

核技术利用建设项目

成都万达国际医院核技术利用项目

环境影响报告表

(公示本)

成都天府万达置业有限公司

2020 年 12 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

成都万达国际医院核技术利用项目

环境影响报告表

建设单位名称：成都天府万达置业有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：四川省成都市天府新区正兴街道步行街39号

邮政编码：610218

联系人：江砚莉

电子邮箱：tfsj2020@163.com

联系电话：13540246311

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.....	18
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	19
表 6	评价依据.....	21
表 7	保护目标及评价标准.....	24
表 8	环境质量和辐射现状.....	28
表 9	项目工程分析与源项.....	33
表 10	辐射安全与防护.....	55
表 11	环境影响分析.....	90
表 12	辐射安全管理.....	97
表 13	结论与建议.....	153

表 1 项目基本情况

建设项目名称		成都万达国际医院核技术利用项目			
建设单位		成都天府万达置业有限公司			
法人代表		张霖	联系人	江砚莉	
注册地址		四川省成都市天府新区正兴街道步行街 39 号			
项目建设地点		四川省成都市天府新区正兴街道秦皇寺村六组、华阳街道香山村一组			
立项审批部门		/	批准文号	/	
建设项目总投资（万元）		10000	项目环保投资（万元）	415.2	投资比例（环保投资/总投资） 4.15%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建			占地面积（m ² ） 111094.36
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I ☐ II ☐ III ☐ IV ☐ V		
		☒ 使用	☐ I（医疗使用） ☐ II ☒ III ☐ IV ☒ V		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II ☐ III		
		☐ 销售	☐ II ☐ III		
		☒ 使用	☒ II ☒ III		
	其它	/			

项目概述

一、概况

1、建设单位简况

成都天府万达置业有限公司（统一社会信用代码：91510100MA61T48B94，以下简称“建设单位”）成立于 2015 年 12 月，为满足成都乃至西南地区医疗服务需求，建设单位拟于四川省成都市天府新区正兴街道秦皇寺村六组、华阳街道香山村一组建设一座综合型医院，总用地面积 111094.36m²，规划总建筑面积 148714.6m²，根据四川省天府新区成都片区管理委员会基层治理和社会事业发展局出具的《设置医疗机构批准书》（天成管社卫医字【2017】58 号）以及《关于同意成都天府万达置业有限公司设置医疗机构批准书延期的批复》（天成管社卫复【2019】01 号），医院主要涉及预防保健科、全科医疗科、内科、外科、妇产科、妇女保健科、儿科、小儿外科、儿童保健科、眼科、耳鼻咽喉科、口腔

科、皮肤科、医学美容科、精神科、肿瘤科、急诊医学科、康复医学科、运动医学科、麻醉科、疼痛科、重症医学科、医学检验科、病理科、医学影像科、中医科等，拟设置床位 500 张。

2、项目由来

为拓展医院业务范围，提高医院医疗服务水平，更好地满足患者的医疗服务需求，医院拟开展放射性诊断和治疗业务，并配置使用医用电子直线加速器、数字化减影血管造影机（DSA）、胰胆管造影（ERCP）中型 C 型臂 X 射线机等 II 类射线装置，正电子断层扫描仪（PET/CT）、单光子发射计算机断层仪（SPECT/CT）等 III 类射线装置，铯-137 III 类放射源，钴-60 V 类放射源以及乙级非密封放射性物质工作场所，涉及使用的非密封放射性物质包括：氟-18、钼-99、锝-99m、碘-131。

为加强核技术利用项目的辐射环境管理，防止辐射污染和意外事故的发生，确保其使用过程不对周围环境和工作人员及公众产生不良影响，根据《中华人民共和国环境保护法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《中华人民共和国放射性污染防治法》等相关法律法规要求，建设单位须对该项目进行环境影响评价。同时，根据中华人民共和国生态环境部 1 号令《关于修改<建设项目环境影响评价分类管理名录>部分内容的决定》和中华人民共和国环境保护部第 44 号令《建设项目环境影响评价分类管理名录》，本项目涉及使用“II、III 类射线装置、III 类放射源、V 类放射源和乙级非密封放射性物质工作场所”，应编制环境影响报告表。因此，成都天府万达置业有限公司委托四川省核工业辐射测试防护院（四川省核应急技术支持中心）开展环境影响评价工作（附件 1）。我院接受委托后，通过现场勘察、收集资料等工作，结合本项目的特点，按照国家有关技术规范要求，编制完成《成都万达国际医院核技术利用项目环境影响报告表》。

3、环境影响评价信息公开

为进一步保障公众对环境保护的参与权、知情权和监督权，加强环境影响评价工作的公开、透明，方便公民、法人和其他组织获取生态环境主管部门环境影响评价信息，加大环境影响评价公开力度。依据国家环境保护部颁布的《建设项目环境影响评价政府信息公开指南》（试行）的规定：建设单位在向生态环境主

管部门提交建设项目环境影响评价报告表以前，应依法、主动公开建设项目环境影响评价报告表的全本信息；各级生态环境主管部门在受理建设项目环境影响评价报告表后应将主动公开的环境影响评价政府信息，通过本部门政府网站向社会公开受理情况，征求公众意见。

根据以上要求，建设单位于 2020 年 11 月 25 日~2020 年 12 月 1 日，在环评互联网论坛上对该项目进行了全文公示（<http://www.eiabbs.net/thread-376550-1-1.html>），以征求公众意见。截止目前，建设单位及评价单位未收到任何信息反馈。公示网站截图如下：



图 1-1 本项目全文公示截图

二、建设项目概况

1、项目建设内容及规模

成都万达国际医院位于四川省成都市天府新区正兴街道秦皇寺村六组、华阳街道香山村一组，项目主要涉及开展核技术利用项目的场所包括：核医学中心、

放射治疗中心、手术中心、内镜中心，涉及使用乙级非密封放射性物质工作场所 2 个、II类射线装置 12 台，III类射线装置 3 台，III类放射源 1 枚，V类放射源 3 枚。

（1）核医学中心

①建设内容及规模

核医学中心位于肿瘤中心大楼负一层和医技/住院楼一层，主要包括 PET 影像中心和 ECT 影像中心。

A、PET 影像中心

PET 影像中心位于肿瘤中心大楼（地下一层，地上两层，在建）负一层，总建筑面积 406m²，主要辐射工作场所包括四周墙体为 370mm 实心砖+2mm 铅当量硫酸钡水泥、顶板为 180mm 钢筋混凝土+2mm 铅当量硫酸钡水泥、屏蔽门为 3mm~9mm 铅当量铅钢防护门的应急冲淋室、储源室、分装/标记室、注射室、注射后等待室（1#、2#）、抢救室、PET/CT 机房、检查后留观室（1#、2#）、病人卫生间、保洁间、放射性废物暂存间等，注射室注射窗为 40mm 铅当量铅玻璃，PET/CT 机房观察窗为 6mm 铅当量铅玻璃。

PET 影像中心涉及使用的非密封放射性物质为氟-18，日等效最大操作量为 $2.33 \times 10^7 \text{Bq}$ ，年最大用量为 $2.08 \times 10^{13} \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。同时 PET/CT 机房配套使用 1 台 PET/CT，属于III类射线装置，额定管电压为 140kV，额定管电流为 800mA，年出束时间约 250h。PET/CT 配套使用 3 枚锞-68 放射源用于 PET/CT 校准，分别为： $9.25 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$ 枚+ $4.63 \times 10^7 \text{Bq} \times 2$ 枚，均属于 V类放射源。

B、ECT 影像中心

ECT 影像中心位于医技/住院楼（地下一层，地上六层，在建）一层，总建筑面积 696m²，主要辐射工作场所包括四周墙体为 240mm~370mm 实心砖+1mm 铅当量硫酸钡水泥、顶板为 120mm 钢筋混凝土+2mm 铅当量硫酸钡板，地板为 180mm~220mm 钢筋混凝土+1mm 铅当量硫酸钡水泥，屏蔽门为 3mm 铅当量铅钢防护门的应急冲淋室、储源室、分装/标记室、注射室、运动负荷测试室（1#、2#）、注射后等待室（1#、2#）、抢救室、SPECT/CT 机房、检查后留观室（1#、2#）、病人卫生间、放射性废物暂存间等，注射室注射窗为 20mm 铅当量铅玻璃，

SPECT/CT 机房观察窗为 3mm 铅当量铅玻璃。

ECT 影像中心涉及使用的非密封放射性物质包括：钼-99（日等效最大操作量为 $3.7 \times 10^7 \text{Bq}$ ，年最大用量为 $1.85 \times 10^{12} \text{Bq}$ ）、锝-99m（日等效最大操作量为 $3.33 \times 10^8 \text{Bq}$ ，年最大用量为 $8.33 \times 10^{12} \text{Bq}$ ）、碘-131（日等效最大操作量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ，年最大用量为 $9.25 \times 10^{11} \text{Bq}$ ），总的日等效最大操作量为 $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。同时 SPECT/CT 机房配套使用 2 台 SPECT/CT，属于 III 类射线装置，额定管电压为 140kV，额定管电流为 440kV，年出束时间约 250h。

核医学中心病人就诊量及非密封放射性物质使用情况见表 1-1，核医学中心射线装置见表 1-2。

表 1-1 核医学中心就诊病人量及非密封放射性物质用量情况统计表

序号	核素	用途	单个病人最大用量(mCi/人·次)	日最大病人量(人)	年最大病人量(人)	日最大用量(Bq)	年最大用量(Bq)	使用场所
1	氟-18	显像诊断	15	30	7500	1.67×10^{10}	4.16×10^{12}	肿瘤中心大楼负一楼 PET 影像中心
2	氟-18	贮存(备药量)	/	/	/	6.66×10^{10}	1.67×10^{13}	
2	钼-99	制备锝-99m	/	/	/	3.70×10^{10}	1.85×10^{12}	医技/住院大楼负一楼 ECT 影像中心
3	锝-99m	显像诊断	30	30	7500	3.33×10^{10}	8.33×10^{12}	
4	碘-131	显像诊断	10	10	2500	3.7×10^9	9.25×10^{11}	

*注：①对于氟-18，由于其半衰期较短，计算时需考虑用药量和备药量，每天送一次药，按照日用量的 4 倍量备药；②单个发生器的规格为 1Ci，淋洗效率取 90%，单个发生器使用周期为 5 天，年订购量 50 个；③本项目拟使用的非密封放射性物质和钼锝发生器均通过外购获得，建设单位应在项目建成运行前确定其出售单位，签订相关供货协议，确保售出单位具备销售相应的辐射安全许可证，并且在今后项目投入运行后继续严格执行其来源的合法、合规管理。

表 1-2 核医学中心射线装置统计表

序号	射线装置	数量(台)	射线装置类别	工作场所名称	用途	活动种类
1	PET/CT	1	III类	肿瘤中心大楼负一楼 PET 影像中心 PET/CT 机房	显像诊断	使用
2	SPECT/CT	2	III类	医技/住院楼一楼 ECT 影像中心 SPECT/CT 机房	显像诊断	使用

表 1-3 核医学中心放射源统计表

序号	核素	类别	活度(Bq)	数量(枚)	用途	使用场所	活动种类
----	----	----	--------	-------	----	------	------

1	锞-68	V类	9.25×10^7	1	校准	PET/CT 机房	使用
2	锞-68	V类	4.63×10^7	2	校准	PET/CT 机房	使用

②工作场所分级

根据中华人民共和国环境保护部办公厅文件《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号），满足以下 3 个特点的放射性药物使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：A、有相对独立、明确的监督区和控制区划分；B、工艺流程连续完整；C、有相对独立的辐射防护措施。

根据本项目核医学中心布局特点，本项目 PET 影像中心和 ECT 影像中心分别位于两栋大楼内，相对独立、明确的监督区和控制区划分，各个非密封放射性物质工作场所工艺流程连续完整，且各场所有相对独立的辐射防护措施，辐射工作人员也不存在交叉情况，因此本次评价分别将 PET 影像中心和 ECT 影像中心作为独立的非密封放射性物质工作场所进行评价。

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 非密封放射性物质工作场所的分级判据如表 1-4。

表 1-4 非密封放射性物质工作场所的分级

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

根据建设单位提供的核素日最大操作量及《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 确定的核素毒性因子、操作方式因子等（见表 1-5、表 1-6），并根据下式可以计算日等效最大操作量。

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

表 1-5 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 1-6 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平	液体，溶液，	表面有污染	气体，蒸汽，粉末，压力

	较低的固体	悬浮液	的固体	很高的液体，固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

放射性同位素日等效操作量修正因子及日等效操作量计算结果见表 1-7。

表 1-7 本项目核医学中心非密封放射性物质工作场所分级表

工作场所	PET 影像中心		ECT 影像中心		
核素名称	氟-18	氟-18	钼-99	钨-99m	碘-131
日最大操作量/Bq	1.67×10^{10}	6.66×10^{10}	3.70×10^{10}	3.33×10^{10}	3.7×10^9
毒性分组	低毒	低毒	中毒	低毒	中毒
毒性组别修正因子	0.01	0.01	0.1	0.01	0.1
性状	液态	液态	液态	液态	液态
操作方式	很简单操作	源的贮存	源的贮存	简单的操作	简单的操作
方式与状态修正因子	10	100	100	1	1
日等效最大操作量 /Bq	1.67E+07	6.66E+06	3.7E+07	3.33E+08	3.7E+08
	2.33E+07		7.40×10^8		
工作场所级别	乙级		乙级		

根据表 1-7，PET 影像中心总的日等效最大操作量为 2.33×10^7 Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所，ECT 影像中心总的日等效最大操作量为 7.40×10^8 Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 放疗中心

放疗中心位于肿瘤中心大楼（地下一层，地上两层，在建）负一楼，包括医用电子直线加速器机房、后装机机房及配套功能房间等，总建筑面积 591m²。

1#、2#医用电子直线加速器机房建筑面积均为 95m²，两间机房采取相同的布置与屏蔽设计，机房整体采用 2.35t/m³ 的钢筋混凝土连续浇筑，其中南侧、北侧主屏蔽体厚 3.1m，屏蔽宽度 5.2m，与主屏蔽相连的次屏蔽体厚 1.9m，西侧侧屏蔽体厚 1.8m，东侧“Z 形”迷道长 9.1m，迷道内墙厚 1.65m~1.95m，迷道外墙厚 1.35m~1.65m，迷道防护门屏蔽材料为 38mm 铅当量铅钢门+139mm 含硼 5% 的聚乙烯夹层，屋顶主屏蔽体厚 3.1m，屏蔽宽度 5.2m，与主屏蔽相连的次屏蔽体厚 1.85m，机房下方无地下层。1#、2#医用电子直线加速器机房内均配置使用 1 台 15MV 医用电子直线加速器，最大 X 射线能量为 15MV，X 射线最大空气吸收剂量率为 24Gy/min，最大电子线能量为 20MeV，电子线最大空气吸收剂量率

为 25Gy/min，属于Ⅱ类射线装置，年出束时间均为 312.5h。

后装机机房建筑面积 40m²，机房内净空尺寸长 5.6m×宽 6.0m×高 5.4m，机房整体采用 2.35t/m³ 的钢筋混凝土连续浇筑，其中西侧、南侧屏蔽体厚 1.0m，北侧屏蔽体最小厚 2.0m，东侧“L 形”迷道长 6.0m，迷道内墙和迷道外墙厚 1.0m，迷道防护门为 15mm 铅当量的铅钢门，顶板屏蔽体厚 1.6m，机房下方无地下层。机房内配置使用 1 台单通道后装机，涉及使用 1 枚铯-137 放射源，额定装源活度为 15Ci（5.55×10¹¹Bq），属于Ⅲ类放射源，年出束时间 300h。

表 1-8 放疗中心射线装置统计表

序号	射线装置	数量 (台)	射线装置类别	工作场所名称	用途	活动种类
1	15MV 医用电子直线加速器	2	Ⅱ类	肿瘤中心大楼负一楼 1#、2# 医用电子直线加速器机房	肿瘤治疗	使用

表 1-9 放疗中心放射源统计表

序号	核素	类别	活度(Bq)	数量(枚)	用途	使用场所	活动种类
1	铯-137	Ⅲ类	5.55×10 ¹¹	1	肿瘤治疗	肿瘤中心大楼负一楼后装机机房	使用

(3) 内镜中心

内镜中心位于医技/住院楼一层（地下一层，地上六层，在建），该区域包括 ERCP 机房及配套控制室，1#、2#ERCP 机房，建筑面积均为 40.3m²，两间机房采取相同的布置与屏蔽设计，四周为 370mm 实心砖墙+1mm 铅当量硫酸钡水泥，顶板为 120mm 钢筋混凝土+2mm 铅当量硫酸钡板，地板均为 180mm 钢筋混凝土+1mm 铅当量硫酸钡水泥，观察窗为 3mm 铅当量厚的铅玻璃，防护门均为 3mm 厚铅当量铅钢门。1#、2# ERCP 机房各配置使用 1 台额定管电压为 150kV，额定管电流为 1250mA 的 ERCP 中型 C 型臂 X 射线机进行介入治疗手术，属于Ⅱ类射线装置，单台 ERCP 中型 C 型臂 X 射线机年最大出束时间为 200h。

(4) 手术中心

手术中心位于医技/住院楼二层（地下一层，地上六层，在建），主要包括杂交导管室、电生理室、导管室、杂交手术室及配套功能房间等，总建筑面积 747m²。其中杂交导管室建筑面积 78.3m²，1#电生理室建筑面积为 51m²，2#电生理室和 1#、2#、3#导管室建筑面积均为 53m²，1#杂交手术室建筑面积为 86.2m²，2#杂交手术室建筑面积为 88m²，所有房间均采用相同的屏蔽设计，四周墙体为

200mm 实心砖墙+3mm 铅当量硫酸钡板,顶板和地板为 120mm 钢筋混凝土+3mm 铅当量硫酸钡水泥,观察窗为 3mm 铅当量铅玻璃,防护门为 3mm 铅当量铅钢门,各房间均配备配置使用 1 台额定管电压为 150kV,额定管电流为 1250mA 的 DSA 进行介入治疗手术,属于II类射线装置,单台 DSA 年最大出束时间为 400h。

表 1-10 内镜中心、手术中心射线装置统计表

序号	射线装置	数量 (台)	射线装 置类别	工作场所名称	用途	活动 种类
1	ERCP 中型 C 型臂 X 射线机	2	II类	医技/住院楼一楼 1#、2#ERCP 机房	介入治疗	使用
2	DSA	1	II类	医技/住院楼二楼杂交导管室	介入治疗	使用
3	DSA	2	II类	医技/住院楼二楼 1#、2#电生理室	介入治疗	使用
4	DSA	3	II类	医技/住院楼二楼 1#、2#、3# 导管室	介入治疗	使用
5	DSA	2	II类	医技/住院楼二楼 1#、2#杂交 手术室	介入治疗	使用

2、项目组成及主要环境问题

本项目具体组成及主要的环境问题见表 1-11。

表 1-11 项目组成及主要的环境问题表

场所	建设内容及规模	主要环境问题	
		施工期	营运期
主体工程	核医学中心 PET 影像中心总建筑面积 406m ² , 主要辐射工作场所包括四周墙体为 370mm 实心砖+2mm 铅当量硫酸钡水泥、顶板为 180mm~220mm 钢筋混凝土+2mm 铅当量硫酸钡水泥、屏蔽门为 3mm~9mm 铅当量铅钢防护门的应急冲淋室、储源室、分装/标记室、注射室、注射后等待室(1#、2#)、抢救室、PET/CT 机房、检查后留观室(1#、2#)、病人卫生间、保洁间、放射性废物暂存间等,涉及使用的非密封放射性物质为氟-18,日等效最大操作量为 2.33×10 ⁷ Bq,年最大用量为 2.08×10 ¹³ Bq,属于乙级非密封放射性物质工作场所。同时 PET/CT 机房配套使用 1 台 PET/CT,属于III类射线装置,额定管电压为 140kV,额定管电流为 800mA,年出束时间约 250h,PET/CT 配套使用 3 枚锝-68 放射源用于 PET/CT 校准,分别为:9.25×10 ⁷ Bq×1 枚+4.63×10 ⁷ Bq×2 枚,均属于V类放射源。	施工废水、固体废弃物、噪声、扬尘等	β、X、γ 射线、放射性废水、放射性固废、β 表面沾污、放射性废气

	核医学中心	ECT 影像中心总建筑面积 696m²，主要辐射工作场所包括四周墙体为 370mm 实心砖+1mm 铅当量硫酸钡水泥、顶板为 180mm 钢筋混凝土+2mm 铅当量硫酸钡水泥，地板为 180mm 钢筋混凝土+1mm 铅当量硫酸钡水泥，屏蔽门为 3mm 铅当量铅钢防护门的应急冲淋室、储源室、分装/标记室、注射室、运动负荷测试室（1#、2#）、注射后等待室（1#、2#）、抢救室、SPECT/CT 机房、检查后留观室（1#、2#）、病人卫生间、放射性废物暂存间等，涉及使用的非密封放射性物质包括：钼-99（日等效最大操作量为 3.7×10⁷Bq，年最大用量为 3.7×10¹²Bq）、锝-99m（日等效最大操作量为 3.33×10⁸Bq，年最大用量为 8.33×10¹²Bq）、碘-131（日等效最大操作量为 3.7×10⁸Bq，年最大用量为 9.25×10¹¹Bq），总的日等效最大操作量为 7.40×10⁸Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。同时 SPECT/CT 机房配套使用 2 台 SPECT/CT，属于 III 类射线装置，额定管电压为 140kV，额定管电流为 4 40kV，年出束时间约 250h。	施工废水、固体废弃物、噪声、扬尘等	β、X、γ 射线、放射性废水、放射性固废、β 表面沾污、放射性废气
	放疗中心	1#、2#医用电子直线加速器机房建筑面积均为 95m²，两间机房采取相同的布置与屏蔽设计，机房整体采用 2.35t/m³的钢筋混凝土连续浇筑，其中南侧、北侧主屏蔽体厚 3.1m，屏蔽宽度 5.2m，与主屏蔽相连的次屏蔽体厚 1.9m，西侧侧屏蔽体厚 1.8m，东侧“Z 形”迷道长 9.1m，迷道内墙厚 1.65m~1.95m，迷道外墙厚 1.35m~1.65m，迷道防护门屏蔽材料为 38mm 铅当量铅钢门+139mm 含硼 5%的聚乙烯夹层，屋顶主屏蔽体厚 3.1m，屏蔽宽度 5.2m，与主屏蔽相连的次屏蔽体厚 1.85m，机房下方无地下层。1#、2#医用电子直线加速器机房内均配置使用 1 台 15MV 医用电子直线加速器，最大 X 射线能量为 15MV，X 射线最大空气吸收剂量率为 24Gy/min，最大电子线能量为 20MeV，电子线最大空气吸收剂量率为 25Gy/min，属于 II 类射线装置，年出束时间均为 312.5h。	施工废水、固体废弃物、噪声、扬尘等	X 射线、电子线、γ 射线、中子、臭氧、感生放射性气体、感生放射性固废
		后装机机房建筑面积 40m²，机房内净空尺寸长 5.6m×宽 6.0m×高 5.4m，机房整体采用 2.35t/m³的钢筋混凝土连续浇筑，其中西侧、南侧屏蔽体厚 1.0m，北侧屏蔽体最小厚 2.0m，东侧“L 形”迷道长 6.0m，迷道内墙和迷道外墙厚 1.0m，迷道防护门为 15mm 铅当量的铅钢门，顶板屏蔽体厚 1.6m，机房下方无地下层。机房内配置使用 1 台单通道后装机，涉及使用 1 枚铯-137 放射源，额定装源活度为 15Ci（5.55×10¹¹Bq），属于 III 类放射源，年出束时间 300h。	施工废水、固体废弃物、噪声、扬尘等	γ 射线、臭氧、退役放射源

	内镜中心	内镜中心位于医技/住院楼一层，该区域包括 ERCP 机房及配套控制室，1#、2#ERCP 机房，建筑面积均为 40.3 m ² ，两间机房采取相同的布置与屏蔽设计，四周为 370 mm 实心砖墙+1mm 铅当量硫酸钡水泥，顶板和地板均为 180mm 钢筋混凝土+1mm 铅当量硫酸钡水泥，观察窗为 3mm 铅当量厚的铅玻璃，防护门均为 3mm 厚铅当量铅钢门。1#、2# ERCP 机房各配置使用 1 台额定管电压为 150kV，额定管电流为 1250mA 的 ERCP 中型 C 型臂 X 射线机进行介入治疗手术，属于Ⅱ类射线装置，单台 ERCP 中型 C 型臂 X 射线机年最大出束时间为 200h。	施工废水、固体废弃物、噪声、扬尘等	X 射线、臭氧
	手术中心	手术中心位于医技/住院楼二层，主要包括杂交导管室、电生理室、导管室、杂交手术室及配套功能房间等，总建筑面积 747m ² 。其中杂交导管室建筑面积 78.3m ² ，1#电生理室建筑面积为 51m ² ，2#电生理室和 1#、2#、3#导管室建筑面积均为 53m ² ，1#杂交手术室建筑面积均为 86.2m ² ，2#杂交手术室建筑面积为 88m ² ，所有房间均采用相同的屏蔽设计，四周墙体为 200mm 实心砖墙+3mm 铅当量硫酸钡板，顶板和地板为 120mm 钢筋混凝土+3mm 铅当量硫酸钡水泥，观察窗为 3mm 铅当量铅玻璃，防护门为 3mm 铅当量铅钢门，各房间均配备配置使用 1 台额定管电压为 150kV，额定管电流为 1250mA 的 DSA 进行介入治疗手术，属于Ⅱ类射线装置，单台 DSA 年最大出束时间为 400h。	施工废水、固体废弃物、噪声、扬尘等	X 射线、臭氧
辅助工程	核医学科中心	PET/CT 控制室 1 间（11m ² ），SPECT/CT 控制室 1 间（33.7m ² ）	施工废水、固体废弃物、噪声、扬尘等	非放射性固废和非放射性废水
	放疗中心	1#、2#医用电子直线加速器机房共配套 2 间操作室（23 m ² ）和 2 间水冷机房（20m ² ）；后装机机房配套间 1 间控制室（14m ² ）。		
	内镜中心	1#、2#ERCP 机房共配套 1 间控制室（16m ² ）。		
	手术中心	杂交导管室、电生理室、导管室、杂交手术室共配套 7 间控制室（89m ² ）和 7 套设备间（54m ² ）		
环保工程	PET 影像中心和 ECT 影像中心各设置 1 套独立下水系统，并设置 1 座 750m ³ 地埋式并联衰变池。		施工废水、固体废弃物、噪声、扬尘等	放射性废水、放射性固废、放射性废气
	PET 影像中心设置 1 间放射性固废暂存间（15.1m ² ），ECT 影像中心设置 2 间放射性固废间（12m ² 、7.5m ² ）			
	PET 影像中心、ECT 影像中心各设置 1 套独立通排风系统并内置活性炭过滤器（过滤效率>99%），最终引至楼顶排放；医用电子直线加速器、后装机机房设置 1 套独立通排风系统，并引至楼顶进行排放。			
公用工程	依托医院的配电、供电、通讯系统及污水处理系统等。			/

程							
3、主要技术参数							
本项目射线装置、放射源和非密封放射性物质工作场所使用的放射性核素的主要技术参数见表 1-12 和表 1-13。							
表 1-12 主要设备配置及主要技术参数							
设备名称	型号*	数量	设备主要参数	单个病人平均照射时间 (min)		单台年出束时间(h)	
医用电子直线加速器	未定	2	最大 X 射线能量为 15MV, X 射线最大空气吸收剂量率为 24Gy/min, 最大电子线能量为 20MeV, 电子线最大空气吸收剂量率为 25Gy/min	1.5		312.5	
DSA	未定	8	最大管电压 150kV, 最大管电流 1250mA	拍片	1	400	
				透视	5		
后装机	未定	1	装源活度 5.55×10 ¹¹ Bq; 焦点剂量率 63mGy/h	6		300	
ERCP 中型 C 型臂 X 射线机	未定	2	最大管电压 150kV, 最大管电流 1250mA	拍片	1	200	
				透视	5		
PET/CT	未定	1	最大管电压 140kV, 最大管电流 660mA	2		250	
SPECT/CT	未定	2	最大管电压 140kV, 最大管电流 440mA	2		250	
*注：具体设备型号由建设单位在后期建设过程中进行招投标后确定。							
表 1-13 本项目放射性同位素主要技术参数表							
核素名称	半衰期	主要衰变方式	β 粒子能量/ MeV	主要 γ 射线能量/MeV	药品名称	照射率常数 (R m ² /h Ci)	用途
¹⁸ F	109.7 min	β ⁺ (97%) EC (3%)	0.64	0.511	氟-18 标记注射液	0.57	PET 显像诊断
⁹⁹ Mo	67h	β ⁻ (100%)	1.23	0.78	钼[⁹⁹ Mo]酸钠溶液	0.18	制备钼-99m
^{99m} Tc	6.02h	IT (100%)	0.002	0.14051	高锝 [^{99m} Tc]酸钠注射液	0.17	SPECT 显像诊断
¹³¹ I	8.04d	β ⁻ (100%)	0.606	0.364	碘[¹³¹ I]化钠口服液	0.22	ECT 显像诊断
¹⁹² Ir	74.0d	β ⁺ (95%) EC (5%)	0.675	0.468	/	0.48	后装机使用
⁶⁸ Ge	280d	EC (100%)	1.08	0.51	/	0.54	PET/CT 校准
*注：参数来源于《γ 射线屏蔽参数手册》（中国科学院力学研究所编）。							

三、工作人员及工作制度

1、劳动定员

建设单位拟新增辐射工作人员共 70 人，各科室辐射工作人员不存在交叉使用情况，各科室具体人员配置情况见表 1-14。

表 1-14 辐射工作人员配置情况表

序号	科室	拟配置人数 (人)	备注
1	核医学中心	4	氟-18 非密封放射性物质分装、注射操作
		2	进行 PET/CT 操作
		4	锝-99m、碘-131 非密封放射性物质分装、注射操作
		2	SPECT/CT 运行操作
2	放疗中心	4	医用电子直线加速器运行操作（2 人/台）
		2	进行后装机运行操作
3	内镜中心	4	消化内科介入手术操作（手术医生 2 人，护士 2 人）
		4	普通外科介入手术操作（手术医生 2 人，护士 2 人）
		4	内镜中心介入手术操作（手术医生 2 人，护士 2 人）
		4	ERCP 中型 C 型臂 X 射线机运行操作（2 人/台）
4	手术中心	4	心内科介入手术操作（手术医生 2 人，护士 2 人）
		4	心外科介入手术操作（手术医生 2 人，护士 2 人）
		4	神经内科介入手术操作（手术医生 2 人，护士 2 人）
		4	神经外科介入手术操作（手术医生 2 人，护士 2 人）
		4	放射科介入手术操作（手术医生 2 人，护士 2 人）
		16	DSA 运行操作（2 人/台）
合计		70	/

2、工作制度

本项目实行 8 小时单班工作制度，年工作日为 250 天。

四、产业政策符合性

本项目属于核技术在医学领域应用，根据《产业结构调整指导目录》（2019 年本）相关规定，本项目属鼓励类第六项“核能”第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业发展政策。

五、实践正当性分析

本项目的建设可以更好地满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就

诊需求，提高对疾病的诊断和治疗能力。核技术利用项目的开展，可达到一般非放射性诊治方法所不能及的效果，是其它诊治项目无法替代的，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，由于放射诊断和治疗的方法效果显著、病人治疗中所受的痛苦较小，方法的优势明显，因此，该项目的实践是必要的。但是，由于在诊断或治疗过程中射线装置、放射源、非密封放射性物质的使用可能会造成如下辐射影响问题：

（1）给周围环境造成一定的辐射影响；

（2）给医务人员及周围公众造成一定的辐射影响，给病人造成一定的负面影响；

（3）射线装置、放射源、非密封放射性物质使用及管理的失误会造成较大和一般的辐射事故。

建设单位在放射性诊断和治疗过程中，对射线装置、放射源、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和辐射事故应急预案。因此，在正确使用和管理射线装置、非密封放射性物质的情况下，可以将本项目产生的辐射影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给医务人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术利用的实践具有正当性。

六、项目选址合理性与平面布置合理性分析

1、选址合理性分析

（1）医院外部外环境关系

本项目位于四川省成都市天府新区正兴街道秦皇寺村六组、华阳街道香山村一组（东经 104.076297°；北纬 30.443402°），项目周边主要规划为商业、住宅、绿化地等为主。根据现场踏勘，医院四周主要外环境关系如下：

东面：东面紧邻 2 号地块二期用地，东面约 170m 处为万达 3 号地块（万达 1 号房地产项目），东面约 405m 处为天府新区第八幼儿园，东南面约 515m 处为广汇美术馆；南面约 27m 处为万达 5 号地块（规划为商业兼容住宅用地，现为空地）和万达 4 号地块（规划为商业服务设施用地，现为空地）；西侧约 10m 处为万达 1 号地块（规划为商业服务设施用地，现为空地），西面约 220m 处为天府大道南段；北面紧邻万达临时施工用房，北面约 90m 处为武汉路东段，北

面 146m 处为中海麓湖公馆。

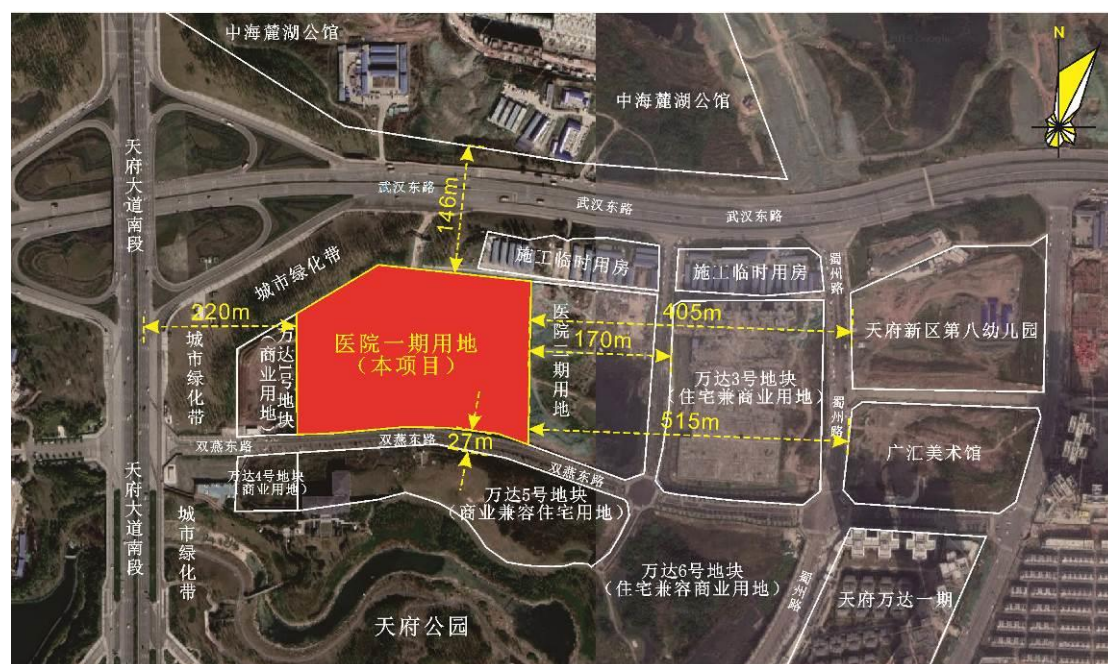


图 1-2 医院外环境关系图

(2) 医院内部外环境关系

本项目辐射工作场所主要集中于医院肿瘤中心大楼、医技/住院楼内，其中肿瘤中心大楼位于医院西侧，其紧邻医院绿化带、东侧紧邻行政会议大楼，南侧 16.2m 为门诊大楼，医技/住院楼东侧为停车场，停车场东侧为医院二期用地，北侧紧邻住院楼大楼，南侧 16.2m 为门诊楼。

本项目辐射工作场所不选择在医院内人流量较大的住院区域、门诊区域，项目辐射工作场所 50m 范围内不存在自然保护区、保护文物、风景名胜区、饮用水源保护区、学校等生态敏感目标和环境敏感目标，距离本项目辐射工作场所最近的集中居民区（万达 5 号地块商业兼容住宅规划区）直线距离约 60m。同时，本项目所在主体大楼已取得成都市生态环境局“成环评审[2020]44 号”文批复，医院整体项目选址合理性已在《成都天府万达置业有限公司成都天府万达项目（2 号地块）医院项目（一期工程）环境影响报告书》中进行了论述，本项目仅为整体项目的配套建设项目，不新增用地，且拟建设的各个辐射工作场所，均按照相关规范要求建有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对周围环境影响较小，从辐射安全防护的角度分析，本项目选址是合理的。医院地理位置和外环境关系见附图 1、附图 2。

七、与本项目有关的原有污染情况及主要环境问题

(1) 成都天府万达置业有限公司之前未从事过辐射相关工作，本次为首次申请《辐射安全许可证》。

(2) 本项目涉及各类辐射工作场所房间均纳入医院主体工程统一进行建设，成都市生态环境局已于 2018 年 11 月对“成都天府万达置业有限公司成都万达国际医院项目”进行了批复，批文号为：成环评审[2020]44 号，目前本项目主体工程正在施工中。本项目就诊病人及医生产生的非放射性废水依托医院拟建废水处理站进行处理（预处理+一级强化+二氧化氯消毒工艺）达到《医疗机构水污染排放标准》（GB18466-2005）表 2 中预处理标准限值后，排入市政污水管网，再进入天府新区第一污水处理厂集中处理达到《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》（DB51/2311-2016）中“城镇污水处理厂”排放限值标准后排入鹿溪河。项目产生的医疗废物收集暂存后定期交由有资质单位清运处置，生活垃圾交由市政环卫清运。

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	铱-192	$5.55 \times 10^{11} \times 1$ 枚	III	使用	肿瘤治疗	肿瘤中心大楼负一楼后装机机房	肿瘤中心大楼负一楼后装机机房	新增
2	锆-68	$9.25 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$ 枚 + $4.63 \times 10^7 \text{Bq} \times 2$ 枚	V	使用	PET/CT 校准	肿瘤中心大楼负一楼 PET 影像中心 PEC/CT 机房	肿瘤中心大楼负一楼 PET 影像中心 PEC/CT 机房	新增

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	氟-18	液态	使用	1.67×10^{10}	1.67×10^7	4.16×10^{12}	诊断	很简单操作	肿瘤中心大楼负一楼 PET 影像中心	储源室保险柜
2	氟-18	液态	使用	6.66×10^{10}	6.66×10^6	1.67×10^{13}	诊断	贮存		储源室保险柜
3	钼-99	液态	使用	3.70×10^{10}	3.7×10^7	1.85×10^{12}	制备钨-99m	源的贮存	医技/住院楼负一楼 ECT 影像中心	储源室保险柜
4	钨-99m	液态	使用	3.33×10^{10}	3.33×10^8	8.33×10^{12}	诊断	简单的操作		储源室保险柜
5	碘-131	液态	使用	3.7×10^9	3.7×10^8	9.25×10^{11}	诊断	简单操作		储源室保险柜

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 X 射线能量 (MeV)	剂量率 (Gy/min)	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II	2	未定	电子	10	24	肿瘤治疗	肿瘤中心大楼负一楼 1#、2# 医用电子直线加速器机房	新增

(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	ERCP 中型 C 型臂 X 射线机	II	2	未定	150	1250	诊断	医技/住院楼二楼杂交导管室 1#、2#ERCP 机房	新增
2	DSA	II	1	未定	150	1250	诊断	医技/住院楼二楼杂交导管室	新增
3	DSA	II	2	未定	150	1250	诊断	医技/住院楼二楼 1#、2#电生理室	新增
4	DSA	II	2	未定	150	1250	诊断	医技/住院楼二楼 1#、2#、3#导管室	新增
5	DSA	II	2	未定	150	1250	诊断	医技/住院楼二楼 1#、2#杂交手术室	新增
6	PET/CT	III	1	未定	140	660	诊断	肿瘤中心大楼负一楼 PET 影像中心 PET/CT 机房	新增
7	SPECT	III	2	未定	140	440	诊断	医技/住院楼一楼 ECT 影像中心 SPECT/CT 机房	新增

(三) 中子发生器, 包括中子管, 但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μ A)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称		状态	核素	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
医用电子直线加速器机房	医用电子直线加速器电子束靶体	固态	铁-53, 铜-64、铅-203	检修更换时才产生	/	/	暂存衰变经监测达标后按一般固体废物回收处理。
	感生放射性废气	气态	氮-13	$1.35 \times 10^{12} \text{Bq}$	$< 1.41 \times 10^4 \text{Bq/m}^3$	/	经过滤器过滤后引至肿瘤中心大楼楼顶排放。
	臭氧	气态	/	/	0.23mg/m^3	/	引至行政会议大楼楼顶排放。
后装机机房	退役放射源	固体	铯-137	每 6 个月~8 个月产生一次	/	/	由放射源生产厂家回收。
			锶-90	每 3 年产生一次	/	/	由放射源生产厂家回收。
	臭氧	气态	/	/	$8.72 \times 10^{-5} \text{mg/m}^3$	/	引至行政会议大楼楼顶排放。
DSA、ERCPC 中型 C 型臂 X 射线机及 III 类射线装置机房	臭氧	气态	/	/	/	/	引至医技/住院楼顶排放。
核医学中心	一次性注射器、针头、手套、药瓶等	固态	氟-18、锝-99m、碘-131	875kg/a	/	按不同核素分类收集，暂存核医学中心放射性固体废物存储间	暂存衰变经监测达标后按医疗废物交由有资质单位回收处理。
	核医学中心排风口更换下的过滤器	固态	氟-18、锝-99m、碘-131	200kg/a	/		

	废旧钼铈发生器	固体	钼-99m、铈-99m	50 个/年	/	暂存于放射性固废暂存间	由生产厂家回收
	放射性气溶胶	气体	氟-18	极少量	/	/	经过滤器过滤后引至行政会议大楼楼顶排放
			铈-99m	极少量	/	/	经过滤器过滤后引至医技/住院楼楼顶排放
			碘-131	9.25×10^6	21.8Bq/m^3	/	经过滤器过滤后引至医技/住院楼楼顶排放
	放射性废水	液态	氟-18、铈-99m、碘-131	/	总 β 小于 10Bq/L	放射性废水通过专用管道排至衰变池	暂存衰变经监测达标后排放至医院污水处理站

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

2、含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m²）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》（2015 年 1 月 1 日实施）； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法（2018 年修订）》（2018 年 12 月 29 日实施）； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日实施）； (4) 《国务院关于修改<建设项目环境保护管理条例>的决定》（国务院 682 号令）； (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2005 年 9 月 14 日国务院第 449 号令发布，2019 年 3 月 2 日《国务院关于修改部分行政法规的决定》（国务院令第 709 号）对其进行了修改）； (6) 《放射性废物安全管理条例》（国务院令第 612 号）； (7) 《四川省辐射污染防治条例》（四川省十二届人大常委会第 24 次会议通过，2016 年 6 月 1 日实施）； (8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部第 18 号令）； (9) 《关于发布<射线装置分类>的公告》（环境保护部/国家卫生和计划生育委员会，公告 2017 年第 66 号）； (10) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》（环境保护部 工业和信息化部 国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号）； (11) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年 1 月 18 日国家环境保护总局令第 31 号公布，2017 年 12 月 12 日《环境保护部关于修改部分规章的决定》（部令第 47 号）对其进行了修改，2019 年 8 月 22 日《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》（生态环境部令第 7 号）对其进行了修改）； (12) 《建设项目环境影响评价分类管理目录》（环境保护部第 44 号令）； (13) 《关于修改<建设项目环境影响评价分类管理名录>部分内容的决定》（生态环境部 1 号令）；
------	--

	(14) 《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 号文）； (15) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部 公告 2019 年 第 57 号，2020 年 1 月 1 日施行）； (16)《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)>的通知》（川环函[2016]1400 号）； (17) 《关于印发<四川省生态环境厅（四川省核安全管理局）辐射事故应急预案（2020 版）>的通知》（川环发[2020]2 号）。
技术标准	(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； (2) 《裂变钼 99-锝 99m 色层发生器》（GB13172-2009）； (3) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）； (4) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）； (5) 《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）； (6) 《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）； (7) 《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）； (8) 《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）； (9) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）； (10) 《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）； (11) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； (12) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； (13) 《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ244-2017）； (13) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）； (14) 《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WS T613-2018）； (15) 《核技术利用放射性废物最小化》（HAD401/11-2020）；

其他	(1) 《环保部辐射安全与防护监督检查技术程序》（第三版）； (2) 《辐射防护手册》（第一分册、第三分册），李德平、潘自强主编，原子能出版社； (3) 《辐射防护导论》，方杰主编，原子能出版社； (4) 《电离辐射剂量学》，李士骏编，原子能出版社； (5) 《放射卫生学》，章仲侯主编，原子能出版社； (6) 《实用辐射安全手册》，从慧玲主编，原子能出版社； (8) 《γ 射线屏蔽参数手册》，中国科学院工程力学研究所编，原子能出版社； (7) 《RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK 2002》（Published by Nuclear Technology Publishing）； (8) 项目委托书及建设单位提供的其他资料。
----	---

表 7 保护目标及评价标准

评价范围						
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》（HJ 10.1-2016）的有关规定，对于II、III类射线装置、III类放射源、V类放射源和乙级非密封放射性物质工作场所，评价范围确定为各屏蔽墙体边界外 50m 范围。						
保护目标						
本项目的的主要环境影响因素为电离辐射。根据本项目评价范围、医院辐射工作场所布局、总平面布置及外环境特征，本项目重点关注的环境保护目标见表 7-1 所示。						
表 7-1 主要环境保护目标						
保护名单		人数（人）	方位	位置	距离辐射源最近距离（m）	
					水平	垂直
肿瘤中心大楼负一层 PET 影像中心	职业人员	4	/	分装/标记室	0.5	/
		2	/	PET/CT 控制室	3	/
	公众	约 20 人	北侧	设备间、读片室、治疗准备室、设备库房、过道、放疗中心休息间、办公室、员工卫生间等	10	/
		约 20 人	东侧	病人等候区、过道、接待区、公共卫生间、公共等候区、病案室等	11	/
		约 10 人	南侧	地下停车场	6	/
		约 10 人	西侧	地下停车场	3	/
		约 30 人	楼上	肿瘤中心接待大厅	/	3.0
医技/住院楼一层 ECT 影像中心	职业人员	4	/	分装/标记室	0.5	/
		2	/	SPECT/CT 控制室	5	/
	公众	约 10 人	北侧	过道、设备库房、技师工作室、污物间、保洁间、资料室等	6	/
		约 10 人	东侧	过道、洁品库房、内镜存储室、内镜清洗室、污物间等	3	/
		约 10 人	南侧	绿化带	10	/
		约 10 人	西侧	绿化带及大巴车停车位	8	/
		约 40 人	楼上	手术中心麻醉复苏区	/	3.0
肿瘤中	职业	4	/	1#、2#医用电子直线加速器直线加速器	9.0	/

心大楼 负一楼 放疗中 心	人员			控制室		
		2	/	后装机控制室	6.0	/
	公众	约 10 人	北侧	地下停车场	10	/
		约 20 人	东侧	过道、治疗计划室、办公室、诊断室	18	/
		约 20 人	南侧	后装机前室、设备用房、储源室、办公室	4.0	/
		约 10 人	西侧	地下停车场	7.0	/
		约 50 人	楼上	体检中心	/	3.0
医技/住院楼一层内窥镜中心	职业人员	4	/	控制室	4	/
		12	/	1#、2#ERCP 机房内介入医生	0.5	/
	公众	约 10 人	北侧	过道、多功能室、汇流排间,	3	/
		约 20 人	东侧	过道、隔离准备/恢复室、隔离前室、库房等	4	/
		约 10 人	南侧	胃镜室	4	/
		约 10 人	西侧	过道、内镜存储室、洁品库房、水处理间等	3	/
		约 10 人	楼上	手术室	/	3.0
		约 5 人	楼下	库房	/	3.0
医技/住院楼二层手术中心	职业人员	16	/	控制室	0.3	/
		20	/	杂交导管室、1#电生理室、2#电生理室、1#导管室、2#导管室、3#导管室、1#杂交手术室、2#杂交手术室内介入医生	3	/
	公众	约 20 人	北侧	手术区	4	/
		约 5 人	东侧	过道、洁品库房、设备暂存间等	8	/
		约 50 人	南侧	过道、配药室、洁品库房、隔离间、刷手间、病床电梯、设备库房、麻醉准备工作区、手术用品库房、导管室设备暂存间、心内医生工作区等	4	/
		约 30 人	西侧	体外循环室、污车暂存间、污物间设备暂存间、污物梯等	4	/
		约 50 人	楼上	住院康复治疗区和康复病房区	/	3.0
		约 50 人	楼下	急诊中心检查区域	/	3.0

评价标准

一、环境质量标准

- 1、环境空气：执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准。
- 2、地表水：执行《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中III类标准。
- 3、地下水：执行《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）III类标准；

4、声环境：执行《声环境质量标准》(GB3096-2008)中 2 类标准。

二、污染物排放标准

1、废气：《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）二级标准。

2、废水：放射性废水执行《污水综合排放标准》（GB8978-1996）第一类污染物排放标准（总 $\beta < 10\text{Bq}$ ）；同时执行《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 限值（总 $\beta < 10\text{Bq}$ ）。

3、噪声：（1）施工期：《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）表 1 中的标准；（2）运行期：《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2 类标准。

4、个人剂量约束值

①职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 4.3.2.1 条的规定，对任何工作人员，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯平均）20mSv。项目对于职业人员，要求按上述标准中规定的职业照射年有效剂量的 1/4 执行（即 5mSv/a），作为本项目职业照射年有效剂量约束值。

②公众照射：第 B1.2.1 条的规定，实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过年有效剂量 1mSv。项目要求按上述标准中规定的公众照射年有效剂量的 1/10 执行，即 0.1mSv/a，作为本项目公众照射年有效剂量约束值。

5、放射性表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 B11 工作场所的放射性表面污染的控制水平见表 7-2。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		β 放射性物质 (Bq/cm^2)
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	40
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		0.4

6、控制剂量率水平

(1) 根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时, 周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

(2) 根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011) 在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

(3) 根据《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ121-2017), 工作贮源器内装载最大容许活度的放射源时, 距离贮源器表面 5cm 处的任何位置, 因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $50\mu\text{Sv/h}$; 距离贮源器表面 100cm 处的球面上, 任何一点因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $5\mu\text{Sv/h}$ 。在治疗室墙壁及防护门的屏蔽厚度应符合防护最优化原则, 治疗室屏蔽体外 30cm 处因透射辐射所致的周围剂量当量率应不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、场所现状

本项目位于四川省成都市天府新区正兴街道秦皇寺村六组、华阳街道香山村一组（项目地理位置见附图 1），根据现场踏勘，项目拟建地为施工工地，周围主要为道路、城市绿化带和在建大楼等，项目涉及的主体大楼包括：肿瘤中心大楼建设地和医技/住院楼，目前主体大楼目前未建成，且拟建地周围评价范围内没有其他电离辐射源，周围辐射环境趋于一致。本项目拟建地现场情况见图 8-1。

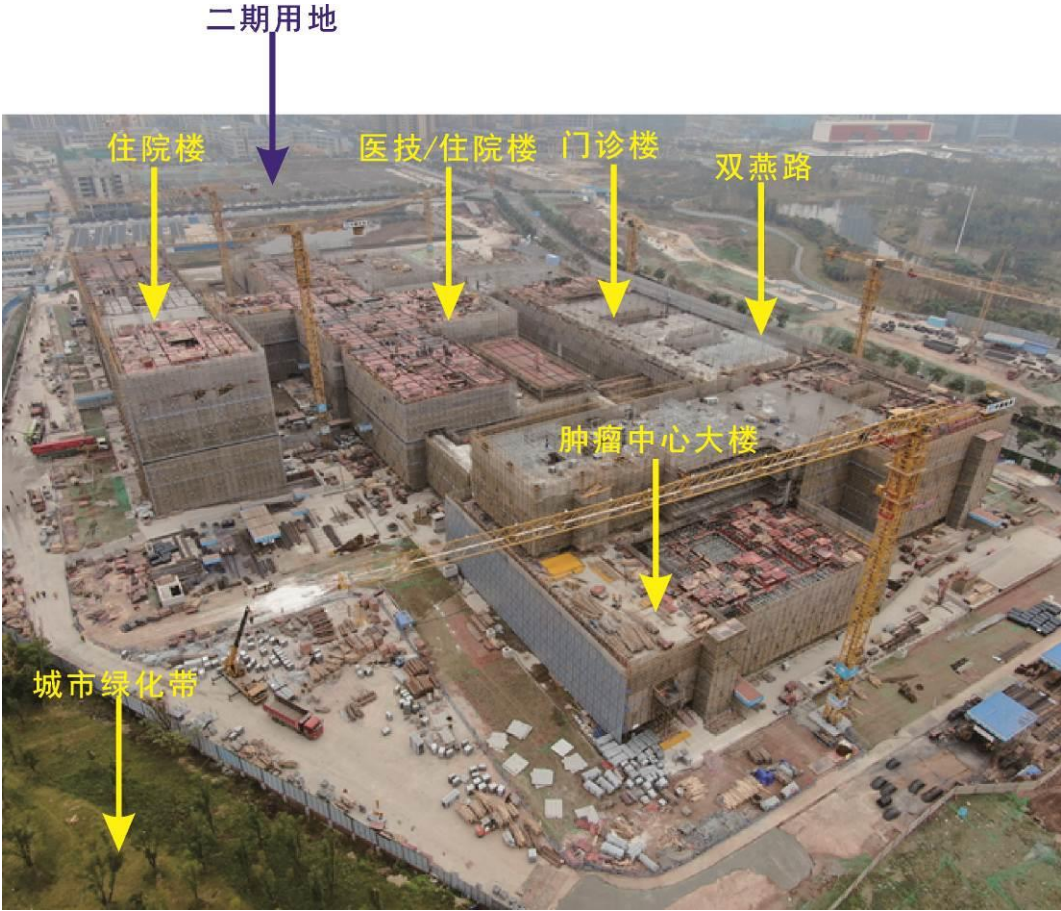


图 8-1 监测现场现状照片

二、监测对象、监测因子和监测点位

本项目为使用II、III类射线装置、III类放射源、V类放射源及乙级非密封放射性物质工作场所，主要的污染因子为电离辐射，对环境空气、地表水及地下水影响较小，因此本次评价没有对区域环境空气质量、地表水和地下水环境质量进行监测评价，重点对评价区域开展了辐射环境现状监测评价。

根据本项目各辐射工作场所布置情况，本次选择在肿瘤中心大楼建设地和医技/住院楼建设地周围布设监测点位以反映区域辐射环境质量本底状况，具体见表 8-1 和附图 2。主要监测因子为 X- γ 辐射剂量率、 β 表面沾污、中子剂量当量率，本次共布设 7 个监测点位（详见附图 2），能较好反映项目周围辐射环境现状，其监测点位布设合理。

表 8-1 监测布点方案表

序号	监测点位	监测因子	监测频次
1	医院拟建地（一期）北侧	X- γ 辐射剂量率、 β 表面沾污、中子剂量当量率	监测一次
2	医院拟建地（一期）东侧	X- γ 辐射剂量率、 β 表面沾污、中子剂量当量率	监测一次
3	医院拟建地（一期）南侧	X- γ 辐射剂量率、 β 表面沾污、中子剂量当量率	监测一次
4	医院拟建地（一期）西侧	X- γ 辐射剂量率、 β 表面沾污、中子剂量当量率	监测一次
5	医院肿瘤中心拟建地	X- γ 辐射剂量率、 β 表面沾污、中子剂量当量率	监测一次
6	医院住院大楼拟建地（西侧）	X- γ 辐射剂量率、 β 表面沾污	监测一次
7	医院住院大楼拟建地（东侧）	X- γ 辐射剂量率、 β 表面沾污	监测一次

三、监测时间及现场环境状况

2020 年 11 月 13 日，我院监测人员对项目拟建地进行了现场监测，监测时环境温度：19℃~21℃；环境湿度：65%~69%；天气状况：晴。

四、监测方法及仪器

本项目使用的监测仪器见表 8-2。

表 8-2 监测仪器一览表

监测因子	监测方法	监测仪器
X- γ 辐射剂量率	《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-1993）	仪器名称：X、 γ 辐射剂量率仪 仪器型号：AT1123（平衡帽： 0.025MeV~3MeV） 能量响应范围：0.025MeV~3MeV 仪器编号：54088 检出限：50nSv/h 检定单位：四川省核工业辐射测试防护设备计量检定站 检定证书编号：检定字第 2020-72 号

		检定日期：2020 年 09 月 12 日 有效日期：2021 年 09 月 11 日
β 表面污染活度	《表面污染测定 第一部分：β 发射体($E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$) 和 α 发射体》(GB/T 14056.1-2008)	仪器名称：α、β 表面沾污仪 仪器型号：LB124 仪器编号：10-10633 检出限： 0Bq/cm^2 检定单位：四川省核工业辐射测试防护设备计量检定站 检定证书编号：检定字第 2020-89 号 检定日期：2020 年 10 月 30 日 有效日期：2021 年 10 月 29 日
中子剂量当量率	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)	仪器名称：中子剂量率巡测仪 仪器型号：TPS-451C 仪器编号：20390355 检出限： $0.01\mu\text{Sv/h}$ 检定单位：中国计量科学研究院 检定证书编号：DLjs2020-01415 检定日期：2020 年 10 月 13 日 有效日期：2021 年 10 月 12 日

五、质量保证

本次监测单位为四川省核工业辐射测试防护院（四川省核应急技术支持中心），具有中国国家认证认可监督管理委员会颁发的资质认定证书（编号：160021181133），并在许可范围内开展监测工作和出具有效的监测报告，保证了监测工作的合法性和有效性。具体质量保证措施如下：

①根据《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）、《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-1993）、《表面污染测定 第一部分：β 发射体 ($E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$) 和 α 发射体》（GB/T14056.1-2008）、《辐射防护仪器中子周围剂量当量（率）仪》（GB/T 14318-2008）和项目实际情况制定监测方案及实施细则；

②严格按照监测单位《质保手册》、《作业指导书》开展现场工作；

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

④监测人员经考核并持有合格证书上岗；

⑤根据《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-1993），监测高度 1.5m，合理布设监测点位置，兼顾监测技术规定和实际情况，监测结果具有代表

性和针对性，每个测点连续测量 5 次，每次测量时间不小于 15 秒，并读取稳定状态的最大值；

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

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

⑧检测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术负责人审定。

六、监测结果与评价

本项目辐射工作场所辐射剂量率本底值监测结果见表 8-3~表 8-5。

表 8-3 X-γ 辐射剂量率监测结果

编号	测量点位置	X-γ 辐射剂量率 (nSv/h)	标准差 (nSv/h)	备 注
1	医院拟建地（一期）北侧	93	1.6	/
2	医院拟建地（一期）东侧	99	1.4	/
3	医院拟建地（一期）南侧	99	1.9	/
4	医院拟建地（一期）西侧	96	1.3	/
5	医院肿瘤中心拟建地	98	1.7	/
6	医院住院大楼拟建地（西侧）	96	1.7	/
7	医院住院大楼拟建地（东侧）	97	1.5	/

表 8-4 β 表面污染活度监测结果

编号	测量点位置	β 表面污染活度 水平(Bq/cm ²)	标准差 (Bq/cm ²)	备 注
1	医院拟建地（一期）北侧	0.21	0.005	/
2	医院拟建地（一期）东侧	0.20	0.006	/
3	医院拟建地（一期）南侧	0.22	0.005	/
4	医院拟建地（一期）西侧	0.18	0.007	/
5	医院肿瘤中心拟建地	0.21	0.005	/
6	医院住院大楼拟建地（西侧）	0.19	0.006	/

表 8-5 中子剂量当量率监测结果

编号	测量点位置	中子剂量当量率 (μSv/h)	标准差 (μSv/h)	备 注
1	医院拟建地（一期）北侧	<0.01	/	/
2	医院拟建地（一期）东侧	<0.01	/	/
3	医院拟建地（一期）南侧	<0.01	/	/
4	医院拟建地（一期）西侧	<0.01	/	/

5	医院肿瘤中心拟建地	<0.01	/	/
---	-----------	-------	---	---

注：<0.01 表示低于仪器检出限。

根据表 8-3，项目建设地周围 X- γ 剂量当量率范围为 93nSv/h~99nSv/h（折算为 γ 空气吸收剂量率为 93nGy/h~99nGy/h），对照 2019 年四川省内 29 个电离辐射环境监测自动站测得的 γ 辐射空气吸收剂量率（小时均值）范围 76.8nGy/h~163nGy/h（引自《2019 年四川省生态环境状况公报》），属于当地天然本底范围。

根据表 8-4， β 表面污染为 0.18Bq/cm²~0.21Bq/cm²，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）监督区工作场所 4Bq/cm² 限值要求，且属于正常 β 表面沾污水平。

根据表 8-5，项目拟建地周围环境本底中子剂量当量率低于检出限。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、医用电子直线加速器

1、工作原理

加速器是产生高能电子束的装置，为远距离放射性治疗机。当高能电子束与靶物质相互作用时产生韧致辐射（即 X 射线），其最大能量为电子束的最大能量。因此，医用电子直线加速器既可利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞。医用电子直线加速器可根据所诊疗癌症类型及其在体中的位置、患者的身体状况和各次给予剂量之间的时间间隔，以最佳输出能量对人体肿瘤进行照射诊疗。医用电子直线加速器实景及机构见图 9-1 和图 9-2。



图 9-1 医用电子直线加速器实景图

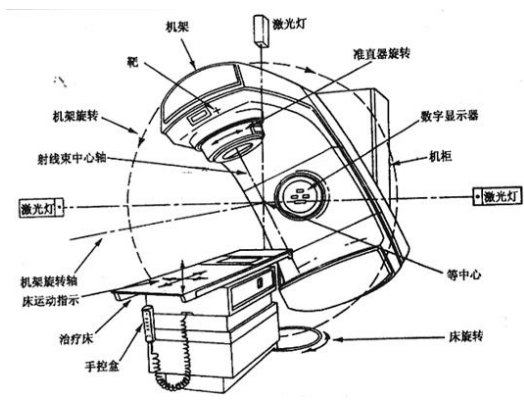


图 9-2 医用电子直线加速器结构图

2、治疗操作流程

- ①模拟定位：先通过模拟定位机对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。
 - ②制订治疗计划：根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。
 - ③固定患者体位：在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野。
 - ④病人摆位，医务人员退出机房，关闭好防护门并确认安全装置运行正常后，开机治疗。
- 治疗过程及其产污环节见图 9-3。

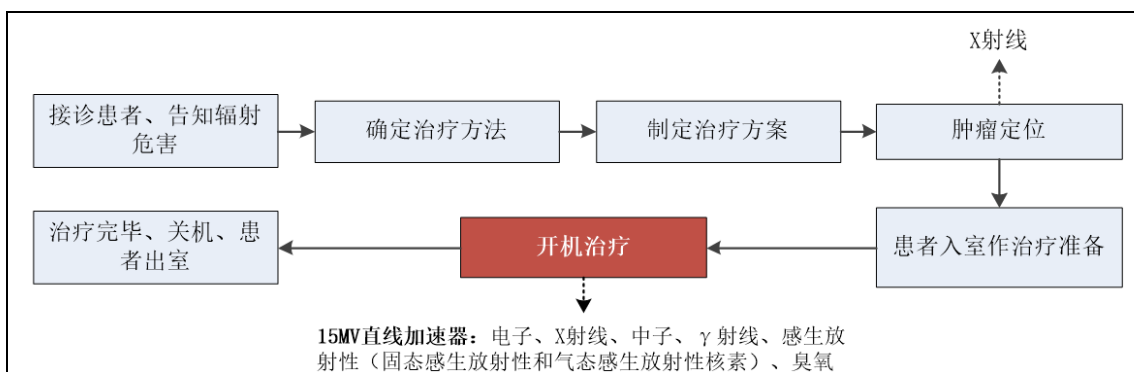


图 9-3 医用电子直线加速器治疗过程与产污环节简图

二、后装机

1、工作原理

后装机由治疗计划系统、控制系统和后装机三部分组成。治疗计划系统通过数字化仪将患者的影像进行正交、半正交和交角的影像重建，通过运算可显示出优化治疗、三维储存显示剂量分布以及解剖结构，系统可以自动修正源衰变，根据源位、病灶大小和形态，计算出等剂量分布曲线。后装机的作用是将放射源准确、安全、定时地放置到人体病变部位。采用后装技术（后装技术就是先在病人身上正确放置好施源器，然后在安全防护条件下用遥控方法自控制室将后装机贮源室内的放射源通过管道送到病人身上的施源器内，其好处是放置施源器有充分的时间，并可用透视或摄片校正位置，从而保证了放射源的正确位置），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一种放射治疗手段。

2、设备组成

后装治疗机主要由驱动装置、计算机、打印机、贮源室、治疗床、 γ 射线报警仪以及根据患者不同腔位及大小而设计的系列施源器及其定位支架组成。其结构合理、可靠性高，可用于宫体、宫颈、直肠、食道、口腔、鼻咽等腔内肿瘤的后装治疗，也可用于皮肤浅表面肿瘤的后装治疗。放射源安放在真源轮钢丝绳的最前端，所载的放射源为高强度微型铱-192 源，源外径不超过 1.1mm，长度小于 10mm，放射源强度为 15Ci，放射治疗时间一般为 3~6min，源运动由电脑控制的步进电机执行，步进距离为 2.5mm、5mm 及 10mm，虽仅为 1 个放射源，但源可对 1~30 个通道进行治疗。单一微型源可保证各种功能的执行，易于保护，剂量计算更为精确。使用时将塑料导管插入人体各需要治疗的部位，后装机最多

可放置 30 条塑料管，设置 30 个治疗部位，多数情况下为 3~4 个治疗部位。该机装有两个相同的绕有钢丝绳的轮，一个是真源轮，一个是假源轮，两个轮的结构和大小相同，在真源轮上放有放射源。两个轮分别由两个步进电机驱动，同时还各装有一个直流电机，用于必要时做快回抽的操作。

3、工作流程

(1) 模拟定位。先通过 CT 机或模拟定位机对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。

(2) 制订治疗计划。根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定操作照射剂量和照射时间。

(3) 固定患者体位，近距离后装机治疗时，要进行病变部位插管，将输源管和施源器送达腔道的病灶，接上与后装机贮源室相连的导管。

(4) 开机治疗，将放射源送达病灶进行治疗。

(5) 治疗完毕，放射源返回后装机贮源室。

本项目后装治疗机在对病人进行治疗时的装源由控制室辐射工作人员隔室遥控操作进行，所需时间较短，3min 之内施源器装源完毕。后装治疗机退役废放射源由厂家进行回收处理，不存在暂存，并建立交接单。

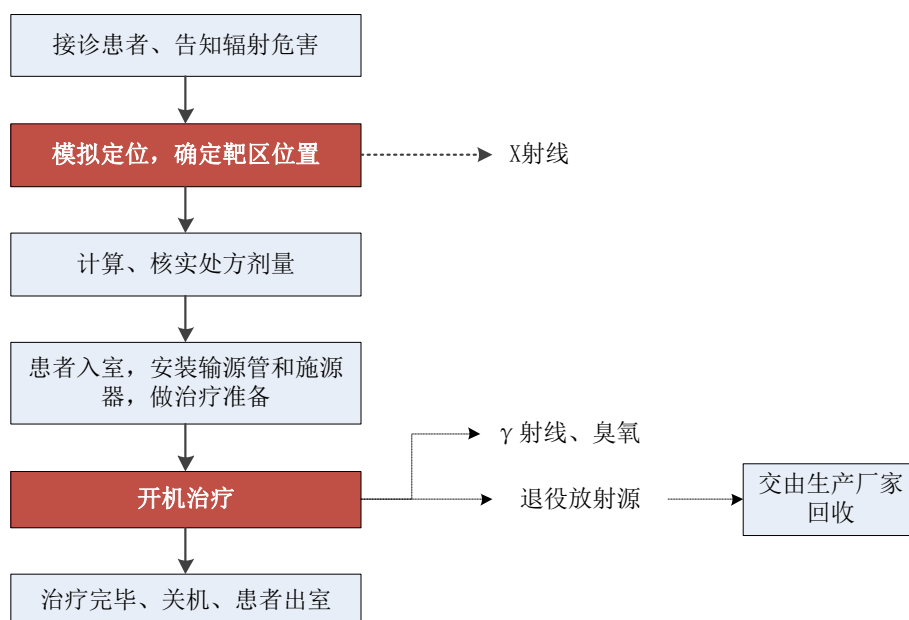


图 9-4 后装机治疗过程与产污环节图

4、放疗中心人流路径

放疗中心患者从候诊区经机房防护铅门进入医用电子直线加速器机房或后

装机机房，医护人员通过医护通道分别进入医用电子直线加速器控制室或后装机控制室，如图 9-5 所示。

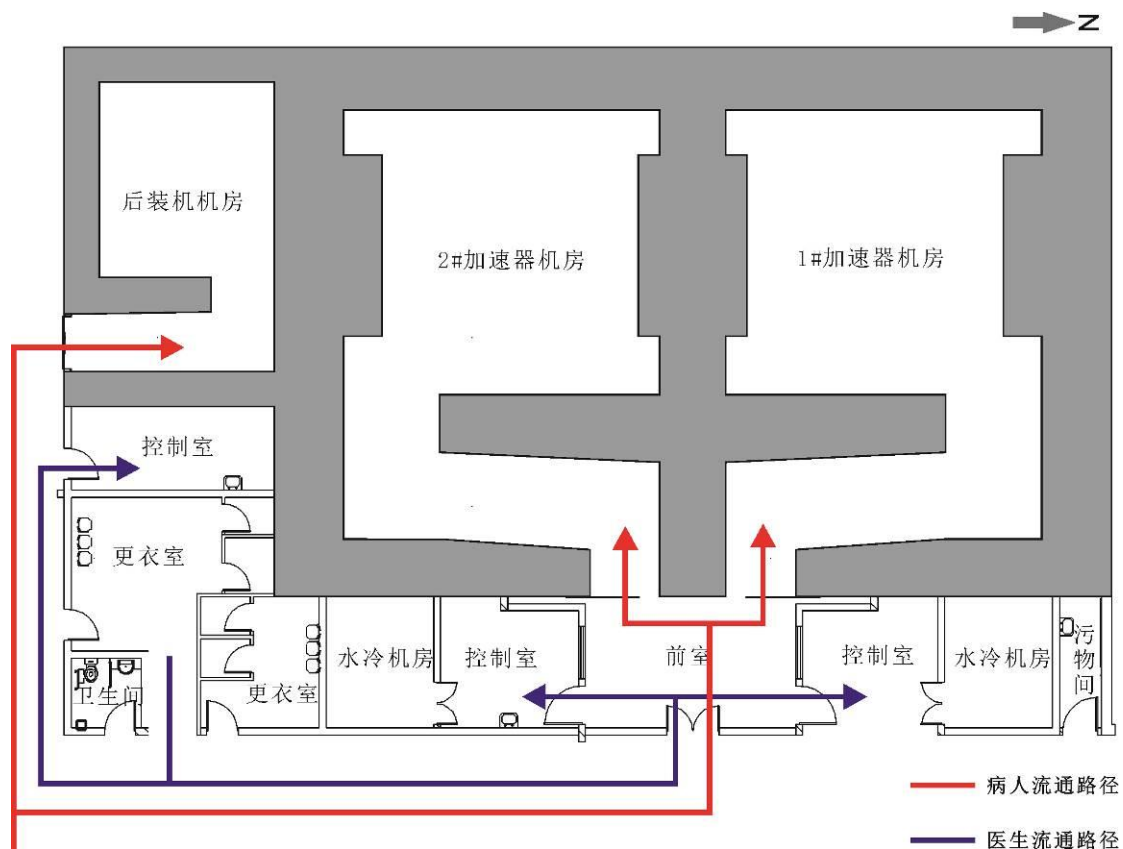


图 9-5 放疗中心人流示意图

三、DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机

1、工作原理

X 射线装置主要由 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。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。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。本项目主要污染因子为：高速电子轰击靶体产生 X 射线。X 射线装置原理见图 9-6。

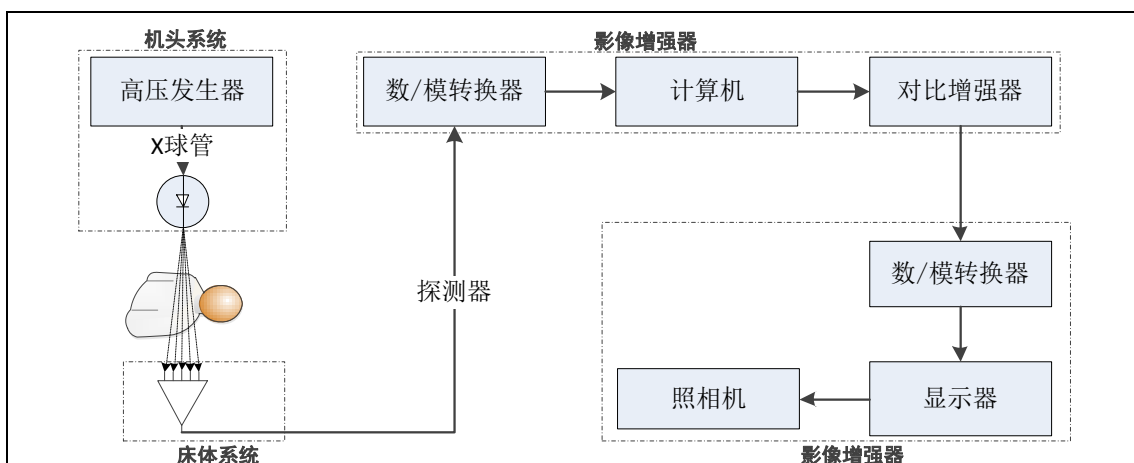


图 9-6 X 射线装置基本原理图

DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，它是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数值相减，消除相同的信号，得到一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来。且对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示；由于造影剂用量少，浓度低，损伤小、较安全；通过减影处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。ERCP 是指将十二指肠镜插至十二指肠，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。

2、操作流程

①接诊病人后，向病人告知可能受到的辐射危害；②病人准备完毕进入机房摆位、固定，然后进入机房内对病人进行局部消毒处理和局部防护处理；③技师退出机房，通过控制室操作台对病人进行拍片；④介入医生穿着防护服进入曝光室，经皮穿刺静脉，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管；⑤配合射线装置透视推送导管，并将导管送入指定位置；⑥完成后进行导管加压，将造影剂注入病人体内；⑦完成造影剂注入后，介入医生退出机房，技师通过控制室操作台对病人进行拍片，并进行减影处理后，得到最终病人的高清血管影像资料；⑧完成减影后，介入医生再次进入机房内并配合射线装置透视对病人病灶部位进行相应介入治疗。本项目 DSA、ERCP 中型

C 臂 X 射线机进行出束曝光时分为两种情况：

（1）拍片（电影）：技师采取隔室操作的方式（即技师在控制室内对病人进行曝光），技师通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。

（2）透视：病人需进行介入手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有间歇或连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时介入医生位于射线装置配备的铅帘后面，并穿戴铅服、铅眼镜等在机房内进行同室介入手术室操作。血管造影和胆管造影流程见图 9-7。

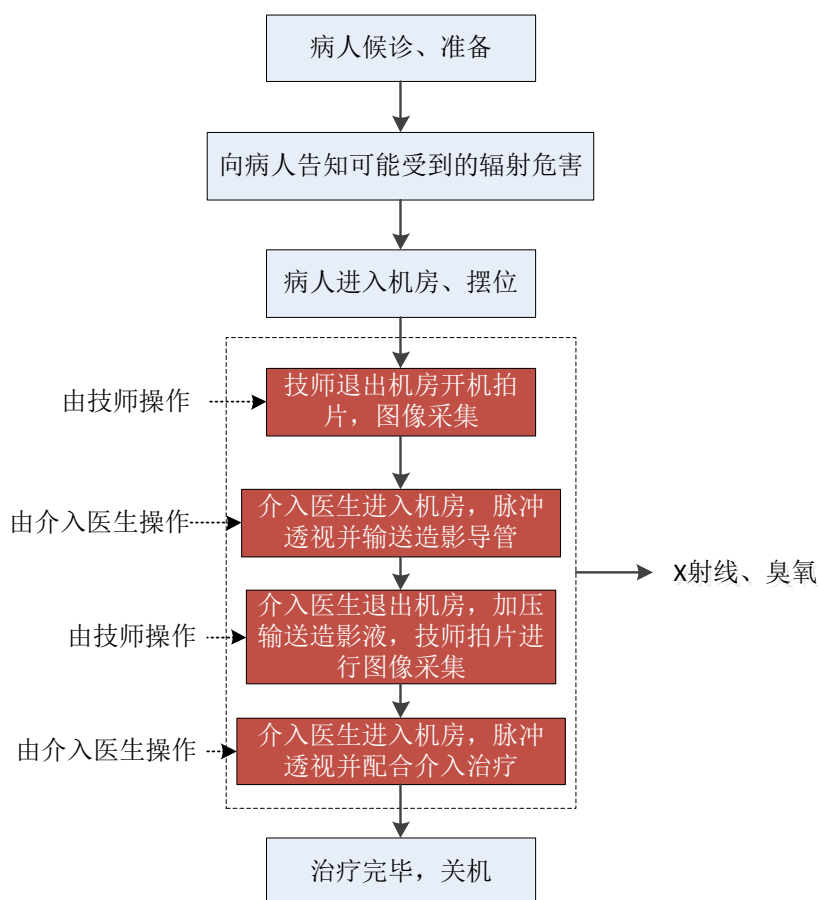


图 9-7 血管造影和胆管造影流程及产污环节示意图

3、物流人流路径

手术中心和内镜中心候诊患者通经患者通道铅门进入机房，医护人员从控制室进入机房，污物从机房内通过缓冲区经清洁走道运走，如图 9-8 和图 9-9 所示。

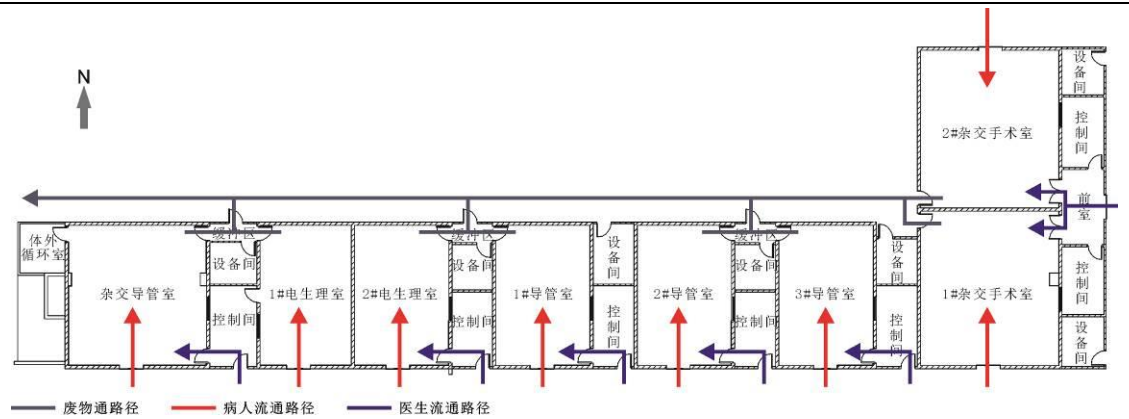


图 9-8 手术中心人流、物流路径示意图

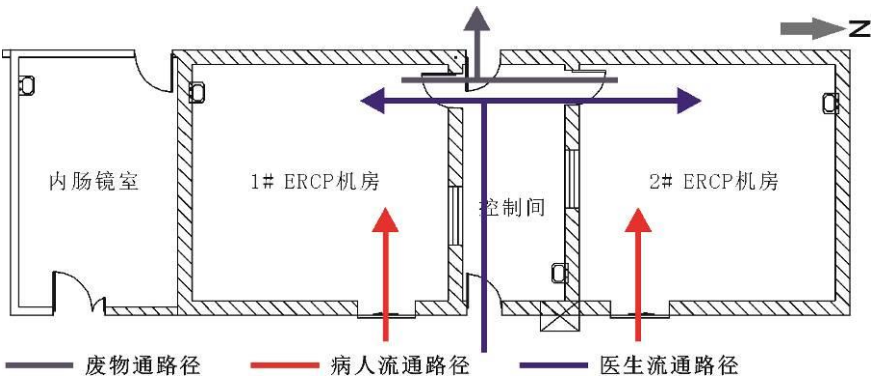


图 9-9 内镜中心人流、物流路径示意图

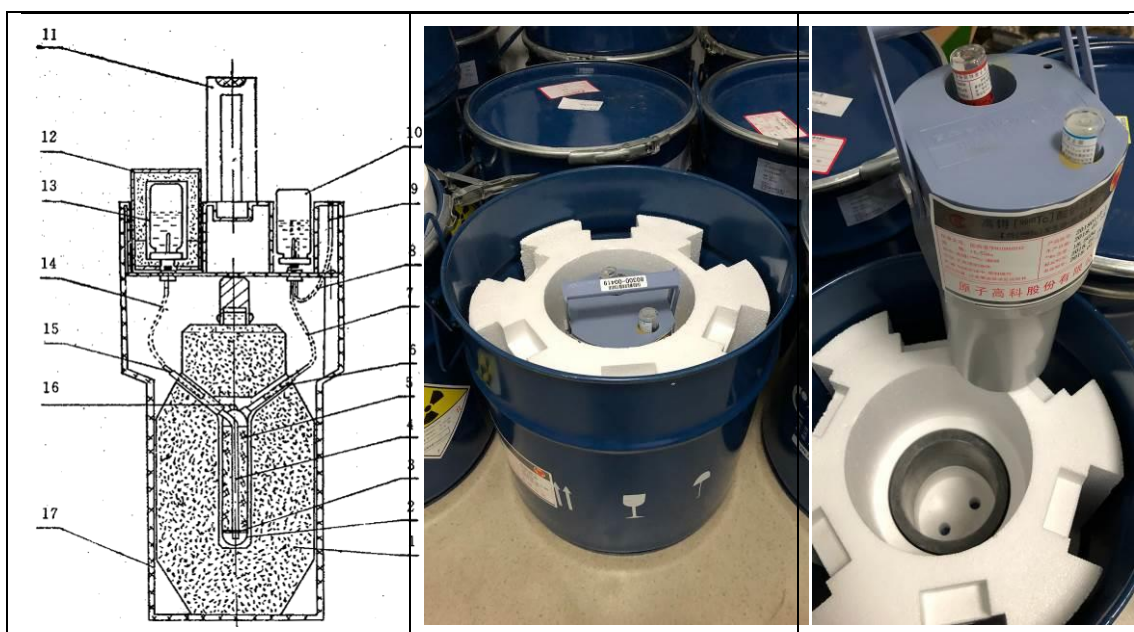
三、核医学中心诊断及治疗

(一) 氟-18、碘-131、钨-99m 显像诊断

1、工作原理

(1) 钨钨发生器淋洗原理

本项目显像诊断使用的钨-99m 由钨钨发生器淋洗而成，该发生器属于裂变色层发生器，基本部件是钨酸钨柱/活化氧化铝柱、淋洗系统和用于保护工作人员的辐射屏蔽套。钨-99m 由钨酸钨柱内钨-99 不断衰变产生，并被钨酸钨柱吸附，当加入适当的淋洗剂时，钨-99m 便以 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 的形式被淋洗出来。为了方便，一套发生器除基本部件外，常附加子体核素溶液接收瓶（即负压瓶）和一定量的淋洗剂（生理盐水）。由于母体核素的不断衰变就不断地产生子体核素，因而核素发生器可以反复淋洗制得子体核素，一般情况下，发生器每隔 23 小时可淋洗一次，发生器发生器的内部结构及实景见图 9-10。



组成部件：

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

图 9-10 发生器的内部结构及实景图

(2) SPECT 显像工作原理

SPECT 即单光子发射计算机断层成像术（Single-Photon Emission Computed Tomography），本项目 SPECT 利用发射单光子的核素药物锝-99m、碘-131 进行检查。SPECT 的基本结构分三部分，即旋转探头装置、电子线路、数据处理和图像重建的计算机系统。SPECT 除显示肿瘤病灶外，尚可显示局部脏器功能的变化，如：化疗后左心功能、肾功能的改变等。本项目 SPECT 使用锝-99m 放射性核素，将放射性药物锝-99m、碘-131 引入人体，经代谢后在脏器内外或病变部位和正常组织之间形成放射性浓度差异，通过计算机处理再成像。SPECT 的基本成像原理是 γ 照相机探头的每个灵敏点探测沿一条投影线进来的 γ 光子，其测量值代表人体在该投影线上的放射性之和。

(3) PET 显像工作原理

PET 即正电子扫描仪（Positron Emission Tomography）为分子影像设备。氟-18 属于 β^+ 衰变方式，能产生正电子并发生湮灭效应，产生两个能量彼此运动相反的 γ 光子，根据人体不同部位吸收标记化合物能力的不同，同位素在人体内各部位的浓聚程度不同，湮灭反应产生光子的强度也不同，然后通过 PET 的 γ 射

线检测器环列（例如闪烁计数器）监测 γ 光子辐射的轨迹线，经代谢后在脏器内外或病变部位和正常组织之间形成放射性浓度差异，通过计算机断层扫描再成像。

2、操作流程

本项目氟-18、碘-131 放射性药物直接向有资质单位进行购买，本项目不涉及氟-18、碘-131 药物制备，镓-67 放射性药物均由医生通过发生器自行进行制备，其制备、注射和显像流程如下：

①先把生理盐水瓶插入发生器的双针，一分钟后整体拔下外有防护罐的负压瓶，即制得淋洗液，制得的淋洗液贮存于外有防护罐的负压瓶之中。通常整个淋洗过程约需两分钟。

②测量活度：测量活度在标记间进行，由负责标记的工作人员完成。工作人员将上一步制得淋洗液通过专用的传递窗口传入标记间，放置于标记台铅玻璃之后。标记台配置有用于活度测量的活度计，工作人员用注射器吸取少量淋洗液，测量其放射性活度，得出该瓶淋洗液的比活度，同时可测量淋洗液的纯度。

③标记：标记在标记间进行，工作人员同测量活度的人员为同一人，用于标记的冻干药盒在标记操作前经完整性检查后传递至标记间标记台。用注射器将已测量好活度的淋洗液迅速转移至冻干药盒，并充分摇匀，稀释到预设体积。

④给药试验、测定

病人给药采用注射方式进行给药，注射室工作人员（作好防护措施，穿铅衣、铅手套等）将装有放射性药物的铅罐装入操作台内，注射药物时，工作人员从铅罐内吸取药物进行注射，病人注射完药物后在休息室内进入注射后观察，观察等待时间约 30min。等待结束后镓-67、碘-131 注射病人进入 SPECT 机房进行显像诊断，氟-18 注射病人进入 PET/CT 机房进行显像诊断，诊断结束后病人休息一定时间后可直接离开。显像诊断操作流程见图 9-11。

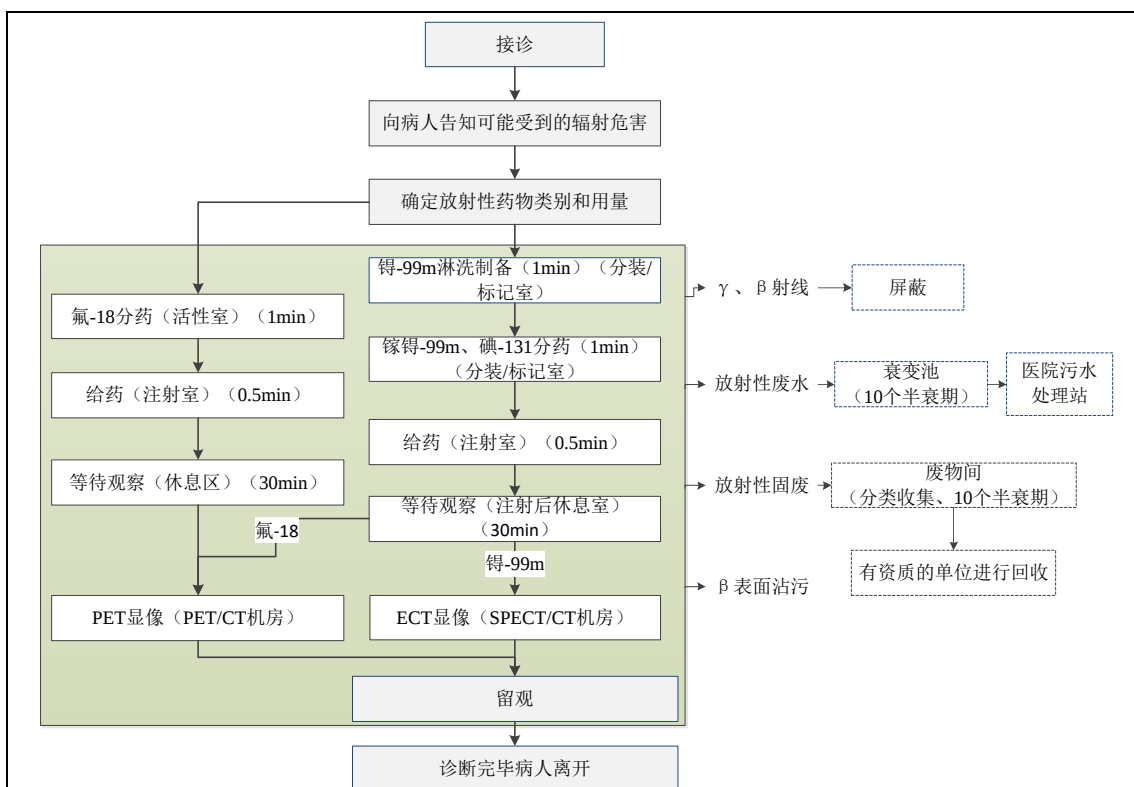


图 9-11 显像诊断工作流程图

3、人流、物流路径

(1) PET 影像中心人流、物流路径

本项目 PET 影像中心人流、物流路径见图 9-12、图 9-13 和图 9-14。

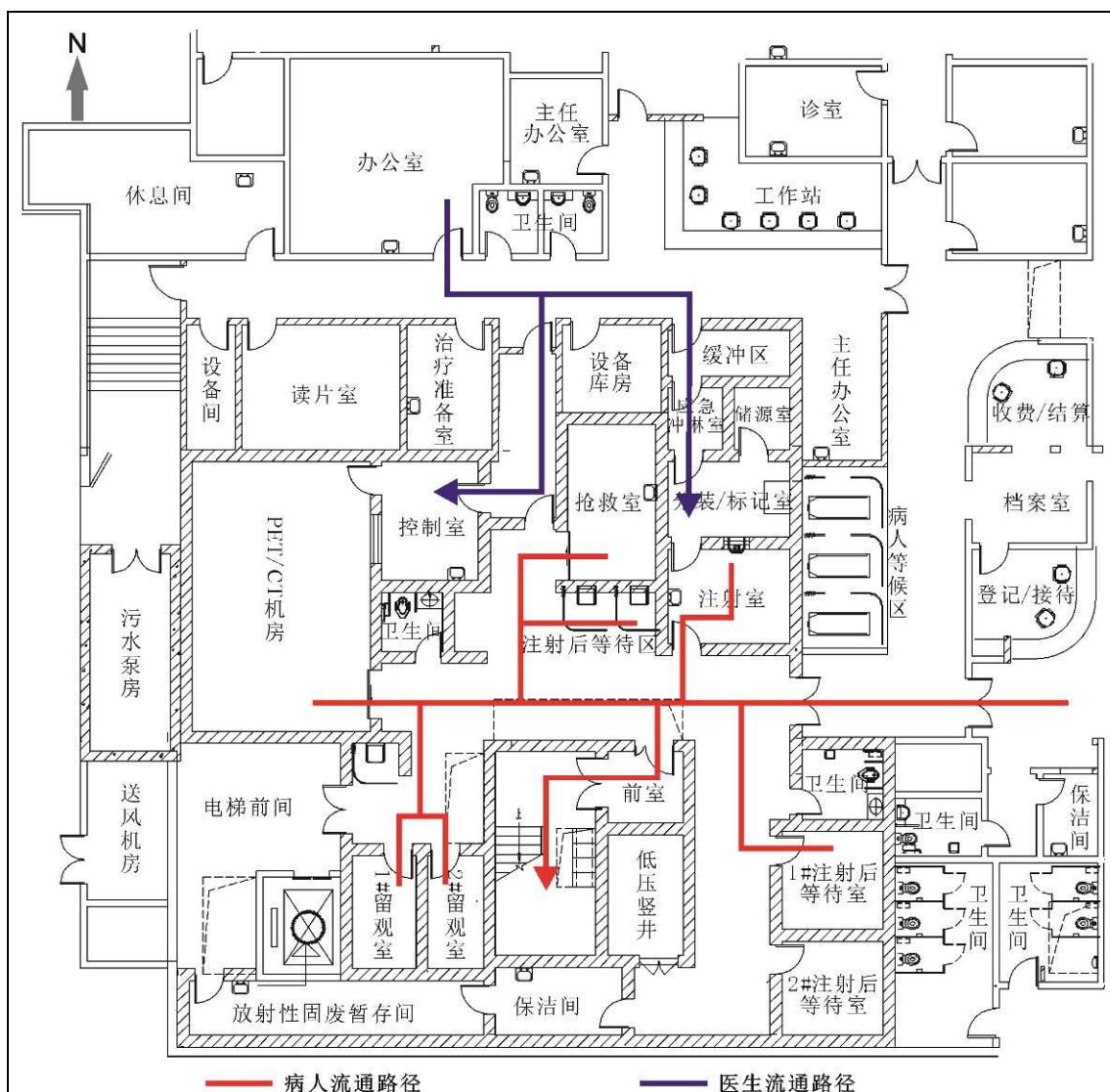


图 9-13 PET 影像中心病人、医生流通过径示意图

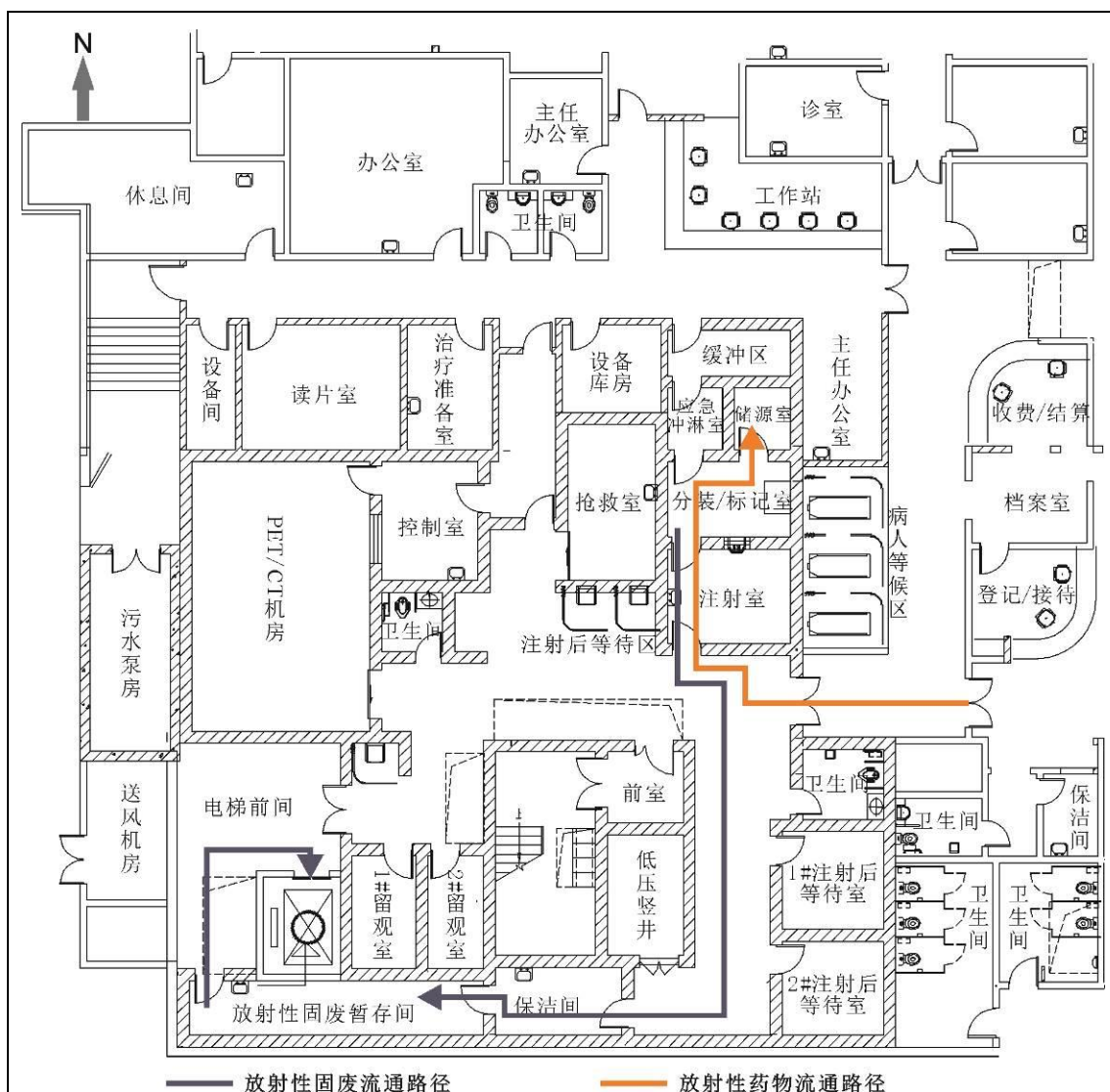


图 9-14 PET 影像中心放射性固废、药物流通路径示意图

①病人流通：就诊病人由肿瘤中心大楼一层接待大厅进入，然后由公共电梯进入肿瘤中心大楼负一层进入 PET 影像中心，在 PET 影像中心内流通路径为：登记/接待→病人等候区→注射室→注射后等待区→PET/CT 机房→留观室→前室→楼梯/电梯到达中心大楼一层，最后由单独通道离开 PET 中心。整个 PET 影像中心病人在诊断过程中设置有病人专用卫生间，并有专用进入和离开通道，并在入口和出口设置单向门禁系统，以实现病人单向流通，并控制就诊病人流通范围，有效减小表面污染范围，其流通路径合理。

②医生流通：医生流通路径为：办公室→缓冲区（更衣）→应急冲淋室→分装/标记室，操作结束后经表面沾污检测达标后通过原路返回，PET/CT 机房操作人员由专用通道直接进入和离开控制室。医生流通路径与就诊病人流通路径互

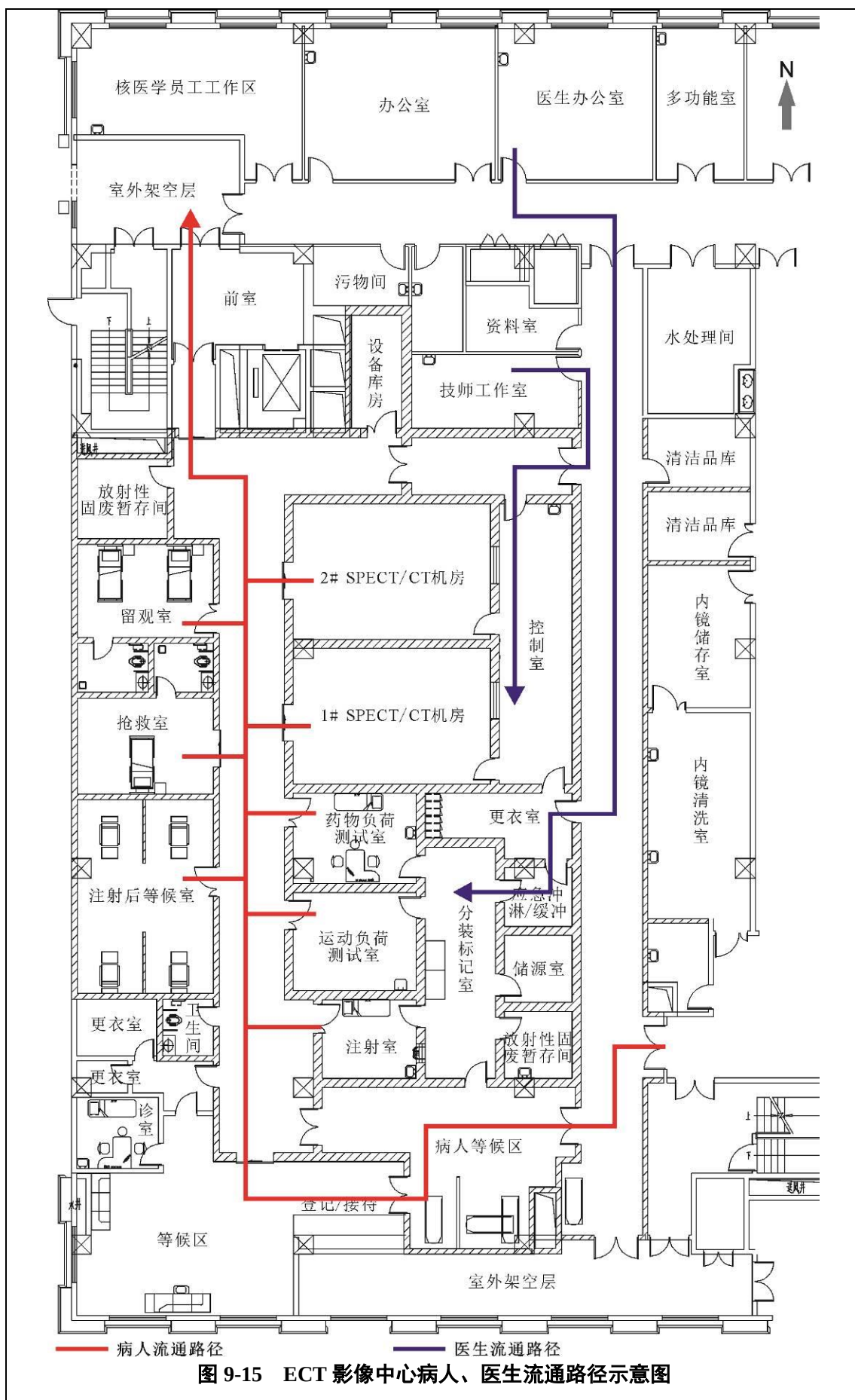
不交叉，尽量减小了医生二次照射影响，其流通路径合理。

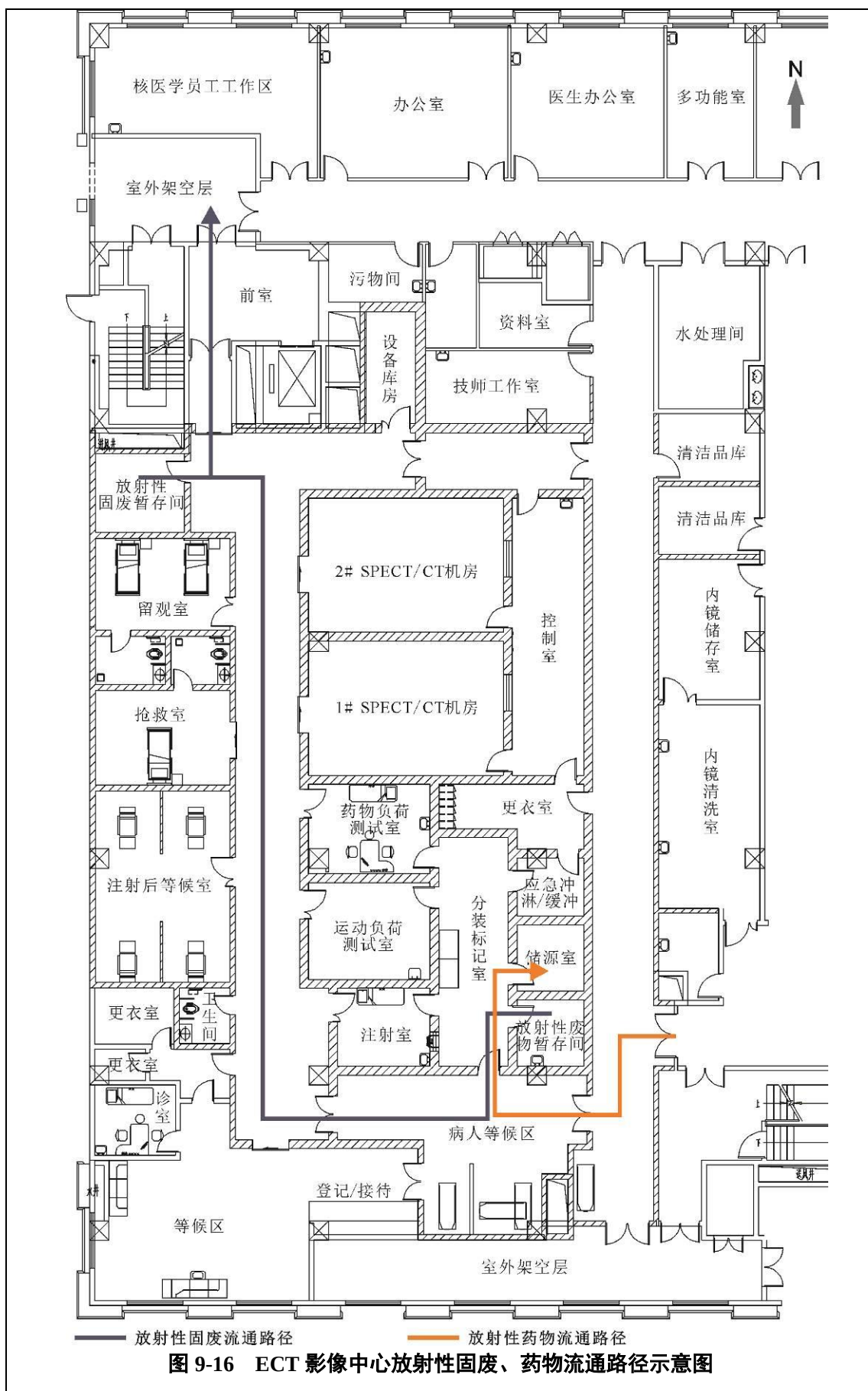
③放射性药物流通路径：放射性药物由生产厂家在接诊病人前进行送货，在 PET 影像中心内流通路径为：注射室→分装/标记室→储源室，使用时再由专人转入分装/标记室通风橱内。放射性药物在 PET 影像中心区域内流动范围较小，且紧邻分装/标记场所，有效控制药物转移过程中因撒漏造成的表面污染范围，从布局来说，药物通道设置合理。

④放射性固废流通：放射性固废在每天病人诊断结束后进行转运，在 PET 影像中心内流通路径为：分装/标记室→注射室→保洁间→放射性固废暂存间，待放射性固废衰变结束后由专用电梯转运至肿瘤中心大楼一层由病人通道离开。本项目放射性废物存储间设置在 PET 影像中心西南侧角落，放射性固废衰变结束后能以最短距离被送出 PET 影像中心，避免了对其他人员的二次照射，同时该区域人员流动少，降低了医生及公众受照射的可能性，其设置合理。

（2）ECT 影像中心人流、物流路径

本项目 ECT 影像中心人流、物流路径见图 9-15 和图 9-16。





①病人流通：就诊病人由医技/住院楼一层接待大厅进入，在 ECT 影像中心内流通路径为：登记/接待→病人等候区→注射室→注射后等待室→SPECT/CT 机房→留观室→前室离开。整个 ECT 影像中心病人在诊断过程中设置有病人专用卫生间，并有专用进入和离开通道，并在入口和出口设置单向门禁系统，以实现病人单向流通，并控制就诊病人流通范围，有效减小表面污染范围，其流通路径合理。

②医生流通：医生/技师办公室→更衣室→应急冲淋室→分装/标记室，操作结束后经表面沾污检测达标后通过原路返回，SPECT/CT 机房操作人员由专用通道直接进入和离开控制室。医生流通路径与就诊病人流通路径互不交叉，尽量减小了医生二次照射影响，其流通路径合理。

③放射性药物流通路径：放射性药物由生产厂家在接诊病人前进行运行送货，在 ECT 影像中心内流通路径为：病人等候区→分装/标记室→储源室，使用时再由专人转入分装/标记室通风橱内。放射性药物在 ECT 影像中心区域内流动范围较小，且紧邻分装/标记场所，有效控制药物转移过程中因撒漏造成的表面污染范围，从布局来说，药物通道设置合理。

④放射性固废流通：放射性固废在每天病人诊断结束后进行转运，在 ECT 影像中心内流通路径为：放射性固废暂存间→病人等候区→病人通道→前室。本项目放射性废物存储间设置在 ECT 影像中心东南侧和西北侧角落，放射性固废衰变结束后能以最短距离被送出 ECT 影像中心，避免了对其他人员的二次照射，同时该区域人员流动少，降低了医生及公众受照射的可能性，其设置合理。

污染源项描述

一、施工期工艺分析

施工过程以建筑施工机械噪声、施工地基处理、装修和设备安装噪声为主。施工期间的主要污染因素有建筑渣土、粉尘、噪声和废水。主要会对周围声环境质量产生影响，但因施工期短，施工范围小，通过作业时间控制，加强施工现场的管理等手段，对周围声环境产生较小的影响，该影响是暂时性的，对周围声环境的影响随建设期的结束而消除。本次环评要求在各机房建设过程中要保证屏蔽墙体没有漏缝，使用的水泥标号要满足设计要求，禁止使用残砖，混凝土浇筑墙体要连续施工，同时要防止噪声扰民。在安装调试阶段，主要环境影响为 X 射

线和包装固体废物影响。施工期工艺流程见图 9-17。

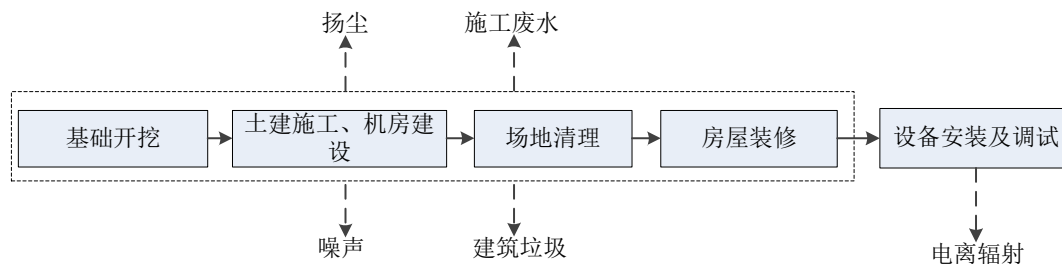


图 9-17 施工期施工工序及产污位置图

二、运行期正常工况污染源分析

1、医用电子直线加速器污染源分析

(1) 电离辐射

①X 射线

本项目医用电子直线加速器加速粒子均为电子，当电子束经高能加速后与靶物质相互作用时产生韧致辐射（即 X 射线），本项目医用电子直线加速器可以提供 X 线和电子线，15MV 医用电子直线加速器 X 射线最大空气吸收剂量率为 24Gy/min，最大电子线能量为 22MeV，最大电子线空气吸收剂量率为 6Gy/min。电子和 X 射线是随机器的开关而产生和消失的。

②光中子

当 15MV 医用电子直线加速器采用 X 射线治疗时，X 射线中能量大于 10MeV 的光子与加速器的靶、准直器、均整器及电子束和光子通道上的其他物质相互作用发生光核反应产生中子。直接光中子平均能量不超过 1MeV，直接光中子与加速器厅壁发生弹性散射和非弹性散射，散射中子能量为 0.24MeV。直接光中子和散射中子的平均能量约 0.34MeV。

③γ 射线

15MV 医用电子直线加速器机头产生的直接光中子和散射中子作用于屏蔽物质时被捕获，同时产生 γ 射线，中子捕获 γ 射线平均能量约 3.6MeV。

(2) 废气

①放射性废气

空气中主要核素组成包括：氧、氮、碳等，根据《辐射防护手册（三分册）》表 4.4，医用电子直线加速器在治疗中发出的光子通过空气时，当光子的能量达

到或超过光核反应 (γ, n) 的阈能时, 可能产生碳-11、氮-13、氧-15 等感生型放射性气体。其光核反应特性如下:

表 9-1 空气中光核反应特性表

序号	核素	反应阈能 (MeV) *	产物	产物半衰期
1	碳-12	18.7	碳-11	20.5min
2	氮-13	10.6	氮-13	10.0min
3	氧-16	15.7	氧-15	124.0s

注: 该能量是指光子能量, 即 X 射线能量。

根据表 9-1, 15MV 医用电子直线加速器平均光子能量能达到 15MeV, 能产生氮-13 感生放射性气体。

②有害气体

本项目所使用医用电子直线加速器在运行过程中产生的有害气体主要是空气中的氧和氮在在辐射作用下电离而生成的臭氧和氮氧化物, 臭氧是强氧化物, 能使材料加速老化, 与有机物及可燃气体接触时易引起爆炸, 氮氧化物的产生量比臭氧小 10 倍, 对环境影响很小, 本次主要考虑臭氧。

(3) 废水

本项目医用电子直线加速器使用的冷却水均循环使用不外排。

(4) 固体废物

本项目医用电子直线加速器产生的放射性固废是电子束靶体, 该放射性固废只有在检修的过程中才可能会产生, 其组成核素包括: 铁、铜、铅等, 根据《辐射防护手册 (三分册)》表 4.4, 其光核反应特性如下:

表 9-2 加速器材料靶头中光核反应特性表

序号	核素	反应阈能 (MeV) *	产物	产物半衰期
1	铁-54	13.6	铁-53	8.5min
2	铜-65	9.9	铜-64	12.9h
3	铅-204	8.2	铅-203	52.0h

注: 该能量是指光子能量, 即 X 射线能量。

根据表 9-2, 本项目 15MV 医用电子直线加速器平均光子能量可达到 15MeV, 靶头可能产生的感生放射性核素包括: 铁-53, 铜-64、铅-203 等。

2、后装机污染源分析

(1) 电离辐射

治疗时由施源器将其从贮源铅室顺着输源管释放至病变部位进行照射。铱

-192 的衰变方式主要是 β 衰变，粒子能量为 0.675MeV，半衰期为 74 天，同时在衰变时伴随发射 0.468MeV 的 γ 射线。0.675MeV 粒子能量的 β 射线在钢中的射程为 0.3mm，本项目后装治疗机中的铱-192 放射源属密封放射源，采用不锈钢包壳进行密封，该包壳已将 β 射线屏蔽，所以评价中不考虑 β 射线的影响。

(2) 固体废物

后装机使用的铱-192 每 6 个月~8 个月由厂家专业技术人员换一次源，由此产生退役放射源，该放射源直接由生产厂家回收。

(3) 废气

后装机在开启状态下，因 γ 射线与空气中的氧在电离作用下产生臭氧。

3、DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机及Ⅲ类射线装置污染源分析

(1) 电离辐射

X 射线装置机开机工作时，通过高压发生器和 X 光管产生高速电子束，电子束撞击钨靶，靶原子的内层电子被电离，外层电子进入内层轨道填补空位，放出具有确定能量的 X 射线，本项目 DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机及Ⅲ类射线装置产生的最大 X 射线能量均为 150kV，不开机状态不产生辐射。

(2) 固体废物

在进行介入治疗室会产生一次性不含放射性的医疗用品及器械、废纱布等医疗固体废物。

(3) 废气

X 射线因与空气发生电离作用产生少量臭氧。

4、核医学中心污染源分析

(1) 电离辐射

根据核医学中心涉及使用的放射性核素，运行过程可产生的电离辐射包括： β 、 γ 射线。各核素产生的射线特性见表 1-11。

(2) 废水

本项目氟-18、锝-99m、碘-131 显像诊断病人均不需要进行住院观察，所以在注射后候诊过程中产生的废水主要来源于少量排泄废水、清洗废水，根据《建筑给排水设计规范》（GB50015-2010），门诊病人用水定额取（20L/次·人），排水量直接按用量计算。本项目核医学中心放射性废水产生情况见表 9-3。

表 9-3 核医学中心放射性废水排放汇总表

核素	半衰期	产生场所	产生来源	排放量 (L/d·人)	排放浓度 (Bq/L)	日最大病人 人数(人)	日产生 量(L/d)
^{18}F	109.7min	PET 影像中心	排泄、清洗	20	5.55E+06	30	600
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	ECT 影像中心	排泄、清洗	20	1.11E+07	30	600
^{131}I	8.04d		排泄、清洗	20	3.70E+06	10	200
合计							1400

*注：病人单次放射性核素排放量取用药量的 20% 计算。

(3) 固体废物

①氟-18、锝-99m、碘-131 显像诊断采取注射的方式进行给药，产生的固体废物包括：一次性注射器、针头、手套、药瓶等，产生量约 50g/人·次，此外还有使用的钼锝发生器，年产生量 50 个。

②PET 影像中心和 ECT 影像中心废气排放口设置有活性炭过滤器，建设单位将每半年进行校正和更换，产生量约 200kg/a。

③PET/CT 使用的锞-68 校准源每隔一定时间更换一次，更换时将产生废锞-68 放射源。

根据前述分析，放射性固废产生情况见表 9-4。

表 9-4 核医学中心放射性固废汇总表

核素名称	产生场所	产生来源	产生量	日最大病人人数（人）	日产生量（kg/d）
^{18}F	PET 影像中心	一次性注射器、口罩、手套、药瓶以及擦拭废物	50g/ d•人	30	1.5
^{18}F		过滤器	100kg/a	/	/
^{68}Ge		废旧放射源	3 枚	/	/
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	ECT 影像中心	一次性注射器、口罩、手套、药瓶以及擦拭废物	50g/ d•人	30	1.5
^{131}I		一次性注射器、口罩、手套、药瓶以及擦拭废物	50g/ d•人	10	0.5
^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$		废弃钼锝发生器	50 个/年	/	/
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I		过滤器	100kg/a	/	/
合计					3.5

(4) 废气

核医学中心涉及使用氟-18、锝-99m、碘-131 均属于液态放射性药物，均采用负压瓶进行密封储存，在分装过程中采取注射器进行抽取，并最终通过静脉注

射进入病人体内，在整个过程中注射类药物放射性核素气溶胶挥发量较小，其中碘-131 属于碘化钠化合物，其他均属于非挥发性化合物，本次评价仅考虑碘-131 气溶胶的环境影响，挥发量按日最大操作量的 1%进行保守估算，经计算，日最大挥发量为 $3.70 \times 10^7 \text{Bq}$ 。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

通过污染源分析可知，本项目产生的主要污染物为 γ 射线、 β 射线和表面沾污。同时病人治疗和诊断过程还会产生放射性废水和放射性固废。针对这些污染物，建设单位在设计阶段均制定了相应的污染防治措施。

一、平面布置合理性分析

1、核医学中心平面布置合理性分析

(1) PET 影像中心辐射工作场所平面布置

本项目 PET 影像中心位于肿瘤中心大楼负一层，肿瘤中心大楼共 2 层（楼顶距离地面 12.6m），PET 影像中心东侧为病人等候区、过道、接待区、公共卫生间、公共等候区、病案室等，北侧为设备间、读片室、治疗准备室、设备库房、过道、放疗中心休息间、办公室、员工卫生间等，西侧和南侧为绿化带，楼上为肿瘤中心接待大厅及公共卫生间等，楼下为消防水池、库房、办公室、员工休息室、医学工程室、更衣间、淋浴间等。整个 PET 影像中心设置有独立门禁出入口，非工作人员引导不能直接进入，其中入口位于东侧，出口位于西侧，整个场所相对封闭。PET 影像中心平面布置见附图 3。

(2) ECT 影像中心辐射工作场所平面布置

本项目 ECT 影像中心位于医技/住院楼一层，医技/住院楼共 4 层（楼顶距离地面 33.6m），ECT 影像中心北侧为过道、设备库房、技师工作室、污物间、保洁间、资料室等，东侧为过道、洁品库房、内镜存储室、内镜清洗室、污物间等，南侧和西侧无功能房间，楼上为手术中心麻醉复苏区，楼下无功能房间。整个 ECT 影像中心设置有独立门禁出入口，非工作人员引导不能直接进入，其中入口位于东侧，出口位于北侧，整个场所相对封闭。ECT 影像中心平面布置见附图 4。

(3) 衰变池平面布置

本项目衰变池设置在肿瘤中心大楼西侧绿化带内，衰变池选址已避开人流较大的门诊入口和住院入口，所在位置较为独立，同时 PET 影像中心和 ECT 影像中心产生的放射性废水通过独立管道引入该衰变池内，且衰变池池体和下水管道均采用 300mm 混凝土进行屏蔽防护，对周围辐射环境影响较小，其布置是合理

的。

综上所述，本项目核医学科中心相对封闭且独立，就诊病人与医生流通路径不交叉重叠，且人流与物料能实现时间隔离，各单元功能分区明确，满足诊治工作要求，既能有机联系，又不相互干扰，从辐射安全的角度考虑，核医学科中心平面布置是合理的。

2、射线装置辐射工作场所平面布置合理性分析

(1) 放疗中心辐射工作场所平面布置合理性分析

本项目放疗中心射线装置机房均位于肿瘤中心大楼负一楼，并采取集中布置的方式，从南往北依次为 1#医用电子直线加速器机房、2#医用电子直线加速器机房和后装机机房，配套的水冷机房和控制室均布置于东侧，整个机房区北侧和西侧为地下停车场、东侧为过道、治疗计划室、办公室、模拟定位机机房和诊断室等，南侧为后装机前室、设备用房、储源室、办公室等，楼上为体检中心，楼下无功能房间。整个机房区避开人流量较大的门诊区、住院区，所在位置较为独立，产生的电离辐射经屏蔽后对周围辐射环境影响是可接受的，平面布置合理，放疗中心平面布置见附图 5。

(2) 内镜中心、手术中心辐射工作场所平面布置合理性分析

内镜中心位于医技/住院楼一层，采取集中布置，1#ERCP 机房和 2#ERCP 机房公用 1 间控制室，机房北侧为过道、多功能室、汇流排间等，东侧为过道、隔离准备/恢复室、隔离前室、库房等，南侧为胃肠镜，西侧为过道、内镜存储室、洁品库房、水处理间等，楼上为手术室，楼下为库房，内镜中心平面布置见附图 5。

手术中心位于医技/住院楼二楼，采取集中式布置，从西往北依次布置杂交导管室、1#电生理室、2#电生理室、1#导管室、2#导管室、3#导管室、1#杂交手术室、2#杂交手术室，整个机房区北侧为过道、手术区、东侧为过道、洁品库房、设备暂存间等、南侧为过道、配药室、洁品库房、隔离间、刷手间、病床电梯、设备库房、麻醉准备工作区、手术用品库房、导管室设备暂存间、心内医生工作区等，西侧为体外循环室、污车暂存间、污物间设备暂存间、污物梯等，楼上为住院康复治疗区和康复病房区，楼下为急诊中心检查区域，手术中心平面布置见附图 6。

内镜中心、手术中心射线装置机房使用地点固定，且机房避开了人群较为集中的门诊区、妇科/儿科住院区，所处位置相对独立，同时，在对病人进行诊疗时，医生通道、病人通道都是独立设置的，有利于病人流通，且避免了交叉影响。同时，各射线装置机房采取了有效的屏蔽措施，产生的电离辐射经屏蔽后对周围辐射环境影响是可接受的，平面布置合理。

二、工作区域管理

为加强核技术利用医疗设备所在区域的管理，限制无关人员受到不必要的照射，划定控制区和监督区。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）控制区和监督区的定义划定控制区和监督区。其定义为“控制区：在辐射工作场所划分的一种区域，在这种区域内要求或可能要求采取专门的防护手段和安全措施；监督区：未被确定为控制区、通常不需要采取专门防护手段和措施但要不断检查其职业照射条件的任何区域”。结合定义与现场实际，本次环评对控制区和监督区的划分见表 10-1 和图 10-2～图 10-6。

表 10-1 控制区和监督区划分

工作场所		控制区	监督区	备注
核医学中心	PET 影像中心	储源室、分装/标记室、注射室、1#、2#注射后等待室、注射后等候区、病人卫生间、抢救室、PET/CT 机房、1#、2#留观室放射性固废暂存间、保洁间、用药病人通道、前室、电梯前室等	PET/CT 控制室、应急冲淋室、缓冲间等	控制区内禁止外来人员进入，职业人员在进行日常工作时候尽量减小在控制区内居留时间，以减少不必要的照射。监督区范围内应尽量限制无关人员进入。另外本次环评要求：新建衰变池所在位置应进行隔离，防止无关人员进入。并张贴电离辐射警告标志。
	ECT 影像中心	储源室、分装/标记室、注射室、注射后等待室、运动负荷测试室、药物负荷测试室、留观室、放射性固废暂存间、1#、2#SPECT/CT 机房、用药病人通道等	SPECT/CT 机控制室、应急冲淋室、更衣室、前室、病人等候区、医生诊室等	
放疗中心		1#、2#医用电子直线加速器机房	配套控制室、水冷机房、前室、污物间等	环评要求：新建衰变池所在位置应进行隔离，防止无关人员进入。并张贴电离辐射警告标志。
		后装机机房	控制室、前室	
内镜中心		1#、2#ERCP 机房	控制室	
手术中心		杂交导管室，1#、2#电生理室，1#、2#、3#导管室，1#、2#杂交手术室	控制室、设备间、缓冲间	

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，见图 10-1；

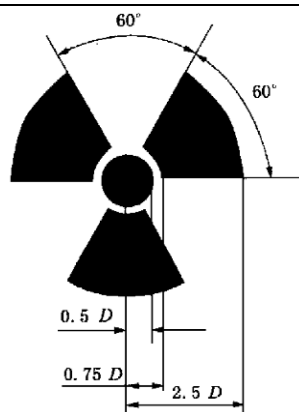
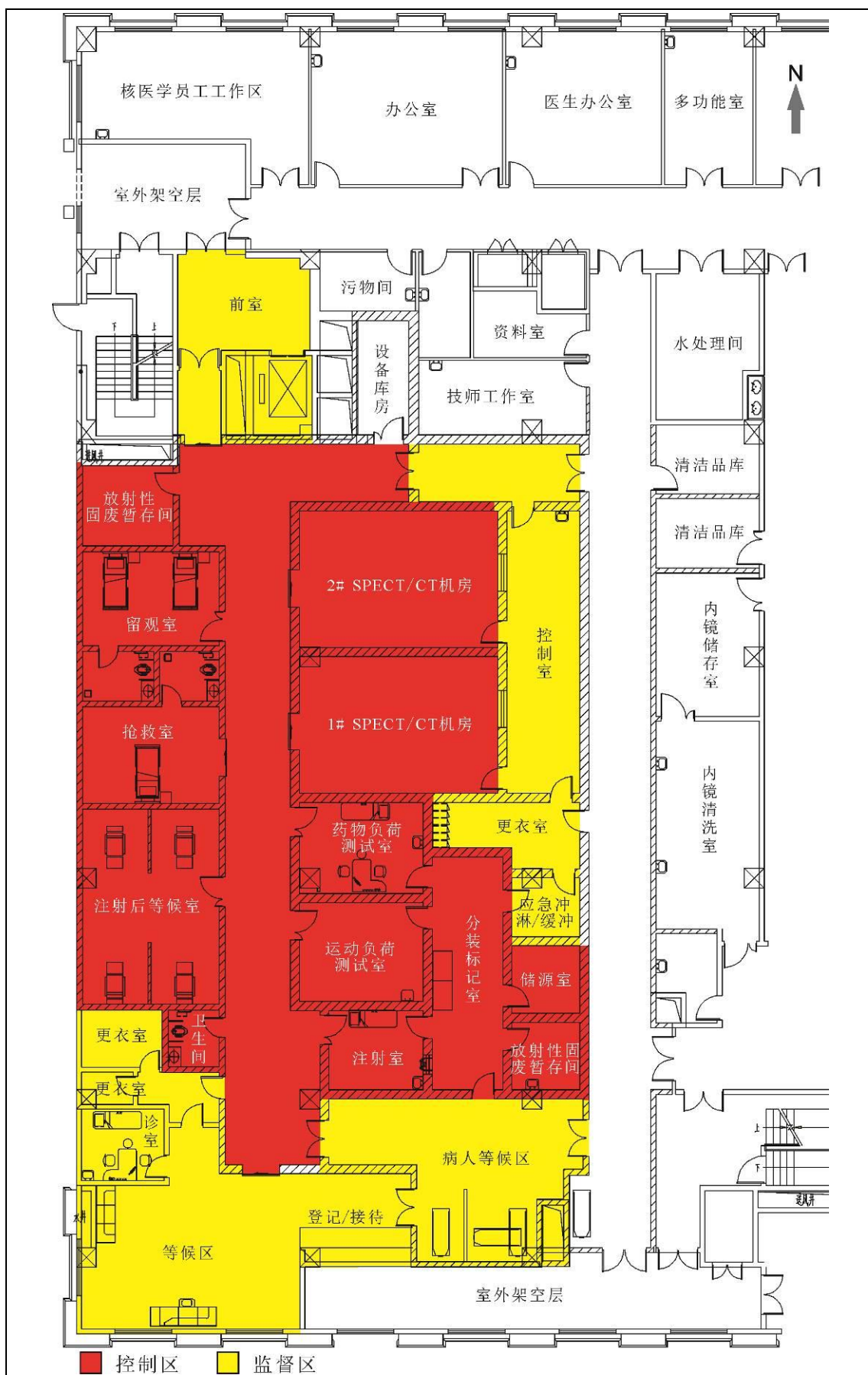


图 10-1 电离辐射标志和电离辐射警告标志

- ②制定职业防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；
- ③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门禁）限制进出控制区；
- ④在卫生通过区域配备个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜等；
- ⑤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。

2、监督区防护手段与安全措施

- ①以黄线警示监督区为边界；
- ②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；
- ③定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。



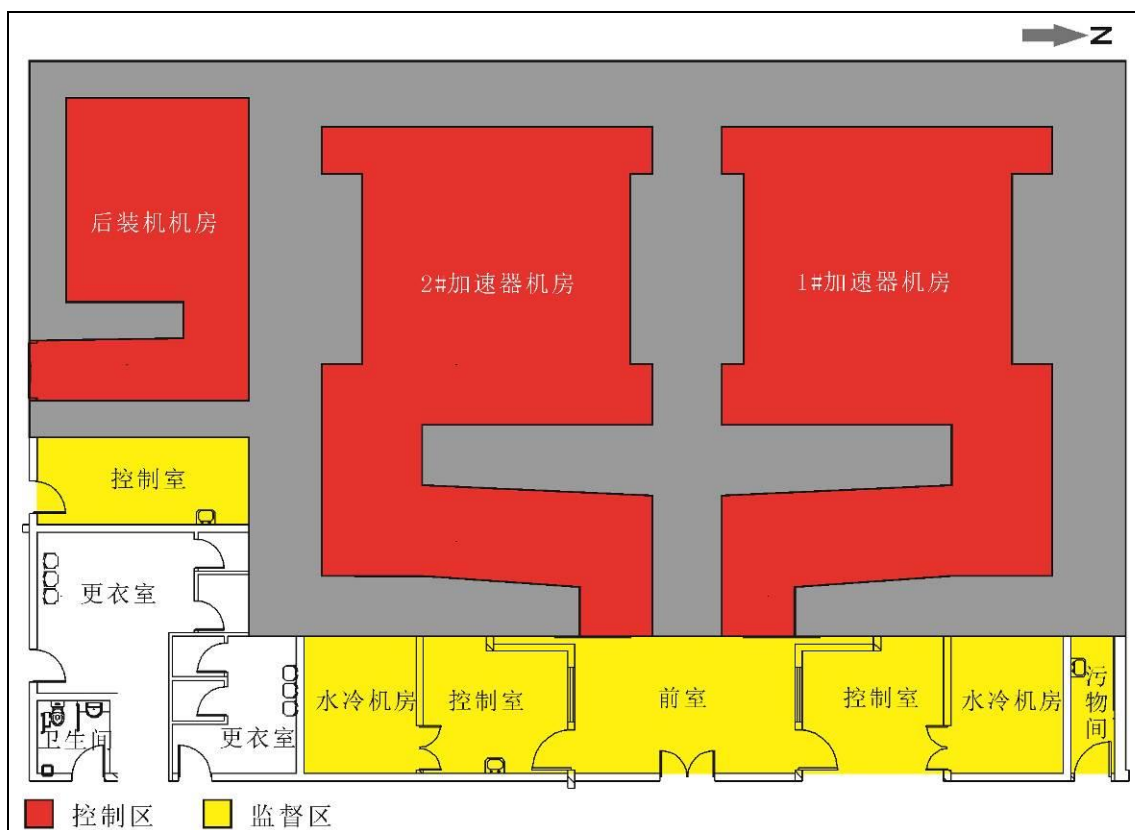


图 10-4 放疗中心“两区”划分图

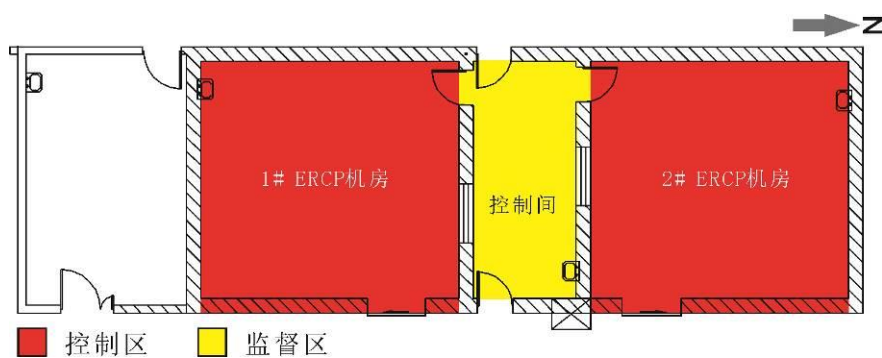


图 10-5 内镜中心“两区”划分图

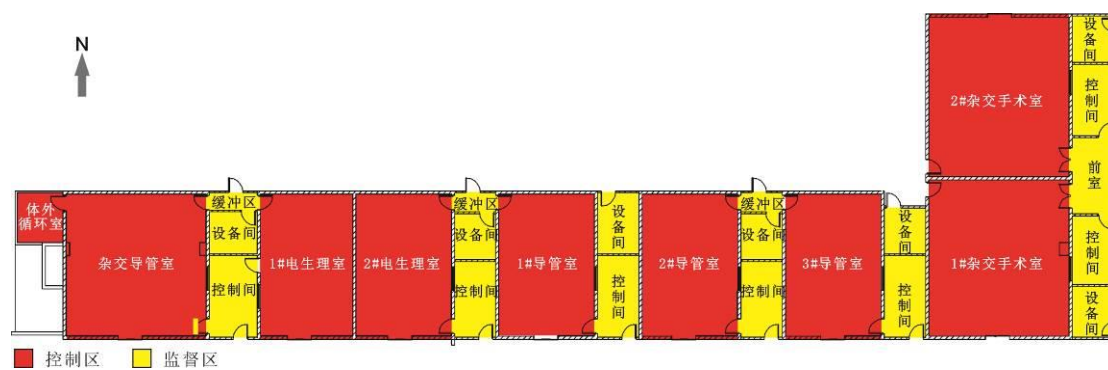


图 10-6 手术中心“两区”划分图

三、场所辐射安全与防护措施

（一）核医学中心辐射安全与防护措施

1、辐射安全与防护要求

根据《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）核医学的非密封放射性物质工作场所根据操作放射性核素的权重活度分为三级，见表 10-2。

表 10-2 临床核医学工作场所分级

分级	权重活度，MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50

注：权重活度=（计划的日最大操作活度×核素毒性权重系数）/操作性质修正系数。

本项目放射性核素毒性权重系数和操作性质修正系数见表 10-3 和 10-4。

表 10-3 放射性核素的毒性权重系数

类别	放射性核素	权重系数
A	^{99}Mo 、 ^{131}I 、	100
B	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	1

表 10-4 不同操作性质的修正系数

操作方式和地区	修正系数
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

按照表 10-3~10-4，本项目各个核素权重活度计算结果见表 10-5 和表 10-6。

表 10-5 PET 影像中心使用核素权重活度结算结果

工作场所	核素	日最大操作量(Bq)	操作性质修正系数	毒性权重系数	计算结果(Bq)	合计结果(MBq)	防护分级
储源室	^{18}F	8.33×10^{10}	100	1	$8.33\text{E}+08$	833	II
分装/标记室	^{18}F	1.67×10^{10}	1	1	$1.67\text{E}+10$	$1.67\text{E}+04$	II
注射室	^{18}F	5.55×10^8	1	1	$5.55\text{E}+08$	555	II
抢救室	^{18}F	5.55×10^8	10	1	$5.55\text{E}+07$	55.5	II
注射后休息室、病人卫生间	^{18}F	1.67×10^{10}	10	1	$1.67\text{E}+09$	$1.67\text{E}+03$	II
PET/CT 机房	^{18}F	5.55×10^8	10	1	$5.55\text{E}+07$	55.5	II
留观室	^{18}F	1.67×10^{10}	10	1	$1.67\text{E}+09$	$1.67\text{E}+03$	II
放射性固废暂存间、保洁间	^{18}F	5.55×10^8	10	1	$5.55\text{E}+07$	55.5	II

表 10-6 ECT 影像中心使用核素权重活度结算结果							
工作场所	核素	日最大操作量 (Bq)	操作性修正系数	毒性权重系数	计算结果 (Bq)	合计结果 (MBq)	防护分级
储源室	⁹⁹ Mo	3.70×10 ¹⁰	100	100	3.70E+10	4.1E+4	II
	^{99m} Tc	3.33×10 ¹⁰	100	1	3.33E+10		
	¹³¹ I	3.7×10 ⁹	100	100	3.70E+09		
分装/标记室	⁹⁹ Mo	3.70×10 ¹⁰	100	100	3.70E+10	4.4E+5	I
	^{99m} Tc	3.33×10 ¹⁰	1	1	3.33E+10		
	¹³¹ I	3.7×10 ⁹	1	100	3.70E+09		
注射室	^{99m} Tc	1.11×10 ⁹	1	1	1.11E+09	3.81E+4	II
	¹³¹ I	3.7×10 ⁸	1	100	3.70E+08		
抢救室	^{99m} Tc	1.11×10 ⁹	10	1	1.11E+09	3.81E+4	II
	¹³¹ I	3.7×10 ⁸	10	100	3.70E+08		
药物负荷测试室	^{99m} Tc	1.11×10 ⁹	10	1	1.11E+09	3.81E+4	II
	¹³¹ I	3.7×10 ⁸	10	100	3.70E+08		
运动负荷测试室	^{99m} Tc	1.11×10 ⁹	10	1	1.11E+09	3.81E+4	II
	¹³¹ I	3.7×10 ⁸	10	100	3.70E+10		
注射后休息室、病人卫生间	^{99m} Tc	1.11×10 ⁹	10	1	3.33E+08	3.81E+4	II
	¹³¹ I	3.7×10 ⁸	10	100	3.70E+09		
1#、2# SPECT/CT 机房	^{99m} Tc	1.11×10 ⁹	10	1	3.70E+10	3.81E+4	II
	¹³¹ I	3.7×10 ⁸	10	100	3.33E+10		
留观室	^{99m} Tc	1.11×10 ⁹	10	1	3.70E+11	3.81E+4	II
	¹³¹ I	3.7×10 ⁸	10	100	1.11E+09		
放射性固废暂存间	^{99m} Tc	1.11×10 ⁹	10	1	3.70E+10	3.81E+4	II

根据表 10-5 和表 10-6 计算结果,可以得出不同级别工作场所室内防护要求,见表 10-7。

表 10-7 按不同级别工作场所室内表面和装备的要求

工作场所	工作场所	地面	表面	通风橱 ^①	室内通风	管道	清洗及去污设备
I	ECT 影像中心分装/标记室	地板与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要(风速不小于 1m/s)	应设抽风机	特殊要求 ^②	需要
II	PET 影像 储源室、分装/标记室、注射	易清洗且不易渗	易清洗	需要(风速不小于	有较好通风	一般要求	需要

	中心	室、抢救室、注射后休息室、病人卫生间、PET/CT 机房、留观室、放射性固废暂存间			1m/s)			
	ECT 影像中心	储源室、注射室、抢救室、注射后休息室、病人卫生间、SPECT/CT 机房、留观室、放射性固废暂存间						

注：①仅指实验室；②下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检修。

综上所述，通过计算 PET 影像中心储源室、分装/标记室、注射室、抢救室、注射后休息室、病人卫生间、PET/CT 机房、留观室、放射性固废暂存间需达到 II 级场所防护要求；ECT 影像中心分装/标记室需达到 I 级场所防护要求，ECT 影像中心储源室、注射室、抢救室、注射后休息室、病人卫生间、SPECT/CT 机房、留观室、放射性固废暂存间需达到 II 级场所防护要求。根据场所各级防护要求，本项目核医学中心 PET 影像中心和 ECT 影像中心具体设计情况见表 10-8。

表 10-8 本项目非密封放射性物质工作场所防护设计落实情况

工作场所	地面	工作台面	通风橱	室内通风	管道	清洗及去污设备
PET 影像中心	控制区地面采用环氧树脂自流平地面，墙面与地面交接作圆角处理，地面全部敷设易去污并可以拆除更换的材料，其边缘应高出地面 15~25cm，且地面光滑，并具有易去污，受辐照后不易老化，且防水	分装/标记室操作台设置易清洗不锈钢台面	分装/标记室内设置 2 套通风橱，风速大于 1m/s	已设计独立排风系统，并引至行政会议大楼屋顶排放	已设计独立下水系统，连接至室外并联衰变池	应急冲淋室设置表面沾污检测设备，和去污设备
ECT 影像中心		分装/标记室操作台设置易清洗不锈钢台面	分装/标记室内设置 1 套通风橱，风速大于 1m/s	已设计独立排风系统，并引至医技/住院楼楼顶排放	已设计独立下水系统，连接至室外并联衰变池	应急冲淋室设置表面沾污检测设备，和去污设备

2、场所及操作过程屏蔽措施

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

(1) 建筑物屏蔽设计

本项目辐射工作场所的设计和修建均由相应资质的单位进行设计和装饰，PET 影像中心和 ECT 影像中心四周墙体、屋顶、地板、门、窗均装修相应的屏蔽体对射线进行有效的屏蔽，各场所屏蔽状况见表 10-9 和表 10-10。硫酸钡板和硫酸钡水泥防护设计方案见图 10-7~图 10-10。

表 10-9 PET 影像中心房间屏蔽设计情况一览表

工作场所	墙体	屋顶	门	窗
储源室	370mm 实心砖+2mm 铅当量硫酸钡水泥	180mm 钢筋混凝土 +2mm 铅当量硫酸钡板	9mm 铅当量铅钢门	/
分装/标记室	370mm 实心砖+2mm 铅当量硫酸钡水泥	180mm 钢筋混凝土 +2mm 铅当量硫酸钡板	9mm 铅当量铅钢门	/
注射室	370mm 实心砖+2mm 铅当量硫酸钡水泥	180mm 钢筋混凝土 +2mm 铅当量硫酸钡板	9mm 铅当量铅钢门	40mm 铅当量铅玻璃的注射窗
抢救室	370mm 实心砖+2mm 铅当量硫酸钡水泥	180mm 钢筋混凝土 +2mm 铅当量硫酸钡板	3mm 铅当量铅钢门	/
注射后等待室	370mm 实心砖+2mm 铅当量硫酸钡水泥	180mm 钢筋混凝土 +2mm 铅当量硫酸钡板	6mm 铅当量铅钢门	/
PET/CT 机房	370mm 实心砖+2mm 铅当量硫酸钡水泥	180mm 钢筋混凝土 +2mm 铅当量硫酸钡板	6mm 铅当量铅钢门	6mm 铅当量铅玻璃的观察窗
留观室	370mm 实心砖+2mm 铅当量硫酸钡水泥	180mm 钢筋混凝土 +2mm 铅当量硫酸钡板	6mm 铅当量铅钢门	/
放射性固废暂存间	370mm 实心砖+2mm 铅当量硫酸钡水泥	180mm 钢筋混凝土 +2mm 铅当量硫酸钡板	6mm 铅当量铅钢门	/
保洁间	370mm 实心砖+2mm 铅当量硫酸钡水泥	180mm 钢筋混凝土 +2mm 铅当量硫酸钡板	6mm 铅当量铅钢门	

表 10-10 ECT 影像中心房间屏蔽设计情况一览表					
工作场所	墙体	屋顶	地板	门	窗
储源室	370mm 实心砖 +1mm 铅当量硫酸钡水泥	120mm 现浇混凝土+2mm 铅当量硫酸钡板	180mm 现浇混凝土+1mm 铅当量硫酸钡水泥	3mm 铅当量铅钢门	/
分装/标记室	370mm 实心砖 +1mm 铅当量硫酸钡水泥	120mm 现浇混凝土+2mm 铅当量硫酸钡板	180mm 现浇混凝土+1mm 铅当量硫酸钡水泥	3mm 铅当量铅钢门	/
注射室	370mm 实心砖 +1mm 铅当量硫酸钡水泥	120mm 现浇混凝土+2mm 铅当量硫酸钡板	180mm 现浇混凝土+1mm 铅当量硫酸钡水泥	3mm 铅当量铅钢门	20mm 铅当量铅玻璃的注射窗
运动负荷测试室	370mm 实心砖 +1mm 铅当量硫酸钡水泥	120mm 现浇混凝土+2mm 铅当量硫酸钡水泥	180mm 现浇混凝土+1mm 铅当量硫酸钡水泥	3mm 铅当量铅钢门	/
药物负荷测试室	370mm 实心砖 +1mm 铅当量硫酸钡水泥	120mm 现浇混凝土+2mm 铅当量硫酸钡板	180mm 现浇混凝土+1mm 铅当量硫酸钡水泥	3mm 铅当量铅钢门	/
抢救室	240mm 实心砖 +1mm 铅当量硫酸钡水泥	120mm 现浇混凝土+2mm 铅当量硫酸钡板	180mm 现浇混凝土+1mm 铅当量硫酸钡水泥	3mm 铅当量铅钢门	/
注射后等待室	240mm 实心砖 +1mm 铅当量硫酸钡水泥	120mm 现浇混凝土+2mm 铅当量硫酸钡板	180mm 现浇混凝土+1mm 铅当量硫酸钡水泥	3mm 铅当量铅钢门	/
1#、2#SPECT/CT 机房	370mm 实心砖 +1mm 铅当量硫酸钡水泥	120mm 现浇混凝土+2mm 铅当量硫酸钡板	220mm 现浇混凝土	3mm 铅当量铅钢门	3mm 铅当量铅玻璃的观察窗
留观室	240mm 实心砖 +1mm 铅当量硫酸钡水泥	120mm 现浇混凝土+2mm 铅当量硫酸钡板	180mm 现浇混凝土+1mm 铅当量硫酸钡水泥	3mm 铅当量铅钢门	/
放射性固废暂存间	370mm 实心砖 +1mm 铅当量硫酸钡水泥	120mm 现浇混凝土+2mm 铅当量硫酸钡板	180mm 现浇混凝土+1mm 铅当量硫酸钡水泥	3mm 铅当量铅钢门	/

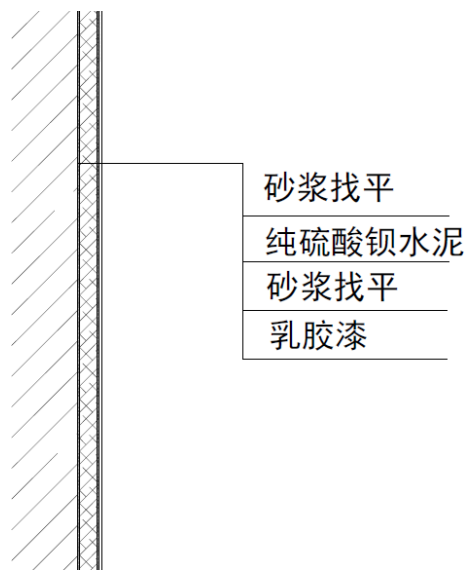


图 10-7 墙面硫酸钡水泥防护设计方案

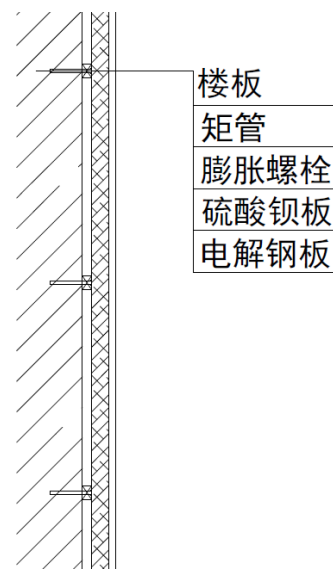


图 10-8 墙面硫酸钡板防护设计方案

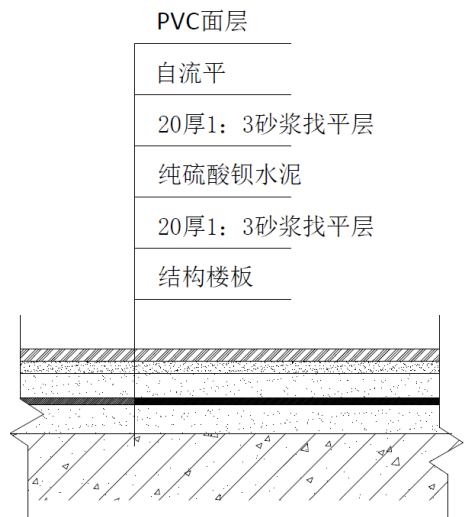


图 10-9 地面硫酸钡水泥防护设计方案

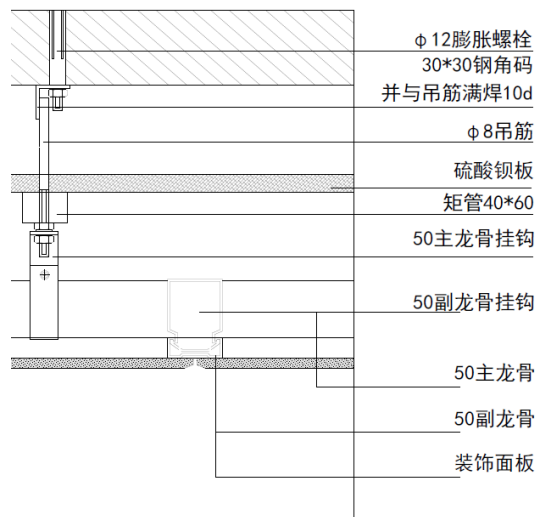


图 10-10 顶板硫酸钡板防护设计方案

(2) 储存过程的防护措施

本项目外购的钼铈发生器规格为 1Ci，钼铈发生器货包进厂前按《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）规定货包的要求进行包装，货包表面表面任意一点的最高辐射水平为 $0.005\text{mSv/h} < H \leq 0.5\text{mSv/h}$ ，同时钼铈发生器设计满足《裂变钼 99-铈 99m 色层发生器》（GB1317-2009），其屏蔽防护体厚度为 27mm 贫铀+15mm 铅。订购的钼铈发生器有生产厂家先转运至 ECT 影像中心储源室内，为保证钼铈发生器的安全储存，该储源室内设置 5mm 铅当量的双人双锁储源铅柜，每天分装结束后由工作人员转运至该储源室储源柜中暂存，并建立放射性药物使用台账。

本项目氟-18、碘-131 放射药物外购时及自身体带有屏蔽层，且转入医院前表面辐射剂量率水平满足《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019），货包表面任意一点的最高辐射水平为 $0.005\text{mSv/h} < H \leq 0.5\text{mSv/h}$ ，转入医院后氟-18、碘-131 放射性药物直接转入分装/标记室的通风橱进行分装操作，对于未使用完的放射性药物转入 PET 影像中心或 ECT 影像中心储源室的双人双锁保险柜中，储源室设置有红外监控摄像头，固定式剂量报警仪及红外报警装置，防止放射性物品被盗或破坏，并建立放射性药物使用台账。

本项目核医学中心 PET/CT 校准用的锞-68 放射源储存于 PET/CT 机头安全铅盒内，且放射源外面有不锈钢包壳，无需专门设置储源室暂存，放射源的更换由生产厂家操作，退役放射源由生产厂家回收。

（3）放射性药品操作过程屏蔽措施

①PET 影像中心氟-18 的分装操作均在通风橱内完成，该通风橱四周及上下均为 50mm 铅当量屏蔽体，操作窗为 50mm 铅当量铅玻璃，通风橱内设 50mm 铅当量活度测量井，分装后的氟-18 药物装于外套 9mm 铅当量铅套的注射器内，注射器装于 5mm 铅盒中转运至注射台，注射时医生和病人间设置有 40mm 铅当量的注射窗。操作过程中产生的放射性废物采用 30mm 铅当量铅桶收集屏蔽，然后每天转入放射性固废暂存间内 30mm 铅当量的放射性固废暂存容器。操作过程医生穿着有铅衣、铅帽、铅围领、铅手套、铅眼镜等，其防护铅当量为 0.5mm。

②ECT 影像中心锞-99m、碘-131 的分装操作均在通风橱内完成，该通风橱四周及上下均为 16mm 铅当量屏蔽体，操作窗为 16mm 铅当量铅玻璃，通风橱内设 16mm 铅当量活度测量井，分装后的锞-99m、碘-131 药物装于外套 9mm 铅当量铅套的注射器内，注射器装于 5mm 铅盒中转运至注射台，注射时医生和病人间设置有 20mm 铅当量的屏蔽体。操作过程中产生的放射性废物采用 10mm 铅当量铅桶收集屏蔽，然后每天转入放射性固废暂存间内 10mm 铅当量的放射性固废暂存容器。操作过程医生穿着有铅衣、铅帽、铅围领、铅手套、铅眼镜等，其防护铅当量为 0.5mm。

表 10-11 核医学中心操作过程辐射屏蔽设施

场所	屏蔽设备	铅当量	数量
PET 影像 中心	通风橱	50mm	1 套
	活度测量井	50mm	1 个
	注射窗	40mm	1 个
	注射器铅盒	5mm	2 个
	注射器铅套	9mm	若干
	放射性固废收集桶	30mm	2 个
	放射性固废暂存容器	30mm	2 个
	储源柜	20mm	1 个
	铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾	0.5mm	4 套
ECT 影像 中心	通风橱	16mm	2 套
	活度测量井	16mm	2 个
	注射窗	20mm	1 个
	注射器铅盒	5mm	4 个
	注射器铅套	9mm	若干
	放射性固废收集桶	10mm	2 个
	放射性固废暂存容器	10mm	2 个
	储源柜	10mm	1 个
	铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾	0.5mm	4 套

(4) 表面沾污防治措施

①针对放射性核素的分装操作（特别是挥发的药物）采用负压隔离的方法进行防护，即本项目设置通风橱把放射性核素局限在某一空间内操作，操作过程通风橱内风速不小于 1m/s，并保持手套箱内负压，防止放射性核素逸散到实验室内。

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

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

④每天操作结束后，对场所内易接触的部位进行表面沾污监测，若出现超标情况，应即时按制定的去污操作规程开展去污操作，去污废水和擦拭纸等均需按

放射性废物管理。

⑤辐射工作人员在进行实验前应做好个人防护用品的佩戴，包括：防护工作服、帽子、鞋子、手套、袖套、围裙、口罩、防护眼镜、个人剂量计、个人剂量报警仪等，在完成实验后按指定人员通道离开，同时缓冲区设置表面沾污监测仪，并经过“洁衣剂量检查（监测不合格需经过“去污”过程）→脱洁衣→穿家常服→穿家常鞋→出口”的流程。

⑥所有辐射工作人员上岗前应经过专业培训，并熟悉自己岗位的操作流程，并具备相应的技能与防护知识，管理人员需定期进行检查，严禁人员违规操作。

⑦用药病人在入院前及出院前，医生需提前告知病人及家属辐射可能带来的危害性，就诊病人在用药后均实行病人与陪护人员及其他公众的隔离管控，用药病人候诊和留观期间禁止病人随意流动，尽量控制因吐痰或随意丢弃垃圾等行为造成表面污染范围，并使用病人专用厕所进行大小便，在留观结束后须按指定线路离开核医学中心。

（二）医用电子直线加速器、后装机辐射安全与防护措施

1、设备固有安全性

（1）医用电子直线加速器固有安全性

①控制台上显示有辐射类型、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控制台上配置有独立于其它任何控制辐照终止系统的辐照控制计时器，当辐照终止后能保留计时器读数，计时器复零，才能启动下次辐照。

④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。

⑤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。

⑥有全部安全联锁设施的检查装置，能保证所有安全联锁系统保持良好的运行状态。

⑦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。

（2）后装机固有安全性

①本项目铱-192 治疗机机头贮源部位设置了两层重金属屏蔽体，里层为 3cm 厚的金属钨，外层为 5cm 厚的金属铅，最外层为特制的防护钢壳，不易损坏。在储源状态下，后装机表面 100cm 处 γ 辐射剂量率满足《密封 γ 放射源容器卫生防护标准》（GBZ114-2006）中“密封 γ 源容器外表面 100cm 处任一点的空气比释动能率（活度大于 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ ）不得超过 0.2mGy/h”的要求。同时机体张贴有醒目的电离辐射警示标识。

②设有紧急回源装置，在任何紧急情况下（如供电系统中断）放射源可自动返回到贮源位（贮、照联锁、断电联锁），主机本身有贮电电源，计算机有 UPS 系统。

③后装机设计有独特的放射源驱动装置（若遇到管道堵塞情况可自动回源）、强制回源装置以及手动回源装置，防止不易出现卡源问题。

④后装机设计有仿真模拟运行，便于操作人员熟悉操作流程，同时在正常运行状态下，控制台显示器可以显示放射源的位置。

⑤控制台设置有防止非工作人员操作的锁定开关，只有完成治疗准备后（已正确输入准直器号、治疗时间，机房门已关闭、联锁系统就位等），才能启动按钮开始治疗，如果未完成治疗准备，不能启动治疗按钮。

2、机房屏蔽设计

（1）医用电子直线加速器机房主体结构屏蔽设计

1#、2#医用电子直线加速器机房建筑面积均为 95m^2 ，机房内有效使用面积均为 65m^2 ，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）规定的新建治疗室使用面积小于 45m^2 的要求。1#、2#医用电子直线加速器机房采取相同的布置与屏蔽设计，机房整体采用 2.35t/m^3 的钢筋混凝土连续浇筑，其中南侧、北侧主屏蔽体厚 3.1m，屏蔽宽度 5.2m，与主屏蔽相连的次屏蔽体厚 1.9m，西侧侧屏蔽体厚 1.8m，东侧“Z 形”迷道长 9.1m，迷道内墙厚 1.65m~1.95m，迷道外墙厚 1.35m~1.65m，迷道防护门屏蔽材料为 38mm 铅当量+139mm 含硼 5% 的聚乙烯，屋顶主屏蔽体厚 3.1m，屏蔽宽度 5.2m，与主屏蔽相连的次屏蔽体厚 1.85m，机房下方无地下层。为避免施工缝隙和气泡产生，机房施工方式需为连

续整体浇筑。同时，为减少接缝处射线的泄漏，要求防护门两侧铅板搭接宽度大于门缝宽度 10 倍以上。医用电子直线加速器机房屏蔽设计间附图 6。

（2）后装机机房主体结构屏蔽设计

后装机机房建筑面积 40m²，机房内净空尺寸长 5.6m×宽 6.0m×高 5.4m，机房整体采用 2.35t/m³ 的钢筋混凝土连续浇筑，其中西侧、南侧屏蔽体厚 1.0m，北侧屏蔽体最小厚 2.0m，东侧“L 形”迷道长 6.0m，迷道内墙和迷道外墙厚 1.0m，迷道防护门为 15mm 铅当量的铅钢门，顶板屏蔽体厚 1.6m，机房下方无地下层。后装机机房屏蔽设计见附图 7。

（3）机房穿墙屏蔽设计

本项目 1#、2#医用电子直线加速器机房控制电缆均布设于电缆沟内，电缆沟采取 U 型或 30°斜穿墙；进风和排风管均在迷道内采用 S 型穿墙，电缆沟和通排风系统的布设方式不影响屏蔽墙体的屏蔽效果。医用电子直线加速器机房穿墙设计附图 6，后装机机房穿墙设计间附图 7。

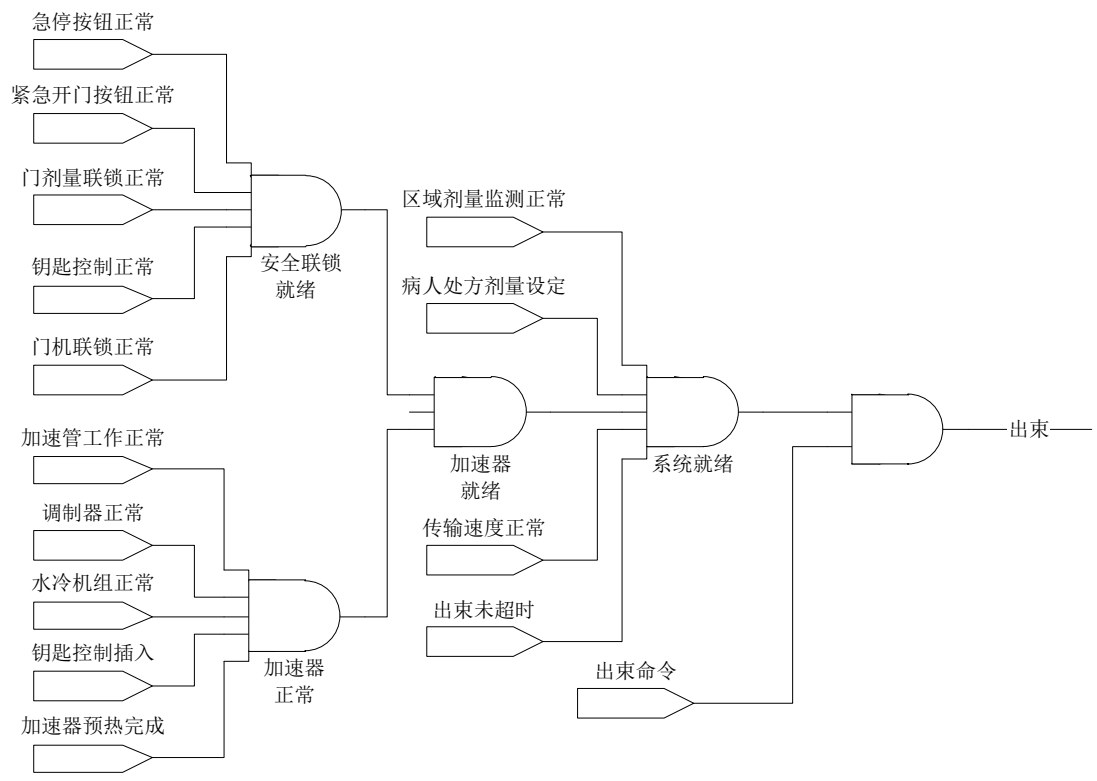
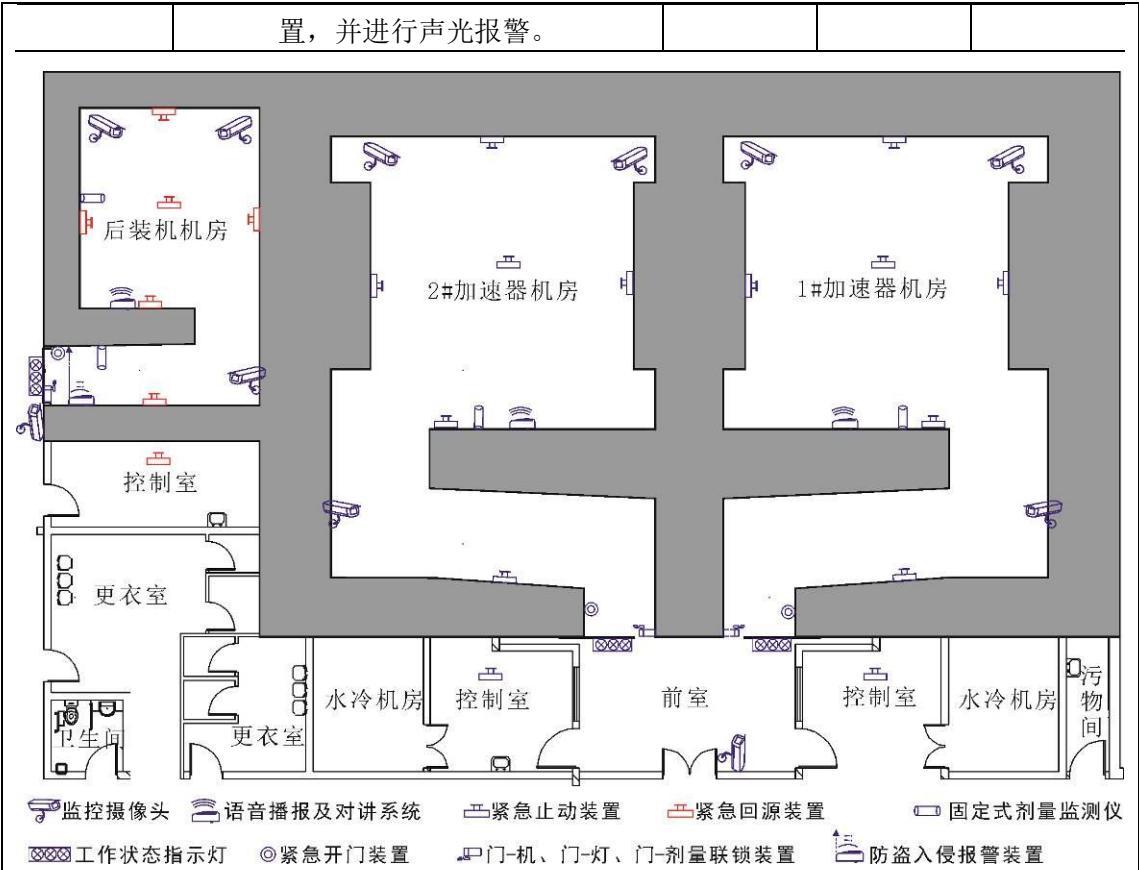
3、机房安全装置设计与布置

根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）、《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）、《环保部辐射安全与防护监督检查技术程序》（第三版）、《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环函[2016]1400 号），本项医用电子直线加速器机房和后装机机房内具体安全装置布置情况见表 10-12，各安全装置逻辑关系见图 10-11。

表 10-12 医用电子直线加速器机房和后装机机房安全装置布置表

安装装置	作用及安装要求	1#加速器 机房配置 数量	2#加速器 机房配置 数量	后装机机 房配置数 量
门-回源联 锁	在放射源开启状态下，如果开启防护门，放射源实现紧急自动回源。	/	/	1 套
门-机联锁	在启动高压装置条件下，如果开启防护门，射线装置高压会失电并停止出束，以实现门-机联锁。	1 套	1 套	/
门-剂量联 锁	机房内安装固定式剂量报警仪，并在机房外实时显示机房内辐射剂量水平，当机房内辐射剂量超过安全水平，	1 套	1 套	1 套

	工作人员不能正常从机房外随意打开防护门，以实现门-剂量连锁，避免人员误入机房造成误照射。			
紧急止动开关	加速器机房内在工作人员易于接触的地方（距离地面 1.2m 高处）设置紧急停机按钮（安装点包括墙体、迷道、治疗床、控制台），且相互串联，若触动任意开关可紧急关闭加速器停止出束，以避免机房内人员尚未完全撤离的情况下开机，产生误照射。按钮位置应有中文标识	7 个	7 个	/
紧急回源按钮	后装机机房内在工作人员易于接触的地方（距离地面 1.2m 高处）设置至少 4 个紧急回源按钮（安装点包括墙体、迷道、治疗床、控制台），且相互串联，若触动任意开关可紧急回源，以避免机房内人员尚未完全撤离的情况下开机，产生误照射。按钮位置应有中文标识	/	/	7 个
工作状态指示灯（门-灯连锁）	机房防护门口醒目处均安装工作状态指示灯，并于防护门连锁，当防护门关闭时，工作状态指示灯亮起，当防护门开启时工作状态指示灯熄灭。	1 套	1 套	1 套
准备出束语言提示	设备准备出束时，机房内进行语音提示，并告知相关人员撤离。	1 套	1 套	1 套
紧急开门按钮/紧急手动开门按钮	机房迷道入口内侧人员易接触的位置（距离地面 1.2m 高处）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，实现紧急逃逸，按钮位置应有中文标识。后装机机房需设置手动开门装置。	1 个	1 个	1 个
视频监控	机房内不同位置均安装视频监控装置，实现对机房全覆盖，便于监控曝光前人员误入。	1 套	1 套	1 套
语音播报及对讲装置	机房内设置语音广播系统，在准备出束时进行语音提示，告知非相关人员及时撤离机房，并可以通过语音对讲装置告知病人或未撤离人员。	1 套	1 套	1 套
防盗入侵报警装置	机房迷道入口设置红外线报警装置，如人员非法入侵机房将触动报警装	/	/	1 套



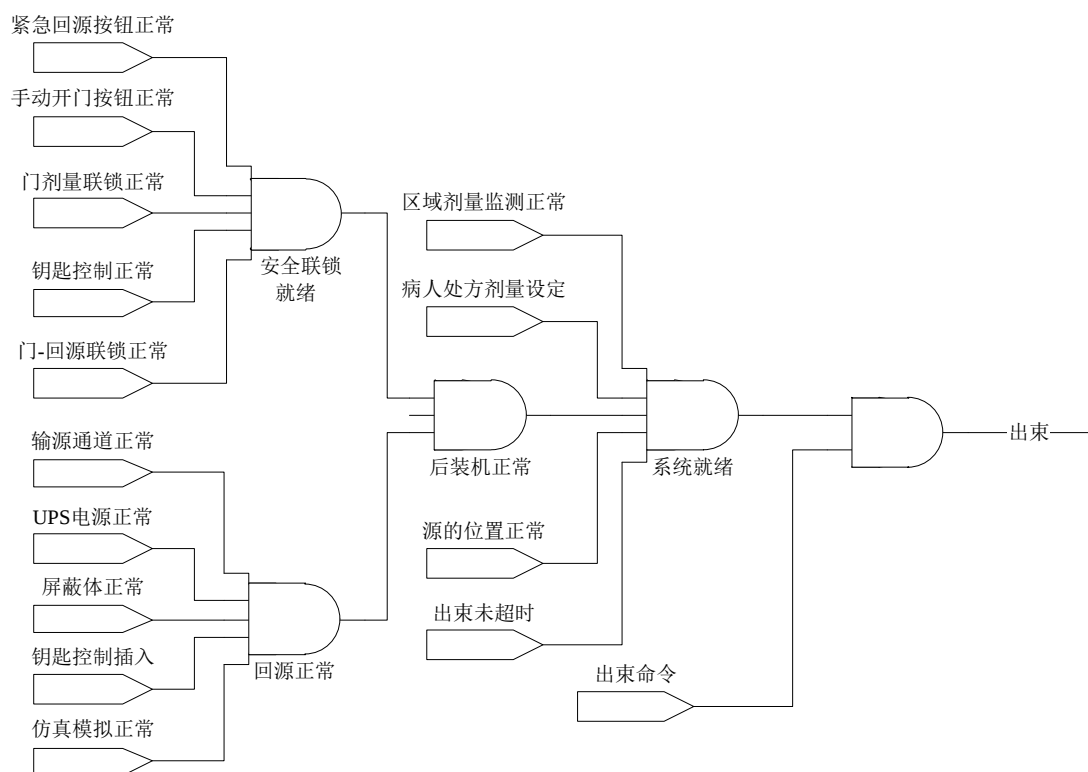


图 10-12 后装机联锁关系图

4、时间防护及距离防护

在满足治疗要求的前提下，在每次治疗之前，根据治疗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剂量值，以及尽量短的照射时间，减少工作人员和相关公众的受照时间，同时也避免病人受到额外剂量的照射。

职业人员采取隔室操作的方式，控制室与机房之间以屏蔽墙体隔开，通过摄像头和对讲机与病人交流。同时，机房划定控制区和监督区，控制区入口处设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，工作状态下禁止任何人员进入辐射区域。

（三）DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机及Ⅲ类射线装置辐射屏蔽措施

1、DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机设备固有安全性

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

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

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

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

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

(6) 配备辅助防护设施：手术床旁配备屏蔽挂帘和移动式防护帘（铅屏风）（防护厚度均为 0.5mm 铅当量）等辅助防护用品与设施，在设备运行中可用于加强对有关人员采取放射防护与安全措施。

2、机房屏蔽设计

(1) 主体结构屏蔽设计

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），X 射线装置设备机房屏蔽防护应满足表 10-13 所列要求。

表 10-13 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护要求

设备类型	机房内最小有效使用面积 (m ²)	机房内最小单边长度 (m)	有用线束方向铅当量 (mm)	非有用线束方向铅当量 (mm)
CT 机	30	4.5	2.5	
单管头 X 射线设备	20	3.5	3.0	2.0

本项目 DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房屏蔽设计情况见表 10-14。

表 10-14 X 射线装置机房屏蔽设计状况

工作场所	有效使用面积	机房长×宽	墙体	屋顶	地板	防护门	观察窗
医技/住院楼二楼 1#、2#ERCP 机房	40.3m ²	长 6.6m×宽 6.1m	370mm 实心砖+1mm 铅当量硫酸钡水泥（4mm 铅当量）	120mm 钢筋混凝土+2mm 铅当量硫酸钡板（3.5mm 铅当量）	180mm 钢筋混凝土+1mm 铅当量硫酸钡水泥（3.3mm 铅当量）	3mm 铅当量铅钢门	3mm 铅当量铅玻璃
医技/住院楼二楼杂交导管室	78.3m ²	长 8.9m×宽 8.8m	200mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡板	120mm 钢筋混凝土+3mm 铅当量硫酸	120mm 钢筋混凝土+3mm 铅当量硫酸	3mm 铅当量铅钢门	3mm 铅当量铅玻璃
医技/住院楼二楼 1#电生	51m ²	长 8.9m×	（4.6mm 铅				

理室		宽 5.7m	当量)	钡板 (4.5mm 铅当量)	钡水泥 (4.5mm 铅当量)		
医技/住院楼 二楼 2#电生 理室	53m ²	长 8.9m× 宽 6.0m					
医技/住院楼 二楼 1#、2#、 3#导管室	53m ²	长 8.9m× 宽 6.0m					
医技/住院楼 二楼 1#杂交 手术室	86.2m ²	长 9.8m× 宽 8.8m					
医技/住院楼 二楼 2#杂交 手术室	88 m ²	长 10.0m× 宽 8.8m					
PET/CT 机房	46m ²	长 8.4m× 宽 5.5m	370mm 实 心砖+2mm 铅当量硫 酸钡水泥 (5mm 铅 当量)	180mm 钢筋混 凝土 +2mm 铅 当量硫 酸钡板 (4.3mm 铅当量)	/	6mm 铅当 量铅 钢门	6mm 铅 当量铅 玻璃的 观察窗
1#、 2#SPECT/CT 机房	44.4m ²	长 8.0m× 宽 5.5m	370mm 实 心砖+1mm 铅当量硫 酸钡水泥 (4mm 铅 当量)	120mm 现浇混 凝土 +2mm 铅 当量硫 酸钡板 (3.5mm 铅当量)	220mm 现浇混 凝土 (2.9mm 铅当量)	3mm 铅当 量铅 钢门	3mm 铅 当量铅 玻璃的 观察窗

*注：根据《辐射防护手册》（第三分册）P63 表 3.4 可知，150kV 的管电压下，370mm 实心砖（密度为 1.3g/cm³）的铅当量为 3.0mm，200mm 实心砖（密度为 1.8g/cm³）的铅当量为 1.6mm，120mm 混凝土（密度为 2.2g/cm³）的铅当量为 1.5mm；180mm 混凝土（密度为 2.2g/cm³）的铅当量为 2.3mm；220mm 混凝土（密度为 2.2g/cm³）的铅当量为 3.0mm。

根据表 10-14 对照，本项目所使用的 X 射线装置机房的设计屏蔽状况满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）屏蔽防护铅当量厚度要求。

（2）穿墙及防护门安装设计要求

DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房内控制电缆和通风口采用 U 型穿墙，同时在电缆和通风口出入口处采用与机房设计相同铅当量的铅橡胶进行补偿防护。为减少接缝处射线的泄漏，要求防护门两侧铅板搭接宽度大于门缝宽度 10 倍以上。

3、介入过程辐射防护措施

①熟悉机器性能和介入操作技术，尽量减少照射和采集时间。特别避免未操作时仍踩脚闸；通过制定最优化的治疗、诊断方案尽量减少射线装置的照射时间。尽量减少人员与设备间的近距离接触时间；

②操作人员采取隔室操作方式，控制室与设备间之间以墙体隔开，通过观察窗观察病人情况，通过对讲机与病人交流；

③在不影响图像质量和诊疗需要的前提下，尽量使用低剂量选择最优化的检查参数，为保证影像质量可采用高电压、低电流、限制透视检查时间等措施，同时在不影响操作的前提下可采取缩小照射野和缩短物片距，尽量让影像增强器或平板靠近患者，减少散射线。

④介入手术过程职业人员进入机房进行透视时，应佩戴好个人防护用具包括：铅衣、铅围裙、铅围脖、铅眼镜等，并配备个人剂量计和个人剂量报警仪。

⑤第一术者位在进行透视时，应使用床下铅帘及悬吊铅帘进行局部遮挡；对于第二术者位应设置辅助铅屏风进行防护；

⑥对病人进行透视时或拍片过程，应采用适当防护设施对病人非病灶部位进行遮挡。

4、机房安全装置设计与布置

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《环保部辐射安全与防护监督检查技术程序》（第三版）、《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环函[2016]1400 号），本项目 DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机及Ⅲ类射线装置机房具体布置情况见表 10-15。

表 10-15 DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机及Ⅲ类射线装置机房安全装置布置表

安装装置	作用及安装要求	配置数量
紧急止动开关	控制室操作台和床体旁设置紧急止动开关，以避免机房内人员尚未完全撤离的情况下开机，产生误照射。按钮位置应有中文标识。	1 套×10 间
工作状态指示灯（门-灯联锁）	机房防护门口醒目处均安装工作状态指示灯，并于防护门联锁，当防护门关闭时，工作状态指示灯亮起，当防护门开启时工作状态指示灯熄灭。	手术中心：3 套×8 间；核医学中心：2 套×2 间
语音对讲装置	在准备出束时，操作台工作人员可通过语音对讲装置告知非相关人员撤离机房。	1 套×10 间

四、辐射工作场所安全保卫措施

为确保本项目所使用的II、III类射线装置、III类放射源、V类放射源和乙级非密封放射性物质工作场所的辐射安全，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和防护管理办法》，放射性同位素贮存场所应当采取防火、防盗、防丢失、防破坏、防泄漏的安全措施，本项目针对辐射工作场所拟采取的辐射安全保卫措施见表 10-16。

表 10-16 辐射工作场所安防措施一览表

场所类别	措施类别	对应措施
非密封放射性物质工作场所	防火	核医学中心安装有烟气报警装置和消防栓，且各个房间功能单位需满足《建筑设计防火规范》（GB50016-2006），本项目核医学中心区域禁止储存易燃、易爆、腐蚀性等其他一切与本项目无关的物品。同时人员易接触的地方均配备干粉式灭火器。
	防水	本项目核医学中心距离地表水体距离较远，不受地表水体影响，同时整个核医学中心地面均做了较好的防水设计，项目区域不受地下水影响。
	防盗、防抢和防破坏	①整个核医学中心控制区进行封闭管理，并设有门禁系统，非相关人员不能直接进入核医学中心内。 ②各个非密封放射性物质储存场所储存场所设置有保险柜并设置双人双锁，非密封放射性物质的转入、转出均由专人进行台账管理。 ③整个核医学中心控制区设置严密的监控系统，实行 24h 实施监控，并将核医学中心作为保安人员重点巡查范围；
	防泄漏	①本项目使用的各种放射性核素药品均来自于正规生产厂家，出厂时包装用铅罐密闭，铅罐表面剂量满足标准要求，且用完后的空铅罐经表面去污处理后放置于储源室内待厂家进行回收； ②核医学中心非密封放射性物质工作场所均采取有效的实体屏蔽措施，能够达到《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）中的I、II级工作场所的要求； ③核医学中心储源室设置固定式剂量报警仪，若出现放射性物质泄漏，将进行报警提示；建设单位还将制定监测计划，并自行配备便携式 γ 辐射监测仪及 β 表面沾污仪，定期或不定期进行场所巡测，发现异常及时查明原因并进行处置。
放射源工作场所	防火	后装机机房安装有烟气报警装置和消防栓，且各个房间功能单位需满足《建筑设计防火规范》（GB50016-2006），本项目后装机机房区域禁止储存易燃、易爆、腐蚀性等其他一切与本项目无关的物品。同时人员易接触的地方均配备干粉式灭火器。
	防水	本项目核医学中心距离地表水体距离较远，不受地表水体影响，同时整个核医学中心地面均做了较好的防水设计，项目区域不受地下水影响。
	防盗、防抢	①后装机储源容器设置双人双锁，机房入口内外设置严密的监控系统，同时设置防盗入侵报警装置并与安保值班室联网，实行 24h 实时监控；

	和防破坏	②本项目后装机选址周围无滑坡、塌陷等不良地质区域； ③后装机机房采用地下设计，整体采用钢筋混凝土浇筑，具有较高的抗震，抗破坏能力。
	防泄漏	①后装机自带屏蔽层，其屏蔽效果能满足《密封 γ 放射源容器卫生防护标准》（GBZ114-2006）要求； ②放射源库设计有一定厚度的实体屏蔽措施（ 2.3t/m^3 钢筋混凝土），其屏蔽设计满足《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017），根据环境影响分析，屏蔽体外 γ 剂量率能满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 限值要求，； ③后装机机房内安装有固定式剂量报警仪，当出现放射源外露剂量超标时将启动声光报警装置； ④建设单位将制定监测计划，并自行配备 γ 剂量率监测仪，定期或不定期对后装机房四周进行巡测，有效防止射线泄漏。
射线装置工作场所	防盗、防抢和防破坏	①本项目II、III类射线装置机房较为集中，各机房均纳入医院日常安保巡逻的重点工作范围，加强巡视管理以防遭到破坏； ②各工作场均设置有红外线监控射线头实行24h实时监控； ③每台射线装置均安排有专人进行管理和维护，并进行台账记录，一旦发生盗抢事件，立即关闭设备和防护门，并立即向公安机关报案； ④射线装置机房和邻近房间不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品等物品。
	防泄漏	①本项目所使用的II、III射线装置和均购置于正规厂家，出厂时X射线漏射不会超过《医用电子加速器卫生防护标准》（GBZ126-2002）和《医用X射线治疗卫生防护标准》（GBZ131-2011）； ②本项目所有射线装置工作场所均已按照有关规范要求进行了辐射防护设计，只要按照设计和环评要求进行落实，机房是不存在辐射泄漏的情况，根据辐射影响分析，机房屏蔽体外30cm处剂量率能满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 标准要求； ③建设单位还将制定监测计划，并自行配备便携式X- γ 辐射监测仪进行定期或不定期进行场所巡测，发现异常及时查明原因并进行处置。

三废的治理

一、废气治理措施

1、核医学中心废气治理措施

本项目核医学中心放射性废气来源于PET影像中心和ECT影像中心放射性药品操作过程产生的放射性气溶胶，本项目设计通排风系统采用独立设计，不与其他非辐射工作区域通排风系统交叉。本项目PET影像中心和ECT影像中心分装/标记室内设置通风橱，该通风橱正常运行状态下，进口风速大于 1m/s ，且保持通风橱内局部环境为负压，防止放射性废气逸散到通风橱外部环境，通风橱出口前置活性炭过滤，通过独立管道引至楼顶排放。同时整个PET影像中心和ECT影像中心控制区范围还设置独立排风系统，通过独立管道引至楼顶排放，排放口后置活性炭过滤器，整个PET影像中心和ECT影像中心气流流向为监督区流向

控制区，防止放射性气溶胶向周围非辐射工作区域扩散。本项目 PET 影像中心和 ECT 影像中心各设置 1 个废气排放口，详见表 10-17。

表 10-17 核医学中心放射性废气处理措施表

序号	场所	排风量(m ³ /h)	废气处理设施	排放方式及去向
1	PET 影像中心 储源室、应急冲淋室、分装/标记室、注射室、1#、2#注射后等待室、注射后等候区、病人卫生间、抢救室、PET/CT 机房、1#、2#留观室放射性固废暂存间、保洁间、用药病人通道	6497	独立排风管道+后置活性炭过滤器，过滤效率大于 99%	引至行政会议大楼楼顶经高 33m 的排气筒排入大气
	分装/标记室通风橱	396	前置活性炭过滤器+独立排风管道+后置活性炭过滤器，总过滤效率大于 99%	
2	ECT 影像中心 储源室、应急冲淋室、分装/标记室、注射室、注射后等待室、运动负荷测试室、药物负荷测试室、留观室、放射性固废暂存间、1#、2#SPECT/CT 机房、用药病人通道	25000	独立排风管道+后置活性炭过滤器，过滤效率大于 99%	引至医技/住院楼楼顶经高 36m 的排气筒排入大气
	分装/标记室通风橱	1700	前置活性炭过滤器+独立排风管道+后置活性炭过滤器，总过滤效率大于 99%	

为保证核医学中心放射性废气处理设置正常安全运行，建设单位还需采取如下措施：

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

②更换下的活性炭过滤器应按放射性固体废物进行管理和处置。

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

2、放疗中心、内镜中心、手术中心废气治理措施

放疗中心医用电子直线加速器废气主要为臭氧和感生放射性废气，放疗中心后装机机房废气主要为臭氧，内镜中心、手术中心主要废气为臭氧，其中放疗中心机房设置 1 套独立排风系统，总的排放量为 10235m³/h，通过独立管道引至楼顶排放，排放口后置活性炭过滤器。其他射线装置机房均也设置排风管道引至所在大楼楼顶排放。

表 10-18 射线装置机房区通排风系统一览表

序号	机房	排风量 (m ³ /h)	废气处理设施	备注
1	放疗中心	1#医用电子直线加速器机房	独立排风管道+后置活性炭过滤器，过滤效率大于 99%	引至行政会议大楼楼顶经高 33m 的排气筒排入大气
2		2#医用电子直线加速器机房		
3		后装机机房		
4	内镜中心	1#、2#ERCP 机房	/	引至医技/住院楼楼顶经高 36m 的排气筒排入大气
5	手术中心	杂交导管室、1#、2#电生理室、1#、2#、3#导管室、1#、2#杂交手术室	/	引至医技/住院楼楼顶经高 36m 的排气筒排入大气

为保证放疗中心放射性废气处理设置正常安全运行，建设单位需采取与核医中心相同的废气管理措施。

二、固体废弃物处理措施

1、放射性固废处理措施

本项目核医学中心产生的放射性固体废物主要是一次性口杯、注射器、针头和手套等医用器具以及封装药物的铅罐和使用过的钼铯发生器等，涉及的放射性核素包括：氟-18、锝-99m、碘-131。本项目分装/标记室、注射室设置有放射性固废收集桶，用于分核素种类收集产生的核素放射性固废，到达一定量时转入放射性固废暂存间进行暂存衰变，钼铯发生器直接交由生产厂家回收处理，本次要求建设单位将定期更换下的活性炭过滤器作为放射性固废进行收集处理。因检修更换下的加速器靶头置于加速器机房内一定时间后，经监测达标作为一般固体废物回收处理。后装机和 PET/CT 定期更换的放射源交由生产厂家进行回收，建设

单位在购置放射源之前需与放射源生产厂家签订回收协议。根据《医用放射性固废的卫生防护管理》（GBZ133-2009）针对放射性固废的收集、贮存和处理提出如下管理措施要求：

（1）放射性固体废物收集

①放射性固废收集桶应避开工作人员和经常走动的区域；②放射性固废收集桶内应放置于专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，并及时转运至放射性固废暂存间进行衰变处置；③对破碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入硬纸盒或其它包装材料中，然后在装入专用塑料袋内；④根据《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009），每袋废物的表面剂量不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。

（2）放射性固废临时贮存和最终处理

①建立放射性废物收集、暂存、转运、回收台账，确保放射性固废不乱丢、不乱弃；②不同核素种类放射性固废进行分类收集，经监测达标（ γ 剂量率接近本底水平， β 表面沾污小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）后，按照普通医疗废物执行转移联单制度，由有资质单位统一回收处理；③放射性固废收集桶封存时应在显著位置标有废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等说明；④根据《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009），废物包装体表面污染控制水平 $\beta < 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

2、一般医疗废物处理措施

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

三、废水处理措施

1、衰变池有效性分析

本项目放射性废水主要来自于就诊病人的排泄废水和清洗废水，本项目核医学中心设置有独立的病人专用卫生间，且设置有独立的下水系统，并与衰变池相连，该衰变池位于肿瘤中心大楼西侧已避开人员集中活动区域，衰变池池体采用 300mm 混凝土浇筑，顶板为 500mm 混凝土浇筑，检查口采用铅体防护（见附图 9），整体埋于地下，对于部分外露下水管道将采取 300mm 混凝土进行包裹，尽量减小对公众的辐射影响。

根据污染源分析，核医学中心单日最大放射性废水产生量约 1.4m³，放射性废水核素组成包括：碘-131、锝-99m、氟-18，放射性核素排入衰变池达标所需衰变时间由下式计算：

$$T = \frac{\lg C - \lg C_0}{\lg 0.5} t \dots\dots\dots \text{式 10-1}$$

式中：T—放射性核素达标所需时间，d；
C₀—排入衰变池初始浓度，Bq/L；
C—达标浓度，取 10Bq/L；
t—放射性核素半衰期，d。

各核素达标排放所需时间核算情况见表 10-19。

表 10-19 放射性废水达标时间核算表

核素	半衰期（d）	初始浓度（Bq/L）	达标所需天数（d）
¹⁸ F	0.076	5.57E+06	1.5
^{99m} Tc	0.25	1.11E+07	5
¹³¹ I	8.04	3.70E+06	149

注：排入衰变池初始浓度见表 9-3。

由上表可知，碘-131废水达标所需时间远大于氟-18和锝-99m，因此只要碘-131排放浓度达标，其他两种核素也能达标排放，因此本次评价按碘-131的达标衰变时间来进行衰变池有效容积的核算，衰变达标时间149天内总的放的放射性废水产生量为208.6m³。

根据设计，核医学中心衰变池总的有效容积为750m³，该衰变池为2格并联衰变池，单个池体有效容积为375m³，单个池体内设三级推流式隔槽，三级池体有效容积均为125m³，第三级设置及取样口。运行时当1#池体内废水装满时关闭出水阀门和进水阀门进行封闭衰变，然后将废水接着排入2#池体内，当2#池废水装满时进行封闭衰变，然后对1#池体通过预留监测口进行取样监测，监测达标后通过抽水泵将废水排入医院污水管网最后通过医院污水处理站处理后达标排放市政污水管网。本项目衰变池设计为两格，其中单格衰变池注满时间需要268天，大于149天的达标衰变时间，且能满足排放口废水总放射性达标，其衰变池设计合理。

2、放射性废水收集排放管控措施

为保障该衰变池的长效可靠运行，建设单位还需采取如下管理措施：

①衰变后的废水需监测达标（总 β 排放标准 10Bq/L）才能排入医院污水处理站，池内沉渣如难于排出，可进行酸化预处理再排入下水系统；②医院需建立衰变池排放台账，记录每次排放时间、排放量及监测结果情况并由专人负责管理记录；③衰变池需设立明显的电离辐射警告标志，同时衰变池四周应设立拦挡；④为防止衰变池过满溢出，要求在每个衰变池设置液位计，随时监控衰变池内水位，到达预定位置时即可报警并提示手动关闭进水阀门或自动关闭进水阀门，使用废水进入另外的池体。⑤在诊疗过程中若出现剩余放射性药物，考虑其活度较大，禁止将其直接排入下水管网或衰变池，应先采用单独的收集容器收集后转入放射性固废间暂存容器内进行暂存 10 个半衰期后，再通过下水口排入放射性废水下水口。⑥衰变池设置防雨水顶棚，四周设置排水沟防治雨水灌入池体，同时衰变池应作为重点防渗区进行管理，其防渗系数需 $\leq 10^{-10}$ cm/s。

四、射线装置报废处理

根据《四川省辐射污染防治条例》，“射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化”。报废后需确保射线装置不能正常通电，防止二次使用造成人员误照射，医用电子直线加速器进行报废处理时，需将靶头作为放射性固体废物暂存衰变后，经监测达标后作为一般固体废物回收处理。

五、环保措施及其投资估算

项目辐射防护措施及其投资估算见表 10-20。本项目总投资 10000 万元，环保投资 451.4 万元，占总投资的 4.78%。

表 10-20 辐射防护设施（措施）及投资估算一览表

1、PET 影像中心				
项目	设施（措施）	数量	金额（万元）	备注
辐射屏蔽措施	PET 影像中心控制区功能房间辐射屏蔽（墙体、地板、楼板、门、窗屏蔽）	9 间	/	纳入主体工程范围
	通风橱（50mm 铅当量）	1 套	50.0	/
	活度测量井（50mm 铅当量）	1 个	5.0	/
	注射窗（40mm 铅当量）	1 个	5.0	/
	注射器铅盒（5mm 铅当量）	2 个	4.0	/
	注射器铅套（9mm 铅当量）	若干	9.0	/
	储源柜（20mm 铅当量，双人双锁）	1 个	5.0	/

个人防护用品	个人剂量报警仪	2 个	0.4	/
	个人剂量计	12 个	0.6	/
	辐射工作人员防护铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾（0.5mm 铅当量）等	4 套	4.0	/
	人体表面污染监测仪	1 套	2.0	/
	表面污染清洗剂	/	0.1	/
放射性废水	控制区独立下水系统及排水管道屏蔽设施	1 套	/	纳入主体工程范围
	2 格并联池衰变池（有效容积 750m ³ ）	1 座	/	
放射性固废	放射性固废收集桶（30mm 铅当量）	2 个	10.0	/
	放射性固废收集暂存容器（30mm 铅当量）	2 个	10.0	/
	放射性固废暂存间	1 间	/	纳入主体工程范围
安全装置	储源室红外监控系统	1 套	1.0	/
	储源室固定式剂量报警仪	1 套	2.0	/
	储源室防盗入侵报警装置	1 套	1.0	/
	控制区入口、出口单向门禁系统	2 套	1.0	/
	PET/CT 机房紧急止动开关	1 套	/	设备自带
	PET/CT 机房工作状态指示灯（门-灯联锁）	1 套	1.0	/
	PET/CT 机房语音对讲装置	1 套	1.0	/
	场所视频监控系统	1 套	5.0	/
	监督区、控制区划定地标线及电离辐射警示标识	1 套	0.1	/
通风系统	独立通排风系统	6 套	/	纳入主体工程范围
	过滤系统（过滤效率大于 99%）	1 套	2.0	/
其它	控制区地面防渗	/	5.0	/
2、ECT 影像中心				
项目	设施（措施）	数量	金额（万元）	备注
辐射屏蔽措施	ECT 影像中心控制区功能房间辐射屏蔽（墙体、地板、楼板、门、窗屏蔽）	11 间	/	纳入主体工程范围
	通风橱（16mm 铅当量）	2 套	20.0	/
	活度测量井（16mm 铅当量）	2 个	4.0	/
	注射窗（20mm 铅当量）	1 个	4.0	/
	注射器铅盒（5mm 铅当量）	2 个	4.0	/
	注射器铅套（9mm 铅当量）	若干	9.0	/
	储源柜（10mm 铅当量，双人双锁）	1 个	4.0	/
个人防	个人剂量报警仪	2 个	0.4	/

护用品	个人剂量计	12 个	0.6	/
	辐射工作人员防护铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾（0.5mm 铅当量）等	4 套	4.0	/
	人体表面污染监测仪	1 套	2.0	/
	表面污染清洗剂	/	0.1	/
放射性废水	控制区独立下水系统及排水管道屏蔽设施	1 套	/	纳入主体工程范围
放射性固废	放射性固废收集桶（10mm 铅当量）	2 个	5.0	/
	放射性固废收集暂存容器（10mm 铅当量）	2 个	5.0	/
	放射性固废暂存间	1 间	/	纳入主体工程范围
安全装置	储源室红外监控系统	1 套	1.0	/
	储源室固定式剂量报警仪	1 套	2.0	/
	储源室防盗入侵报警装置	1 套	1.0	/
	控制区入口、出口单向门禁系统	2 套	1.0	/
	SPECT/CT 机房紧急止动开关	2 套	/	设备自带
	SPECT/CT 机房工作状态指示灯（门-灯联锁）	2 套	2.0	/
	SPECT/CT 机房语音对讲装置	2 套	2.0	/
	场所视频监控系统	1 套	5.0	/
	监督区、控制区划定地标线及电离辐射警示标识	1 套	0.1	/
通风系统	独立通排风系统	6 套	/	纳入主体工程范围
	过滤系统（过滤效率大于 99%）	1 套	2.0	/
其它	控制区地面防渗	/	5.0	/
3、医用电子直线加速器				
项目	设施（措施）	数量	金额（万元）	备注
辐射屏蔽措施	1#、2#医用电子直线加速器屏蔽机房	2 间	/	纳入主体工程范围
	38mm 铅当量+139mm 含硼 5%的聚乙烯防护门	2 扇	40.0	/
安全装置	门-机联锁装置	2 套	2.0	/
	视频监控系统	2 套	10.0	/
	语音播报及对讲装置	2 套	2.0	/
	工作状态指示灯（门-灯联锁）	2 套	2.0	/
	紧急开门装置	2 套	0.4	/
	紧急止动开关	2 套	2.0	/
	固定式剂量报警装置	2 套	4.0	/

	监督区、控制区划定地标线及电离辐射警示标识	1 套	0.1	/
个人防护用品	个人剂量计	12 人	1.2	/
	个人剂量报警仪	4 个	0.4	/
废气	独立通排风系统	2 套	/	纳入主体工程范围
	过滤系统（过滤效率大于 99%）	1 套	2.0	/
4、后装机				
项目	设施（措施）	数量	金额（万元）	备注
辐射屏蔽措施	后装机屏蔽机房	1 间	/	纳入主体工程范围
	15mm 铅当量防护门	1 扇	10.0	/
安全装置	门-回源联锁装置	1 套	1.0	/
	视频监控系统	1 套	5.0	/
	语音播报及对讲装置	1 套	1.0	/
	工作状态指示灯（门-灯联锁）	1 套	1.0	/
	紧急开门装置	1 套	0.2	/
	紧急回源装置	1 套	1.0	/
	固定式剂量报警装置	1 套	2.0	/
	防盗入侵报警装置	1 套	1.0	/
	监督区、控制区划定地标线及电离辐射警示标识	1 套	0.1	/
个人防护用品	个人剂量计	6 个	0.6	/
	个人剂量报警仪	2 个	0.2	/
废气	独立通排风系统	1 套	/	纳入主体工程范围
5、DSA、ERCp 中型 C 臂 X 射线机				
项目	设施（措施）	数量	金额（万元）	备注
辐射屏蔽措施	屏蔽机房（墙体、地板、楼板、门、窗屏蔽）	10 间	/	纳入主体工程范围
安全装置	工作状态指示灯	10 间×3 套	30.0	/
	紧急止动开关	10 间×1 套	/	设备自带
	语音对讲装置	10 间×1 套	10.0	/
	监督区、控制区划定地标线及电离辐射警示标识	1 套	0.1	/
个人防护用品	介入医生个人剂量计	36 人×2 个	7.0	/
	操作技师个人剂量计	20×1 个	2.0	/
	个人剂量报警仪	10 间×2 个	4.0	/
	辐射工作人员防护铅服、铅帽、铅眼镜、	10 间×4 套	40.0	/

	铅围脖、铅围巾（0.5mm 铅当量）等			
废气	通排风系统	10 间×1 套	/	纳入主体工程范围
6、综合管理				
项目	设施（措施）	数量	金额（万元）	备注
监测设备	X-γ 辐射剂量率监测仪	2 台	2.0	/
	β 表面沾污仪	2 台	2.0	/
辐射工作人员上岗考核		70 人	/	/
规章制度上墙		/	1.0	/
应急和救助的物资准备（应急通信设备、警戒线、警示标牌、应急演练、放射源长柄夹等）		/	20.0	/
合计			415.4	/

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响 本项目主体工程施工环境影响已包含在批复的《成都天府万达置业有限公司成都万达项目（2 号地块）医院项目（一期工程）环境影响报告书》中，本次评价不涉及，本项目建设阶段环境影响主要是设备安装过程中的环境影响。 本项目射线装置及后装机的安装、调试应请设备厂家专业人员进行，医院方不得自行安装设备。在安装调试阶段，设备厂家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。人员离开时各机房必须上锁并派人看守。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。			
运行阶段对环境的影响			
一、核医学中心辐射环境影响分析			
本项目核医学科中心涉及使用 3 台Ⅲ类射线装置、3 枚 V 类放射源和 3 种非密封放射性物质，产生的电离辐射包括：X 射线、β 射线、γ 射线。 （一）非密封放射性物质辐射环境影响分析 1、β 射线辐射影响分析 根据《放射卫生学》（章仲侯主编，P171），β 射线在空气空气中的射程可根据下式近似计算： $d = \frac{1}{2\rho} E_{MAX} \dots\dots\dots \text{式 11-1}$ 式中：d_{max}—射程（cm）； E_{max}—β 粒子最大能量（MeV）； ρ—屏蔽材料密度（g/cm³），空气密度取 1.29×10⁻³g/cm³，砖的密度取 1.3 g/cm³，混凝土密度取 2.2g/cm³，铅玻璃密度取 4.2g/cm³，铅密度取 11.3g/cm³。			
表 11-1 放射性核素射程计算表			
核素	F-18	I-131	最小屏蔽层厚度（cm）
β 粒子能量（MeV）	0.64	0.61	/
空气中射程（cm）	248.1	236.4	/
砖中射程（cm）	0.25	0.23	24
混凝土中射程（cm）	0.15	0.14	12

铅玻璃中射程 (cm)	0.08	0.07	20
铅中射程 (cm)	0.03	0.03	0.5

本项目辐射工作场所设置有足够的空间，同时根据表 11-1， β 射线在各屏蔽体中的射程均小于屏蔽体的厚度，因此 β 射线对周围辐射环境影响是很小。

2、韧致辐射 (X 射线) 影响分析

由于 β 粒子在遇到重质材料 (如：铅、铁等原子序数大于 56 的材质) 屏蔽时，才会产生韧致辐射，因此本次评价主要考虑分装/操作过程中有铅屏蔽时的韧致辐射影响，根据《辐射防护导论》(P133)，韧致辐射在空气中的吸收剂量率计算公式如下：

$$D=4.58 \times 10^{-14} A Z (\mu_{en}/\rho) (E_b/r)^2 \dots\dots\dots \text{式 11-2}$$

式中： D —屏蔽层中 β 粒子产生的韧致辐射在 $r(0.5m)$ 处空气中的吸收剂量率，Gy/h；

μ_{en}/ρ —是平均能量为 E_b ($E_b=0.33E_{\max}$) 的韧致辐射在屏蔽材料中质量能量吸收系数， $m^2.kg^{-1}$ ，由《辐射防护导论》附表 1 查得；

A —放射源活度，Bq；

Z —电子屏蔽材料的有效原子序数，根据《辐射防护导论》表 4.4 查得铅有效原子序数为 82。

根据《辐射防护导论》(P134) 经屏蔽体衰减后，屏蔽体外剂量当量率由下式计算：

$$E=D*0.1^{(d/TVL)} \dots\dots\dots \text{式 11-3}$$

式中： D —屏蔽层中 β 粒子产生的韧致辐射在 $r(0.5m)$ 处空气中的吸收剂量率，Gy/h；

d —屏蔽层厚度；

TVL —屏蔽层在 β 粒子平均能量下的什值层厚度，cm，由《辐射防护导论》表 3.5 查得。

β 粒子所致韧致辐射空气吸收剂量率及屏蔽体外辐射剂量当量率计算结果见表 11-2。

表 11-2 韧致辐射空气吸收剂量率及屏蔽体外剂量率计算表

核素	F-18	I-131
β 粒子能量 (MeV)	0.64	0.61
β 粒子平均能量 (MeV)	0.21	0.20
操作活度 (Bq)	1.67×10^{10}	3.7×10^9
空气质量能量吸收系数 ($\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$)	1.17E-02	1.23E-02
屏蔽前空气吸收剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	1.29E+02	27.3
屏蔽层铅当量厚度 (cm)	5	1.6
铅什值层厚度* (cm)	0.14	0.14
屏蔽体外剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	2.50E-34	1.02E-10

*注：对照《辐射防护导论》表 3.5，保守按较高能量查得什值层厚度。

经计算，在操作位距离辐射源 0.5m 处韧致辐射剂量当量率最大为 $1.02 \times 10^{-10} \mu\text{Sv/h}$ ，因此韧致辐射为周围辐射剂量率贡献值很小，本次评价可以忽略。

3、γ 贯穿辐射影响分析

根据工程分析，本项目对于高活度放射性药品操作均在密闭手套箱内完成，本次评价重点关注在密闭手套箱中操作（分装、制样）过程中职业及公众受 γ 射线照射剂量影响分析。其中职业人员选取距离手套箱 0.5m 作为职业人员受照 γ 射线剂量率的预测点。

(1) 预测模式

因预测点位与放射性核素操作位置间的距离比容器的几何尺寸大 5 倍以上，故可视为点源。应用 γ 射线点源剂量率计算公式进行预测。

①根据《辐射防护手册（三分册）》（P27），γ 点源剂量计算公式如下：

$$H = 8.73 \times 10^3 A \cdot \eta \cdot \Gamma / R^2 \dots\dots\dots \text{式 11-3}$$

$$\eta = 0.1 \frac{d}{TVL} \dots\dots\dots \text{式 11-4}$$

式中：A—操作活度，Ci；

Γ—照射量率常数， $\text{R m}^2 \text{ h}^{-1} \text{ Ci}$ ，见表 9-2；

r—参考点距离源的距离，m；

η—衰减系数；

d—屏蔽层厚度；

TVL—γ 射线什值层厚度，cm；

H —屏蔽体外 γ 射线在 $r(0.5\text{m})$ 处剂量当量率, $\mu\text{Sv/h}$ 。

②职业及公众年受照射剂量计算公式见式 11-5。

$$H_d = H \cdot t \cdot T \dots\dots\dots \text{式 11-5}$$

式中: t —年受照射时间;

T —居留因子。

(2) 预测计算所依据参数

本次评价针对放射性核素选择的主要预测参数见表 11-3。

表 11-3 放射性核素计算参数表

操作核素	γ 射线能量 (MeV)	放射性核素常数 (Bq/m ² /h Ci)	铅什值层厚度 (mm) *	砖什值层厚度 (mm) *	混凝土什值层厚度 (mm) *
F-18	0.51	0.57	16.6	263	176
Tc-99m	0.14	0.06	1	160	110
I-131	0.36	0.22	11	240	170

*注: γ 射线什值层厚度参照《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)。

本次评价针对受照时间核算情况见表 11-4。

表 11-4 职业及公众受照射时间核算表

放射性核素	人员	操作方式	单次操作受照射时间 (min)	年接诊人次 (人)	年操作时间 (h)
F-18	职业	分药	0.5	7500	62.5
		注射	0.5		62.5
		摆位	0.5		62.5
	公众	分药	0.5		62.5
		注射	0.5		62.5
		注射后候诊	5		625.0
		显像	0.5		62.5
		留观	30		3750.0
Tc-99m	职业	淋洗、分装、标记	0.5	7500	250.0
		注射	0.5		62.5
		摆位	0.5		62.5
	公众	淋洗、分装、标记	2.0		250.0
		注射	0.5		62.5
		注射后候诊	5		625.0
		显像	0.5		62.5
		留观	30		3750.0
碘-131	职业	分药	0.5	2500	20.8

公众	注射	0.5		20.8
	摆位	0.5		20.8
	分药	0.5		20.8
	注射	0.5		20.8
	注射后候诊	5		208.3
	显像	0.5		20.8
	留观	30		1250.0

(3) 职业及公众受照剂量预测

①PET 影像中心职业及公众受照剂量预测

PET 影像中心周围辐射环境影响关注点见图 11-1,关注点职业及公众受照剂量预测结果见表 11-5。

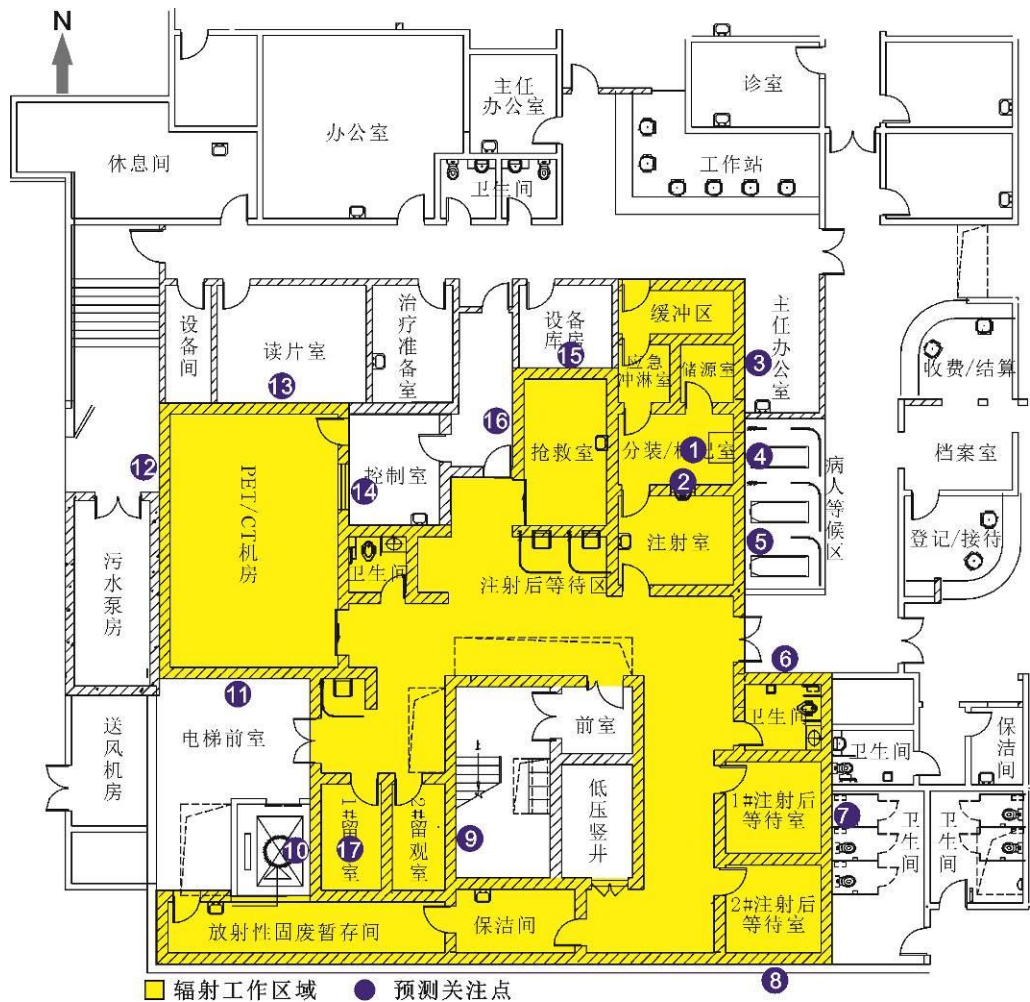


图 11-1 PET 影像中心预测关注点

根据表 11-5，整个 PET 影像中心屏蔽墙体外辐射剂量当量率最大为 0.679μSv/a,满足 2.5μSv/a 控制剂量率要求，职业人员最大受照剂量为 3.33mSv/a，满足 5mSv/a 剂量约束值，公众最大受照射剂量为 5.08×10⁻²mSv/a。

②ECT 影像中心职业及公众受照剂量预测

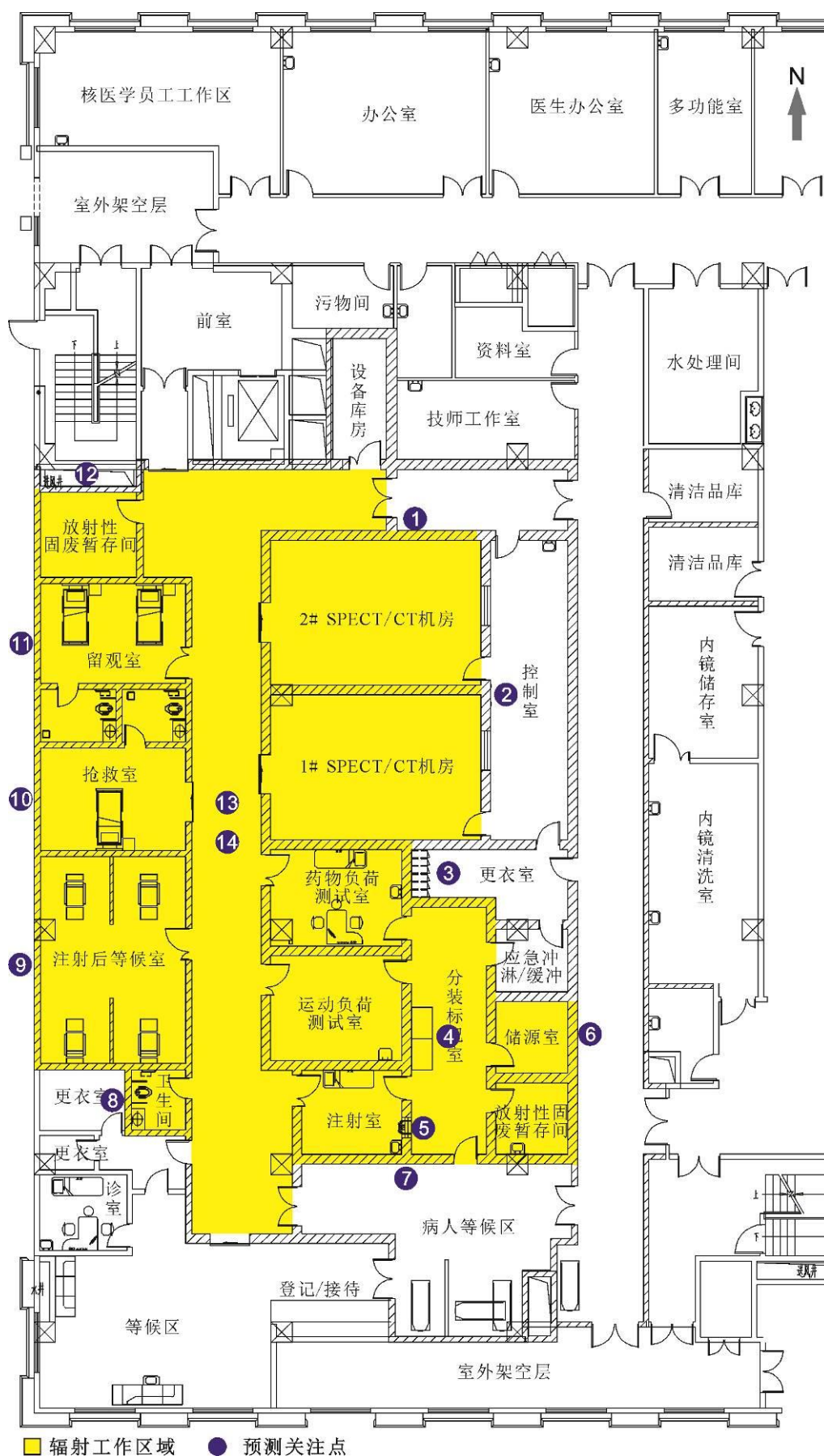


图 11-2 ECT 影像中心预测关注点

ECT 影像中心周围辐射环境影响关注点见图 11-2，关注点职业及公众受照剂量预测结果见表 11-6。

根据表 11-6，整个 ECT 影像中心屏蔽墙体外辐射剂量当量率最大为 $1.75\mu\text{Sv/a}$ ，满足 $2.5\mu\text{Sv/a}$ 控制剂量率要求，职业人员最大受照剂量为 1.89mSv/a ，满足 5mSv/a 剂量约束值，公众最大受照射剂量为 $8.89\times 10^{-2}\text{mSv/a}$ 。

（二）III类射线装置辐射环境影响分析

本项目所使用的 PET/CT 和 SPECT/CT 额定管电压均为 140kV ，根据《医用 X 射线治疗放射防护要求》（GBZ131-2017），在治疗状态下，当 X 射线管额定电压 $\leq 150\text{kV}$ 时，距 X 射线管焦点 1m 处的 X 射线源组件泄露辐射不超过 1mGy/h 。经过至少 3mm 铅当量（查《辐射防护导论》表 3.5，取 150kV 的宽束 X 射线半值层 0.29mm ，减弱倍数为 1300）的墙体、防护铅门和铅玻璃窗户的屏蔽作用，墙体外辐射剂量率不超过 $0.77\mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求，对周围的辐射环境影响较小。

（三）V类放射源辐射环境影响分析

本项目 PET/CT 校准用放射源拟使用锞-68 放射源 3 枚，均属于 V 类放射源，拟购于有资质单位销售厂家，放射源在进场时带有至少 10mm 铅罐进行屏蔽，放射源的运输、装源、更换过程均由厂家负责，并由厂家承担相应过程中的辐射安全防护责任。放射源外面有不锈钢包壳，并存放在 PET/CT 机头安全铅盒内，放射源校准由设备全自动进行，本项目辐射工作人员位于控制室，机房内无人员，经过安全铅盒和机房墙体、防护门和观察窗的屏蔽，锞-68 放射源对公众和职业人员的影响很小，能满足评价标准要求。

图 11-5 PET 影像中心职业及公众年受照剂量计算表

序号	场所	预测活度	屏蔽材料	距离辐射源最近距离(m)	屏蔽铅当量(mm) ①	周围辐射剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	年受照时间(h)	居留因子	年受照剂量(mSv/a)	受照射类型
1	分装/标记室内	0.45Ci	50mm 铅	0.5	50	8.70E+00	62.5	1	0.616	职业
2	注射室内	1.50E-02Ci	40mm 铅当量铅玻璃	0.5	40	1.16E+00	62.5	1		
3	储源室东侧主任办公室	1.8Ci(源罐表面剂量保守取0.25mSv/h)	370mm 实心砖+2mm 铅当量硫酸钡水泥+20mm 铅	1.3	45.3	2.76E-01	2000	1	0.552	职业
4	分装/标记室东侧病人等候区	0.45Ci	370mm 实心砖+2mm 铅当量硫酸钡水泥+50mm 铅	2.1	75.3	1.48E-02	62.5	0.25	2.30E-04	公众
5	注射室东侧病人等候区	5.55E+02MBq	370mm 实心砖+2mm 铅当量硫酸钡水泥	2	25.3	3.82E-01	62.5	0.25	5.97E-03	公众
6	病人卫生间北侧病人等候区	5.55E+02 MBq	370mm 实心砖+2mm 铅当量硫酸钡水泥	1.5	25.3	6.79E-01	62.5	0.25	1.06E-02	公众
7	1#注射后等待室北侧卫生间	5.55E+02 MBq	370mm 实心砖+2mm 铅当量硫酸钡水泥	2	25.3	3.82E-01	625	0.0625	3.00E-02	公众
	2#注射后等待室北侧卫生间	5.55E+02 MBq	370mm 实心砖+2mm 铅当量硫酸钡水泥	2	25.3	3.82E-01	625	0.0625		
8	2#注射后等候室南侧地下停车场	5.55E+02 MBq	370mm 实心砖+2mm 铅当量硫酸钡水泥	2	25.3	3.82E-01	625	0.0625	1.49E-02	公众
9	2#留观室东侧	5.55E+02 MBq	370mm 实心砖+2mm 铅当量硫酸钡水泥	2.3	25.3	2.89E-01	2000	0.0625	3.61E-02	公众

序号	场所	预测活度	屏蔽材料	距离辐射源 最近距离(m)	屏蔽铅当量 (mm) ^①	周围辐射剂 量率(μSv/h)	年受照 时间(h)	居留 因子	年受照剂 量(mSv/a)	受照射 类型
	楼梯									
10	1#留观室西侧 1 电梯	5.55E+02 MBq	370mm 实心砖+2mm 铅 当量硫酸钡水泥	2	25.3	3.82E-01	2000	0.06 25	4.77E-02	公众
11	PET/CT 机房南 侧电梯前室	5.55E+02 MBq	370mm 实心砖+2mm 铅 当量硫酸钡水泥	4.5	25.3	7.54E-02	62.5	0.06 25	2.95E-04	公众
12	PET/CT 机房西 侧楼梯	5.55E+02 MBq	370mm 实心砖+2mm 铅 当量硫酸钡水泥	3.1	25.3	1.59E-01	62.5	0.06 25	6.21E-04	公众
13	PET/CT 机房北 侧读片室	5.55E+02 MBq	370mm 实心砖+2mm 铅 当量硫酸钡水泥	4.5	25.3	7.54E-02	62.5	1	4.71E-03	公众
14	PET/CT 机房东 侧控制室	5.55E+02 MBq	6mm 铅当量铅玻璃	3.1	6	2.31E+00	62.5	1	3.33	职业
15	PET/CT 机房内 (摆位)	5.55E+02 MBq	/	1.0	/	51.09	62.5	1		
16	抢救室北侧设 备库房	5.55E+02 MBq	370mm 实心砖+2mm 铅 当量硫酸钡水泥	2.7	25.3	2.10E-01	62.5	0.06 25	8.18E-04	公众
17	抢救室西侧缓 冲过道	5.55E+02 MBq	370mm 实心砖+2mm 铅 当量硫酸钡水泥	1.6	25.3	5.97E-01	62.5	0.25	9.32E-03	公众
18	PET/CT 影像中 心楼上接诊大 厅	5.55E+02 MBq	180mm 钢筋混凝土 +2mm 铅当量硫酸钡板	3	19	4.07E-01	2000	0.06 25	5.08E-02	公众

*注：①砖和混凝土铅当量计算采用什值层比计算；②周围公众最大居留时间=8 小时×250 天=2000 小时；③药物注射到病人体内后单位活度 1m 处的周围剂量当量为 $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2 (\text{h MBq})^{-1}$ 。

图 11-6 ECT 影像中心职业及公众年受照剂量计算表

序号	场所	核素	预测活度	屏蔽材料	距离辐射源最近距离 (m)	屏蔽铅当量 (mm) ^①	周围辐射剂量率 (μSv/h)	年受照时间 (h)	居留因子	年受照剂量(mSv/a)	受照射类型
1	2#SPECT/CT 机房北侧缓冲过道	Tc-99m	1.11E+03MBq	370mm 实心砖 +1mm 铅当量硫酸钡水泥	3.1	3.3	1.20E-03	62.5	0.25	2.88E-04	职业
		I-131	3.70E+02 MBq		3.1	18	5.19E-02	20.8	0.25		
2	1# SPECT/CT 机房东侧控制室	Tc-99m	1.11E+03 MBq	3mm 铅玻璃	4.3	3	1.24E-03	62.5	1	1.89	职业
		I-131	3.70E+02 MBq		4.3	3	6.23E-01	20.8	1		
	SPECT/CT 机房内 (摆位)	Tc-99m	1.11E+03 MBq	/	1.0	/	23.0	62.5	1		
		I-131	3.70E+02 MBq	/	1.0	/	21.6	20.8	1		
	2# SPECT/CT 机房东侧控制室	Tc-99m	1.11E+03 MBq	370mm 实心砖 +1mm 铅当量硫酸钡水泥	4.3	3.3	6.23E-04	62.5	1		
		I-131	3.70E+02 MBq		4.3	18	2.70E-02	20.8	1		
3	2# SPECT/CT 机房南侧更衣室	Tc-99m	1.11E+03 MBq	370mm 实心砖 +1mm 铅当量硫酸钡水泥	3.1	3.3	1.20E-03	62.5	0.0625	1.03E-03	职业
		I-131	3.70E+02 MBq		3.1	18	5.19E-02	20.8	0.0625		
	药物负荷测试室东侧更衣室	Tc-99m	1.11E+03 MBq	370mm 实心砖 +1mm 铅当量硫酸钡水泥	2.7	3.3	1.58E-03	625	0.0625		
		I-131	3.70E+02 MBq		2.7	18	6.84E-02	208.3	0.0625		
	分装/标记室	Tc-99m	0.9Ci	370mm 实心砖	5	19.3	9.41E-19	250	0.0625		

序号	场所	核素	预测活度	屏蔽材料	距离辐射源最近距离 (m)	屏蔽铅当量 (mm) ①	周围辐射剂量率 (μSv/h)	年受照时间 (h)	居留因子	年受照剂量(mSv/a)	受照射类型
	北侧更衣室	I-131	0.1Ci	+1mm 铅当量硫酸钡水泥+16mm 铅	5	34	6.20E-03	20.8	0.0625		
4	分装标记室内	Tc-99m	0.9Ci	16mm 铅	0.5	16	1.88E-13	250	1	0.588	职业
		I-131	0.1Ci		0.5	16	2.69E+01	20.8	1		
5	注射室内	Tc-99m	3.00E-02Ci	20mm 铅当量铅玻璃	0.5	20	6.26E-19	62.5	1	2.42E-02	职业
		I-131	1.00E-02Ci		0.5	20	1.16E+00	20.8	1		
6	储源室北侧过道	Tc-99m	0.9Ci (源罐表面剂量保守取0.25mSv/h)	370mm 实心砖+1mm 铅当量硫酸钡水泥+10mm 铅	3	8.5	8.78E-08	2000	0.25	4.88E-02	公众
		I-131	0.1Ci (源罐表面剂量保守取0.25mSv/h)		3	27	9.75E-02	2000	0.25		
7	分装/标记室南侧病人等候区	Tc-99m	0.9Ci	370mm 实心砖	4	19.3	1.47E-18	250	0.25	4.97E-05	公众
		I-131	0.1Ci	+1mm 铅当量硫酸钡水泥+16mm 铅	4	34	9.69E-03	20.5	0.25		
	注射室南侧病人等候室	Tc-99m	1.11E+03MBq	370mm 实心砖	1	3.3	1.15E-02	62.5	0.25	2.73-03	公众
		I-131	3.70E+02MBq	+1mm 铅当量硫酸钡水泥	1	18	4.98E-01	20.5	0.25		
8	病人卫生间东侧更衣室	Tc-99m	1.11E+03MBq	240mm 实心砖	1	2.5	7.27E-02	62.5	0.0625	2.81E-02	公众
		I-131	3.70E+02 MBq	+1mm 铅当量硫酸钡水泥	1	12	1.75E+00	20.5	0.0625		
	注射后等候	Tc-99m	1.11E+03 MBq	240mm 实心砖	1	2.5	7.27E-02	625	0.0625		公众

序号	场所	核素	预测活度	屏蔽材料	距离辐射源最近距离 (m)	屏蔽铅当量 (mm) ①	周围辐射剂量率 (μSv/h)	年受照时间 (h)	居留因子	年受照剂量(mSv/a)	受照射类型
	室南侧更衣室	I-131	3.70E+02 MBq	+1mm 铅当量硫酸钡水泥	1	12	1.75E+00	208.3	0.0625		
9	注射后等候室西侧绿化带	Tc-99m	1.11E+03 MBq	240mm 实心砖	2.5	2.5	1.16E-02	625	0.0625	4.10E-03	公众
		I-131	3.70E+02 MBq	+1mm 铅当量硫酸钡水泥	2.5	12	2.80E-01	208.3	0.0625		
10	抢救室西侧绿化带	Tc-99m	1.11E+03 MBq	240mm 实心砖	2.5	2.5	1.16E-02	62.5	0.0625	4.09E-04	公众
		I-131	3.70E+02 MBq	+1mm 铅当量硫酸钡水泥	2.5	12	2.80E-01	20.8	0.0625		
11	留观室西侧绿化带	Tc-99m	1.11E+03 MBq	240mm 实心砖	2.5	2.5	1.16E-02	2000	0.0625	3.64E-02	公众
		I-131	3.70E+02 MBq	+1mm 铅当量硫酸钡水泥	2.5	12	2.80E-01	2000	0.0625		
12	放射性固废暂存间北侧楼梯	Tc-99m	3.00E-02 MBq	370mm 实心砖	2.1	13.3	1.78E-13	2000	0.25	6.17E-03	公众
		I-131	1.00E-02 MBq	+1mm 铅当量硫酸钡水泥+10mm 铅	2.1	28	1.23E-02	2000	0.25		
13	ECT 影像中心楼上	Tc-99m	1.11E+03 MBq	120mm 现浇混凝土+2mm 铅当量硫酸钡板	3	3.1	2.03E-03	2000	0.125	7.75E-02	公众
		I-131	3.70E+02 MBq		3	9.8	3.08E-01	2000	0.125		
14	ECT 影像中心楼下	Tc-99m	1.11E+03 MBq	180mm 现浇混凝土+1mm 铅当量硫酸钡水泥	3	2.6	6.41E-03	2000	0.25	8.89E-02	公众
		I-131	3.70E+02 MBq		3	12.6	1.71E-01	2000	0.25		

*注：①砖和混凝土铅当量计算采用什值层比计算；②周围公众最大居留时间=8 小时×250 天=2000 小时；③参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）
 锝-99m、碘-131 药物注射到病人体内后单位活度 1m 处的周围剂量当量分别 $0.0207\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot(\text{h MBq})^{-1}$ 、 $0.0583\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot(\text{h MBq})^{-1}$ 。

二、医用电子直线加速器辐射环境影响分析

15MV 医用电子直线加速器在运行过程中产生的电离辐射为：电子、X 射线、中子和 γ 射线。本项目 15MV 医用电子直线加速器采用电子束进行治疗，运行过程中最大电子线能量 22MeV，根据式 11-1 计算，电子在混凝土中射程为 2.59cm，加速器机房墙体最小屏蔽厚度为 170cm，所以本项目加速器机房设计结构和屏蔽厚度足以屏蔽电子线，因此在运行过程中电子线对周围辐射环境影响较小。本次评价主要考虑 X 射线、中子和 γ 射线的辐射环境影响。

（一）医用电子直线加速器屏蔽合理性分析

1、机房照射路径条件

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第二部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）的要求，本次评价在加速器机房外设定关注点。从保守角度出发，在加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定加速器最大工况运行并针对关注点最不利情况对机房进行辐射屏蔽核算。本项目加速器机房的关注点设定及主要照射路径见图 11-3 和图 11-4。由于本项目加速器机房下方没有其他楼层，所以地面的防护不予考虑。

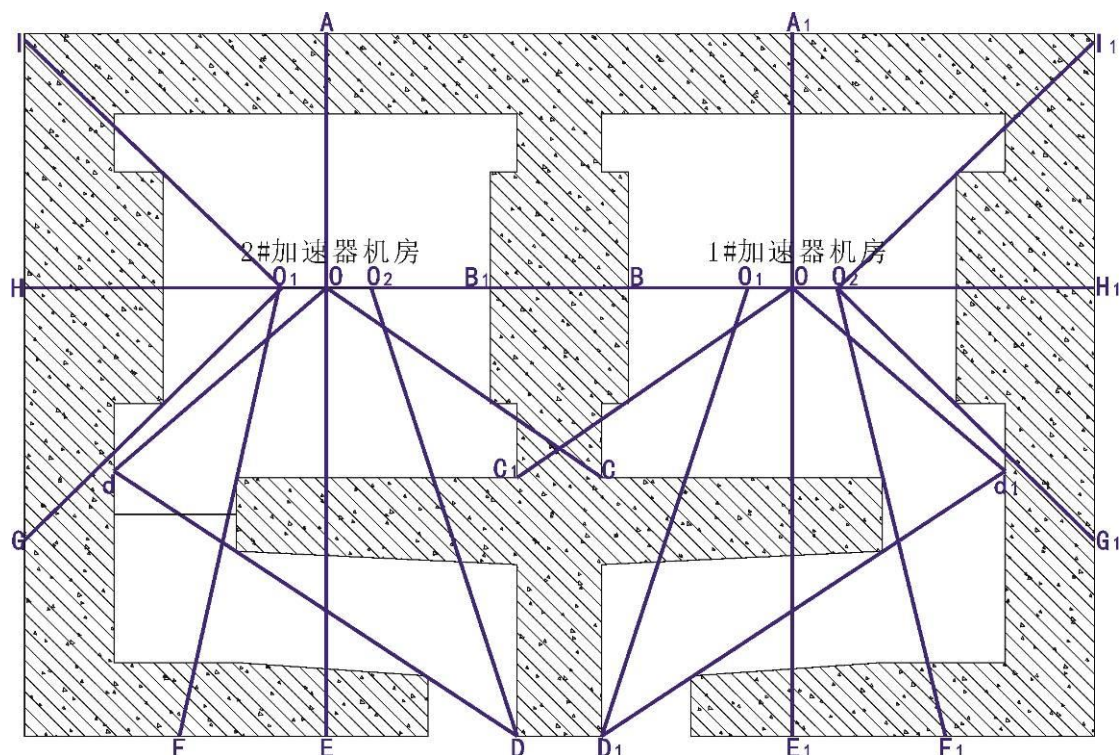


图 11-3 1#、2#加速器机房水平面照射路径示意图

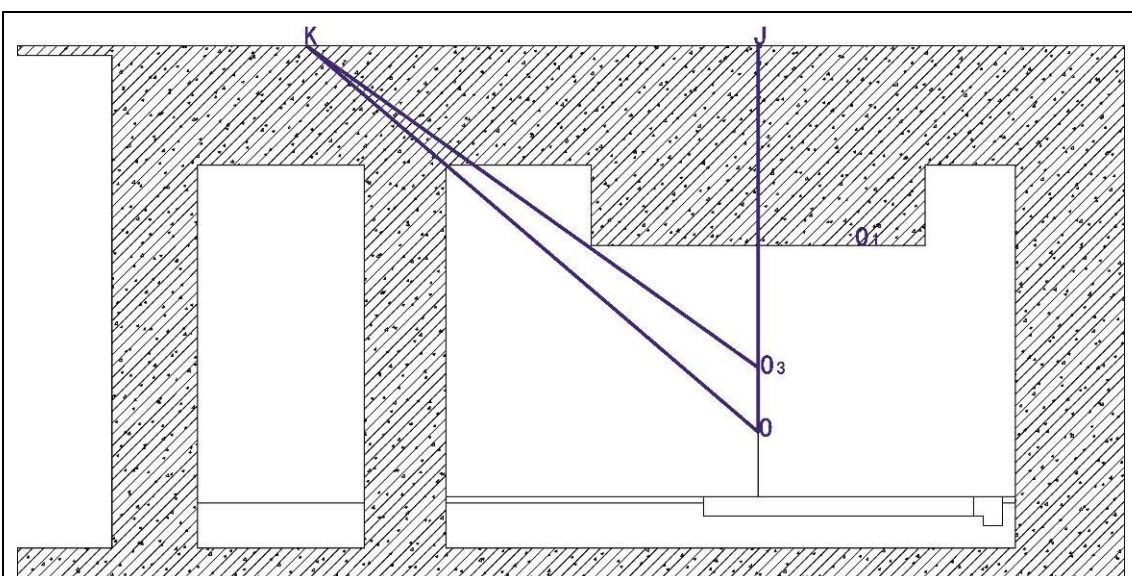


图 11-4 1#、2#加速器机房垂直面照射路径示意图

2、关注点剂量率参考控制水平

参考 GBZ/T201.2-2011，机房墙外 30cm 处各关注点的剂量率参考控制水平 H_e 由以下方法确定：

①使用放射治疗年工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $H_{e,d}$ ；

$$\text{对于主射线束： } H_{e,d} = H_a / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots \text{式 11-6}$$

$$\text{对于漏射辐射： } H_{e,d} = H_a / (t \cdot N \cdot T) \dots\dots\dots \text{式 11-7}$$

式中： $H_{e,d}$ —导出剂量率参考控制水平；

H_a —年剂量参考控制水平；职业人员取 $5000\mu\text{Sv/a}$ ，公众取 $100\mu\text{Sv/a}$ ；

U —主射线束向关注位置的方向照射的使用因子；根据医院实际治疗情况，射线投向地面的比例约占 40%，每面墙体各占 25%，楼顶占 10%；

T —经常有人员停留的地方取 1，有部分时间有人员停留的地方取 1/4，偶然有人员经过的地方取 1/16；

N —调强放射治疗因子，取 5；

t —年治疗照射时间，根据建设单位提供资料，平均每人治疗时间为 1.5min，单台设备每天最多治疗 50 人，年工作时间为 250 天，计算得年工作时间 312.5h。

②关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{e,max}$:

人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所, $H_{e,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$;

人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所, $H_{e,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$;

③取①、②中较小者作为关注的剂量率参考控制水平 (H_e)。

由此确定的各关注点的剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束见表 11-7 和表 11-8。

表 11-7 机房外各关注点导出剂量率参考控制水平

机房	关注点	受照射类型	H_a ($\mu\text{Sv/h}$)	U	t	N	T	$H_{e,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)
2#加速器机房	A (地下停车场)	公众	100	1	312.5	5	0.0625	1.024
	B (1#加速器机房)	职业	5000	0.25	312.5	1	0.25	256
	C (1#加速器机房)	职业	5000	1	312.5	5	0.25	12.8
	D (加速器前室)	职业	5000	1	312.5	5	0.25	12.8
	E (控制室)	职业	5000	1	312.5	5	1	3.2
	F (水冷机房)	职业	5000	1	312.5	5	0.0625	51.2
	G (后装机控制室)	职业	5000	1	312.5	5	1	3.2
	H (后装机机房)	职业	5000	0.25	312.5	1	0.25	256
	I (后装机机房)	职业	5000	1	312.5	5	0.25	12.8
	J (体检中心)	公众	100	0.1	312.5	1	1	3.2
	K (体检中心)	公众	100	1	312.5	5	1	0.064
1#加速器机房	A ₁ (地下停车场)	公众	100	1	312.5	5	0.0625	1.024
	B ₁ (2#加速器机房)	职业	5000	0.25	312.5	1	0.25	256
	C ₁ (2#加速器机房)	职业	5000	1	312.5	5	0.25	12.8
	D ₁ (加速器前室)	职业	5000	1	312.5	5	0.25	12.8
	E ₁ (控制室)	职业	5000	1	312.5	5	1	3.2
	F ₁ (水冷机房)	职业	5000	1	312.5	5	0.0625	51.2
	G ₁ (弱电机房)	公众	100	1	312.5	5	0.0625	1.024
	H ₁ (弱电机房)	公众	100	0.25	312.5	1	0.0625	20.48
	I ₁ (地下停车场)	公众	5000	1	312.5	5	0.0625	51.2
	J ₁ (体检中心)	公众	100	0.1	312.5	1	1	3.2
	K ₁ (体检中心)	公众	100	1	312.5	5	1	0.064

表 11-8 机房外各关注点剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束

机房	关注点位	剂量率参考控制水平 (H_e) $\mu\text{Sv/h}$			主要考虑的辐射束	射线路径
		$H_{e,d}$	$H_{e,max}$	H_e		
2#加速器机房	A (地下停车场)	1.024	10	1.024	漏射线	$O \rightarrow A$
	B (1#加速器机房)	256	2.5	2.5	主射线	$O_1 \rightarrow B$
	C (1#加速器机房)	12.8	10	10	漏射辐射	$O \rightarrow C$
					人体一次散射线	$O_1 \rightarrow O \rightarrow C$
	D (加速器前室)	12.8	10	10	漏射线	$O_2 \rightarrow D$
					迷道散射线	$O_2 \rightarrow O \rightarrow d \rightarrow D$
	E (控制室)	3.2	2.5	2.5	漏射线	$O \rightarrow E$
	F (水冷机房)	51.2	10	10	漏射线	$O_1 \rightarrow F$
	G (后装机控制室)	3.2	2.5	2.5	漏射辐射	$O_1 \rightarrow G$
					人体一次散射线	$O_1 \rightarrow O \rightarrow G$
	H (后装机机房)	3.2	10	3.2	主射线	$O_2 \rightarrow H$
	I (后装机机房)	12.8	10	10	漏射辐射	$O_2 \rightarrow I$
					人体一次散射线	$O_2 \rightarrow O \rightarrow I$
	J (体检中心)	3.2	2.5	2.5	主射线	$O_3 \rightarrow J$
	K (体检中心)	0.064	2.5	0.064	漏射辐射	$O_3 \rightarrow K$
					人体一次散射线	$O_3 \rightarrow O \rightarrow K$
1#加速器机房	A ₁ (地下停车场)	1.024	10	1.024	漏射线	$O \rightarrow A_1$
	B ₁ (2#加速器机房)	256	2.5	2.5	主射线	$O_1 \rightarrow B_1$
	C ₁ (2#加速器机房)	12.8	10	10	漏射辐射	$O \rightarrow C_1$
					人体一次散射线	$O_1 \rightarrow O \rightarrow C_1$
	D ₁ (加速器前室)	12.8	10	10	漏射线	$O_2 \rightarrow D_1$
					迷道散射线	$O_2 \rightarrow O \rightarrow d \rightarrow D_1$
	E ₁ (控制室)	3.2	2.5	2.5	漏射线	$O \rightarrow E_1$
	F ₁ (水冷机房)	51.2	10	10	漏射线	$O_1 \rightarrow F_1$
	G ₁ (弱电机房)	1.024	2.5	1.024	漏射辐射	$O_1 \rightarrow G_1$
					人体一次散射线	$O_1 \rightarrow O \rightarrow G_1$
	H ₁ (弱电机房)	20.48	10	10	主射线	$O_2 \rightarrow H_1$
	I ₁ (地下停车场)	51.2	10	10	漏射辐射	$O_2 \rightarrow I_1$
					人体一次散射线	$O_2 \rightarrow O \rightarrow I_1$
	J ₁ (体检中心)	3.2	2.5	2.5	主射线	$O_3 \rightarrow J_1$
	K ₁ (体检中心)	0.064	2.5	0.064	漏射辐射	$O_3 \rightarrow K_1$
					人体一次散射线	$O_3 \rightarrow O \rightarrow K_1$

3、有用线束主屏蔽区宽度计算

本项目设计的加速器机房，主屏蔽区包括楼顶及墙体的部分位置，加速器主射线的最大出束角度为 28°。有用线束主屏蔽区示意图见图 11-5，主屏蔽宽度计算结果见表 11-9。

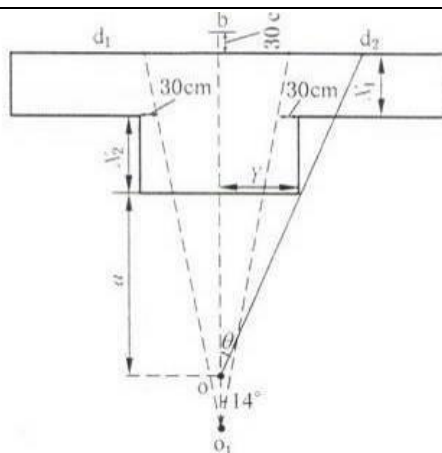


图 11-5 主射屏蔽范围计算示意局部图

表 11-9 加速器机房主屏蔽范围计算表

参数	墙体（B、B ₁ 侧）	墙体（H、H ₁ 侧）	楼顶（J、J ₁ 侧）
a（cm）	368	368	290
X ₂ （cm）	60	109	125
理论计算屏蔽宽度（cm）	324	349	318
设计屏蔽宽度（cm）	520	520	520

注：墙体、楼顶主屏蔽半宽度=（100+a+X₂）tg14°+30。

4、主屏蔽区、侧屏蔽墙、内墙和外墙核算

利用 GBZ/201.2-2011 的相关公式对主屏蔽区、侧屏蔽墙、迷道外墙、迷道内墙进行厚度核算。屏蔽所需要的厚度按下式进行计算。计算结果见表 11-10。

$$B = \frac{H_e}{H_0} \times \frac{R_2}{f} \dots\dots\dots \text{式11-8}$$

$$X = TVL \times \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \dots\dots\dots \text{式11-9}$$

$$X = X_e \cos \theta \dots\dots\dots \text{式11-10}$$

式中：

B—屏蔽透射因子；

H_e—剂量率参考控制水平，μSv/h；

H₀—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.m²/h；

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f—有用束为1；泄漏辐射为主射射线比率（0.1%）；

θ—斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角；

TVL₁（cm）和TVL（cm）—辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和

平衡什值层厚度；

X_e —墙体有效屏蔽厚度，cm；

X —墙体屏蔽厚度，cm。

表 11-10 主屏蔽墙和侧屏蔽墙屏蔽厚度核算表

参数	2#加速器机房						
	主屏蔽区 (B点)	主屏蔽区 (H点)	主屏蔽区 (J点)	侧屏蔽墙 (A点)	侧屏蔽墙 (E点)	迷道外墙 (F点)	迷道内墙 (D点)
剂量率参考控制水平 H_e ($\mu\text{Sv/h}$)	2.5	3.2	2.5	1.024	2.5	10	2.5
$R(\text{m})$	8.1	8.1	7.3	6	10.4	10.7	11.3
$H_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09
f	1	1	1	0.001	0.001	0.001	0.001
透射因子 B	1.14E-07	1.46E-07	9.25E-08	2.56E-05	1.88E-04	7.95E-04	2.22E-04
$TVL_1(\text{cm})^{①}$	44	44	44	36	36	36	36
$TVL(\text{cm})^{①}$	41	41	41	33	33	33	33
有效屏蔽厚度 $X_e(\text{cm})$	287.7	283.3	291.4	154.5	126.0	105.3	123.6
斜射角 θ	0	0	0	0	0	14	23
屏蔽厚度 X (cm)	287.7	283.3	291.4	154.5	126.0	102.2	113.8
设计屏蔽厚度 (cm)	310	310	310	180	330	165	187
是否满足屏蔽要求	是	是	是	是	是	是	是
参数	1#加速器机房						
	主屏蔽区 (B ₁ 点)	主屏蔽区 (H ₁ 点)	主屏蔽区 (J ₁ 点)	侧屏蔽墙 (A ₁ 点)	侧屏蔽墙 (E ₁ 点)	迷道外墙 (F ₁ 点)	迷道内墙 (D ₁ 点)
剂量率参考控制水平 H_e ($\mu\text{Sv/h}$)	2.5	10	2.5	1.024	2.5	10	2.5
$R(\text{m})$	8.1	8.1	7.3	6	10.4	10.7	11.3
$H_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09
f	1	1	1	0.001	0.001	0.001	0.001
透射因子 B	1.14E-07	4.56E-07	9.25E-08	2.56E-05	1.88E-04	7.95E-04	2.22E-04
$TVL_1(\text{cm})^{①}$	44	44	44	36	36	36	36
$TVL(\text{cm})^{①}$	41	41	41	33	33	33	33
有效屏蔽厚度	287.7	263.0	291.4	154.5	126.0	105.3	123.6

X_e (cm)							
斜射角 θ	0	0	0	0	0	14	23
屏蔽厚度 X (cm)	287.7	263.0	291.4	154.5	126.0	102.2	113.8
设计屏蔽厚度 (cm)	310	310	310	180	330	165	187
是否满足屏蔽要求	是	是	是	是	是	是	是

注：①TVL₁ 和 TVL 查 GBZ/201.2-2011 中表 B.1；②根据 GBZ/201.2-2011，对于“迷道内墙泄露辐射所需屏蔽厚度”核算时，剂量率参考控制水平应小于 $H_{e,d}$ 的 1/4。

5、与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽厚度核算

根据 GBZ/201.2-2011，对于与主屏蔽区相连的次屏蔽区应考虑泄漏辐射和患者的一次散射辐射的复合作用，分别计算其所需屏蔽厚度，取较厚者。泄漏辐射所需厚度按照式 11-8~式 11-10 进行计算，计算结果见表 11-11。散射辐射的透射因子按下式进行计算，计算结果见表 11-12。

$$B = \frac{H_e \times R^2}{H_0 \times \alpha_{ph} \times (F / 400)} \dots\dots\dots \text{式11-11}$$

式中： α_{ph} —患者400cm²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400cm²面积上的散射因子；

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²。

表 11-11 与主屏蔽区相连的次屏蔽区漏射辐射屏蔽厚度核算表

参数	2#加速器机房			
	C 点	G 点	I 点	K 点
剂量率参考控制水平* H_e (μSv/h)	5	1.25	5	0.032
R (m)	7.8	8.4	8.4	8.7
H_0 (μSv.m ² /h)	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09
f	0.001	0.001	0.001	0.001
透射因子 B	2.11E-04	6.13E-05	2.45E-04	1.68E-06
TVL ₁ (cm)	36	36	36	36
TVL (cm)	33	33	33	33
有效屏蔽厚度 X_e (cm)	124.3	142.0	122.2	193.5
斜射角 θ	35	44	44	37
屏蔽厚度 X (cm)	101.8	102.2	87.9	154.6
参数	1#加速器机房			
	C ₁ 点	G ₁ 点	I ₁ 点	K ₁ 点
剂量率参考控制水平* H_e (μSv/h)	5	0.512	5	0.032

$R(m)$	7.8	8.4	8.4	8.7
$H_0(\mu Sv.m^2/h)$	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09
f	0.001	0.001	0.001	0.001
透射因子 B	2.11E-04	2.51E-05	2.45E-04	1.68E-06
$TVL_1 (cm)$	36	36	36	36
$TVL (cm)$	33	33	33	33
有效屏蔽厚度 $X_e (cm)$	124.3	154.8	122.2	193.5
斜射角 θ	35	44	44	37
屏蔽厚度 $X (cm)$	101.8	111.4	87.9	154.6

注：*注：根据 GBZ/201.2-2011，对于“与主屏蔽区相连的次屏蔽区泄露辐射所需屏蔽厚度”核算时，剂量率参考控制水平取 H_e 的一半。

表 11-12 与主屏蔽区相连的次屏蔽区散射辐射屏蔽厚度核算表

参数	2#加速器机房			
	C 点	G 点	I 点	K 点
剂量率参考控制水平 $H_e (\mu Sv/h)$	5	1.25	5	1.25
$R(m)$	7.8	9.1	9	9.4
$H_0(\mu Sv.m^2/h)$	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09
α_{ph}	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04
F	1600	1600	1600	1600
透射因子 B	6.11E-05	2.08E-05	8.14E-05	2.22E-05
$TVL (cm)$	26	26	26	26
有效屏蔽厚度 $X_e (cm)$	109.6	121.7	106.3	121.0
斜射角 θ	35	44	44	37
散射所需屏蔽厚度 (cm)	89.7	87.6	76.5	96.6
泄漏辐射所需屏蔽厚度 (cm)	101.8	102.2	87.9	154.6
散射和泄漏辐射所需屏蔽厚度较大值 (cm)	101.8	102.2	87.9	154.6
设计厚度 (cm)	190	200	200	185
是否满足屏蔽	是	是	是	是
参数	1#加速器机房			
	C ₁ 点	G ₁ 点	I ₁ 点	K ₁ 点
剂量率参考控制水平 $H_e (\mu Sv/h)$	5	1.25	5	1.25
$R(m)$	7.8	9.1	9	9.4
$H_0(\mu Sv.m^2/h)$	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09
α_{ph}	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04
F	1600	1600	1600	1600
透射因子 B	6.11E-05	2.08E-05	8.14E-05	2.22E-05
$TVL (cm)$	26	26	26	26
有效屏蔽厚度 $X_e (cm)$	109.6	121.7	106.3	121.0

斜射角 θ	35	44	44	37
散射所需屏蔽厚度 (cm)	89.7	87.6	76.5	96.6
泄漏辐射所需屏蔽厚度 (cm)	101.8	111.4	87.9	154.6
散射和泄漏辐射所需屏蔽厚度较大值 (cm)	101.8	111.4	87.9	154.6
设计厚度 (cm)	190	200	200	185
是否满足屏蔽	是	是	是	是

注：① α_{ph} 查表 B.2、TVL 查表 B.4；②根据 GBZ/201.2-2011，对于“与主屏蔽区相连的次屏蔽区患者一次散射辐射所需屏蔽厚度”核算时，剂量率参考控制水平取 $H_{e,max}$ 的一半。

6、机房防护门屏蔽厚度核算

(1) X 射线防护屏蔽厚度核算

机房入口关注点处的散射辐射剂量率 H 计算公式如下：

$$H = \frac{\alpha_{ph} \times (F / 400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A}{R_2^2} \times H_0 \quad \dots\dots\dots \text{式 11-12}$$

式中： H —关注点处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

α_{ph} — 400cm^2 面积上的散射因子，取 45° 散射角的值 8.64×10^{-4} ；

α_2 —墙入射的患者散射辐射因子，按 45° 入射、 0° 散射查得 0.022；

A —散射面积，取 32m^2 ；

R_1 —第一次散射路径，取 8.3m；

R_2 —第二次散射路径，取 10.9m。

经计算机房入口 X 射线散射剂量率为 $428.1\mu\text{Sv/h}$ 。所需的铅屏蔽透射因子 B 计算公式如下：

$$B = \frac{H_d - H_{od}}{H} \quad \dots\dots\dots \text{式 11-13}$$

式中： H_{od} — O_2 位置穿过迷道内墙的漏射辐射在迷道口的剂量率，经计算为

$1.13 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ；

H_d —迷道入口 D 点控制剂量率，取 $10\mu\text{Sv/h}$ ；

1#、2#入口处 X 射线散射辐射平均能量约为 0.3MeV，铅的 TVL 为 5.7mm，经计算防护门屏蔽 X 射线所需铅当量厚度为 9.3mm。

(2) 中子防护屏蔽厚度核算

本项目医用电子直线加速器机房使用的 15MV 加速器 X 射线能量大于 10MV 需考虑其中子防护。

①总中子注量

总中子注量 φ_D 按下式进行计算：

$$\Phi_D = \frac{Q_n}{2\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \dots\dots\dots \text{式 11-14}$$

式中： φ_D —等中心处 1Gy 治疗照射时 D 处的总中子注量（（中子数/m²）/Gy）

Q_n —在等中心处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数，对于
本项目 15MV 加速器治疗机总中子数为 0.46×10^{12} （中子数/Gy）；

d_1 —散射 O→d 的距离（m），取 6.3m；

S —机房的总内表面积，取 526m²

计算可得 Φ_D 为 2.77×10^9 （中子数/Gy）。

②机房入口的中子剂量率（ H_n ）

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm 处无防护门时的剂量率按下式计算：

$$H_n = 2.4 \times 10^{-15} \times \Phi_D \times \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \times [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \times H_0 \dots\dots \text{式 11-15}$$

式中： 2.4×10^{-15} —该计算方法中的经验因子，Sv/(中子数/m²)；

S_0 —迷路内口的面积，取 14.2m²；

S_1 —迷路横截面积，取 12.9m²；

d_2 —散射点到迷路入口的距离，取 10.8m；

T_n —是个经验值，与迷路横截面积有关， T_n 按下式计算。

$$T_n = 2.06 \sqrt{S_1} \dots\dots\dots \text{式 11-16}$$

经计算迷路入口中子剂量率为 349μSv/h。

③机房入口的中子俘获 γ 射线的剂量率（ H_r ）

机房内及迷路中的中子在屏蔽物质作用时产生中子俘获 γ 射线，机房入口门外 30cm 处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率 H_r （μSv/h）按下式计算。

$$H_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \Phi_D \times 10^{-d_2/TVD} \times H_0 \dots\dots\dots \text{式 11-17}$$

式中： 6.9×10^{-16} —该方法中的经验因子，Sv/(中子数/m²)；

TVD —将 γ 辐射剂量减至其十分之一的距离（称为什值距离），对于
15MV 加速器为 3.9m。

经计算机房入口的中子俘获 γ 射线的剂量率为 $4.69\mu\text{Sv/h}$ 。

④入口门屏蔽厚度核算

对于中子俘获 γ 射线，以铅屏蔽；对于中子，以含硼（5%）聚乙烯屏蔽，所需的屏蔽防护厚度为 X_γ 和 X_n ，按下式计算

$$X_\gamma = TVL_\gamma \times \log[2H_\gamma/H_c - H_{od}] \dots\dots\dots \text{式 11-18}$$

$$X_n = TVL_n \times \log[2H_n/H_c - H_{od}] \dots\dots\dots \text{式 11-19}$$

式中： X_γ 和 X_n —分别为屏蔽上述两种辐射的不同屏蔽材料的厚度（cm）；

TVL_γ 和 TVL_n —分别为中子俘获 γ 射线和中子在上述两种屏蔽材料中的什值层，对于含 5%聚乙烯的 TVL_n 为 4.5cm，对于 3.6MeV 能量 γ 射线铅的 TVL_γ 为 0.6cm；

H_γ 和 H_n —分别为机房入口的中子俘获 γ 射线的剂量率和机房入口的中子剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

H_c —剂量率参考控制水平，取 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

H_{od} —穿过迷路内墙的泄漏辐射在防护门入口处的剂量率，取 $1.13 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ；

经计算，屏蔽 γ 射线所需铅当量厚度为 3.5mm，屏蔽中子所需含硼 5%的聚乙烯厚度为 110mm。

7、小结

本项目 1#、2#医用电子直线加速器机房理论计算厚度及实际设计厚度对照结果见表 11-13。

表 11-13 医用电子直线加速器机房各屏蔽体理论计算值与设计值综合汇总表

屏蔽区	方位		2#加速器机房		1#加速器机房	
			理论计算值 (cm)	实际设计值 (cm)	理论计算值 (cm)	实际设计值 (cm)
主射线束 主屏蔽区	屏蔽宽度	东侧	324	520	349	520
		西侧	349	520	324	520
		楼顶	318	520	318	520
	屏蔽体厚度	东侧	287.7	310	263.3	310
		西侧	283.3	310	287.7	310
		楼顶	291.4	310	291.4	310
与主屏蔽区相		东侧	101.8	190	111.4	200

连的次屏蔽区	西侧	102.2	200	101.8	190
屏蔽体厚度	楼顶	154.6	200	154.6	200
侧屏蔽区屏蔽	南侧	126.0	330	126.0	330
体厚度	北侧	154.5	180	154.5	180
迷道屏蔽体厚	迷道外墙	102.2	165	102.2	165
度	迷道内墙	11.8	187	11.8	187
防护门屏蔽体	铅	0.93	3.8	0.93	3.8
厚度	含硼 5%聚乙烯	11.0	13.9	11.0	13.9

根据表 11-19 理论计结果和实际设计结果比对,本项目 1#、2#医用电子直线加速器机房的设计屏蔽参数能满足屏蔽防护要求。

(二) 医用电子直线加速器屏蔽体外贯穿辐射剂量率预测

根据 GBZ/T201.2-2011, X 射线治疗时,各预测点(见图 11-3 和图 11-4)人员可能受到的最大剂量可根据以下公式进行计算:

主射线束和泄露辐射剂量估算:

$$H = \frac{H_0 \times f}{R^2} \times B \dots\dots\dots \text{式 11-20}$$

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \dots\dots\dots \text{式 11-21}$$

$$X_e = X / \cos \theta \dots\dots\dots \text{式 11-22}$$

患者一次散射辐射剂量估算:

$$H = \frac{H_0 \bullet \alpha_{ph} \bullet (F / 400)}{R_s^2} \bullet B \dots\dots\dots \text{式 11-23}$$

机房迷道入口处 X 射线散射辐射剂量估算:

$$H = \frac{\alpha_{ph} \bullet (F / 400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A}{R_2^2} H_o \dots\dots\dots \text{式 11-24}$$

由此估算的主射线束和泄露辐射对各关注点产生的剂量见表 11-14、表 11-15,由患者一次散射对各关注点产生的剂量见表 11-16,机房迷道入口处由散射辐射产生的剂量见表 11-17。

表 11-14 2#加速器机房主射线束和泄露辐射对关注点的剂量估算表									
计算参数	主屏蔽区 (B点)	主屏蔽区 (H点)	主屏蔽区 (J点)	侧屏蔽墙 (A点)	侧屏蔽墙 (E点)	迷道外墙 (F点)	与主屏蔽区相连的次屏蔽区		
							C点	I、G点	K点
屏蔽厚度 X (cm)	310	310	310	185	180	165	190	200	185
斜射角 θ	0	0	0	0	0	14	35	44	37
有效屏蔽厚度 X_e (cm)	310.0	310.0	310.0	185.0	180.0	170.1	231.9	278.0	231.6
TVL_1 (cm)	44	44	44	36	36	36	36	36	36
TVL (cm)	41	41	41	33	33	33	33	33	33
透射因子 B	3.25E-08	3.25E-08	3.25E-08	3.05E-06	4.33E-06	8.67E-06	1.15E-07	4.63E-09	1.18E-07
$H_0(\mu Sv/h)$	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09
f	1	1	1	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
$R(m)$	8.1	8.1	7.3	6	10.4	10.7	7.8	8.4	8.7
剂量当量 $H(\mu Sv/h)$	7.14E-01	7.14E-01	8.79E-01	1.22E-01	5.76E-02	1.09E-01	2.73E-03	9.45E-05	2.24E-03

表 11-15 1#加速器机房主射线束和泄露辐射对关注点的剂量估算表									
计算参数	主屏蔽区 (B_1 点)	主屏蔽区 (H_1 点)	主屏蔽区 (J_1 点)	侧屏蔽墙 (A_1 点)	侧屏蔽墙 (E_1 点)	迷道外墙 (F_1 点)	与主屏蔽区相连的次屏蔽区		
							C_1 点	I_1 、 G_1 点	K_1 点
屏蔽厚度 X (cm)	310	310	310	185	180	165	190	200	185
斜射角 θ	0	0	0	0	0	14	35	44	37
有效屏蔽厚度 X_e (cm)	310.0	310.0	310.0	185.0	180.0	170.1	231.9	278.0	231.6
TVL_1 (cm)	44	44	44	36	36	36	36	36	36
TVL (cm)	41	41	41	33	33	33	33	33	33
透射因子 B	3.25E-08	3.25E-08	3.25E-08	3.05E-06	4.33E-06	8.67E-06	1.15E-07	4.63E-09	1.18E-07
$H_0(\mu Sv/h)$	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09

f	1	1	1	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
$R(m)$	8.1	8.1	7.3	6	10.4	10.7	7.8	8.4	8.7
剂量当量 $H(\mu Sv/h)$	0.71	0.71	0.88	0.12	5.76E-02	1.09E-01	2.73E-03	9.45E-05	2.24E-03

表 11-16 1#、2#加速器机房患者一次散射对关注点的剂量估算表

计算参数	1#加速器机房与主屏蔽区相连的 次屏蔽区			2#加速器机房与主屏蔽区相连的 次屏蔽区		
	C 点	G、I 点	K 点	C ₁ 点	G ₁ 、I ₁ 点	K ₁ 点
屏蔽厚度 $X(cm)$	190	200	185	190	200	185
斜射角 θ	35	44	37	35	44	37
有效屏蔽厚度 X_e (cm)	231.9	278.0	231.6	231.9	278.0	231.6
$TVL (cm)$	26	26	26	26	26	26
透射因子 B	1.20E-09	2.03E-11	1.23E-09	1.20E-09	2.03E-11	1.23E-09
$H_0(\mu Sv/h)$	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09	1.44E+09
α_{ph}	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04
F	1600	1600	1600	1600	1600	1600
$R(m)$	7.8	9	9.4	7.8	9	9.4
剂量当量 $H(\mu Sv/h)$	9.81E-05	1.24E-06	6.94E-05	9.81E-05	1.24E-06	6.94E-05

表 11-17 1#、2#加速器机房迷道入口处由散射辐射产生的剂量估算表

计算参数	1#、2#加速器机房迷道入口处 (D、D ₁ 点)		
	中子	中子捕获 γ 射线	X 射线
机房入口处的散射辐射 剂量率 $H_C (\mu Sv/h)$	349	4.69	428.1
机房入口处的漏射辐射 剂量率 $H_{od} (\mu Sv/h)$	/	/	1.13E-02
屏蔽厚度 $X (mm)$	139mm 含硼 5%的聚乙烯	38mm (铅)	38mm (铅)
$TVL (mm)$	45	6	5.7
B	2.84E-01	2.18E-06	9.22E-05
剂量当量 $H(\mu Sv/h)$	0.28		

综上所述，1#、2#医用电子直线加速器机房四周墙体、楼上、迷道入口等人员可到达位置屏蔽体外剂量当量率为 $1.27 \times 10^{-6} \mu Sv/h \sim 0.88 \mu Sv/h$ ，均满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)要求的 $2.5 \mu Sv/h$ 控制剂量率要求，因此本项目 1#、2#医用电子直线加速器机房屏蔽设计合理。

(三) 医用电子直线加速器职业和公众受照射剂量预测

由式 11-25 估算各关注点的年附加有效剂量：

$$E=H\times 10^{-3}\times q\times h\times W_T \dots\dots\dots\text{式 11-25}$$

式中： H —关注点的剂量当量（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

E —关注点的附加有效剂量（ mSv/a ）；

h —工作负荷（ h/a ）；

q —居留因子，经常有人员停留的地方取 1，有部分时间有人员停留的地方取 1/4，偶然有人员经过的地方取 1/16；

W_T —组织权重因数，全身为 1。

由此估算的加速器机房周围各关注点的年附加有效剂量见表 11-18。

表 11-18 1#、2#加速器加速器机房周围各关注点的年附加有效剂量估算表

关注点		受照射类型	剂量当量 H 预测结果($\mu\text{Sv/h}$)	工作负荷 (h/a)	居留因子	附加有效剂量预测结果 mSv/a
1#医用电子直线加速器机房	A（地下停车场）	公众	0.122	312.5	0.0625	2.38E-03
	B（1#加速器机房）	职业	0.714	78.1	0.25	1.39E-02
	C（1#加速器机房）	职业	2.73E-03	312.5	0.25	2.13E-04
	D（加速器前室）	职业	0.284	312.5	0.25	2.22E-02
	E（控制室）	职业	5.76E-02	312.5	1	1.80E-02
	F（水冷机房）	职业	0.109	312.5	0.0625	2.13E-03
	G（后装机控制室）	职业	9.57E-05	312.5	1	2.99E-05
	H（后装机机房）	职业	0.714	78.1	0.25	1.39E-02
	I（后装机机房）	职业	9.57E-05	312.5	0.25	7.48E-06
	J（体检中心）	公众	0.879	31.3	1	2.75E-02
	K（体检中心）	公众	2.24E-03	312.5	1	7.00E-04
2#医用电子直线加速器机房	A ₁ （地下停车场）	公众	0.122	312.5	0.0625	2.38E-03
	B ₁ （2#加速器机房）	职业	0.714	78.1	0.25	1.39E-02
	C ₁ （2#加速器机房）	职业	2.73E-03	312.5	0.25	2.13E-04
	D ₁ （加速器前室）	职业	0.284	312.5	0.25	2.22E-02
	E ₁ （控制室）	职业	5.76E-02	312.5	1	1.80E-02
	F ₁ （水冷机房）	职业	0.109	312.5	0.0625	2.13E-03
	G ₁ （弱电机房）	公众	9.57E-05	312.5	0.0625	1.87E-06
	H ₁ （弱电机房）	公众	0.714	78.1	0.0625	3.49E-03
	I ₁ （地下停车场）	公众	9.57E-05	312.5	0.0625	1.87E-06
	J ₁ （体检中心）	公众	0.879	31.3	1	2.75E-02
	K ₁ （体检中心）	公众	2.24E-03	312.5	1	7.00E-04

根据表 11-18，本项目医用电子直线加速器机房运行后，职业人员受到的附

加有效剂量为 $2.22 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，满足职业人员 5mSv/a 的约束值要求；公众受到的附加有效剂量最大为 $2.75 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，满足公众 0.1mSv/a 的约束值要求。

三、后装机辐射环境影响分析

（一）后装机机房屏蔽合理性分析

1、机房照射路径条件

根据《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》（GBZ121-2017），治疗机房应考虑治疗源发射的 γ 射线（即初级辐射）对墙和屋顶的直接照射及其散射辐射在机房入口处的照射，见图 11-6 和图 11-7。由于本项目后装机机房地下无房间。

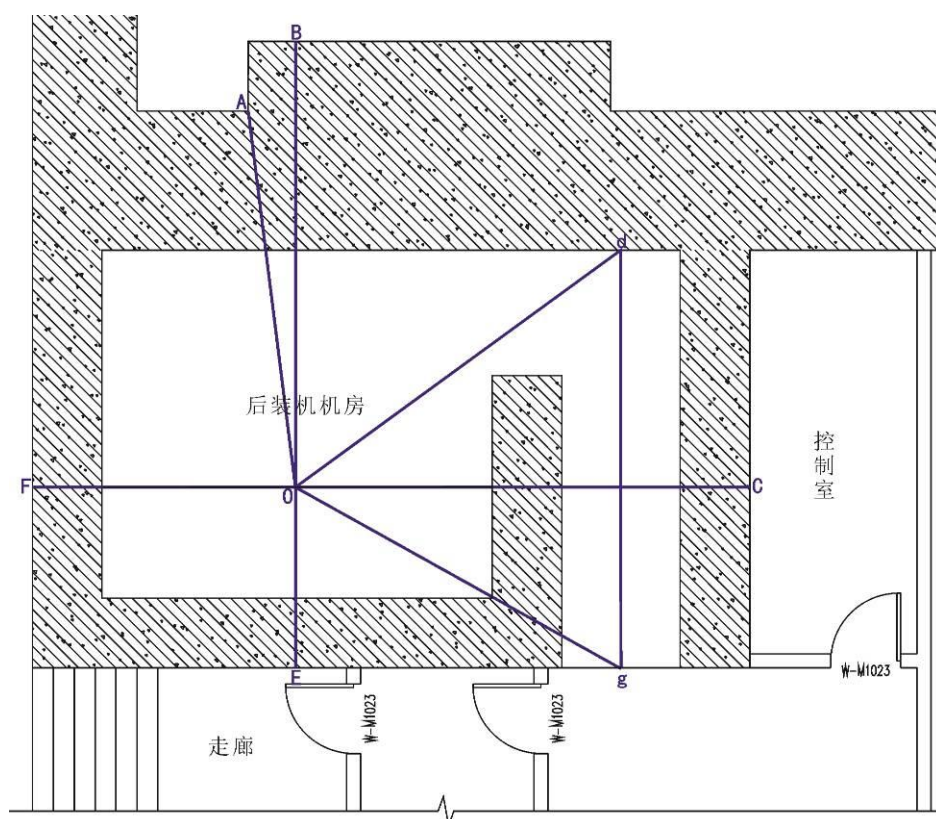


图 11-6 后装机机房水平面照射路径示意图

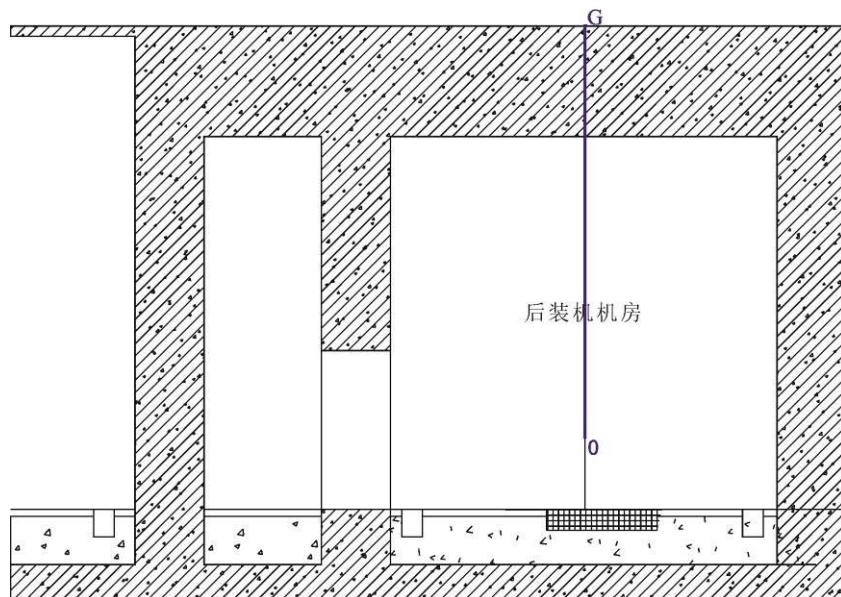


图 11-7 后装机机房垂直面照射路径示意图

2、关注点剂量率参考控制水平

参考 GBZ/T201.3-2014，机房墙外 30cm 处各关注点的剂量率参考控制水平 H_e 由式 11-6 确定，同时采取相同的方式取 H_e 和 $H_{e,ma}$ 中较小者作为关注的剂量率参考控制水平 (H_e)。根据建设单位提供资料，平均每人治疗时间为 6min，设备每天最多治疗 12 人，年工作时间为 250 天，计算得年工作时间 300h。各关注点的剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束见表 11-19。

表 11-19 机房外各关注点剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束

关注点位	受照射类型	H_a	t	T	$H_{e,d}$	$H_{e,max}$	H_e	主要考虑的辐射束	射线路径
A (2#加速器机房)	职业	5000 $\mu\text{Sv/h}$	300	0.25	66.74 $\mu\text{Sv/h}$	10 $\mu\text{Sv/h}$	10	初级射线	$O \rightarrow A$
B (2#加速器机房)	职业	5000 $\mu\text{Sv/h}$	300	0.25	66.7 $\mu\text{Sv/h}$	10 $\mu\text{Sv/h}$	10	初级射线	$O \rightarrow B$
C (控制室)	职业	5000 $\mu\text{Sv/h}$	300	1	16.7 $\mu\text{Sv/h}$	2.5 $\mu\text{Sv/h}$	2.5	初级射线	$O \rightarrow C$
D (前室)	职业	5000 $\mu\text{Sv/h}$	300	0.25	66.7 $\mu\text{Sv/h}$	10 $\mu\text{Sv/h}$	10	迷道散射	$O \rightarrow d \rightarrow g$
								墙体漏射线	$O \rightarrow g$
E (缓冲间)	公众	100 $\mu\text{Sv/h}$	300	0.06 25	5.3 $\mu\text{Sv/h}$	10 $\mu\text{Sv/h}$	5.3	初级射线	$O \rightarrow E$
F (地下停)	公众	100	300	0.06	5.3	10	5.3	初级射线	$O \rightarrow F$

车场)		μSv/h		25	μSv/h	μSv/h			
H (体检中心)	公众	100 μSv/h	300	1	0.33 μSv/h	2.5 μSv/h	0.3 3	初级射线	O→H

2、初级射线屏蔽厚度核算

根据式 11-8~式 11-9 和式 11-28 计算出各关注点相应的屏蔽厚度。

$$H_o = A \cdot K_\gamma \dots\dots\dots \text{式 11-26}$$

式中： H_o —活度为 A 的放射源的距其 1m 处的剂量率，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ；
A—放射源的活度，取值 $5.55 \times 10^5 \text{MBq}$ ；
 K_γ —放射源的空气比释动能率常数（或称 K_γ 常数），对于铯-137 取 $0.111 \mu\text{Sv}/(\text{MBq h})$ 。

计算结果见表 11-20，各关注点屏蔽墙体核算结果见表 11-20。

表 11-20 后装机机房屏蔽墙屏蔽厚度核算

参数	A 点	B 点	C 点	g 点	E 点	F 点	G 点
射线路径	O→A	O→B	O→C	O→g	O→E	O→F	O→H
$H_e(\mu\text{Sv/h})$	10	10	2.5	2.5	5.3	5.3	0.33
R(cm)	5.7	6.7	6.8	5.7	2.9	4.1	6.3
$H_o(\mu\text{Sv/h})$	6.16E+04	6.16E+04	6.16E+04	6.16E+04	6.16E+04	6.16E+04	6.16E+04
B	5.27E-03	7.29E-03	1.88E-03	1.32E-03	7.24E-04	1.45E-03	2.13E-04
TVL (cm)	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2
有效屏蔽厚度 X_e (cm)	34.6	32.5	41.4	43.8	47.7	43.2	55.8
斜射角 θ	0	0	0	29	0	0	0
屏蔽厚度 X (cm)	34.6	32.5	41.4	50.0	47.7	43.2	55.8
设计厚度 X (cm)	100	100	200	100	100	100	160
是否满足屏蔽要求	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

注：对于“迷道内墙泄露辐射所需屏蔽厚度”核算时，剂量率参考控制水平应小于 $H_{e,d}$ 的 1/4。

3、机房入口屏蔽厚度估算

治疗源在 O 点发射的 γ 射线（即初级辐射）通过迷路散射至机房入口 g 点产生的散射辐射剂量率 H_g ，采用式 11-27 和式 11-13 进行计算：

$$H_g = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot S_w \cdot a_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \dots\dots\dots \text{式 11-27}$$

式中： S_w —散射面积 4.14m^2 (1.8m 宽×2.3m 高)；

a_w — 3.39×10^{-2} (铯-137 45°入射辐射和 0°反散射的散射因子，保守地取 0.25MeV 的散射因子，查表 C.4)；

R_1 —辐射源 O 至散射面中心 d 的距离，5.8m；

R_2 —散射面中心 d 至机房入口 g 的距离，6.0m；

H_{Og} —O 位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在 g 处的剂量率，经计算为 $6.98 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h}$ ；

经计算，机房入口屏蔽前的散射剂量率为 7.1μSv/h，若将该处的剂量率控制为 2.5μSv/h，在 g 处的散射辐射能量约 0.2MeV，铅中的 TVL 值为 5.0mm，求出所需屏蔽为：2.28mm，实际铅门设计厚度为 5mm。

4、小结

后装机机房理论计算厚度及实际设计厚度对照情况见表 11-21。

表 11-21 后装机机房混凝土墙体厚度理论计算值与设计值对比一览表

屏蔽区	理论计算值	实际设计值	是否满足要求
北侧墙体	34.6cm	100cm	满足
东侧墙体	41.1cm	200cm	满足
南侧墙体	47.7cm	100cm	满足
西侧墙体	43.2cm	100cm	满足
楼顶	55.8cm	160cm	满足
防护门	2.28mm	15mm	满足

根据表 11-21 理论计结果和实际设计结果比对，本项目后装机机房的设计屏蔽参数能满足屏蔽防护要求。

（二）后装机机房屏蔽体外贯穿辐射剂量率预测

利用《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/201.3-2014 的相关公式计算，首先根据机房各屏蔽体的设计厚度 X （cm）根据式 11-7 计算出有效厚度 $X_e(\text{cm})$ ，按照式 11-8 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按照式 11-28 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 H （μSv/h）：

$$H = \frac{H_0 \times f}{R^2} \times B \dots\dots\dots \text{式 11-28}$$

式中参数同上。本项目后装机机房外各关注点辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-22。

表 11-22 屏蔽体外关注点辐射剂量率计算结果

计算参数	A 点	B 点	C 点	g 点	E 点	F 点	G 点
屏蔽厚度 X (cm)	100	100	200	100	100	100	160
斜射角 θ	0	0	0	29	0	0	0
有效屏蔽厚度 X_e (cm)	100.0	100.0	200.0	114.3	100.0	100.0	160.0
TVL (cm)	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2
透射因子 B	2.64E-07	2.64E-07	6.95E-14	3.01E-08	2.64E-07	2.64E-07	2.98E-11
H_0 (μ Sv/h)	6.16E+0 4	6.16E+0 4	6.16E+0 4	6.16E+0 4	6.16E+0 4	6.16E+0 4	6.16E+0 4
R(m)	5.7	6.7	6.8	5.7	2.9	4.1	6.3
剂量当量 H (μ Sv/h)	5.00E-04	3.62E-04	9.26E-11	5.70E-05	1.93E-03	9.66E-04	4.62E-08

后装机机房入口处散射剂量率为 $7.1\mu\text{Sv/h}$ ，漏射线剂量率为 $5.70\times 10^{-5}\mu\text{Sv/h}$ ，15mm 铅当量防护铅门的屏蔽透射因子为 1.0×10^{-3} ，因此经铅门防护后，入口处 g 的散射剂量为 $7.14\times 10^{-3}\mu\text{Sv/h}$ 。

综上所述，后装机机房四周墙体、楼上、迷道入口等人员可到达位置屏蔽体外剂量当量率为 $9.26\times 10^{-11}\mu\text{Sv/h}\sim 7.14\times 10^{-3}\mu\text{Sv/h}$ ，均满足《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）要求的 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制剂量率要求，因此本项目后装机机房屏蔽设计合理。

（三）后装机职业及公众受照剂量分析

后装机职业人员受照射剂量主要来源于进入机房巡检、病人摆位以及日常隔室操作中过程受照射剂量，其中单个病人每次巡检、摆位时间约 1min，年摆位次数 1800 次，年受照时间 30h，根据《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》（GBZ121-2017）。后装治疗机贮源器内装载允许最大活度时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，泄漏辐射的空气比释动能率不得大于 $50\mu\text{Gy/h}$ ，距离贮源器 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射的空气比释动能率不得大于 $5\mu\text{Gy/h}$ ，本次评价按 50cm 处剂量率进行保守考虑，则巡检、摆位过程年最大受照剂量为 1.5mSv/a 。职业人员操作过程及周围公众受照射剂量根据式 11-6 计算，计算参数取值及计算结果见表 11-23。

表 11-23 后装机机房周围各关注点的年附加有效剂量估算表

关注点	受照射类型	剂量当量 H 预测结果($\mu\text{Sv/h}$)	工作负荷(h/a)	居留因子	附加有效剂量预测结果 (mSv/a)
A (2#加速器机房)	职业	5.00E-04	300	0.25	3.75E-05
B (2#加速器机房)	职业	3.62E-04	300	0.25	2.72E-05
C (控制室)	职业	9.26E-11	300	1	2.78E-11
g (前室)	职业	5.70E-05	300	0.25	4.28E-06
E (缓冲间)	公众	1.93E-03	300	0.0625	3.62E-05
F (地下停车场)	公众	9.66E-04	300	0.0625	1.81E-05
H (体检中心)	公众	4.62E-08	300	1	1.39E-08

根据表 11-23, 职业人员叠加巡检和摆位受照射剂量最大为 1.5mSv/a , 满足 5mSv/a 剂量约束值, 公众受照剂量最大为 $3.62 \times 10^{-5}\text{mSv/a}$, 满足 0.1mSv/a 剂量约束值。

四、DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机辐射环境影响分析

本项目 DSA 和 ERCP 中型 C 臂 X 射线机未投运, 本次采用类比监测和理论分析进行评价。

1、类比监测分析

(1) 类比可行性分析

本次类比选用的是三亚哈尔滨医科大学鸿森医院 Allura Xper FD20 型 DSA 和 Easy Dignost Eleva 型 ERCP, 类比工况及类比机房参数见表 11-24 和表 11-25。

表 11-24 本项目介入设备与类比设备主要技术参数比较表

设备名称	运行时最大管电压 (kV)		运行时最大管电流 (mA)	
	透视	拍片	透视	拍片
本项目 DSA	75	80	12.0	150
类比 DSA	78	81	12.2	168
本项目 ERCP	75	80	1.5	320
类比 ERCP	76	78	1.5	500

表 11-25 本项目射线装置机房与类比机房设计参数比较表

项目	本项目介入手术室	类比 DSA 机房	比较结果
操作位	床下铅帘具有 0.5mm 铅当量防护水平, 床体旁的铅防护吊屏具有 0.5mm 铅当量防护水平	床下铅帘具有 0.5mm 铅当量防护水平, 床体旁的铅防护吊屏具有 0.5mm 铅当量防护水平	防护水平相同
医生防护	身着铅衣、铅帽、铅围脖、	身着铅衣、铅帽、铅围脖、	防护水平相同

	铅眼镜等, 具有 0.5mm 铅当量防护水平	铅眼镜等, 具有 0.5mm 铅当量防护水平	
项目	本项目 ERCP 机房	类比 ERCP 机房	比较结果
操作位	床下铅帘具有 0.5mm 铅当量防护水平, 床体旁的铅防护吊屏具有 0.5mm 铅当量防护水平	床下铅帘具有 0.5mm 铅当量防护水平, 床体旁的铅防护吊屏具有 0.5mm 铅当量防护水平	防护水平相同
医生防护	身着铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜等, 具有 0.5mm 铅当量防护水平	身着铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜等, 具有 0.5mm 铅当量防护水平	防护水平相同

由表 11-24 和表 11-25 可知, 本项目介入设备透视、拍片时运行管电压和管电流均略低于类比射线装置。本项目医生防护和操作为防护水平相当, 因此本次评价采用类比监测数据反映本项目的影晌是可行的。

(2) 类比监测分析

2018 年 1 月 26 日, 四川省核工业辐射测试防护院对类比机房进行了辐射环境监测(监测报告编号: 辐测院监字[2018F]第 0033 号)。介入手术室和 ERCP 机房内辐射剂量率类比监测结果见表 11-26 和表 11-27。

表 11-26 介入手术室内 X-γ 空气吸收剂量率监测结果

编号	测量点位置		X-γ 空气吸收剂量率($\times 10^{-8}$ Gy/h)	标准差	备注
7	介入手术室内第一术者位辐射工作人员手臂处(距球管 20cm)	未曝光	14.0	0.22	透视
		曝光	9554.5	39.42	
8	介入手术室内第二术者位辐射工作人员手臂处(距球管 70cm)	未曝光	14.1	0.26	透视
		曝光	5183.4	22.18	
9	介入手术室内第一术者位(距球管 30cm)	未曝光	14.1	0.21	透视(铅衣遮挡)
		曝光	1436.8	11.04	
10	介入手术室内第二术者位(距球管 80cm)	未曝光	14.4	0.23	透视(铅衣遮挡)
		曝光	664.1	6.11	

表 11-27 ERCP 机房内 X-γ 空气吸收剂量率监测结果

编号	测量点位置		X-γ 空气吸收剂量率($\times 10^{-8}$ Gy/h)	标准差	备注
1	ERCP 室内第一术者位辐射工作人员手臂处(距球管 20cm)	未曝光	14.3	0.13	透视
		曝光	5272.2	23.88	
2	ERCP 室内第二术者位辐射工作人员手臂处(距球管 70cm)	未曝光	14.2	0.26	透视
		曝光	2234.1	22.18	
3	ERCP 室内第一术者位(距球管 30cm)	未曝光	13.6	0.21	透视(铅衣遮挡)
		曝光	24.6	11.04	

4	ERCP 室内第二术者位(距球管 80cm)	未曝光	14.3	0.23	透视(铅 衣遮挡)
		曝光	18.8	6.11	

不同科室，开展介入手术量及曝光时间情况见表 11-28。

表 11-28 不同科室开展介入手术量及曝光时间核算表

设备	科室	单台设备年手术 数量（台）	单台设备年曝光总时间 （h）	单台设备年透视总 时间（h）
DSA	心内科	2000	200	166.7
	神经外科科	1000	100	83.3
	放射科科	1000	100	83.3
合计		4000	400	333.3
ERCP	内镜中心	1000	100	83.3
	消化内科	500	50	41.7
	普通外科	500	50	41.7
合计		2000	200	166.7

①机房内介入医生全身剂量计算

根据类比 DSA、ERCP 监测结果得出的 X-γ 空气吸收剂量率附加值，并根据《实用辐射安全手册（第二版）》的公式，机房内职业人员全身年有效剂量计算公式如下：

$$H_{Er}=D_r \cdot W_R \cdot W_T t \cdot 10^3 \dots\dots\dots \text{式 11-1}$$

式中：

D_r ：空气吸收剂量率监测值，Gy/h；

H_{Er} ：X 射线外照射人均年有效剂量,mSv；

t ：累计曝光时间，h；

W_R ：辐射权重因数，对于 X 射线取 1；

W_T ：组织权重因数，取 1。

②机房内介入医生腕部皮肤剂量计算

腕部皮肤受照剂量计算公式参考《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017），有辐射场空气比释动能率信息时，皮肤吸收剂量用下式进行估算：

$$D_S = C_{KS} (\dot{k} \cdot t) \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots \text{式 11-2}$$

式中：

D_S —皮肤吸收剂量（mGy）；

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

C_{KS} —空气比释动能到皮肤吸收剂量的转换系数，根据《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）表 A.4 AP 入射方式查得空气比释动能到皮肤吸收剂量的转换系数为 1.134mGy/mGy；

t —人员累积受照时间。

③计算结果

A、DSA 手术室内职业人员受照射剂量计算结果

DSA 按透视时间最长的心内科介入手术进行计算，第一手术位和第二手术位工作人员受照射剂量计算结果见表 11-29。

表 11-29 介入手术室内所致年有效剂量

监测点号	位置	X- γ 辐射剂量率附加值($\times 10^{-8}\text{Gy/h}$)*	最大受照射时间(h)	年有效剂量(mSv/a)	受照射类型
7#	介入手术室内第一术者位辐射工作人员手臂处(距球管 20cm)	9540.5	166.7	18.0	职业
8#	介入手术室内第二术者位辐射工作人员手臂处(距球管 70cm)	5169.3	166.7	9.77	职业
9#	介入手术室内第一术者位(距球管 30cm)	1422.7	166.7	2.37	职业
10#	介入手术室内第二术者位(距球管 80cm)	649.7	166.7	1.08	职业

*注：X- γ 辐射剂量率附加值为曝光时的辐射剂量率监测值减去未曝光时的辐射剂量率监测值。

经计算，DSA 对第一手术操作位全身年有效剂量为 2.37mSv，对第二手术操作位全身年有效剂量为 1.08mSv，均满足 5mSv 约束值要求；第一手术位手、皮肤年当量剂量为 18.0mSv，第二手术位手、皮肤年当量剂量为 9.77mSv，均满足 125mSv 剂量约束限值。

B、ERCP 机房内职业人员受照射剂量计算结果

ERCP 中型 C 臂 X 射线机按透视时间最长的内镜中心介入手术进行计算，第一手术位和第二手术位工作人员受照射剂量计算结果见表 11-30。

表 11-30 ERCP 机房内所致年有效剂量

监测点号	位置	X-γ辐射剂量率附加值($\times 10^{-8}$ Gy/h)*	最大受照射时间(h)	年有效剂量(mSv/a)	受照射类型
7#	ERCP 室内第一术者位 辐射工作人员手臂处 (距球管 20cm)	5257.9	83.3	4.97	职业
8#	ERCP 室内第二术者位 辐射工作人员手臂处 (距球管 70cm)	2291.9	83.3	2.16	职业
9#	ERCP 室内第一术者位 (距球管 30cm)	11.0	83.3	9.16E-03	职业
10#	ERCP 室内第二术者位 (距球管 80cm)	4.5	83.3	3.75E-03	职业

*注：X-γ 辐射剂量率附加值为曝光时的辐射剂量率监测值减去未曝光时的辐射剂量率监测值。

经计算，ERCP 中型 C 臂 X 射线机对第一手术操作位全身年有效剂量为 9.16×10^{-3} mSv，对第二手术操作位全身年有效剂量为 3.75×10^{-3} mSv，均满足 5mSv 约束值要求；第一手术位手皮肤年当量剂量为 4.97mSv，第二手术位手、皮肤年当量剂量为 2.16mSv，均满足 125mSv 剂量约束限值。

2、理论预测环境影响分析

(1) 对机房内辐射影响分析

根据《电离辐射剂量学》（李士骏编著）脉冲透视过程操作对机房内的工作人员所造成的辐射剂量可按下式估算：

$$D_r = I \cdot \delta \cdot \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 \cdot f \quad \dots\dots\dots \text{式 11-31}$$

$$H_{Er} = D_r \times t \times \mu \dots\dots\dots \text{式 11-32}$$

式中： D_r —离射线装置 r m 处产生的空气吸收剂量率，mGy/min

I —透视管电流（mA）；

δ —给定电压和过滤片情况下 X 射线机的发射率常数，mGy m² mA⁻¹ min⁻¹；根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）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，根据已评价 DSA 的参数本次评价取 3.0mmAl；

r —透视过程中职业人员居留位置距离辐射源的距离，m；

f —防护材料对 X 射线的减弱因子,职业人员在手术室内操作时身穿连体铅衣、戴铅手套、铅眼镜、铅围脖,同时手术医生使用铅帘进行防护,这些防护用品均为 0.5mm 铅当量,手术医生工作时实际受到了两次防护,防护能力相当于 1mm 铅当量,根据《辐射防护手册》(第一分册)图 10.5e 查得。

H_{Er} —X 射线外照射人均年有效剂量当量,mSv;

t —累计透视出束时间, min;

μ —转换因子,此处取 1。

表 11-31 预测参数取值表

射线装置	操作位	透视电压 (kV)	透视电流 (mA)	预测距离 (m)	发射率常数 ^①	半值层厚度 ^② (mm)	减弱因子	透视时间 min	受照射剂量 (mSv/a) ^③
DSA	第一操作位	75	12	0.3	3.8	0.15	0.001	10000	5.07
	第二操作位	75	12	1.0	3.8	0.15	0.01	10000	4.56
ERC P	第一操作位	75	15	0.3	3.8	0.15	0.001	5000	0.31
	第二操作位	75	15	1.0	3.8	0.15	0.01	5000	0.29

注:①根据《辐射防护导论》附图 3 查得;②根据《辐射防护导论》表 3.5 查得;③由于医生位于漏射束方向,非射线主射束方向,因此吸收剂量率取主射束方向的 1%。

经计算,DSA 介入手术室内第一手术操作位医生年有效剂量为 5.07mSv/a;第二手术操作位医生年有效剂量为 4.56mSv/a,由于受照剂量较大,将至少分两组介入医生轮流操作,分组后 DSA 介入手术室内第一手术操作位医生年有效剂量为 2.54mSv/a;第二手术操作位医生年有效剂量为 2.28mSv/a; ERCP 机房内第一手术操作位医生年有效剂量为 0.31mSv/a;第二手术操作位医生年有效剂量为 0.29mSv/a,均满足 5mSv/a 约束值要求。

(3) 对机房外辐射影响分析

根据《辐射防护手册》(第一分册)中计算公式如下:

$$D_r = D_0 f t T / r^2 \dots\dots\dots \text{式 11-33}$$

式中: D_r —预测点处辐射空气吸收剂量, Gy/a;

D_0 —DSA 在 1m 处的辐射空气吸收剂量率取 4.56×10^{-2} Gy/min, ERCP 在 1m 处的辐射空气吸收剂量率取 5.70×10^{-3} Gy/min;

t —每年工作时间，按单台设备总的出束时间计，DSA 为 24000min，
 ERCP 为 12000min；
 f —屏蔽材料对初级 X 射线束的减弱因子；
 T —居留因子；
 r —预测点距 X 射线源的距离，m。

表 11-32 手术中心及内镜中心外各关注点年有效剂量预测结果表

机房	预测点	与射线源最小距离(m)	屏蔽体铅当量厚度(mm)	居留因子	减弱因子	照射类型	屏蔽体外剂量当量率($\mu\text{Sv/h}$)	年有效剂量(mSv)
手术中心	北侧墙外	4.45	4.6	0.25	631E-10	公众	8.72E-05	8.72E-06
	东侧墙外	4.40	4.6	1	631E-10	职业	8.92E-05	3.57E-05
	南侧墙外	4.45	4.6	0.25	631E-10	公众	8.72E-05	8.72E-06
	西侧墙外	4.40	4.6	1	631E-10	职业	8.92E-05	3.57E-05
	防护门外	4.45	3.0	1	1.00E-06	公众	1.38E-01	5.53E-02
	观察窗外	4.40	3.0	1	1.00E-06	职业	1.41E-01	5.65E-02
	楼上	3.0	4.5	1	1.00E-09	公众	3.04E-04	1.22E-04
	楼下	3.0	4.5	1	1.00E-09	公众	3.04E-04	1.22E-04
内镜中心	北侧墙外	3.3	4.0	1	1.00E-08	职业	3.14E-04	1.26E-04
	东侧墙外	3.05	4.0	0.25	1.00E-08	公众	3.68E-04	3.68E-05
	南侧墙外	3.3	4.0	1	1.00E-08	职业	3.14E-04	1.26E-04
	西侧墙外	3.05	4.0	0.25	1.00E-08	公众	3.68E-04	3.68E-05
	防护门外	3.05	3.0	1	1.00E-06	公众	3.68E-02	1.47E-02
	观察窗外	3.3	3.0	1	1.00E-06	职业	3.14E-02	1.26E-02
	楼上	3.0	3.5	1	1.00E-07	公众	3.80E-03	1.52E-03
	楼下	3.0	3.3	1	2.15E-07	公众	8.17E-03	3.27E-03

注：本次评价选择空间尺寸最小的机房作为代表性机房进行评价，根据《辐射防护导论》80kV X 射线铅的半值层厚度为 0.5mm，减弱因子=0.1^(TVL/屏蔽层铅当量)。

根据表 11-32，机房屏蔽体外 30cm 处剂量当量率为 $8.72 \times 10^{-5} \mu\text{Sv/h} \sim 0.141 \mu\text{Sv/h}$ ，满足 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的控制限值要求，职业人员的年剂量最大为 $5.65 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，低于 5mSv/a 的约束值；公众的年剂量最大为 $5.65 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，低于 0.1mSv/a 的约束值。

五、大气环境影响分析

(一) 核医学中心大气环境影响分析

本项目控制区房间内按要求设置有独立排风系统，同时活性室、质检室和实

验室内通风橱还设立有独立排风管道，并将废气引至楼顶进行排放。由于本项目涉及的非密封放射性物质均属于液态，操作量相对较小，挥发量也较小，且排口处设置有活性炭过滤器，本项目产生的废气经独立排风系统过滤排至室外自然稀释后对环境的影响较小。

（二）大气环境影响分析

1、臭氧环境影响分析

DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机及 III 类射线装置等其 X 射线能量较小，其臭氧产生量较小通过排放措施后对环境的影响较小，本次评价主要考虑直线加速器和后装机使用过程中 X 射线所致臭氧的影响分析。

（1）医用电子直线加速器机房臭氧环境影响分析

①臭氧的产生量计算

参照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018），15MV 加速器机房仅考虑电子束产生的臭氧。

A、电子所致臭氧的产生率由下式计算

$$P=45dIG\cdots\cdots\cdots\text{式 11-34}$$

式中：P—电子束臭氧产生率（mg/h）；

I—电子束流强度，取 0.2mA；

d—电子在空气中的行程，本处取 100cm；

G—空气吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数，取 10。

B、X 射线所致臭氧的产生率由下式计算：

$$P=2\times10^{-9}D_{10}SL\rho\cdots\cdots\cdots\text{式 11-35}$$

式中：P—X 射线臭氧产生率（mg/h）；

D_{10} —X 射线在距靶 1m 处的最大剂量当量率，取 1440Gy/h；

S—最大治疗野面积，取值 0.16m^2 ；

L—X 射线在空气中的路径长度，取 1m。

ρ —臭氧密度，取 $2.14\times10^3\text{mg/L}$

根据上式计算，本项目医用电子直线加速器 X 射线所致臭氧产生量为 $9.86\times10^{-4}\text{mg/h}$ ，电子所致臭氧产生量为 $4.5\times10^3\text{mg/h}$ ，其中 X 射线所致臭氧产生率相对电子所致臭氧产生率是很低的，因此本次评价主要考虑电子所致臭氧影

响。

②机房臭氧浓度计算

在电子加速器正常运行期间，臭氧不断产生，考虑到室内连续通风和臭氧自身的化学分解（有效化学分解时间约 50min），机房内空气中臭氧在 t 时间的浓度 C_s 由下式计算：

$$C(t) = \frac{PT_e}{V} [1 - e^{-t/T_e}] \dots\dots\dots \text{式 11-36}$$

$$T_e = \frac{T_v \times T_d}{T_v + T_d} \dots\dots\dots \text{式 11-37}$$

式中： T_e —臭氧的有效清除时间（h）；

T_v —辐照室换气一次所需时间，根据设计取 0.12h；

t —加速器单次运行时间，取 0.025h

T_d —臭氧的有效化学分解时间，取 0.83h；

V —加速器机房容积，取 444m³。

经计算，1#、2#加速机房内臭氧有效清除时间为 0.11h，单次治疗结束后机房内臭氧浓度为 0.23mg/m³，大于《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）中臭氧 1 小时均值≤0.16mg/m³ 的标准限值。

③臭氧排放

由于臭氧浓度不满足要求，因此在加速器停止运行后，人员不能直接进入机房内，风机需继续运行，其运行时间 T 由下式计算：

$$T = -T_e \ln (C_0/C_s) \dots\dots\dots \text{式 11-38}$$

式中： C_0 ——《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）中臭氧 1 小时均值，取 0.16mg/m³。

经计算，1#、2#加速器机房采用电子束进行治疗，加速器在停止运行后风机需继续运行至少 2.3min 后，机房内臭氧浓度才能满足限值要求。臭氧通过通风管道引至楼顶排放经扩散后，对机房周围的环境影响可以满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准中 1 小时均值≤0.2mg/m³ 的标准限值，对机房周围的大气环境影响较小。

2、后装机机房臭氧环境影响分析

①臭氧的产生量计算

对于 γ 射线所致机房臭氧浓度，计算参考参考《辐射防护手册（三分册）》

2.6.8“ γ 辐照室”计算，假设在辐照期间臭氧无分解，臭氧在辐照室内均匀分布，则产生臭氧的浓度由下式计算。

$$Q = 6.33 \times 10^{-4} A G V^{1/3} \dots\dots\dots \text{式 11-39}$$

式中：Q—为机房内臭氧产额；mg/h；

A—为放射源活度，取 15Ci；

G—空气每吸收 100eV 辐射能力所产生的臭氧分子数，此处取 6；

V—机房容积，取 216m³。

T_v—换气一次所需的时间，取 0.083h；

T_d—臭氧的有效化学分解时间，取 0.83h；

根据上式计算，本项目后装机 γ 射线所致臭氧产生量为 0.34mg/h，根据式 11-37 和式 11-36 计算，后装机机房内臭氧有效清除时间为 0.075h，单次治疗结束后机房内臭氧浓度为 $8.72 \times 10^{-5} \text{mg/m}^3$ ，远小于《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）中臭氧 1 小时均值 $\leq 0.16 \text{mg/m}^3$ 的标准限值，经通排风后不会对机房及周围大气环境造成明显影响。

2、感生放射性气体对职业人员影响分析

由于本项目加速器机房涉及使用 15MV 医用电子直线加速器，最大光子能量为 15MeV，会产生氮-13 感生放射性气体。根据《辐射防护手册（三分册）》钨靶发射的 X 射线在空气中感生放射性核素氮-13 的生成率见表 11-33。

表 11-33 钨靶 X 射线在空气中感生的氮-13 生成率

能量(MeV)	¹³ N 生成速率($\mu\text{Ci/s} \cdot \text{mA} \cdot \text{MeV}$)
14	460
15	920
18	1280
20	2440
22	4100

因为产生的 X 射线是韧致辐射，其能谱是连续的，一般情况下 15MV 能量份额约为 6~7%，本环评按 10%取值。

加速器运行 1.5min 时氮-13 的产生量= $0.92(\text{mCi/s} \cdot \text{mA} \cdot \text{MeV}) \times 90(\text{s}) \times 0.3(\text{mA}) \times 15(\text{MeV}) \times 10\%$ （电子能量转换为 X 射线能量） $\times 3.7 \times 10^7(\text{Bq/mCi}) \times 78\%$ （氮的百分比） $\times 10\%$ （15MeV 能量份额）= $1.08 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

根据式 11-36 和式 11-37 计算，单次治疗结束后，机房内氮-13 平衡浓

度为 $2.05 \times 10^5 \text{Bq/m}^3$ ，根据前述计算，为保证臭氧达标，机房至少通风 2.3min 后工作人员才进入机房摆位，根据式 11-38，2.3min 后机房内氮-13 浓度为 $1.19 \times 10^5 \text{Bq/m}^3$ 。氮-13 关键照射途经为浸没外照射，工作人员摆位时，受到的照射剂量 $= 1.19 \times 10^5 \text{Bq/m}^3 \times 4.9 \times 10^{-14} \text{Sv/(Bq} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^3)$ (浸没外照射剂量转换因子) $\times 30 \text{s}$ (单次摆位时间) $\times 1000 = 1.75 \times 10^{-4} \text{mSv/次}$ ，每年最多摆位 12500 次，年剂量为 2.18mSv/a 。叠加工作人员在控制室最大受照射剂量 $1.80 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，本项目医用电子直线加速器对职业工作人员的年有效剂量最大为 2.20mSv/a ，满足 5mSv/a 约束值要求。

3、放射性气体对公众影响分析

本项目主要放射性气溶胶主要考虑核素包括：碘-131 和氮-13，放射性废气排放时，排口设置有活性炭过滤器，其过滤效率为 99%，最终排放后公众最大年摄入量计算结果见表 11-34。

表 11-34 放射性核素公众最大年摄入量汇总表

核素	日最大排放量 (Bq)	排风量 (m^3/h)	平均排放浓度 (Bq/m^3)	日排放时间 (h)	排放速率 (Bq/s)	关键照射途经
^{13}N	5.4×10^7	3821	$1.41 \text{E}+04$	1.25	1.20×10^3	吸入内照射、浸没外照射
^{131}I	3.70×10^5	1700 ^①	21.8	0.083 ^②	1.24×10^3	浸没外照射

注：①通风橱的风量；②该时间为碘-131 分装时间，即碘-131 液面裸露时间。

碘-131 放射气溶胶关键照射照射途经为吸入内照射和浸没外照射，氮-14 放射气溶胶关键照射照射途经为浸没外照射。其中吸入内照射待积有效剂量计算公示如下：

$$H_{hi} = T C_{ai} u f g_{hi} \dots \dots \dots \text{式 11-40}$$

式中： H_{hi} —吸入内照射待积有效剂量，Sv；

T —受照时间，h；

u —为个人轻体力劳动下的呼吸率，参照《 γ 辐射防护规定》(GB8703-88) 取 $1.2 \text{m}^3/\text{h}$ ；

C_{ai} —预测点碘-131 活度浓度， Bq/m^3 ；

g_{hi} —为吸入放射性核素 i 产生的待积有效剂量转换因子，碘-131 取 $7.4 \times 10^{-9} \text{Sv/Bq}$ 。（根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 附表查得）；

f —转换因子，取 1。

浸没外照射所致全身剂量当量计算公式如下：

$$H_A = t C_i G_A \dots\dots\dots \text{式 11-41}$$

式中：

H_A —年空气浸没全身剂量当量，Sv/a；

t —年受照时间，s；

C_i —预测点氮-14 活度浓度，Bq/m³；

G_A —烟云浸没照射剂量当量转换因子，对于氮-13 为 $4.9 \times 10^{-14} \text{Sv}/(\text{Bq} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^3)$ ，碘-131 为 $1.82 \times 10^{-14} \text{Sv}/(\text{Bq} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^3)$ 根据 EPA-402-R-93-081 表 III.1 查得）。

排放至环境放射性气溶胶对公众的影响采用《环境影响评价技术导则-大气环境》附录 A 推荐模型中的 AERSCREEN 模式分析，污染点源计算参数和不同距离处碘-131 气溶胶落地浓度及吸入内照射待积有效剂量分别见表 11-35、表 11-36 和表 11-37。

根据表 11-37，公众碘-131 吸入量最大为 2.54Bq，小于《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WS T613-2018）规定的公众成员吸入碘-131 放射性核素年最小摄入（吸入）导出限值 $1.3 \times 10^3 \text{Bq}$ （按 0.1mSv/a 约束限值导出），放射性气溶胶所致公众最大受照射剂量为 $4.98 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，满足 0.1mSv/a 剂量约束值，因此本项目排放的放射性气溶胶对周围辐射环境影响较小。

六、水环境影响分析

本项目核医学中心已设置独立下水系统，并设置了 750m³ 的 2 格并联地埋式衰变池用于放射性废水的收集衰变，且衰变池的有效容积大于 149 天的达标时间，衰变后放射性废水经监测达标后排入医院污水管网。最终排入医院污水管网的放射性核素总活度和活度浓度达标情况分析如下：

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B 中 B1.3.4 和 B1.3.5 可知，放射性核素一次排放浓度限值（ $1ALI_{\min}$ ）采用下式计算：

$$ALI_{\min} = DL / e_j \dots\dots\dots \text{式 11-42}$$

式中： DL —职业人员年剂量限值，取 5mSv/a；

e_j —《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 B3 和 B6、B7 中给出的放射性核素 j 的单位摄入量所致待积有效剂量的响应值，取其中最大值。

项目废水各核素排放导出限值详见表 11-38。

表 11-38 废水中各核素排放导出限值

核素	职业照射待积有效剂量（Sv/Bq）	一次排放限值（Bq）
^{18}F	9.3×10^{-11}	5.38×10^7
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.9×10^{-11}	1.72×10^8
^{131}I	2.2×10^{-8}	2.27×10^8

根据源项分析，平均每天总的放射性废水排放量为 1.4m^3 ，单个池体（ 375m^3 ）注满时间约 268 天。以碘-131 为例，单日排入衰变池的碘-131 活度为 $7.4 \times 10^8\text{Bq}$ （取日最大操作量的 20%），注满池体时碘-131 总活度为 $1.98 \times 10^{11}\text{Bq}$ （保守计算，不考虑池体注满过程中碘-131 的衰变），当下一个池体注满时，前一个池体已封闭衰变 268 天，在这 268 天中碘-131 衰变后的量 $= 1.98 \times 10^{11} \times 0.5^{(268/8.04)}\text{Bq} = 18.3\text{Bq}$ ，远小于碘-131 一次排放限值 $2.27 \times 10^8\text{Bq}$ ，排放浓度 $4.89 \times 10^{-5}\text{Bq/L}$ ，远小于 10Bq/L 排放限值。

表 11-39 暂存衰变后的废水排放情况表

核素	半衰期	衰变池单日核素最大排入量（Bq）	注满单格排放量（Bq）	最长可衰变时间	单格衰变池不同核素一次最大排放量（Bq）	排放浓度（Bq/L）
^{18}F	109.8min	3.34E+09	8.95E+11	268d	<0.001	4.88E-05
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	6.66E+09	1.78E+12		<0.001	
^{131}I	8.04d	7.40E+08	1.98E+11		18.3	

由上表可知，本项目放射性废水经衰变后，各放射性核素一次排放量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）1ALImin 限值要求，且放射性核素总活度浓度小于《污水综合排放标准》（GB8978-1996）和《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005） 10Bq/L 限值要求。

七、固体废物环境影响分析

1、放射性固体废物

本项目放射性固废产生量为 3.5kg/天 ，核素种类包含：氟-18、锝-99m、碘-131，医院采用专门固废收集桶分类收集后，经监测达标后转移至医疗废物暂存库，按

照普通医疗废物执行转移联单制度，由有资质单位统一回收处理，不外排；更换下的活性炭过滤器产生量为 100kg/a，经监测达标后作为普通固废处置；废钨钨发生器其包装由厂家定期回收；因检修更换下的加速器靶头置于加速器机房内一定时间后，经监测达标作为一般固体废物回收处理，对周围环境影响较小。

2、非放射性固体废物

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

八、敏感目标辐射环境影响分析

根据本项目敏感目标分布情况以及前述辐射环境影响分析，本项目评价范围敏感目标受照射剂量汇总结果见表 11-40。

表 11-40 主要环境保护目标

保护名单		方位	位置	距离辐射源最近距离 (m)	年最大受照剂量 (mSv)
肿瘤中心大楼负一层 PET 影像中心	职业人员	/	分装/标记室	0.5	0.616
		/	PET/CT 机房	1.0	3.33
	公众	北侧	设备间、读片室、治疗准备室、设备库房、过道、放疗中心休息间、办公室、员工卫生间等	10	4.71E-03
		东侧	病人等候区、过道、接待区、公共卫生间、公共等候区、病案室等	11	3.00E-02
		南侧	地下停车场	6	1.49E-02
		西侧	地下停车场	3	<6.21E-04
		楼上	肿瘤中心接待大厅	3.0	5.08E-02
医技住院楼一层 ECT 影像中心	职业人员	/	分装/标记室	0.5	0.588
		/	SPECT/CT 机房	1.0	1.89
	公众	北侧	过道、设备库房、技师工作室、污物间、保洁间、资料室等	6	6.17E-03
		东侧	过道、洁品库房、内镜存储室、内镜清洗室、污物间等	3	4.88E-02
		南侧	绿化带	10	<2.73E-03
		西侧	绿化带及大巴车停车位	8	<3.64E-02
		楼上	手术中心麻醉复苏区	3.0	7.75E-02
		楼下	库房、办公室、员工休息室、医学	3.0	8.89E-02

			工程室、更衣间、淋浴间等		
肿瘤中心大楼负一楼放疗中心	职业人员	/	1#医用电子直线加速器直线加速器控制室	9.0	2.21（考虑 2#加速器贡献值和感生放射性气体贡献值）
		/	2#医用电子直线加速器直线加速器控制室	9.0	2.21（考虑 1#加速器贡献值、后装机贡献值和感生放射性气体贡献值）
		/	后装机控制室	6.0	1.51（考虑 2#加速器贡献值和储源状态下摆位、巡检贡献值）
	公众	北侧	地下停车场	10	2.75E-02
		东侧	过道、治疗计划室、办公室、诊断室	18	<1.80E-02
		南侧	后装机前室、设备用房、储源室、办公室	4.0	3.62E-05
		西侧	地下停车场	7.0	2.38E-03
		楼上	体检中心	3.0	2.75E-02
医技住院楼一层内镜中心	职业人员	/	控制室	4	2.52E-02（1#ERCP、2#ERCP 机房贡献）
		/	1#、2#ERCP 机房内介入医生	0.5	0.31
	公众	北侧	过道、多功能室、汇流排间	3	1.26E-04
		东侧	过道、隔离准备/恢复室、隔离前室、库房等	4	1.47E-02
		南侧	胃镜室	4	1.26E-04
		西侧	过道、内镜存储室、洁品库房、水处理间等	3	3.68E-05
		楼上	手术室	3.0	1.52E-03
		楼下	库房	3.0	3.27E-03
医技住院楼二层手术中心	职业人员	/	控制室	3	0.13（2 台 DSA 贡献值）
		/	杂交导管室、1#电生理室、2#电生理室、1#导管室、2#导管室、3#导管室、1#杂交手术室、2#杂交手术室内介入医生	0.3	2.54
	公众	北侧	手术区	4	8.72E-06
		东侧	过道、洁品库房、设备暂存间等	8	3.57E-05
		南侧	过道、配药室、洁品库房、隔离间、刷手间、病床电梯、设备库房、麻醉准备工作区、手术用品库房、导管室设备暂存间、心内医生工作区	4	5.53E-02

		等		
	西侧	体外循环室、污车暂存间、污物间 设备暂存间、污物梯等	4	3.57E-05
	楼上	住院康复治疗区和康复病房区	3.0	2.44E-04（2 台 DSA 贡 献）
	楼下	急诊中心检查区域	3.0	2.44E-04（2 台 DSA 贡 献）

综上所述，职业人员的年剂量最大为 3.33mSv/a，低于 5mSv/a 的约束值；
公众的年剂量最大为 8.89×10^{-2} mSv/a，低于 0.1mSv/a 的约束值。

九、辐射事故影响分析及应急措施

（一）事故等级判断依据

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）和《四川省生态环境厅（四川省核安全管理局）辐射事故应急预案（2020 版）》，根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故（I 级）、重大辐射事故（II 级）、较大辐射事故（III 级）和一般辐射事故（IV 级）等四级，详见表 11-41。

表 11-41 辐射事故等级划分表

事故等级	危害结果	放射性同位素失控量化指标
特别重大 辐射事故 （I 级）	I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。	①事故造成水环境污染时液态放射性物质的释放量大于等于 $1.0E+13$ Bq 的 Sr-90 当量； ②事故造成地表、土壤污染（未造成地下水污染）时液态放射性物质的释放量大于等于 $1.0E+14$ Bq 的 Sr-90 当量。
重大辐射 事故（II 级）	I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。	①事故造成水环境污染时液态放射性物质的释放量大于等于 $1.0E+12$ Bq 且小于 $1.0E+13$ Bq 的 Sr-90 当量； ②事故造成地表、土壤污染（未造成地下水污染）时液态放射性物质的释放量大于等于 $1.0E+13$ Bq 且小于 $1.0E+14$ Bq 的 Sr-90 当量。
较大辐射 事故（III 级）	III 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。	①事故造成水环境污染时液态放射性物质的释放量大于等于 $1.0E+11$ Bq 且小于 $1.0E+12$ Bq 的 Sr-90 当量； ②事故造成地表、土壤污染（未造成地下水污染）时液态放射性物质的释放量大于等于 $1.0E+12$ Bq 且小于 $1.0E+13$ Bq 的 Sr-90 当量。
一般辐射 事故（IV 级）	IV 类、V 类放射源丢失、被盗、失控，或放射性同位素失控导	①事故造成水环境污染时液态放射性物质的释放量小于 $1.0E+11$ Bq 的 Sr-90 当量；

级)	致人员受到超过年剂量限值的照射。	②事故造成地表、土壤污染(未造成地下水污染)时液态放射性物质的释放量小于 $1.0E+12Bq$ 的Sr-90当量。
----	------------------	--

同时根据《实用辐射安全手册》(第二版)(丛慧玲,北京:原子能出版社)急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系,见表 11-42。

表 11-42 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

辐射剂量/ Gy	急性放射病发生率/%	辐射剂量/Gy	死亡率/%
0.70	1	2.00	1
0.90	10	2.50	10
1.00	20	2.80	20
1.05	30	3.00	30
1.10	40	3.20	40
1.20	50	3.50	50
1.25	60	3.60	60
1.35	70	3.75	70
1.40	80	4.00	80
1.60	90	4.50	90
2.00	99	5.50	99

(二) 非密封放射性物质辐射事故影响分析

1、事故类型

根据污染源分析本项目核医学中心可能存在的最大潜在辐射事故包括:

- (1) 放射性药物试剂发生丢失或被盜;
- (2) 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) 发生火灾造成的放射试剂瓶撒漏。

根据《四川省生态环境厅(四川省核安全管理局)辐射事故应急预案(2020版)》中“一般辐射事故”规定:非密封放射性物质操作时,发生辐射事故判定因子为:事故造成一定范围内环境剂量率、事故造成水环境污染时放射性物质的释放量(以Sr-90当量为标准)、事故造成地表、土壤污染时放射性物质的释放量(以Sr-90当量为标准)。

2、判定因子:环境剂量率

(1) 事故情景假设

①放射性核素分装过程中导致放射性药物试剂瓶或铅罐打翻或破碎,或放射性药物分装过程中造成放射性药物泄漏,本次以核素单日最大操作量计算。

②若发生洒漏，事故持续过程中按点源考虑；

③受照人员不考虑任何屏蔽措施。

(2) 剂量估算模式与参数选取

根据式 11-2~11-3，分别计算距辐射源 0.1m、0.2m、0.5m、1.0m、2.0m、5.0m、10m、12.6m 处的剂量率。

(3) 计算结果

根据事故情景假设条件计算得出，距源 0.1m~12.6m 范围内剂量率，计算结果见表 11-43。

表 11-43 放射性药物丢失和撒漏事故和下不同距离处剂量率分布表

距源距离 (m)	各事故持续时段的 γ 射线剂量率 (mGy/h)			
	氟-18	钼-99	锝-99m	碘-131
0.1	1.11E+03	1.57E+02	1.34E+02	1.92E+01
0.2	2.79E+02	3.93E+01	3.34E+01	4.80
0.5	4.46E+01	6.29E+00	5.34	7.68E-01
1.0	1.11E+01	1.57	1.34	1.92E-01
2.0	2.79	3.93E-01	3.34E-01	4.80E-02
5.0	4.46E-01	6.29E-02	5.34E-02	7.68E-03
10.0	1.11E-01	1.57E-02	1.34E-02	1.92E-03
12.6 (500m ² 半径范围)	7.02E-02	9.90E-03	8.41E-03	1.21E-03

(4) 事故后果

根据《四川省生态环境厅（四川省核安全管理局）辐射事故应急预案（2020 版）》中“一般辐射事故”规定：500m²（半径为 12.6m）范围的环境剂量率超过 0.1mSv/h，结合表 11-31 可知，本项目放射性药品在撒漏情况下构成一般辐射事故。

3、判定因子：事故造成水环境、地表、土壤污染时放射性物质的释放量（以 Sr-90 当量为标准）

本次评价以本次以核素单日最大操作量最为事故状态下的释放量，并以日操作量相对较大的氟-18、钼-99、锝-99m 和碘-131 核素进行评价，各核素事故状态下锝-90 当量释放量见表 11-44。

表 11-44 事故状态下锝-90 当量释放量计算表

核素	评价核素日最大操作量 (Bq)	锝-90 食入所致待积有效剂量 (Sv/Bq) *	评价核素食入所致待积有效剂量 (Sv/Bq) *	锝-90 当量释放量 (Bq)
----	-----------------	---------------------------	--------------------------	-----------------

氟-18	8.83E+10	2.3×10^{-7}	5.2×10^{-10}	2.00E+08
钼-99	3.70E+10	2.3×10^{-7}	5.5×10^{-9}	8.85E+08
锝-99m	3.33E+10	2.3×10^{-7}	2.0×10^{-10}	2.90E+07
碘-131	3.70E+09	2.3×10^{-7}	1.8×10^{-7}	2.90E+09

*注：①食入所致待积有效剂量根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 B6 查得；②锶-90 当量释放量=评价核素释放量（Bq）×评价核素食入待积有效剂量（Sv/Bq）/锶-90 食入待积有效剂量（Sv/Bq）。

根据《四川省生态环境厅（四川省核安全管理局）辐射事故应急预案（2020 版）》中“一般辐射事故”规定：事故造成水环境污染时液态放射性物质的释放量小于 $1.0\text{E}+11\text{Bq}$ 的 Sr-90 当量时或者事故造成地表、土壤污染（未造成地下水污染）时液态放射性物质的释放量小于 $1.0\text{E}+12\text{Bq}$ 的 Sr-90 当量时为一般辐射事故。根据表 11-32 计算结果，本项目发生辐射事故，各核素事故造成水环境、地表、土壤污染时放射性物质的释放量均小于上述限值，为一般辐射事故。

4、判定因子：手部剂量

①事故情景假设

A、假设发生事故时溅洒活度为单个病人操作活度；

B、假设溅洒溶液在手部均匀分布，沾染面积取成人平均手部表面积 280cm^2 ，

C、假设事故处理时间持续 1min。

（2）事故后果影响分析

根据《RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK 2002》（Published by Nuclear Technology Publishing），不同放射性核素溅洒到手部时，每 1kBq cm^{-2} 对皮肤造成的剂量率及事故状态下受照剂量见表 11-45。

表 11-45 放射性溶液溅洒对手部照成的剂量计算表

核素	手部沾染活度 (kBq)	每 1kBq cm^{-2} 对皮肤造成的剂量 率辐射剂量率 (mSv/h)	事故中皮肤受照剂量 (mSv)
F-18	5.55E+05	1.95	64.4
Tc-99m	1.11E+06	0.246	16.3
I-131	3.70E+05	1.62	35.7

经计算，单次事故状态下职业人员手部最大受照剂量为 64.4mSv ，小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量 500mSv 的限值，不构成一般辐射事故。

综上，本项目非密封放射性物质使用过程中发生辐射事故时，最大可能发生

的辐射事故等级为一般辐射事故。

(三) 放射源辐射事故影响分析

1、事故类型

放射源使用过程中可能存在的辐射包括：

- (1) 暂存放射源受外力作用，放射源屏蔽容器破损，造成裸源事故；
- (2) 暂存放射源因管理不善发生丢失、被盗等事故。
- (3) 辐射工作人员或公众还未全部撤出机房，外面人员启动，造成有关人员被误照，引发辐射事故。
- (4) 安全联锁装置发生故障，工作时无关人员打开屏蔽门并误入，造成有关人员被误照射，引发辐射事故。
- (5) 设备故障，放射源不能正常回落储源容器，造成卡源事故。

2、事故后果影响分析

事故状态下，受照射剂量可用式 11-4、11-5 和 11-6 进行计算，不同距离处 γ 辐射剂量计算结果见表 11-46。

表 11-46 放射源裸露状态下辐射环境 γ 剂量率不同距离计算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)

预测点距源距离 (m)	铯-192 III类放射源	钴-60 V类放射源
0.5 (误入人员或未撤离人员居留位)	246420.00	47.1
1	61605.00	11.8
2	15401.25	2.95
3 (钴-60 事故状态下控制范围)	6845.00	1.31
4	3850.31	0.74
5 (机房内最大影响边界)	2464.20	0.47
10	616.05	0.12
20	154.01	2.95E-02
30	68.45	1.31E-02
50	24.64	4.71E-03
60	17.11	3.27E-03
80	9.63	1.84E-03
90	7.61	1.46E-03
100	6.16	1.18E-03
160 (铯-192 事故状态下控制范围)	2.41	4.60E-04
200	1.54	2.95E-04
250	0.99	1.89E-04
300	0.68	1.31E-04

310	0.64	1.23E-04
320	0.60	1.15E-04
350	0.50	9.62E-05

根据表 11-46，在人员误入情况下，距离放射源 0.5m 最大 γ 辐射剂量率为 0.25Sv/h，机房内设置有紧急回源按钮，事故发生时间考虑 10s，误入人员或未撤离受照剂量为 41.6mSv，超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 20mSv/a 剂量限值。铯-192 III类放射源丢失、被盗和失控状态下最大影响范围（ γ 辐射剂量率小于 2.5 μ Sv/h）160m，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号），III类放射源丢失、被盗和失控状态下为较大辐射事故。锆-68 V类放射源丢失、被盗和失控状态下最大影响范围（ γ 辐射剂量率小于 2.5 μ Sv/h）3m，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号），V类放射源丢失、被盗和失控状态下为一般辐射事故。

（四）射线装置辐射事故影响分析

1、事故类型

根据污染源分析，射线装置主要环境风险因子为 X 射线，危害因素为 X 射线超剂量照射，射线装置只有在开机状态下才会产生 X 射线，一旦切断电源便不会再有射线产生。本项目可能发生的辐射事故如下：

（1）辐射工作人员或公众还未全部撤出机房，外面人员启动射线装置，造成有关人员被误照，引发辐射事故。

（2）安全联锁装置发生故障，射线装置工作时无关人员打开屏蔽门并误入，造成有人员被误照射，引发辐射事故。

（3）射线装置检修、维护过程，工作人员误操作或者曝光参数设置错误，造成人员被误照射，引发辐射事故。

2、事故后果计算

（1）加速器事故后果计算

本项目医用电子直线加速器对病人开机治疗时，距焦点 1m 处 X 射线的最大吸收剂量率为 24Gy/min，假设考虑加速器运行时人员误入机房，人员在无其他屏蔽的情况下处于加速器机头外 1m 远处的主射束方向。由于机房内安装有出束提醒并在人员易接触的位置设置有“紧急止动”按钮，只要误入人员按下此按钮就

可以停机，所以受照时间取 5s，则事故情况下误入人员距加速器机头 1m 处受到的辐射剂量为 2.0Sv/次，超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 20mSv/a 剂量限值。根据《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系。本项目加速器事状态下急性放射病发生率达到 99%，可导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病，属于较大辐射事故。

（2）DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机及 III 类射线装置事故后果计算

根据式 11-30，在事故状态人员受照射剂量见表 11-47。

表 11-47 DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机事故情况下剂量率计算结果表

人员	与射线束侧向之间最近距离	事故状况	事故状态曝光参数	居留位置剂量率（mGy/min）
公众	1m（侧向）	公众误入机房或未撤离机房，且无防护	管电压 75kV， 管电流 10mA	2.64
职业	0.3m（侧向）	曝光参数设置错误（职业人员手术过程将透视参数设置为拍片参数）	管电压 80kV， 管电流 150mA	55.6

根据表 11-47，DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机在事故状态下极短时间内可导致公众受照射剂量超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众年受照射剂量 1mSv/a 限值；可导致职业人员受照射剂量超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员年受照射剂量 20mSv/a 限值，并构成一般辐射事故。

（五）辐射事故综合分析

根据前述，本项目可能发生的最大潜在事故条件及事故等级见表 11-48。

表 11-48 放射源的最大潜在危害及事故等级

场所	环境风险因子	可能发生辐射事故的意外条件	影响范围（小于 2.5μSv/h）	事故影响后果	事故等级
核医学中心	非密封放射性物质	①放射性药物试剂发生丢失或被盗； ②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发生火灾造成的放射试剂瓶撒漏。	小于 12.6m	人员超剂量照射、环境释放量超标	一般辐射事故
	V 类放射源	γ 射线 放射源丢失、被盗、失控	小于 3m	人员超剂量照射	一般辐射事故
	III 类射线装置	X 射线 ①辐射工作人员或公众还未全部撤出机房，外面人员启动射线装置，	机房内	人员超剂量照射	一般辐射事故

			造成有关人员被误照，引发辐射事故。 ②安全联锁装置发生故障，射线装置工作时无关人员打开屏蔽门并误入，造成有关人员被误照射，引发辐射事故。			
医用电子直线加速器	X 射线		①辐射工作人员或公众还未全部撤出机房，外面人员启动射线装置，造成有关人员被误照，引发辐射事故。 ②安全联锁装置发生故障，射线装置工作时无关人员打开屏蔽门并误入，造成有关人员被误照射，引发辐射事故。 ③射线装置检修、维护过程，工作人员误操作或者曝光参数设置错误，造成人员被误照射，引发辐射事故。	机房内	人员超剂量照射，并可能导致急性重度放射病、局部器官残疾	较大辐射事故
后装机	γ 射线		放射源丢失、被盗	160m	人员超剂量照射，并可能导致急性重度放射病、局部器官残疾	较大辐射事故
			失控、卡源	机房内		较大辐射事故
DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机	γ 射线		①辐射工作人员或公众还未全部撤出机房，外面人员启动射线装置，造成有关人员被误照，引发辐射事故。 ②安全联锁装置发生故障，射线装置工作时无关人员打开屏蔽门并误入，造成有关人员被误照射，引发辐射事故。 ③射线装置检修、维护过程，工作人员误操作或者曝光参数设置错误，造成人员被误照射，引发辐射事故。	机房内	人员超剂量照射	一般辐射事故

根据表 11-48，本项目可能发生的辐射事故包括：较大辐射事故和一般辐射事故。

（四）辐射事故应急措施

发生辐射事故时，采取的应急处理措施如下：

（1）由于操作不慎，有少量的液态药物溅洒。发生这种事故应迅速用吸附

衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。最后用表面沾污仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。

(2) 因不慎造成放射性核素大面积污染了地面或台面时，应先用吸收滤纸将其吸干，以防扩散，并立即标记污染范围，注明放射性核素名称、日期。根据污染程度及时报告上级领导和有关部门。人体溅污放射性核素时，应先用吸水纸吸干体表，避免污染面积扩大，之后根据不同核素分别去污，最终去污标准需达到 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

(3) 若发生放射性药物丢失、被盗，应第一时间将事故情况通报有关（环保、公安、卫生等）主管部门；分析确定丢失、被盗事故的具体时间及原因，向相关部门提供信息，根据有关线索，组织人员协同相关部门查找丢失、被盗放射性同位素，在查找过程中携带辐射监测仪器，防止事故处理人员受到照射；对放射性同位素丢失前存放场所进行监测，根据现场辐射剂量率的大小确定是否受污染。如现场受到污染出现辐射剂量率异常情况，根据辐射剂量率大小划定警戒线，撤离警戒区域内的所有人员，事故处理人员应穿戴防护用品，佩戴个人剂量计进入事故现场。

(4) 若发生放射性试剂丢失、被盗，应立即启动辐射事故应急预案；分析确定丢失、被盗事故的具体时间及原因，向相关部门提供信息，根据有关线索，组织人员协同相关部门查找丢失、被盗放射性同位素，在查找过程中携带辐射监测仪器，防止事故处理人员受到照射；对放射性同位素丢失前存放场所进行监测，根据现场辐射剂量率的大小确定是否受污染。如现场受到污染出现辐射剂量率异常情况，根据辐射剂量率大小划定警戒线，撤离警戒区域内的所有人员，事故处理人员应穿戴防护用品，佩戴个人剂量计进入事故现场。

(5) 放射性废物处置或管理不当造成污染时，立即划定警戒区，并设置放射性污染标识，限制无关人员靠近，由专业人员处理，经监测满足解控要求后再解除警戒。

(6) 如果出现人员误入射线装置机房或射线装置失控，应立即启动“紧急止

动开关”关闭电源，并对受误照射人员进行医学诊断和观察。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用Ⅱ、Ⅲ类射线装置、Ⅲ类放射源、Ⅴ类放射源及非密封放射性物质工作场所的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

目前建设建设单位已以“成万投天府字 2020（035）号”成立了辐射安全管理领导小组，有领导分管、安全机构健全。辐射防护领导小组的职责是：①负责医院辐射安全与防护管理工作；②组织对各项有关辐射安全与防护管理规章制度的制定和修订工作，并负责对全院放射诊疗过程中相关规章制度、防护措施落实情况进行监督和检查；③组织实施辐射安全与防护相关法律法规的培训学习，并落实辐射工作人员上岗培训计划；④负责辐射工作人员个人剂量和健康管理，并组织开展辐射工作场所进行年度监测和年度评估报告的编制工作；⑤负责对全院所有辐射安全与防护设施、设备进行定期保养，做好保养记录，如有损坏及时协同相关部门进行处理。领导小组人员设置如下：

表 12-1 辐射防护管理领导小组人员设置表

职务	人员
组长	医院业务副院长
成员	医务部主任、医疗科科长、医疗科分管医院放射放疗干事、设备科主任、设备科分管医院放射放疗干事、放射科主任、放射科护士长、放疗科医生、核医学科主任、核医学科护士长、放疗科主任、放疗科护士长

二、辐射工作岗位人员配置和能力分析

本项目拟设置 70 名辐射工作人员，目前所有辐射工作人员均未参加学习考核。环评要求：本项目若涉及新增辐射工作人员应及时组织人员参加上岗学习、考核，并按按照《中华人民共和国生态环境部公告》（2019 年第 57 号）要求，辐射工作人员需通过国家生态环境部的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（<http://fushe.mee.gov.vn>）学习并考核合格后上岗。

辐射安全管理规章制度

一、档案分类管理

建设单位应对本项目辐射相关资料分类归档，档案资料包括以八大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“放射性同位素台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“辐射应急资料”，并由专人进行管理。

二、规章制度

根据《环保部辐射安全与防护监督检查技术程序》和《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环函[2016]1400 号）的相关要求中的相关规定，建设单位需制定的规章制度见表 12-2。

表 12-2 管理制度汇总对照表

序号	检查项目		落实情况
1	综合	辐射安全和防护管理规定（综合性文件）	拟制定
2		放射性药物管理规定（购买、领用、保管和盘存）	拟制定
3		辐射工作场所安全保卫制度	拟制定
4		放射源管理制度（转让、使用、更换、返回、送贮）	拟制定
5	场所设施	场所分区管理规定（含人流、物流路线图）	拟制定
6		非密封放射性物质操作规程（分操作核素或诊治类别进行制定）	拟制定
7		去污操作规程	拟制定
8		射线装置操作规程	拟制定
9		后装机操作规程	拟制定
10		辐射安全和防护设施维护维修制度（包括机构人员、维护维修内容与频度）	拟制定
11		患者管理规定	拟制定
12		放射性药物（体内）治疗病房管理规定	拟制定
13	监测	监测方案	拟制定
14		监测仪表使用与校验管理制度	拟制定
15	人员	辐射工作人员培训/再培训管理制度	拟制定
16		辐射工作人员个人剂量管理制度	拟制定
17	应急	辐射事故/事件应急预案	拟制定
18	三废	放射性“三废”管理规定	拟制定
19	大纲	放射性治疗保证大纲及质量控制计划	拟制定

建设单位需在医院辐射安全管理领导小组组织下及时制定上述各项规章制

度，明确各科室人员责任，并严格落实。辐射安全管理领导小组需定期对辐射安全规章制度执行情况进行评议，并根据具体实践存在的问题及时进行修改和完善。同时根据《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环函[2016]1400号），各辐射工作场所职业人员操作室或医生办公室内需将所有制度中关于“辐射工作场所安全管理制度”、“操作规程”、“辐射工作人员岗位职责”和“应急响应程序”的内容需张贴上墙，且上墙制度的长宽尺寸不得小于 600mm×400mm。

辐射监测

根据《四川省辐射污染防治条例》“使用射线装置的单位应当建立辐射监测制度，组织对从业人员个人辐射剂量、工作场所及周围环境进行监测，并建立相应档案”为了保证本项目运行过程的安全，为控制和评价辐射危害，设置了相应的辐射剂量监测手段，使工作人员和公众所受照射尽可能低。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）、《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）中的相关规定，本项目个人辐射剂量、工作场所及周围环境监测要求如下：

1、个人剂量监测

项目建成投运后，建设单位应保证每名辐射工作人员均配备个人剂量计，并根据原四川省环境保护厅“关于进一步加强辐射工作人员个人剂量管理的通知”（川环办发[2010]49号）做好个人剂量管理的工作。同时根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）个人剂量常规监测周期一般为1个月，最长不应超过3个月，同时建设单位应建立个人剂量档案并终生保存。

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

当单个季度个人剂量超过 1.25mSv 时,建设单位要对该辐射工作人员进行干预,并进一步调查明确原因,并由当事人在情况调查报告上签字确认;当全年个人剂量超过 5mSv 时,建设单位需进行原因调查,并最终形成正式调查报告,经本人签字确认后,上报发证机关;当单年个人剂量超过 50mSv 时,需调查超标原因,确认是辐射事故时启动应急预案。

2、辐射工作场所监测

(1) 监测内容:射线装置工作场所监测因子为: X 辐射剂量率、中子剂量率(仅针对 15MV 医用电子直线加速器),放射源工作场所监测因子为: γ 辐射剂量率,非密封放射性物质工作场所监测因子为: γ 辐射剂量率、 β 表面沾污及衰变池废水总 β 。

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

(3) 监测频度:对于 X- γ 辐射剂量率和 β 表面沾污应自行配备监测设备每 1 个月监测 1 次,废水总 β 应在每次排放前委托有资质单位进行采样监测。另外建设单位需每年委托有监测资质的单位在项目正式投运前开展验收监测,并在投运后每年定期开展年度监测,并于每年 1 月 31 日前通过全国核技术利用辐射安全申报系统(<http://rr.mee.gov.cn/rsmsreq/login.jsp>)提交。。

(4) 监测范围:射线装置、放射源工作场所主要监测屏蔽墙、防护门、观察窗外以及楼上、楼下区域和穿线空洞外 X 辐射剂量率或者中子剂量率(仅针对 15MV 医用电子直线加速器)。非密封放射性物质工作场所主要监测控制区人员易接触的工作台、地面、墙面、病床、桌椅等表面沾污,以及控制区内所有场所及控制区外邻近房间的 γ 辐射剂量率。

(5) 监测设备: X- γ 辐射剂量率仪(能量相应范围需大于 15MV)、中子剂量率仪、 β 表面沾污。

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

表 12-3 监测计划一览表

项目	工作场所	监测项目	监测范围	监测频次	监测设备
自主监测	射线装置工作场所	X辐射剂量率、中子剂量率（仅针对15MV医用电子直线加速器）	机房四周屏蔽体外、防护门外、观察窗外、穿线孔洞处	每月一次（记录监测数据存档）	X-γ辐射剂量率仪、中子剂量率仪*
	放射源工作场所	γ辐射剂量率	储源容器表面、机房四周屏蔽体外、防护门外、穿线孔洞处	每月一次（记录监测数据存档）	X-γ辐射剂量率仪
	非密封放射性物质工作场所	β表面沾污	人员易接触的工作台、地面、墙面、病床、桌椅等	每月一次（记录监测数据存档）	β表面沾污仪
		γ辐射剂量率	控制区内所有场所、控制区外邻近房间	每月一次（记录监测数据存档）	X-γ辐射监测仪
委托监测	射线装置工作场所	X辐射剂量率、中子剂量率（仅针对15MV医用电子直线加速器）	机房四周屏蔽体外、防护门外、观察窗外、穿线孔洞处	(1) 竣工环保验收监测；(2) 编制辐射防护年度评估报告（每年）	X-γ辐射剂量率仪、中子剂量率仪
	放射源工作场所	γ辐射剂量率	储源容器表面、机房四周屏蔽体外、防护门外、穿线孔洞处		X-γ辐射剂量率仪
	非密封放射性物质工作场所	β表面沾污	人员易接触的工作台、地面、墙面、病床、桌椅等		表面沾污仪
		X-γ射线空气吸收剂量率	控制区、监督区		X-γ辐射监测仪
	其它	个人剂量	所有辐射工作人员	一季度一次（需建立个人剂量档案）	个人剂量计
		总β	衰变池排放口	每次排放前	委托监测

*注：建设单位非必须配备中子剂量率仪，对于日常监测，可委托有资质单位进行监测。

辐射事故应急

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

一旦发生辐射事故，应立即启动应急预案，采取必要的应急措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，由应急领导小组按程序上报属地生态环境主管部门，若发生放射性药品丢失时同时上报公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。并及时组织专业技术人员排除事故。配合各相关部门做好辐射事故调查工作。

表 13 结论与建议

结论 一、项目概况 项目名称：成都万达国际医院核技术利用项目 建设单位：成都天府万达置业有限公司 建设性质：新建 建设地点：四川省成都市天府新区正兴街道秦皇寺村六组、华阳街道香山村一组 建设内容：新建使用 2 台医用电子直线加速器、8 台数字化减影血管造影机（DSA）、2 台胰胆管造影（ERCP）中型 C 型臂 X 射线机等Ⅱ类射线装置，新建使用 1 台正电子断层扫描仪（PET/CT）及 1 台 SPECT 即单光子发射计算机断层仪（SPECT）等Ⅲ类射线装置，新建使用 1 枚铯-137 Ⅲ类放射源以、3 枚锝-99m Ⅴ类放射源及 2 个乙级非密封放射性物质工作场所，涉及使用的非密封放射性物质包括：氟-18、钼-99、锝-99m、碘-131。项目总投资 10000 万元，环保投资 415.4 万元，占总投资的 4.15%。 二、本项目产业政策符合性分析 本项目属于核技术在医学领域应用，根据《产业结构调整指导目录》（2019 年本）相关规定，本项目属鼓励类第六项“核能”第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业发展政策。 三、本项目选址及平面布局合理性分析 医院所在区域道路、给排水、电力等城市基础配套设施完善，为项目建设提供了良好条件；医院周围没有项目建设的制约因素，且该辐射工作场所相对独立，为专门的辐射工作场所，本项目产生的辐射通过采取相应的治理措施后对周围环境的影响较小，其选址是合理的。本项目辐射工作场所根据工作要求、有利于辐射防护和环境保护来进行布置，功能分区明确，既能有机联系，又不互相干扰，且最大限度避开了人流量较大的门诊区或其它人流活动区；在设计阶段，所有辐射工作场所均进行了合理的优化布局，同时兼顾了病人就诊的方便性。综上所述，
--

项目总平面布置是合理的。

四、工程所在地区环境质量现状

项目建设地周围 X- γ 剂量当量率范围为 93nSv/h~99nSv/h（折算为 γ 空气吸收剂量率为 93nGy/h~99nGy/h），对照 2019 年四川省内 29 个电离辐射环境监测自动站测得的 γ 辐射空气吸收剂量率（小时均值）范围 76.8nGy/h~163nGy/h（引自《2019 年四川省生态环境状况公报》），属于当地天然本底范围。 β 表面污染为 0.18Bq/cm²~0.21Bq/cm²，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）监督区工作场所 4Bq/cm² 限值要求，且属于正常 β 表面沾污水平。项目拟建地周围环境本底中子剂量当量率低于检出限。

五、环境影响评价结论

1、辐射环境影响分析

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

2、大气的环境影响分析

本项目射线装置在运行过程中产生的臭氧经排风系统排出后浓度低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中规定的二级标准限值要求；医用电子直线加速器及非密封放射性物质工作场所产生的放射性废气经过滤排放后对周围辐射环境影响较小。

3、废水的环境影响分析

本项目放射性废水先排入衰变池，放射性废水在衰变后，经监测达标后排入医院污水处理站，达标处理后排入市政污水管网，对周围环境影响较小。

4、固体废物的环境影响分析

本项目放射性固废采用专门固废收集桶分类收集后，经监测达标后转移至医疗废物暂存库，按照普通医疗废物执行转移联单制度，由有资质单位统一回收处理，不外排；更换下的活性炭过滤器经监测达标后作为普通固废处置；废钨钨发生器及其包装由厂家定期回收；退役放射源由生产厂家回收；因检修更换下的加速器靶头置于加速器机房内一定时间后，经监测达标作为一般固体废物回收处

理，对周围环境影响较小。

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

六、事故风险与防范

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

七、环保设施与保护目标

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

八、辐射安全管理的综合能力

建设单位辐射安全管理机构健全，有领导分管，人员落实，责任明确，辐射工作人员配置合理，考试（核）合格，有辐射事故应急预案与安全规章制度；环保设施总体效能良好，可满足防护实际需要。对现有场所而言，建设单位也已具备辐射安全管理的综合能力。

九、项目环保可行性结论

建设单位在采取切实可行的环保措施，落实本报告提出的各项污染防治措施后，本评价认为，本项目在四川省成都市天府新区正兴街道秦皇寺村六组、华阳街道香山村一组成都万达国际医院内进行建设，从环境保护和辐射安全角度看是可行的。

建议

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

（2）认真学习贯彻国家相关的环保法律、法规，不断提高遵守法律的自觉

性和安全文化素养，切实做好各项环保工作。

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

承诺

(1) 对未参加辐射安全培训的辐射工作人员尽快安排参加培训。

(2) 项目应按照国家相关法律法规尽快进行验收。

(3) 接受环境保护行政主管部门的监督检查。

项目竣工验收检查内容

根据《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》（国务院 682 号令），工程建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。项目投入运行后，建设单位应当按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序，自行对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，并依法向社会公开验收报告。本项目竣工环境保护验收一览表见表 13-1。

表 13-1 竣工环境保护验收一览表

项目	设施（措施）	数量
辐射屏蔽措施	PET 影像中心控制区功能房间辐射屏蔽（墙体、地板、楼板、门、窗屏蔽）	9 间
	通风橱（50mm 铅当量）	1 套
	活度测量井（50mm 铅当量）	1 个
	注射窗（40mm 铅当量）	1 个
	注射器铅盒（5mm 铅当量）	2 个
	注射器铅套（9mm 铅当量）	若干
	储源柜（20mm 铅当量，双人双锁）	1 个
个人防护用品	个人剂量报警仪	2 个
	个人剂量计	12 个
	辐射工作人员防护铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾（0.5mm 铅当量）等	4 套
	人体表面污染监测仪	1 套
	表面污染清洗剂	/
放射性废水	控制区独立下水系统及排水管道屏蔽设施	1 套
	2 格并联池衰变池（有效容积 750m ³ ）	1 座
放射性固废	放射性固废收集桶（30mm 铅当量）	2 个
	放射性固废收集暂存容器（30mm 铅当量）	2 个
	放射性固废暂存间	1 间
安全装置	储源室红外监控系统	1 套
	储源室固定式剂量报警仪	1 套

	储源室防盗入侵报警装置	1 套
	控制区入口、出口单向门禁系统	2 套
	PET/CT 机房紧急止动开关	1 套
	PET/CT 机房工作状态指示灯（门-灯联锁）	1 套
	PET/CT 机房语音对讲装置	1 套
	监督区、控制区划定地标线及电离辐射警示标识	1 套
通风系统	独立通排风系统	6 套
	过滤系统（过滤效率大于 99%）	1 套
其它	控制区地面防渗	/
2、ECT 影像中心		
项目	设施（措施）	数量
辐射屏蔽措施	ECT 影像中心控制区功能房间辐射屏蔽（墙体、地板、楼板、门、窗屏蔽）	11 间
	通风橱（16mm 铅当量）	2 套
	活度测量井（16mm 铅当量）	2 个
	注射窗（20mm 铅当量）	1 个
	注射器铅盒（5mm 铅当量）	2 个
	注射器铅套（9mm 铅当量）	若干
	储源柜（10mm 铅当量，双人双锁）	1 个
个人防护用品	个人剂量报警仪	2 个
	个人剂量计	12 个
	辐射工作人员防护铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾（0.5mm 铅当量）等	4 套
	人体表面污染监测仪	1 套
	表面污染清洗剂	/
放射性废水	控制区独立下水系统及排水管道屏蔽设施	1 套
放射性固废	放射性固废收集桶（10mm 铅当量）	2 个
	放射性固废收集暂存容器（10mm 铅当量）	2 个
	放射性固废暂存间	1 间
安全装置	储源室红外监控系统	1 套
	储源室固定式剂量报警仪	1 套
	储源室防盗入侵报警装置	1 套
	控制区入口、出口单向门禁系统	2 套
	SPECT/CT 机房紧急止动开关	2 套
	SPECT/CT 机房工作状态指示灯（门-灯联锁）	2 套
	SPECT/CT 机房语音对讲装置	2 套
	监督区、控制区划定地标线及电离辐射警示标识	1 套
通风系统	独立通排风系统	6 套
	过滤系统（过滤效率大于 99%）	1 套

其它	控制区地面防渗	/
3、医用电子直线加速器		
项目	设施（措施）	数量
辐射屏蔽措施	1#、2#医用电子直线加速器屏蔽机房	2 间
	38mm 铅当量+139mm 含硼 5%的聚乙烯防护门	2 扇
安全装置	门-机联锁装置	2 套
	视频监控系统	2 套
	语音播报及对讲装置	2 套
	工作状态指示灯（门-灯联锁）	2 套
	紧急开门装置	2 套
	紧急止动开关	2 套
	固定式剂量报警装置	2 套
	监督区、控制区划定地标线及电离辐射警示标识	1 套
个人防护用品	个人剂量计	12 人
	个人剂量报警仪	4 个
废气	独立通排风系统	2 套
	过滤系统（过滤效率大于 99%）	1 套
4、后装机		
项目	设施（措施）	数量
辐射屏蔽措施	后装机屏蔽机房	1 间
	15mm 铅当量防护门	1 扇
安全装置	门-回源联锁装置	1 套
	视频监控系统	1 套
	语音播报及对讲装置	1 套
	工作状态指示灯（门-灯联锁）	1 套
	紧急开门装置	1 套
	紧急回源装置	1 套
	固定式剂量报警装置	1 套
	防盗入侵报警装置	1 套
	监督区、控制区划定地标线及电离辐射警示标识	1 套
个人防护用品	个人剂量计	6 个
	个人剂量报警仪	2 个
废气	独立通排风系统	1 套
5、DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机		
项目	设施（措施）	数量
辐射屏蔽措施	屏蔽机房（墙体、地板、楼板、门、窗屏蔽）	10 间
安全装置	工作状态指示灯	10 间×3 套
	紧急止动开关	10 间×1 套

	语音对讲装置	10 间×1 套
	监督区、控制区划定地标线及电离辐射警示标识	1 套
个人防护用品	介入医生个人剂量计	36 人×2 个
	操作技师个人剂量计	20×1 个
	个人剂量报警仪	10 间×2 个
	辐射工作人员防护铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾（0.5mm 铅当量）等	10 间×4 套
废气	通排风系统	10 间×1 套
6、综合管理		
项目	设施（措施）	数量
监测设备	X-γ 辐射剂量率监测仪	2 台
	β 表面沾污仪	2 台
人员培训	辐射工作人员上岗考核	70 人
台账管理	放射性药物管理台账、射线装置台账、放射源台账、个人剂量档案、放射性“三废”管理台账	/
规章制度	辐射安全和防护管理规定、放射性药物管理规定、辐射工作场所安全保卫制度、场所分区管理规定、放射源管理制度、非密封放射性物质操作规程、去污操作规程、射线装置操作规程、辐射安全和防护设施维护维修制度、患者管理规定、放射性药物（体内）治疗病房管理规定、监测方案、监测仪表使用与校验管理制度、辐射工作人员培训/再培训管理制度、辐射工作人员个人剂量管理制度、辐射事故/事件应急预案、放射性“三废”管理规定、放射性治疗保证大纲及质量控制计划	建设单位制定的所有规章制度中关于“辐射工作场所安全管理制度”、“操作规程”、“辐射工作人员岗位职责”和“应急响应程序”的内容需在各辐射工作场所内张贴上墙，且上墙制度的长宽尺寸不得小于 600mm×400mm
应急管理	应急和救助的物资准备（应急通信设备、警戒线、警示标牌、应急演练等）	/

审批

下一级环保部门预审意见：

经办人签字

年 月 日

日

单位盖章

年 月

审批意见：

签发人签字

年 月 日

单位盖章

年 月 日