侧防护墙外 30cm 处			
		7#北侧防护门外 30cm 处			
		8#顶棚上方距顶棚地面 100cm 处			
		9#机房地面下方距楼下地面 170cm 处			
	透视	1#第一术者位			
		1#第二术者位			
		2#东侧防护墙外 30cm 处			
		3#南侧观察窗外 30cm 处			
		4#南侧防护门外 30cm 处			
		5#西侧防护墙外 30cm 处			
		6#北侧防护墙外 30cm 处			
		7#北侧防护门外 30cm 处			
		8#顶棚上方距顶棚地面 100cm 处			
		9#机房地面下方距楼下地面 170cm 处			
DSA复合手术室	摄影	2#东侧防护门外 30cm 处			
		3#南侧观察窗外 30cm 处			
		4#东侧防护墙外 30cm 处			
		5#南侧防护墙外 30cm 处			
		6#南侧防护门外 30cm 处			
		7#西侧防护门外 30cm 处			
		8#西侧防护墙外 30cm 处			

		9#北侧防护墙外 30cm 处				
		10#北侧防护门外 30cm 处				
		11#顶棚上方距顶棚地面 100cm 处				
		12#机房地面下方距楼下地面 170cm 处				
	透视	1#第一术者位				
		1#第二术者位				
		2#东侧防护门外 30cm 处				
		3#南侧观察窗外 30cm 处				
		4#东侧防护墙外 30cm 处				
		5#南侧防护墙外 30cm 处				
		6#南侧防护门外 30cm 处				
		7#西侧防护门外 30cm 处				
		8#西侧防护墙外 30cm 处				
		9#北侧防护墙外 30cm 处				
		10#北侧防护门外 30cm 处				
		11#顶棚上方距顶棚地面 100cm 处				
		12#机房地面下方距楼下地面 170cm 处				
ERCP 机房	摄影	2#东侧观察窗外 30cm 处				
		3#东侧防护门外 30cm 处				
		4#南侧防护墙外 30cm 处				
		5#西侧防护墙外 30cm 处				
		6#北侧防护墙外 30cm 处				
		7#北侧防护门外 30cm 处				
		18#顶棚上方距顶棚地面 100cm 处				
		9#机房地面下方距楼下地面 170cm 处				
	透视	1#第一术者位				
		1#第二术者位				
		2#东侧观察窗外 30cm 处				
		3#东侧防护门外 30cm 处				
		4#南侧防护墙外 30cm 处				
		5#西侧防护墙外 30cm 处				
		6#北侧防护墙外 30cm 处				
		7#北侧防护门外 30cm 处				
		18#顶棚上方距顶棚地面 100cm 处				
		9#机房地面下方距楼下地面 170cm 处				

根据计算结果，对各机房各预测点位辐射剂量率分析如下：

①DSA 机房 3

透视工况下，DSA 机房 3 第一术者位总辐射剂量率为 838.73μSv/h，第二术者位总辐射剂量率为 209.68μSv/h。

摄影工况下，控制廊操作位的辐射剂量率为 1.14E-06μSv/h，机房外辐射剂量率最大为 1.19E-03Sv/h；透视工况下，控制室操作位的辐射剂量率为 4.19E-07μSv/h，机房外辐射剂量率最大 5.75E-05μSv/h。

②DSA 复合手术室

透视工况下，DSA 复合手术室第一术者位总辐射剂量率为 838.73μSv/h，第二术者位总辐射剂量率为 209.68μSv/h。

摄影工况下，控制室操作位的辐射剂量率为 1.23E-06μSv/h，机房外辐射剂量率最大为 1.55E-03μSv/h；透视工况下，控制室操作位的辐射剂量率为 4.50E-07μSv/h，机房外辐射剂量率最大 7.44E-05μSv/h。

③ERCP 机房

ERCP 机房第一术者位总辐射剂量率为 278.34μSv/h，第二术者位总辐射剂量率为 69.58μSv/h。

摄影工况下，控制室操作位的辐射剂量率为 7.75E-07μSv/h，机房外辐射剂量率最大为 5.66E-04μSv/h；透视工况下，控制室操作位的辐射剂量率为 6.41E-07μSv/h，机房外辐射剂量率最大 2.92E-04μSv/h。

结合区域辐射环境背景水平，可以得出 DSA 机房 3、DSA 复合手术室的 DSA 以及 ERCP 机房的 ERCP 射线装置在正常运行情况下，机房外控制室、四周防护墙外、楼上、楼下、防护门及防护窗外的辐射剂量率均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中规定的屏蔽体外表面 30cm 处剂量率不大于 2.5μSv/h 的标准限值。由于 DSA 机房 3 的使用面积和最小单边长在 DSA 机房 1~4 中均为最小，因此，本项目 DSA 机房 1、2、4 外控制室、四周防护墙外、楼上、楼下及防护门外的辐射剂量率也均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中规定的屏蔽体外表面 30cm 处剂量率不大于 2.5μSv/h 的标准限值。

考虑到 DSA 机房 1、2、3、4 从西到东一字排开，南北两侧可能同时受到 4 间机房的叠加影响。考虑叠加影响后，摄影工况下机房外辐射剂量率最大为 1.19E-

03μSv/h*4=4.76E-03μSv/h;透视工况下,机房外辐射剂量率最大5.69E-05μSv/h*4=2.28E-04μSv/h。综上所述，在考虑叠加辐射影响后，4间DSA机房外剂量率仍能满足要求。

11.2.4.5滑轨CT辐射影响

（1）屏蔽体外剂量的计算

①参数的选取

本项目DSA复合手术室和CT复合手术室所使用的CT装置额定管电压为140kV，由于CT自身带有屏蔽系统，机房周围主要受泄漏辐射影响，参考《医用电气设备 第1-3部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断X射线设备的辐射防护》（GB9706.103-2020）中“12.4 加载状态下的泄漏辐射”，本项目CT泄漏辐射空气比释动能不超过1mGy/h。屏蔽计算时，参考GBZ/T201.1，μGy/h与μSv/h的转化因子取1。

②预测结果与分析

根据表10.1.3.2-1可知，DSA复合手术室屏蔽体外最低铅当量为3.2mmPb，根据《放射诊断放射防护要求》附录C的C.1.2中式C.1计算得屏蔽透射因子为8.24E-05。距离屏蔽体外最近关注点的距离取3.85m，以上述数据核算，CT设备运行所致的辐射剂量率为5.56E-03μSv/h,满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)规定的2.5μSv/h控制剂量率要求。

根据表10.1.3.2-1可知，CT复合手术室屏蔽体外最低铅当量为3mmPb，根据《放射诊断放射防护要求》附录C的C.1.2中式C.1计算得屏蔽透射因子为1.28E-04。距离屏蔽体外最近关注点的距离取3.8m，以上述数据核算，CT设备运行所致的辐射剂量率为8.83E-03μSv/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定的2.5μSv/h控制剂量率要求。

（2）项目运行对辐射工作人员和周围公众年有效剂量的影响

①DSA复合手术室

在DSA介入手术过程中需要CT曝光时，可将滑轨CT移动至DSA复合手术室，技师在DSA控制室内操作CT进行隔室曝光。滑轨CT在DSA复合手术室使用时，不与DSA同时运行。由于滑轨CT不与DSA同时使用，故不考虑屏蔽体外剂量率叠加影响，但仍需考虑滑轨CT对辐射工作人员的年有效剂量叠加。DSA复合手术室保守预计每年每台最大工作量为300台手术，滑轨CT单次曝光时间不超过20s，因此年出束

时间约 1.67h。经计算，医护人员和技师在控制室的年有效剂量为 9.29E-06mSv，公众最大受照剂量为 2.32E-06mSv（周边公众居留因子最大为 1/4）。

②CT复合手术室

在手术过程中需要 CT 曝光时，可将滑轨 CT 移动至 CT 复合手术室，技师在 CT 复合手术室控制室内操作 CT 进行隔室曝光。CT 复合手术室保守预计每年每台最大工作量为 600 台手术，滑轨 CT 单次曝光时间不超过 20s，因此年出束时间约 3.34h。经计算，医护人员和技师在控制室的年有效剂量为 2.95E-05mSv，公众最大受照剂量为 7.38E-06mSv（周边公众居留因子最大为 1/4）。

11.2.4.6工作人员及公众个人剂量估算

关注点人员的有效剂量根据式 11.2.1.8-1 进行计算，本项目保护目标年有效剂量估算详见表 11.2.4.6-1。

表11.2.4.6-1　本项目保护目标年有效剂量估算

场所	工作模式	关注点位置描述		总辐射剂量率	年受照时间	居留因子	年有效剂量
				μSv/h	h	/	mSv
DSA机房3	摄影	2#东侧防护墙外30cm处	医护通道				
		3#南侧观察窗外30cm处	控制廊				
		4#南侧防护门外30cm处	控制廊				
		5#西侧防护墙外30cm处	DSA机房2				
		6#北侧防护墙外30cm处	库房				
		7#北侧防护门外30cm处	患者走廊（无等候）				
		8#顶棚上方距顶棚地面100cm处	手术室、走廊、库房				
		9#机房地面下方距楼下地面170cm处	示教室、休息区、办公室、值班室、走廊				
	透视	1#第一术者位					
		1#第二术者位					
		2#东侧防护墙外30cm处	医护通道				
		3#南侧观察窗外30cm处	控制廊				
		4#南侧防护门外30cm处	控制廊				

		5#西侧防护墙外30cm处	DSA机房2	
		6#北侧防护墙外30cm处	库房	
		7#北侧防护门外30cm处	患者走廊（无等候）	
		8#顶棚上方距顶棚地面100cm处	手术室、走廊、库房	
		9#机房地面下方距楼下地面170cm处	示教室、休息区、办公室、值班室、走廊	
DSA复合手术室	摄影	2#东侧防护门外30cm处	控制室	
		3#南侧观察窗外30cm处	控制室	
		4#东侧防护墙外30cm处	设备间	
		5#南侧防护墙外30cm处	污物走廊	
		6#南侧防护门外30cm处	污物走廊	
		7#西侧防护门外30cm处	CT存放间	
		8#西侧防护墙外30cm处	库房	
		9#北侧防护墙外30cm处	洁净走廊	
		10#北侧防护门外30cm处	洁净走廊	
		11#顶棚上方距顶棚地面100cm处	屋面	
		12#机房地面下方距楼下地面170cm处	库房、走廊	
	透视	1#第一术者位		
		1#第二术者位		
		2#东侧防护门外30cm处	控制室	
		3#南侧观察窗外30cm处	控制室	
		4#东侧防护墙外30cm处	设备间	
		5#南侧防护墙外30cm处	污物走廊	
		6#南侧防护门外30cm处	污物走廊	
		7#西侧防护门外30cm处	CT存放间	

		8#西侧防护墙外30cm处	库房
		9#北侧防护墙外30cm处	洁净走廊
		10#北侧防护门外30cm处	洁净走廊
		11#顶棚上方距顶棚地面100cm处	屋面
		12#机房地面下方距楼下地面170cm处	库房、走廊
ERCP机房	摄影	2#东侧观察窗外30cm处	控制室
		3#东侧防护门外30cm处	控制室
		4#南侧防护墙外30cm处	临空
		5#西侧防护墙外30cm处	VIP消化镜室
		6#北侧防护墙外30cm处	患者走廊（无等候）
		7#北侧防护门外30cm处	患者走廊（无等候）
		18#顶棚上方距顶棚地面100cm处	屋面
		9#机房地面下方距楼下地面170cm处	急诊留观区
	透视	1#第一术者位	
		1#第二术者位	
		2#东侧观察窗外30cm处	控制室
		3#东侧防护门外30cm处	控制室
		4#南侧防护墙外30cm处	临空
		5#西侧防护墙外30cm处	VIP消化镜室
		6#北侧防护墙外30cm处	患者走廊（无等候）
		7#北侧防护门外30cm处	患者走廊（无等候）
		18#顶棚上方距顶棚地面100cm处	屋面
		9#机房地面下方距楼下地面170cm处	急诊留观区

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）中对于介入放射工作人员穿戴铅围裙估算有效剂量的计算方法，采用式11.2.4.6-1进行估算。

$$E=0.1H_o \qquad \text{（式 11.2.4.6-1）}$$

式中：

E—有效剂量中的外照射分量，单位：mSv；

H_o—铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 Hp（10），单位：mSv；本项目取表 11.2.4.6-1 中术者位的理论计算值。

经计算，DSA 机房 3 和 DSA 复合手术室第一术者位（身体）的受照的有效剂量均为 4.12mSv/a，第二术者位（身体）的受照的有效剂量均为 1.05mSv/a；ERCP 机房第一术者位（身体）的受照的有效剂量为 2.78mSv/a；则第二术者位（身体）的受照的有效剂量为 0.70mSv/a。

各预测点位年有效剂量估算结果汇总于表 11.2.4.6-2。

表 11.2.4.6-2　职业人员及公众年有效剂量估算结果

场所	关注点位置描述		摄影年有效剂量	透视年有效剂量	合计年有效剂量	年剂量约束值
			mSv	mSv	mSv	mSv
DSA 机房3	1#第一术者位					职业人员 5.0
	1#第二术者位					
	2#东侧防护墙外 30cm 处	医护通道				公众 0.1
	3#南侧观察窗外 30cm 处	控制廊				职业人员 5.0
	4#南侧防护门外 30cm 处	控制廊				
	5#西侧防护墙外 30cm 处	DSA 机房 2				公众 0.1
	6#北侧防护墙外 30cm 处	库房				
	7#北侧防护门外 30cm 处	患者走廊（无等候）				
	8#顶棚上方距顶棚地面 100cm 处	手术室、走廊、库房				
	9#机房地面下方距楼下地面 170cm 处	示教室、休息区、办公室、值班室、走廊				
DSA 复合手术室	第一术者位					职业人员 5.0
	第二术者位					
	2#东侧防护门外 30cm 处	控制室				
	3#南侧观察窗外 30cm 处	控制室				
	4#东侧防护墙外 30cm 处	设备间				公众 0.1

	5#南侧防护墙外30cm处	污物走廊				
	6#南侧防护门外30cm处	污物走廊				
	7#西侧防护门外30cm处	CT存放间				
	8#西侧防护墙外30cm处	库房				
	9#北侧防护墙外30cm处	洁净走廊				
	10#北侧防护门外30cm处	洁净走廊				
	11#顶棚上方距顶棚地面100cm处	屋面				
	12#机房地面下方距楼下地面170cm处	库房、走廊				
ERCP机房	第一术者位					职业人员5.0
	第二术者位					
	2#东侧观察窗外30cm处	控制室				
	3#东侧防护门外30cm处	控制室				
	4#南侧防护墙外30cm处	临空				公众0.1
	5#西侧防护墙外30cm处	VIP消化镜室				
	6#北侧防护墙外30cm处	患者走廊（无等候）				
	7#北侧防护门外30cm处	患者走廊（无等候）				
	18#顶棚上方距顶棚地面100cm处	屋面				
	9#机房地面下方距楼下地面170cm处	急诊留观区				

注：DSA和ERCP在摄影曝光过程中，介入医护人员退回到控制廊或控制室内，因此介入医护人员在摄影模式下所受剂量与控制室人员相同。DSA复合手术室控制室中的工作人员，还需考虑CT曝光的年有效剂量叠加。

根据计算结果，对各机房周围公众和职业人员年受照剂量分析如下：

①DSA机房3

DSA机房3的DSA射线装置在正常运行时，所致机房内职业人员年受照最大有效剂量为4.12mSv；控制室内职业人员年受照的最大有效剂量为2.38E-08mSv，满足本环评提出的年剂量约束值5mSv/a的要求。

公众人员受照的有效剂量最大为5.11E-06mSv/a，满足本环评提出的年剂量约束值

0.1mSv/a 的要求。

DSA 机房 1、2、4 与 DSA 机房 3 的诊疗流程、工作负荷相同，因此本项目综合楼 A 楼医技（A2 区）地上三层 4 间 DSA 机房辐射工作人员及公众受照剂量，均能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的剂量限值和本报告提出的剂量约束值的要求。

②DSA 复合手术室

DSA 复合手术室的 DSA 射线装置在正常运行时，并考虑滑轨 CT 曝光的年有效剂量后，所致机房内职业人员年受照最大有效剂量为 4.12mSv；控制室内职业人员年受照的最大有效剂量为 2.19E-06mSv，满足本环评提出的年剂量约束值 5mSv/a 的要求。

公众人员受照的有效剂量最大为 3.80E-06mSv/a，满足本环评提出的年剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

③ERCP 机房

ERCP 机房的 ERCP 射线装置在正常运行时，所致机房内职业人员年受照最大有效剂量为 2.78mSv；控制室内职业人员年受照的最大有效剂量为 6.61E-08mSv，满足本环评提出的年剂量约束值 5mSv/a 的要求。

公众人员受照的有效剂量最大为 4.08E-06mSv/a，满足本环评提出的年剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

上述估算仅是理论推算，实际应用时，辐射工作人员应规范佩戴个人剂量计，以对辐射工作人员实际受照剂量进行更准确的监测和监护，确保工作人员与职业健康。

11.2.5放射诊断项目运行时环境影响分析

11.2.5.1周围环境辐射水平分析

通过表 10.1.4.2-1 可知，放射诊断项目 12 台射线装置所在机房面积、最小单边长度均大于标准要求，其四面墙体、顶棚、防护门以及观察窗均采取了辐射屏蔽措施，充分考虑了邻室（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，该 12 台射线装置所在机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关防护设施的技术要求。

因此可推断放射诊断项目 12 台射线装置所在机房外的周围环境辐射水平能够满足不大于 2.5μSv/h 的要求。综上所述，放射诊断项目 12 台射线装置投入运行后，对评价

范围内环境保护目标（周围工作人员、公众）环境影响较小，对周围辐射环境影响较小。

11.2.5.2工作人员及公众个人剂量估算

关注点人员的有效剂量根据式 11.2.1.8-1 进行计算，其中职业人员居留因子取 1，公众居留因子取 1/4，本项目保护目标年有效剂量估算详见下表。

表 11.2.5.2-1　放射诊断项目辐射工作人员年有效剂量预测表

设备名称	曝光时间（s）	单台设备的日最大接诊数（人）	辐射剂量率（μSv/h）	年工作天数（d）	职业人员年有效剂量（mSv）	公众年有效剂量（mSv）
CT	≤20					
DR	≤0.2					
钼靶机	≤0.5					

根据计算结果可知，职业人员年受照的最大有效剂量为 2.08E-01mSv，满足本环评提出的年剂量约束值 5mSv/a 的要求；公众人员受照的有效剂量最大为 5.21E-02mSv/a，满足本环评提出的年剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

11.3 事故影响分析

11.3.1 核医学科辐射事故影响分析

（1）可能发生的辐射事故

本次评价项目是在核医学科工作场所使用非密封放射性核素，可能发生的事故如下：

①PET/CT 或 SPECT/CT 机房门灯联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房，对人员造成误照射。

②放射性药物试剂操作时打翻、洒漏造成操作台、地面、仪器设备表面污染。

③核医学科发生火灾造成的放射试剂瓶洒漏。

④核医学科管理工作不到位，造成放射性药物、放射源丢失或被盗。

（2）预防措施

①制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物洒漏事故的发生。若少量放射性物质洒漏，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。若大量放射性物质洒漏，医院应立即封锁相关场所，并向上级有关部门报告，等待专业人员前来处理。事故处理结束后，使用表面污染检测仪对洒漏放射性液态的区域进行表面污染监测，符合国家相关标准后，结束应急状态。事后及时总结经验，形成纸质报告并存档。

②制定和完善放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。专用贮存间设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

当发生放射性药物或校准源丢失事故时，事故发现者应立即报告医院辐射事故应急指挥领导小组，保护现场。领导小组立即启动本单位辐射事故应急预案，疏散现场无关人员，设置警戒区及警示标志；向当地生态环境部门、公安部门、卫生健康部门报告，在2小时内填写《辐射事故初始报告表》；协助公安、生态环境和卫生健康部门对丢失放射性药物进行侦查和追缴，力争在最短时间内将放射性物品找回。

③加强对有药患者的管理，在不影响诊断和治疗的情况下，限制其服药量，限制患者出院时的放射性药物携带量，并对出院的有药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公众场所活动，并避免与家人近距离密切接触。

④加强放射性废物的管理，对储存的放射性废物在废物桶外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。放射性固体废物经足够长的时间衰变后，方可排放或按照普通医疗垃圾处理，并做好监测记录。

⑤核医学科个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽子等基本防护用品，以及铅防护衣、防护镜等附加防护用品。工作人员进入监督区必须穿戴放射防护用品，个人计量仪佩戴于铅衣内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅衣、放射性污染防护服、戴口罩、手套，必要时戴防护眼镜。尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。为患者注射放射性药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应使用注射器屏蔽装置。科主任负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

⑥定期开展安全装置与设施检查，保证门机联锁装置有效。制定并落实操作规范，工作人员定期培训。

11.3.2 小动物核医学实验中心辐射事故影响分析

（1）可能发生的辐射事故

本次评价项目是在小动物核医学实验中心工作场所使用非密封放射性核素，可能发生的事故如下：

①小动物成像室门灯联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房，对

人员造成误照射。

②放射性药物试剂操作时打翻、洒漏造成操作台、地面、仪器设备表面污染。

③小动物核医学实验中心发生火灾造成的放射试剂瓶洒漏。

④小动物核医学实验中心管理工作不到位，造成放射性药物丢失或被盗。

⑤给药后实验动物管理不当，跑出小动物核医学实验中心后对周边无关人员造成误照射和对周围环境造成辐射污染。

（2）预防措施

小动物核医学实验中心工作场所可能发生的事故基本与核医学科一致，预防措施可参照核医学科进行。

11.3.3 放疗科 TOMO、直线加速器、射波刀和磁共振加速器辐射事故影响分析

（1）可能发生的辐射事故

本项目放疗科 TOMO、直线加速器、射波刀和磁共振加速器设备设有固有安全联锁装置，在正常使用的情况下发生事故的概率极小，可能发生的辐射事故主要包括：

①安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行设备，则可能造成误照射事故。

②除受治疗患者以外，机房中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认机房中环境便运行设备，则会造成机房中人员误照射。

（2）预防措施

一旦发现有人误入治疗室，工作人员应立即利用最近的紧急止动开关切断设备电源，启动医院辐射事故应急预案。为防止本项目加速器等设备辐射事故发生，应采取多种防范措施：

①控制台上有辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数的显示装置，操作人员可随时了解设备运行情况。

②条件显示联锁：加速器具有联锁装置，只有当射线能量、吸收剂量选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当治疗室与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行。

③剂量控制联锁：安装有剂量监测系统，当吸收剂量未达到预选值时，照射终止。

④控制台上配置有独立于其他任何控制照射终止系统的照射控制计时器，当照射终止后能保留计时器读数，计时器复零，才能启动下次照射。

⑤有控制超剂量的联锁装置，当剂量超过预选值时，可自动终止照射。

⑥有剂量分布监测装置与辐照终止系统联锁，当剂量分布偏差超过预选值时，可自动终止辐照。

⑦有全部安全联锁设施检查装置，能保证所有安全联锁系统保持良好的运行状态。

⑧有门机安全联锁，机房门关闭后设备才能开机，被打开时会自动关机。

⑨有时间控制联锁，当预选照射时间已定时，定时器能独立地使照射停止。

⑩控制台和治疗室内均安有急停开关。

⑪机房门外设置工作状态指示灯和电离辐射警告标志。

⑫视频监控、对讲装置：治疗室和控制室之间安装有视频监控、对讲装置，控制室能通过视频监视治疗室内患者治疗的情况，并通过对讲机与室内人员联系，以便医师在操作时观察患者在治疗室的状态，及时处理意外情况。

11.3.4 放疗科后装机辐射事故影响分析

（1）可能发生的辐射事故

①在后装机对患者的治疗过程中，可能发生警示灯和联锁装置损坏，治疗室防护门意外开启，人员误认为治疗完成，误入后装机治疗室中，可能导致误入人员的误照射；

②在使用过程中可能出现卡源，使放射源不能回到设备的贮源器中，此时放射源处于裸源状态，可能会对人员造成误照射；

③在后装机投入使用较长时间后，工作贮源器有可能出现破损，导致治疗室内的辐射水平增高，可能对人员造成误照射；

④在后装机投入使用较长时间后，输源管可能会出现老化损坏进而脱落，导致放射源掉落，可能导致人员的误照射；

⑤在不进行治疗时，放射源一直位于后装机中，安全保卫管理出现问题，导致可能会出现放射源丢失、被盗的情况。

（2）预防措施

①治疗过程如果发生卡源事故，首先尝试自动回源，如自动回源失败，工作人员立即进入治疗室将病人推出治疗室，并关闭防护门。同时打电话给厂家，由厂家安排专业人员来现场进行处理。

②一旦发生放射源丢失、被盗，发现人员应立即上报给医院辐射安全防护管理领导小组，管理小组及时报警（拨打 110），并上报当地生态环境、卫生部门，同时全力配

合调查。

③本项目后装机治疗室配置了一系列防护措施，如有智能化控制台、有条件显示联锁、剂量控制联锁、门机安全联锁、视频监控、对讲装置、紧急停机开关等。

11.3.5 CT模拟定位机、DSA、ERCP、CT、DR、钼靶机等射线装置机房辐射事故影响分析

（1）可能发生的辐射事故

①诊疗过程中，X 射线装置控制键失效，无法停止出束，导致患者受到意外照射。

②X 射线装置联锁装置出现故障，设备在屏蔽门没有关紧的情况下出束，对门外人员造成的误照射。

③X 射线装置安全联锁装置发生故障状况的情况下，人员误入正在运行的 X 射线装置机房受到外照射。

（2）预防措施

①制定经常性自检制度，对门灯联锁、监视器、电离辐射警告标志、工作状态指示灯等防护设施进行经常性检查，如发现这些防护设施不够完善或失灵，立即维护、修复；当发生误照射时，应立即按下急停开关，确保射线装置停止工作；

②医务人员必须严格按照 X 射线装置操作程序进行诊断，确定机房内工作人员及病人家属均离开机房后方可开机，以避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射；

③医护人员进行手术前，一定要配置铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等防护物品，并佩戴个人剂量计后方可进行手术操作；

④制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少意外照射事故的发生；

⑤项目应严格遵循所用辐射设备的安全使用年限，避免机械故障造成辐射事故，严禁超期使用；

⑥严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如验收监测及年度监测结果表明外墙、防护门缝隙、观察窗、孔洞等处辐射水平偏高时，应立即停机，查明原因并优化屏蔽设计和施工，未整改到位前，设备不得开机；

⑦制定辐射事故应急预案，并每年进行一次演练；发现问题，及时进行整改。

11.3.6 事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及《放射性同位素与射线装置

安全和防护管理办法》有关规定，建设单位应制定医院辐射事故应急预案，医院应在以后辐射工作开展过程中定期进行演练，及时进行整改。同时医院应配置必要的应急装备、器材以及应急资金。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 机构设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求，使用放射性同位素和射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

项目确定运营管理单位和相关人员后，在项目许可运行前，应根据人员情况按要求成立辐射安全与环境保护管理机构，明确人员及职责，运行过程中根据人事变动情况及时调整人员组成。

12.1.2 辐射工作人员管理

（1）职业健康检查

本项目新增辐射工作人员应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，每一年或两年委托有相关资质的单位对现有辐射工作人员进行职业健康检查，建立职业健康档案。

（2）辐射工作人员培训

本项目新增辐射工作人员，上岗前应在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（http:/fushe.mee.gov.cn）参加相应类别培训学习，考核合格后上岗，并按时接受再培训。其中仅从事 III 类射线装置的辐射工作人员参加医院自行组织的辐射安全与防护考核，并取得合格成绩，并建立成绩档案。

（3）个人剂量检测

本项目新增辐射工作人员应配备个人剂量计，每三个月委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案。医院应做到以下几个方面：

本项目辐射工作人员的职业健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量监测档案三个文件上的人员信息应统一；职业照射个人监测档案应长期保存。建设单位应设专人进行环保档案的整理、存档，项目环保档案应包括：项目环境影响评价资料、相关环保会议纪要、辐射安全许可证申请资料、项目竣工环境保护验收资料、日常监测资料（或台账）、辐射工作人员培训资料、体检报告、个人剂量监测报告及相关调查资料。以上资料按年度进行整理、规范化保存，发现问题及时上报、解决，以满足生

态环境主管部门档案检查的要求。

12.1.3 年度评估

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，辐射工作单位应当对本单位放射性同位素和射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前将评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。年度评估报告应当包括：放射性同位素与射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容。年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用放射性同位素、射线装置的单位，应有“健全的操作规程、岗位职责、辐射防护与安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，还应有完善的辐射应急措施”。

项目确定运营管理单位和相关人员后，在项目许可运行前，针对新增的核医学科、小动物核医学实验中心、放疗科、介入手术项目、内镜中心的特点，制定以下方面的管理制度，以保证核技术利用项目安全有序开展。

（1）操作规程：制定 PET/CT、SPECT/CT、PET/MR、PET/SPECT/CT、直线加速器、射波刀、TOMO、磁共振加速器、后装机、CT 模拟定位机、DSA、CT、ERCP 等设备操作规程，对于放射性三废处理也应制定相应操作规程，明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤。操作规程应张贴在操作人员可看到的显眼位置，防止误操作。

（2）岗位职责制度：明确管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位责任，可具体按照核医学科、小动物核医学实验中心、放疗科、介入手术项目、内镜中心等科室设置情况具体制定，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

针对辐射工作人员，上岗前应在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（http:/fushe.mee.gov.cn）参加相应类别培训学习；针对管理人员，上岗前应参加“辐射安全管理”类别培训学习；针对维修人员，上岗前应参加“科研、生产及其他”类别培训学习；以上人员均应在考核合格后上岗，并按时接受再培训。

（3）辐射防护与安全保卫制度：密封源、非密封放射性物质使用场所、射线装置的使用场所均应纳入辐射防护和安全保卫制度，射线装置机房应有门灯联锁等安全装置、工作状态指示灯，电离辐射警告标志及中文警示说明、监督区警示线等防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。

（4）设备检修维护制度：制定设备检修维护制度，明确监控设备以及监测仪器在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，剂量报警仪和监测仪器必须保持良好工作状态，并按要求定期进行检定或校准等；对可能引起射线装置操作失灵的关键零配件及时进行更换。

（5）辐射工作人员培训计划：本项目新增辐射工作人员应在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（http:/fushe.mee.gov.cn）参加相应类别培训学习，考核合格后上岗，并按时接受再培训。考核成绩全国有效，有效期五年。

（6）监测方案：制定监测方案，方案中应明确监测频次和监测项目，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。

（7）放射性药物管理制度：制定放射性药物的采购、领取、保管等制度，以及放射性药物登记、使用、核对及注销制度。

（8）年度评估制度：根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，使用放射源和射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状态进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年的评估报告。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测仪器和防护设备

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使用放射性同位素、射线装置的单位应该配置与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。另外，使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。根据以上要求，建议本项目辐射工作场所辐射仪器配置情况详见表 12-1。

表 12-1　本项目辐射工作场所辐射监测仪器拟配置情况

工作场所		监测仪器	配置情况说明
核医学科	北侧（核素门诊显像诊断区域）	α/β表面污染监测仪	配置 1 台
		便携式 X-γ射线巡测仪	配置 1 台（核医学科共用）
	南侧（核素治疗区域）	α/β表面污染监测仪	配置 1 台
		便携式 X-γ射线巡测仪	核医学科共用

		固定式剂量监测仪	住院患者出口处安装 1 台
小动物核医学实验中心		α/β表面污染监测仪	配置 1 台
		便携式 X-γ射线巡测仪	配置 1 台
放疗科	每间直线加速器机房	便携式 X-γ射线巡测仪	放疗科共配置 1 台
		中子剂量仪	配置 1 台
		固定式剂量报警装置	机房内各安装 1 台
	射波刀机房	便携式 X-γ射线巡测仪	放疗科共配置 1 台
		固定式剂量报警装置	机房内安装 1 台
	TOMO 机房	便携式 X-γ射线巡测仪	放疗科共配置 1 台
		固定式剂量报警装置	机房内安装 1 台
	磁共振加速器	便携式 X-γ射线巡测仪	放疗科共配置 1 台
		固定式剂量报警装置	机房内安装 1 台
	后装机机房	便携式 X-γ射线巡测仪	放疗科共配置 1 台
		固定式剂量报警装置	机房内安装 1 台
	CT 模拟定位机机房	便携式 X-γ射线巡测仪	放疗科共配置 1 台
介入手术项目		便携式 X-γ射线巡测仪	配置 1 台
内镜中心		便携式 X-γ射线巡测仪	配置 1 台
放射诊断项目		便携式 X-γ射线巡测仪	配置 1 台

本项目运行期间主要污染物为 X 射线、γ射线、β表面污染、中子等，根据项目特点，医院拟配置α/β表面污染仪、便携式 X-γ射线巡测仪、中子剂量仪等，项目配备的监测仪器符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对监测仪器的配置要求。

12.3.2 自行监测

日常工作中，辐射工作场所应采用自购辐射巡测仪定期自行监测，以确保屏蔽防护性能的良好。监测仪器应定期校验。

12.3.3 年度常规监测

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

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

（1）监测频度：每年常规监测 1 次。

（2）监测范围：控制区、监督区及周围环境。

（3）监测项目：

①核医学科：周围剂量当量率、α表面污染、β表面污染

②小动物核医学实验中心：周围剂量当量率、β表面污染

③放疗科：中子剂量当量率、周围剂量当量率

④介入手术项目和内镜中心：周围剂量当量率

（4）监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

医院应将本项目辐射工作场所的监测结果写入医院《辐射安全和防护状况年度评估报告》中，并于每年 1 月 31 日前将评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

12.3.4 个人剂量监测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量计（其中从事核医学科、小动物核医学实验中心放射性药物操作以及介入手术医护人员采用双剂量计检测方法，剂量计分别佩戴于铅橡胶围裙外锁骨对应的领口位置、铅橡胶围裙内躯干上），定期（最长不得超过 3 个月）送检，建立个人剂量监测档案。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量监测档案应长期保存，辐射工作人员可查看和复制本人个人剂量监测档案。

12.3.5 监测计划建议

根据以上分析，医院可参考表 12.3-1 开展监测。

表 12.3-1　辐射工作场所监测计划建议

工作场所	监测内容	监测点位	自行监测频度	年度监测频度
核医学科	周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	1 次/月	1 次/年
	α表面污染、β表面污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	1 次/年
	放射性废液（北侧）	衰变池排放口总α≤1Bq/L、总β≤10Bq/L	/	每次排放前
	放射性废液（南侧）	衰变池排放口总α≤1Bq/L、总β≤10Bq/L、^{131}I 放射性活度浓度≤10Bq/L	/	每次排放前
	放射性固废	废物间和污物暂存间（每袋废物表面剂量率处于本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm^2，β表面污染小于 0.8Bq/cm^2）	/	每次清洁解控处理前

小动物核医学实验中心	周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	1 次/月	1 次/年
	β表面污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	1 次/年
	放射性废液	衰变池排放口总α≤1Bq/L、总β≤10Bq/L	/	每次排放前
	放射性固废	污物暂存间（每袋废物表面剂量率处于本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm^2，β表面污染小于 0.8Bq/cm^2）	/	每次清洁解控处理前
直线加速器机房	周围剂量当量率、中子剂量当量率	机房防护门外、四面墙体外、顶棚上方、控制室操作位及周围需要关注的监督区。	1 次/季度	1 次/年
射波刀机房	周围剂量当量率	机房防护门处、四面墙体外、顶棚上方、控制室操作位及周围需要关注的监督区。	1 次/季度	1 次/年
TOMO 机房	周围剂量当量率	机房防护门处、四面墙体外、顶棚上方、控制室操作位及周围需要关注的监督区。	1 次/季度	1 次/年
磁共振加速器机房	周围剂量当量率	机房防护门处、四面墙体外、顶棚上方、控制室操作位及周围需要关注的监督区。	1 次/季度	1 次/年
后装机房	周围剂量当量率	机房防护门处、四面墙体外、顶棚上方、控制室操作位及周围需要关注的监督区。	1 次/季度	1 次/年
CT 模拟定位机机房	周围剂量当量率	防护门外、门缝、控制室、各侧屏蔽墙外 30cm 处、顶棚上方 100cm 处及周围需要关注的监督区	1 次/季度	1 次/年
DSA 机房、DSA 复合手术室、CT 复合手术室、ERCP 机房	周围剂量当量率	防护门外、门缝、控制室、各侧屏蔽墙外 30cm 处、顶棚上方 100cm 处，楼下距地 170cm 处及周围需要关注的监督区	1 次/季度	1 次/年
放射诊断项目 4 间 DR 机房、2 间钼靶机房、6 间 CT 机房	周围剂量当量率	防护门外、门缝、控制室、各侧屏蔽墙外 30cm 处、顶棚上方 100cm 处，楼下距地 170cm 处及周围需要关注的监督区	1 次/季度	1 次/年
个人剂量监测	个人剂量当量	每个辐射工作人员配备的个人剂量计	/	1 次/季度

医院需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。委托有资质监测单位进行监测，其仪器必须在检定有效期内，监测工作人员必须持证上岗；对监测中出现辐射超标问题，及时向院方提出，并提出整改

意见，在院方整改完成后，进行复测，直至符合要求，提供满足要求的监测报告。医院自主监测时，所用仪器须按国家规定进行剂量检定，检测时须按《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）制定监测方案及实施细则执行。

12.3.6 竣工环境保护验收监测

医院根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号）、《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ 1326-2023）中相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。建设项目竣工环境保护验收应当在项目竣工后 3 个月内完成；若需对环境保护设施进行调试或整改的，可以适当延长，但最长不得超过 12 个月。

12.4辐射事故应急

12.4.1 应急预案的要求

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》及《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关规定，医院应制定辐射事故应急预案。辐射事故应急预案应当包括下列内容：

（一）应急机构和职责分工；

（二）应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；

（三）辐射事故分级与应急响应措施；

（四）辐射事故调查、报告和处理程序。

项目确定运营管理单位和相关人员后，在项目许可运行前，应依据本项目情况制定《新北区人民医院辐射事故应急预案》。同时医院应定期、具有针对性的对可能发生的辐射事故进行演习和辐射安全的法律、法规知识的培训，演习内容包括辐射事故应急处理预案的可操作性、针对性、完整性，相关演习和培训记录存档。在预案的实施中，应根据国家发布新的相关法规内容，结合实际及时对预案作补充修改，使之更能符合实际需要。

12.4.2 辐射事故上报的要求

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况的，应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理报告制度的通知》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，向生态环境主管部门报告。

发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境和公安部门报告，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》。造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告；对于可能受到大剂量照射的人员，迅速安排医学检查和救治，积极配合政府管理部门做好事故调查和善后工作。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

新北区人民医院项目选址位于江苏省常州市新北区新桥街道，长江路以西、乐山路以东、嫩江路以北、新科中路以南地块。项目一期拟开展核医学科、放疗科、动物核医学实验中心、介入手术项目、内镜中心、放射诊断等核技术利用项目，其中核医学科拟新购 1 台 PET/CT（属III类射线装置）和 1 台 PET/MR，在核医学科北侧（核素门诊显像诊断区域）^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{89}Zr 核素用于显像诊断，其中 ^{68}Ga 由医院购买锗镓发生器淋洗标记；新购 1 台 SPECT/CT（属III类射线装置），在核医学科北侧（核素门诊显像诊断区域）使用 ^{99m}Tc、^{123}I 核素用于显像诊断；在核医学科南侧（核素治疗区域）使用 ^{89}Sr 和 ^{223}Ra 核素用于骨转移治疗，使用 ^{225}Ac 核素用于前列腺癌治疗，使用 ^{227}Th 核素用于肿瘤靶向α治疗，使用 ^{131}I 核素用于甲状腺摄碘率测定、甲亢治疗及甲癌治疗，使用 ^{177}Lu 核素用于前列腺癌治疗，使用 2 枚 ^{90}Sr-^{90}Y 敷贴源（单枚敷贴源最大活度分别为 1.85E+09Bq，属V类放射源）用于敷贴治疗。另外 PET/CT 和 PET/MR 拟配备 3 枚 ^{68}Ge 校准源（单枚 ^{68}Ge 校准源最大活度分别为 1.11E+08Bq、5.55E+07Bq，属V类放射源），用于设备校准。

放疗科拟建设 1 间 TOMO 机房，并在机房中安装 1 台 TOMO（属II类射线装置）用于放射治疗；建设 4 间加速器机房，并在每间机房分别安装 1 台直线加速器（属II类射线装置）用于放射治疗；建设 1 间射波刀机房，并在机房中安装 1 台射波刀（属II类射线装置）用于放射治疗；建设 1 间磁共振加速器机房，并在机房中安装 1 台磁共振加速器（属II类射线装置）用于放射治疗；建设 1 间后装机房，并在机房内安装 1 台后装机进行近距离放射治疗，拟使用 1 枚出厂活度为 5.55E+11Bq 的 ^{192}Ir 放射源，为III类放射源；建设 1 间 CT 模拟定位机房，并在机房中安装 1 台 CT 模拟定位机（属III类射线装置）用于肿瘤定位。

动物核医学实验中心拟新购 1 台小动物 PET/SPECT/CT 三模态成像系统（属III类射线装置），使用 ^{18}F、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{123}I、^{177}Lu 核素用于小动物显像扫描、分布实验，每天最多使用 2 种核素，每种核素每天最多使用 10 只小动物（主要为大鼠和小鼠），年最多工作 80 天，最多使用 1600 只小动物。PET/SPECT/CT 拟使用 CT 进行校准，不使用密封校准源。

介入手术项目拟新购 5 台 DSA 装置（属II类射线装置）用于影像诊断和介入治疗，拟新增 1 台滑轨 CT（属III类射线装置）用于影像诊断；内镜中心拟新增 1 台 ERCP 装置（属II类射线装置）用于影像诊断和介入治疗；放射诊断项目拟新增 4 台 DR（属III类射线装置）、2 台钼靶机（属III类射线装置）、6 台 CT（属III类射线装置）用于放射诊断。

13.1.2 辐射安全与防护分析结论

（1）项目选址合理性

本项目用地已取得常州市自然资源和规划局颁发的不动产权证书（见附件 5），用途为医院用地，符合当地规划要求。

本项目核医学科设在住院楼 C 楼地下一层，小动物核医学实验中心设在综合楼 A 楼教学科研（A3 区）地上四层，不毗邻食堂、产科、儿科等部门及人员密集区；本项目放疗科位于住院楼 C 楼地下一层东北侧，其中 1 间 TOMO 机房、4 间加速器机房、1 间射波刀机房和 1 间后装机房等治疗机房位于住院楼 C 楼地下一层东北侧，下方均为土层，不在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。放疗科治疗机房集中设置，避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，相邻也无人员流动性大的商业活动区域，1 间 CT 模拟定位机房与放射治疗机房相近；介入手术项目 4 间 DSA 机房设在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上三层，介入手术项目 1 间 DSA 复合手术室和 1 间 CT 复合手术室设在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上四层，内镜中心 ERCP 机房设在综合楼 A 楼门诊（A1 区）地上四层，放射诊断项目 12 台III类射线装置设在综合楼 A 楼医技（A2 区）地上一层放射科，各射线装置机房及其配套用房集中设置，相邻区域没有产房、儿科病房等敏感人群集中的场所。

因此，本项目辐射工作场所选址合理。

（3）辐射安全防护措施结论

本项目核医学科和小动物核医学实验中心辐射工作场所设计了满足防护要求的实体屏蔽，能够有效屏蔽γ射线和中子等的辐射影响，并设置了辐射防护用具和个人防护用品等；放疗科 1 间 TOMO 机房、4 间加速器机房、1 间射波刀机房、1 间后装机房和 1 间 CT 模拟定位机房均设计了满足防护要求的实体屏蔽，能够有效屏蔽 X 射线、中子和γ射线等的辐射影响，且机房配备有门机（门源）联锁装置、紧急停止开关、视频监控系统、剂量监测系统、工作状态指示灯和电离辐射警告标志等安全措施；

本项目 4 间 DSA 机房、1 间 DSA 复合手术室、1 间 CT 复合手术室、1 间 ERCP 机房、4 间 DR 机房、2 间钼靶机房、6 间 CT 机房均设计了满足防护要求的实体屏蔽，能够有效屏蔽 X 射线的辐射影响，且备有门灯联锁装置、紧急停止开关、工作状态指示灯、电离辐射警告标志等安全措施。因此，医院拟采取的辐射安全防护措施能够符合辐射防护要求。

13.1.3 环境影响分析结论

（1）主要辐射污染因子分析

本项目核医学科产生的主要污染因子是γ射线、β射线、α粒子、X 射线、韧致辐射、α表面污染、β表面污染、废源、放射性废液、放射性固体废物、放射性废气、臭氧、氮氧化物等；小动物核医学实验中心产生的主要污染因子是γ射线、β射线、β表面污染、放射性废液、放射性固体废物、放射性废气、臭氧、氮氧化物等；直线加速器产生的主要污染因子是 X 射线、电子线、中子、感生放射性、臭氧、氮氧化物、废靶等；射波刀、TOMO、磁共振加速器产生的主要污染因子是 X 射线、臭氧、氮氧化物等；后装机产生的主要污染因子是γ射线、β射线、废源、废 UPS 电源、臭氧、氮氧化物等；CT 模拟定位机、DSA、滑轨 CT、ERCP、DR、钼靶机、CT 及 PET/CT、SPECT/CT 主要污染因子是 X 射线、臭氧、氮氧化物等。

（2）辐射环境影响分析

经预测分析，本项目核医学科和小动物核医学实验中心场所屏蔽设计能满足相应核素的辐射防护要求，放疗科机房的辐射屏蔽措施均能够使机房外的辐射剂量率满足周围剂量当量率参考控制水平要求，4 间 DSA 机房、1 间 DSA 复合手术室、1 间 CT 复合手术室、1 间 ERCP 机房、4 间 DR 机房、2 间钼靶机房、6 间 CT 机房相应屏蔽体外辐射剂量率均能够满足相应要求。在正常工况下，本项目辐射工作人员所受外照射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“限值”要求，也低于本次评价提出的 5.0mSv 年剂量约束值；本项目公众所受外照射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求，也低于本次评价提出的 0.1mSv 年剂量约束值。

（3）三废环境影响分析

①放射性废液

本项目拟在住院楼 C 楼地下二层建设两套衰变池组，分别用于核医学科南侧区

域、北侧区域产生的放射性废液。核医学科北侧区域产生的放射性废液经贮存超过 33 天后（满足半衰期最长核素 ^{89}Zr 废水暂存十个半衰期），经监测总α≤1Bq/L，总β≤10Bq/L，经审管部门确认后方可解控排入医院污水处理站；核医学科南侧区域产生的放射性废液满足含 ^{131}I 核素废水暂存超过 180 天后，经审管部门确认后即可排入医院污水处理系统。

本项目拟在综合楼 A 楼教学科研（A3 区）地下一层建设一套衰变池组，专门用于小动物核医学实验中心产生的放射性废液。小动物核医学实验中心产生的放射性废液经暂存衰变超过 68 天后（满足半衰期最长核素 ^{177}Lu 废水暂存十个半衰期），经监测符合清洁解控要求后经审管部门确认后排入医院污水处理站。

②放射性固体废物

医院拟对核医学科和小动物核医学实验中心产生的放射性固废进行分类收集分类贮存衰变处理。含 ^{18}F 和 ^{99m}Tc 等半衰期小于 24h 核素的固废集中贮存衰变超过 30 天，含 ^{89}Zr 核素的固废集中贮存衰变超过 33 天，含 ^{117}Lu 核素的固废集中贮存衰变超过 68 天，含 ^{131}I 核素的固废集中贮存衰变超过 180 天，含 ^{89}Sr 核素的固废集中贮存衰变 505 天，含 ^{225}Ac 核素的固废集中贮存衰变超过 100 天，含 ^{223}Ra 核素的固废集中贮存衰变超过 115 天，含 ^{227}Th 核素的固废集中贮存衰变超过 187 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm^2 后，β表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，按一般医疗废物委托当地有资质单位处置。

更换的废旧 ^{68}Ge 放射源和 ^{90}Sr-^{90}Y 敷贴源应当送交有资质的单位收贮或者直接送交有资质的放射性固体废物处置单位处置；废弃锗镓发生器置于衰变箱中，由供货单位直接回收。

直线加速器正常运行时，无废靶产生。加速器退役时应进行监测，存在放射性污染的，按放射性固体废物进行管理，最终送交有资质的单位收贮。

后装机更换的废 ^{192}Ir 放射源应当按照废旧放射源返回合同规定，将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方。

③放射性废气

本项目核医学科北侧（核素门诊显像诊断区域）共设有 4 支独立排风管线，南侧（核素治疗区域）共设有 3 支独立排风管线，核医学科放射性废气由风机抽排至住院楼 C 楼楼顶高出屋脊排放，排风管内设置止回阀，防止气流倒灌，排放口设置活性炭

过滤装置。

本项目小动物核医学实验中心共设有 2 支独立排风管线，放射性废气由风机抽排至综合楼 A 楼教学科研（A3 区）的楼顶高出屋脊排放，排风管内设置止回阀，防止气流倒灌，排放口设置活性炭过滤装置。

本项目放疗科加速器 X 射线能量不超过 10MV，机房内活化产生的放射性气体较少，感生放射性气体影响可忽略不计。

④非放射性三废

放疗科机房设计采用强制排风系统，保证通风设施完好和正常工作，臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员和设备产生危害。

后装机配套更换下的 UPS 电源交由有资质单位处置，对周边环境无影响。

DSA、滑轨 CT、ERCP、DR、钼靶机、CT 及 PET/CT、SPECT/CT 等射线装置工作时产生的臭氧经动力通风装置通风后，对周围大气环境影响较小。

13.1.4 可行性分析结论

（1）产业政策符合性结论

本项目属于核技术在医学领域内的运用。本项目的建设属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中第一类“鼓励类”第六项“核能”中第 6 款**“同位素、加速器及辐照应用技术开发”**和第一类“鼓励类”第十三项“医药”第 5 款“新型医用诊断设备和试剂、**数字化医学影像设备**，人工智能辅助医疗设备，**高端放射治疗设备**，……”，也属于“第一类 鼓励类”第三十七项“卫生健康”中第 1 款“……医疗卫生服务设施建设……”项目，因此本项目符合国家产业政策要求。

（2）实践正当性结论

医院实施本项目，目的在于开展放射诊疗和放射治疗工作，最终是为了治病救人，其获得的利益远大于辐射所造成的损害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

（3）项目可行性结论

新北区人民医院项目（一期）配套核技术利用建设项目选址合法合理，符合产业政策和实践正当性，在落实本报告提出的各项辐射安全管理、辐射防护措施后，其运行时对周围环境和人员的影响能够满足辐射环境保护相关标准的要求，因此从环境保护和辐射安全角度分析，该项目的建设是可行的。

13.2 建议与承诺

13.2.1 建议

（1）加强辐射安全教育培训，增强辐射工作人员辐射防护意识，杜绝辐射事故发生。

（2）安排专人负责核技术利用项目统筹建设工作，尽快招聘相应放射诊疗相关专业的人员参与核技术利用项目前期建设。

（3）医院有条件的情况下，介入手术项目和核医学人员还可以开展手部剂量监测。

13.2.2 承诺

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

（2）建设单位承诺严格按照本报告的屏蔽防护设计方案、辐射安全措施、辐射安全设施及装置、“三废”治理装置及措施等辐射环保内容进行建设。加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用具的使用。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见： 经办人：　　公章 年　　月　　日
审批意见： 经办人：　　公章 年　　月　　日