

核技术利用建设项目

成都泰康西南医院新建II类射线装置及
核医学科应用项目

环境影响报告表

（公示本）

四川泰康西南医院有限公司

2020 年 12 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

成都泰康西南医院新建II类射线装置及 核医学科应用项目

环境影响报告表

建设单位名称：四川泰康西南医院有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：四川省成都市武侯区天府大道中段588号

邮政编码：610093

联系人：谢*

电子邮箱：xie*****@tkhealthcare.com

联系电话：189*****1085

目 录

表 1 项目基本情况..... 1

表 2 放射源..... 19

表 3 非密封放射性物质..... 19

表 4 射线装置.....20

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）21

表 6 评价依据.....22

表 7 保护目标及评价标准.....25

表 8 环境质量和辐射现状.....29

表 9 项目工程分析与源项.....33

表 10 辐射安全与防护.....50

表 11 环境影响分析..... 75

表 12 辐射安全管理..... 120

表 13 结论与建议..... 125

表 1 项目基本情况

建设项目名称		成都泰康西南医院新建II类射线装置及核医学科应用项目				
建设单位		四川泰康西南医院有限公司				
法人代表		刘挺军	联系人	谢磊	联系电话	18980601085
注册地址		四川省成都市天府新区华阳街道天府大道南段 846 号				
项目建设地点		四川省成都市天府新区华阳街道二江寺村五、六、十一组——成都泰康西南医院内				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）		14000	项目环保投资（万元）	319.7	投资比例（环保投资/总投资）	2.28%
项目性质		☒ 新建	☐ 改建	☐ 扩建	☐ 其他	占地面积（m ² ）
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 四川泰康西南医院有限公司（统一社会信用代码：91510100MA6DGXC46G）拟投资 300000 万元于成都市天府新区华阳街道二江寺村五、六、十一组建设成都泰康西南医院项目，总规划用地 53444.69m²，总建筑面积 254311.52m²，新建 1#楼（医技楼、门诊及行政办公楼、南北住院楼）和 2#楼（配套医疗商业、医疗用房）、2 层地下室（核医学中心、放射治疗科、中医药房、后勤配套用房、地下车库、设备用房、医疗废物暂存间、生活垃圾暂存间等）、氧气站及配套污水处理站、预处理池等。根据四川天府新区成都管理委员会基础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[2019]001 号），成都泰康西南医院类别为综合医院，拟设置预防保健科、内科、外科、妇产科、儿科、眼科、耳鼻咽喉科、口腔科、皮肤科、康复医学科、精神科（临床心理科）、肿瘤科、急诊医学科、重症医学科、麻醉科、中医科、麻醉科、医疗美容科、医学					

检验科、输血科、病理科、医学影像科、临床营养科等，拟设置床位 1200 张。

成都市生态环境局已于 2019 年 11 月对“四川泰康西南医院有限公司四川泰康西南医院建设项目环境影响报告书”进行了批复，批复文号：成环评审[2019]108 号。

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、射波刀、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）及 SPECT 即单光子发射计算机断层仪（SPECT/CT）等Ⅲ类射线装置和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为氟-18、锝-99m 和钼-99。

为加强核技术应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，四川泰康西南医院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。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《成都泰康西南医院新建Ⅱ类射线装置及核医学科应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，建设单位在环评互联网网站上对该项目进行了全文公示（<http://www.eiabbs.net/thread-381277-1-1.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 全文公示截图

二、项目概况

1、建设内容及规模

成都泰康西南医院位于四川省成都市天府新区华阳街道二江寺村五、六、十一组，项目主要涉及开展核技术利用项目的科室包括：核医学科、放疗科、手术室、内镜中心。

(1) 手术室、内镜中心

内镜中心、手术室辐射工作区域分别位于 1#楼二、四楼，涉及使用 4 台造影介入用 II 类射线装置。

内镜中心：位于 1#楼（地下二层，地上四~十七层）二楼。ERCP 机房面积为 38.1m²，净空尺寸长 6.8m×宽 5.6m×高 3.2m；四周墙体为 37cm 实心砖（约 4mm 铅当量）；屋顶和地板均为 25cm 厚钢筋混凝土（约 3.3mm 铅当量）；观察窗为 4mm 铅当量的铅玻璃；防护门均为 4mm 铅当量，共 3 扇铅防护门。机房内配置使用 1 台 ERCP 中型 C 型臂 X 射线机，型号未定，额定管电压为 150kV，额定管电流为 1000mA，属于 II 类射线装置。年最大出束时间为 175h。

手术室：位于 1#楼四楼。1#、2#DSA 机房面积均为 45.4m²，净空尺寸长 7.7m×宽 5.9m×高 3.4m，3#DSA 机房面积 59.6m²，净空尺寸长 10.1m×宽 5.9m×高 3.4m；三间机房四周墙体均为 37cm 实心砖（约 4mm 铅当量）；屋顶和地板均为 25cm 厚钢筋混凝土（约 3.3mm 铅当量）；三间机房分别设置 1 扇观察窗，均为 4mm 铅当量的铅玻璃；三间机房分别设置 3 扇铅门，均为 4mm 铅当量的铅防护门。三间机房内各安装 1 台 DSA，型号未定，额定管电压均为 125kV，管电流均为 1250mA，属于 II 类射线装置。单台 DSA 年最大出束时间为 375.1h。

表 1-1 内镜中心、手术室射线装置射线装置统计表

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	DSA	3	II类	1#楼四楼 1#、2#、 3#DSA 机房	介入治疗	使用
2	ERCP 中型 C 型 臂 X 射线机	1	II类	1#楼二楼 ERCP 机房	介入治疗	使用

(2) 核医学科

①建设内容及规模

核医学科位于 1#楼（地下二层，地上四~十七层）负一层西北侧，总建筑面积约 2063m²，主要辐射工作场所包括四周墙体为 120mm~370mm 实心砖/300mm~400mm 钢筋混凝土、屋顶和地板为 120mm~300mm 钢筋混凝土、屏蔽门为 2mm~23mm 铅当量铅防护门的 SPECT 储源室、PET 储源室、SPECT 注射室、PET 注射室、SPECT 分装室、PET 分装室、PET/MRI 机房、PET/CT 机房、SPECT 机房、PET 注射等候室（2 间）、SPECT 注射等候区、PET 留观室（2 间）、PET

留观区、SPECT 留观区、放射性固废间等；PET 注射室注射窗为 40mm 铅当量铅玻璃，SPECT 注射室注射窗为 2mm 铅当量铅玻璃，PET/CT 机房观察窗为 8mm 铅当量铅玻璃，SPECT/CT 机房观察窗为 3mm 铅当量铅玻璃。

涉及使用的非密封放射性物质包括：氟-18（日等效最大操作量为 $2.66 \times 10^7 \text{Bq}$ ，年最大用量为 $1.66 \times 10^{13} \text{Bq}$ ）、锝-99m（日等效最大操作量为 $3.33 \times 10^8 \text{Bq}$ ，年最大用量为 $1.67 \times 10^{12} \text{Bq}$ ）和钼-99（日等效最大操作量为 $3.7 \times 10^7 \text{Bq}$ ，年最大用量为 $1.85 \times 10^{12} \text{Bq}$ ），总的日等效最大操作量为 $3.97 \times 10^8 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

同时，PET/CT 机房配置使用 1 台 PET/CT，型号未定，额定管电压 140kV，额定管电流 900mA，属于Ⅲ类射线装置，年最大出束时间为 250h；SPECT/CT 机房配置使用 1 台 SPECT/CT，型号未定，额定管电压 140kV，额定管电流 400mA，属于Ⅲ类射线装置，年最大出束时间为 190h。

根据建设单位提供资料，核医学科病人就诊量及非密封放射性物质使用情况见表 1-2，核医学科射线装置见表 1-3。

表 1-2 核医学科就诊病人量及非密封放射性物质用量情况表

序号	核素	用途	单个病人最大用 (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	15	40	10000	2.22×10^{10}	5.55×10^{12}	PET 储源室、PET 分装室、PET 注射室、PET/MRI 机房、PET/CT 机房、PET 注射等候室、PET 留观室/留观区
2	氟-18	贮存(备药量)	/	/	/	4.44×10^{10}	1.11×10^{13}	
3	锝-99m	显像	30	30	7500	3.33×10^{10}	1.67×10^{12}	SPECT 储源室、SPECT 分装室、SPECT 注射室、SPECT 机房、SPECT 注射等候区、SPECT 留观区
4	钼-99	制备锝-99m	/	/	/	3.7×10^{10}	1.85×10^{12}	

*注：①根据建设单位提供资料，建设单位拟每周最多购置一次钼锝发生器，年订购量 50 个，单次购置的钼锝发生器最大规格为 $3.7 \text{E}+10 \text{Bq}$ (1Ci)，淋洗效率取 90%；②对于氟-18，由于其半衰期较短，建设单位拟半天外购一批药，本次评价按 2 倍日用量考虑备药量；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 1-3 核医学科射线装置统计表

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	核医学科 PET/CT 机房	显像诊断	使用
2	SPECT/CT	1	III类	核医学科 SPECT 机房	显像诊断	使用

②场所分级

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 较低的固体	液体，溶液， 悬浮液	表面有污染 的固体	气体，蒸汽，粉末，压 力很高的液体，固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

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 核医学科非密封放射性物质工作场所分级表

工作场所	核医学科						
核素名称	日最大操作量/Bq	毒性分组	毒性组别修正因子	性状	操作方式	方式与状态修正因子	日等效最大操作量/Bq
氟-18	2.22×10^{10}	低毒	0.01	液态	很简单操作	10	2.22×10^7
氟-18	4.44×10^{10}	低毒	0.01	液态	源的贮存	100	4.44×10^6
锝-99m	3.33×10^{10}	低毒	0.01	液态	简单操作	1	3.33×10^8
钼-99	3.7×10^{10}	中毒	0.1	液态	源的贮存	100	3.7×10^7
日等效最大操作量Bq (合计)		3.97×10^8					
工作场所级别		乙级					

根据表 1-7，本项目核医学科属于乙级非密封放射性物质工作场所。

(3) 放疗科

放疗科辐射工作区域位于 1#楼（地下二层，地上四~十七层）负二层西侧，涉及使用：1 台 10MV 医用电子直线加速器和 1 台 6MV 射波刀（又称“立体定位射波手术平台”），均属于II类射线装置。

①医用电子直线加速器

医用电子直线加速器机房净空面积 102m²，机房净空尺寸长 10.1m×宽 10.1m×高 5.3m，机房整体采用 2.35t/m³ 的钢筋混凝土连续浇筑，主射方向朝北侧、南侧、地面和屋顶。机房北侧墙体与射波刀机房共用，其主屏蔽区厚 3.3m（宽 4.5m），相连次屏蔽区厚 2.5m；南侧主屏蔽区厚 2.9m（宽 4.5m），相连次屏蔽区厚 1.8m；西侧屏蔽体厚 1.7m；东侧设长 10.1m、宽 2.1m 的“Z 型”迷道，迷道内墙厚 1.6m，迷道外墙厚 1.4m；迷道防护门为 15mm 铅当量+77 mm 含硼聚乙烯；屋顶主屏蔽区厚 2.9m（宽 4.5m），相连次屏蔽区厚 1.8m，屋顶上方为夹层（无特殊用途，封闭不可到达），夹层上方为院内绿化带；机房下方无地下层。

机房内配置使用 1 台 10MV 医用电子直线加速器，X 射线最大能量为 10MV，X 射线等中心 1m 处剂量率最大为 22Gy/min，最大电子线能量为 22MeV，电子线等中心 1m 处剂量率最大为 22Gy/min，属于II类射线装置，年出束时间 250h。

②射波刀

射波刀机房净空面积 82.7m²，机房净空尺寸长 9.4m×宽 8.8m×高 4.2m，机房整体采用 2.35g/cm³ 的钢筋混凝土连续浇筑，主射方向朝北侧、南侧、地面和屋

顶。机房北侧墙体厚 2.5~2.9m，南侧墙体（与直加机房共用）厚 2.5~3.3m，西侧墙体厚 2.5m，东侧设长 9.8m、宽 2.1m 的“Z 型”迷道，迷道内墙 0.9~2.6m，迷道外墙厚 0.9~2.4m；迷道防护门为 15mm 铅当量+77 mm 含硼聚乙烯；屋顶为 2.9m 厚混凝土，屋顶上方为夹层（无特殊用途，封闭不可到达），夹层上方为院内绿化带；机房下方无地下层。

机房内配置 1 台 6MV 射波刀，属Ⅱ类射线装置，X 射线最大能量为 6MV，X 射线等中心 0.8m 处剂量率最大为 10Gy/min，无电子束治疗功能，年出束时间 125h。

放疗科射线装置详见表 1-8。

表 1-8 放疗科射线装置统计表

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	10MV 医用电子直线加速器	1	Ⅱ类	放疗科医用电子直线加速器机房	肿瘤治疗	使用
2	6MV 射波刀	1	Ⅱ类	放疗科射波刀机房	肿瘤治疗	使用

2、项目组成及主要环境问题

本项目的项目组成及主要的环境问题见表 1-9。

表 1-9 项目组成及主要的环境问题表

建设内容及规模				可能产生的环境问题	
				施工期	运营期
主体工程	核医学科	非密封放射性物质	核医学科位于 1#楼（地下二层，地上四~十七层）负一层西北侧，总建筑面积约 2063m²，主要辐射工作场所包括四周墙体为 120mm~370mm 实心砖/300 mm~400mm 钢筋混凝土、屋顶和地板为 120mm~300mm 钢筋混凝土、屏蔽门为 2mm~23mm 铅当量铅防护门的 SPECT 储源室、PET 储源室、SPECT 注射室、PET 注射室、SPECT 分装室、PET 分装室、PET/MRI 机房、PET/CT 机房、SPECT 机房、PET 注射等候室（2 间）、SPECT 注射等候区、PET 留观室（2 间）、PET 留观区、SPECT 留观区、放射性固废间等；PET 注射室注射窗为 40mm 铅当量铅玻璃，SPECT 注射室注射窗为 2mm 铅当量铅玻璃，PET/CT 机房观察窗为 8mm 铅当量铅玻璃，SPECT/CT 机房观察窗为 3mm 铅当量铅玻璃。 涉及使用的非密封放射性物质包括：氟-18（日等效最大操作量为 2.66×10⁷Bq，年最大用量为 1.66×10¹³Bq）、镅-99m（日等效最大操作量为 3.33×10⁸Bq，年最大用量为 1.67×10¹²Bq）和钼-99（日等效最大操作量为 3.7×10⁷Bq，年最大用量为 1.85×10¹²Bq），总的日等效最大操作量为 3.97×10⁸Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。	施工废水、固体废弃物、噪声、扬尘等	γ/β射线、放射性废水、放射性固废、β面沾污
		射线装置	PET/CT 机房配置使用 1 台 PET/CT，型号未定，额定管电压 140kV，额定管电流 900mA，属于Ⅲ类射线装置，年最大出束时间为 250h。	施工废水、固体废弃物、噪声、扬尘等	X 射线、臭氧
			SPECT/CT 机房配置使用 1 台 SPECT/CT，型号未定，额定管电压 140kV，额定管电流 400mA，属于Ⅲ类射线装置，年最大出束时间为 190h。	施工废水、固体废弃物、噪声、扬尘等	X 射线、臭氧

主体工程	放疗科	医用电子直线加速器机房净空面积 102m²，机房净空尺寸长 10.1m×宽 10.1m×高 5.3m，机房整体采用 2.35t/m³ 的钢筋混凝土连续浇筑，主射方向朝北侧、南侧、地面和屋顶。机房北侧墙体与射波刀机房共用，其主屏蔽区厚 3.3m（宽 4.5m），相连次屏蔽区厚 2.5m；南侧主屏蔽区厚 2.9m（宽 4.5m），相连次屏蔽区厚 1.8m；西侧屏蔽体厚 1.7m；东侧设长 10.1m、宽 2.1m 的“Z 型”迷道，迷道内墙厚 1.6m，迷道外墙厚 1.4m；迷道防护门为 15mm 铅当量+77 mm 含硼聚乙烯；屋顶主屏蔽区厚 2.9m（宽 4.5m），相连次屏蔽区厚 1.8m，屋顶上方为夹层（无特殊用途，封闭不可到达），夹层上方为院内绿化带；机房下方无地下层。 机房内配置使用 1 台 10MV 医用电子直线加速器，X 射线最大能量为 10MV，X 射线等中心 1m 处剂量率最大为 22Gy/min，最大电子线能量为 22MeV，电子线等中心 1m 处剂量率最大为 22Gy/min，属于 II 类射线装置，年出束时间 250h。	施工废水、 固体废弃物、 噪声、扬尘等	X 射线、 电子线、 臭氧、 噪声
		射波刀机房净空面积 82.7m²，机房净空尺寸长 9.4m×宽 8.8m×高 4.2m，机房整体采用 2.35g/cm³ 的钢筋混凝土连续浇筑，主射方向朝北侧、南侧、地面和屋顶。机房北侧墙体厚 2.5~2.9m，南侧墙体（与直加机房共用）厚 2.5~3.3m，西侧墙体厚 2.5m，东侧设长 9.8m、宽 2.1m 的“Z 型”迷道，迷道内墙 0.9~2.6m，迷道外墙厚 0.9~2.4m；迷道防护门为 15mm 铅当量+77 mm 含硼聚乙烯；屋顶为 2.9m 厚混凝土，屋顶上方为夹层（无特殊用途，封闭不可到达），夹层上方为院内绿化带；机房下方无地下层。 机房内配置 1 台 6MV 射波刀，属 II 类射线装置，X 射线最大能量为 6MV，X 射线等中心 0.8m 处剂量率最大为 10Gy/min，无电子束治疗功能，年出束时间 125h。	施工废水、 固体废弃物、 噪声、扬尘等	X 射线、 臭氧、 噪声

主体工程	手术室	位于 1#楼四楼。1#、2#DSA 机房面积均为 45.4m ² ，净空尺寸长 7.7m×宽 5.9m×高 3.4m，3#DSA 机房面积 59.6m ² ，净空尺寸长 10.1m×宽 5.9m×高 3.4m；三间机房四周墙体均为 37cm 实心砖（约 4mm 铅当量）；屋顶和地板均为 25cm 厚钢筋混凝土（约 3.3mm 铅当量）；三间机房分别设置 1 扇观察窗，均为 4mm 铅当量的铅玻璃；三间机房分别设置 3 扇铅门，均为 4mm 铅当量的铅防护门。三间机房内各安装 1 台 DSA，型号未定，额定管电压均为 125kV，管电流均为 1250mA，属于II类射线装置。单台 DSA 年最大出束时间为 375.1h。	施工废水、 固体废弃物、 噪声、扬尘等	X 射线、 臭氧
	内镜中心	位于 1#楼二楼。ERCP 机房面积为 38.1m ² ，净空尺寸长 6.8m×宽 5.6m×高 3.2m；四周墙体为 37cm 实心砖（约 4mm 铅当量）；屋顶和地板均为 25cm 厚钢筋混凝土（约 3.3mm 铅当量）；观察窗为 4mm 铅当量的铅玻璃；防护门均为 4mm 铅当量，共 3 扇铅防护门。机房内配置使用 1 台 ERCP 中型 C 型臂 X 射线机，型号未定，额定管电压为 150kV，额定管电流为 1000mA，属于II类射线装置。年最大出束时间为 175h。	施工废水、 固体废弃物、 噪声、扬尘等	X 射线、 臭氧
辅助工程	放疗科	射波刀控制室 1 间，面积约 12.2m ² ； 直线加速器控制室 1 间，面积约 12.2m ² ； 水冷机房 2 间，面积分别为 19.3m ² 、16.6m ² 。	施工废水、 固体废弃物、 噪声、扬尘等	生活垃圾、 办公垃圾
	核医学科	PET/CT 控制室 1 间，面积约 35.4m ² ； SPECT/CT 控制室 1 间，面积约 10.1m ² 。		
	手术室	1#控制室一间，面积约 11.9m ² ； 2#控制室一间(2#、3#DSA 共用)，面积约 24.3m ² ； 1#、2#、3#设备间各一间，面积分别为 11.8m ² 、12.2m ² 、13.0m ² ； 1#、2#、3#缓冲间各一间，面积分别为 5.1m ² 、5.2m ² 、5.1m ² ； 铅衣暂存间一间，面积约 3.6m ² ； 物品库房一间，面积约 9.3m ²		
	内镜中心	控制室一间，面积约 8.1m ² ； 清洁间一间，面积约 9.2m ² ； 污物暂存间一间，面积约 6.9m ² 。		生活垃圾、 办公垃圾、 医疗垃圾
环保工程	新建并联衰变池 1 座，为 3 格衰变池，每格容积为 5m ³ ，有效容积共 15m ³ 。		施工废水、 固体废弃物、 噪声、扬尘等	放射性废水
	放射性废物暂存间 1 间，面积 19m ² 。			放射性固废
	核医学科设立独立通排风系统；医用电子直线加速器机房、射波刀、DSA 机房通排风系统。			放射性废气、 定期更换的 废过滤器、

			废活性炭
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。	施工废水、固体废弃物、噪声、扬尘等	/

3、主要技术参数

本项目射线装置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 1-10 和表 1-11。

表 1-10 主要设备配置及主要技术参数（一）

设备名称	型号	数量	设备主要参数	单个病人最长照射时间 (min)	单台年最大出束时间 (h)
10MV 医用电子直线加速器	未定	1	最大 X 射线能量 10MV, X 射线等中心 1m 处剂量率最大为 22Gy/min; 最大电子线能量 22MeV, 电子线等中心 1m 处剂量率最大为 22Gy/min。	2min	500
6MV 射波刀	未定	1	最大 X 射线能量 6MV, 等中心 0.8m 处剂量率最大为 10Gy/min, 无电子束治疗功能。	2min	125
PET/CT	未定	1	额定管电压 140kV, 额定管电流 900mA	2min	250
SPECT/CT	未定	1	额定管电压 140kV, 额定管电流 400mA	2min	190

注:本项目射线装置型号将在医院投运前, 采取招投标方式后确定。

表 1-10 主要设备配置及主要技术参数（二）

设备名称	型号	数量	设备主要参数	单台手术累计最长曝光时间			单台年最大出束时间 (h)
DSA	未定	3	额定管电压 125kV, 额定管电流 1250mA	心内科	拍片	20s	6.7
					透视	15min	300
				神经内科	拍片	30s	1.7
					透视	20min	66.7
				合计			375.1
ERCP 中型 C 型臂 X 射线机	未定	1	额定管电压 150kV, 额定管电流 1000mA	消化内科	拍片	30s	4.2
					透视	10min	83.3
				肝胆外科	拍片	30s	4.2
					透视	10min	83.3
				合计			175

注:本项目射线装置型号将在医院投运前, 采取招投标方式后确定。

表 1-11 本项目主要技术参数表

核素名称	半衰期	主要衰变方式	主要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	109.7min	β ⁺ (97%) EC (3%)	0.64	0.511	氟-18 标记物注射液	0.57	PET 显像诊断
^{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
⁹⁹ Mo	67h	β ⁻ (100%)	1.23	0.78	钼 [⁹⁹ Mo] 酸钠溶液	0.18	制备锝 -99m

三、工作人员及工作制度

1、劳动定员

本项目拟新增辐射工作人员共 52 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 1-12。

表 1-12 辐射工作人员配置情况表

序号	科室	拟配置人数（人）	备注
1	核医学科	6	操作核素：氟-18
		6	操作核素：锝-99m
2	放疗科	4	医用电子直线加速器工作人员
		4	射波刀机房工作人员
3	手术室	12	心内科：手术医生 12 人（2 人/组，6 组）、护士 6 人
		8	神经内科：手术医生 4 人（2 人/组，2 组）、护士 4 人
		3	技师（1 人/台 DSA）
4	内镜中心	4	消化内科：手术医生 2 人（2 人/组，1 组）、护士 2 人
		4	肝胆内科：手术医生 2 人（2 人/组，1 组）、护士 2 人
		1	技师
合计		52	/

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、产业政策符合性及实践正当性分析

本项目系核技术用于医学领域，根据《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，本项目属于该目录中鼓励类第六项“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业发展政策。

本项目的建设可以更好地满足公众多层次、多方位、高质量、便利的诊断需

求，提高对疾病的诊断能力。本项目核技术应用项目的开展，可达到一般非放射性诊断方法所不能及的效果，是其它诊断项目无法替代的，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，由于放射诊疗的方法效果显著，其优势明显，因此，该项目的实践是必要的。本项目在诊断过程中，对射线装置、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，在正确使用和管理的情况下，可以将本项目产生的辐射影响降至尽可能小，该核技术利用的实践具有正当性。

五、项目规划符合性

本项目位于四川省成都市天府新区华阳街道二江寺村五、六、十一组成都泰康西南医院内，医院用地已取得原成都市国土资源局出具的《不动产权证书》

（川（2018）成天不动产权第 0032745 号），明确医院用地为商业服务业设施（医院）用地；已取得成都市规划管理局出具的《建设用地规划许可证》（地字第510122201822096 号），明确医院用地性质为商服用地（医院）。本项目均依托医院主体工程征地红线内建设，不新增用地，项目符合成都市总体规划。

六、项目选址合理性、外环境关系与平面布置合理性分析

1、选址合理性分析

本项目所在的 1#楼已取得成都市生态环境局批复（成环评审[2019]108 号），医院整体项目选址合理性已在《四川泰康西南医院有限公司四川泰康西南医院建设项目环境影响报告书》中进行了论述，本项目仅为其中部分建设内容，不新增用地，且拟建的辐射工作场有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对辐射工作人员和公众的照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求并满足报告表确定的剂量管理约束值的要求，从辐射安全防护角度分析，本项目选址是合理的。

2、外环境关系分析

本项目位于四川省成都市天府新区华阳街道二江寺村五、六、十一组——成都泰康西南医院内，院区北侧紧邻 50m 宽规划绿地，规划绿地北侧紧邻牧华路三段，隔牧华路三段距本项目 117m 处为南湖春天（住宅，已建）；东北侧隔牧华路三段距本项目 168m 处为二江花园（住宅，已建）；东侧紧邻益州大道，隔

益州大道距本项目 87m 处为富森美家居（商业，待建空地）；南侧紧邻祥鹤一街，隔祥鹤一街距本项目 20m 处为待建空地（规划为商业用地）；西侧约 20m 处为待建空地（规划为公用设施用地），约 171m 处为华府 279 项目（住宅，在建）。

本项目辐射工作场所均位于 1#楼，其中放疗科位于负二层，核医学科位于负一层，DSA 机房位于四层，ERCP 机房位于二层。1#楼位于医院中部及西侧，1#楼东侧约 23m 为 2#楼和 3#楼，其余三侧隔院内通道、绿化为医院外墙。1#楼包括有北住院楼（17F，约 76.7m）、门诊+医技楼（4F，局部 5F，约 27m）、南住院楼（13F，约 58.9m）、地下两层。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、集中居民小区等生态敏感目标和环境敏感目标，周围无环境制约因素。

3、平面布置合理性分析

（1）手术室、内镜中心

本项目手术室位于 1#楼四楼，项目区域自西向东依次为 1#设备间、1#缓冲间、1#DSA 机房、1#控制室、铅衣暂存间、物品库房、2#设备间、2#缓冲间、2#DSA 机房、2#控制室、3#DSA 机房、3#设备间、3#缓冲间。1#DSA 机房楼上为屋顶绿化、净化机房，楼下为无菌库房；2#DSA 机房楼上为净化机房，楼下为检查包装灭菌区；3#DSA 机房楼上为蒸汽发生器机房和空调机房，楼下为去污区。

本项目内镜中心位于 1#楼二楼，ERCP 机房北侧为清洁间和污物暂存间，东、西侧均为过道，南侧为控制室和过道，ERCP 机房楼上为自体采血室、值班室，楼下为 MRI 机房、设备间和过道。E 本项目 DSA 和 ERCP 使用地点固定，且避开了人群相对集中的门诊区域，所处位置相对独立。同时，在对病人进行诊疗时，医生通道、病人通道和污物通道分开设置，有利于病人流通，且避免了交叉影响。同时，DSA 和 ERCP 机房采取了有效的屏蔽措施，产生的 X 射线经屏蔽后对周围环境辐射影响是可接受的，平面布置合理。

（2）核医学科

本项目核医学科位于 1#楼负一层西北侧，核医学科北侧为物业更衣室、票数据库和楼梯间，西侧为车道，东侧为中央运输库、病人接待处、复印室、阴凉

库；南侧为备用房间、储藏间、会议室和楼梯间；楼上为急诊科；楼下为设备用房和卸货平台。整个核医学科拟设置独立门禁出入口，非工作人员引导不能直接进入，其中入口位于东侧，出口位于西北角，入口通道设置单向门禁系统（只能进不能出），离开通道也设置单向门禁系统（只能出不能进）整个场所相对封闭。

①病人路径合理性：

患者在核医学科东侧的候诊大厅进行等待，然后进入检查室由医生进行病情诊断，医生初步检查确定病症后，根据需要经护士指引进入核医学科区域。氟-18注射病人在 PET 注射室注射核素后，在 PET 注射等候区候检，进入 PET/CT 或 PET/MR 机房显像诊断后，在 PET 留观区留观后经出口离开；钆-99m 注射病人在 SPECT 注射室注射核素后，在 SPECT 注射等候区候检，进入 SPECT/CT 机房显像诊断后，在 SPECT 留观区留观后经出口离开。

②医护通道合理性：

医护人员由医生专用通道进入，可分别到达 PET/CT、PET/MR 和 SPECT/CT 机房控制室、医护更衣室、PET 储源室、SPECT 储源室、PET 分装室、SPECT 分装室，诊疗结束后，医生需经过表面污染监测并经过去污更衣后按原路再退出核医学科区域。

整个核医学科病人在诊断或治疗结束后均通过专用离开通道出院，并设置单向门禁系统，以实现病人单向流通，整个过程，患者通道和医护通道完全分离，且医生用卫生间和病人用卫生分开独立设置；整个核医学科各功能房间布局紧凑，且有效衔接，控制用药病人流动范围从而控制表面污染的范围，并减少了病人与医生的交叉影响。从布局来说，人员流向合理。

③药物通道合理性：

本项目所使用的同位素药物来源均来自于正规生产厂家。由于建设单位使用各类型药物活度和用量的不同，出厂时由厂家分别采用不同防护规格的铅罐密闭包装，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由厂家进行回收。药物厂家负责由产地至本项目核医学科的运输、转、回收过程，并承担相应过程中的辐射安全防护责任。

项目运行时，建设单位将与供药单位协定，放射性药物每天将在上班前从核医学科入口进入，钼铈发生器直接转入 SPECT 储源室内暂存，氟-18 放射性药物

直接转入 PET 储源室内暂存，病人到达后再分别转运至 SPECT 分装室、PET 分装室通风橱内。

放射性药物不从核医学科内非辐射工作区流通，整个过程均是在早晨无病人治疗时进行，药品以最短距离进入 SPECT 储源室和 PET 储源室，且放射性药物在控制区内流动范围较小，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放射性废物暂存间设置合理性：

本项目放射性废物暂存间设置在核医学科西北角靠近出口处，放射性废物衰变 10 个半衰期监测达标后按医疗废物处理，由医生在下班后，能以最短距离经出口被送出核医学科区域，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。

⑤衰变池布置合理性分析

本项目衰变池设置在 1#楼负二层中部衰变池机房内，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，同时核医学科产生的放射性废水通过独立管道引入该衰变池内，且衰变池池体采用 300mm 混凝土进行屏蔽防护，对周围辐射环境影响较小，其选址是合理的。

⑥小结

本项目核医学科位置相对封闭且独立，各组成部分功能分区明确，满足诊治工作要求，既能有机联系，又不相互干扰。医院将加强对核医学科工作场所的管理，人员或语音广播引导患者就诊，地面粘贴引导标志，告诫注射的待检者在规定区域候诊，提醒陪护者和无关人员避免进入候诊走廊和注射药物候诊区域。从辐射安全的角度考虑，该核医学科平面布置是合理的。

（3）放疗科

本项目放疗科位于 1#楼负二楼西侧，采取集中布置的方式，自北向南依次为射波刀机房、10MV 医用电子直线加速器机房。2 间机房整体的北侧为示教/会议室、污物暂存室、物理储藏室、计量测定室；机房东侧自北向南依次为水冷机房 1、控制室（共用）；南侧为应急物资库、污水泵房、水冷机房 2、病患更衣室；西侧为停车场；机房楼上对应区域为夹层（无特殊用途，封闭不可到达），夹层上方为院内绿化带；楼下对应区域均为土层，无构筑物。

放疗中心各机房位置相对封闭且独立，降低了公众受到照射的可能性，且周围无明显环境制约因素。

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

七、原有核技术利用项目许可情况

（1）四川泰康西南医院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）本项目涉及的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 2019 年 11 月对“四川泰康西南医院有限公司四川泰康西南医院建设项目环境影响报告书”进行了批复，批文号为：成环评审[2019]108 号，目前本项目主体工程正在施工中。

根据主体工程已批复环评报告，本项目就诊病人及医护人员产生的生活污水、医疗废水经预处理后，依托医院拟建的污水处理站（最大处理能力 1030m³/d）进行处理（采用一级强化处理+单过硫酸氢钾复合盐消毒工艺）达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 中预处理标准限值后，排入市政污水管网，再进入华阳污水处理厂集中处理达《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准后排入锦江。项目产生的医疗废物收集暂存于医疗废物暂存间（150m²，位于地下 2F）后，定期交由有资质的医疗废物处置单位收集；项目产生的生活垃圾交由市政环卫清运。

表 2 放射源

序号	核素名称	类别	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
——	——	——	——	——	——	——	——	——	——
——	——	——	——	——	——	——	——	——	——

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	2.22×10^{10}	2.22×10^7	5.55×10^{12}	诊断	很简单操作	核医学科	PET 储源室保险柜
2	氟-18	液态	使用	4.44×10^{10}	4.44×10^6	1.11×10^{13}	诊断	源的贮存		
3	锝-99m	液态	使用	3.33×10^{10}	3.33×10^8	1.67×10^{12}	诊断	简单操作		SPECT 储源室保险柜
4	钼-99	液态	使用	3.70×10^{10}	3.70×10^7	1.85×10^{12}	制备锝-99m	源的贮存		

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

表 4 射线装置

(一) 加速器，包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大 X 射线能量 (MeV)	最大电子线能量 (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	1	未定	电子	10	22	22	放射治疗	放疗科直加机房	本次评价内容
2	射波刀	II	1	未定	电子	6	/	10	放射治疗	放疗科射波刀机房	

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA	II	3	未定	125	1250	介入治疗	1#楼四楼 1#、2#、3#DSA 机房	本次评价内容
2	ERCP 中型 C 型臂 X 射线机	II	1	未定	150	1000	介入治疗	1#楼二楼 ERCP 机房	
3	PET/CT	III	1	未定	140	900	显像诊断	PET/CT 机房	
4	SPECT/CT	III	1	未定	140	400	显像诊断	SPECT/CT 机房	

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称		状态	核素	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、射波刀机房	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	/	/	由生产厂家直接回收
	臭氧	气态	/	/	/	/	引至 1#楼楼顶排放
DSA、ERCP 中型 C 型臂 X 射线机及Ⅲ类射线装置机房	臭氧	气态	/	/	/	/	引至 1#楼楼顶排放
核医学科	一次性注射器、针头、手套、药瓶等	固态	氟-18、锝-99m	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 10 个半衰期后经监测达标（ γ 剂量率接近本底水平， β 表面沾污小于 0.08Bq/cm ² ）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	100kg/a	/		
	废旧钼铈发生器	固体	钼-99m、锝-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	5.55×10^6	2.25Bq/m ³	/	经过滤器过滤后引至 1#楼楼顶排放
			锝-99m	8.33×10^6	3.38Bq/m ³	/	经过滤器过滤后引至 1#楼楼顶排放
	放射性废水	液态	氟-18、锝-99m	/	总 β 小于 10Bq/L	放射性废水通过专用管道排至衰变池	暂存衰变至少 10 个半衰期，经监测达标（总 β 小于 10Bq/L）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）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； （11）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； （12）《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) 《环境保护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; (7) 《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; (8) 《RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA HANDBOOK 2002》(Published by Nuclear Technology Publishing); (9) 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，评价范围确定为机房实体屏蔽边界外 50m 范围；对于乙级非密封放射性物质工作场所，评价范围确定为整个核医学科边界外 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	方位		位置	距离辐射源最近距离（m）	
						水平	垂直
DSA	职业人员	23 人	/		1#、2#、3#DSA 机房内及控制室	0.3	/
	周围公众	约50人	1#DSA	北侧	走廊	3.5	/
		约20人		南侧	清洁走廊	3.5	/
		4 人		西侧	1#设备间、1#缓冲间	5.0	/
		4 人		楼上	屋顶绿化、净化机房	/	3.4
		4 人		楼下	无菌库房	/	3.4
		约50人	2#DSA	北侧	走廊	3.5	/
		约20人		南侧	清洁走廊	3.5	/
		约 4 人		西侧	2#设备间、2#缓冲间	5.0	/
		3 人		楼上	净化机房	/	3.4
		5 人		楼下	检查包装灭菌区	/	3.4
		约50人	3#DSA	北侧、东侧	走廊	3.5	/
		约 4 人		北侧	清洁间、3#缓冲间	4.5	/
		约20人		南侧	清洁走廊	3.5	/
		约5人		楼上	蒸汽发生器机房、空调机房	/	3.4
		6 人		楼下	去污区	/	3.4
ERCP	职业人员	9 人	/		ERCP 机房内及控制室	3.5	/
	周围公众	约50人	西侧、东侧		走廊	3.5	/
		4 人	北侧		清洁间、污物暂存间	2.5	/
		约200人	楼上		自体采血室、值班室	/	3.2
		约50人	楼下		MRI 机房、设备间、过道	/	3.2
核医	职业人员	12 人	/		SPECT 储源室、PET 储源室、	0.5	/

学科				SPECT 注射室、PET 注射室、SPECT 分装室、PET 分装室、SPECT 控制室、PET/MRI 控制室、PET/CT 控制室等		
	周围公众	70 人	北侧	过道、物业更衣室、票据库和楼梯间	4.5	/
		80 人	东侧	过道、中央运输库、病人接待处、复印室、阴凉库	3.5	/
		20 人	南侧	过道、备用房间、储藏间、会议室、楼梯间	3.0	/
		200 人	楼上	急诊科	/	4.8
		8 人	楼下	设备用房和卸货平台	/	4.8
放疗科	职业人员	4 人	/	直线加速器控制室	11.4	/
		4 人	/	射波刀控制室	10.3	/
	周围公众	10 人	北侧	示教/会议室、污物暂存室、物理储藏室、计量测定室	7.5	/
		2 人	东侧	水冷机房 1	11.7	/
		80 人	南侧	应急物资库、污水泵房、水冷机房 2、病患更衣室	8.5	/
		约200 人	西侧	停车场	7.0	/
		3 人	楼上	绿化带	/	10.7

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：执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）二级标准；
- (2) 废水：执行《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）；
- (3) 噪声：施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB122523-2011）各阶段标准；营运期执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的 2 类标准。

三、电离辐射相关标准

1、个人剂量约束值

(1) 职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)第4.3.2.1条的规定，对任何工作人员，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯平均）20mSv。四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量不超过500mSv。项目要求按上述标准中规定的职业照射年有效剂量限值的1/4执行，即职业人员全身剂量约束限值为5mSv/a，四肢（手和足）或皮肤约束限值为125mSv/a。

(2) 公众照射：第B1.2.1条的规定，实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过年有效剂量1mSv。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。

2、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2.5μSv/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2.5μSv/h。

3、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	4
手、皮肤、内衣、工作袜		0.4

4、放射性废水排放标准

废水执行《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)表2限值，标准值见表7-3。

表 7-3 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值（日均值）

控制项目	衰变池排放口排放标准(Bq/L)	依据
总β	10	（GB18466-2005）表 2 限值

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

本项目为使用II、III类射线装置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。

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

一、监测方法与标准

- (1) 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）；
- (2) 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-1993）；
- (3) 《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)。

二、监测点位布设

根据现场踏勘，目前项目所在地为施工工地，本项目所依托的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。根据本项目各辐射工作场所布置情况，本次选择在医院拟建地和医院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。主要监测因子为 X- γ 辐射剂量率、 β 表面沾污，本次共布设 5 个监测点位，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	医院拟建地处	X- γ 辐射剂量率、 β 表面沾污	监测一次
2	医院拟建地北侧围墙处		监测一次
3	医院拟建地东侧围墙处		监测一次
4	医院拟建地南侧围墙处		监测一次
5	医院拟建地西侧围墙处		监测一次

三、监测现场环境状况

2020 年 11 月 13 日，监测时环境温度：18℃~20℃；环境湿度：62%~63%；天气状况：晴。

四、监测仪器

本项目监测仪器见表 8-1。

表 8-1 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 _{βmax} >0.15MeV)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

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_{βmax}

>0.15MeV)和 α 发射体》(GB/T14056.1-2008)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据量,以保证监测结果的统计学精度。监测中异常数据以及监测结果的数据处理按照统计学原则处理;

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

⑧检测报告严格实行三级审核制度,经过校对、校核,最后由技术负责人审定。

六、监测结果

本项目监测结果见表8-3~表8-4。

表8-3 项目拟建地周围X- γ 辐射剂量率监测结果

测量点号	测量点位置	X- γ 辐射剂量率 (nSv/h)	标准差 (nSv/h)	备注
1	医院拟建地处	81	1.8	/
2	医院拟建地北侧围墙处	93	1.6	/
3	医院拟建地东侧围墙处	92	2.9	/
4	医院拟建地南侧围墙处	87	2.9	/
5	医院拟建地西侧围墙处	92	1.6	/

表8-4 项目拟建地周围 β 表面污染活度监测结果

测量点号	测量点位置	测量结果(Bq/cm ²)	标准差	备注
1	医院拟建地处	0.21	0.011	/
2	医院拟建地北侧围墙处	0.22	0.012	/
3	医院拟建地东侧围墙处	0.20	0.012	/
4	医院拟建地南侧围墙处	0.23	0.007	/
5	医院拟建地西侧围墙处	0.22	0.014	/

根据表 8-3，项目建设地周围 X- γ 辐射剂量率范围为 81nSv/h~93nSv/h（折算为 γ 空气吸收剂量率为 81nGy/h~93nGy/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 0.20Bq/cm²~0.23Bq/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。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、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 9-1。

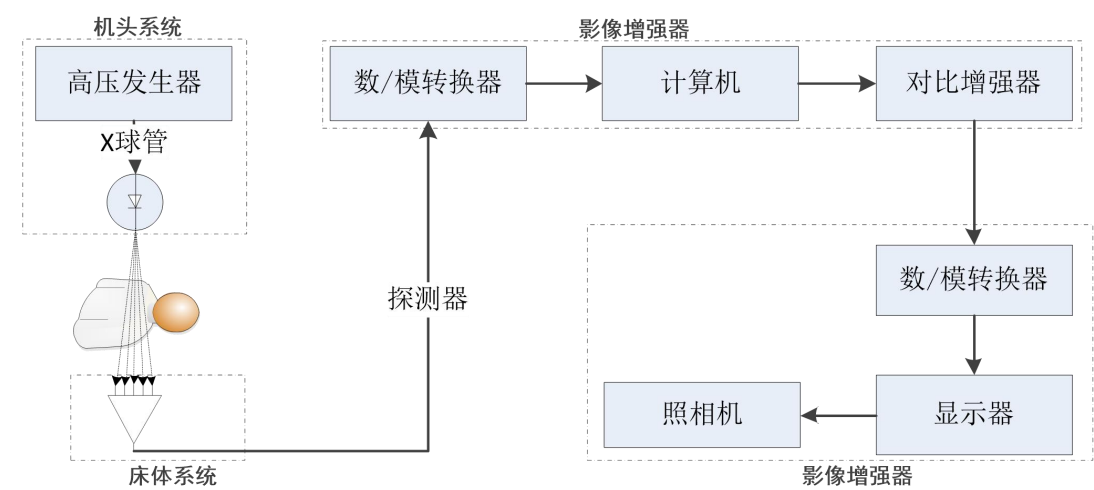


图 9-1 X 射线装置基本原理图

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。两次数相减，消除相同的信号，得知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医生退出机房，通过控制室操作台对病人进行拍片；④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，医生退出机房，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，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）**：操作人员一般采取隔室操作的方式（即操作医师在控制室内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况，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。

血管造影流程诊治流程及产污环节如图 9-2 所示。

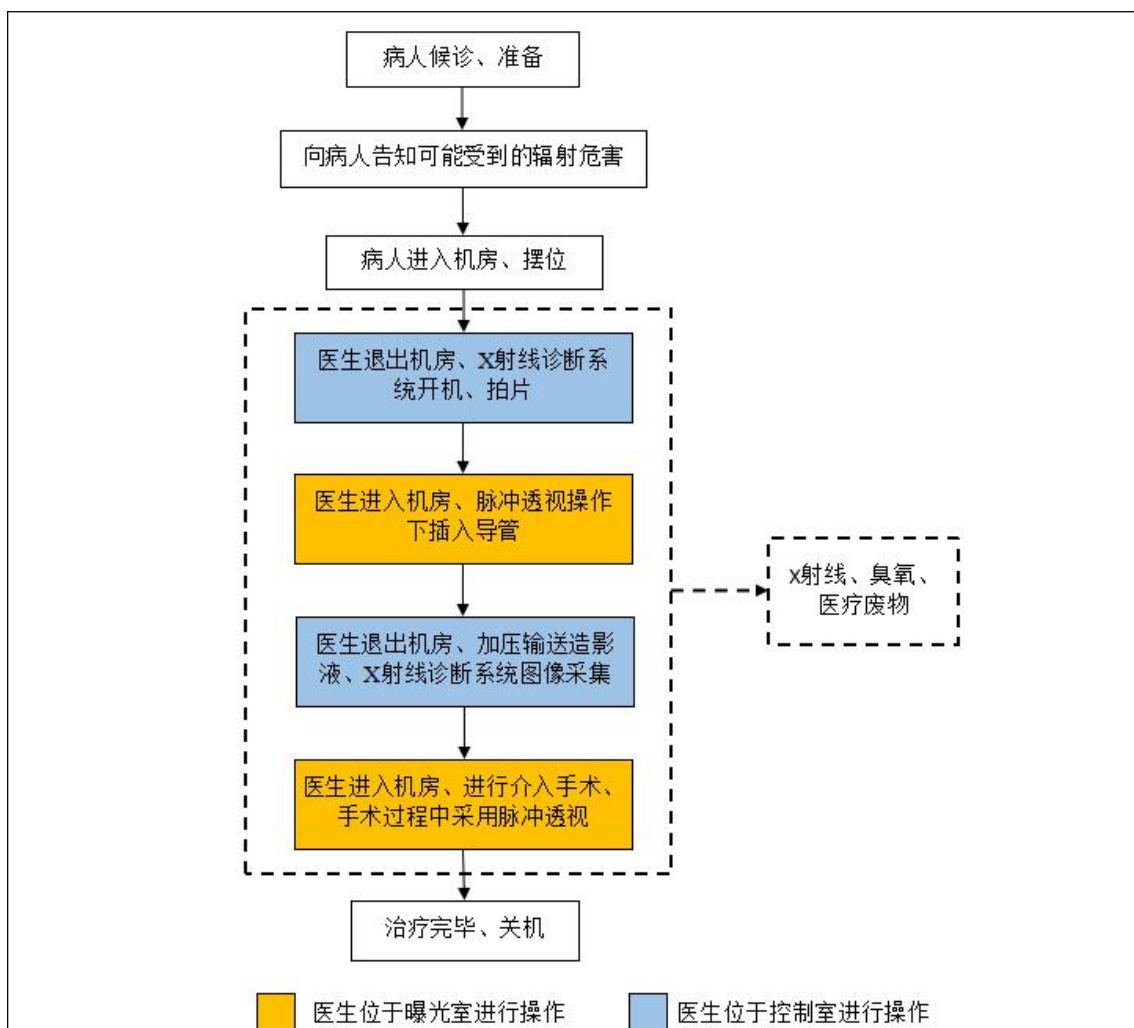


图 9-2 血管造影流程及产污环节示意图

二、核医学科——氟-18、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，整个过程称为“挤奶”。为了使用方便，一套发生器除基本部件外，常附加子体核素溶液接收瓶（即负压瓶）和一定量的淋洗剂（生理盐水）。由于母体核素的不断衰变就不断地产生子体核素，因而核素发生器可以反复淋洗制得子体核素，一般情况下，发生器每隔 23 小时可淋洗一次，发生器的内部结构及实景见图 9-3。

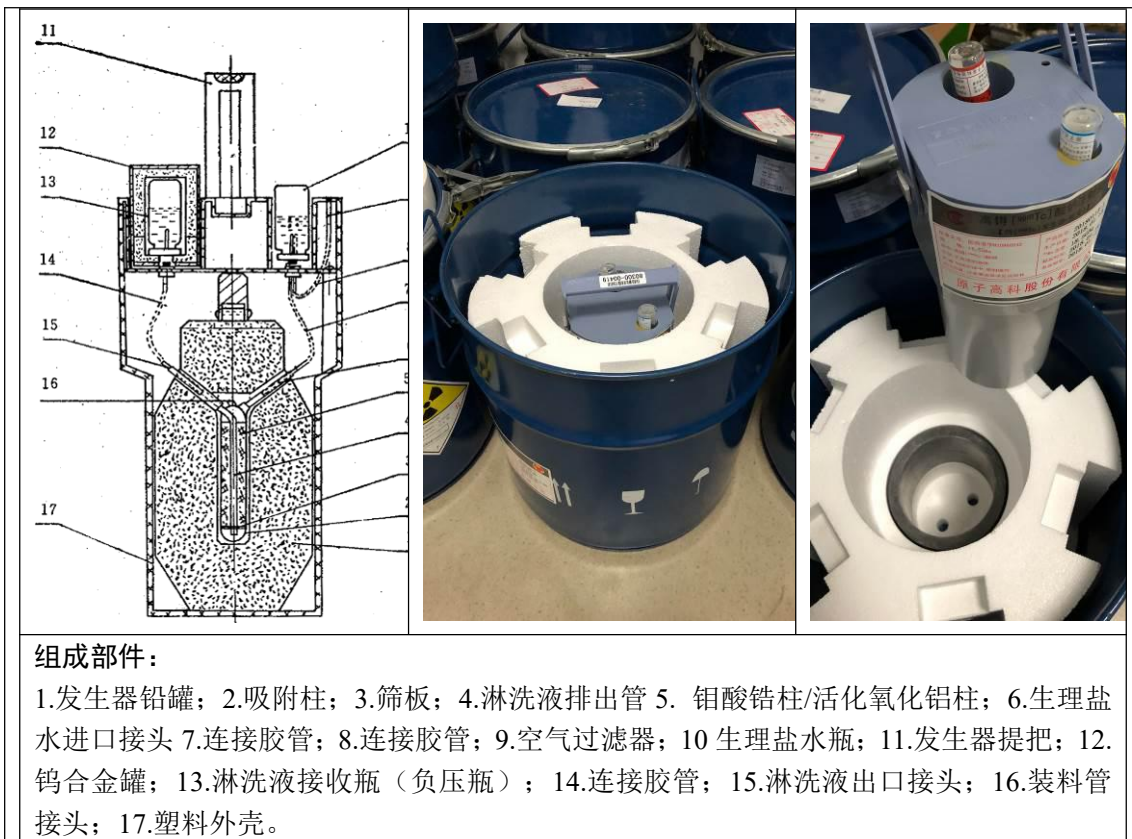


图 9-3 发生器的内部结构及实景图

(2) SPECT/CT 显像工作原理

SPECT/CT 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 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/CT 使用锝-99m 放射性核素，将放射性药物锝-99m 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，通过计算机处理再成像。

PET/CT 的工作原理是把 PET 和 CT 放在一起，利用体外的 X 射线穿透人体而获得三位解剖图像的断层成像技术，通过 PET 扫描和 CT 扫描重边，联合扫描，使两者的硬件和软件有机地结合在一起。工作时，其 CT 球管发射 X 线穿透人体组织，其探测器获得的数据不仅用于重建 CT 图像，同时提供给 PET 作为衰减校正的参数，在此基础上再进行 PET 图像的重建。所显示的图像为两者图像的融合的结果，即细胞的代谢显像和所处的解剖位置。

PET/MRI 的工作原理是将 PET 和 MRI（核磁共振断层扫描仪）技术融合而成的一种分子水平的功能显像加结构的显像系统，其融合了 PET 的分子成像功能与 MRI 卓越的软组织对比功能，从而可以对在软组织中扩散的疾病细胞进行成像诊断，可应用于高精度的 PET 图像衰减校正，进一步提高图像质量和空间分辨率。

2、操作流程

本项目氟-18 直接向有资质单位进行购买，镓-99m 放射性药物由医生通过发生器自行进行制备。镓-99m 制备流程如下：

①淋洗：发生器从生产厂家购入后即进入 SPECT 分装室通风橱内存放，淋洗时，在通风橱内即可对发生器进行淋洗操作。先把 0.9%生理盐水瓶插入发生器的双针，然后把外有防护罐的负压瓶插入发生器的单针，直至 0.9%生理盐水被吸干，1min 后整体拔下外有防护罐的负压瓶，即制得镓-99m 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 2min。

钼-99 装在钼镓发生器内，发生器外用壁厚约 10mm 铅当量的铅罐包装，在整个使用过程中钼-99 都保持在发生器柱子里，使用后的柱子随铅罐包装一同回收至发生器生产厂家，钼-99 也就随包装而被完全转移到厂家。据厂家提供资料显示，在装有 1Ci 的钼镓发生器铅罐表面的 γ 剂量率小于 0.1mSv/h。有铅罐包装的钼镓发生器放置在 SPECT 分装室内 5mm 铅当量的通风橱内，整个制药过程均在通风橱内进行，经过 10mm 铅当量的铅罐及 5mm 铅当量的通风橱屏蔽后，发生器内的钼-99 对职业工作人员影响非常小，而在整个制药过程中，公众不能进入 SPECT 分装室，而在非工作期间，工作人员将 SPECT 分装室上锁，公众仍然

无法进入 SPECT 分装室,因此经屏蔽后,发生器内的钼-99 对公众人员没有影响。

②测量活度: 测量活度在 SPECT 分装室通风橱内进行, 由负责标记的工作人员完成。工作人员用注射器吸取上一步制得的少量淋洗液 (0.1ml), 垂直放入活度计井中, 测量其放射性活度, 得出该瓶淋洗液的比活度, 同时可测量淋洗液的纯度。

③标记: 标记在 SPECT 分装室进行, 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 SPECT 分装室通风橱内。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。

氟-18 和钨-99m 注射和显像流程如下:

①注射: 病人给药采用注射方式进行给药, 工作人员 (作好防护措施, 穿铅衣、铅手套等) 将装有放射性药物的铅罐转移至 PET 注射室或 SPECT 注射室的注射窗口操作台, PET 注射室 (氟-18) 内的注射窗口操作台安装 40mm 铅当量防护装置, SPECT 注射室 (钨-99m) 内的注射窗口操作台安装 2mm 铅当量防护装置, 注射药物时, 工作人员从铅罐内吸取药物进行注射。

②候检、显像: 氟-18 注射病人注射后, 在 PET 注射等候区候检, 观察等待时间约 20min, 进入 PET/CT 或 PET/MR 机房显像诊断; 钨-99m 注射病人注射后, 在 SPECT 注射等候区候检, 观察等待时间约 20~30min, 进入 SPECT 机房显像诊断。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 9-3。

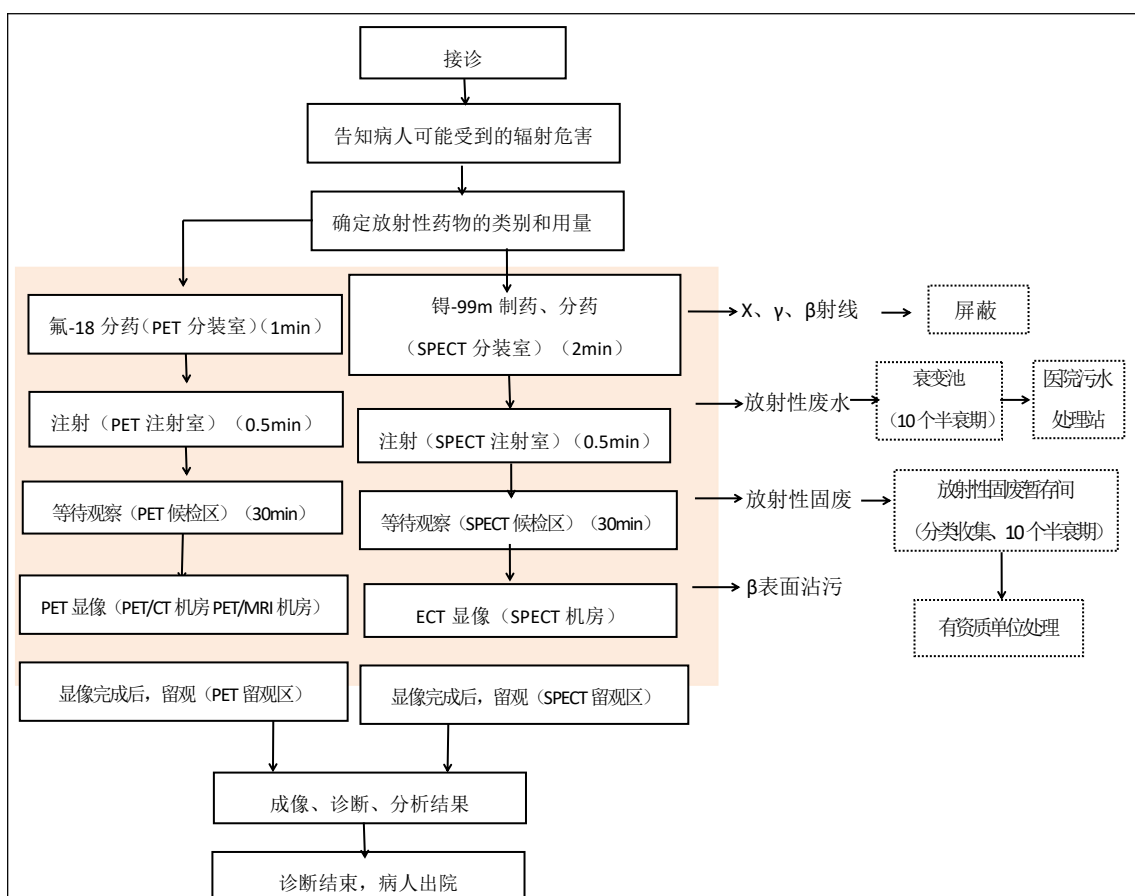


图 9-3 显像诊断工作流程图

三、医用电子直线加速器

1、工作原理

电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器,它的结构单元为:加速管、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪产生的电子由行波加速波导管加速后进入偏转磁场,所形成的电子束由电子窗口射出,通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶,产生大量高能 X 线,经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束,再通过监测电离室和二次准直器限束,最后到达患者病灶实现治疗目的。医用电子直线加速器实景见图 9-4。



图 9-4 医用电子直线加速器

2、主要技术参数

本项目直线加速器设备参数见表 9-1。

表 9-1 医用电子直线加速器设备参数

设备名称	医用电子直线加速器
生产厂家	待定
型号	待定
主要参数	X 射线额定能量：10MV
	电子线额定能量：22MeV
	X 射线等中心处最大剂量率：22Gy/min
	电子线等中心处最大剂量率：22Gy/min
	等中心距地面高度：1.30m
	最大照射野：40×40cm ²
	源轴距（SID）：1m
	泄漏率：0.1%

3、治疗操作流程

①模拟定位：先通过模拟定位 CT 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 9-5。

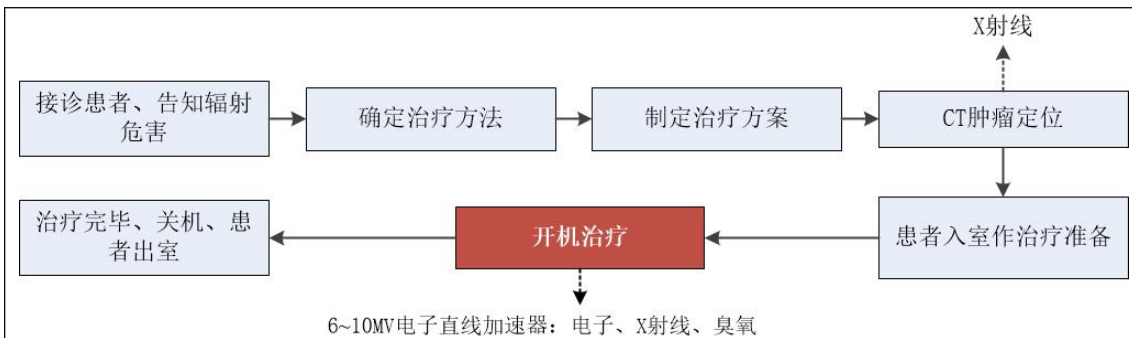


图 9-5 直线加速器治疗过程与产污环节简图

四、射波刀

1、工作原理

射波刀是一种新型立体定向放射治疗装置，由美国 Stanford 大学医疗中心脑外科与 Accuray（安科锐）公司合作研发，1994 年投入使用。它集影像引导系统和高准确性的治疗系统于一身，将一个 6MV X 射线的轻型电子直线加速器安放在一个有 6 个自由度的机械臂上，利用机械臂的全向投照能力对肿瘤进行精确地、非共面和多中心的放射治疗。射波刀是全球唯一整合最先进的机器人技术和智能影像实时监控、追踪系统的放射治疗系统，尤其擅长对颅内肿瘤进行立体定向放射治疗、对运动器官进行追踪治疗。射波刀结构包括：

①直线加速器（Linear accelerator）：射波刀使用一个紧凑型、能产生 6MVX 射线的轻型直线加速器，直线加速器安装在由机器人控制的机械臂上。该直线加速器配有 12 个准直器，准直器直径从 5mm 到 60mm。

②机器人机械臂(Robot arm)：机器人机械臂头端上安装有直线加速器，它带动直线加速器围绕患者在前、后、左、右、上、下六度空间自由转动，按照计算机预设的路线，机械臂可将直线加速器调整到最多两百余个位置（或节点），在每个节点处可以从 12 个角度投照射线，因此提供多达最多三千个方位发出射线。每到一个预设治疗点，机械臂停止运动，直线加速器对准靶区投照相应的放射剂量。

③治疗床（treatment table）：射波刀的治疗床也由机器人控制，可以在六度空间自由移动。

④靶区定位（影像）追踪系统（target localization system）：与传统放射外科使用立体定向架固定患者头部以确保射线精确投照不同，射波刀使用人体骨骼结构作为参考框架，颅内病灶与颅骨之间产生固定的对应关系。靶区定位（影像）

追踪系统是利用天花板上安装的两组诊断 X 射线球管和安装于地板平面下的影像探测器组成。两组 X 射线球管发出的低能 X 线相互垂直，交叉穿过头颅（或患者肿瘤的治疗部位），影像探测器获得颅骨的数字图像，并将影像资料传输到数据处理系统（image processing system, IPS），计算机与事先 CT 扫描获得的颅骨数字重建图像(DDR)相比较，首先确定颅骨的精确位置，然后得出治疗靶目标（病灶）的精确位置。靶区定位追踪系统使用 4 套计算机软件，治疗颅内病变时，使用 6 维颅骨追踪软件；治疗脊髓、脊柱及其周围肿瘤时，使用 Xsight Spine(脊柱追踪软件)；治疗部分周围型肺癌时，使用 X sight Lung(肺部追踪软件)；治疗随呼吸运动的肿瘤时或需要埋置金标时，使用金标追踪和呼吸追踪系统。

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

⑥呼吸追踪系统：当治疗肺部肿瘤或受呼吸运动影响的肿瘤（肝癌、胰腺肿瘤等）时，肿瘤随着病人的呼吸而上下左右运动。治疗这些体部肿瘤之前，需要向肿瘤内或周围放置金标（由黄金制成的，长 5mm，直径 0.8mm 的圆柱体称为金标），金标放置 5-7 天后才能实施射波刀治疗。呼吸追踪是让病人穿上胸前带有发红光二极管的背心，呼吸追踪摄像机通过捕捉二极管的运动获得肺部的呼吸运动节律，计算机建立呼吸模型。治疗时，通过追踪金标的位置获得肿瘤的精确位置，同时计算机根据呼吸节律，自动微调机器人机械臂，让射线始终精确瞄准病灶。



图 9-7 射波刀出束治疗示意图

2、主要技术参数

本项目射波刀设备参数见表 9-2。

表 9-2 射波刀设备参数

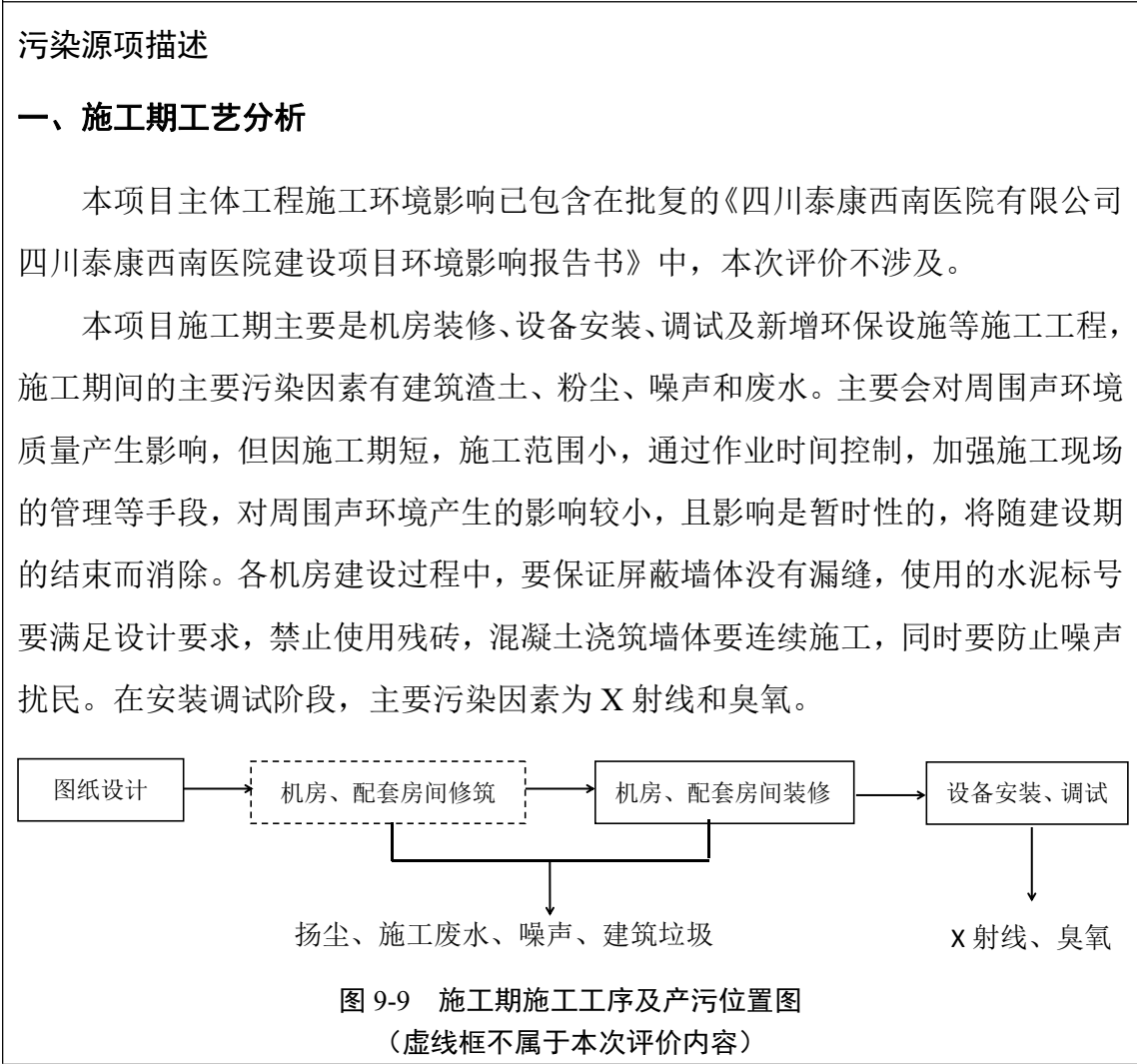
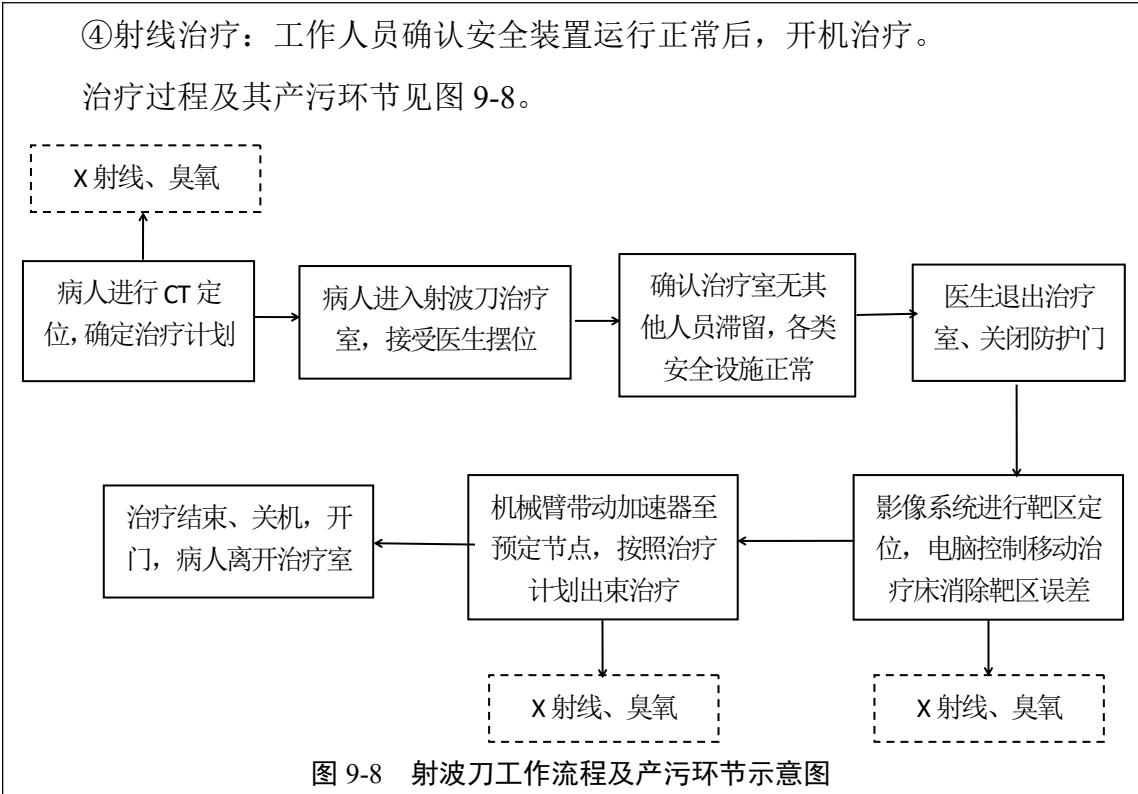
设备名称	射波刀
生产厂家	待定
型号	待定
主要参数	X 射线额定能量：6MV
	电子线额定能量：无
	X 射线等中心处最大剂量率：10Gy/min
	电子线等中心处最大剂量率：无
	等中心距地面高度：0.92 m
	最大照射野：6×6cm ²
	源轴距（SID）：0.8m
	泄漏率：1%

3、治疗操作流程

①定位扫描：通过模拟定位 CT 对病变部位进行扫描，用于确定肿瘤的精确位置。

②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靶区定位：患者平卧并固定在治疗床上，医务人员退出机房，关闭好防护门。影像系统采集靶区的实时影像，并与治疗计划系统的治疗影像进行比对，找到靶区方位误差。工作人员通过电脑操作，移动治疗床，使实时影像与治疗影像完全拟合。



二、运行期正常工况污染源分析

1、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、PET/CT、SPECT 产生的最大 X 射线能量分别为 125kV、150kV、140kV、140kV，不开机状态不产生辐射。

(2) 固体废物

在进行介入治疗时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。

2、核医学科污染源分析

(1) 电离辐射

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

(2) 废水

本项目涉及使用的非密封放射性物质包括：氟-18、锝-99m 和钼-99。钼-99 为淋洗制备锝-99m，自身不产生放射性废水；氟-18、锝-99m 显像诊断病人由于用药量较小，且用药后均不需要进行住院观察，仅需进行短时间的留观，留观结束后可以直接出院，因此主要考虑病人留观期间产生的少量清洗和排泄废水，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。本项目核医学科放射性废水产生情况见表 9-3。

表 9-3 核医学科放射性废水排放汇总表

核素名称	半衰期	产生来源	用水量 (L/d·人)	排放量 (L/d·人)	日最大病 人数 (人)	日产生量 (L/d)
^{18}F	109.7min	排泄、清洗	20	20	40	800
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	排泄、清洗	20	20	30	600
合计						1400

(3) 固体废物

氟-18、锝-99m 显像诊断病人采取注射的方式进行给药，产生的固废废物包括：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，年产生量约 50 个。本项目核医学科废气排风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 100kg/a。

根据前述分析，放射性固废产生情况见表 9-4。

表 9-4 核医学科放射性固废汇总表

核素名称	产生来源	产生量 (g/ d·人)	日最大病人 数 (人)	日产生量 (kg/d)
^{18}F	一次性注射器、口罩、手套、药瓶以及擦拭废物等	50	40	2
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	一次性注射器、口罩、手套、药瓶以及擦拭废物等	50	30	1.5
^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	废弃的钼锝发生器	50 个/年	/	/
^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	废活性炭过滤器	100kg/a	/	/
合计				3.5

(4) 废气

本项目涉及使用的非密封放射性物质包括：氟-18、锝-99m 和钼-99。钼-99 为固态非挥发性核素，不考虑废气。氟-18、锝-99m 均采用负压瓶进行密封储存，在带有通风装置的通风橱内分装，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，在整个过程中氟-18 和锝-99m 核素气溶胶挥发量极少，故本次评价，氟-18 和锝-99m 挥发量按 0.01%保守估算，经计算，各核素排放源强见表 9-5。

表 9-5 核医学科放射性废气排放量汇总表

核素	日最大操作量 (Bq)	排放系数	日最大排放量 (Bq)
^{18}F	2.22×10^{10}	0.01%	2.22×10^6
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	3.33×10^{10}	0.01%	3.33×10^6

(5) 噪声

本项目主要噪声源是通排风系统风机产生的噪声。非密封放射性物质工作场所为风机进行换气，风机工作时噪声源强最大为 65dB(A)。

3、医用电子直线加速器、射波刀污染源分析

(1) 电离辐射

①X 射线

医用电子直线加速器：本项目医用电子直线加速器加速粒子为电子，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。10MV 医用电子直线加速器最大 X 射线能量为 10MV，X 射线最大空气吸收剂量率为 22Gy/min，最大电子线能量均为 22MeV，电子线最大空气吸收剂量率为 22Gy/min。电子线和 X 射线是随机器的开关而产生和消失的。

射波刀：在开机时，高能电子束与靶物质相互作用会产生韧致辐射(X 射线)，由于 X 射线的贯穿能力极强，会对周围环境造成辐射污染，因此，在射波刀开机时间内，X 射线为主要辐射环境污染因素。本项目射波刀最大 X 射线能量为 6MV，X 射线最大空气吸收剂量率为 10Gy/min，无电子束治疗功能。

②光中子

医用电子直线加速器：当 10MV 医用电子直线加速器采用电子线治疗时，平均光子能量约 8MeV（即大部分光子能量份额在 8MeV 左右），但最大光子能量可达到 10~24MeV，这部分高能光子打到高原子序数的材料上发生（ γ , n）反应产生中子，由于 10~24MeV 光子占整个光子能量的份额较小，产生的中子很少，可以不考虑。

（2）废气

本项目医用电子直线加速器、射波刀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，对环境的影响很小，本次主要考虑臭氧。

（3）废水

本项目医用电子直线加速器、射波刀使用的冷却水均循环使用不外排；工作人员产生少量生活废水。

（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，该放射性固废一般只有在检修的过程中才可能会产生，产生量约 20kg/a。一般医用电子直线加速器靶头材料组成核素包括：铁、铜、铅等，其光核反应特性如下：

表 9-6 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 9-6，本项目医用电子直线加速器光子能量为 10MeV，最大光子能量可达到 10~24MeV，靶头可能产生的感生放射性核素包括：铁-53，铜-64、铅-203 等。

(5) 噪声

机房通排风系统工作时将产生一定的噪声，噪声源强约为 65dB(A)。

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 X 射线、 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、场所辐射安全与防护措施

（一）DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机辐射防护措施

1、设备固有安全性

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

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

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

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

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

（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 10-1 所列要求。

表 10-1 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 射线机	标称 125kV 以上的摄影机房	20	3.5	3	2

本项目 X 射线机机房设计情况见表 10-2。

表 10-2 X 射线装置各机房屏蔽状况

工作场所	有效使用面积	长×宽	墙体	屋顶和地板	防护门	观察窗
1#DSA 机房	45.4m ²	长 7.7m×宽 5.9m	37cm 实心砖 (约 4mm 铅当量)	均为 25cm 厚钢筋混凝土 (约 3.3mm 铅当量)	4mm 铅当量	4mm 铅当量铅玻璃
2#DSA 机房	45.4m ²	长 7.7m×宽 5.9m				
3#DSA 机房	59.6m ²	长 10.1m×宽 5.9m				
ERCP 机房	38.1m ²	长 6.8m×宽 5.6m				
PET/CT 机房	42.6m ²	长 8.03m×宽 5.3m	37cm 实心砖 (约 4mm 铅当量)	均为 25cm 厚钢筋混凝土 (约 3.3mm 铅当量)	8mm 铅当量	8mm 铅当量铅玻璃
SPECT/CT 机房	43.1m ²	长 7.99m×宽 5.4m		均为 24cm 厚钢筋混凝土 (约 3.2mm 铅当量)	3mm 铅当量	3mm 铅当量铅玻璃

根据表 10-1 和表 10-2 对照, 本项目所使用的 X 射线装置机房的设计屏蔽状况均满足《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

本项目 DSA 机房、ERCP 机房、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房内控制电缆采用 U 型穿墙, 同时在电缆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、介入过程屏蔽防护措施

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）、《环境保护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、SPECT/CT、PET/CT 机房具体布置情况见表 10-3。

表 10-3 DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机 SPECT/CT、PET/CT 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×4 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。	1 套×4 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×4 间

（二）核医学科辐射防护措施

1、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 10-4。

表 10-4 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 10-5 和 10-6。

表 10-5 本项目核医学常用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	100
B	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	1

表 10-6 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 10-4~10-6，本项目各核素权重活度计算结果见表 10-7。

表 10-7 核医学科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
SPECT 储源室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	3.33×10^{10}	100	1	3.33×10^8	3.73×10^4	II
	^{99}Mo	3.70×10^{10}	100	100	3.70×10^{10}		
PET 储源室	^{18}F	6.66×10^{10}	100	1	6.66×10^8	6.66×10^2	II
SPECT 注射室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	3.33×10^{10}	1	1	3.33×10^{10}	3.33×10^4	II
SPECT 分装室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	3.33×10^{10}	1	1	3.33×10^{10}	7.03×10^4	I
	^{99}Mo	3.70×10^{10}	100	100	3.70×10^{10}		
PET 分装室、PET 注射室	^{18}F	2.22×10^{10}	1	1	2.22×10^{10}	2.22×10^4	II
PET/MRI 机房、PET/CT 机房、PET 留观区、PET 注射等候室 1/2、PET 留观室 1/2、	^{18}F	2.22×10^{10}	10	1	2.22×10^9	2.22×10^3	II
SPECT 机房、SPECT 注射等候区、SPECT 留观区、平板测试间	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	3.33×10^{10}	10	1	3.33×10^9	3.33×10^3	II
抢救室	^{18}F	2.22×10^{10}	10	1	2.22×10^9	5.55×10^3	II
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	3.33×10^{10}	10	1	3.33×10^9		

放射性废物暂存间	¹⁸ F	2.22×10 ¹⁰	10	1	2.22×10 ⁹	5.55×10 ³	II
	^{99m} Tc	3.33×10 ¹⁰	10	1	3.33×10 ⁹		

根据表 10-7 计算结果,可以得出不同级别工作场所室内防护要求,见表 10-8。

表 10-8 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	SPECT 分装室	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	SPECT 储源室、PET 储源室、SPECT 注射室、PET 注射室、PET 分装室、PET/MRI 机房、PET/CT 机房、SPECT 机房、PET 注射等候室 1/2、SPECT 注射等候区、PET 留观区、PET 留观室 1/2、SPECT 留观区、抢救室、平板测试间、放射性固废间	易清洗且不易渗	易清洗	需要 (风速不小于 1m/s)	有较好通风	一般要求	需要

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, 通过计算分析, 本项目核医学科 SPECT 分装室需达到 I 级场所防护要求; SPECT 储源室、PET 储源室、SPECT 注射室、PET 注射室、PET 分装室、PET/MRI 机房、PET/CT 机房、SPECT 机房、PET 注射等候室 1/2、SPECT 注射等候区、PET 留观区、PET 留观室 1/2、SPECT 留观区、抢救室、平板测试间、放射性固废间需达到 II 级场所防护要求。

根据场所各级防护要求, 本项目核医学科具体设计情况见表 10-9。

表 10-9 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
核医学科	地面采用 PVC 地面, 墙面与地面交接作圆角处理, 地面全部敷设易去污并可以拆除更换的材料, 其边缘应高出地面 15~25cm, 且地面光滑, 并具有易去污, 受辐照后不易老化, 且防水。	SPECT 分装室、PET 分装室操作台设置易清洗不锈钢台面	SPECT 分装室、PET 分装室内各设置 1 套通风橱, 风速大于 1m/s	已设计独立排风系统, 并引至 1#楼屋顶排放	已设计独立下水系统, 连接至 1#楼负二层并联衰变池	拟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由相应资质的单位进行设计，房间的四周及屋顶均修建相应的屏蔽体对射线进行有效的屏蔽，屏蔽状况见表 10-10。

表 10-10 核医学科房间防护情况一览表

工作场所	墙体		屋顶和地板	门	窗/通风橱
SPECT 储源室	东侧	240 mm 实心砖	120mm 钢筋混凝土	2mm 铅当量铅门	2mm 铅当量防护窗
	南侧	240mm 实心砖			
	西侧	240mm 实心砖			
	北侧	240 mm 实心砖			
SPECT 分装室	东侧	240mm 实心砖	120mm 钢筋混凝土	2mm 铅当量铅门	5mm 铅当量通风橱
	南侧	240 mm 实心砖			
	西侧	240 mm 实心砖			
	北侧	120 mm 实心砖			
SPECT 注射室	东侧	240 mm 实心砖	120mm 钢筋混凝土	2mm 铅当量铅门	2mm 铅当量注射窗
	南侧	240 mm 实心砖			
	西侧	240 mm 实心砖			
	北侧	240 mm 实心砖			
平板测试间	东侧	240 mm 实心砖	120mm 钢筋混凝土	2mm 铅当量铅门	/
	南侧	240 mm 实心砖			
	西侧	240 mm 实心砖			
	北侧	240 mm 实心砖			
SPECT 注射等候区	东侧	370 mm 实心砖	120mm 钢筋混凝土	2mm 铅当量铅门	/
	南侧	240 mm 实心砖			
	西侧	240 mm 实心砖			
	北侧	370 mm 实心砖			
SPECT/CT 机房	东侧	370 mm 实心砖	240mm 钢筋混凝土	3mm 铅当量铅门	3mm 铅当量防护窗
	南侧	370 mm 实心砖			
	西侧	370 mm 实心砖			
	北侧	370 mm 实心砖			
SPECT 留观区	东侧	240 mm 实心砖	120mm 钢筋混凝土	2mm 铅当量铅门	/
	南侧	370 mm 实心砖			
	西侧	120 mm 实心砖			
	北侧	240 mm 实心砖			
放射性固废暂存间	东侧	120 mm 实心砖	180mm 钢筋混凝土	3mm 铅当量铅门	/
	南侧	370 mm 实心砖			
	西侧	120 mm 实心砖			
	北侧	240 mm 实心砖			
抢救室	东侧	240 mm 实心砖	240mm 钢筋混凝土	东侧（SPECT 留观区）：8mm 铅当量铅门；	/
	南侧	370 mm 实心砖			
	西侧	120 mm 实心砖			

	北侧	370mm 实心砖		东侧（缓冲区）： 13mm 铅当量铅门； 西侧：8mm 铅当量 铅门	
PET 储源室	东侧	300mm 混凝土	180mm 钢筋混凝土	18mm 铅当量防护门	18mm 铅当量防护窗
	南侧	300mm 混凝土			
	西侧	370mm 实心砖			
	北侧	300mm 混凝土			
PET 分装室	东侧	370mm 实心砖	240mm 钢筋混凝土	23mm 铅当量防护门	45mm 铅当量通风橱
	南侧	370mm 实心砖			
	西侧	370mm 实心砖			
	北侧（储源室）	300mm 混凝土			
	北侧（缓冲区）	370mm 实心砖			
PET 注射室	东侧	120mm 实心砖	240mm 钢筋混凝土	东侧：8mm 铅当量 防护门； 北侧：23mm 铅当 量防护门	40mm 铅当量注射窗
	南侧	240mm 实心砖			
	西侧	370mm 实心砖			
	北侧	370mm 实心砖			
PET 注射等候室 2	东侧	350mm 混凝土	240mm 钢筋混凝土	8mm 铅当量防护门	/
	南侧	350mm 混凝土			
	西侧	120mm 实心砖			
	北侧	360mm 混凝土			
PET 注射等候室 1	东侧	400mm 混凝土	300mm 钢筋混凝土	2mm 铅当量防护门	/
	南侧	360mm 混凝土			
	西侧	240mm 实心砖			
	北侧	450mm 混凝土			
PET/CT 机房	东侧	370mm 实心砖	250mm 钢筋混凝土	8mm 铅当量防护门	8mm 铅当量防护窗
	南侧	370mm 实心砖			
	西侧	370mm 实心砖			
	北侧	370mm 实心砖			
PET/MR 机房	东侧	370mm 实心砖	250mm 钢筋混凝土	南侧：3mm 铅当量 防护门； 北侧：8mm 铅当量 防护门	8mm 铅当量防护窗
	南侧	370mm 实心砖			
	西侧	370mm 实心砖			
	北侧	370mm 实心砖			
PET 留观区	东侧	370mm 实心砖	300mm 钢筋混凝土	东侧：6mm 铅当量 防护门； 西侧：17mm 铅当 量防护门	/
	南侧	350mm 混凝土			
	西侧	400mm 混凝土			
	北侧	300mm 混凝土			
PET 注射等候区	东侧	240mm 实心砖	250mm 钢筋混凝土	6mm 铅当量防护门	/
	南侧	300mm 混凝土			
	西侧	370mm 实心砖			

	北侧	370mm 实心砖			
PET 留观室 1	东侧	120mm 实心砖	300mm 钢筋混凝土	12mm 铅当量防护门	/
	南侧	200mm 实心砖			
	西侧	400mm 混凝土			
	北侧	300mm 混凝土			
	东侧	370mm 实心砖			
PET 留观室 2	南侧	200mm 实心砖	300mm 钢筋混凝土	12mm 铅当量防护门	/
	西侧	120mm 实心砖			
	北侧	300mm 混凝土			
	东侧	370mm 实心砖			

根据表 10-10，核医学科辐射防护设计满足《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）防护要求。

（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》（GB13172-2009），其屏蔽防护体厚度为 27mm 贫铀+15mm 铅。订购的钼铈发生器由生产厂家先转运至 SPECT 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 放射药物外购时其自身带有屏蔽层，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 放射性药物直接转入 PET 储源室的双人双锁保险柜中，该储源室内设置 30mm 铅当量的双人双锁储源铅柜，使用时由专人转入 PET 分装室的通风橱进行分装操作，对于未使用完的放射性药物仍转入 PET 储源室的双人双锁保险柜中。

PET 储源室和 SPECT 储源室均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。

（3）放射性药品操作过程防护措施

①氟-18 的分装操作均在 PET 分装室的通风橱内完成，该通风橱设置有 45mm 铅当量防护层，操作窗为 45mm 铅当量铅玻璃，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 铅当量的铅玻璃注射窗。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。

②钨-99m 的分装操作均在 SPECT 分装室的通风橱内完成，该通风橱设置有 5mm 铅当量防护层，操作窗为 5mm 铅当量铅玻璃，分装后的钨-99m 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 2mm 铅当量的铅玻璃注射窗。操作过程中产生的放射性废物采用 2mm 铅当量铅桶收集屏蔽，然后每天转入放射性固废暂存间内 2mm 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	通风橱	45mm	1 套
	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	3 套
SPECT	通风橱	5mm	2 套
	注射窗	2mm	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	2mm	2 个
	放射性固废暂存容器	2mm	2 个
	储源柜	5mm	1 个
	铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾	0.5mm	3 套

(4) 表面沾污防治措施

①针对放射性核素的分装操作（特别是易挥发的药物）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 PVC 地面，墙面与地面交接作圆角处理，地面全部敷设易去污并可以拆除更换的材料，其边缘应高出地面 15~25cm，且地面光滑，并具有易去污和防渗能力（渗透系数 $\leq 10^{-10}$ cm/s）。

③对于放射性核素的分装过程中应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料，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。

（三）射波刀、医用电子直线加速器辐射防护措施

1、设备固有安全性

①控制台上应有辐射类型、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、机房屏蔽设计

(1) 主体结构屏蔽设计

表 10-12 各机房屏蔽状况

工作场所	有效使用面积	机房净空长×宽×高	墙体	屋顶	迷道	防护门
医用电子直线加速器机房	102m ²	长 10.1m×宽 10.1m×高 5.3m	机房北侧墙体与射波刀机房共用，其主屏蔽区厚 3.3m（宽 4.5m），相连次屏蔽区厚 2.5m；南侧主屏蔽区厚 2.9m（宽 4.5m），相连次屏蔽区厚 1.8m；西侧屏蔽体厚 1.7m。	主屏蔽区厚 2.9m（宽 4.5m），相连次屏蔽区厚 1.8m	长 10.1m、宽 2.1m 的“Z 型”迷道，迷道内墙厚 1.6m，迷道外墙厚 1.4m	15mm 铅当量+77mm 含硼聚乙烯
射波刀机房	82.7m ²	长 9.4m×宽 8.8m×高 4.2m	北侧墙体厚 2.5~2.9m，南侧墙体（与直加机房共用）厚 2.5~3.3m，西侧墙体厚 2.5m。	2.9m 厚混凝土	长 9.8m、宽 2.1m 的“Z 型”迷道，迷道内墙 0.9~2.6m，迷道外墙厚 0.9~2.4m	15mm 铅当量+77mm 含硼聚乙烯

根据建设单位提供资料，2 间机房主体结构屏蔽材料均为普通混凝土，密度为 2.35t/m³，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，防护门两侧铅板搭接宽度应大于门缝宽度 10 倍以上。

(2) 穿墙屏蔽设计

本项目直线加速器、射波刀机房控制电缆均布设于电缆沟内，电缆沟均采用 U 型穿墙；进风和排风管均以斜向 45°角穿过机房防护门上方墙体，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。如图 10-2 和图 10-3 所示。

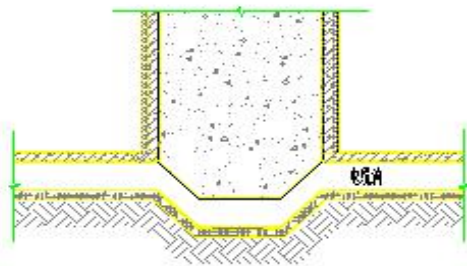


图 10-2 电缆 U 型迷路穿墙示意图

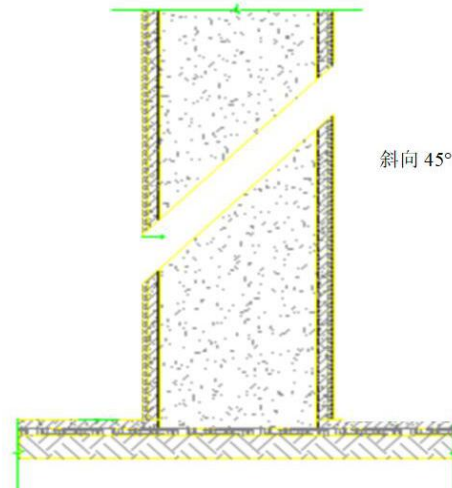


图 10-3 进风及排风穿墙示意图

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）、《环境保护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射波刀机房内具体安全装置布置情况见表 10-13。

表 10-13 医用电子直线加速器机房和射波刀机房安全装置布置表

安装装置	作用及安装要求	直线加速器机房配置数量	射波刀机房配置数量
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，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。	1 套	1 套
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
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。	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

紧急开门按钮	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	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
语音播报及对讲装置	机房内设置语音广播系统，在准备束束时进行语音提示，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

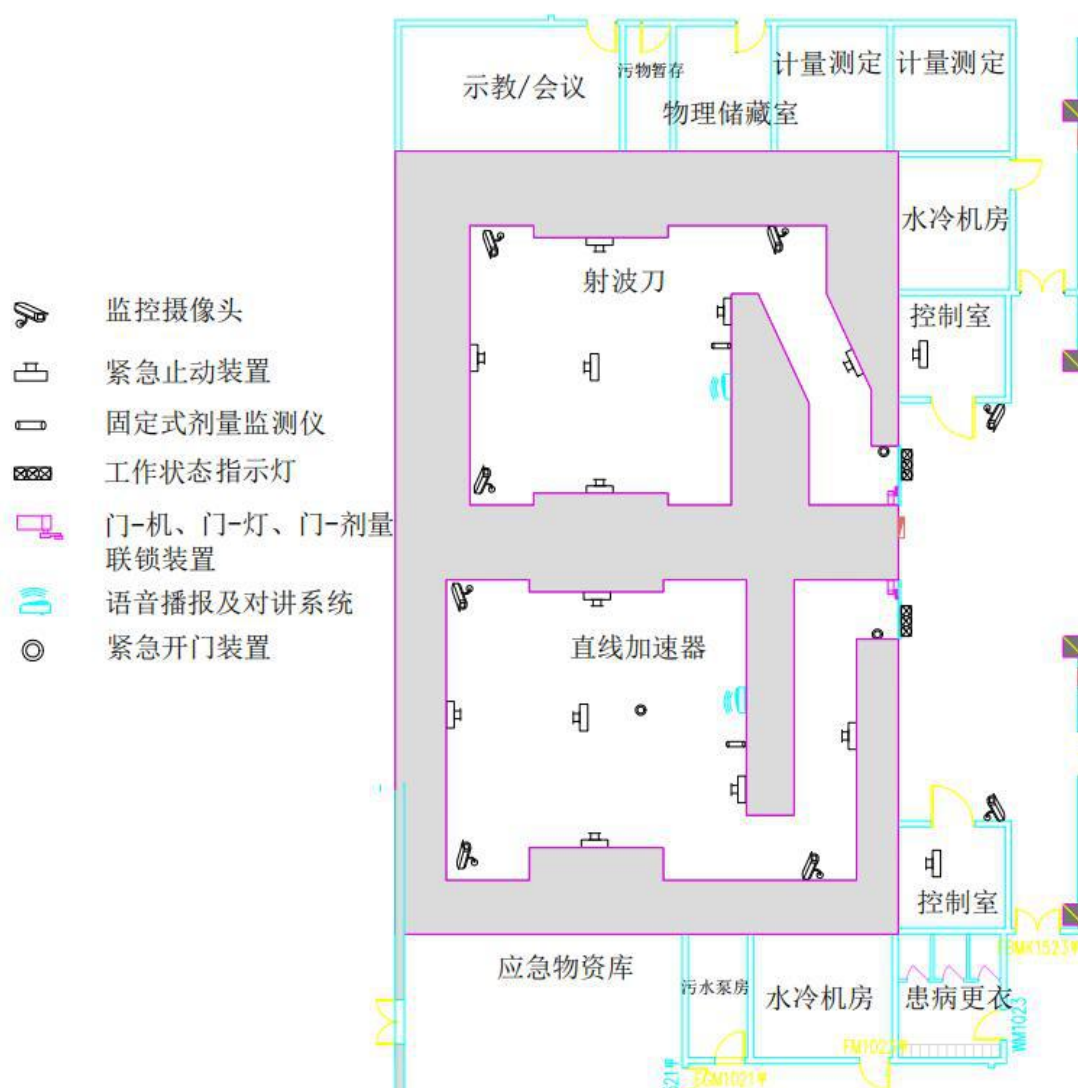


图 10-2 医用电子直线加速器机房、射波刀机房安全装置布置图

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示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。

二、辐射防护安全装置/设备

1、辐射防护安全装置配备综合要求

为防止发生辐射事故，根据《环境保护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）中对医用II类射线装置和乙级非密封放射性物质工作场所辐射防护安全装置的要求，本次评价根据建设单位采取的辐射安全装置及设备进行了对照分析，具体情况见表 10-14。

表 10-14 辐射安全装置配置要求汇总对照分析表

1、医用电子直线加速器、射波刀				
序号	项目	规定的措施	落实情况	备注
1	控制台及安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	设备自带	/
2		控制台有紧急停机按钮	设备自带	/
3		电视监控与对讲系统	/	拟配置
4		治疗室门与束流联锁（门-机联锁）	/	拟配置
5		治疗室内准备出束音响提示	/	拟配置
6	警示装置	入口电离辐射警示标志	/	拟配置
7		入口有加速器工作状态显示（门-灯联锁）	/	拟配置
8	照射室紧急设备	迷道入口处设置紧急开门按钮并配备中文说明	/	拟配置
9		治疗室及迷道有紧急停机按钮并配备中文说明	/	拟配置
10		治疗床有紧急停机按钮	设备自带	/
11	监测设备	治疗室内固定式剂量报警仪（门-剂量联锁）	/	拟配置
12		个人剂量报警仪	/	拟配置
13		个人剂量计	/	拟配置
14		便携式 X-γ辐射监测仪	/	拟配置
2、DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机				
序号	项目	规定的措施和制度	落实情况	备注
1	场所设施	铅防护吊屏、床下铅围裙	设备自带	/
2		铅衣、铅围裙、铅眼镜等个人防护用品	/	拟配置
3		患者局部防护	/	拟配置
4		观察窗屏蔽	已设计有	/
5		机房防护门窗	已设计有	/
7		治疗室内准备出束音响提示	/	拟配置

8	监测设备	入口处电离辐射警示标志	/	拟配置
9		入口处工作状态显示	/	拟配置
10		个人剂量计	/	拟配置
11		便携式 X-γ辐射监测仪	/	拟配置
3、SPECT/CT、PET/CT				
序号	项目	规定的措施和制度	落实情况	备注
1	场所设施	患者局部防护	/	拟配置
2		观察窗屏蔽	已设计有	/
3		机房防护门窗	已设计有	/
4		治疗室内准备出束音响提示	/	拟配置
5		入口处电离辐射警示标志	/	拟配置
6		入口处工作状态显示	/	拟配置
7	监测设备	个人剂量计	/	拟配置
8		便携式 X-γ辐射监测仪	/	拟配置
4、乙级非密封放射性物质工作场所				
序号	项目	规定的措施和制度	落实情况	备注
1	场所设施	明确的监督区、控制区划分和标识	/	拟设置
2		场所门外电离辐射警示标志	/	拟设置
3		独立的通风设施（流向）	已设计有	/
4		有负压和过滤的工作箱/通风柜	/	拟配置
5		治疗病房病人之间防护	/	拟配置
6		注射屏蔽	/	拟配置
7		易去污的工作台和防污染覆盖材料	/	拟配置
8		移动放射性液体时容器不易破裂或有不易破裂的套	/	拟配置
9		病人专用卫生间	已设计有	/
10		放射性同位素暂存或设施	已设计有	/
11		放射性固体废物收集容器和放射性标识	/	拟配置
12		安全保卫设施（储存场所）	已设计有	/
13	监测设备	便携式 X-γ辐射监测仪	/	拟配置
14		β表面沾污仪		拟配置
15		个人剂量计	/	拟配置
16		个人剂量报警仪	/	拟配置
17		放射性活度计	/	拟配置
18	三废	放射性下水系统及标识	已设计有	拟配置
19		放射性固体废物暂存间（设施）	已设计有	/
20		废物暂存间屏蔽措施	已设计有	/
21		废物暂存间通风系统	已设计有	/
22	防护器材	铅衣、铅围裙、铅眼镜等个人防护用品	/	拟配置
23		放射性表面去污用品和试剂	/	拟配置
24		灭火器材	/	拟配置

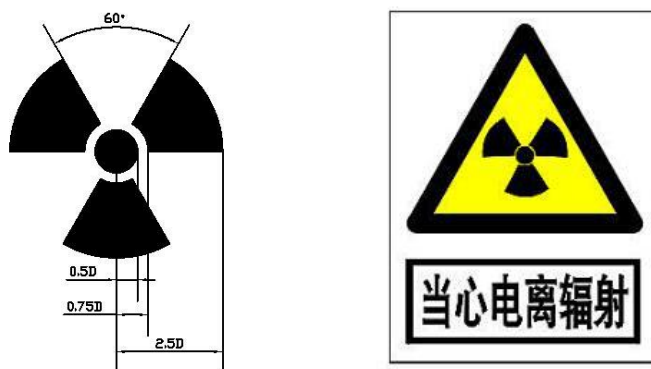


图 10-3 电离辐射标志和电离辐射警告标志

三、工作区域管理

为加强辐射工作场所的辐射安全管理，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安全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 10-15。

表 10-15 控制区和监督区划分

工作场所	控制区	监督区	备注
核医学科	SPECT 储源室、PET 储源室、SPECT 注射室、PET 注射室、SPECT 分装室、PET 分装室、PET/MRI 机房、PET/CT 机房、SPECT 机房、PET 注射等候室 1、PET 注射等候室 2、SPECT 注射等候区、PET 留观区、PET 留观室（2 间）、SPECT 留观区、抢救室、平板测试间、放射性固废间、保洁 1、PET 病卫、SPECT 病卫、衰变池	SPECT/CT 控制室、PET/MRI 控制室、PET/CT 控制室、清洁间、MRI 设备间、PET/CT 设备间、缓冲区、淋洗间（2 间）等	控制区内禁止外来人员进入，职业工作人员在进行日常工作时候尽量减小在控制区内居留时间，且介入手术医护人员必须穿戴防护用品进行手术，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，新建衰变池所在位置应进行隔离，防止无关人员进入。并张贴电离辐射警示标志。
放疗科	10MV 医用电子直线加速器机房、射波刀机房	配套的控制室	
手术室	1#、2#、3#DSA 机房	配套的控制室	
内镜中心	ERCP 机房	配套的控制室	

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	核医学科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），本项目核医学科区域禁止储存易燃、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	本项目核医学科距离地表水体距离较远，不受地表水体影响，同时整个核医学科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整个核医学科控制区进行封闭管理，并设有门禁系统，非相关人员不能直接进入核医学科内。 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整个核医学科控制区设置严密的监控系统，实行 24h 实施监控，并将核医学科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，出厂时由厂家根据建设单位所需各类药物活度和用量的不同，分别采用不同防护规格的铅罐密闭包装，铅罐表面剂量满足标准要求，且用完后的空铅罐经表面去污处理后放置于储源室内待厂家进行回收； ②核医学科非密封放射性物质工作场所均采取有效的实体屏蔽措施，能够达到《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）中的Ⅱ级工作场所的要求； ③核医学科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；建设单位还自行配备便携式γ辐射监测仪及β表面沾污仪，并进行定期或不定期场所监测，发现异常及时查明原因并进行处置。
射线装置	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类射线装置均购置于正规厂家，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》（GBZ131-2016）； 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 2.5μSv/h 标准要求。
--	--	---

三废的治理

一、废气治理措施

1、射线装置机房废气治理措施

本项目射线装置机房废气主要为臭氧，为有效清除射线装置机房内臭氧，各射线装置机房均设置有通排风系统，其中放疗中心机房设置 1 套独立排风系统，通过独立管道引至 1#楼楼顶排放，其他射线装置机房均也设置排风管道引至所在 1#楼楼顶排放。其通排风量见表 10-17。

表 10-17 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)	新风量 (m ³ /h)	备注
1	放疗科	10MV 医用电子直线加速器机房	4450	3900	换气次数：12 次/小时，并设置独立排风管道引至 1#楼屋顶排放。
2		射波刀机房	4050	3900	
3	手术室	1#、2#、3#DSA 机房	200	300	DSA 机房另设置独立事故排风系统，排风量：1100m ³ /h。
4	内镜中心	ERCP 机房	1650	1800	/

本项目射线装置机房排风管道最终引至 1#楼楼顶排放，排风口高度约 78.7m，高于 1#楼屋面（楼高 75.7m），且不朝向周围高层建筑及周围环境保护目标。

2、核医学科废气治理措施

本项目核医学科控制区设置有通排风系统，控制区各功能房间新风及排风量见表 10-18。

表 10-18 核医学科主要功能房间通排风量一览表

序号	功能房间	排风量 (m ³ /h)	新风量 (m ³ /h)	备注
1	SPECT/CT 机房	1600	1500	换气次数：8 次/h，设置独立排风管道+后置活性炭过滤器，过滤效率大于 99%，引至 1#楼屋顶排放。
2	SPECT 注射等候区	1000	500	①换气次数：6 次/h，设置独立排

3	平板测试间	400	120	风管道+后置活性炭过滤器, 过滤效率大于 99%, 引至 1#楼屋顶排放; ②SPECT 分装室另设置独立通风橱, 设置前置活性炭过滤器+独立排风管道+后置活性炭过滤器, 总过滤效率大于 99%, 引至 1#楼屋顶排放。
4	SPECT 分装室	200	80	
5	SPECT 注射室	90	80	
6	SPECT 留观区	650	180	
7	放射性废物暂存间	350	/	
8	抢救室	350	180	换气次数: 8 次/h, 设置独立排风管道+后置活性炭过滤器, 过滤效率大于 99%, 引至 1#楼屋顶排放。
9	SPECT 储源室	90	/	
10	PET/CT 机房	1700	1500	
11	PET/MRI 机房	2000	1600	
12	PET 注射等候室 1	200	80	
13	PET 注射等候室 2	850	600	①换气次数: 6 次/h, 设置独立排风管道+后置活性炭过滤器, 过滤效率大于 99%, 引至 1#楼屋顶排放; ②PET 分装室另设置独立通风橱, 设置前置活性炭过滤器+独立排风管道+后置活性炭过滤器, 总过滤效率大于 99%, 引至 1#楼屋顶排放。
14	PET 分装室、PET 注射室	90	80	
15	PET 储源室	90	/	
16	PET 留观室 (2 间)	200	70	
	合计	9860	/	/

本项目核医学科控制区内各非密封放射性物质工作场所共独立设置 6 条独立排风管道, 且 SPECT 分装室和 PET 分装室内设置有通风橱, 该通风橱在半开的条件下风速不小于 1m/s, 并保持通风橱内负压环境, 保持由外向内的空气流通。核医学科 6 个独立排风管道最终均引至 1#楼顶排放, 排风口高度均为 78.7m, 高于 1#楼屋面 (楼高 75.7m), 排口不朝向周围高层建筑及周围环境保护目标。同时为防止公众进入楼顶避免不必要的误照射, 建设单位应将 1#楼楼顶划为管控区域, 并进行封闭管理。

为保证过滤效率的有效性, 建设单位需根据设备特性定期进行过滤器维护和校准, 每半年对过滤器的过滤效率进行校核, 如果有必要需每半年进行一次更换, 以防止过滤器失效, 造成放射性污染事故, 且更换下的过滤器需作为放射性固废进行管理和处理。

二、固体废弃物处理措施

1、放射性固废处理措施

本项目核医学科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、封装药物的铅罐和使用过的钼铯发生器等，涉及的放射性核素为：氟-18、铟-99m。本项目 SPECT 分装室、PET 分装室、SPECT 注射室、PET 注射室内均设置有放射性固废收集桶，用于分核素种类收集产生的放射性固废，到达一定量时转入放射性固废暂存间进行暂存衰变，建设单位应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，钼铯发生器交由生产厂家回收处理。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由生产厂家回收。根据《医用放射性废物的卫生防护管理》（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废物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，衰变 10 个半衰期后经监测达标（ 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、放射性废水

（1）放射性废水产生量

本项目放射性废水主要来自于病人的排泄废水和清洗废水，本项目核医学科设置有独立的病人专用卫生间，且设置有独立的排水系统，并与衰变池相连。该衰变池位于 1#楼负二层中部衰变池机房内，大部分下水管道位于建筑体内，对于少部分外露管道将采取 3mm 铅皮进行管道包裹，尽量减小对公众的辐射影响。

根据污染源分析，核医学科单日最大放射性废水产生量约 1.4m^3 ，放射性废水核素组成包括：氟-18 ($0.8\text{m}^3/\text{d}$)、锝-99m ($0.8\text{m}^3/\text{d}$)，本次评价以半衰期时间相对较长的锝-99m (10 个半衰期 60.2h) 核素来核算衰变池容积的有效性，经核算核医学科锝-99m 的 10 个半衰期废水产生量为 3.5m^3 。

(2) 放射性废水治理措施

本项目拟设置 1 个单独的 3 格并联衰变池，每格容积 5m^3 ，有效容积共 15m^3 ，每格均设置取样口。本项目放射性废水由单独的排水系统排放至衰变池，停留 10 个半衰期进行衰变，监测达标 (总 β 排放标准 10Bq/L) 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入市政污水管网。

(3) 衰变池设置合理性分析

本项目衰变池为钢筋混凝土结构，厚度 300mm，混凝土抗渗等级 P6，抗渗混凝土的配合比严格按照《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ55-2000) 中的要求执行。衰变池为 3 格衰变池，每格容积 5m^3 ，有效容积共 15m^3 。每格池子进水口和出水口均有阀门控制，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#池废水装满时采取同样的操作方式进行封闭衰变，依次类推，衰变池每格设计容量 (5m^3) 均大于本项目使用核素 10 个半衰期 (按 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的 10 个半衰期计) 废水排放量 (3.5m^3)，且能满足排放口废水总放射性达标，故衰变池设计合理。

同时为保障该衰变池的长效可靠运行还需采取如下管理措施：

①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；②衰变池及衰变池机房需设立明显的电离辐射警告标志，并安排专人管理；③为防止衰变池过满溢出，需在每格衰变池设置液位计，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，使废水进入另外的池体；④每个衰变池已设计预留监测采样口，当各个池内废水衰变 10 个半衰期后通过预留的监测口进行取样监测，监测达标

后（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；⑤衰变池应作为重点防渗区进行管理，其防渗系数需满足等效黏土防渗层 $M_b \geq 6.0\text{m}$ ，渗透系数 $K \leq 10^{-7}\text{cm/s}$ 。

2、非放射性废水

本项目 10MV 医用直线加速器、射波刀不产生医疗废水和放射性废水，只医护人员产生少量生活污水，依托医院污水处理设施处置。直线加速器和射波刀冷却系统采用去离子蒸馏水，内循环使用，不会产生感生放射性废水，加速器设备自带水流量监测开关，当加速器中的大功率负载等的冷却水流量不满足要求时，加速器将自动切断高压电源，由于蒸发耗损，需要补充去离子蒸馏水时由厂家派专人补充。

本项目 DSA 和 ERCP 采用数字成像，无废显、定影液产生，无需相关治理措施，医护人员产生的生活污水依托医院拟建的污水处理设施处置。

四、噪声处理措施

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机、空调。本项目均拟选用低噪设备，风机工作时噪声源强最大为 65dB(A)。通排风系统拟采用低噪声风机并设置减振降噪装置，且加上建筑物墙体的隔声作用及医院场址内的距离衰减，噪声较小，无需采用专门的降噪措施。

五、射线装置报废处理

根据《四川省辐射污染防治条例》，“射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化”。报废后需确保射线装置不能正常通电，防止二次使用造成人员误照射，医用电子直线加速器和射波刀进行报废处理时，需将靶头交由生产厂家回收处理或交由有资质的单位进行处理。

六、环保措施及其投资估算

本项目总投资 14000 万元，环保投资 319.7 万元，占总投资的 2.28%。项目辐射防护措施及其投资估算见表 10-19。

表 10-19 辐射防护设施（措施）及投资估算一览表

1、核医学科					
项目	设施（措施）		数量	金额 （万元）	备注
辐射屏蔽措施	核医学科屏蔽房间 （墙体、地板、楼板、门、窗屏蔽）		/	/	纳入主体工程范围
	PET	通风橱（45mm 铅当量）	1 套	10.0	/
		注射窗（40mm 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（20mm 铅当量，双人双锁）	1 个	4.0	/
	SPECT	通风橱（5mm 铅当量）	1 套	10.0	/
		注射窗（2mm 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（5mm 铅当量，双人双锁）	1 个	4.0	/
个人防护用品	个人剂量报警仪		4 个	0.8	/
	个人剂量计		12人×1 个	1.2	/
	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		6 套	6	/
	污染表面清洗剂		/	0.5	/
放射性废水	控制区独立下水系统及排水管道屏蔽措施		1 套	/	纳入主体工程范围
	3 格并联池衰变池（有效容积 15m ³ ）		1 座	/	
放射性固废	PET	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	/
	SPECT	放射性固废收集桶（2mm 铅当量）	2 个	5.0	/
		放射性固废收集暂存容器（2mm 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	SPECT 储源室、PET 储源室保险柜（双人双锁）各 1 个		2 个	2	/
	SPECT 储源室、PET 储源室红外监控系统各 1 套		2 套	8	/
	SPECT 储源室、PET 储源室固定式剂量报警仪各 1 套		2 套	4	/
	SPECT 储源室、PET 储源室红外报警系统各 1 套		2 套	2	/
	电离辐射警告标识		若干	1	/
	核医学科控制区门禁系统		1 套	10	/
	SPECT/CT、PET/CT 机房操作台紧急止动开关各 1 个		2 个	2	/
通风系	独立通排风系统		1 套	/	纳入主

统				体工程范围
	一级过滤装置	4 套	40	
	两级过滤装置	2 套	20	/
分区管理	场所控制区、监督区划分标识	/	0.1	/
2、直线加速器、射波刀				
辐射屏蔽措施	直线加速器屏蔽机房	1 间	/	纳入主体工程范围
	射波刀屏蔽机房	1 间	/	
	防护门（15mm 铅当量+77 mm 含硼聚乙烯）	2 间×1 扇	10	/
安全装置	治疗室门与束流联锁（门-机联锁）装置	2 间×1 套	10	/
	视频监控系统及对讲装置	2 间×1 套	10	/
	准备出束音响装置	2 间×1 套	2	/
	工作状态指示灯（门-灯联锁）	2 间×1 套	2	/
	紧急开门装置	2 间×1 套	1	/
	紧急止动开关	2 间×1 套	1	/
	固定式剂量报警装置	2 间×1 套	4	/
	入口电离辐射警告标志	2 间×1 个	1	/
个人防护用品	个人剂量计	8 人×1 个	0.8	/
	个人剂量报警仪	2 个	2	/
废气	独立通排风系统	2 间×1 套	/	纳入主体工程范围
分区管理	场所控制区、监督区划分标识	/	0.2	/
3、DSA、ERCP				
辐射屏蔽措施	DSA 屏蔽机房	3 间	/	纳入主体工程范围
	ERCP 屏蔽机房	1 间	/	
	防护铅门（4mm 铅当量）	3 扇间×4 间	12	/
	铅玻璃观察窗（4mm 铅当量）	3 扇间×4 间	4	/
安全装置	工作状态指示灯	1 个间×4 间	4	/
	入口电离辐射警告标志	2 个间×4 间	0.4	/
	床旁及控制台紧急止动开关	2 个间×4 间	/	设备自带
个人防护用品	个人剂量计	23 人×1 个	2.3	/
	个人剂量报警仪	8 个	8	/
	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	3 套间×4 间	6	/
废气	通排风系统	1 套间×4 间	/	纳入主体工程范围

分区分管	场所控制区、监督区划分标识	/	0.4	/
4、综合管理				
监测设备	X-γ辐射剂量率监测仪	1 台	1	/
	β表面沾污仪	1 台	1	/
辐射工作人员上岗培训		52 人	10	/
规章制度上墙		/	7	/
应急和救助的物资准备		/	30	/
合计			319.7	/

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《四川泰康西南医院有限公司四川泰康西南医院建设项目环境影响报告书》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，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、DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机辐射环境影响分析

本项目 DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机机房尚未建成，故对其产生的辐射环境影响采用类比分析结合模式预测的方法进行评价。

1、类比环境影响分析

(1) 类比可行性分析

本次类比选用的是云南省文山壮族苗族自治州人民医院 ALLura Xper FD20 型 DSA 和三亚哈尔滨医科大学鸿森医院 Easy Dignost Eleva 型 ERCP，类比可行性见表 11-1 和表 11-2。

表 11-1 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	10	650
类比 DSA	75	95	12	685
本项目 ERCP	75	78	1.5	320
类比 ERCP	76	78	1.5	500

表 11-2 本项目介入机房及类比机房主要技术参数

项目	本项目 DSA 机房	类比 DSA 机房	比较结果
机房四周墙体	37cm 实心砖 (约 4mm 铅当量)	24cm 厚实心砖墙+2cm 厚硫酸钡防护涂料 (约 3mm 铅当量)	本项目防护水平稍高
屋顶和地板	均为 25cm 厚钢筋混凝土 (约 3.3mm 铅当量)	15cm 混凝土+2cm 厚硫酸钡防护涂料 (3mm 铅当量)	本项目防护水平稍高
防护铅门铅当量	4mm 铅当量	3mm 铅当量防护铅门	本项目防护水平稍高
观察窗铅玻璃铅当量	4mm 厚铅当量玻璃窗	3mm 铅当量玻璃窗	本项目防护水平稍高
机房面积	1#DSA 机房: 45.4m ² 2#DSA 机房: 45.4m ² 3#DSA 机房: 59.6m ²	43m ²	本项目 DSA 机房面积稍大
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
项目	本项目 ERCP 机房	类比 ERCP 机房	比较结果
机房四周墙体	37cm 实心砖 (约 4mm 铅当量)	240mm 厚实心砖+2mm 铅当量硫酸钡涂料 (3.9mm 铅当量)	本项目防护水平稍高
屋顶	均为 25cm 厚钢筋混凝土 (约 3.3mm 铅当量)	120mm 厚钢筋混凝土+2mm 铅当量硫酸钡涂料 (3.5mm 铅当量)	本本项目防护水平稍低
地板	均为 25cm 厚钢筋混凝土 (约 3.3mm 铅当量)	120mm 厚钢筋混凝土+1mm 铅当量硫酸钡涂料 (2.5mm 铅当量)	本项目防护水平稍高
防护铅门铅当量	4mm 铅当量	3mm 铅当量防护铅门	本项目防护水平稍高
观察窗铅玻璃铅当量	4mm 厚铅当量玻璃窗	3mm 铅当量玻璃窗	本项目防护水平稍高
机房面积	38.1m ²	35m ²	本项目 DSA 机房面积稍大
操作位	床下铅帘具有 0.5mm 铅当量防	床下铅帘具有 0.5mm 铅当	防护水平相同

	护水平,床体旁的铅防护吊屏具有 0.5mm 铅当量防护水平	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	
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 11-1 和表 11-2 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 DSA。与类比 DSA 机房相比,本项目 DSA 机房防护水平、机房面积均优于类比 DSA 机房,操作位和医生防护所具有防护水平与类比 DSA 机房相同。与类比 ERCP 机房相比,本项目 ERCP 机房墙体、地板、铅门和铅玻璃所具有的铅当量防护水平略高,机房面积稍大,操作位和医生防护所具有的铅当量防护水平相同,屋顶防护水平稍低。虽然本项目 ERCP 机房屋顶防护水平稍低,但仍然满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)中的相应要求,在满足屏蔽防护要求的前提下,屋顶防护水平较类比 DSA 机房略低不会引起手术室外辐射环境产生较大变化,因此采用类比监测数据反映本项目的影 响是可行的。

(2) 类比监测结果分析

2017 年 9 月 25 日,四川省创晖德盛环境检测有限公司对类比 DSA 进行了辐射环境监测;2018 年 1 月 26 日,四川省核工业辐射测试防护院对类比 ERCP 机房进行了辐射环境监测。类比监测结果见表 11-3-1 和表 11-3-2。

表 11-3-1 类比 DSA 机房周围 X-γ空气吸收剂量率监测结果

测量点号	测量点位置		X-γ空气吸收剂量率(×10 ⁻⁸ Gy/h)	标准差	备注
1	DSA 检查室铅窗外操作台	未曝光	8.0	0.23	/
		曝光	9.7	0.21	拍片
2	DSA 检查室北侧铅门西侧门缝处	未曝光	7.2	0.25	/
		曝光	7.6	0.25	拍片
3	DSA 检查室北侧铅门东侧门缝处	未曝光	7.4	0.26	/
		曝光	7.6	0.19	拍片
4	DSA 检查室东侧铅门北侧门缝处	未曝光	8.4	0.28	/
		曝光	8.7	0.28	拍片
5	DSA 检查室东侧铅门南侧门缝处	未曝光	8.4	0.21	/
		曝光	8.7	0.18	拍片
6	DSA 检查室东墙外过道	未曝光	9.7	0.22	/
		曝光	11.4	0.21	拍片

7	DSA 检查室南侧铅门东侧门缝处	未曝光	7.0	0.17	/
		曝光	17.2	0.19	拍片
8	DSA 检查室南侧铅门西侧门缝处	未曝光	7.4	0.27	/
		曝光	12.5	0.23	拍片
9	DSA 检查室内第一术者位 (铅帘和铅衣屏蔽)	未曝光	7.9	0.25	/
		曝光	1465.7	8.93	透视
10	DSA 检查室内第二术者位 (铅衣屏蔽)	未曝光	7.5	0.22	/
		曝光	513.0	2.40	透视
11	DSA 检查室楼上 3F B 超室	未曝光	7.7	0.21	/
		曝光	7.9	0.26	拍片
12	DSA 检查室楼下 1F 大厅	未曝光	7.3	0.23	/
		曝光	7.7	0.19	拍片

由表 11-3-1 可以看出：类比 DSA 机房周围在曝光条件下 X- γ 空气吸收剂量率分布在 $7.6 \times 10^{-8} \text{Gy/h} \sim 17.2 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ 之间（折算成剂量当量率为 $7.6 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h} \sim 17.2 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ），满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中机房屏蔽体外周围辐射剂量控制目标值不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求。

表 11-3-2 类比 ERCP 机房周围 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($\times 10^{-8} \text{Gy/h}$)	标准差	备注
5	ERCP 室西侧铅门门缝	未曝光	13.5	0.24	拍片
		曝光	14.5	0.18	
6	ERCP 室西侧操作间操作台	未曝光	13.7	0.15	拍片
		曝光	14.3	0.21	
7	西墙外操作间	未曝光	14.3	0.17	拍片
		曝光	14.6	0.28	
8	南侧铅门西侧门缝	未曝光	14.2	0.23	拍片
		曝光	14.7	0.24	
9	南侧铅门东侧门缝	未曝光	14.3	0.19	拍片
		曝光	14.9	0.18	
10	南墙外过道	未曝光	14.7	0.31	拍片
		曝光	14.8	0.17	
11	东墙外支气管镜室	未曝光	14.2	0.22	拍片
		曝光	14.9	0.15	
12	东墙外卫生间	未曝光	14.8	0.26	拍片
		曝光	15.4	0.24	
13	楼上 5F 采血室	未曝光	13.8	0.13	拍片
		曝光	14.8	0.08	

14	楼下诊室	未曝光	14.3	0.13	拍片
		曝光	14.9	0.18	

由表 11-3-2 可以看出，类比 ERCP 在拍片模式下机房周围 X- γ 空气吸收剂量率分布在 $14.3 \times 10^{-8} \text{Gy/h} \sim 15.4 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ 之间（折算成剂量当量率为 $14.3 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h} \sim 15.4 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ），满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中机房屏蔽体外 30cm 处剂量当量率控制目标值不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求。

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，对各点位处公众及职业人员的年有效剂量进行计算。

$$E = D \cdot t \cdot \sum W_T \cdot \sum W_R \dots\dots\dots \text{（式 11-1）}$$

式中：E—人员受到的有效剂量，Sv/a；

D—X- γ 射线空气吸收剂量率附加值，Gy/h；

t—X- γ 年受照时间，h/a；

W_T —组织权重因数，全身为 1；

W_R —辐射权重因数，本项目 X 射线为 1。

由于本项目 3 间 DSA 机房集中布置，外环境关系基本相同、机房面积相差不大、机房辐射屏蔽防护参数一致，且 1#DSA 机房和 2#机房平面布置完全相同，此外，三间机房均分别设置 3 扇铅门，患者通道、医生通道、污物通道各一扇，机房内外职业人员和公众居留位置相同，故本次 DSA 机房评价以 1#DSA 机房为例进行类比。

本项目介入设备开展的手术数量见表 11-4。

表 11-4 不同科室开展介入手术量及曝光时间核算表

序号	介入手术科室		单台设备手术台数（台）	手术总量（台）	三台 DSA/单台 ERCP 年曝光总时间（h）	其中年透视总时间（h）
1	DSA	心内科	1200	3600	920.1	900
		神经内科	200	600	205.2	200.1
		合计	1400	4200	1125.3	1100.1
2	ERCP	消化内科	500	500	87.5	83.3
		肝胆外科	500	500	87.5	83.3
		合计	1000	1000	175	166.6

根据医院提供资料，本项目心内科手术由 6 组医生轮班平均承担，即机房内一组医生年最大受照时间为 150h（900h/6 组）；神经内科由 2 组医生轮班平均

承担，即机房内一组医生年最大受照时间为 100h（200.1h/2 组）；消化内科和肝胆外科分别由相应科室的 1 组医生承担，即机房内一组医生年最大受照时间均为 83.3h。

对于 DSA，实际运行中，心内科和神经内科介入手术会根据医院手术排班，尽可能地均等分配在三间 DSA 机房内进行。保守考虑，假定所有 DSA 介入手术全部在 1#DSA 机房中进行操作。对于 DSA 机房外公众，其年有效剂量按 1125.3h（三台 DSA 年曝光总时间）全部为工况较大的拍片来计算；机房内医生操作位年有效剂量按心内科手术单组医生 150h、神经内科单组医生 100h 为透视的工况来计算。

对于 ERCP，机房外公众，其年有效剂量按 175h 全部为工况较大的拍片来计算，机房内医生操作位年有效剂量按消化内科和肝胆外科一组医生 83.3h 为透视的工况来计算。

对于居留因子，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。按上述条件，并根据类比 DSA、类比 ERCP 监测结果的 X- γ 吸收剂量率附加值计算得到本项目介入设备对职业及公众人员所致年有效剂量见表 11-5-1 和表 11-5-2。

表 11-5-1 本项目 DSA 所致年有效剂量

类比 测量 点号	测量点位置	对应本项目 1#DSA 机房各点位	居留 因子	X- γ 吸收剂量 率附加值 ($\times 10^8 \text{Gy/h}$)	时间 (h)	年有效剂量 (mSv/a)
1	DSA 检查室铅窗 外操作台	1#机房东侧控制室 操作台	1	1.7	1125.3	1.91×10^{-2}
2	DSA 检查室北侧 铅门西侧门缝处	1#机房北侧铅门西侧 门缝处	1/4	0.4	1125.3	1.13×10^{-3}
3	DSA 检查室北侧 铅门东侧门缝处	1#机房北侧铅门东侧 门缝处	1/4	0.2	1125.3	5.63×10^{-4}
4	DSA 检查室东侧 铅门北侧门缝处	1#机房东侧铅门北侧 门缝处	1/4	0.3	1125.3	8.44×10^{-4}
5	DSA 检查室东侧 铅门南侧门缝处	1#机房东侧铅门南侧 门缝处	1/4	0.3	1125.3	8.44×10^{-4}
6	DSA 检查室东墙 外过道	1#机房南侧墙外过道	1/4	1.7	1125.3	4.78×10^{-3}
7	DSA 检查室南侧 铅门东侧门缝处	1#机房西侧铅门北侧 门缝处	1/4	10.2	1125.3	2.87×10^{-2}
8	DSA 检查室南侧 铅门西侧门缝处	1#机房西侧铅门南侧 门缝处	1/4	5.1	1125.3	1.43×10^{-2}

9	DSA 检查室第一手术位（铅帘和铅衣屏蔽）	1#机房内第一术者位（铅帘和铅衣屏蔽）	1	1457.8	150 （心内科）	2.19
					100 （神经内科）	1.46
10	DSA 检查室第二手术位（铅衣屏蔽）	1#机房内第二术者位（铅衣屏蔽）	1	505.5	150 （心内科）	0.76
					100 （神经内科）	0.51
11	DSA 检查室楼上 3F B 超室	1#DSA 机房楼上——屋顶绿化、净化机房	1/4	0.2	1125.3	5.63×10^{-4}
12	DSA 检查室楼下 1F 大厅	1#DSA 机房楼下——无菌库房	1/4	0.4	1125.3	1.13×10^{-3}

由表 11-5-1 类比 DSA 监测点位对应本项目 1#DSA 机房各点位的计算结果，本项目 DSA 正常工作时，心内科和神经内科手术职业人员的所受年附加有效剂量最大值分别为 2.19mSv/a 和 1.46mSv/a，公众的年附加有效剂量最大为 2.87×10^{-2} mSv/a，均满足职业年有效剂量约束值 5mSv/a、公众年有效剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。同理可得，本项目 2#DSA 机房、3#DSA 机房内的 DSA 正常工作时，职业人员和公众所受年附加有效剂量也能满足相应标准限值。

表 11-5-2 本项目 ERCP 所致年有效剂量

类比 测量 点号	测量点位置	对应本项目 ERCP 机房各点位	居留 因子	X-γ吸收剂量 率附加值 ($\times 10^{-8}$ Gy/h)	时间 (h)	年有效剂量 (mSv/a)
3	ERCP 室内第一术者位	ERCP 机房内第一术者位	1	11	83.3	9.16E-03
4	ERCP 室内第二术者位	ERCP 机房内第二术者位	1	4.5	83.3	3.75E-03
5	ERCP 室西侧铅门 门缝	ERCP 机房西侧铅门 门缝	1/4	1	175	4.38E-04
6	ERCP 室西侧操作 间操作台	ERCP 机房南侧控制 室操作台	1	0.6	175	1.05E-03
7	ERCP 室西墙外操 作间	ERCP 机房南侧控制室	1	0.3	175	5.25E-04
8	ERCP 室南侧铅门 西侧门缝	ERCP 机房南侧铅门 西侧门缝	1/4	0.5	175	2.19E-04
9	ERCP 室南侧铅门 东侧门缝	ERCP 机房南侧铅门 东侧门缝	1/4	0.6	175	2.63E-04
10	ERCP 室南墙外过道	ERCP 机房东墙外过道	1/4	0.1	175	4.38E-05
11	ERCP 室东墙外支 气管镜室	ERCP 机房北墙外清 洁间	1/4	0.7	175	3.06E-04

12	ERCp 室东墙外卫生间	ERCp 机房北墙外污物暂存间	1/4	0.6	175	2.63E-04
13	ERCp 室楼上 5F 采血室	ERCp 机房楼上——自体采血室、值班室	1	1	175	1.75E-03
14	ERCp 室楼下 3F 诊室	ERCp 机房楼下——MRI 机房、设备间和过道	1/4	0.6	175	2.63E-04

由表 11-5-2 类比 ERCp 监测点位对应本项目 ERCp 机房各点位的计算结果，本项目 ERCp 正常工作时，消化内科和肝胆外科手术职业人员的所受年附加有效剂量最大值均为 $9.16 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，公众的年附加有效剂量最大为 $1.05 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，均满足职业年有效剂量约束值 5mSv/a 、公众年有效剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

综上，根据类比监测结果，经机房实体屏蔽防护后，本项目 DSA、ERCp 运行后对机房周围及楼上、楼下工作人员、公众的环境影响较小。

2、理论预测环境影响分析

由于监测数据无法完全反映出介入手术过程中手术室内外辐射环境状况，所以进一步采用模式预测进行辐射影响分析。

(1) 机房内职业人员理论预测影响分析

本项目 DSA、ERCp 在进行曝光时分两种情况：

①造影拍片过程辐射影响分析

操作人员采取隔室操作的方式，医生通过铅玻璃观察窗观察手术室内病人情况，通过对讲系统与病人交流。在拍片过程中，医生位于控制室内，根据之前的类比分析可知，经机房各屏蔽体屏蔽后，对机房外（包括楼上、楼下区域）的公众和工作人员基本没有影响。

②脉冲透视过程辐射影响分析

为更清楚的了解病人情况，医生需进入机房内进行治疗时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视。该手术操作过程共需两名医生，此时第一手术操作位医师位于铅屏风后身着铅服、戴铅眼镜等在曝光室内对病人进行直接的手术操作，距离主射线束距离为 0.3m ；第二手术位的医生只有防护服防护，距离主射线束为 1m 。这种情况是本次评价的重点。

根据医院提供资料，本项目心内科手术由 6 组医生轮班平均承担，即机房内一组医生年最大受照时间为 150h ($900 \text{h}/6$ 组)；神经内科由 2 组医生轮班平均

承担，即机房内一组医生年最大受照时间为 100h（200.1h/2 组）；消化内科和肝胆外科各由相应科室的 1 组医生承担，即机房内一组医生年最大受照时间均为 83.3h。

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：

$$\dot{X} = I \cdot t \cdot v_{ro} \cdot \left(\frac{r_o}{r}\right)^2 \cdot f \dots\dots\dots \text{式 11-2}$$

$$D = 8.73 \times 10^{-3} \dot{X} \dots\dots\dots \text{式 11-3}$$

$$E = D \cdot W_R \cdot W_T \dots\dots\dots \text{式 11-4}$$

式中：

$\dot{X}$ ：离射线装置 r m 处产生的照射量，R；

D ：离射线装置 r m 处产生的空气吸收剂量，Gy；

I ：管电流（mA）；

v_{ro} ：在给定的管电压和射线过滤情况下，距射线装置 r_o m（ $r_o=1$ m）处，由单位管电流（1mA）造成的照射量率， $R \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$ ；

f ：防护材料对 X 射线的减弱因子，无量纲；

t ：透视累计出束时间，min；

E ：参考点的有效剂量，Sv；

W_R ：辐射权重因数，X 射线为 1；

W_T ：组织权重因数，全身为 1。

由此计算的辐射工作人员受到的年有效剂量见表 11-6。

表 11-6 辐射工作人员受到的年有效剂量表

设备	科室	年手术台数（台）	单次最长透视时间（min）	年透视出束时间（h）	第一手术操作位医生年有效剂量(mSv/a)	第二手术操作位医生年有效剂量(mSv/a)
DSA	心内科	3600	15	150（单组）	4.37	3.93
	神经内科	600	20	100（单组）	2.91	2.62
ERCP	消化内科	500	10	83.3	0.36	0.33
	肝胆外科	500	10	83.3	0.36	0.33

经计算，心内科、神经内科、消化内科和肝胆外科手术介入治疗时，机房内

职业人员受到的 X 射线附加有效剂量最大分别为 4.37mSv/a、2.91mSv/a、0.36mSv/a 和 0.36mSv/a，均低于本项目职业照射年有效剂量 5mSv/a 的约束值。

本项目运行后，医院应合理分配介入手术医生的手术量。所有手术过程中机房内的医护人员均应按辐射工作人员进行管理，手术时佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送检并建立个人剂量档案，相关人员应参加辐射防护考核，且在手术室内操作时须穿铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜等。对病人病灶进行照射时，应将病人病灶以外的部位用铅橡胶布进行遮盖或穿着铅服，以避免病人受到不必要的照射。

(2) 医生腕部皮肤受照剂量

DSA 介入手术单组心内科和神经内科手术医生年工作时长分别为 150h 和 100h，ERCP 消化内科和肝胆外科手术医生年工作时长均为 83.3h，且 DSA 透视工况大于 ERCP 透视工况，故本次以 DSA 单组心内科手术医生年工作时长为例计算手术医生腕部皮肤受照剂量。计算模式参考《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：

$$D_s = C_{KS} (\dot{k} \bullet t) \bullet 10^{-3} \dots\dots\dots \text{(式 11-5)}$$

$$\dot{k} = \frac{H^*(10)}{C_{KH^*}} \dots\dots\dots \text{(式 11-6)}$$

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（ $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ）；

C_{KS} ：空气比释动能到皮肤吸收剂量的转换系数（Gy/Gy）；

t ：人员累积受照时间，单位为小时（h）；

$H^*(10)$ ：X、 γ 辐射场的周围剂量当量率（ $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ）；

C_{KH^*} ：空气比释动能到周围剂量当量的转换系数（Sv/Gy）。

可计算出：单组心内科手术医生年工作时长为 150h，医生手术位腕部皮肤约 1/5 的时间处于受照位置，故心内科手术医生腕部吸收剂量率最大为 119.1mSv，满足四肢（手和足）或皮肤 125mSv 剂量约束值的要求。同理，神经

内科、消化内科和肝胆外科手术医生腕部所受剂量同样能满足四肢（手和足）或皮肤 125mSv 剂量约束值的要求。

（3）DSA、ERCP 机房墙体外 30cm 处剂量率

DSA 机房和 ERCP 机房墙体厚度相当于 4mm 的铅，150kV 的宽束 X 射线对 4mm 铅的透射系数为小于 1.0×10^{-4} ，本项目 DSA 机房和 ERCP 机房 X 射线源靶点距墙体外 30cm 处的距离最近分别为 3.5m 和 2.5m，按非主射方向考虑，则关注点处的有效剂量率分别为 $0.02 \mu\text{Sv/h}$ 和 $0.01 \mu\text{Sv/h}$ ，满足“具有透视功能的 X 射线机在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

（4）DSA、ERCP 机房周围公众有效剂量

对于 DSA 和 ERCP 机房周围公众所受剂量，保守考虑本评价按照拍片时最大工况进行预测。

实际运行中，心内科和神经内科介入手术会根据医院手术排班，尽可能地均等分配在三间 DSA 机房内进行。对于 DSA 机房四周公众，保守考虑，以 1#机房为例，假定所有介入手术全部在 1#DSA 机房中进行操作，三台 DSA 年总出束时间最大为 1125.3h；对于 DSA 机房楼上楼下公众，以单台 DSA 年总出束时间 375.1h 进行计算；对于 ERCP 机房四周及楼上楼下公众，以年总出束时间最大为 175h 进行计算。DSA 和 ERCP 机房四周墙体均为 37cm 实心砖（约 4mm 铅当量），屋顶和地板均为 25cm 厚钢筋混凝土（约 3.3mm 铅当量），观察窗均为 4mm 铅当量的铅玻璃，4mmPb 对 100kVX 射线的减弱因子 $f=1.6 \times 10^{-6}$ ，3.3mmPb 对 100kVX 射线的减弱因子 $f=1.0 \times 10^{-5}$ 。由于公众不处于射线主射束方向，因此照射量率取主射束方向的 1‰进行计算。

由此计算的 DSA 机房周围公众受到的年有效剂量见表 11-7。

表 11-7 DSA 机房周围公众年有效剂量预测结果

公众名单	方位	位置	居留因子	减弱因子	距离辐射源最近距离 (m)	受照类型	年有效剂量 (mSv)	达标情况
DSA 机房附近公众	1#机房北侧	过道	1/4	1.6×10^{-6}	3.5	公众	6.26E-03	达标
	1#机房南侧	过道	1/4		3.5		6.26E-03	达标
	1#机房西侧	设备间、缓冲间	1/4		3.0		8.51E-03	达标
	1#机房楼上	屋顶绿化、净化	1/16	1.0×10^{-5}	3.4		3.45E-03	达标

		机房						
	1#机房楼下	无菌库房	1/4		3.4		1.38E-02	达标
ERCP 机房 附近 公众	机房北侧	清洁间、污物暂存间	1/4	1.6×10^{-6}	3.0	公众	6.52E-04	达标
	机房南侧	过道	1/4		4.0		3.67E-04	达标
	机房西侧	过道	1/4		4.0		3.67E-04	达标
	机房东侧	过道	1/4		4.0		3.67E-04	达标
	机房楼上	自体采血室、值班室	1	1.0×10^{-5}	3.2		1.43E-02	达标
	机房楼下	MRI 机房、设备间和过道	1/4		3.2		3.58E-03	达标

根据表 11-7 计算结果, DSA、ERCP 机房周围公众受到的年附加有效剂量均低于本项目要求的按《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中规定的公众照射年有效剂量的 1/10 执行, 即 0.1mSv/a 的约束值。因此, 本项目的建设对 DSA、ERCP 机房外工作人员和周围公众的辐射影响很小。

二、核医学科辐射环境影响分析

1、β射线辐射影响分析

本项目涉及使用的氟-18、锝-99m 核素在衰变过程中会有β粒子, 但由于氟-18 衰变产生的是正电子, 迅速发生湮灭反应所以本次不考虑β射线影响。根据《放射卫生学》(章仲侯主编, P171), β粒子在不同介质中的射程按式 11-7 计算:

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{MAX} \dots\dots\dots \text{式 11-7}$$

式中: d —最大射程, cm; ρ —屏蔽材料密度, g/cm³

表 11-8 锝-99m 核素β射线在空气中理论最大射程

核 素	^{99m} Tc
β射线能量(MeV)	0.002
空气密度(g/cm ³)	1.29×10^{-3}
空气中的射程 (cm)	0.775
砖墙密度(g/cm ³)	1.8
砖墙中的射程 (cm)	5.56×10^{-4}
铅玻璃密度(g/cm ³)	7.36
铅玻璃中射程 (cm)	1.36×10^{-4}

综上所述, 本项目涉及使用的锝-99m 核素在整个过程中均采取了有效的屏蔽措施屏蔽β射线, 同时在整个使用过程中职业人员还穿戴有 0.5mm 铅当量的防

护铅服，且公众与放射性核素之间还采取了距离隔离措施，因此 β 射线对职业人员和公众辐射影响是很小的。

2、 β 表面沾污

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

①使用、操作放射性同位素的人员应经过专业学习并持证上岗，具备相应的技能与防护知识；

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

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

④吸取液体的操作必须用合适的器具，严禁用口吸取；

⑤不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；

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

⑦放射性药品用后应及时存放在专用柜内，需防盗、防水、防火、柜外应有电离辐射标志；

⑧做好就诊病人的管理，特别是注射放射性药品的病人管理工作，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动。

⑨如 β 表面污染水平超过 GB18871-2002 规定值（规定限值见本报告表 7-2 工作场所放射性表面污染控制水平），医院应暂停开展核医学活性区的相关业务，去污染经监测符合标准后方可重新开展业务，同时辐射工作人员出现手、皮肤、内衣、工作袜等出现污染情况（超过 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）需及时进行去污操作并暂停放射性物质操作评估其受照射剂量，并根据评估结果采取下一步措施（调整工作或接受治疗等）。

3、 γ 射线辐射影响分析

（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装药瓶的几何尺寸大 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，计算公式如式 11-8~11-10 所示。

$$X = A \cdot \Gamma / r^2 \dots\dots\dots \text{式 11-8}$$

$$D = 8.73 \times 10^{-3} X \dots\dots\dots \text{式 11-9}$$

$$H_s = D \cdot W_R \cdot W_T \dots\dots\dots \text{式 11-10}$$

式中： A —放射源的活度，Ci；
 Γ —放射性核素的 Γ 常数，R·m²/h·Ci，
 X —照射量率，单位 R/h；
 r —参考点距离源的距离，m；
 D —吸收剂量率，Gy/h；
 H_s —有效剂量率，Sv/h；
 W_T —辐射权重，取 1；
 W_R —权重因子，取为 1。

职业人员操作过程中医生穿着有防护铅服，并在屏蔽体中进行操作，公众位于屏蔽房间外，本次评价还考虑屏蔽材料减弱因素。本次评价按半值层法进行减弱系数计算。

$$K = 0.5^{\frac{d}{HVL}} \dots\dots\dots \text{式 11-11}$$

式中： HVL —半值层厚度
 d —屏蔽厚度（cm）；
 K —衰减系数。

（2）预测计算所依据参数

本项目各预测参数选取见表 11-9-2。

表 11-9-2 预测参数表

核素	单个病人用药量（mCi）	人员	操作方式	受照射时间（min）	年接诊人次（人）	年操作时间（h）
¹⁸ F	15	职业	分药	0.5	10000	83.3
			注射	0.5		83.3
			摆位	0.5		83.3
		公众	分药	0.5		83.3

^{99m}Tc	30		注射	0.5		83.3
			候检、显像	20		3333.3
			留观	30		5000
		职业	制药、分药	2	7500	250
			注射	0.5		62.5
			摆位	0.5		62.5
		公众	制药、分药	2		250
			注射	0.5		62.5
			候检、显像	20		2500
			留观	30		3750

注：在病人注射后候检和显像结束留观期间，医生一般不直接接触病人，因此不考虑此间用药病人对职业人员的影响。

(3) 预测结果

评价综合考虑最不利情况下（关注点距离源项最近距离、最大操作时间、最保守居留因子取值），各关注点的 γ 辐射剂量率及年有效剂量预测结果见表11-10~11-11。

表 11-10 氟-18 操作过程 γ 射线的影响计算

人员	操作方式	距 γ 源距离(m)	屏蔽材料及厚度	半值层厚度(mm)	年操作时间(h)	屏蔽体外 γ 射线辐射剂量率预测值(mSv/h)	居留因子	年有效剂量(mSv/a)
职业	分药	0.5	45.5mm 铅 ^①	5	41.7 ^④	5.44E-04	1	2.27E-02
	注射	1	40.5mm 铅		41.7	2.72E-04	1	1.13E-02
	摆位	1	/	/	41.7	6.80E-02 ^③	1	2.84
公众 (楼上/ 楼下)	分药	4.8	240mm 混凝土	53	83.3	1.40E-04	0.25	2.92E-03
	注射	4.8			83.3	1.40E-04	0.25	2.92E-03
	候检、 显像	4.8			2000	1.40E-04	0.25	7.02E-02
	留观	4.8	300mm 混凝土		2000	1.40E-04	0.25	7.02E-02
公众 (PET 注射等候室 东 侧 过 道)	候检	2	350mm 混凝土	53	2000	1.92E-04	0.25	9.59E-02
公众 (PET 候 检者通道 / 留 观 区)	留观	2	350mm 混凝土		2000	1.92E-04	0.25	9.59E-02

南 侧 过 道)								
-------------	--	--	--	--	--	--	--	--

*注：①职业人员分药过程中医生穿着有防护铅服（0.5mmPb），并在 45mm 铅当量的通风橱屏蔽体中进行操作，职业人员注射过程中穿着有防护铅服（0.5mmPb），并在 40mm 铅当量注射防护装置的注射窗口操作台进行操作；②根据平面布置图，公众预测均选择距离最近的代表性敏感目标进行预测评价，即楼上/楼下区域和 PET 注射等候室东侧、留观区南侧楼内过道的公众，其距离分别为 4.8m 和 2m；③氟-18 核素操作（分药、注射、摆位）由两组职业人员平均操作，故单组职业人员年操作时间为 $83.3/2=41.7\text{h}$ ；⑤周围公众最大居留时间=8 小时×250 天=2000 小时。

表 11-11 钨-99m 操作过程 γ 射线的影响计算

人员	操作方式	距 γ 源 距离 (m)	屏蔽材料 及厚度	半值层 厚度 (mm)	年操作 时间 (h)	屏蔽体外 γ 射 线辐射剂量 率预测值 (mSv/h)	居留因 子	年有效剂 量 (mSv/a)
职业	制药、分药	0.5	5.5mm 铅 ^①	0.3	250	3.59E-07	1	1.35E-04
	注射	1	2.5mm 铅		62.5	9.20E-05	1	8.63E-03
	摆位	1	/		62.5	2.30E-02 ^③	1	1.44
公众 (楼上/ 楼下)	制药、分药	4.8	120mm 混凝土	33.1	250	1.04E-04	0.25	9.79E-03
	注射	4.8			62.5	1.04E-04	0.25	2.45E-03
	候检、显像	4.8			2000	1.04E-04	0.25	7.83E-02
	留观	4.8			2000	1.04E-04	0.25	7.83E-02
公众 (SPECT 注射等候 区北侧走 道)	候检	2	370mm 实心砖	48.2	2000	3.63E-05	0.25	2.72E-02
公众 (SPECT 留观区北 侧走道)	留观	2	240mm 实心砖		2000	2.35E-04	0.0625	4.41E-02

*注：①职业人员制药、分药过程中穿着有防护铅服（0.5mmPb），并在 5mm 铅当量的通风橱屏蔽体中进行操作，职业人员注射过程中穿着有防护铅服（0.5mmPb），并在 2mm 铅当量注射防护装置的注射窗口操作台进行操作；②根据平面布置图，公众预测均选择距离最近的代表性敏感目标进行预测评价，即楼上/楼下区域和 SPECT 注射等候区、留观区北侧楼内走道的公众，其距离分别为 4.8m 和 1m；③周围公众最大居留时间=8 小时×250 天=2000 小时。

(4) 敏感目标受照射剂量分析

表 11-12 职业人员及公众受照射剂量综合分析

保护名单	人数 (人)	方位	最近位置	最大受照射剂量 (mSv/a)	备注
PET 分装、摆位职业人员	6	/	PET 分装室、PET/MRI 机房、PET/CT 机房	2.84	分装操作、摆位由 2 组职业人员平均完成, 不与其他辐射工作人员交叉
SPECT 分装、摆位职业人员	6	/	SPECT 分装室、SPECT 机房	1.44	不与其他辐射工作人员交叉
核医学科周围公众	约 70 人	PET 注射等候室东侧、留观区南侧	楼内过道	9.59E-02	/
	约 20 人	SPECT 注射等候区、留观区北侧	楼内过道	4.41E-02	/
	200 人	楼上	急诊科	7.83E-02	/
	8 人	楼下	设备用房、拆卸平台		/

根据表 11-12, 核医学科职业人员最大受照射剂量为 2.84mSv/a, 满足 5mSv/a 剂量约束值; 核医学科邻近公众最大受照射剂量为 9.59×10^{-2} mSv/a, 满足 0.1 mSv/a 剂量约束值, 同时由于随距离增加公众受照射剂量将不断减小, 因此在本项目 50m 评价范围内其他公众也满足 0.1mSv/a 年有效剂量约束值要求。

三、医用电子直线加速器辐射环境影响分析

(一) 医用电子直线加速器机房屏蔽体厚度校核

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 2 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。本项目加速器机房建在地下负二层, 机房下方无构筑物, 为地下岩土层, 故地面的关注点不予考虑。本项目加速器机房的关注点设定及主要照射路径见图 11-1。

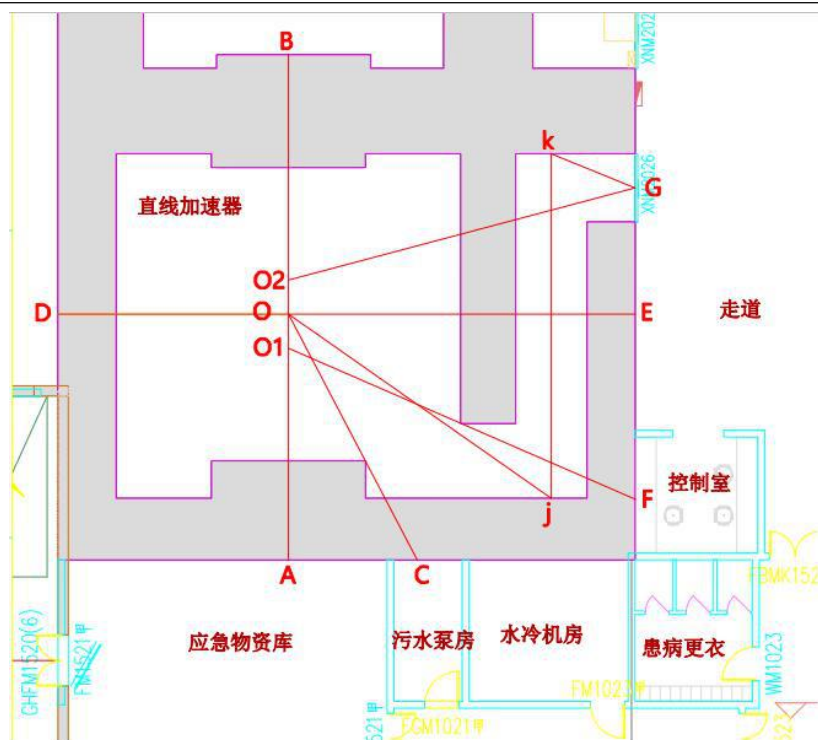


图 11-1-1 水平面照射路径示意图

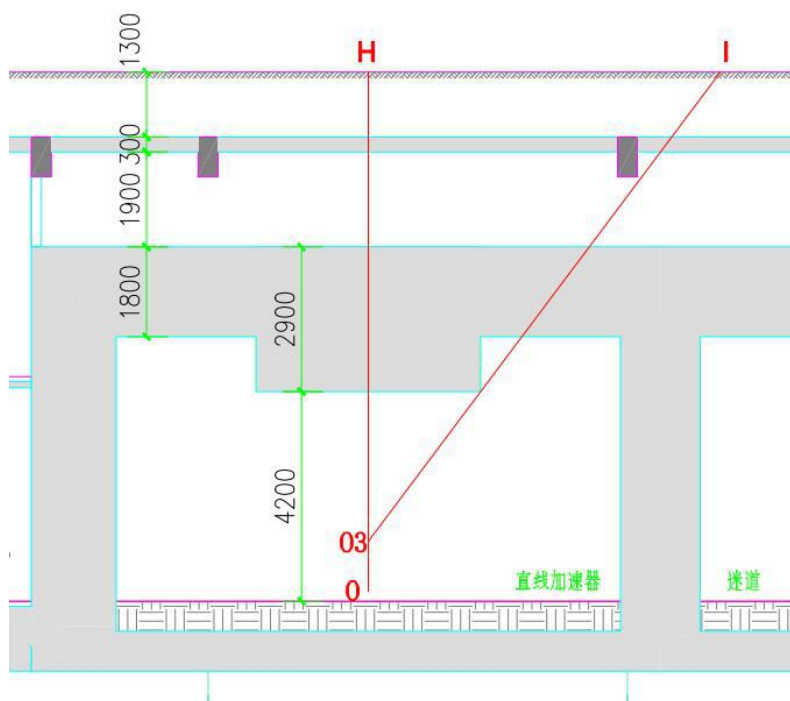


图 11-1-2 垂直面照射路径示意图

2、剂量率参考控制水平 (H_e)

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 $H_{e,d}$;

对于主射线束: $H_{e,d} = H_a / (t \cdot U \cdot T)$ 式 11-12

对于漏射辐射: $H_{e,d} = H_a / (t \cdot N \cdot T)$ 式 11-13

式中:

$H_{e,d}$ —导出剂量率参考控制水平;

H_a —周剂量参考控制水平; 职业人员取 $100\mu\text{Sv/周}$, 公众取 $5\mu\text{Sv/周}$;

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 —周治疗照射时间, 根据医院提供资料, 平均每人治疗时间为 2min, 每天最多治疗 60 人, 每周工作 5 天, 计算得周工作时间 10h。

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)。

由此确定的直加机房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 11-13 和表 11-14。

表 11-13 机房外各关注点导出剂量率参考控制水平

	关注点	受照射类型	H_a ($\mu\text{Sv/周}$)	U	t	N	T	$H_{e,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)
机房 直加 机房	A (应急物资库)	公众	5	0.25	10	1	0.25	8
	B (射波刀机房)	职业	100	0.25	10	1	0.25	160
	C (污水泵房)	公众	5	1	10	5	0.0625	1.6
	D (停车场)	公众	5	1	10	5	0.25	0.4
	E (走道)	公众	5	0.25	10	5	0.25	0.4
	F (控制室)	职业	100	1	10	5	1	2
	H (地面绿化带)	公众	5	0.1	10	1	0.25	20
	I (地面绿化带)	公众	5	1	10	5	0.25	0.4
	G (机房防护门)	公众	5	0.25	10	5	0.25	0.4

表 11-14 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) μSv/h			主要考虑的 辐射束	射线路径
		H _{e,d}	H _{e,max} *	H _e		
直加 机房	A (应急物资库)	8	2.5	2.5	主射线束	O2→A
	B (射波刀机房)	160	2.5	2.5*	主射线束	O1→B
	C (污水泵房)	1.6	2.5	1.6	漏射辐射 人体的一次 散射辐射	O→C O1→O→C
	D (停车场)	0.4	2.5	0.4	漏射辐射	O→D
	E (走道)	0.4	2.5	0.4	漏射辐射	O→E
	F (控制室)	2	2.5	2	漏射辐射	O1→F
	H (地面绿化带)	20	2.5	2.5*	主射线束	O→H
	I (地面绿化带)	0.4	2.5	0.4	漏射辐射 人体的一次 散射辐射	O3→I O→O3→I
	G (机房防护门)	0.4	2.5	0.4	散射辐射 漏射辐射	O1→O→j→k→G O2→G

*注：根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“6.1.3 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 2.5μSv/h”。

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 11-2，主屏蔽宽度计算结果见表 11-15。

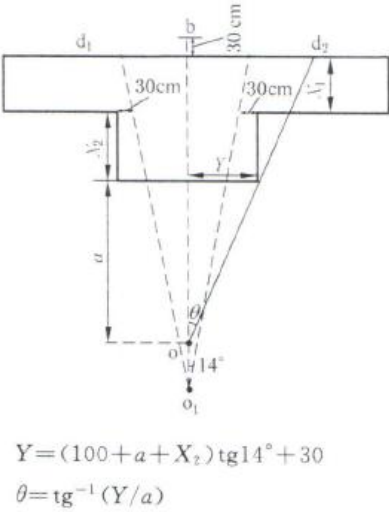


图 11-2 主射屏蔽范围计算示意局部图

表 11-15 直线加速器机房主屏蔽宽度计算表

机 房	主屏蔽范围计算值	主屏蔽范围设计值	结论
北侧屏蔽墙体 (与射波刀机房相邻)	3.44m	4.5m	满足要求
南侧屏蔽墙体	3.79m	4.5m	满足要求
屋顶	3.14m	4.5m	满足要求

4、主屏蔽区、侧屏蔽墙、迷道内墙和外墙厚度核算

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。屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按下式进行计算。计算结果见表 11-16。

$$B = \frac{H_e}{H_0} \times \frac{R^2}{f} \dots\dots\dots \text{式11-14}$$

$$X_e = TVL \times \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \dots\dots\dots \text{式11-15}$$

$$X = X_e \cos \theta \dots\dots\dots \text{式11-16}$$

式中：

B —屏蔽透射因子；

H_e —剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 —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， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；本项目为 $1.32 \times 10^9 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ （最大X线剂量率为 22Gy/min ），后续计算均取此值；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离， m ；本项目关注点均为相应墙外30cm；

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；主屏蔽墙 0° 入射；

TVL_1 （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 11-16 直线加速器机房主屏蔽墙和侧屏蔽墙屏蔽厚度核算表

参数	主屏蔽区 (A 点)	主屏蔽区 (B 点)	主屏蔽区 (H 点)	侧屏蔽墙 (D 点)	侧屏蔽墙 (E 点)	迷道外墙 (F 点)	迷道内墙 (G 点)
剂量率参考控制 水平 $H_e(\mu\text{Sv/h})$	25	25	25	04	04	2	04
$R(\text{m})$	8.5	8.9	10.7	7.05	10.45	11.4	10.8
$H_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	1.32×10^9	1.32×10^9	1.32×10^9	1.32×10^9	1.32×10^9	1.32×10^9	1.32×10^9
f	1	1	1	0.001	0.001	0.001	0.001
透射因子 B	$1.37\text{E-}07$	$1.50\text{E-}07$	$2.17\text{E-}07$	$1.51\text{E-}05$	$1.65\text{E-}04$	$1.97\text{E-}04$	$2.21\text{E-}04$
$TVL_1(\text{cm})$	41	41	41	35	35	35	35
$TVL(\text{cm})$	37	37	37	31	31	31	31
有效屏蔽厚度 X_e (cm)	258.0	256.5	250.6	153.5	142.9	118.9	142.0
斜射角 θ	0°	0°	0°	0°	0°	23.5°	15°
混凝土屏蔽厚度 $X(\text{cm})$	258.0	256.5	250.6	153.5	142.9	109.1	137.2
设计屏蔽厚度 (cm)	290	330	290	170	160+140	140	160
是否满足屏蔽要 求	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

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 11-14 和式 11-15 进行计算，计算结果见表 11-17。散射辐射的透射因子按下式进行计算，计算结果见表 11-18。

$$B = \frac{H_e \times R^2}{H_0 \times \alpha_{ph} \times (F / 400)} \dots\dots\dots \text{式11-17}$$

式中：

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上垂直入射X射线散射至距其 1m （关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子。

F —治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；本项目为 $40\times 40\text{cm}^2$ 。

表 11-17 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	直加机房	
	C 点	I 点
剂量率参考控制水平* H_e ($\mu\text{Sv/h}$)	0.8	0.2
$R(\text{m})$	8.43	12.05
$H_0(\mu\text{Sv.m}^2/\text{h})$	1.32×10^9	1.32×10^9
f	0.001	0.001
透射因子 B	$4.31\text{E-}05$	$2.20\text{E-}05$
TVL_1 (cm)	35	35
TVL (cm)	31	31
有效屏蔽厚度 X_e (cm)	139.3	148.4
斜射角 θ	27.6°	36.8°
屏蔽厚度 X (cm)	123.4	118.8
设计厚度 (cm)	180	180

*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 11-18 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	直加机房	
	C 点	I 点
剂量率参考控制水平 $H_e(\mu\text{Sv/h})$	0.8	0.2
$R(\text{m})$	8.43	12.05
$H_0(\mu\text{Sv.m}^2/\text{h})$	1.32×10^9	1.32×10^9
α_{ph}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}
F	1600	1600
透射因子 B	$3.39\text{E-}06$	$1.73\text{E-}06$
TVL (cm)	28	28
有效屏蔽厚度 X_e (cm)	153.2	161.3
斜射角 θ	27.6°	36.8°
散射所需屏蔽厚度 (cm)	135.8	129.2
泄漏辐射所需屏蔽厚度 (cm)	123.4	118.8
散射和泄漏辐射所需屏蔽厚度较大值 (cm)	135.8	129.2
设计厚度 (cm)	180	180
是否满足屏蔽	满足	满足

注：①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：

$$H = \frac{\alpha_{ph} \times (F/400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A_1}{R_2^2} \times \frac{\alpha_3 \times A_2}{R_3^2} \times H_0 \dots\dots\dots \text{式 11-18}$$

式中：

H —关注点处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；本项目为 $1.32 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

α_{ph} — 400cm^2 面积上的散射因子；

α_2 、 α_3 —墙入射的患者散射辐射的散射因子；

F —治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

A_1 —j 处的散射面积， m^2 ；散射面积为 $2.6\text{m} \times 5.3\text{m} = 13.78\text{m}^2$ ；

A_2 —k 处的散射面积， m^2 ；散射面积为 $2.1\text{m} \times 5.3\text{m} = 11.13\text{m}^2$ ；

R_1 —第一次散射（O-j）路径，m； $R_1=9.4\text{m}$ ；

R_2 —第一次散射（j-k）路径，m； $R_2=10.1\text{m}$ ；

R_3 —第二次散射（k-G）路径，m； $R_3=2.65\text{m}$ 。

经计算，迷道入口 G 关注点处的散射辐射剂量率 H 为 $8.36\mu\text{Sv/h}$ 。

所需的铅屏蔽透射因子 B 计算公式如下：

$$B = \frac{H_G - H_{OG}}{H} \dots\dots\dots \text{式 11-19}$$

式中：

H_{OG} —O 位置穿过迷道内墙的漏射辐射在迷道口 G 处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

经计算得出，为 $7.39 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ；

H_G —机房入口关注点处（G）控制剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H —机房入口关注点处（G）的散射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ 。

经计算， $B=(0.4-0.0739)/8.36=0.039$ 。

直加机房入口处 X 射线散射辐射平均能量约为 0.2MeV ，铅的 TVL 为 5.0mm ，相应 $B=0.039$ 的铅厚度(X)为： $X=TVL \cdot \log B^{-1}=7.0\text{mm}$ ，本项目直加机房铅门实际设计为为 15mm 铅当量+ 77mm 含硼聚乙烯。

7、小结

本项目直加机房理论厚度及实际设计参数见表 11-19。

表 11-19 直加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		直线加速器机房		是否满足要求	
			理论计算值	实际设计值		
主射线束主屏蔽区	屏蔽宽度	北侧屏蔽墙体（与射波刀机房相邻）	3.44m	4.5m	满足	
		南侧屏蔽墙体	3.79m	4.5m	满足	
		屋顶	3.14m	4.5m	满足	
	屏蔽体厚度（普通混凝土）	北侧屏蔽墙体（与射波刀机房相邻）	256.5cm	330cm	满足	
		南侧屏蔽墙体	258cm	290cm	满足	
		屋顶	250.6cm	290cm	满足	
	与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽体厚度（普通混凝土）		南侧	135.8cm	180cm	满足
			屋顶	129.2cm	180cm	满足
侧屏蔽区屏蔽体厚度（普通混凝土）		西侧	153.5cm	170cm	满足	
		东侧	142.9cm	160cm+140cm	满足	
迷道屏蔽体厚度（普通混凝土）		迷道外墙	109.1cm	140cm	满足	
		迷道内墙	137.2cm	160cm	满足	
防护门屏蔽体厚度			7.0mm 铅	15mm 铅当量+77mm 含硼聚乙烯	满足	

综上所述, 本项目 10MV 医用电子直线加速器机房的设计参数均能满足屏蔽防护要求。

(二) 医用电子直线加速器辐射环境影响分析

本项目 10MV 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。

1、电子辐射环境影响分析

由于电子在物质中的射程是有限的, 屏蔽比较容易, 只要所选择的物质厚度大于带电粒子在该物质中的射程, 就可以将其完全吸收。根据《放射卫生学》(章仲侯主编, P171) 其中电子在介质中的射程可根据式 11-20 近似计算:

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{MAX} \dots\dots\dots \text{式 11-20}$$

式中:

E_{max} —电子最大能量, MeV;

d —最大射程, cm;

ρ —屏蔽材料密度。

表 11-20 电子在不同介质中射程估算表

参数	10MV 加速器
最大电子能量(MeV)	22
混凝土密度(g/cm ³)	2.35
混凝土中的射程 (cm)	4.68

根据表 11-20，10MV 加速器电子在混凝土中射程为 4.68cm，本项目加速器机房墙体最小屏蔽厚度为 170cm，故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很小。

2、X 射线辐射环境影响分析

根据 GBZ/T201.2-2011，X 射线治疗时，各预测点（见图 11-1）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：

$$H = \frac{H_0 \times f}{R^2} \times B \dots\dots\dots \text{式 11-21}$$

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_0) / TVL} \dots\dots\dots \text{式 11-22}$$

$$X_e = X / \cos \theta \dots\dots\dots \text{式 11-24}$$

患者一次散射辐射剂量估算：

$$H = \frac{H_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_s^2} \cdot B \dots\dots\dots \text{式 11-25}$$

机房迷道入口处 X 射线散射辐射剂量估算：

$$H = \frac{\alpha_{ph} \times (F / 400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A_1}{R_2^2} \times \frac{\alpha_3 \times A_2}{R_3^2} \times H_0 \dots\dots\dots \text{式 11-26}$$

式中各符号含义与前面一致。

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 11-21，由患者一次散射对各关注点产生的剂量见表 11-22，机房迷道入口处由散射辐射产生的剂量见表 11-23。

表 11-21 直加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 (A 点)	主屏蔽区 (B 点)	主屏蔽区 (H 点)	侧屏蔽墙 (D 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 点
屏蔽厚度 X (cm)	290	330	290	170	160+140	160	180	180

斜射角 θ (°)	0	0	0	0	0	23.5°	27.6°	36.8°
有效屏蔽 厚度 X_e (cm)	290	330	290	170	300	174.5	203.1	224.8
TVL_1 (cm)	41	41	41	35	35	35	35	35
TVL (cm)	37	37	37	31	31	31	31	31
B	1.86E-08	1.55E-09	1.86E-08	4.42E-06	2.83E-10	3.16E-06	3.78E-07	7.54E-08
$H_0(\mu\text{Sv/h})$	1.32×10^9	1.32×10^9	1.32×10^9	1.32×10^9	1.32×10^9	1.32×10^9	1.32×10^9	1.32×10^9
f	1	1	1	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
$R(\text{m})$	8.5	8.9	10.7	7.05	10.45	11.4	8.43	12.05
剂量当量 $H(\mu\text{Sv/h})$	0.34	2.58E-02	0.21	0.12	3.42E-06	3.21E-02	7.02E-03	6.86E-04

表 11-22 患者一次散射对关注点的剂量估算表

计算参数	与主屏蔽区相连的次屏蔽区	
	C 点	I 点
屏蔽厚度 X (cm)	180	180
斜射角 θ	27.6°	36.8°
有效屏蔽厚度 X_e (cm)	203.1	224.8
TVL (cm)	28	28
透射因子 B	5.58E-08	9.36E-09
$H_0(\mu\text{Sv/h})$	1.32×10^9	1.32×10^9
α_{ph}	1.35E-03	1.35E-03
F	1600	1600
$R(\text{m})$	8.43	12.05
剂量当量 $H(\mu\text{Sv/h})$	5.59E-03	4.60E-04

表 11-23 机房迷道入口处的剂量估算表

计算参数	机房迷道入口处 (防护门外关注点 G)
	X 射线
机房入口处的散射辐射剂量率 H ($\mu\text{Sv/h}$)	8.36
机房入口处的漏射辐射剂量率 H_{OG} ($\mu\text{Sv/h}$)	7.39×10^{-2}
屏蔽厚度 X (mm)	15 (铅)
TVL (mm)	5
剂量当量 $H(\mu\text{Sv/h})$	8.23×10^{-2}

3、辐射环境影响综合分析

由式 11-27 估算各关注点的年附加有效剂量：

$$E = H \times 10^{-3} \times q \times h \times W_T \dots\dots\dots \text{式 11-27}$$

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 11-24。

表 11-24 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)
A (应急物资库)	公众	0.34	62.5	0.25	5.31E-03
B (射波刀机房)	职业	2.58E-02	62.5	0.25	4.03E-04
C (污水泵房)	公众	1.26E-02	250	0.0625	1.97E-04
D (停车场)	公众	0.12	250	0.25	7.50E-03
E (控制室)	公众	3.42E-06	250	0.25	2.14E-07
F (控制室)	职业	3.21E-02	250	1	8.03E-03
H (地面绿化带)	公众	0.21	25	0.25	1.31E-03
I (地面绿化带)	公众	1.15E-03	250	0.25	7.19E-05
G (机房防护门)	公众	8.23E-02	250	0.25	5.14E-03

*注: 对于主射线束照射区域 (A、B、H 点), 根据医院实际治疗情况, 射线投向地面的比例约占 40%, 南、北墙体各占 25%, 屋顶占 10%, 照射时间据此取值。

根据表 11-24, 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最大为 $8.03 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$, 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 $7.50 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$, 满足公众 0.1mSv/a 的约束值要求。

四、射波刀辐射环境影响分析

(一) 射波刀机房屏蔽体厚度校核

1、射波刀照射路径条件

根据 GBZT 201.2-2011 中“D.3.3.1 各面均按有用束考虑机房屏蔽”, 由于来自于射波刀加速器的漏射线及人体散射线的剂量率及能量都远小于主射线, 治疗室墙体若能屏蔽主射线, 也一定能够屏蔽来自于加速器的漏射线及人体散射线。故本项目射波刀机房仅以主射线屏蔽核算屏蔽体外辐射剂量率是否达标。从保守角度出发, 在射波刀机房设计的尺寸厚度基础上, 假定射波刀最大工况运行并针

对关注点最不利情况对机房进行辐射屏蔽核算。本项目射波刀机房建在地下负二层，机房下方无构筑物，为地下岩土层，故地面的关注点不予考虑。本项目射波刀机房的关注点设定及主要照射路径见图 11-3。

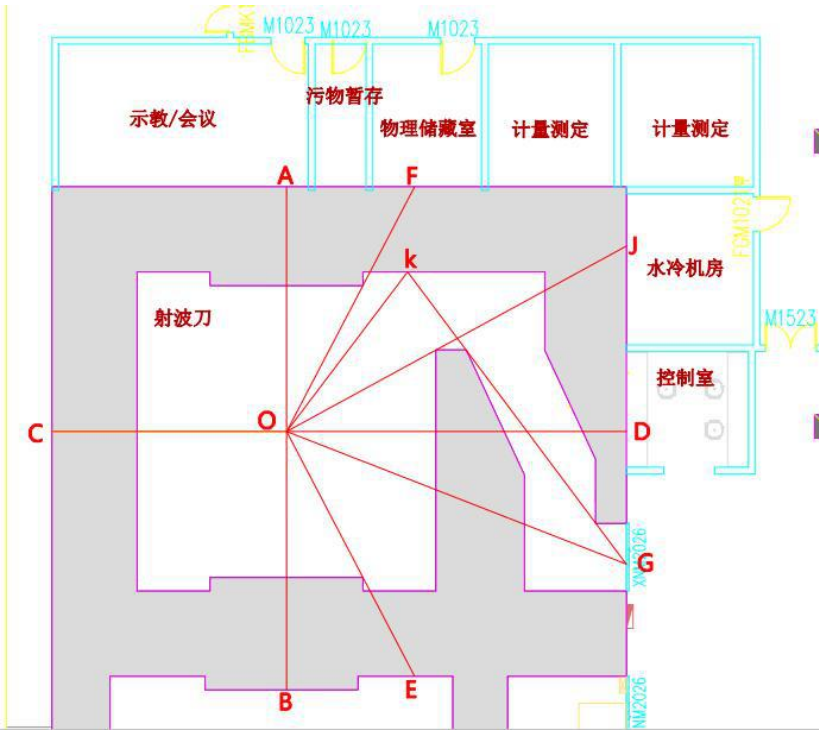


图 11-3-1 水平面照射路径示意图

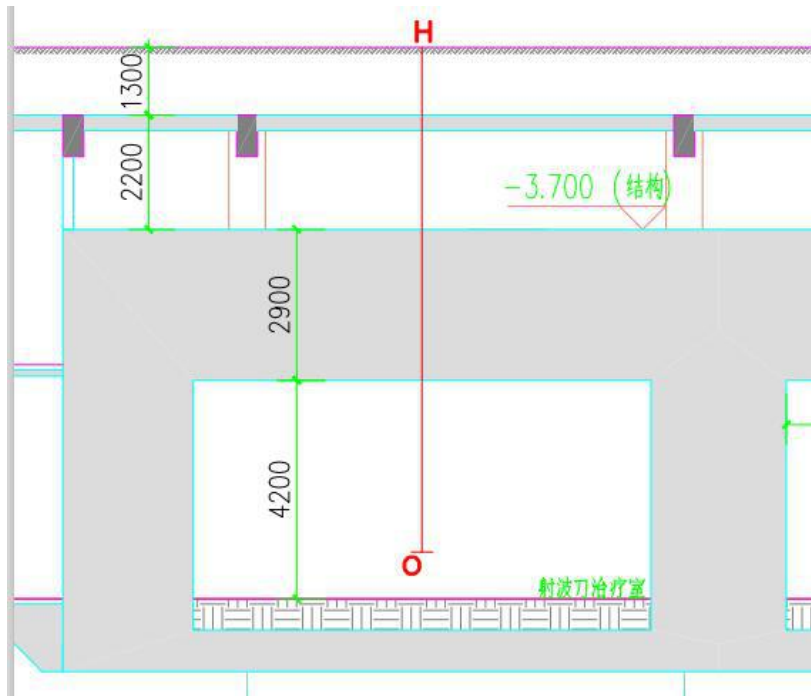


图 11-3-2 垂直面照射路径示意图

2、剂量率参考控制水平 (H_e)

根据 GBZ/T201.2-2011 中 D.3.3.2“机房外的剂量率参考控制水平 H_e 建议取为 $10\mu\text{Sv/h}$ ”，又根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011) 中“6.1.3 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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”，保守考虑，本项目射波刀机房外各关注点剂量率参考控制水平 H_e 取 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

3、机房屏蔽厚度核算

根据 GBZ/201.2-2011 的相关公式对各侧墙体进行厚度核算，按（式 11-28、式 11-29）估算所需的有效屏蔽厚度 X_e (cm)，再按照（式 11-30）获得屏蔽厚度 X (cm)，计算结果与设计厚度进行比较，分析是否满足屏蔽厚度要求。计算结果见表 11-25。

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

$$X_e = TVL \times \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \dots\dots\dots \text{式11-29}$$

$$X = X_e \cos \theta \dots\dots\dots \text{式 11-30}$$

式中：

B —屏蔽透射因子；

H_e —剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 —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， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；本项目关注点均为相应墙外30cm；

f —有用束为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；主屏蔽墙 0° 入射；

TVL_1 (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；查(GBZ/T201.2-2011)表B.1, 6MV有用线束对应的 TVL_1 为37cm, TVL 为33cm；

X_e —墙体有效屏蔽厚度，cm；

X —墙体屏蔽厚度，cm。

表 11-25 -1 射波刀机房墙体屏蔽厚度核算表（一）

参数	北侧墙体 (A 点)	南侧墙体 (B 点)	西侧墙体 (C 点)	东侧墙体 (D 点)	东南侧墙体 (E 点)
剂量率参考控制水平 $H_e(\mu\text{Sv/h})$	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
$R(\text{m})$	7.5	7.9	7.2	10.3	8.43
$H_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	3.84×10^8	3.84×10^8	3.84×10^8	3.84×10^8	3.84×10^8
f	1	1	1	1	1
透射因子 B	3.66E-07	4.06E-07	3.38E-07	6.91E-07	4.63E-07
TVL_1 (cm)	37	37	37	37	37
TVL (cm)	33	33	33	33	33
有效屏蔽厚度 X_e (cm)	216.4	214.9	217.6	207.3	213.0
斜射角 θ	0°	0°	0°	0°	27.6°
混凝土屏蔽厚度 X (cm)	216.4	214.9	217.6	207.3	188.8
设计屏蔽厚度 (cm)	290	330	250	328.3 (计算点位处)	250
是否满足屏蔽要求	满足	满足	满足	满足	满足

表 11-25-2 射波刀机房墙体屏蔽厚度核算表（二）

参数	东北侧墙体 (F 点)	迷道外墙 (J 点)	迷道内墙 (G 点)	屋顶 (H 点)
剂量率参考控制水平 $H_e(\mu\text{Sv/h})$	2.5	2.5	2.5	2.5
$R(\text{m})$	8.43	11.7	11.2	9.7
$H_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	3.84×10^8	3.84×10^8	3.84×10^8	3.84×10^8
f	1	1	1	1
透射因子 B	4.63E-07	8.91E-07	8.17E-07	6.13E-07
TVL_1 (cm)	37	37	37	37
TVL (cm)	33	33	33	33
有效屏蔽厚度 X_e (cm)	213.0	203.7	204.9	209.0
斜射角 θ	27.6°	28.6°	21.7°	0°
混凝土屏蔽厚度 X (cm)	188.8	178.8	190.4	209.0
设计屏蔽厚度 (cm)	250	240	260	290
是否满足屏蔽要求	满足	满足	满足	满足

4、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 G 关注点处的散射辐射剂量率 H 计算公式如下：

$$H = \frac{\alpha_{ph} \times (F/400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A}{R_2^2} \times H_0 \dots\dots\dots \text{式 11-31}$$

式中：

H —关注点处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

α_{ph} — 400cm^2 面积上的散射因子；

α_2 —散射辐射因子；

F —治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；本项目为 $6\text{cm} \times 6\text{cm}$ ；

A —散射面积， m^2 ；散射面积为 $2.2\text{m} \times 4.2\text{m} = 9.24\text{m}^2$ ；

R_1 —第一次散射（O-k）路径，m； $R_1 = 4.8\text{m}$ ；

R_2 —第一次散射（k-G）路径，m； $R_2 = 9.7\text{m}$ 。

经计算：射波刀机房入口关注点处（G）的散射辐射剂量率 H 为 $4.5\mu\text{Sv/h}$ 。

所需的铅屏蔽透射因子 B 计算公式如下：

$$B = \frac{H_G - H_{OG}}{H} \dots\dots\dots \text{式 11-32}$$

式中：

H_{OG} —O 位置穿过迷道内墙在 G 处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ，参考下文表 11-26 计算方法，经计算为 $1.34 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ；

H_G —机房入口关注点处（G）控制剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H —机房入口关注点处（G）的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ 。

经计算， $B = (2.5 - 0.0134) / 4.5 = 0.55$ 。

射波刀机房入口处 X 射线散射辐射平均能量约为 0.2MeV ，铅的 TVL 为 5.0mm ，相应 $B = 0.55$ 的铅厚度(X)为： $X = TVL \cdot \log B^{-1} = 1.3\text{mm}$ ，本项目射波刀机房铅门实际设计为 15mm 铅当量+ 77mm 含硼聚乙烯。

综上所述，本项目射波刀机房的设计参数均能满足屏蔽防护要求。

（二）射波刀辐射环境影响分析

1、X 射线辐射环境影响分析

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

主射线束辐射剂量估算:

$$H = \frac{H_0 \times f}{R^2} \times B \dots\dots\dots \text{式 11-33}$$

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_0) / TVL} \dots\dots\dots \text{式 11-34}$$

$$X_e = X / \cos \theta \dots\dots\dots \text{式 11-35}$$

机房迷道入口处 X 射线散射辐射剂量估算:

$$H = \frac{\alpha_{ph} \times (F/400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A}{R_2^2} \times H_0 \dots\dots\dots \text{式 11-36}$$

式中各符号含义与前面一致。

由此估算的各关注点的剂量见表 11-26。

表 11-26-1 射波刀机房外关注点辐射剂量估算表 (一)

计算参数	北侧墙体 (A 点)	南侧墙体 (B 点)	西侧墙体 (C 点)	东侧墙体 (D 点)	东南侧墙体 (E 点)
屏蔽厚度 X (cm)	290	330	250	328.3	250
斜射角 θ (°)	0°	0°	0°	0°	27.6°
有效屏蔽厚度 X_e (cm)	290	330	250	328.3	282.1
TVL_1 (cm)	37	37	37	37	37
TVL (cm)	33	33	33	33	33
B	2.15E-09	1.32E-10	3.51E-08	1.49E-10	3.74E-09
$H(\mu\text{Sv/h})$	3.84×10^8	3.84×10^8	3.84×10^8	3.84×10^8	3.84×10^8
f	1	1	1	1	1
$R(\text{m})$	7.5	7.9	7.2	10.3	8.43
剂量当量 $H(\mu\text{Sv/h})$	1.47E-02	8.13E-04	0.26	5.39E-04	2.02E-02

表 11-26-2 射波刀机房外关注点辐射剂量估算表 (二)

计算参数	东北侧墙体 (F 点)	迷道外墙 (J 点)	屋顶 (H 点)
屏蔽厚度 X (cm)	250	240	290
斜射角 θ (°)	27.6°	28.6°	0°
有效屏蔽厚度 X_e (cm)	282.1	273.3	290
TVL_1 (cm)	37	37	37
TVL (cm)	33	33	33
B	3.74E-09	6.91E-09	2.15E-09
$H(\mu\text{Sv/h})$	3.84×10^8	3.84×10^8	3.84×10^8
f	1	1	1

R(m)	8.43	11.7	9.7
剂量当量H(μSv/h)	2.02E-02	1.94E-02	8.19E-03

根据 GBZ/T201.2-2011，在给定防护门的铅屏蔽厚度 X（15mm）时，防护门外的辐射剂量率按（式 11-37）进行计算。

$$H = H_g * 10^{(-X/TVL)} + H_{OG} \dots\dots\dots \text{式 11-37}$$

H_g—机房入口关注点处的散射辐射剂量率，前述已计算“机房入口 G 关注点处的散射辐射剂量率 H”，结果为 4.5μSv/h。

H_{OG}—泄漏射线穿过迷道内墙在关注点 G 处的剂量率，μSv/h；可参考表 11-26 计算方法，经计算为 1.34×10⁻²μSv/h。

经计算：射波刀机房防护门处的辐射剂量率为 1.79×10⁻²μSv/h。

2、辐射环境影响综合分析

由式 11-38 估算各关注点的年附加有效剂量：

$$E = H \times 10^{-3} \times q \times h \times W_T \dots\dots\dots \text{式 11-38}$$

式中各符号含义与前面一致。

由此估算的射波刀机房周围各关注点的年附加有效剂量见表 11-27。

表 11-27 射波刀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(μSv/h)	工作负荷 (h/a)	居留因子	附加有效剂量预测结果 mSv/a
A（示教/会议室）	公众	1.47E-02	125	0.25	4.59E-04
B（直加机房）	职业	8.13E-04	125	0.25	2.54E-05
C（停车场）	公众	0.26	125	0.25	8.13E-03
D（控制室）	职业	5.39E-04	125	1	6.74E-05
E（直加机房）	职业	2.02E-02	125	0.25	6.31E-04
F（物理储藏室）	公众	2.02E-02	125	0.25	6.31E-04
J（水冷机房）	公众	1.94E-02	125	0.25	6.06E-04
G（机房防护门）	职业	1.79E-02	125	0.25	5.59E-04
H（地面绿化带）	公众	8.19E-03	125	0.25	2.56E-04

注：根据医院提供资料射波刀每天治疗 15 个病人，又根据 GBZ/T201.2-2011 附录 D3.2 平均每名患者病变区治疗剂量为 12Gy/人，本项目射波刀中心点剂量率为 10Gy/min，则每个病人单次照射 1.2min，保守按 2min 照射时间计算，则射波刀每年出束时间为 125h。

根据表 11-27，本项目射波刀运行后，职业人员受到的附加有效剂量最大为 6.31×10⁻⁴mSv/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 8.13×10⁻³mSv/a，满足公众 0.1mSv/a 的约束值要求。

3、射波刀自带 X 射线管辐射环境影响分析

本项目射波刀系统上自带 2 个低能 X 射线管（能量为 150kV），根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 3：标称 125kV 以上的摄影机房有用线束方向铅当量不得低于 3.0mm 铅当量（255mm 混凝土，表 C.7 查询），本项目射波刀机房墙体最小屏蔽厚度为 2500mm 混凝土，远远大于 255mm 混凝土，因此，2 个低能 X 射线管经射波刀机房屏蔽后对机房周围的辐射影响很小。

五、大气环境影响分析

1、放射性气溶胶对公众影响分析

本项目放射性气溶胶核素组成包括：氟-18、锝-99m，放射性废气排放时，排口设置有高效过滤器加活性炭过滤器，其过滤效率为 99%，最终排放后，公众最大年摄入量见表 11-28。

表 11-28 放射性核素公众最大年摄入量汇总表

核素	考虑过滤效率后的日最大排放量 (Bq)	核医学科排风量 (m³/h)	排放浓度 (Bq/m³)	年排放时间	年最大摄入量 (吸入) (Bq) ①	年摄入量最小限值 (Bq) ②	备注
¹⁸ F	2.22E+04	9860	2.25	250 天*8h	8.56E+03	2.3×10 ⁵	满足
^{99m} Tc	3.33E+04	9860	3.38	250 天*8h	1.28E+04	7.6×10 ⁵	满足

根据表 11-28，按最保守估算，排放口处各核素年最大摄入量均满足相关限值要求，因此本项目排放的放射性气体对周围辐射环境影响较小。

2、臭氧环境影响分析

(1) 手术室、内镜中心

DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机的 X 射线能量较小，其臭氧产生量较小，且 DSA 和 ERCP 机房设置有独立的通排风系统，产生的臭氧经通排风系统排至室外经自然稀释后对环境的影响较小。

(2) 放疗科

直线加速器、射波刀在出束状态下，X 射线与空气相互作用产生臭氧。参照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018），在曝光过程中仅利用 X 射线的加速器仅需考虑 X 射线产生的臭氧，如果利用 X 射线和电子线的加速器只计算电子束产生的臭氧就足够了，因此本次评价射波刀机房仅考虑 X 射线产生的臭氧，10MV 直线加速器机房仅考虑电子束产生的臭氧。

①直线加速器机房

根据《辐射防护手册》（第三分册）“4.6.1 臭氧章节”，直线加速器电子束所致臭氧浓度由下式计算：

$$C_{O_3} = 3.25 \left[\frac{S_{coj} I t d}{V} \right] \times 10^{-3} \dots\dots\dots \text{式 11-39}$$

式中： C_{O_3} —臭氧浓度（重量比），ppm；

S_{coj} —电子在空气中的线碰撞阻止本领，keV/cm，其数值与电子能量有关，本项目取 3keV/cm；

d —器外电子束在空气中所通过的距离，取 100cm；

I —器外电子束流强度，取 0.1mA；

t —辐照时间，取单次最长照射时间为 120s；

V —加速器机房的容积，取 716m³（含迷道）。

经计算，直线加速器机房运行期间，机房内臭氧浓度（重量比）为 0.016ppm，即 0.035mg/m³，满足《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，机房内臭氧对人体危害不大。

②射波刀机房

参照《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018），X 射线所致臭氧的产生率由下式计算：

$$P = 2 \times 10^{-9} D_{10} S L \rho \dots\dots\dots \text{式 11-40}$$

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，射波刀取 600Gy/h；

S —最大治疗野面积，取值 0.0036m²；

L —X 射线在空气中的路径长度，取 1m。

ρ —臭氧密度，取 2.14×10³mg/L。

经计算，射波刀机房运行期间，机房内臭氧产生率为 9.24×10⁻⁶mg/h。

在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），辐照室空气中臭氧的平衡浓度 C_s 由下式计算：

$$C_s = \frac{PT_e}{V} \dots\dots\dots \text{式 11-41}$$

$$T_e = \frac{T_v \times T_d}{T_v + T_d} \dots\dots\dots \text{式 11-42}$$

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 0.083h；

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 451m³（含迷道）。

经计算，射波刀机房内臭氧有效清除时间为 0.075h，臭氧平衡浓度为 1.54×10⁻⁹mg/m³，平衡浓度远远低于《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。

综上，直线加速器和射波刀机房内的臭氧通过通风管道引至 1#楼屋顶排放经扩散后，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。

六、水环境影响分析

1、非放射性废水

本项目直线加速器、射波刀不产生医疗废水和放射性废水，只产生少量生活污水，依托医院污水处理设施处置。加速器冷却系统采用去离子蒸馏水，内循环使用，不会产生感生放射性废水，加速器设备自带水流量监测开关，当加速器中的大功率负载等的冷却水流量不满足要求时，加速器将自动切断高压电源，由于蒸发耗损，需要补充去离子蒸馏水时由厂家派专人补充。

本项目 DSA 采用数字成像，无废显、定影液产生，无需相关治理措施。医护人员产生的生活污水依托医院拟建的污水处理设施处置。

2、放射性废水

本项目放射性废水 10 个半衰期产生量为 3.5m³，该部分废水先排入衰变池，放射性废水在衰变池停留 10 个半衰期后，经监测达标（总β排放标准 10Bq/L）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。

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/d，核素种类包含：氟-18、锝-99m，医院采用专门固废收集桶分类收集后，衰变 10 个半衰期并监测达标（ 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，衰变 10 个半衰期并监测达标后作为普通固废处置，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、声环境影响分析

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机、空调。本项目均拟选用低噪设备，噪声源强约为 65dB(A)。通排风系统拟采用低噪声风机并设置减振降噪装置，且加上建筑物墙体的隔声作用及医院场址内的距离衰减，噪声较小，无需采用专门的降噪措施。

事故影响分析

一、事故等级判断依据

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故（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 11-29。

表 11-29 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	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 $1.0\text{E}+13\text{Bq}$ 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

	性死亡。	1.0E+14Bq 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+12Bq 且小于 1.0E+13Bq 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+13Bq 且小于 1.0E+14Bq 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+11Bq 且小于 1.0E+12Bq 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+12Bq 且小于 1.0E+13Bq 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致人员受到超过年剂量限值的照射。	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+11Bq 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 11-30。

表 11-30 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、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。

2、事故后果计算

(1) 医用电子直线加速器、射波刀事故后果计算

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 22Gy/min，射波刀对病人开机治疗时，距焦点 0.8m 处 X 射线的最大吸收剂量率为 10Gy/min。假设考虑加速器、射波刀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 处、射波刀机头外 0.8m 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、距射波刀机头 0.8m 处受到的辐射剂量分别为 1.83Sv/次和 0.83Sv/次，超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 50mSv/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，本项目直线加速器事故状态下急性放射病发生率达到 90%，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；本项目射波刀事故状态下，可导致职业人员和公众受照射剂量分别超过《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 50mSv/a、公众年受照射剂量 1mSv/a 的限值，构成一般辐射事故。

(2) DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机事故后果计算

根据式 11-2 和式 11-3，在事故状态人员受照射剂量见表 11-31。

表 11-31 事故情况下剂量率计算结果表

设备	人员	与射线束侧向之间最近距离	事故状况	曝光时间	事故状态曝光参数	年剂量限值
DSA	公众	1m（侧向）	公众误入机房或未撤离机房，且无防护	0.35min	管电压 80kV， 管电流 650mA	1mSv/a
	职业	0.3m（侧向）	曝光参数设置错误（职业	1.59min		50mSv/a

			人员手术过程将透视参数设置为拍片参数)			
ERCP	公众	1m (侧向)	公众误入机房或未撤离机房, 且无防护	0.92min	管电压 80kV, 管电流 250mA	1mSv/a
	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)	4.12min		50mSv/a

根据表 11-31, DSA 和 ERCP 在事故状态下分别超过 0.35min 和 0.92min 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; 分别超过 1.59min 和 4.12min 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 50mSv/a 限值, 并构成一般辐射事故。

三、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科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。

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 11-8~11-9，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 11-32。

表 11-32 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 (1.8Ci)	钼-99 (1Ci)	锝-99m (0.9Ci)
0.1	8.96E+02	1.57E+02	1.34E+02
0.2	2.24E+02	3.93E+01	3.34E+01
0.5	3.58E+01	6.29E+00	5.34E+00
1.0	8.96E+00	1.57E+00	1.34E+00
2.0	2.24E+00	3.93E-01	3.34E-01
5.0	3.58E-01	6.29E-02	5.34E-02
10.0	8.96E-02	1.57E-02	1.34E-02
12.6	5.64E-02	9.90E-03	8.41E-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 11-32 可知,本项目放射性药品在撒漏情况下不构成一般辐射事故。

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)

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)

本次评价以核素单日最大操作量作为事故状态下的释放量,各核素事故状态下锶-90 当量释放量见表 11-33。

表 11-33 事故状态下锶-90 当量释放量计算表

核素	评价核素日最大操作量 (Bq)	锶-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) *	锶-90 当量释放量(Bq)
氟-18	6.66E+10	2.3×10 ⁻⁷	5.2×10 ⁻¹⁰	1.51E+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

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

1.0E+11Bq 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 1.0E+12Bq 的 Sr-90 当量时为一般辐射事故。根据表 11-33 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 280cm²；

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·cm² 对皮肤造成的剂量率及事故状态下受照剂量见表 11-34。

表 11-34 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

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，可能发生的辐射事故等级最大为一般辐射事故。

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、核医学科

（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 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

（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）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。

2、射线装置

（1）立即消除事故源，防止事故继续蔓延和扩大，即第一时间断开电源（如立即启动“紧急止动开关”），停止 X 射线的产生。

（2）及时检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应及时安置受照人员就医检查。

（3）及时处理，出现事故后，应尽快集中人力、物力，有组织、有计划的进行处理。

（4）在事故处理过程中，要在可合理做到的条件下，尽可能减少人员照射。

（5）事故处理后应累计资料，及时总结报告。

医院对于辐射事故应进行记录：包括事故发生的时间和地点，所有涉及的事

故责任人和受害者名单；对任何可能受到照射的人员所做的辐射剂量估算结果；所做的任何医学检查及结果；采取的任何纠正措施；事故的可能原因；为防止类似事件再次发生所采取的措施。

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类射线装置和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。

建设单位以“四川泰康西南医发[2020]2号”文成立辐射安全与防护管理领导小组，成员组成见表12-1。

表 12-1 四川泰康西南医院有限公司放射防护管理领导小组成员组成表

组长	分管院长
成员	医务部部长、运行保障部部长、设备科主任、核医学科主任、核医学科护士长、放疗中心主任、影像中心主任、内镜中心主任、手术室护士长

辐射安全与防护管理领导小组职责包括：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。

辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2008年修改）（环境保护部第3号令）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第18号令）的相关管理要求，射线装置及非密封放射性物场所的单位应当具备有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。并根据《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）的相关要求，将建设单位需要制定的列于表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	场所设施	场所分区管理规定（含人流、物流路线图）	拟制定
5		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
6		去污操作规程	拟制定
7		医用电子直线加速器、射波刀、DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机、PET/CT、SPECT/CT 操作规程	拟制定
8		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
9		患者管理规定	拟制定
10		放射性药物（体内）治疗病房管理规定	拟制定
11	监测	监测方案	拟制定
12		监测仪表使用与校验管理制度	拟制定
13	人员	辐射工作人员培训/再培训管理制度	拟制定
14		辐射工作人员个人剂量管理制度	拟制定
15	应急	辐射事故/事件应急预案	拟制定
16	三废	放射性“三废”管理规定	拟制定
17	大纲	放射性治疗保证大纲及质量控制计划	拟制定

建设单位需在辐射安全与防护管理领导小组组织下及时定制上述各项规章制度，明确各科室人员责任，并严格落实。放射防护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（医用电子直线加速器、射波刀、DSA、ERCP 中型 C 臂 X 射线机、PET/CT、SPECT/CT）”、“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。

此外，根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号）：自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，应通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）进行相关知识学习，通过生态环境部培训平台报名并参加考核，取得辐射安全培训合格证书后方可从事辐射活动。

建设单位将尽快组织新增辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习相关知识并报名参加考核。

辐射监测

根据《四川省辐射污染防治条例》中“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。加强检测管理和辐射工作人员职业健康检查管理，保证每名辐射工作人员的个人剂量计每个季度送有资质部门检测一次，并建立个人剂量档案终生保存。

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；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，监测报告附到年度评估报告中，于每年 1 月 31 日前将评

估结果上传至全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn>）。

（4）监测范围：射线装置工作场所主要监测屏蔽墙、防护门、观察窗外以及楼上、楼下区域和穿线空洞外 X 辐射剂量率。非密封放射性物质工作场所主要监测控制区人员易接触的工作台、地面、墙面、病床、桌椅等表面沾污，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、 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	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
	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
		β 表面沾污、 γ 辐射剂量率	放射性固体废物	放射性固体废物解控前	β 表面沾污仪、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	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
	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

辐射事故应急

为了加强对辐射治疗、诊断设备的安全管理，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》，由应急领导小组逐级上报地方及省级生态环境主管部门（成都市生态环境局：028-61885200；四川省生态环境厅：028-80589003（白天）、028-80589100（夜间、假期）），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

1、项目概况

项目名称：成都泰康西南医院新建II类射线装置及核医学科应用项目
建设单位：四川泰康西南医院有限公司
建设性质：新建
建设地点：四川省成都市天府新区华阳街道二江寺村五、六、十一组——成都泰康西南医院内

本项目建设内容：新增使用 1 台 10MV 医用电子直线加速器、1 台 6MV 射波刀、3 台数字化减影血管造影机（DSA）、1 台胰胆管造影（ERCP）中型 C 型臂 X 射线机等II类射线装置；新增使用 2 台III类射线装置，包括 1 台 PET/CT 和 1 台 SPECT/CT；新增使用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、锝-99m 和钼-99。

本项目总投资 14000 万元，环保投资 319.7 万元，占总投资的 2.28%。

2、本项目产业政策符合性分析

项本项目系核技术用于医学领域，根据《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，本项目属于该指导目录中鼓励类第六项“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业发展政策。

3、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。

4、工程所在地区环境质量现状

项目建设地周围 X-γ辐射剂量率范围为 81nSv/h~93nSv/h(折算为γ空气吸收

剂量率为 81nGy/h~93nGy/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 0.20Bq/cm²~0.23Bq/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。

5、环境影响评价结论

（1）辐射环境影响分析

经模式预测，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；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）水环境影响分析

本项目放射性废水先排入衰变池，放射性废水在衰变池停留 10 个半衰期后，经监测达标（总 β 排放标准 10Bq/L）后排入医院污水处理站，达标处理后排入市政污水管网；医护人员产生的生活污水依托医院拟建的污水处理设施处置，对周围环境影响较小。

（4）固体废物环境影响分析

本项目放射性固废采用专门固废收集桶分类收集后，衰变 10 个半衰期并监测达标（ γ 剂量率接近本底水平， β 表面沾污小于 0.08Bq/cm²）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；更换下的活性炭过滤器经暂存衰变 10 个半衰期并监测达标（ γ 剂量率接近本底水平， β 表面沾污小于 0.08Bq/cm²）后作为普通固废处置。

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。

(5) 声环境影响分析

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机和空调，均选用低噪设备，再加上建筑物墙体的隔声作用及医院场址内的距离衰减，项目噪声对区域声环境影响较小。

6、事故风险与防范

建设单位需按相关规定或标准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。

7、环保设施与保护目标

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

8、辐射安全管理的综合能力

建设单位辐射安全管理机构健全，有领导分管，人员落实，责任明确，辐射工作人员配置合理，考试（核）合格，在落实辐射事故应急预案与安全规章制度和环保设施和措施要求下可满足防护实际需要。对现有场所而言，建设单位已具备辐射安全管理的综合能力。

9、项目环保可行性结论

建设单位在采取切实可行的环保措施，落实本报告提出的各项污染防治措施后，本评价认为，本项目在四川省成都市天府新区华阳街道二江寺村五、六、十一组——成都泰康西南医院内进行建设，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) 建设单位在申请辐射安全许可证前，注册并登录全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn>），对建设单位所用射线装置及非密封放射性物质的相关信息进行填写。

(2) 根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号），建设单位所有辐射工作人员需通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）进行相关知识学习，通过生态环境部培训平台报名并参加考核，取得辐射安全培训合格证书后方可从事辐射活动。

(3) 项目应按照国家相关法律法规尽快进行验收。

(4) 接受生态环境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

1、核医学科			
项目	设施（措施）		数量
辐射屏蔽措施	核医学科屏蔽房间 （墙体、地板、楼板、门、窗屏蔽）		/
	PET	通风橱（45mm 铅当量）	1 套
		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
	SPECT	通风橱（5mm 铅当量）	1 套
		注射窗（2mm 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（5mm 铅当量，双人双锁）	1 个
个人防	个人剂量报警仪		4 个

护用品	个人剂量计		12 人×1 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		6 套
	污染表面清洗剂		/
放射性废水	控制区独立下水系统及排水管道屏蔽措施		1 套
	3 格并联池衰变池（有效容积 15m³）		1 座
放射性固废	PET	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
	SPECT	放射性固废收集桶（2mm 铅当量）	2 个
		放射性固废收集暂存容器（2mm 铅当量）	2 个
	放射性固废暂存间		1 间
安全装置	SPECT 储源室、PET 储源室保险柜（双人双锁）各 1 个		2 个
	SPECT 储源室、PET 储源室红外监控系统各 1 套		2 套
	SPECT 储源室、PET 储源室固定式剂量报警仪各 1 套		2 套
	SPECT 储源室、PET 储源室红外报警系统各 1 套		2 套
	电离辐射警告		若干
	核医学科控制区门禁系统		1 套
	SPECT/CT、PET/CT 机房操作台紧急止动开关各 1 个		2 个
通风系统	独立通排风系统		1 套
	两级过滤装置		6 套
分区管理	场所控制区、监督区划分标识		/
2、直线加速器、射波刀			
辐射屏蔽措施	直线加速器屏蔽机房		1 间
	射波刀屏蔽机房		1 间
	防护门（15mm 铅当量+77 mm 含硼聚乙烯）		2 间×1 扇
安全装置	治疗室门与束流联锁（门-机联锁）装置		2 间×1 套
	视频监控系统及对讲装置		2 间×1 套
	准备出束音响装置		2 间×1 套
	工作状态指示灯（门-灯联锁）		2 间×1 套
	紧急开门装置		2 间×1 套
	紧急止动开关		2 间×1 套
	固定式剂量报警装置		2 间×1 套
	入口电离辐射警告标志		2 间×1 个
个人防护用品	个人剂量计		8 人×1 个
	个人剂量报警仪		2 个
废气	独立通排风系统		2 间×1 套
分区管理	场所控制区、监督区划分标识		/
3、DSA、ERCP			
辐射屏蔽措施	DSA 屏蔽机房		3 间
	ERCP 屏蔽机房		1 间
	防护铅门（4mm 铅当量）		3 扇/间×4 间

	铅玻璃观察窗（4mm 铅当量）	3 扇/间×4 间
安全装置	工作状态指示灯	1 个/间×4 间
	入口电离辐射警告标志	2 个/间×4 间
	床旁及控制台紧急止动开关	2 个/间×4 间
	个人剂量计	23 人×1 个
个人防护用品	个人剂量报警仪	8 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	3 套/间×4 间
	废气	通排风系统
分区管理	场所控制区、监督区划分标识	/
4、综合管理		
监测设备	X-γ辐射剂量率监测仪	1 台
	β表面沾污仪	1 台
人员培训	辐射工作人员上岗考核	52 人
台账管理	放射性药物管理台账、射线装置台账、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、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

单位盖章

年 月 日

年 月

日

审批意见：

签发人签字

单位盖章

年 月 日

年 月

日