

核技术利用建设项目
四川省第一中医医院
新建放射诊疗和放射性同位素工作场所
项目环境影响报告表
（公示本）

四川省第二中医医院

二〇二二年四月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

四川省第一中医医院

新建放射诊疗和放射性同位素工作场所

项目环境影响报告表

建设单位名称：四川省第二中医医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：成都市青羊区四道街 20 号

邮政编码：610014

联系人：邓**

电子邮箱：65*****@qq.com

联系电话：159*****

表 1 项目概况

建设项目名称		四川省第一中医医院新建放射诊疗和放射性同位素工作场所项目			
建设单位		四川省第二中医医院			
法人代表		谢**	联系人	**	联系电话 159****
注册地址		成都市青羊区四道街 20 号			
项目建设地点		成都市成华区华林一路拟建四川省第一中医医院医疗综合楼			
立项审批部门		成都市成华区发展和改革局	批准文号	成华发改审批[2021]179 号	
建设项目总投资 (万元)		**	项目环保投资 (万元)	**	投资比例(环保投资/总投资) **%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			占地面积 (m ²) 约**
应用 类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☒ 使用	☐ I 类 (医疗使用) ☒ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☒ V 类		
	非密封放 射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙		
	射线 装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☒ III 类		
	其它	/			

项目概述

一、建设单位简介及项目由来

四川省第二中医医院（统一社会信用代码：12510****）始建于 1966 年，是一所集医疗、科研、教学、产业、文化、国际合作“六位一体”的国家三级甲等综合性中医医院。四川省第二中医医院开设有预防保健科、内科、外科、妇产科、妇女保健科、儿科、眼科、耳鼻咽喉科、口腔科、皮肤科、医疗美容科、传染科、放疗科、急诊医学科、康复医学科、麻醉科、重症医学科、医学检验科、病理科、医学影像科、中医科、中西医结合科等。

为深入贯彻落实《中共四川省委四川省人民政府关于促进中医药传承创新发展的实施意见》（川委发[2020]7号）精神，四川省中医药管理局为推进中医药高质量发展，加强与地方政府合作，四川省中医药管理局与成都市成华区人民政府的代表签订了共建四川省第一中医医院合作框架协议（附件2），协议规定“成华区人民政府统筹成都锦城华创置业有限责任公司做好省第一中医医院项目的建设和装修，四川省中医药管理局统筹四川省第二中医医院牵头筹建四川省第一中医医院，建成后租赁给四川省第一中医医院（筹）整体运营，四川省第一中医医院（筹）自行采买医疗设备等，保障医院正常运营”。四川省第一中医医院建成投运后为集医疗、科研、教学、产业、文化、国际合作为一体的大型国家三级甲等综合中医医院，筹建完成后为独立法人机构，四川省第一中医医院负责办理《辐射安全许可证》和本项目验收事宜。

四川省第一中医医院建设项目工程位于华林一路西北侧、人民塘路东一段西南侧、民兴苑东南侧、民兴西苑西南侧所在区域。该项目取得了成都市成华区发展和改革局“关于省第一中医医院建设工程项目项目建议书的批复”（成华发改审批[2020]82号），批准其立项。在2021年7月取得了“成都市成华区发展和改革局关于省第一中医医院建设工程项目可行性研究报告的批复”（成华发改审批[2021]179号）（附件4），并在2022年3月取得了成都市生态环境局“省第一中医医院建设工程项目环境影响报告书”的批复（成环审（评）【2022】7号（附件5）。

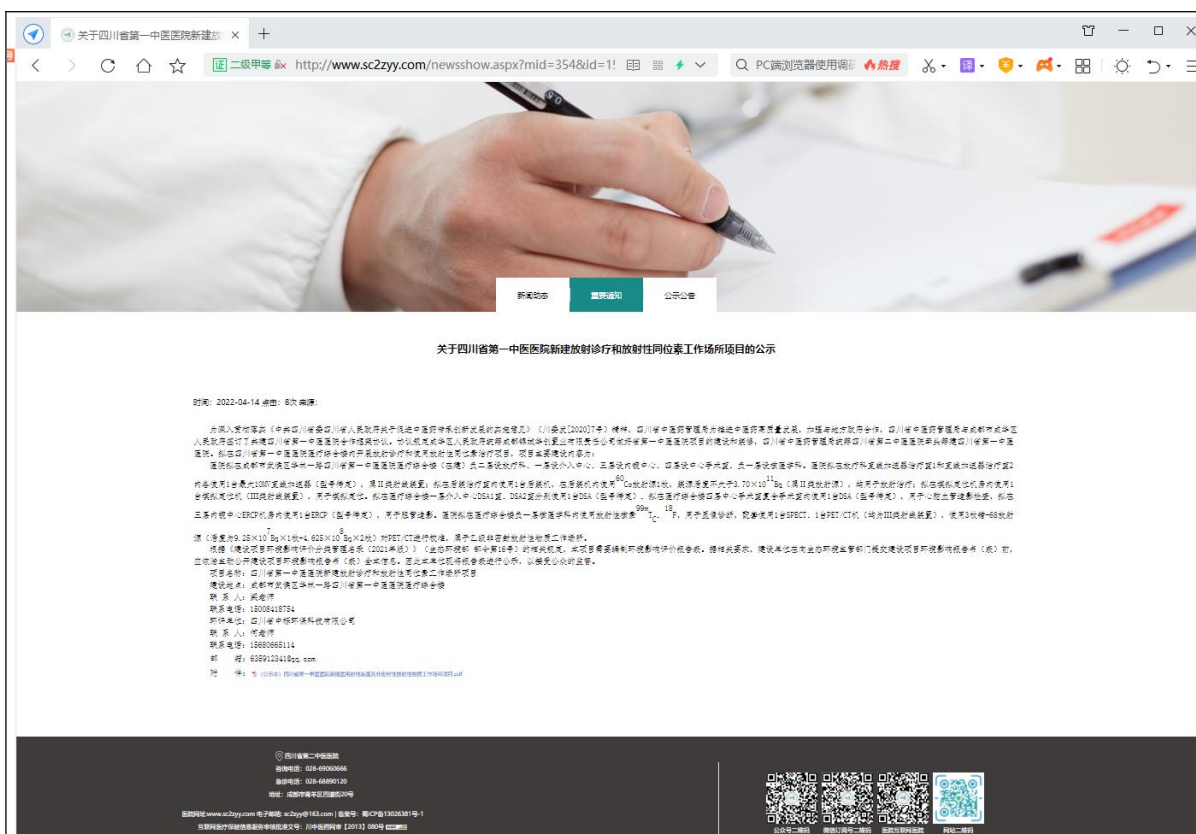
根据建设单位提供设计方案，拟在四川省第一中医医院医疗综合楼大楼内建设放疗科、介入中心、内镜中心、中心手术室、核医学科等。拟在放疗科内使用2台10MV医用直线加速器（II类射线装置），使用1台模拟定位机（III类射线装置），使用1台后装机，在后装机内使用1枚 ^{60}Co 放射源（最大装源活度 $3.70\times 10^{11}\text{Bq}$ ，属于II类放射源），均用于肿瘤治疗；在介入中心使用2台DSA（数字减影血管造影装置），中心手术室复合手术室内使用1台DSA，均属于II类射线装置，用于心脑血管造影和介入治疗；拟在内镜中心使用1台ERCP（经内镜逆行胰胆管造影装置），属于II类射线装置，用于胰胆管造影；拟在核医学科诊断区内使用1台PET/CT（III类射线装置）1台SPECT（III类射线装置），使用3枚锝-99m放射源，活度为 $9.25\times 10^7\text{Bq}\times 1$ 枚 $+4.625\times 10^8\text{Bq}\times 2$ 枚，均属于V类放射源，用于PET/CT校准；拟在核医学内使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 两种放射性核素，用于心脏、大脑、肾图、膀胱、神经、淋巴系统等疾病及肿瘤的

显像检查。

按照《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令449号）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（国家环保部令第18号）规定和要求，本项目需进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》（生态环境部 部令第16号）的相关规定，本项目属于“第五十五项—172条核技术利用建设项目——生产、使用Ⅱ类射线装置的；乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）”，应编制环境影响报告表，并报四川省生态环境厅审查批准。因此，建设单位委托四川省中栎环保科技有限公司编制该项目环境影响报告表（委托书见附件1）。

四川省中栎环保科技有限公司接受本项目环境影响报告表编制工作的委托后，在进行现场踏勘、实地调查了解项目所在地环境条件和充分研读相关法律法规、规章制度、技术资料后，在项目区域环境质量现状评价的基础上，对项目的环境影响进行了预测，并按相应标准进行评价。同时，就项目对环境可能造成的影响、项目单位从事相应辐射活动的的能力、拟采取的辐射安全和防护措施及相关管理制度等进行了评价分析，在此基础上提出合理可行的对策和建议，编制完成本报告表。

本报告编制完成后，四川省第二中医医院就本项目在医院官网上对报告进行了全文公示，公示网址为：<http://www.sc2zyy.com/newsshow.aspx?mid=354&id=1513>。公示网站截图如下：



公示后，未收到单位和个人有关项目情况的反馈意见。

二、产业政策符合性

根据中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 29 号《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2020 年 1 月 1 日施行）的相关规定，本项目使用医用直线加速器、后装机、非密封放射性物质、数字减影血管造影装置（DSA）、III类射线装置、II类放射源等为医院医疗基础建设内容，属该指导目录中第三十七项“卫生健康”中第 5 款“医疗卫生服务设施建设”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

三、项目概况

（一）项目名称、性质、地点

项目名称：四川省第一中医医院新建放射诊疗和放射性同位素工作场所项目

建设性质：新建

建设地点：成都市成华区华林一路拟建四川省第一中医医院医疗综合楼

（二）建设内容与规模

拟在医疗综合楼（在建，地上南侧和北侧 12 层、中间裙楼 4—7 层，地下 2 层）负二层西南侧设放疗科、一层东北侧设介入中心、三层西北侧中部设内镜中心、四层

西北侧中部设中心手术室、负一层西南侧设核医学科。

1、放疗科

拟在放疗科内新建 2 个直线加速器治疗室、1 个后装治疗室和 1 个模拟定位机房，并各设置 1 个控制室及其他配套用房。

(1) 直线加速器治疗室

医院拟在医疗综合楼地下负二层 2 个直线加速器治疗室内，各使用 1 台 10MV 直线加速器（型号待定），属 II 类射线装置，用于全身肿瘤诊疗。直线加速器治疗时，X 射线最大能量均限定为 10MV、X 射线 1m 处最大剂量率限定为 6Gy/min，电子束最大能量限定为 18MeV、电子线 1m 处最大剂量率限定为 10Gy/min，年最大出束时间约 480h/台。

直线加速器治疗室1和直线加速器治疗室2为紧邻的两个镜像布置的机房，直线加速器治疗室室内面积均约76m²（L×B=8.0m×9.5m，不含迷道），四面墙体、迷道、顶部和底部均为钢筋混凝土结构。直线加速器治疗室西北侧、东南侧、顶部、地面为主射方向，东北侧、西南侧为漏射方向。直线加速器治疗室1和直线加速器治疗室2共用主屏蔽墙体为3000mm厚混凝土、宽为4800mm，相连次屏蔽墙体为1700mm混凝土；直线加速器治疗室1西北侧主屏蔽墙体为2700mm混凝土、宽为4800mm，相连次屏蔽墙体为2050mm混凝土；直线加速器治疗室2东南侧主屏蔽墙体为3350mm混凝土、宽为4800mm，相连次屏蔽墙为2700~1700mm厚混凝土；直线加速器治疗室1和直线加速器治疗室2西南侧非主射墙屏蔽墙厚均为1400mm混凝土；直线加速器治疗室1和直线加速器治疗室2东北侧“Z型”迷道内墙屏蔽体为1700mm厚混凝土，迷道外墙屏蔽体厚度均为1500mm厚混凝土；顶部主屏蔽墙为2700mm、宽为4800mm的混凝土，相连的次屏蔽墙为1500mm混凝土；防护门为11mm铅当量+8cm含硼5%聚乙烯电动推拉门。

(2) 后装治疗室

医院拟在后装治疗室内使用 1 台后装机，在后装机内使用 ⁶⁰Co 放射源 1 枚，装源活度不大于 3.70×10¹¹Bq（属于 II 类放射源）。后装治疗室净空面积为 20.6m²（L×B=4.3m×4.8m，不含迷道），四面墙体、迷道和顶部均为钢筋混凝土结构。后装治疗室西北侧与直线加速器治疗室 2 共用墙体为厚 2700 ~3350mm 混凝土；西南侧、东南墙体厚度均为 1000mm；东北侧“L”型迷道内墙和迷道外墙均为 1000mm 厚混凝土，迷道内墙长为 3000mm；顶部为 1000mm 厚混凝土；

防护门为 6mmPb 单扇电动推拉门。后装机年出源治疗时间约 400h。

(3) 模拟定位机房

医院拟在医疗综合楼地下负二层模拟定位机房内使用1台模拟定位机（CT），型号待定，用于模拟定位，额定管电压为140kV，额定管电流为800mA，属于III类射线装置，年最大曝光时间约40h。

模拟定位机房净空面积约58.3m²（L×B=7.2m×8.1m），四面墙体均采用为300mm混凝土，屋顶为260mm 混凝土，铅窗为4mm 铅当量，防护门为4mm 铅当量铅门。

2、介入中心

医院拟在医疗综合楼一层介入中心 DSA1 机房和 DSA2 机房内分别使用 1 台 DSA（型号待定），最大管电压为 150kV，最大管电流为 1000mA，属于 II 类射线装置，年最大曝光时间约 75h/台（其中透视 66h，拍片 9h），主射线束由下向上。

DSA1 机房净空面积约 53.7m²（L×B=6.8m×7.9m），DSA2 机房净空面积约为 55.1m²（L×B=6.8m×8.1m）。DSA1、DSA2 机房四面墙体拟采用方管龙骨架+3mm 铅板+1.0mm 电解钢板，屋顶均为 260mm 混凝土+3mm 铅板+1.0mm 电解钢板，地面均为 260mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡涂层，各 3 扇防护门均为 3mm 铅当量，各 1 扇观察窗均为 3mm 铅当量。

3、内镜中心

医院拟在医疗综合楼三层内镜中心 ERCP 机房内使用 1 台 ERCP（型号待定），最大管电压为 150kV，最大管电流为 1000mA，属于 II 类射线装置，年最大曝光时间约 75h/台（其中透视 66h，拍片 9h），主射线束由下向上。

ERCP 机房净空面积约 60m²（L×B=7.5m×8.0m），ERCP 机房四面墙体拟采用 370mm 厚实心砖墙，屋顶为 200mm 混凝土+2.5mmPb 硫酸钡水泥砂浆，地面为 200mm 混凝土+2.0mmPb 硫酸钡水泥砂浆，2 扇防护门均为 3mm 铅当量，1 扇观察窗为 3mm 铅当量。

4、中心手术室

医院拟在医疗综合楼四层中心手术室复合手术室（OR.13）内使用 1 台 DSA（型号待定），最大管电压为 150kV，最大管电流为 1000mA，属于 II 类射线装置，年最大曝光时间约 75h/台（其中透视 66h，拍片 9h），主射线束由下向上。

复合手术室净空面积约 70m²（L×B=7.0m×10m），四面墙体拟采用方管龙骨架+3mm

铅板+1.0mm 电解钢板，屋顶为 260mm 混凝土+3mm 铅板+1.0mm 电解钢板，地面为 200mm 混凝土+2.5mmPb 硫酸钡水泥砂浆，3 扇防护门均为 3mm 铅当量，1 扇观察窗为 3mm 铅当量。

5、核医学科

医院拟在医疗综合楼负一层西南侧中部设核医学科，在核医学科内设置储源室、分装标记室、SPECT 注射室、PET 注射室、SPECT 注射后等待室、PET 注射后等待室、SPECT 机房、PET/CT 机房、抢救室（兼运动室）、SPECT 留观室、PET 留观室、放射性废物暂存间等各一间。医院拟在核医学科内使用放射性核素^{99m}Tc、¹⁸F，在核医学科 PET/CT 机房内使用1台 PET/CT，在 SPECT 机房内使用1台 SPECT，均属于Ⅲ类射线装置；使用3枚锞-68放射源对 PET/CT 进行校准，额定活度为 $9.25 \times 10^7 \text{Bq} \times 1 \text{枚} + 4.625 \times 10^8 \text{Bq} \times 2 \text{枚}$ ，均属于 V 类放射源，SPECT 不使用校准源。

SPECT 显像诊断使用放射性同位素^{99m}Tc 计划年最大操作量为 $1.22 \times 10^{13} \text{Bq}$ ，计划日最大操作量为 $8.14 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $3.74 \times 10^7 \text{Bq}$ ；PET 诊断使用放射性核素¹⁸F 计划年最大操作量为 $8.33 \times 10^{12} \text{Bq}$ ，计划日最大操作量为 $5.00 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $2.00 \times 10^7 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

核医学科内 SPECT、PET/CT 机房四周墙体均为 370mm 厚实心砖墙，顶部和地面均为 260mm 厚混凝土，SPECT 机房观察窗、防护门均为 3mmPb，PET/CT 机房防护门、防护窗均为 6mmPb；储源室、分装标记室、SPECT 注射室、PET 注射室、SPECT 注射后等候室、PET 注射后等候室、抢救室、SPECT 留观室、PET 留观室、四周墙体为 240mm~370mm 厚实心砖墙，顶部和地面均为 180mm 厚混凝土；储源室、PET 注射室、PET 注射后等候室、PET/CT 机房、抢救室防护门均为 6mmPb，其余防护门为 2mmPb 或者 3mmPb；SPECT 注射窗为 2mmPb、PET 注射窗为 6mmPb。

项目组成及主要环境问题见表 1-1。

表 1-1 建设项目组成及主要的环境问题表

名称	科室	场所	建设内容及规模		可能产生的环境问题	
					施工期	营运期
主体工程	放疗科	直线加速器治疗室 1、直线加速器机治疗室 2	设备、数量	10MV 医用直线加速器 2 台		X 射线、电子线、臭氧、噪声
			设备型号	待定		
			管理类别	Ⅱ类		
			使用场所	医疗综合楼负二层放疗科		
			年曝光时间	480h/台		

			1m 处剂量率	X 射线 1m 处剂量率为 6Gy/min	噪声、扬尘、废水、废气、固体废物	γ 射线、臭氧、噪声、退役放射源
			电子束 1m 处剂量率为 10Gy/min			
			主射方向	西北侧、东南侧、顶部、地面		
		后装治疗室	放射源数量	1 枚 ⁶⁰ Co 放射源		
			放射源活度	最大装源 3.70×10 ¹¹ Bq×1 枚		
			放射源种类	II 类源		
			使用场所	医疗综合楼负二层后装治疗室		
			年出源治疗时间	400h		
		模拟定位机房	设备、数量	模拟 CT 机 1 台		X 射线、臭氧、噪声
			设备型号	待定		
			管理类别	III 类		
			使用场所	医疗综合楼负二层模拟定位机房		
			年曝光时间	40h		
	电压/电流		140kV/800mA			
	核医学科	核素	⁹⁹ Tc	计划年最大操作量为 1.22×10 ¹³ Bq，计划日最大操作量为 8.14×10 ¹⁰ Bq，日等效最大操作量为 3.74×10 ⁷ Bq		X 射线、β 射线、γ 射线、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物、废放射源
			¹⁸ F	年最大操作量为 8.33×10 ¹² Bq，计划日最大操作量为 5.00×10 ¹⁰ Bq，日等效最大操作量为 2.00×10 ⁷ Bq		
		密封源	⁶⁸ Ge	对 PET/CT 进行校准，活度为 9.25×10 ⁷ Bq×1 枚 +4.625×10 ⁸ Bq×2 枚，均属于 V 类放射源		
		射线装置	1 台 PET/CT，属于 III 类射线装置			
			1 台 SPECT，属于 III 类射线装置			
		非密封放射性物质工作场所	储源室、分装标记室、SPECT 注射室、PET 注射室、注射后等待室、抢救室、SPECT 机房、PET/CT 机房、放射性废物暂存间、患者通道等			
		介入中心	DSA1 机房、DSA2 机房	设备、数量		
	设备型号			待定		
	管理类别			II 类		
	使用场所			综合楼一层 DSA 机房		
	年曝光时间			75h/台		
	电压/电流			150kV/1000mA		
	内镜中心	ERCP	设备、数量	1 台 ERCP		X 射线、臭氧、医疗废
设备型号			待定			

			管理类别	II 类		物
			使用场所	综合楼三层 ERCP 机房		
			年曝光时间	75h		
			电压/电流	150kV/1000mA		
	中心 手术 室	复合手术 室	设备、数量	1 台 DSA		X 射线、臭 氧、医疗废 物
			设备型号	待定		
			管理类别	II 类		
			使用场所	综合楼四层复合手术室		
			年曝光时间	75h		
			电压/电流	150kV/1000mA		
辅助 工程	控制室、水冷机房、设备间、污物暂存间等配套辅助用房					废水、固废
公用 工程	市政水网、市政电网、配电系统、废水处理站、通排风系统（中央空调）					/
办公及 生活设 施	医生办公室、卫生间等					生活垃圾、 生活污水
环保设 施	放射性废水经收集后在衰变池内衰变达到清洁解控水平后，与项目其他废水经污水管道一起排入医院污水处理站处理；医疗废物依托医院医废暂存间及收集系统进行回收处理；办公、生活垃圾依托医院收集系统进行回收处理；核医学科废气经活性炭高效过滤装置过滤后，在塔楼楼顶排放，放疗科产生的废气经管道收集后，在塔楼楼顶排放，DSA 和 ERCP 产生的废气经过收集后，汇入医疗大楼排风系统集中排放。					废水、固废

（三）本项目主要原辅材料及能耗情况

本项目主要原辅材料及能耗情况见表 1-2。

表 1-2 主要原辅材料及能耗情况表

类别	名称	使用量	来源	用途
主要原 辅材料	^{99m}Tc	年使用量为 $1.22 \times 10^{13}\text{Bq}$	外购	显像诊断
	^{18}F	年使用量为 $8.33 \times 10^{12}\text{Bq}$	外购	显像诊断
	造影剂	240L	-	碘制剂
	^{60}Co	$\leq 3.70 \times 10^{11}\text{Bq} \times 1$ 枚	外购	放射治疗
	^{68}Ge	$9.25 \times 10^7\text{Bq} \times 1$ 枚 + $4.625 \times 10^8\text{Bq} \times 2$ 枚	外购	校准
能源	煤 (t)	-	-	-
	电(度)	5×10^5	市政电网	-
	气 (nm^3)	-	-	-
水量	地表水 (m^3)	1000	-	-
	地下水	-	-	-

（四）本项目所涉及的射线装置

本项目涉及的设备参数见下表：

表 1-3 本项目射线装置清单

序号	装置名称	数量	型号	设备参数	管理类别	使用场所	备注
1	医用直线加速器	2 台	待定	X 射线最大能量 10MV，1m 处最高剂量率为 6Gy/min；电子射线最大能量 18MeV，1m 处最高剂量率 10Gy/min	II 类	医疗综合楼负二层直线加速器治疗室	拟购
2	模拟定位机	1 台	待定	最大管电压 140kV、最大管电流 800mA	III 类	医疗综合楼负二层模拟定位机房	拟购
3	PET/CT	1 台	待定	最大管电压 140kV，最大管电流 800mA	III 类	医疗综合楼负一层 PET/CT 机房	拟购
4	SPECT	1 台	待定	最大管电压 130kV，最大管电流 345mA	III 类	医疗综合楼负一层 SPECT 机房	拟购
5	DSA	2 台	待定	最大管电压 150kV，最大管电流 1000mA	II 类	医疗综合楼一层介入中心	拟购
6	DSA	1 台	待定	最大管电压 150kV，最大管电流 1000mA	II 类	医疗综合楼四层中心手术室	拟购
7	ERCP	1 台	待定	最大管电压 150kV，最大管电流 1000mA	II 类	医疗综合楼三层内镜中心	拟购

（五）本项目医用核素及使用情况一览表

表 1-4 本项目涉及核素特性

场所	使用核素	半衰期	状态	毒性分组	衰变方式	主要射线及能量
核医学科	^{99m} Tc	6.02h	液态	低毒	IT、β-	140keV/γ射线
	¹⁸ F	109.8min	液态	低毒	EC、β+	511keV/γ射线

表 1-5 本项目使用核素诊疗用药情况

场所	使用核素	年最大诊疗/治疗人数	日最大诊疗/治疗人数	单人次最大用量	年用量 (Bq)	最大日操作量 (Bq)	给药方式
核医学科	^{99m} Tc	10000	40	814MBq (22mCi)	1.22E+13	4.88E+10	静脉注射
	¹⁸ F	7500	30	555MBq (15mCi)	8.33E+12	5.00E+10	静脉注射

表 1-6 放射源基本参数情况

放射源种类	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚	放射源类别	半衰期	辐射类型	辐射最大能量	备注
⁶⁸ Ge	1.025×10^9 / $9.25 \times 10^7 \times 1$ 枚 + $4.625 \times 10^8 \times 2$ 枚	V 类	29.1a	β射线	$E_{\beta}=0.546\text{MeV}$	放射源活度不能达到要求时，联系放射源厂家更换放射源
⁶⁰ Co	$\leq 3.70 \times 10^{11} \times 1$ 枚	II 类	5.27a	β射线 γ射线	$E_{\gamma}=1.332\text{MeV}$ 、 $E_{\beta}=0.318\text{MeV}$	

（六）本项目使用核素及工作场所分级

本项目使用放射性同位素 ^{99m}Tc 和 ¹⁸F。根据建设单位提供资料，SPECT 诊断项目

投入使用后，每天使用 ^{99m}Tc 进行放射诊断的患者最多 40 人，每人注射的放射性药物最多为 $5.55 \times 10^8 \text{Bq}$ ，则每日实施注射时的最大有效活度为 $3.26 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，由于其半衰期较短，计算时需考虑用药量和备药量，每天送 1 次药，按照日用量的 1.5 倍量备药，则日备药量为 $4.88 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，医院年工作时间为 250d，则 ^{99m}Tc 的年最大用量为 $1.22 \times 10^{13} \text{Bq}$ ；PET/CT 诊断项目投入使用后，每天使用 ^{18}F 进行放射诊断的患者最多 30 人，每人注射的放射性药物最多为 $8.14 \times 10^8 \text{Bq}$ ，则每日实施注射时的有效活度为 $1.67 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，对于 ^{18}F ，由于其半衰期较短，计算时需考虑用药量和备药量，每天送两次药，按照日用量的 2 倍量备药，则日备药量为 $3.33 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，医院年工作时间为 250d，则 ^{18}F 的年最大用量为 $8.33 \times 10^{12} \text{Bq}$ 。

依据按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C，非密封放射性物质工作场所的分级判据如表 1-7。

表 1-7 非密封放射性物质工作场所分级表

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

放射性同位素的日等效最大操作量根据其毒性组别、操作方式、放射源状态和实际日等效最大操作量确定。毒性组别和操作方式与放射源状态修正因子见表 1-8、表 1-9。

表 1-8 放射性核素毒性组别修正因子表

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

表 1-9 放射性核素操作方式修正因子表

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

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），非密封放射性

物质工作场所应按放射性核素日等效最大操作量的大小分为甲、乙、丙三级，日等效操作量计算公式为：

日等效操作量=实际日操作量×核素毒性因子÷操作方式的修正因子

因此，根据本项目核医学科使用放射性同位素的毒性组别、操作方式和日等效操作量，确定本项目核医学科工作场所级别，具体见表 1-10。

表 1-10 本项目核医学科非密封放射性物质工作场所分级表

使用核素名称	用途	计划年用量（Bq）	计划日最大操作量（Bq）	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	单项日等效最大操作量（Bq）	综合日等效操作量（Bq）	场所内最大总日等效操作量（Bq）	工作场所级别
^{99m} Tc	操作放射性药物	8.14E+12	3.26E+10	0.01	10	3.26E+07	3.74E+07	5.75E+07	乙级非密封放射性物质工作场所
^{99m} Tc	备用贮存放射性药物	1.22E+13	4.88E+10	0.01	100	4.88E+06			
¹⁸ F	操作放射性药物	4.16E+12	1.67E+10	0.01	10	1.67E+07	2.00E+07		
¹⁸ F	备用贮存放射性药物	8.33E+12	3.33E+10	0.01	100	3.33E+06			

根据表 1-10 可知，本项目非密封放射性物质工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。

（七）本项目医用核素及工作场所分类

按照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 G，核医学工作场所分类见表 1-11。

表 1-11 核医学工作场所分类一览表

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

放射性同位素加权活度根据其毒性权重因子、操作性质修正因子确定。毒性权重因子见表 1-12、表 1-13。

表 1-12 核医学常用放射性核素的毒性权重因子表

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
A	⁷⁵ Se、 ⁸⁹ Sr、 ¹²⁵ I、 ¹³¹ I、 ³² P、 ⁹⁰ Y、 ⁹⁹ Mo、 ¹⁵³ Sm	100
B	¹⁴ C、 ¹³ N、 ¹⁵ O、 ¹⁸ F、 ⁵¹ Cr、 ⁶⁷ Ga、 ^{99m} Tc、 ¹²³ I、 ¹¹¹ In、 ^{113m} In、 ²⁰¹ Ti	1

C	^{11}C 、 ^3H 、 $^{81\text{m}}\text{Kr}$ 、 ^{127}Xe 、 ^{133}Xe	0.01
---	---	------

表 1-13 核医学常用放射性核素操作性质修正因子表

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

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

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

本评价项目核医学科各个功能用房可以按照各自的核素日实际操作最大活度以及各核素毒性权重因子、操作性质修正因子核算加权活度，进行场所的辐射防护设计，核算见表 1-14。

表 1-14 各功能区核素加权活度分类

场所名称	操作最大核素	放射性核素的毒性权重因子	不同操作性质的修正因子	计划日操作最大活度 (Bq)	放射性核素加权活度 (MBq)	总加权活度 (MBq)	场所分类
储源室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	100	4.88E+10	4.88E+02	8.21E+02	II
	^{18}F	1	100	3.33E+10	3.33E+02		
分装标记室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	1	3.26E+10	3.26E+04	4.93E+04	II
	^{18}F	1	1	1.67E+10	1.67E+04		
PET 注射室	^{18}F	1	1	1.67E+10	1.67E+04	1.67E+04	II
SPECT 注射室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	1	3.26E+10	3.26E+04	3.26E+04	II
PET 注射后候诊室	^{18}F	1	10	1.67E+10	1.67E+03	1.67E+03	II
SPECT 注射后候诊室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	3.26E+10	3.26E+03	3.26E+03	II
PET 留观室	^{18}F	1	10	1.67E+10	1.67E+03	1.67E+03	II
SPECT 留观室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	3.26E+10	3.26E+03	3.26E+03	II
运动室兼抢救室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	3.26E+10	3.26E+03	3.26E+03	II

（四）本项目外环境及选址合理性

本项目涉及的辐射工作场所均位于四川省第一中医医院拟建的医疗综合楼内，拟

建四川省第一中医医院医疗综合楼西南侧约 55m 为下涧槽河，约 68m 为人民塘路东一段；西北侧约 25m 处为民兴苑住宅小区；东北侧为空地，约 100m 处为民兴西苑住宅小区；东南侧约 22m 处为华林一路，约 60m 处为源滩国际社区商住小区，医院平面布局及外环境关系见附图 2。因此，本项目选址所在地交通便利，无重大环境制约因素。

本项目所在医院已在“省第一中医医院建设工程项目环境影响报告书”中进行了环境影响评价并取得批复（成环审（评）【2022】7 号，附件 5），医院选址合理性已在相关环评报告书中进行了论述。本项目所在医疗综合楼用地取得了由成都市成华区自然资源和规划局核发的《建设项目选址意见书》（附件 3）。

四川省第一中医医院所在位置为城市建成区，项目选址周围基础配套设施完善，给排水等市政管网完善，电力、电缆等埋设齐全，为项目建设提供良好条件，本项目仅为其配套建设项目，不新增用地，且拟建的各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。因此，本项目从辐射防护安全和环境保护角度分析，本项目选址是合理的。

（五）劳动定员及工作制度

劳动定员：本项目拟配置辐射工作人员共计 66 人，均为医院新聘辐射工作人员，具体如表 1-15 所示。

表 1-15 本项目工作人员构成表

场所	设备/项目	配备人数	人员构成
放疗科	10MV 直线加速器	11	医生 4 人、技师 3 人、物理师 2 人、护士 2 人
	模拟定位机	3	医生 1 人、技师 1 人、护士 1 人
	后装机	6	医生 3 人、技师 1 人、物理师 1 人、护士 1 人
核医学科	PET 诊疗项目	7	医生 2 人、技师 1 人、护士 4 人
	SPECT 诊疗项目	7	医生 2 人、技师 1 人、护士 4 人
介入中心	DSA	16	医生 8 人、技师 4 人、护士 4 人
内镜中心	ERCP	8	医生 4 人、技师 2 人、护士 2 人
中心手术室复合手术室	DSA	8	医生 4 人、技师 2 人、护士 2 人
合计		66	/

工作制度：实行 8 小时工作制，年工作日以 250 天计。

（六）本项目依托的环保工程设施

本项目依托的四川省第一中医医院医疗综合楼已取得《成都市生态环境局关于成都锦城华创置业有限责任公司省一中医医院建设工程项目环境影响报告书的审查批复》（成环审（评）[2022]7号），附件5）。本项目依托的主要环保设施有：

（1）本项目运营期间产生的污水依托四川省第一中医医院自建的污水处理站处理，达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）“表2”中预处理标准后，再通过污水管网排入成都市第四再生水厂进一步处理达标后，尾水排往沙河；

（2）本项目产生的生活垃圾收集后交由市政环卫部门统一清运；

（3）本项目产生的医疗废物与医院其他项目产生的医疗废物分类收集后，统一交由有资质的单位处置。

四、原有核技术利用情况

四川省第一中医医院为新筹建的法人机构，目前医院正在筹建中，因此不存在原有核技术利用情况。

五、与本项目有关的原有污染情况及主要环境问题

四川省第一中医医院目前无任何辐射源项目使用情况，第一中医医院建设工程项目已经通过了环境影响评价，取得了成都市生态环境局《关于成都锦城华创置业有限责任公司省第一中医医院建设工程项目环境影响报告书的批复》（成环审（评）[2022]7号），该项目环评书批复文件中包含了医疗综合楼、感染性疾病科及其他配套工程等相关建设内容。目前医院正在建设中。

因此，本项目无原有污染环境遗留问题。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq)/ 活度 (Bq)×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	⁶⁸ Ge	1.025×10^9 / $9.25 \times 10^7 \times 1$ 枚 + $4.625 \times 10^8 \times 2$ 枚	V	使用	PET/CT 校准源	负一层核医学科 PET/CT 机房	负一层核医学科储源室	本次新增
2	⁶⁰ Co	$\leq 3.70 \times 10^{11} \times 1$ 枚	II	使用	后装机治疗	负二层后装治疗室	后装机内	本次新增

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{99m} Tc	液态、半衰期 6.02h	使用	8.14E+10	3.74E+07	1.22E+13	影像检查	很简单操作	核医学科	负一层储源室
2	¹⁸ F	液态、半衰期 109.8min	使用	5.00E+10	2.00E+07	8.33E+12	影像检查	很简单操作	核医学科	负一层储源室
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量	最大电流 (mA) / 剂量率 (Gy/min)	用途	工作场所	备注
1	医用直线加速器	II	2	待定	电子	最大 X 射线能量 10MV、最大电子束能量 18MeV	X 射线 1m 处剂量率为 6Gy/min 电子线 1m 处剂量率为 10Gy/min	肿瘤治疗	医疗综合楼负二层直线加速器治疗室内	本次拟购
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	模拟定位机	III	1	待定	140	800	模拟定位	医疗综合楼负二层模拟定位机房	本次拟购
2	PET/CT	III	1	待定	140	800	影像检查与诊断	医疗综合楼负二层 PET/CT 机房	本次拟购
3	SPECT	III	1	待定	130	345	影像检查与诊断	医疗综合楼负二层 SPECT 机房	本次拟购
4	DSA	II	2	待定	150	1000	心脑血管造影检查	医疗综合楼一层介入中心 DSA1、DSA2 机房	本次拟购
5	ERCP	II	1	待定	150	1000	胆管造影	医疗综合楼三层内镜中心 ERCP 机房	本次拟购
6	DSA	II	1	待定	150	1000	心脑血管造影检查	医疗综合楼四层中心手术室复合手术室	本次拟购
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
核医学科工作台面、地面去污时产生的清洁废水，工作人员手部清洗废水，受检者洗手、冲厕废水	液态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	17.2m ³ /月	860m ³ /a	总 β <10Bq/L	放射性废水通过专用管道排至衰变池中暂存	贮存 167 天后排入医院污水处理站
沾染放射性药物的注射器、注射针头及可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物、废活性炭等固体废物	固态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	140kg/月	1.73t/a	<10 ⁴ Bq/kg	放射性废物暂存间暂存	暂存超过 30 天清洁解控后作为普通医疗废物处置
核医学科产生的废 ^{68}Ge 校准源	固态	^{68}Ge	/	/	废 ^{68}Ge 校准源每 2 年更换 1 次	/	不暂存	更换时由生产厂家回收
核医学科产生的含气溶胶废气	气态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	微量	微量	微量	经过专用通排风系统高效排风过滤器+活性炭吸附装置处理后排放	环境大气
放疗科产生的废 ^{60}Co 放射源	固态	^{60}Co	/	/	不满足治疗条件的情况下进行更换	/	不暂存	由生产厂家回收
放疗科医用直线加速器产生的臭	气态	/	/	微量	微量	微量	经通排风系统排	环境大气

氧							放	
放疗科后装机产生的臭氧	气态	/	/	微量	微量	微量	经过通排风系统 排放	环境大气
DSA 和 ERCP 产生的臭氧	气态	/	/	微量	微量	微量	经通排风系统排 放	环境大气
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度(Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³)和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》（2014 年 4 月 24 日修订）； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月 29 日修订）； (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) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020年4月29日修订； (5) 《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第 682 号，2017 年 7 月 16 日修订）； (6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，生态环境部 部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行； (7) 《四川省辐射污染防治条例》（四川省十二届人大常委会第二十四次会议第二次全体会议审议通过，2016 年 6 月 1 日起实施）； (8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第 449 号令，2019 年 3 月 2 日第二次修订）； (9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部第 18 号令，2011 年 5 月 1 日实施）； (10) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原环境保护部令第 31 号，2021 年 1 月 4 日修订）； (11) 《射线装置分类办法》（原环境保护部公告 2017 年第 66 号）； (12) 《放射源分类办法》（原国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号）； (13) 《建设项目环境影响评价信息公开机制方案》（环发[2015]162 号）； (14) 《关于建设放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号，原国家环境保护总局、公安部、卫生部文件，2006 年 9 月 26 日）； (15) 《关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知》（环发[2012]77 号，原环境保护部文件，2012 年 7 月 3 日）； (16) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 公告 2019 年第 57 号）； (17) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 公
------	--

	告 2021 年第 9 号）。
技术标准	(1) 《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容与格式》（HJ10.1-2016）； (2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； (3) 《环境 γ 辐射剂量率测定技术规范》（HJ 1157-2021）； (4) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； (5) 《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）； (6) 《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）； (7) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）； (8) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）； (9) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； (10) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； (11) 《电子辐射工程技术规范》（GB50752-2012）； (12) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GBZ11930-2010）； (13) 《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）； (14) 《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WST613-2018）； (15) 《医用放射性固废的卫生防护管理》（GBZ133-2009）； (16) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； (17) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）； (18) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）。
其他	(1) 环评委托书； (2) 成都市生态环境局关于《成都市生态环境局关于成都锦城华创置业有限责任公司省一中医医院建设工程项目环境影响报告书的审查批复》（成环审（评）[2022]7 号）； (3) 《辐射安全与防护监督检查技术程序》（原环保部，2012 年 3 月）； (4) 《实用辐射安全手册》，从慧玲主编，原子能出版社；

	(5) 《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； (6) 《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400 号）； (7) 四川省第二中医医院提供的工程设计图纸及相关技术参数资料。
--	--

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

本项目产生的电离辐射经实体防护屏蔽和距离衰减后，对公众的影响较小。根据本项目的特点并参照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中“核技术利用建设项目环境影响评价报告表的评价范围和保护目标的选取原则：非密封放射性物质工作场所项目评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”，确定本次评价范围为非密封放射性物质工作场所、放射源及医用射线装置使用项目所在工作场所实体屏蔽墙体外周边 50m 范围内作为评价范围。

保护目标

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

表 7-1 本项目环境保护目标

项目	保护目标及相对位置	相对方位	保护目标	照射类型	与屏蔽体/辐射源最近距离(m)	人数(人/d)	剂量约束值(mSv/a)
放疗科	加速器治疗室 1 控制室内的工作人员	东北	职业人员	职业	0.3	11	5.0
	加速器治疗室 2 控制室内的工作人员	东北	职业人员	职业	0.3	11	5.0
	后装治疗室控制室内的工作人员	东南	职业人员	职业	0.3	6	5.0
	后装机治疗室内的摆位人员	/	职业人员	职业	1	2	5.0
	模拟 CT 控制室的工作人员	西侧	职业人员	职业	0.3	4	5.0
	辅助用房、水冷机房、设备间的运维巡检人员	东北	公众人员	公众	0.3	4	0.1
	过厅、准备间的公众人员	东北	公众人员	公众	0.3	4	0.1
	放疗科诊室内的医护人员及患者	东南	公众人员	公众	3.8	200	0.1
	放疗科办公区内的工作人员	东北	公众人员	公众	7.7	25	0.1
	库房区的巡检、值班人员	东北	公众人员	公众	7.5	20	0.1
	医疗综合楼负二层评价范围内的其他人员	/	公众人员	公众	4.5	1000	0.1
	放疗科上方评价范围内的人员	上方	公众人员	公众	4.5	6000	0.1

	民兴苑小区	西北	公众人员	公众	35	600	0.1
介入中心	DSA1、DSA2 机房内的医护人员	/	职业人员	职业	0.5	12	5.0
	DSA1、DSA2 操作间内的工作人员	东南	职业人员	职业	0.3	16	5.0
	介入中心的其他工作人员	周围	公众人员	公众	0.3	10	0.1
	出入院办理、住院药房处的工作人员、患者及家属	东南	公众人员	公众	15.8	3000	0.1
	放射科内的医护人员、患者及家属	西南	公众人员	公众	18	800	0.1
	中医文化展厅内的参观人员	西侧	公众人员	公众	37	1000	0.1
	医疗综合楼一层及楼外评价范围内的其他人员	周围	公众人员	公众	3.5	6000	0.1
	医疗综合楼负一层、负二层评价范围内的人员	下方	公众人员	公众	4.5	2500	0.1
	医疗综合楼介入中心 DSA 机房上方二层及以上楼层评价范围内的人员	上方	公众人员	公众	4.5	4000	0.1
内镜中心 ERC P 机 房	ERCP 机房内的医护人员	/	职业人员	职业	0.5	6	5.0
	ERCP 控制室内的工作人员	东北	职业人员	职业	0.3	8	5.0
	内镜中心内的工作人员、患者及家属	周围	公众人员	公众	0.3	200	0.1
	消毒供应中心的工作人员	西南	公众人员	公众	13	40	0.1
	外科诊疗区内的工作人员、患者及家属	南侧	公众人员	公众	43	100	0.1
	耳鼻喉科、眼科、皮肤科内的工作人员、患者及家属	东南	公众人员	公众	36	400	0.1
	静配中心和信息中心的工作人员、患者及家属	东侧	公众人员	公众	26	300	0.1
	医疗综合楼三层评价范围内的其他人员	周围	公众人员	公众	8	1000	0.1
	医疗综合楼负二层至二层评价范围内的人员	下方	公众人员	公众	4.5	3000	0.1
	医疗综合楼 ERCP 机房上方二层及以上楼层评价范围内的人员	上方	公众人员	公众	4.5	4000	0.1
中心 手术 室复 合手 术室 DSA	复合手术室内的医护人员	/	职业人员	职业	0.5	6	5.0
	复合手术室操作间内的工作人员	东南	职业人员	职业	0.3	8	5.0
	中心手术室医护人员办公区内的 工作人员	西南	公众人员	公众	38	30	0.1
	中心手术室内其他工作人员及 患者	周围	公众人员	公众	5	200	0.1
	口腔科诊疗区内的工作人员、病人 及家属	东北	公众人员	公众	25	400	0.1
	MICU、输血科、互联网医学中心 的工作人员、患者及其他人员	东南	公众人员	公众	36	300	0.1
	医疗综合楼四层评价范围内的其 他人员	周围	公众人员	公众	4.5	800	0.1
	医疗综合楼负二层至三层评价范	下方	公众人员	公众	4.5	4000	0.1

核医学科	围内的人员						
	医疗综合楼ERCP机房上方五层及以上楼层评价范围内的人员	上方	公众人员	公众	4.5	3000	0.1
	分装标记的工作人员	室内	职业人员	职业	0.3	2	5.0
	注射放射性药品工作人员	室内	职业人员	职业	0.3	2	5.0
	摆位医护人员	室内	职业人员	职业	1	4	5.0
	PET/CT、SPECT 设备操作人员	东北	职业人员	职业	0.3	2	5.0
	核医学科办公区内的工作人员	东北	公众人员	公众	5.8	30	0.1
	医院厨房、食堂内的工作人员、患者及家属	东北	职业人员	职业	28	4000	5.0
	太平间、生活垃圾处置区内的工作人员、家属	西北	公众人员	公众	7.5	100	0.1
	医疗综合楼负一层评价范围内的其他人员	周围	公众人员	公众	0.3	2000	0.1
	医疗综合楼负二层评价范围内的人员	下方	公众人员	公众	4.5	1500	0.1
	医疗综合楼核医学科上方一层、室外及以上楼层评价范围内的人员	上方	公众人员	公众	4.5	5000	0.1
	民兴苑小区	西北	公众人员	公众	32	600	0.1

评价标准

一、环境质量标准

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

二、污染物排放标准

- (1) 大气污染物排放执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 二级标准；
- (2) 水污染物：本项目污水排入医院污水处理站处理后达到执行《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005) 中表 2 (综合医疗机构和其他医疗机构) 的预处理排放标准；
- (3) 噪声：①施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011) 中标准限值；②运营期执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 2 类标准；
- (4) 固废：①《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB

18599-2020)；②《医疗废物处理处置污染控制标准》（GB 39707-2020）。

三、电离辐射剂量

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 4.3.3.1 条的规定，对任何工作人员，由来自各项获准实践的综合照射所致个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯平均）20mSv。四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv。

本项目环评取上述标准中规定的职业照射年有效剂量限值的 1/4（即 5mSv/a）作为职业人员年剂量约束值；取四肢（手和足）或皮肤年当量剂量的 1/4（即 125mSv/a）作为职业人员四肢（手和足）或皮肤年当量剂量约束值。

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

本项目环评取上述标准中规定的公众年有效剂量限值的 1/10（即 0.1mSv/a）作为公众的年剂量约束值。

四、辐射工作场所边界周围剂量率控制水平

1、放射治疗机房

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021），治疗（直线加速器、后装机）机房周围和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平采用以下方法来进行确定：

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

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

机房外辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

机房外非辐射工作人员： $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

b）按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控

制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$):

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

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

(2) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射, 以年剂量 $250\mu\text{Sv}$ 加以控制。

(3) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶, 机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100\mu\text{Sv/h}$ 加以控制。

2、X 射线诊断装置机房

本项目 ERCP、DSA 和 III 类医用射线装置使用场所参照《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 有关规定“具有透视功能的 X 射线设备在透视条件检测时, X 射线设备机房屏蔽体外周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”。

3、操作非密封放射性物质工作场所

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1198-2021), 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域, 其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$; 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构, 以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$; 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施, 以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

五、放射性表面污染控制水平

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

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平

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

六、表面污染解控

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B2 表面污染控制水平：“工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 B11 中所列设备类的控制水平的五十分之一以下时（即 0.8Bq/cm^2 ），经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用”。

七、放射性废物清洁解控水平

表 7-3 本项目涉及放射性核素的清洁解控水

核素	活度浓度（Bq/g）	活度/Bq
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1E+02	1E+07
^{18}F	1E+01	1E+06

八、放射性废水排放标准

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

- 1、所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；
- 2、所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L 、总 β 不大于 10Bq/L 、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L 。
- 3、对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB18871 附录 A 表 A1 的要求。
- 4、放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

九、放射性固废排放标准

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

- 1、固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可

对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

①所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

②所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍。

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

3、固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

十、放射性废气排放管理

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

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

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

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

十一、臭氧排放标准

根据《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）表 1 中臭氧小时平均标准值浓度符合 0.16mg/m³ 的要求；根据《环境空气质量标准》（GB3095—2012）室外臭氧小时平均浓度符合二级标准（0.20mg/m³）的要求。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目位置、布局 and 周边环境

本项目选址于成都市成华区华林一路拟建四川省第一中医医院医疗综合楼，根据现场踏查，本项目的外环境关系如下：

本项目涉及的辐射工作场所均位于医院在建的医疗综合楼内，拟建四川省第一中医医院医疗综合楼西南侧约55m为下涧槽河，约68m为人民塘路东一段；西北侧约25m处为民兴苑住宅小区；东北侧为空地，约100m处为民兴西苑住宅小区；东南侧约22m处为华林一路，约60m处为源滩国际社区商住小区（在建），项目现场情况见图8-1。



图 8-1 项目现场照片

二、监测方法及仪器

为掌握项目所在地的辐射环境现状，评价过程中，四川省中栎环保科技有限公司委托四川省永坤环境监测有限公司于 2022 年 3 月 2 日对项目拟建场所进行了现场监测，监测报告见附件 7，其监测项目、分析方法及来源见表 8-1。

表 8-1 监测项目、方法及方法来源表

监测项目	监测方法	方法来源
X- γ 辐射剂量率	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》	HJ 1157-2021
	《辐射环境监测技术规范》	HJ 61-2021
β 表面污染	《表面污染测定第一部分 β 发射体（最大 β 能量大于 0.18MeV）和 α 发射体》	GB/T14056.1-2008

监测使用仪器及环境条件见表 8-2。

表 8-2 监测使用仪器表

监测项目	监测设备			使用环境
	名称及编号	测量范围	检定/校准情况	
环境 X- γ 辐射剂量率	RJ32-3602 型分体式多功能辐射剂量率仪 编号: YKJC/YQ-40	测量范围: 1nGy/h~1.2mGy/h 20keV~3.0MeV	检定/校准单位: 上海市计量测试技术研究院 华东国家计量测试中心 检定/校准有效期: 2022.01.07~2023.01.06 校准因子: 1.06	天气: 阴 温度: 15.6℃ 湿度: 61.5%
α 、 β 表面污染	CoMo170 表面污染监测仪 编号: YKJC/YQ-06	表面发射率响应 $R_{\alpha}=0.38$ $R_{\beta}=0.46$	检定/校准单位: 中国测试技术研究院 检定/校准有效期: 2021.07.23-2022.07.22	

三、质量保证

四川省永坤环境监测有限公司, 通过了计量认证, 具备完整、有效的质量控制体系。

(1) 计量认证

从事监测的单位四川省永坤环境监测有限公司通过了原四川省质量技术监督局的计量认证(计量认证号: 182312050067)。

(2) 仪器设备管理

①管理与标准化; ②计量器具的标准化; ③计量器具、仪器设备的检定。

(3) 记录与报告

①数据记录制度; ②报告质量控制。

四、监测布点

为客观真实的了解本项目拟建区域的辐射环境现状, 四川省永坤环境监测有限公司对本项目拟建区域进行了布点监测, 监测布点示意图见图 8-2。

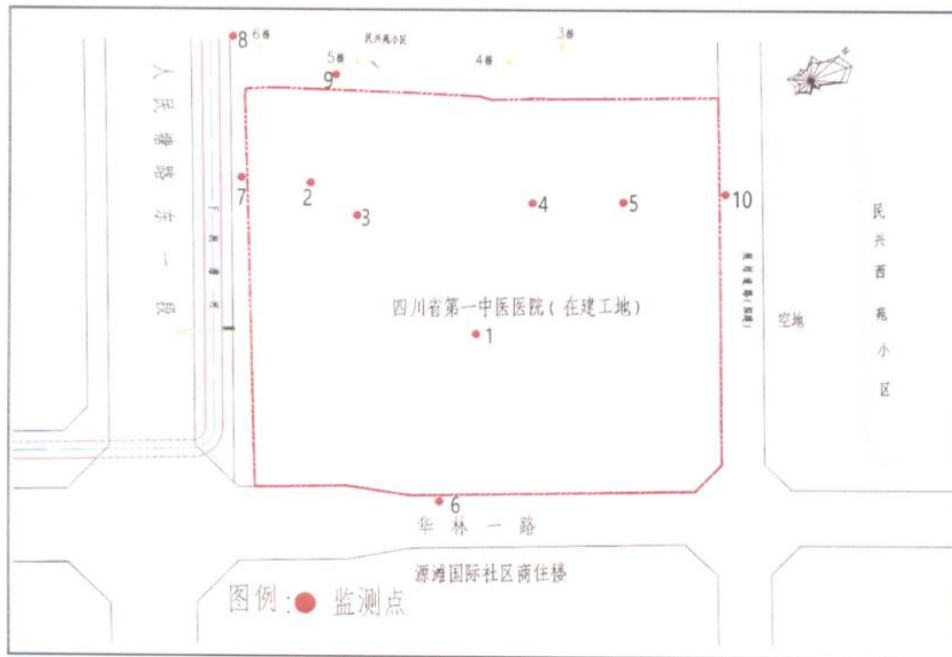


图 8-2 本项目监测布点示意图

五、环境现状监测与评价

监测所用仪器已由计量部门年检，且在有效期内；测量方法按国家相关标准实施；测量不确定度符合统计学要求；布点合理、人员合格、结果可信，能够反映出辐射工作场所的客观辐射水平，可以作为本次评价的科学依据。

具体监测结果如下所述：

表 8-3 拟建辐射工作场所及周围环境 X- γ 辐射剂量率 单位：nGy/h

点位	监测位置	测量值	标准差	备注
1	拟建医疗综合楼所在位置	101	2.7	室外
2	拟建放疗科机房正上方所在位置	91	1.7	
3	拟建核医学科正上方所在位置	96	2.2	
4	拟建内镜中心和中心手术室正下方	88	2.2	
5	拟建介入中心所在位置	90	2.0	
6	拟建医疗综合楼大门口	86	2.0	
7	拟建放疗科西南侧道路	93	1.2	室外
8	西北侧民兴苑小区大门口	94	3.9	
9	西北侧民兴苑小区 5 栋旁	89	2.6	
10	拟建省第一中医医院东北侧	93	4.4	

表 8-4 拟建辐射工作场所及周围环境 β 表面污染水平监测结果

点位	监测位置	β 表面污染水平（单位：Bq/cm ² ）	备注
----	------	--	----

		平均值*	标准差	
1	拟建医疗综合楼所在位置	$\leq \text{LLD}_\beta$	/	无
2	拟建放疗科机房正上方所在位置	$\leq \text{LLD}_\beta$	/	
3	拟建核医学科正上方所在位置	$\leq \text{LLD}_\beta$	/	
4	拟建内镜中心和中心手术室正下方	$\leq \text{LLD}_\beta$	/	
5	拟建介入中心所在位置	$\leq \text{LLD}_\beta$	/	
6	拟建医疗综合楼大门口	$\leq \text{LLD}_\beta$	/	
7	拟建放疗科西南侧道路	$\leq \text{LLD}_\beta$	/	
8	西北侧民兴苑小区大门口	$\leq \text{LLD}_\beta$	/	
9	西北侧民兴苑小区 5 栋旁	$\leq \text{LLD}_\beta$	/	
10	拟建省第一中医医院东北侧	$\leq \text{LLD}_\beta$	/	

*注： β 表面污染探测下限 $\text{LLD}_\beta = 3.7 \times 10^{-2} \text{ Bq/cm}^2$ 。

由表 8-3 监测结果可知，项目所在区域的 X- γ 辐射空气吸收剂量率背景值为 86~101nGy/h。与中华人民共和国生态环境部《2020 年全国辐射环境质量报告》（2021 年 6 月）中四川省自动站空气吸收剂量率监测结果（67.5~121.3nGy/h）基本一致，属于当地正常天然本底辐射水平。

由表 8-4 监测结果可知，项目拟建辐射工作场所周围环境 β 表面污染检测结果均低于检测限值。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、施工期

本项目辐射工作场所土建工程属于“省第一中医医院项目建设工程”建设内容之一，其施工期环境影响包含在《省第一中医医院项目建设工程环境影响报告书》中，批复文号为成环审（评）【2022】7号（附件5）。

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

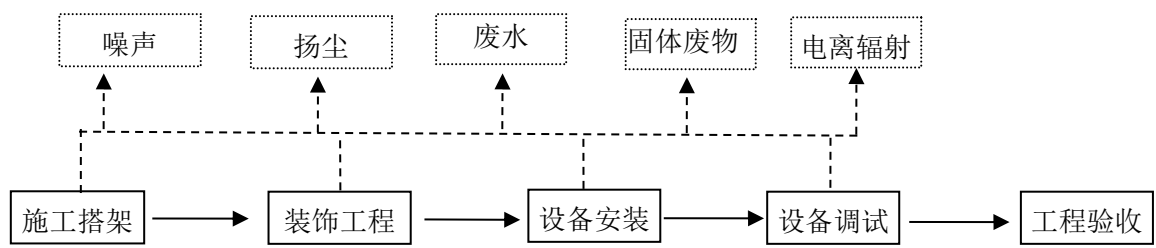


图 9-1 施工期工艺流程及污染物主要产生环节图

（一）设备安装期

1、扬尘

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

2、噪声

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

3、固体废物

施工过程中，固体废物主要为主体施工、装修和设备安装过程中，产生的固体垃圾主要为建筑弃渣、废砂石、废木料、废纸皮等；施工过程中产生的生活垃圾。项目产生的建筑垃圾由施工单位集中分类收集，运送到指定的建筑垃圾堆放场；生活垃圾通过集中收集后，运送到环卫部门指定的临时转运点，由环卫部门转运处理；

包装垃圾通过集中分类收集，由废品回收站进行处理。因施工量较小，施工周期较短，对周围环境的影响较小。

4、废水

本项目施工期废水主要为施工人员的生活污水，生活污水经预处理池（化粪池）处理后排入城市污水管网。

（二）设备安装调试期间

本项目所有射线装置和放射源的安装、调试请设备厂家专业人员进行，医院不得自行安装及调试设备。在射线装置安装调试阶段，主要污染因素为 X 射线、 γ 射线和臭氧。医院应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房必须上锁并派人看守。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入设备区域，防止辐射事故发生。由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响较小。

二、运营期

（一）放疗科

1、直线加速器工艺分析

（1）设备组成及工作原理

本项目医用直线加速器属治疗类射线装置，主要用于肿瘤病人的放射性治疗，其治疗机理是根据肿瘤的不同情况通过模拟定位，采用 X 射线束（深部治疗）进行照射，使细胞分裂和代谢遭到破坏，杀死或者抑制细胞的繁殖生长，从而达到治疗的目的。物理师对肿瘤病人治疗计划设计时，严格按照相关标准，为病人的正常组织和医务人员的受照剂量进行计算-复核-模拟检测-实施中监测和健康监护等，并做好照射记录。根据病灶位置与性质及目的不同，给予的照射总剂量有所不同；治疗方法不同，给予的每野次剂量亦不同。

医用直线加速器的核心部位由电子枪、加速管和束流控制三个主要部分组成，由于直线加速器结构简单、造价低、不使用放射源，目前已成为医院放射治疗的主要手段。本项目拟配置 10MV 直线加速器 2 台，属 II 类射线装置，其结构图见图 9-2，

具体参数见表 9-1；

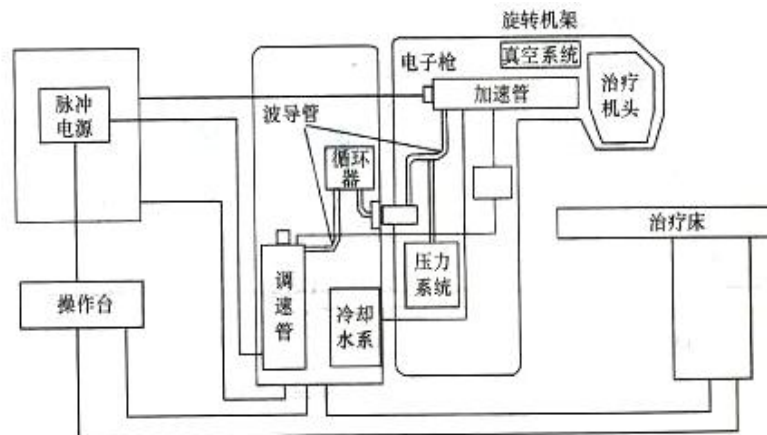


图 9-2 医用直线加速器结构示意图

表 9-1 10MV 医用直线加速器参数

厂家、型号	待定
最大 X 射线能量	10MV
最大电子线能量	18MeV
X 射线泄漏率	≤0.1%
X 射线 1m 处最大剂量率	6Gy/min
电子束 1m 处最大剂量率	10Gy/min
治疗角	0-360°
正常治疗距离	100cm
主射线最大出束角度	28°
最大照射野（SSD=1 米）	40cm×40cm

（2）项目流程及产污染环节

直线加速器治疗流程为：病人进行放射治疗的确诊并向患者告知可能受到辐射危害→职业人员佩戴个人剂量计，携带个人计量报警仪→模拟定位（CT 机）、进行体表标记→制定治疗计划、确定照射位置和剂量→病人进入加速器机房→关闭屏蔽门并开启安全联锁→加速器出束治疗、实施治疗→治疗完毕。本项目所使用的直线加速器治疗流程及产污位置见图 9-3。

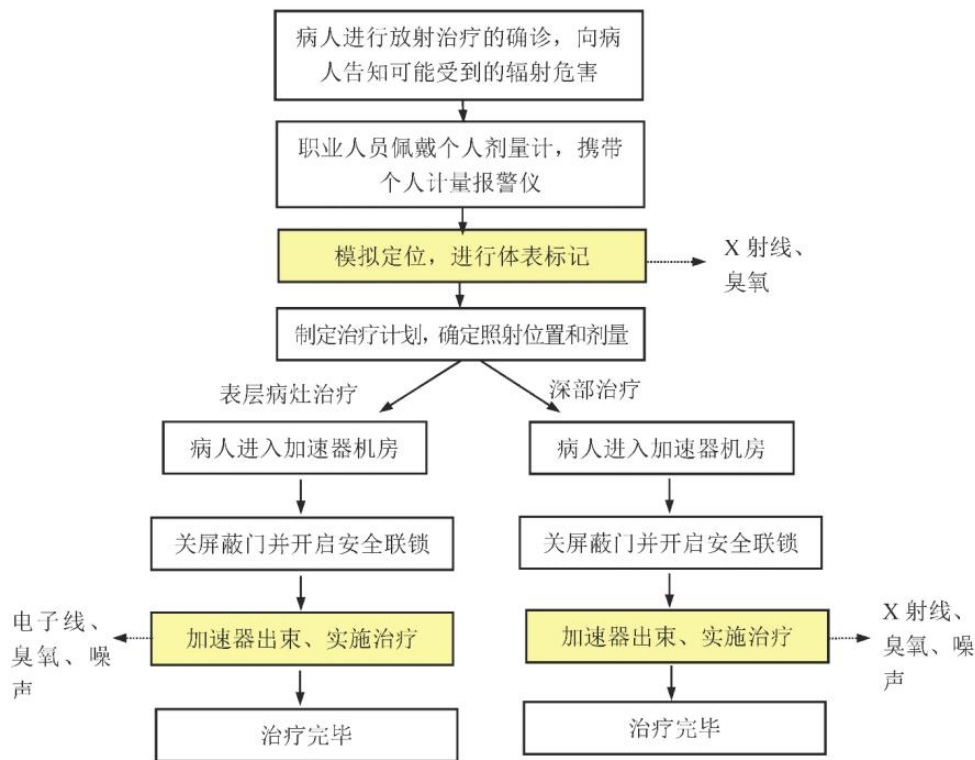


图 9-3 医用直线加速器治疗流程及产污环节图

通过分析可知，产污环节为：模拟定位时产生的 X 射线，加速器治疗过程中产生的 X 射线、电子线、臭氧以及风机、水冷机房水泵产生的噪声。

年出束时间：根据医院提供资料，医院全年最大治疗患者 19200 名，其中采用电子线表层病灶治疗模式治疗患者约 5000 名。每名患者治疗时间 1~3min，则本项目电子加速器年最长出束时间约 480h/台。

(3) 人流、物流路径规划

①工作人员路径：辐射工作人员先进入模拟 CT 控制室，然后进入模拟 CT 机房，协助患者进行模拟定位工作，模拟定位完成后，进入直线加速器治疗室协助患者进行摆位，摆位后进入操作室，待患者治疗完毕后，离开工作区域，沿走廊原路返回。

②患者路径：患者根据安排的时间由候诊大厅先进入模拟 CT 定位机房进行体表标记，标记完成后，进入直线加速器治疗室，根据指定的治疗计划和方案进行出束治疗，治疗完毕后，通过迷道离开机房，沿走廊离开返回至候诊大厅，乘电梯离开治疗区域。

2、后装机工艺分析

(1) 设备组成及工作原理

后装治疗机由施源器、贮源系统、源传输系统以及控制系统组成。施源器是个直径为毫米级的管状物，管内可装球形的真源和假源，并有气动通道。后装治疗机治疗时则由传输管道连接贮源器，将源输送到预置于病员体内的施源器，按治疗计划由电脑控制进行照射治疗，照射完毕即自动将放射源收回到贮源器内。

后装机是采用后装技术（后装技术就是先在病人身上正确放置好施源器，然后在安全防护条件下用遥控方法自控制室将后装机贮源室内的放射源通过管道送到病人身上的施源器内，其好处是放置施源器有充分的时间，并可用透视或摄片校正位置，从而保证了放射源的正确位置），使 γ 放射源在人体自然腔、管道或组织间驻留而达到预定的剂量及其分布的一种放射治疗手段，可用于宫体、宫颈、直肠、食道、口腔、鼻咽等腔内肿瘤的后装治疗，也可用于皮肤浅表面肿瘤的后装治疗，本项目用于腔内肿瘤的后装治疗。

（2）主要技术参数

放射源种类： ^{60}Co

放射源数量及活度：本项目后装机内拟装 ^{60}Co 放射源，装源活度为不大于 $3.70 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，属 II 类放射源。

表 9-2 ^{60}Co 放射源的主要参数

核素	半衰期	毒性	γ 光子能量	空气比释动能常数	十分之一值层厚度
^{60}Co	5.27 年	高毒	1.17MeV 与 1.33MeV， 平均为 1.25MeV	$0.308\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	混凝土：218mm， 铅：41mm

年出束时间：根据医院提供资料，医院全年最大治疗患者 2400 名，每名患者治疗时间 5~10min，后装机年出源治疗最长时间约 400h。

换源频率：5~8 年更换一次。

（3）操作流程

①病人经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者与放疗科预约登记，以确定模拟定位和治疗时间。

②预约病人首先通过模拟定位机（CT）进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状，确定治疗中心。定位操作过程类似于 X 射线影像诊断，工作人员隔室操作。

③确定肿瘤位置和形状后，物理人员根据医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划，该过程通常在电脑上完成。

④治疗计划制定后，肿瘤病人进入机房，技师实施摆位，依据计划在治疗床上

进行连接施源器，该过程在治疗机房内完成。

⑤安装施源器后，技术人员进入操作室，确定所有安全措施到位后，启动治疗机进行照射。

⑥照射完毕后，放射源返回后装机贮源装置，技术人员协助病人离开机房，为下次照射做准备。

本项目后装机贮源装置安装在机房内，驱动装置控制系统安装在控制室内，在对病人进行治疗时由辐射工作人员在控制室隔室操作。

后装机的治疗过程及其产污环节见图 9-4。

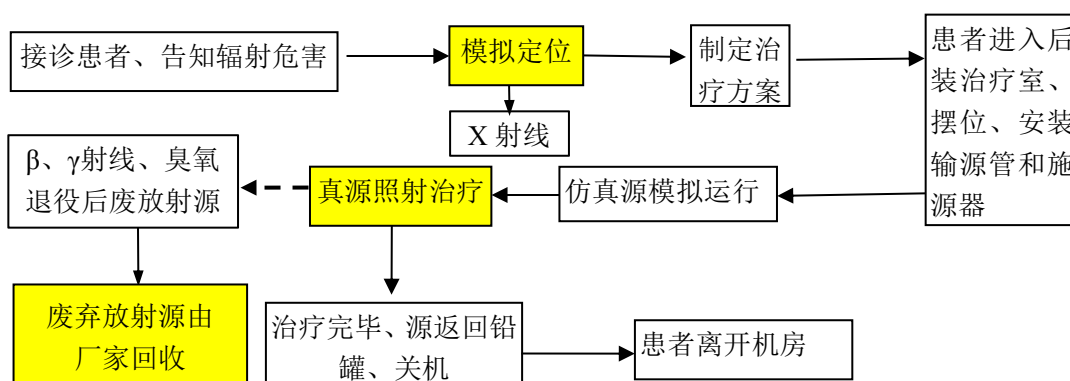


图 9-4 后装机治疗工艺流程及产污环节图

（4）污染因子

主要污染因子为β射线、γ射线及治疗过程中产生的少量臭氧，退役后的废放射源。根据医院实际治疗情况，医院购买的后装治疗设备首次倒源由厂家负责，后期放射源的购买由医院申购，向四川省生态环境厅提交《放射性同位素转让审批表》，购买后，委托有资质的单位派专业技术人员更换放射源，退役后的废放射源由放射源生产厂家进行回收处理，废放射源不在医院内暂存。

（5）人流、物流路径规划

医护人员路径：从控制室通过后装治疗室防护门经迷路进入后装治疗室，指导病人摆位、安装输源管和施源器后沿原路返回控制室。

病人路径：从候诊区通过后装治疗室防护门经迷路进入后装治疗室接受治疗，治疗完成后离开后装治疗室。

放疗科直线加速器及后装机项目医护人员和病人路径见附图 13。

（二）介入中心 DSA 和中心手术室 DSA

医院拟在医疗综合楼一层介入中心 DSA1 机房和 DSA2 机房内分别使用 1 台 DSA

（型号待定），在医疗综合楼四层中心手术室复合手术室内使用 1 台 DSA（型号待定）。

1、设备组成

医院拟在介入中心 DSA1 机房、DSA2 机房和中心手术室复合手术室内分别安装 1 台 DSA 用于介入手术，DSA 主要由带有影像增强器电视系统的 X 射线诊断机、高压注射器、电子计算机图象处理系统、治疗床、操作台、磁盘或磁带机和多幅照相机组成。

2、工作原理

数字减影血管造影（digital subtraction angiography, DSA）是 20 世纪 80 年代继 CT 之后出现的一项医学影像学新技术，是电子计算机图像处理技术与传统 X 线血管造影技术相结合的一种新的检查方法，可以满足心血管、外周血管的介入检查和治疗，以及各部位非血管介入检查与治疗。

DSA 是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，它是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同的信号，得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。

介入手术所使用的造影剂主要成分为碘制剂，分为无机碘化物、有机碘化物以及碘化油或脂肪酸碘化物三大类，均不属于放射性物质，使用过程不产生放射性污染。

3、治疗流程

DSA 检查流程：采取隔室操作方式，通过控制 DSA 的 X 线系统曝光，采集造影部位图像。具体方式是受检者位于检查床上，医护人员调整 X 线球管、人体、影像增强器三者之间的距离，然后退入控制室，关好防护门。操作人员（技师）通过控制室的电子计算机系统控制 DSA 的 X 线系统曝光，分别对没有注入造影剂和注入造影剂的受检部位进行拍片，得到的两幅血管造影 X 线荧光图像经计算机减影处理后，在计算机显示器上显示出血管影像的减影图像。医师根据该图像确诊患者病变的范围、程度，选择治疗方案。

造影检查流程：手术医生采取近台同室操作方式，通过控制 DSA 的 X 线系统曝光，对患者的部位进行间歇式透视。具体方式是受检者位于手术床上，介入手术医生位于手术床旁第一手术位，距 DSA 的 X 线管约 0.5~1.0m 处。心脑血管造影检查中，医生根据操作需求，踩动手术床下的脚踏开关启动 DSA 的 X 线系统进行透视，通过显示屏上显示的连续画面，完成介入操作。手术助手位于介入手术间内、手术医生附近的第二手术位，距 DSA 的 X 线管约 1.0~2.0m 处。心脑血管造影检查中，通过观察各类监控屏辅助开展治疗。

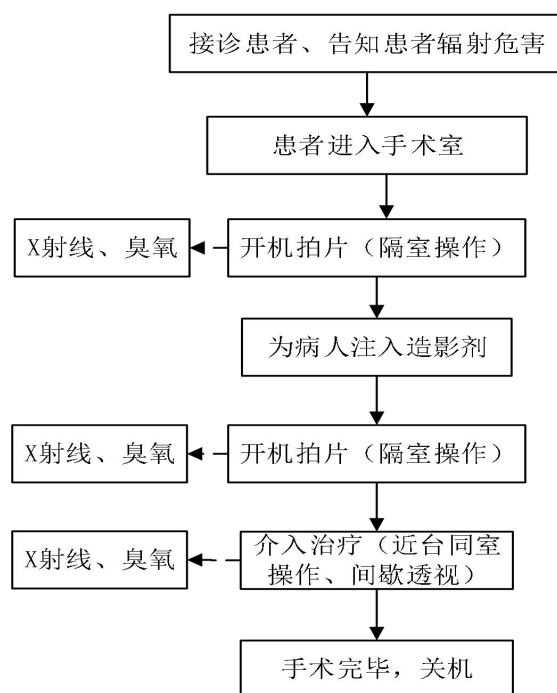


图 9-5 DSA 治疗流程及产污环节图

4、人流、物流的路径规划

（1）介入中心 DSA

①工作人员路径：辐射工作人员由换鞋间经过更衣室后进入洁净走廊，然后医护人员和技师进入操作间，医护人员操作间进入 DSA1 或 DSA2 机房，医生进入 DSA 机房进行手术操作，手术完成后沿原路径返回。

②患者路径：患者根据安排的时间由介入中心等候区经换床区换床后进入洁净走廊，进过洁净走廊分别进入 DSA1 或 DSA2 机房接受手术，手术完成后沿原路径离开。

③物流路径：DSA1 和 DSA2 手术室产生的医疗废物收集后经污物走廊离开手

术室，进入西南角的污物暂存间内暂存。

介入中心 DSA 人流、物流路径示意图见附图 21。

(2) 中心手术室 DSA

①工作人员路径：辐射工作人员通过洁净走廊 3 经护士站后直行到底，然后右转进入复合手术室操作间，技师进入操作室，医护人员进入复合手术室（OR. 13）进行手术操作，手术完成后沿原路径返回。

②患者路径：患者在等候区内等候手术，等候区外的护士根据安排的手术时间将患者送入换床间换床，经过换床后经洁净走廊 3 右转，在洁净走廊 3 尽头左转后直行，通过缓冲间后左转进入复合手术室（OR. 13）接受手术，手术完成后沿原路径离开。

③物流路径：复合手术室（OR. 13）手术产生的医疗废物收集后右转经污物走廊直行到底后左转直行到尽头后，右转进入污物处置/暂存间内暂存。

中心手术室复合手术室 DSA 人流、物流路径示意图见附图 27。

(三) 内镜中心

医院拟在医疗综合楼三层内镜中心 ERCP 机房内使用 1 台 ERCP（型号待定）。

1、设备组成

ERCP 是经内镜逆行胰胆管造影的英文首写字母（Endoscopic Retrograde Cholangio-Pancreatography, ERCP）由带有影像增强器电视系统的 X 射线诊断机、高压注射器、电子计算机图象处理系统、操作台、磁盘或磁带机、多幅照相机组成。

2、ERCP 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。

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，注入造影剂后进行 X 线摄片，以显示胰胆管的技术。

3、ERCP 工作流程及产污节点分析

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医生进行插镜（十二指肠镜经口依次通过食管、胃、进入十二指肠降段，找到十二指肠乳头）、插管（将导管插入乳头），配合透视注入造影剂；

④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，得到病人病灶部位清晰影像资料；

⑤根据拍片结果，医生再次进入机房内配合内镜对病人病灶部位进行相应治疗。

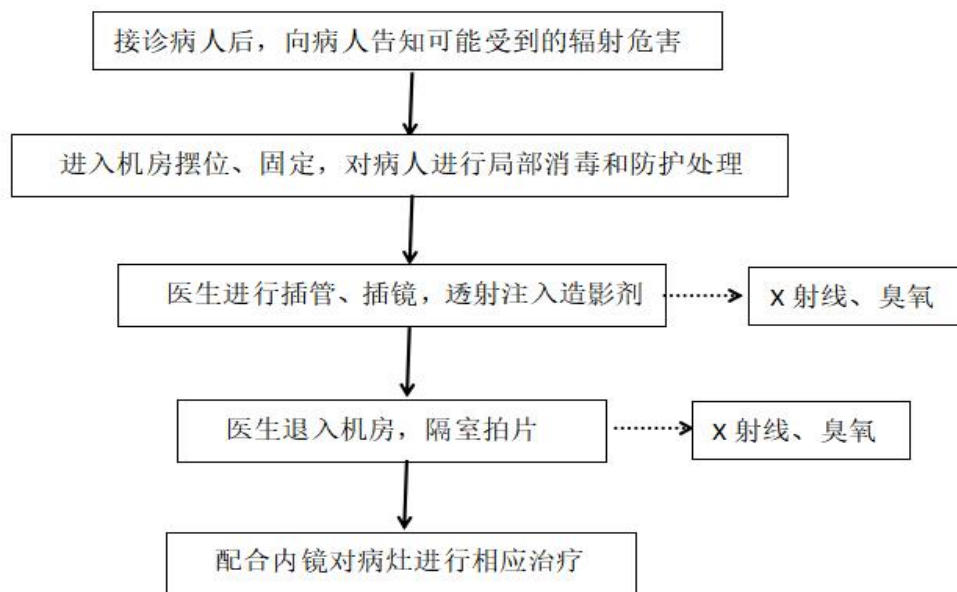


图 9-6 ERCp 治疗流程及产污环节图

4、人流、物流的路径规划

①工作人员路径：辐射工作人员经过内镜中心候诊区左转后在宣教室门口右转，直行至患者准备室后右转，医护人员左转进入 ERCp 室开展造影检查，技师进入操作室，检查完成后沿原路径返回。

②患者路径：患者在护理人员的陪同下，经内镜中心候诊区左转后在宣教室门口右转，直行至患者准备室后右转进入患者准备室进行检查前的准备，准备结束后送入 ERCp 室内进行检查，检查完成后沿原路径返回。

③污物路径：本项目产生的污物在 ERCp 机房内打包后，从患者进出门经患者准备间后沿走道向西北侧前进，直至路口后向右转沿北侧走道前进，在医生办公室处右转向东南侧走道前进，在抢救室门口左转向经空调机房后右转进入污物暂存间内暂存。

内镜中心 ERCP 医患人员和污物路径示意图见附图 24。

（四）III类射线装置工艺流程及污染源分析

（1）设备组成及工作原理

X 射线诊断机由 X 射线管、供给管电压的高压发生器、控制 X 射线质量和曝光时间的控制装置、影响采集装置、为满足诊断需要而配置的机械装置和辅助装置组成，具体见图 9-7。

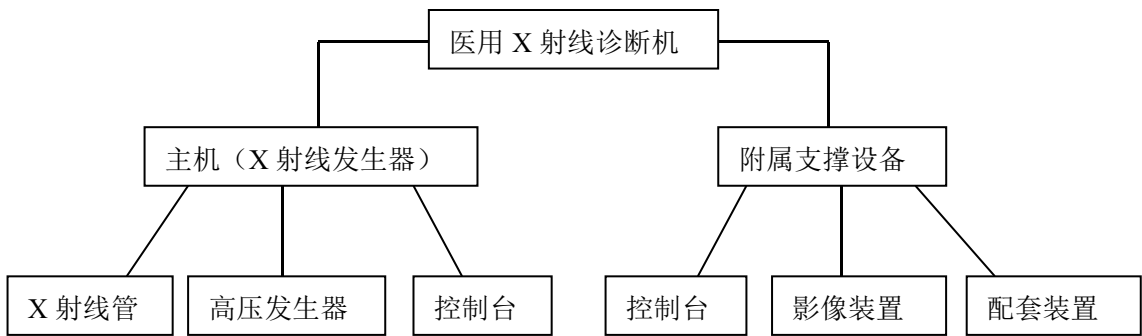


图 9-7 医用 X 射线诊断机基本结构图

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

高压发生器：高压发生器的作用是把输入的交流电变成 X 射线管所需的直流电，并给 X 射线管灯丝提供加热电压。医用 X 射线诊断机输出管电压一般为 30kV 至 150kV，摄影时管电流可达数百毫安，但工作时间很短。

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

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

（2）检查流程

医用诊断 X 射线机按使用范围分为综合性 X 射线机（具有透视和摄片功能，适合做各种疾病检查）和专业性 X 射线机（适合做某些专科检查，如乳腺机等）。由于诊断项目的不同，所用的医用诊断 X 射线机也不同，但其基本组成是相同的，即包括：X 射线管装置、高压发生装置和控制装置。这类射线装置诊断（检查）流程类似，概括起来包括：病人候诊准备、向病人告知可能受到的辐射伤害、填写病例表信息、病人进入机房、关闭屏蔽门开启安全联锁、安排好患者位置、设定摄片/透视能量、X 光机开机、数字成像、诊断。

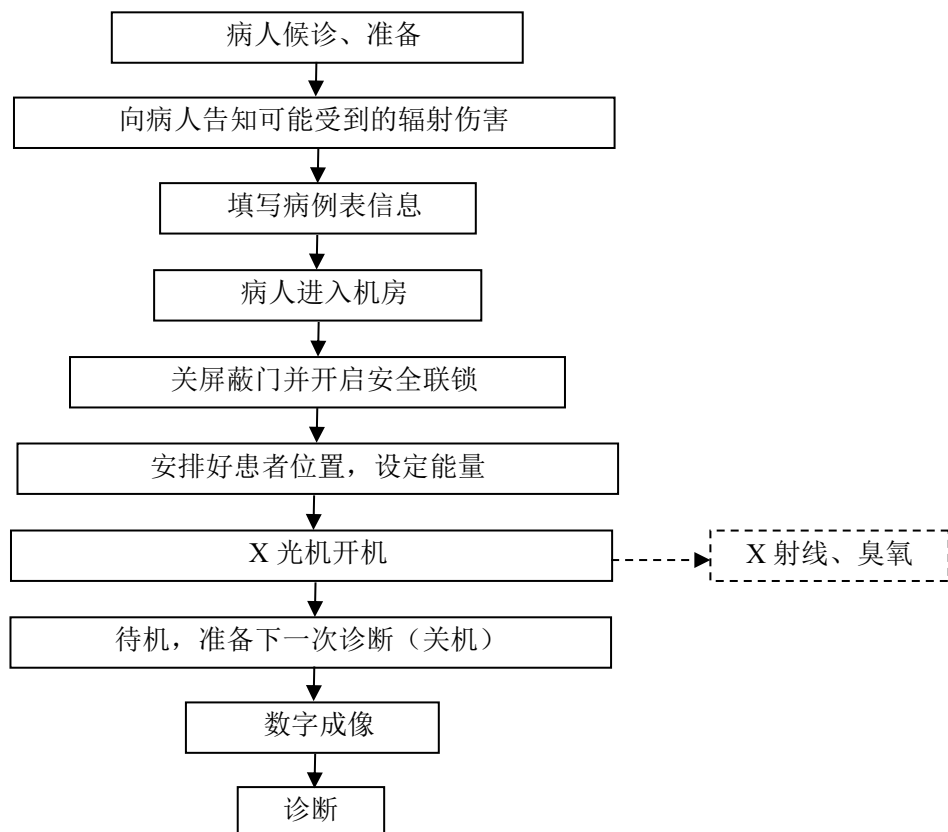


图 9-8 III类射线装置诊断流程及产污环节示意图

（3）产污环节

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

（四）核医学科

四川省第一中医医院医疗综合楼负一层核医学科内操作使用¹⁸F、^{99m}Tc 用于显

像诊断。PECT 显像诊断使用放射性同位素^{99m}Tc 计划年最大操作量为 1.22×10^{13} Bq，计划日最大操作量为 8.14×10^{10} Bq，日等效最大操作量为 3.74×10^7 Bq；PET 诊断使用放射性核素¹⁸F 计划年最大操作量为 8.33×10^{12} Bq，计划日最大操作量为 5.00×10^{10} Bq，日等效最大操作量为 2.00×10^7 Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。在 PET/CT 机房拟使用1台 PET/CT，配套使用3枚⁶⁸Ge 校准源，活度为 4.625×10^7 Bq $\times$ 2枚+ 9.25×10^7 Bq $\times$ 1枚，均属于 V 类放射源。

1、SPECT 诊断工艺分析

1) 设备组成及工作原理

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

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

2) 工作流程及产污环节

①诊断规划

SPECT 诊断项目正式开展后，使用 1 台 SPECT 开展工作，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h，拟通过放射性药品供应单位直接配送药品，开展^{99m}Tc 核素每日最多诊断 40 人。

SPECT 诊断项目的工作流程与产污环节详见图 9-9

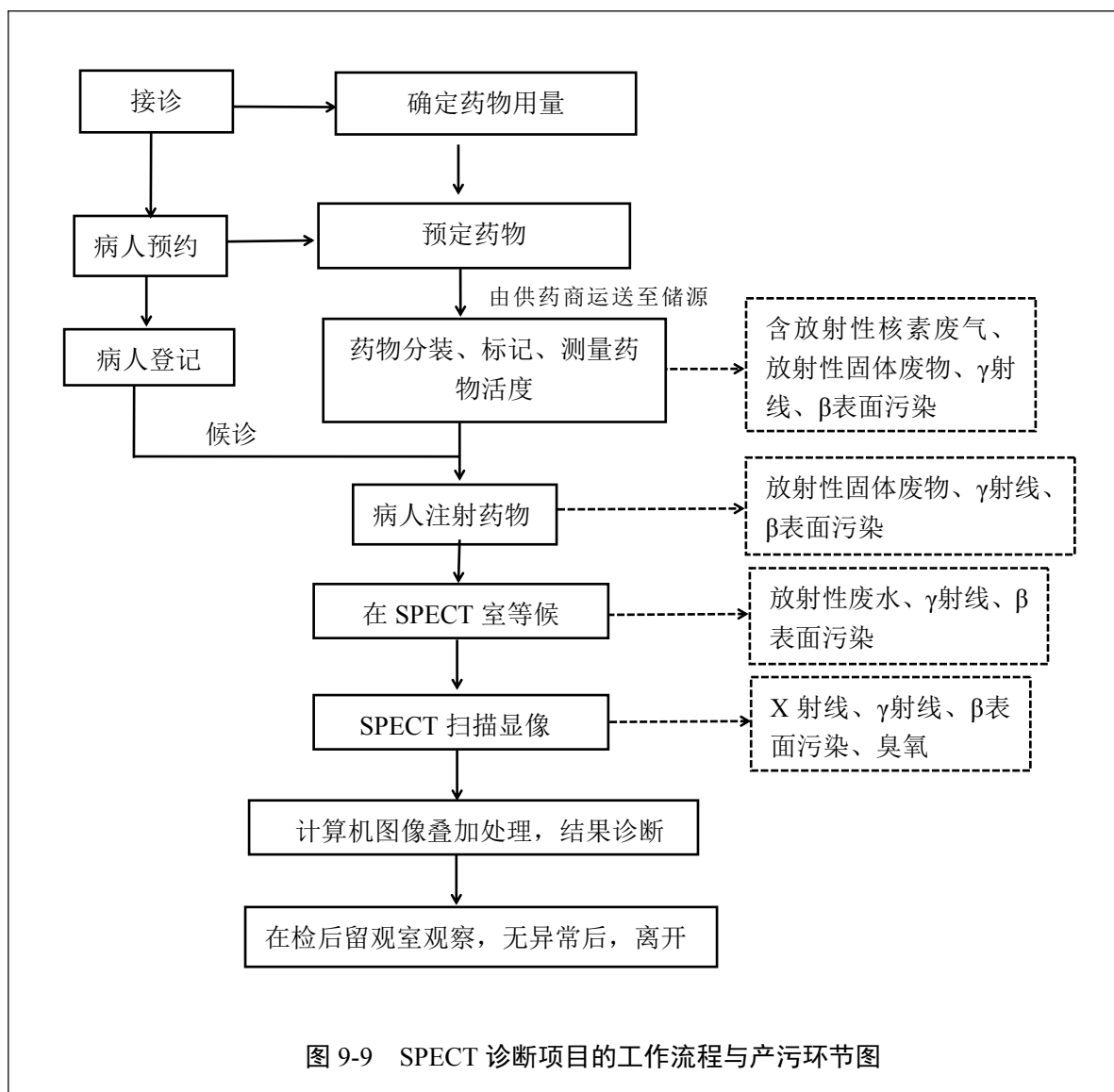


图 9-9 SPECT 诊断项目的工作流程与产污环节图

②工作流程

A、药物分装

本项目计划使用放射性核素 ^{99m}Tc 进行 SPECT 诊断检查，所使用的 ^{99m}Tc 核素为外购而来。工作人员根据临床诊断所需药物 ^{99m}Tc 的使用量在分装标记室内进行分装、测活度及标记。

B、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注射室注射窗口操作台，注射室内的注射窗口操作台安装 10mm 铅当量含铅防护窗，注射药物时，工作人员从铅罐内吸取药物进行注射。

C、扫描诊断

病人注射后在注射后等待室内静躺候诊（注射药物候诊时间为 15min），待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 SPECT 机房。医生在控制室内进行语音提示摆位，必要时进入机房指导（个别病人需医生进入机房进行现场摆位），摆位完成后离开机房返回控制室。医生隔室操作对患者进行 SPECT 扫描诊断，SPECT 机房每次扫描 15min。扫描完成后病人在留观室等候 15min 后，确定无不良反应后，从患者出口离开核医学科。

③产污环节

工作人员注射完毕后的一次性注射器、棉签等放入专用放射性废物铅桶内。患者候诊时产生的尿液、粪便、呕吐物均冲入专用卫生间，纳入衰变池内衰变。

2、PET 诊断工艺分析

（1）设备组成及工作原理

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

PET/CT 是将 PET 和 X 线计算机断层扫描（Computer Tomography, CT）组合而成的多模式成像系统，是目前全球最高端的医学影像设备，同时也是一种可以在分子水平成像的影像技术。PET/CT 将 PET 与 CT 融为一体，使两种成像技术优势互补，PET 图像提供功能和代谢等分子信息，工作时，其 CT 球管发射 X 射线，穿透人体组织，其探测器获得的数据不仅用于重建 CT 图像，同时提供给 PET 作为衰减校正的参数，在此基础上再进行 PET 图像的重建。所显示的图像为两者图像融合的结果，即细胞的代谢显像和所处的解剖位置。

（2）PET/CT 诊疗流程与产污环节

- ①医护人员在注射室给病人注射放射性药物 ^{18}F ；
- ②病人在注射后等待室内静坐规定的时间，待药物代谢至靶器官；
- ③病人进入 PET/CT 机房，躺在扫描床上，接受扫描检查；
- ④得到最终的扫描图像。

⑤接受扫描检查的患者，均在注射室接受静脉注射。本项目 ^{18}F 给药量为 $5.55 \times 10^8 \text{Bq}$ /每人次，每日最大治疗人数为 30 人，注射时间约为 1min 每人次。注射时，医生穿戴铅衣、带防护手套，医生与患者分别位于铅玻璃两侧，医生距患者约 30cm。注射完成后，接受注射的患者在注射后等待室观察 5-30min。待药物在身体内有一定程度的代谢后，再到扫描室进行扫描检查，检查时间为 15-20min，在留观室经观察无不良反应即可离开，检查流程及污染物产生环节见图 9-10。

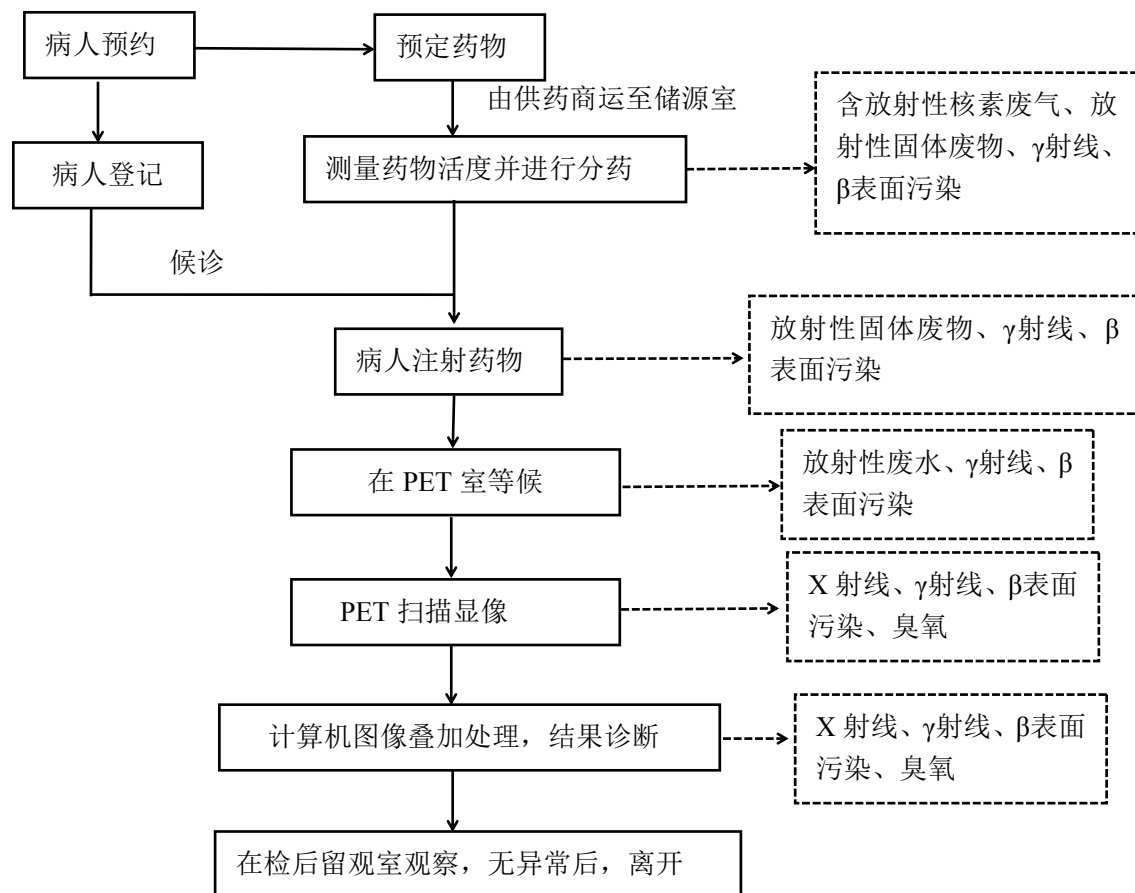


图 9-10 PET/CT 显像诊断及产污流程图

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

(3) 核医学科路径规划

1) 人流路径:核医学科人流路径主要是工作人员（包括核素操作人员、设备操作人员）路径和患者路径。

① 工作人员路径：核素操作人员从电梯厅后经核医学科候诊区，左转进入更衣室和缓冲间后，分装标记工作人员直行进入分装标记室内进行分装标记，SPECT 和 PET 诊断项目给药注射人员右转进入相应注射室为检查者实施注射给药；SPECT 和 PET/CT 操作人员及摆位护士经过电梯厅后右转后立即左转直行进入，在更衣室处左转经缓冲间进入控制室内对 SPECT 和 PET/CT 进行扫描操作；本项目核素分装标记、注射和摆位人员均为不同放射工作人员。

② 患者路径：PET 和 SPECT 就诊患者经医生诊断，按医嘱到候诊区候诊，在听到广播通知后，直行左转进入核医学科工作场所内，分别进入 PET 或 SPECT 注射窗口进行静脉注射，注射完毕后分别进入 PET 和 SPECT 注射后等候室候诊，听到医生叫号后进入到 PET/CT 机房和 SPECT 机房内进行扫描，扫描完毕，根据情况分别进入 PET 或 SPECT 留观室留观，留观结束或无需留观，则直径沿患者通道离开核医学科，经病人梯离开。

2) 物流路径主要包括放射性核素进入核医学科工作场所路径、放射性固体废物转运路径。

①放射性核素进入核医学科工作场所路径：根据提前用药预约安排，在上班之前，核素由药物供应商负责运送，地下停车场负二层经通道沿西北方向进入，通过放射性废物暂存间、储源室后进入分装标记室，存入对应通风橱内，经过分装标记后，通过药物传递窗送入对应的注射室，由注射人员为患者给药注射。

②放射性固体废物转运路径：在分装标记室、PET 注射室和 SPECT 注射室内分别放置有 1 个放射性废物桶收集放射性固体废物，在分装标记和注射过程中，会产生一些放射性固体废物，收集的放射性固体废物在放射性固体废物暂存桶内暂存后，送入放射性废物暂存间内打包后进行衰变处理，达到处理要求后，固体废物经污物走道送出核医学科。

3) 放射性废气路径

本项目核医学科为负压工作场所，在工作场所内，现设有 2 套专用通排风系，其排风主要路径走向为患者离开通道→留观室→注射后等待室→排风井，分装标记室→注射室→储源室→放射性废物暂存间→排风井。排风管道路径为核医学科低活度区域流向高活度区域，建设单位拟在排风管道内设置止回阀，防止放射性废气及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求，建设单位应在通风橱、分装柜等密闭设备设计独立排风系统，并在每一个密闭设备顶壁安装活性炭过滤装置。经过过滤装置处理后的废气经管道进入排风井，在楼顶经过活性炭吸附+高效过滤装置处理后排放。

综上所述，本项目从功能分区来看，接诊等候、核素诊断、扫描检查、工作人员办公区域划分明确，相对隔离，可以尽量避免公众和医护人员不必要的照射。医院应加强对核医学科场所的管理，人员或语音广播引导患者就诊，地面粘贴引导标志，告诫注射药物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。

核医学科人流、物流路径见附图 18，排风系统平面布局图见附图 30。

污染源项描述

（一）建设期

1、污染源项

本项目施工期没有辐射污染源项，施工期主要是对装修，工程量小，施工时间短，非放射性物质产生量较小。

2、非放环境影响因子

施工期非放环境影响因子主要是：废气、废水、噪声和固体废物。

（二）运行期

1、直线加速器

（1）正常工况

①X射线

由上述产污环节可知，加速器运行期间高能电子束与靶物质相互作用时将产生高能X射线，X射线随机器的开、关而产生和消失。

②臭氧和氮氧化物

直线加速器在运行过程中，X射线作用于空气以及次级辐射等因素，可产生少量臭氧及微量氮氧化物，通过排风系统排入大气。

③废靶件

直线加速器的金属靶件更换时会有废靶件产生，废靶件属于放射性固体废物，废靶件由加速器供应商回收，不在医院存储。

综上，开机期间，其他直线加速器主要污染因子为X射线、废靶件、少量臭氧、微量氮氧化物。

（2）事故工况

①放疗过程加速器运行时，辐射安全措施故障，无关人员误入治疗室，发生超剂量照射。

②维修直线加速器系统时发生异常出束，维修人员受到超剂量照射。

2、后装治疗机

本评价项目的后装机拟使用的辐射源为微型⁶⁰Co放射源，主要辐射危害因素是放射源的初始辐射及其杂散辐射。该项目在正常工况和事故工况下的污染源项分别如下：

（1）正常工况

使用放射源后装治疗机时主要的环境影响来自放射源，由于放射源是密封源，正常情况下源活性物质不会泄露，因此在正常情况下，主要的影响因子是放射源发射的γ射线，对周围环境影响途径为外照射，无放射性“三废”排放。

由于放射性衰变，随着放射性活度的降低，密封源在一定时间以后将无法继续满足放射治疗要求，需要更换新的放射源。而旧的放射源依然具有一定的放射性强度，依然存在对环境保护和人类健康的不利影响的可能性，因此对于废旧放射源需要妥善处理。

（2）事故工况

①后装机的放射源丢失或被盗。

②治疗过程中，发生卡源事故，需要人工处理时导致人员受到额外照射。

③安全联锁装置失效，人员误入治疗室而导致的误照射。

3、数字减影血管造影装置（DSA）

（1）正常工况

X射线：DSA 开机出束时，产生的 X 射线会对周围产生辐射影响，辐射途径为外照射。X 射线随 DSA 的开而产生，关而消失。

臭氧：DSA 开机出束时，产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量臭氧

(O₃)。

固体废物：介入手术过程中产生的废一次性医用器具和废药棉、纱布、手套等医疗废物。

(2) 事故工况

①在介入手术操作中，DSA 控制系统失灵，手术过程中，人员误入或滞留在机房内而造成非主射方向的误照射；

②在检修、维护等过程中，检修、维护人员在未佩戴个人剂量报警仪或报警仪剂量阈值设置错误的情况下，检修、维护人员误操作，造成有关人员受到主射方向的误照射。

4、经内镜逆行胰胆管造影（ERCP）

(1) 正常工况

X 射线：ERCP 开机出束时，产生的 X 射线会对周围产生辐射影响，辐射途径为外照射。X 射线随 ERCP 的开而产生，关而消失。

臭氧：ERCP 开机出束时，产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量臭氧(O₃)。

(2) 事故工况

①在造影过程中，ERCP 控制系统失灵，手术过程中，人员误入或滞留在机房内而造成非主射方向的误照射；

②在检修、维护等过程中，检修、维护人员在未佩戴个人剂量报警仪或报警仪剂量阈值设置错误的情况下，检修、维护人员误操作，造成有关人员受到主射方向的误照射。

5、III类医用射线装置

本项目共涉及III类医用射线装置3台，分别为1台模拟定位机(CT)、1台PET/CT、1台SPECT，本项目所用射线装置均为数字成像，无废显定影液及废胶片产生，其主要危害为设备工作时产生X射线。最大可能发生的事故为射线装置曝光期间人员误入。

6、核医学科

(1) 正常工况

①X射线和 γ 射线

PET/CT、SPECT扫描时产生的X射线；放射性核素产生的 γ 射线及 β 射线。

② β 放射性表面污染

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

③放射性废气

在放射性药物挥发产生的含放射性核素的废气。

④放射性废水

含有放射性核素的病人排泄物；工作场所清洗废水等。

⑤放射性固废

本项目放射性固废主要为工作人员操作过程产生含污染物的注射器、针头、手套、棉签、纱布、破碎杯皿、擦拭污染物地面的物品和更换的废活性炭等放射性废弃物；PET/CT 校准源衰变后产生的废放射源。

(2) 异常工况

①放射性药物丢失、被盗、撒漏或工作场所失火，均可能使放射性药物释放到环境中，这样就会使室内的设备、地面等受到放射性污染；

②校准源丢失、被盗、失控。

7、小结

综上所述，本项目营运期主要污染源项见表 9-3。

表 9-3 本项目营运期主要污染源项

污染源场所		使用场所	主要污染因子
放疗科	医用直线加速器	医疗综合楼负二层直线加速器机房	X 射线、电子束、臭氧、加速器废靶件
	后装机	医疗综合楼地下负二层后装治疗室	γ 射线、臭氧、退役放射源
	模拟定位机 (CT)	医疗综合楼地下负二层模拟定位机房	X射线、臭氧
介入中心	DSA	医疗综合楼一层介入中心DSA1机房和 DSA2机房	X 射线、臭氧、固体废物 (废一次性医用器具、废药棉、手套等医疗废物)
内镜中心	ERCP	医疗综合楼三层内镜中心ERCP机房	
中心手术室	DSA	医疗综合楼四层中心手术室复合手术室	
核医学科	核医学科	综合楼负一层核医学科区域	X射线、 β 射线、 γ 射线、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物、废放射源

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、工作场所布局与分区

四川省第一中医医院医疗综合楼为一幢集门诊急诊医技住院行政等为一体的综合型大楼，大楼东南侧为门诊入口，朝向华林一路，西南侧靠近人民塘东一路，西北侧紧邻民兴苑小区，东北侧紧邻拟规划道路（现为空地）。医疗综合楼地下均为 2 层，地面竖直方向呈“H 形”布置，地面两侧 12 层（约 58m）建筑，中间为 3 层~7 层（15m~34m）的综合型建筑。医院拟在医疗综合楼负二层西南侧设放疗科、一层东北侧设介入中心、三层西北侧中部设内镜中心、四层西北侧中部设中心手术室、负一层西南侧设核医学科。

根据设计图可知，医疗综合楼负二层西南侧西北部为放疗科，西北侧为仓储用房，中部为设备用房，其余均为地下停车位。在放疗科内，模拟定位机设备间和模拟定位机房、后装机控制室、后装治疗室及准备间、直线加速器治疗室 2、直线加加速器治疗室 1、衰变池等自东南向西北方向呈“1”字排列；西南侧为回填土，东北侧和东南侧均为放疗科配套用房；正上方为预留空房间。

在医疗综合楼负一层西南侧西北部为核医学科、东南部为配电用房；西北侧中部西北侧为食堂、中部为中西医库房；东北侧西北部为耗材库房及物管用房区；其他区域为配套用房及停车位。在核医学科内，呈“1”字排列的核医学科候诊区、库房、SPECT 机房及控制室、PET/CT 机房自东南向西北将核医学科分为西南和东北两个部分。其中西南部分放射性废物暂存间、分装标记室（含储源室）和注射室（含 SPECT、PET）、SPECT 注射后等待室、抢救室、PET 注射后等待室、SPECT 留观室、PET 留观室自东南向西北排列，西南侧为预留用房和通道，东北侧为患者就诊通道；东北部分主要为诊室、办公室、值班室等；正下方为放疗科配套办公用房；正上方为急诊/日间病房。

医疗综合楼一层至五层横跨西南和东北方向的医疗街（上空）及电动升降扶梯将医疗综合楼为西北和东南两个部分。在医疗综合楼一层西北部分西南侧为急诊/日间病房区，中间部分为放射科和中医文化展厅，东北部分为介入中心和纠纷办；东南部分西南侧为急诊急救区，中间部分为挂号收费、药房及诊室区，东北侧为儿科、儿保诊治区。在介入中心外，西北侧紧邻消防控制室和纠纷办，西南侧为空地，东南侧为住

院入口通道，东北侧为外墙；在介入中心内，东南向西北走向的洁净走廊位于DSA1机房和DSA2机房之间，污物走廊1和污物走廊2分别位于两间DSA机房的两侧，两间DSA机房东南侧紧邻控制室和其他配套用房，西北侧紧邻对应DSA的设备室及其他配套用房，机房正上方为妇科+人流诊室，机房正下方为报告厅VIP等候室和加压送风机房。

医疗综合楼三层西北部分西南侧为血透中心，中间部分为消毒供应中心和内镜中心，东北侧为配镜中心和信息中心；东南部分西南侧为杜氏骨科诊疗区域，中间至西南向东北方向依次为外科、耳鼻喉科、眼科诊疗区，东北侧为皮肤科（医学美容科、烧伤/整形科）诊疗区域。ERCP 机房位于内镜中心中部区域，内镜中心东南向西北走向的两条通道将其划分为三个“1”字排列的功能用房，西南侧为胃肠镜检查室，东北侧为卫生间、镜库、办公室等配套用房；中间部分自东南向西北依次为内镜中心候诊厅、抢救室、复苏室、ERCP 机房、胃动力检查室、库房等。在 ERCP 机房周围，西北侧为胃动力检查室和预留用房；西南侧为人员走道；东南侧为患者准备室和抢救室；东北侧为控制室；ERCP 机房正上方为中心手术室复合手术室（DSA）机房；正下方为超声检查室。

医疗综合楼四层西北部分西南侧为日间手术治疗区，中间部分为中心手术治疗区，东北侧为口腔科诊疗区；东南部分西南侧为 SICU 病房区，中间为互联网医学中心和输血科，东北侧为 MICU 病房区。在中心手术室内，西南和东南部分为办公和仓储用房，其余均为手术和人员通道。复合手术室 DSA 机房（OR. 13）位于中心手术室东北侧中部，机房西北侧为复合手术室设备间，西南侧为污物通道，东南侧为操作间，东北侧为洁净走廊，正上方为护士长办公室、主任办公室和特需门诊病房。

根据建设单位提供设计图纸，在医疗综合楼负一层西南侧西北部核医学科与西北侧中部西北侧食堂相距约 20m，中间由楼梯间（电梯厅）、下沉广场实体隔开，且本项目核医学科为负压工作场所。因此，核医学科对医院食堂基本无影响。此外，在医疗综合楼一层东北侧儿科距离医疗综合楼负一层西南侧西北部核医学科距离约 100m，在评价范围之外，且核医学科出口位于医疗综合楼一层西侧，儿科入口位于医疗综合楼一层东侧，因此，本项目核医学科对儿科基本无影响。

综上所述，本项目涉及的各辐射工作场所相对独立，使用的射线装置比较集中，评价范围内保护目标较少。因此，本项目辐射工作场所布局合理。

二、辐射工作场所两区划分

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范和管理工作，项目应当按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求在辐射工作场所内划出控制区和监督区。

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

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

结合项目诊治、辐射防护和环境情况特点，将射线装置机房划分为控制区，而控制室及与机房相邻的相关工作室划为监督区。其项目控制区和监督区划分情况见表 10-1。

表 10-1 项目控制区和监督区划分情况

项目	控制区	监督区
放疗科	直线加速器治疗室 1（含迷道）、直线加速器治疗室 2（含迷道）、后装治疗室（含迷道）、模拟 CT 机房	直线加速器治疗室 1 控制室、直线加速器治疗室 2 控制室、后装控制室、过厅、模拟 CT 设备间、准备室、库房、水冷机房（辅助用房）、模拟 CT 机房与准备间之间区域等
介入中心	DSA1 机房、DSA2 机房	DSA1 机房操作间、DSA2 机房操作间、洁净走廊、办公室、更衣间、无菌物品间、麻醉复苏间、办公室、设备间、前室、缓冲间、污物走廊等
内镜中心	ERCP 机房	控制室、患者准备间
中心手术室	复合手术室（OR.13）	操作间、复合手术室设备间
核医学科	储源室、分装标记室、放射性废物暂存间、SPECT 注射室、PET/CT 注射室、SPECT 注射后等待室、PET 注射后等待室、抢救室、SPECT 留观室、PET 留观室、SPECT 机房、PET/CT 机房、患者就诊通道	控制室、库房、缓冲间、洁具间、沐浴室、污物暂存间、污物处置间、pacs 机房、合用前室等

医院需重视控制区和监督区的管理，进行分区管理。

三、辐射防护设施

(一) 放疗科辐射防护屏蔽设计

1、医用直线加速器

(1) 辐射屏蔽措施

医用直线加速器采用混凝土防护，具体屏蔽防护设计见表 10-2。

表 10-2 直线加速器机房屏蔽防护设计

场所	机房面积	辐射防护建筑情况
直线加速器治疗室 1、 直线加速器治疗室 2	76m ² (不含迷道)	直线加速器治疗室1和直线加速器治疗室2呈镜像布置，共用主屏蔽墙体为3000mm厚混凝土、宽为4800mm，相连次屏蔽墙体为1700mm混凝土；直线加速器治疗室1西北侧主屏蔽墙体为2700mm混凝土、宽为4800mm，相连次屏蔽墙体为2050mm混凝土；直线加速器治疗室2东南侧主屏蔽墙体为3350mm混凝土、宽为4800mm，相连次屏蔽墙为2700~1700mm厚混凝土；西南侧非主射墙屏蔽墙厚均为1400mm混凝土；东北侧非主射墙屏蔽体厚度均为1500mm厚混凝土；东北侧“Z型”迷道内墙屏蔽体为1700mm厚混凝土；顶部主屏蔽墙为2700mm、宽为4800mm的混凝土，相连的次屏蔽墙为1500mm混凝土；防护门为11mm铅当量+8cm含硼5%聚乙烯电动推拉门。
《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）	≥45m ²	/

注：机房地下无楼层设计，为地下土壤层，人员无法进入，故不考虑辐射防护设，混凝土密度 2.35g·cm⁻³。

(2) 对 X 射线的防护措施

①穿过直线加速器治疗室屏蔽墙的各种管道和电缆线弯成 S 形或 U 形，不要正对工作人员经常停留的地点，如下图：

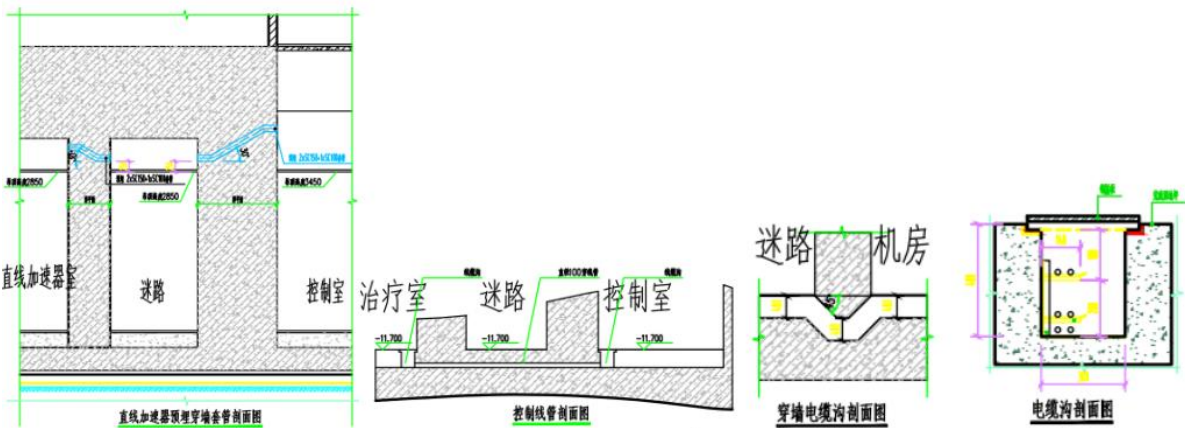


图10-1 直线加速器机房管线穿墙做法示意图

②为防止辐射泄漏，防护门与墙的重叠宽度至少为空隙的 10 倍，门的底部与地面之间的重叠宽度至少为空隙的 10 倍；

③为防止排风口排出的气体反流污染进气口，进风口和排风口应对角线布置。进、排风口附近应尽量禁止有人员活动；

④操作人员采取隔室操作方式，控制室与治疗室之间以墙体隔开，通过监控图像观察病人情况，通过对讲机与病人交流；

⑤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。尽量减少人员与机房的近距离接触时间；

⑥操作加速器的辐射工作人员每人佩戴个人剂量计；

⑦治疗前对放疗计划剂量进行核对，每次照射时体位都须一致。采用恰当的个人防护用品（如铅衣、铅围裙、三角巾等）屏蔽肿瘤周围的健康组织。

（3）通风系统

直线加速器治疗室 1 和直线加速器治疗室 2 机房内拟采用风机排风，设计通风量为 4000m³/h。直线加速器治疗室机房进风和排风管道在机房铅门上方拟采用 S 形穿墙管道进入直线加速器治疗室，加速器治疗室和后装治疗室排风管道在直线加速器机房西侧一起进入排风井，然后经排风机房最终引至大楼 12 层楼顶进行排放。直线加速器机房内通排风均采用“上送风、下排风”的方式，通排风管道均为镀锌钢管道。

2、后装机

（1）辐射屏蔽措施

后装机四周墙体和顶部均采用混凝土防护，具体屏蔽防护设计见表 10-3。

表 10-3 后装治疗室实体防护设施表

场所名称	辐射防护建筑情况
后装治疗室	后装治疗室西北侧与直线加速器治疗室 2 共用墙体为厚 2700 ~3350mm 混凝土；西南侧、东南墙体厚度均为 1000mm；东北侧“L”型迷道内墙和迷道外墙均为 1000mm 厚混凝土，迷道内墙长为 3000mm；顶部为 1000mm 厚混凝土；防护门为 6mmPb 单扇电动推拉门。

注：现浇钢筋混凝土密度为 2.35g/cm³。

（2）管线辐射防护措施

穿过后装治疗室屏蔽墙的各种管道和电缆线弯成S形或U形，不正对工作人员经常停留的地点，如下图所示：

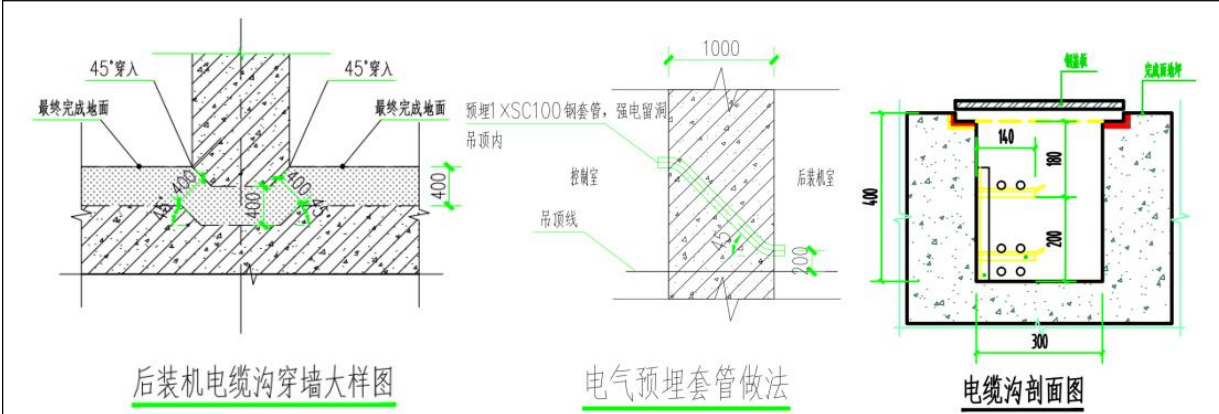


图10-2 后装治疗室管线穿墙做法示意图

(3) 通风系统穿墙防护措施

后装治疗室排风系统拟采用专用风机排风，设计排风量为 2100m³/h。后装治疗室进风和排风管道采用 S 形穿墙管道进入后装治疗室；后装治疗室和加速器机房排风管道在直线加速器机房南侧一起进入排风机房，然后经排风井最终引至医疗综合楼楼顶进行排放。后装治疗室内通排风采用“上送风、下排风”的方式，通排风管道均采用镀锌钢管道。

3、模拟定位机（CT）

本项目使用的模拟定位机（CT）机房屏蔽设计见下表。

表 10-4 模拟定位机（CT）机房屏蔽防护设计

机房	面积（m ² ）	四周墙体	屏蔽门	观察窗	楼顶	地面
		结构及厚度			结构及厚度	
模拟定位机（CT）机房	59m ² （最小单边长度7.2m）	300mm 混凝土（>4mm 铅当量）	4mm铅当量铅门	4mm铅当量铅玻璃	260mm 混凝土(>3mm 铅当量)	机房地下无楼层设计,不考虑辐射防护设计
放射诊断放射防护要求	最小有效使用面积30m ² , 最小单边长度4.5m	不低于2.5mmPb				
是否满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

(二) 本项目介入中心、内镜中心及中心手术室辐射防护屏蔽设计

1、辐射屏蔽措施

本项目 DSA、ERCP 机房主要针对 X 射线采取屏蔽防护，具体屏蔽防护设计见表 10-5。

表 10-5 射线装置机房屏蔽防护设计

名称	面积（m ² ）	四周墙体	屏蔽门	观察窗	屋顶	地板
DSA1 机	53.7m ² （最小单	方管龙骨+3mm	3mm 铅	3mm 铅	260mm 混凝土	260mm 混凝土

房（介入中心）	边长度 6.8m）	铅板+1.0mm 电解钢板（3mm 铅当量）	当量铅门	当量铅玻璃	+3mmPb 铅板+1.0mm 电解钢板（约 6mm 铅当量）	+2mmPb 硫酸钡水泥（约 5mm 铅当量）
DSA2 机房（介入中心）	55.1m ² （最小单边长度 6.8m）	方管龙骨+3mm 铅板+1.0mm 电解钢板（3mm 铅当量）	3mm 铅当量铅门	3mm 铅当量铅玻璃	260mm 混凝土+3mmPb 铅板+1.0mm 电解钢板（约 6mm 铅当量）	260mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡水泥（约 5mm 铅当量）
ERCP 机房（内镜中心）	60m ² （最小单边长度 7.5m）	370mm 厚实心砖墙（约 3mm 铅当量）	3mm 铅当量铅门	3mm 铅当量铅玻璃	200mm 混凝土+2.5mmPb 硫酸钡水泥砂浆（约 5.0mm 铅当量）	200mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡水泥砂浆（约 4.5mm 铅当量）
复合手术室（中心手术室）	70m ² （最小单边长度 7.0m）	方管龙骨+3mm 铅板+1.0mm 电解钢板（3mm 铅当量）	3mm 铅当量铅门	3mm 铅当量铅玻璃	260mm 混凝土+3mmPb 铅板+1.0mm 电解钢板（约 6mm 铅当量）	200mm 混凝土+2.5mmPb 硫酸钡水泥砂浆（约 5.0mm 铅当量）
放射诊断放射防护要求	最小有效使用面积 20m ² ，最小边长度 3.5m	有用线束 2mm 铅当量，非有用线束 2mm 铅当量				
是否满足	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求

（三）本项目核医学科辐射防护屏蔽设计

1、核医学科辐射防护设计要求

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的相关要求，核医学的工作场所按照核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录 G 进行分级（见表 10-6），不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的放射防护要求见表 10-6。

表 10-6 各功能区核素加权活度分类

场所名称	操作最大核素	放射性核素的毒性权重因子	不同操作性质的修正因子	计划日操作最大活度（Bq）	放射性核素加权活度（MBq）	总加权活度（MBq）	场所分类
储源室	^{99m} Tc	1	100	4.88E+10	4.88E+02	8.21E+02	II
	¹⁸ F	1	100	3.33E+10	3.33E+02		
分装标记室	^{99m} Tc	1	1	3.26E+10	3.26E+04	4.93E+04	II
	¹⁸ F	1	1	1.67E+10	1.67E+04		
PET 注射室	¹⁸ F	1	1	1.67E+10	1.67E+04	1.67E+04	II
SPECT 注射室	^{99m} Tc	1	1	3.26E+10	3.26E+04	3.26E+04	II
PET 注射后候	¹⁸ F	1	10	1.67E+10	1.67E+03	1.67E+03	II

诊室							
SPECT 注射后 候诊室	^{99m}Tc	1	10	3.26E+10	3.26E+03	3.26E+03	II
PET 留观室	^{18}F	1	10	1.67E+10	1.67E+03	1.67E+03	II
SPECT 留观室	^{99m}Tc	1	10	3.26E+10	3.26E+03	3.26E+03	II
运动室兼抢救 室	^{99m}Tc	1	10	3.26E+10	3.26E+03	3.26E+03	II

表 10-7 核医学科工作场所的室内表面及装备结构要求

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

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

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）具体要求如下：

①核医学工作场所的通风按表 10-7 要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

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

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

④在放射性核素的操作区域（分装标记室和注射室）地面和墙体表面应使用光滑、耐腐蚀及易去污的材料，地板与墙壁接缝无缝隙，并在工作场所内设置通风实施，保证工作场所的通风良好。

2、核医学科工作场所辐射防护设计情况

根据建设单位提供设计图，本项目核医学科辐射工作场所设计见下表：

表 10-8 核医学科场所屏蔽防护设计

场所名称	主要屏蔽材料及厚度	面积
储源室	四周墙体采用 240mm 实心砖墙，屋顶为 180mm 混凝土；地面为 180mm 混凝土，防护门为 6mm 铅当量	约 4.8m ²
分装标记室	西南侧、东北侧墙体采用 370mm 实心砖墙；西北侧墙体采用 240mm 实心砖墙；东南侧防护门为 3mm 铅当量；东北侧两扇防护窗分别为 6mmPb、3mmPb；屋顶为 180mm 混凝土；地面为 180mm 混凝土	约 20.7m ²
SPECT 注射室	西南侧、东北侧墙体为 370mm 厚实心砖墙，东南侧、西北侧墙体均为 240mm 实心砖墙；防护门为 6mmPb；西南侧防护窗为 3mm 铅当量；东北侧防护窗为 2mm 铅当量；屋顶为 180mm 混凝土；地面为 180mm 混凝土	约 9.5m ²
PET 注射室	西南侧、东北侧墙体为 370mm 厚实心砖墙，东南侧墙体为 240mm 实心砖墙，西北侧墙体为 240mm 实心砖墙或 600mm 厚混凝土；西南侧、东北侧防护窗均为 6mm 铅当量；屋顶为 180mm 混凝土；地面为 180mm 混凝土	约 9m ²
SPECT 注射后等候室	西南侧墙体均为 370mm 厚实心砖墙，其他三侧墙体均为 240mm 厚实心砖墙，东北侧防护门为 2mm 铅当量；屋顶为 180mm 混凝土；地面为 180mm 混凝土	约 31m ²
PET 注射后等候室	西南侧、东北侧墙体均为 370mm 厚实心砖墙；东南侧、西北侧均为 240mm 厚实心砖墙；东北侧防护门为 6mm 铅当量；屋顶为 180mm 混凝土；地面为 180mm 混凝土	约 28.3m ²
SPECT 机房	机房四周墙体均为 370mm 厚实心砖墙；西南侧、东北侧防护门，防护窗均为 3mm 铅当量；屋顶和地面均为 260mm 厚钢筋混凝土	约 46.9m ²
PET/CT 机房	机房四周墙体均为 370mm 厚实心砖墙；西南侧、东北侧防护门，防护窗均为 6mm 铅当量；屋顶和地面均为 260mm 厚钢筋混凝土	约 47.6m ²
PET 留观室	西南侧、西北侧墙体均为 370mm 厚实心砖墙，东北侧、东南侧墙体均为 240mm 实心砖墙；东北侧防护门为 6mm 铅当量；屋顶为 180mm 混凝土；地面为 180mm 混凝土	约 33.7m ²
SPECT 留观室	西南侧墙体为 370mm 厚实心砖墙，其余三侧墙体均为 240mm 实心砖墙；东北侧防护门为 2mm 铅当量；屋顶为 180mm 混凝土；地面为 180mm 混凝土	约 27.5m ²
抢救室	西南侧墙体为 370mm 厚实心砖墙，其余三侧墙体均为 240mm 实心砖墙；东北侧防护门为 6mm 铅当量；屋顶为 180mm 混凝土；地面为 180mm 混凝土	约 28.8m ²
放射性废物暂存间	四周墙体均为 240mm 厚实心砖墙；西北侧、东北侧均为普通防盗门；屋顶为 180mm 混凝土；地面为 180mm 混凝土	约 9.5m ²

3、Ⅲ类医用射线装置机房设计与标准的符合性

表 10-9 Ⅲ类医用射线装置机房屏蔽防护设计

机房	面积（m ² ）	四周墙体	屏蔽门	观察窗	楼顶	地面
		结构及厚度			结构及厚度	

SPECT 机房	46.9	240mm 厚实 心砖墙	3mm 铅 当量	3mm 铅 当量	260mm 厚钢 筋混凝土	260mm 厚钢 筋混凝土
PET/CT 机房	47.6	370mm 厚实 心砖墙	6mm 铅 当量	6mm 铅 当量	260mm 厚钢 筋混凝土	260mm 厚钢 筋混凝土
放射诊断 放射防护 要求	最小有效使用 面积30m ² , 最小 单边长度4.5m	较大工作量2.5mm铅当量, 一般工作量2mm铅当量				
是否满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

四、辐射防护措施

(一) 放疗科

1、直线加速器

1) 设备固有安全性

①加速器只有在通电开机时才有 X 射线、电子线产生，断电停机即停止出束；通过多叶准直器定向出束，其他方向的射线被自带屏蔽材料所屏蔽。

②条件显示连锁：当射线能量、吸收剂量选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当机房与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行。

③控制台上蜂鸣器，在加速器工作时发出声音以警示人员防止误入。

④治疗床旁、加速器主机和控制台上安装紧急制动按钮。

⑤有控制超剂量连锁装置：当剂量超过预选值时，可自动终止照射。有剂量分布监测装置与辐照终止系统连锁，当剂量分布偏差超过预选值时，可自动终止照射。

⑥有时间控制连锁，当预选照射时间定时，定时器能独立地使照射停止。

⑦有防止非工作人员操作的锁定开关。

从加速器固有安全性能可以看出，加速器在防止事故发生方面，设有相应措施。只要操作人员按照加速器说明书要求严格执行，就能够减少 X 射线、电子线对人员的辐射危害和降低辐射事故的发生率。

2) 辐射防护措施

①操作人员隔室操作：本项目直线加速器控制室与机房之间以墙体和过道隔开，机房内拟安装电视监控、对讲装置，控制室能通过电视监控观察机房内患者治疗的情况，并通过对讲机与机房内患者沟通。机房内墙体交叉口、迷道口处安装有监控装置，确保机房内监控全覆盖。

②门机连锁装置：加速器与屏蔽门之间拟设连锁装置。屏蔽门未关好，加速器不

能出束；加速器工作期间屏蔽门不能打开。

③紧急停机装置和紧急开门按钮：除了加速器治疗床、加速器主机上以及控制台上自带的紧急停机按钮外，机房内墙非主射线位置上设置有紧急停机按钮，以使误入人员按动紧急停机按钮就能使加速器停机；迷道出口处设置了紧急开门按钮。

④工作状态显示及警示标识：加速器机房防护门外顶部拟设置工作状态指示灯。加速器处于出束状态时，指示灯为红色，以警示人员注意安全；当加速器处于非出束状态，指示灯为绿色。加速器机房屏蔽门上设置明显的电离辐射警告标志。

⑤固定式剂量报警仪（带剂量显示功能）：探头安装在机房迷道内墙上（靠近防护门），只要迷道内的剂量超过预设的剂量阈值，就会报警提示人员不能进入机房，以防人员误入。

⑥视频监视系统、对讲系统：直线加速器机房配备有电视监控、对讲装置。

⑦个人防护：加速器机房的辐射工作人员每人佩戴个人剂量计和预定剂量率阈值自动报警仪。

⑧加速器将由生产厂家进行质保维修，医院设备维护人员仅对加速器进行日常维护（如电路、开关、机电等维护）。

本项目直线加速器具有安全联锁逻辑如下图所示：

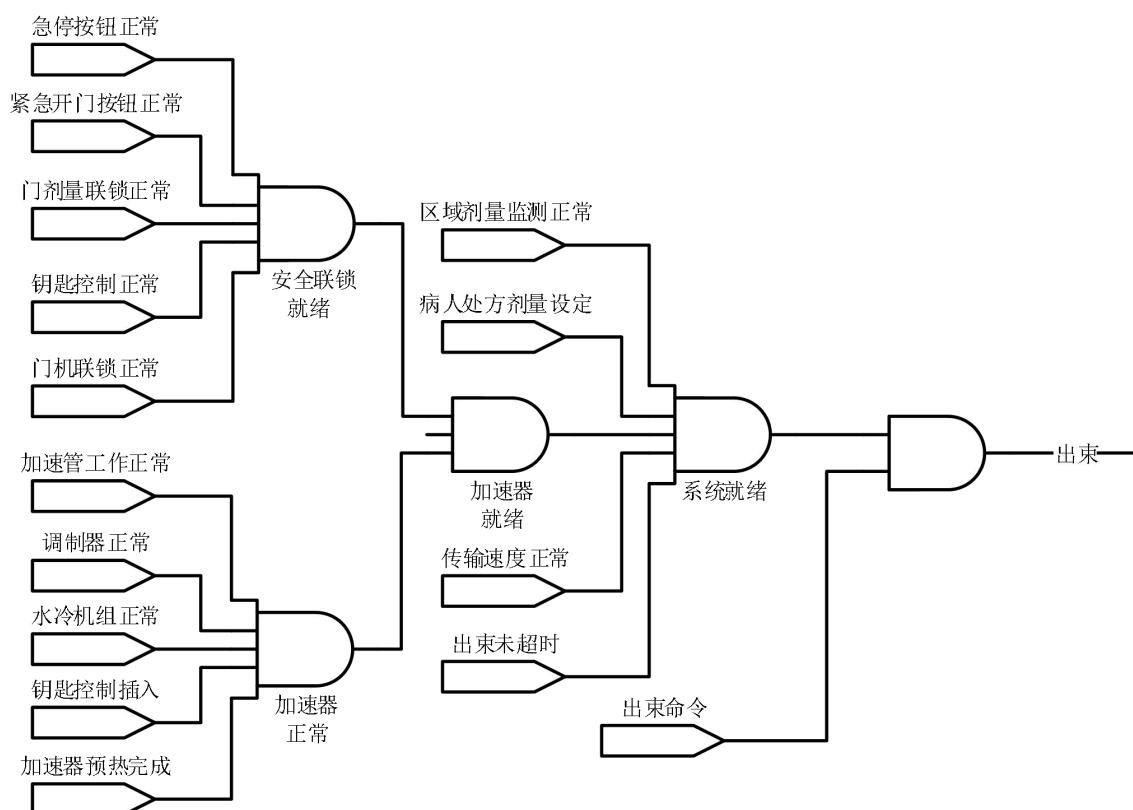


图 10-3 直线加速器工作场所安全联锁系统逻辑示意图

3) 其他防护措施

①直线加速器机房需配备个人剂量报警仪 1 支，每名辐射工作人员均应配备个人剂量计；

②控制室上张贴相应的放射工作制度、操作规程、岗位职责等；

③机房受检者出入口门外 1m 处应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近；

④直线加速器机房安装了通排风系统，产生废气通过专用排风管道引出后至第三住院大楼裙楼 5 层楼顶排放。

综上所述，本项目直线加速器机房辐射防护措施合理可行，能够有效防止本项目对外环境的影响，本项目直线加速器的防护措施、设备的配备符合《环保部辐射安全与防护监督检查技术程序》的相关要求和国家其他相关标准的要求。

2、后装机

(1) 项目辐射安全措施

①隔室操作：本项目后装机控制室与机房之间以墙体和过道隔开，机房内拟安装电视监控、对讲装置，控制室能通过电视监控观察机房内患者治疗的情况，并通过对讲机与机房内患者沟通。机房内墙体交叉口、迷道口处拟安装监控装置，确保机房内监控全覆盖。

②后装治疗室门上拟设工作状态显示的指示灯，辐射工作场所有电离辐射警示标志；拟在机房门上张贴电离辐射警示标志；配备停电或意外中断照射时声光报警。

③施源器与放射源联锁：施源器连接好后，才能出源治疗。

④拟设门源连锁，出源时后装治疗室门关闭，源回到贮存位后才能开启，但可从后装治疗室内开启；实行双人双锁，配备防盗门窗。

⑤控制台上拟设放射源位置显示装置，并与治疗机上显示同步；控制台设紧急停止照射按钮；控制台上设防止工作人员操作的锁定开关；设置仿真源模拟运行系统。

⑥后装治疗室拟配备电视监控、对讲装置，后装治疗室拟设置固定式剂量监测仪。

⑦后装治疗室内拟设置紧急回源开关、放射源返回储源器的应急开关、管道遇堵自动回源装置、手动回源装置、停电或意外中断照射时自动回源装置等。

⑧个人防护：辐射工作人员每人佩戴个人剂量计和预定剂量率阈值自动报警仪。

⑨后装机由生产厂家进行质保维修，医院设备科人员仅对后装机进行日常维护。

⑩在负二层后装治疗室内拟安装放射源在线监控系统，该监控系统具备定位功能，与生态环境主管部门联网，确保放射源的安全；

⑪紧急开门按钮：建设单位拟在后装治疗室内安装紧急开门按钮，人员在机房内可以通过按动紧急开门按钮打开后装治疗室防护门。

以上辐射防护措施合理可行，能够有效防止本项目对外环境的影响，直线加速器安全联锁逻辑示意图如下所示：

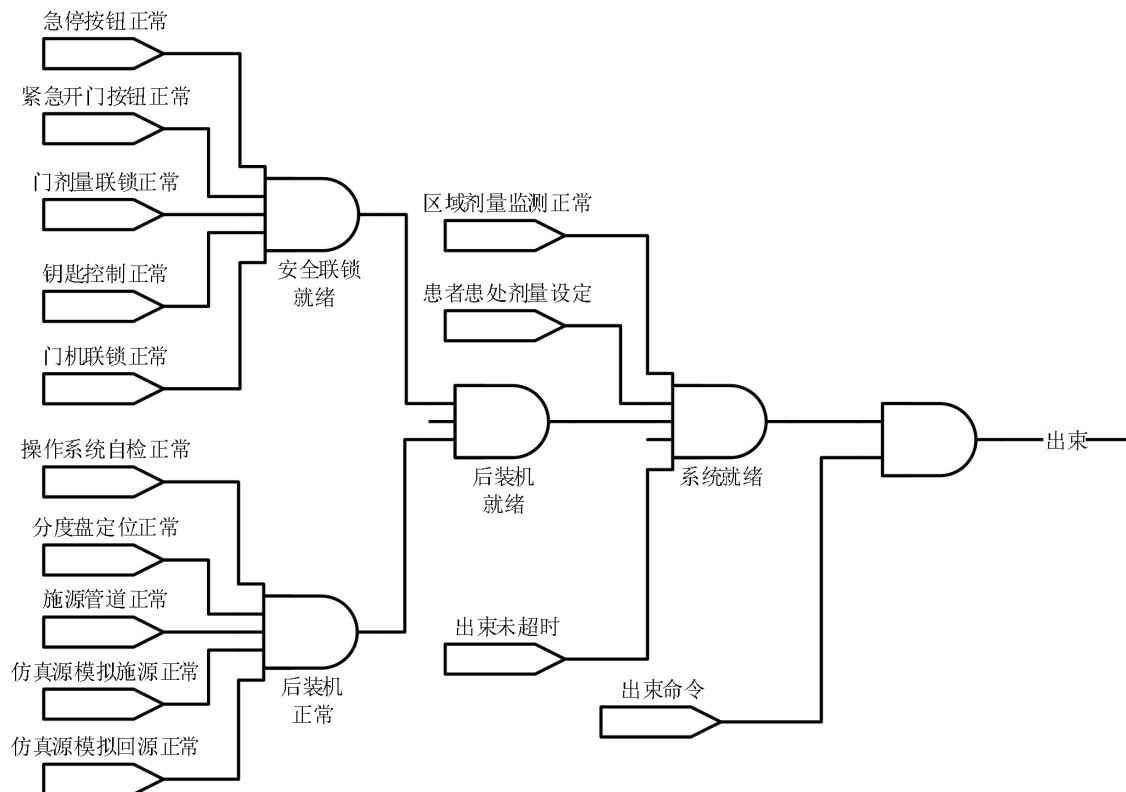


图 10-4 后装机安全联锁系统逻辑示意图

（2）后装机固有安全措施

本项目钴-60 后装机贮源装置拟设置铅屏蔽体，铅屏蔽体外为特制的防护钢壳，不易损坏。机器本身设有如下安全保护措施：

①内置检测器验证源每次进出的完整性：采用固定治疗方式驱动装置、步进治疗方式驱动装置，在控制源辫的运动中，同时备有闭环检测的轴编码器监控工作电机的运动状态，另设置通道检测光电编码器、出源检测光电开关、源辫到位碰撞开关，通过后装治疗控制程序的控制，保证源每次进出的完整性。

②导管未被正确连接时，放射源不能送出：在正式治疗前，系统通过通道检测光电编码器、施源器导管接头检测光电开关，检查各放射源导管的连接情况，未按治疗

参数文件要求连接施源器导管时，放射源不能送出。

(3) 放射源的贮存及处理措施

放射源的贮存：放射源在非使用期间贮存在后装治疗机储源容器内，储源器位于后装治疗机房内。同时在后装治疗机房内配置 1 个备用应急贮源罐，用于非正常状况下放射源的贮存。

后装治疗室不得存放易燃、易爆物品，配备专门的灭火器材，并配备火灾报警仪。一旦发生火灾，应优先对放射源进行灭火并抢离火灾现场，防止放射源屏蔽体破坏，防止放射源失控。

放射源的实体保卫：后装治疗机房的防护门应具有防盗功能，并实施“双人双锁”管理。在后装治疗机房的防护门外的适当位置安装实时摄像装置，由医院保安人员 24h 视频监控以防放射源被盗。

换源、倒源：由放射源生产厂家或有相应辐射安全资质单位负责。放射源生产厂家派专车、专业技术员将新的放射源运到现场。在后装治疗机房内将储源器内的废旧放射源倒出并装入新的放射源。换源应通过专用换源导管，以免误操作造成卡源。换源、倒源过程中应加强放射源的安全保卫工作。

废旧放射源处理：由放射源生产厂家负责。放射源生产厂家的专业技术员在后装治疗机房内将储源器内的废旧放射源倒出之后，装入铅罐并运回，按废旧源处理规定进行相应处理；若放射源生产厂家无法回收废源，则应联系有收贮废旧放射源辐射安全许可证的单位现场收贮。

(二) 介入中心、内镜中心及中心手术室

四川省第一中医医院拟在介入中心、内镜中心及中心手术室使用 DSA、ERCP，拟采取以下辐射安全防护措施：

1、安全防护措施

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或铜过滤板，以多消除软 X 射线以及减少二次散射，优化有用 X 射线谱。设备提供适应不同应用时所选用的各种形状与规格的准直器隔板和过滤板。

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，即称之为图像冻结。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配备相应的表征剂量的指示装置：配备能在线监测表征输出剂量的指示装置，例如剂量面积乘积（DAP）仪等。

⑥配备辅助防护设施：本项目 DSA、ERCP 厂家拟配备屏蔽挂帘和移动式防护帘（防护厚度均为 0.5mm 铅当量）等辅助防护用品与设施，则在设备运行中可用于加强对有关人员采取辐射防护与安全措施。

⑦门灯连锁：DSA、ERCP 机房防护门外顶部设置工作状态指示灯。防护灯为红色，以警示人员注意安全；当防护门打开时，指示灯灭。

⑧紧急止动装置：控制台上、介入手术床旁设置紧急止动按钮（各按钮分别与 X 射线系统连接）。DSA、ERCP 系统的 X 射线系统出束过程中，一旦出现异常，按动任何一个紧急止动按钮，均可停止 X 射线系统出束，并在紧急止动装置旁设置醒目的中文提示。

⑨操作警示装置：DSA、ERCP 系统的 X 射线系统出束时，控制台上的指示鸣器发出声音。

⑩对讲装置：在 DSA、ERCP 机房与操作室之间拟安装对讲装置，操作室的工作人员通过对讲机与 DSA 机房内的手术人员联系。

2、其他防护措施

①机房操作室上张贴相应的岗位规章制度、操作规程。

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

③本项目 DSA、ERCP 机房内应配置 0.5mm 厚的铅当量的铅衣、铅围脖、铅眼镜等防护用品，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。

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

⑤辐射工作人员必须配备个人剂量计。

⑥本项目 DSA、ERCP 机房安装了通排风系统。

（三）核医学科

1、安全防护措施

（1）警示标识

本项目拟在核医学科控制区各房间防护门外设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。在 PET/CT 扫描间防护门上方设置工作状态指示灯，并与防护门联锁，防护门关闭时指示灯为红色，防护门打开时，指示灯灭。拟在核医学科分装标记室、注射室、留观室、放射性废物暂存间内设置放射性废物暂存铅桶，在铅桶表面张贴电离辐射警示标识。

（2）紧急制动装置

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

（3）操作警示装置

PET/CT 扫描时，控制台上的指示灯变亮，警示装置发出警示声音。

（4）视频监控和对讲装置

在工作场所范围内设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、核医学科工作场所进出/口情况；PET/CT 扫描间和控制室之间拟安装对讲装置，便于工作人员通过对讲装置与扫描间内受检者联系。

（5）门禁系统

在核医学科入口处设置专用门禁系统，对受检者的出入进行控制。

2、放射性药物的存放

本项目核医学科使用的放射性药物由供货单位直接派专人直接送至储源室，并置于通风厨铅罐内。校准源放置在储源室的保险柜内。注射操作室、储源室防护门为铅防护门，采用双人双锁管理模式，并拟安装红外报警装置。日常期间由值班人员巡视检查，出入口安装摄像头，并入医院监控系统。

3、表面污染控制措施

为保证非密封放射性物质工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护源安全基

本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，环评提出以下管理措施和要求：

- （1）放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏；
- （2）操作放射性药物时，须在有负压的通风橱内进行，防止放射性物质飞散；
- （3）放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品。

（4）操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

4、人员防护措施

人员主要指本项目辐射工作人员、受检者及本次评价范围内其他人员。

（1）辐射工作人员的防护

在实际工作中，为了减少辐射工作人员所受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护、时间防护和距离防护。

①屏蔽防护：将辐射源安置在专用、固定的工作场所内，通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的有害辐射；为核素操作人员配备铅防护手套、铅橡胶围裙等个人防护用品，注射器配备注射防护套。

②时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

③距离防护：在不影响工作质量的前提下，保持与辐射源尽可能大的距离，使距离最大化。

（2）受检者的防护

为减少受检者的照射剂量，主要采取屏蔽防护、时间防护和距离防护措施。

①屏蔽防护：PET/CT 扫描间内拟为受检者配备个人防护用品，如铅防护围裙等。

②时间防护：在满足检查要求的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

③距离防护：尽可能增加受检者与射线源的距离，减少受检者的受照剂量。

（3）其他人员防护

①屏蔽防护：辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚、门、窗等实体进行屏蔽防护。

②时间防护：设置明显的警示措施，提示其他人员尽可能减少在辐射工作场所周

围的停留时间。

③距离防护：设置必要的防护、隔离、警示措施，尽可能增大人员与辐射场所之间的防护距离。

5、其它防护措施

①设置淋浴卫生通过间，辐射工作人员操作后离开辐射工作场所前洗手和进行表面污染监测，如污染水平超过规定值要求，采取相应的去污措施；

②注射窗口的药品操作台上及托盘内，在操作过程中垫上一次性、容易吸附溅洒液体的厚纸，每次完成注射工作后，将其放入放射性废物桶内，这样便于保持操作台免受放射性沾污；

③核医学科工作场所产生的含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 废水均排入废水衰变池内，注射后等待室及留观室均设有专用卫生间，专用卫生间下水道通往废水衰变池，所有卫生间均采用易于去污材料，避免污染源扩散和滞留；

④核医学科工作人员及时检查通风橱的通风效果，定期检查通风设施工作的有效性和稳定性。定期更换活性炭，不随意丢弃，更换后活性炭作为放射性废物暂存在放射性废物暂存间内衰变三十天后再作为医疗废物进行处置；

⑤放射性废物经过分类收集打包后，立即按照医院放射性废物转运路径转运至放射性废物暂存间内暂存，放射性废物暂存桶表面应张贴电离辐射警示标识、种类和放射性废物存入时间，待衰变超过三十天后，作为普通医疗废物从放射性废物暂存间内运出；

⑥核医学科工作场所设置电离辐射警告标志，核医学科工作场所划分控制区和监督区，同时在地面设置行走箭头标识，严格规定各类人员的活动路径；

⑦核医学科控制区受检者活动场所设置监控装置和对讲装置，便于指导受检者就诊；

⑧注射放射性药物的受检者分别在 PET/CT 和 SPECT 等候室内等待扫描，期间不随意“串门”；

⑨衰变池周围设置隔离，并设置电离辐射警示标志及中文说明，以提醒无关人员不要靠近和停留；

⑩PET/CT 和 SPECT 扫描间的电缆穿墙后，拟采用软铅皮进行辐射防护，防止射线泄露。

6、核医学科拟配防护用品

表 10-10 核医学科诊断区内拟配防护用品一览表

序号	防护用品名称	配置场所		数量	铅当量
1	储源铅罐	储源室		1 个	4mmPb
				1 个	50mmPb
2	通风橱/手套箱	分装标记室	SPECT 分装	1 个	4mmPb
			PET 分装	1 个	50mmPb
3	注射铅窗	SPECT 注射室		1 个	2mmPb
		PET 注射室		1 个	6mmPb
4	注射器防护套	SPECT 注射室		若干	2mmPb
		PET 注射室		若干	6mmPb
5	放射性废物暂存桶	分装标记室		2 个	6mmPb
		SPECT 注射室		1 个	5mmPb
		PET 注射室		1 个	10mmPb
		PET 留观室、SPECT 留观室		2 个	2mmPb
6	放射性废物衰变桶	放射性废物暂存间		3 个	10mmPb
7	铅防护屏风	SPECT 注射后等待室、SPECT 留观室、SPECT 机房		各 1 扇	2mmPb
		PET 注射后等待室、PET 留观室、PET/CT 机房		各 1 扇	6mmPb
9	去污工具组	清洁间		2 套	/
8	一次性工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	更衣室		若干	/
9	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	更衣室		10 套	0.5mmPb
10	表面污染监测仪	缓冲间		1 台	/
11	便携式 X-γ 辐射监测仪	/		1 台	/
12	固定式辐射剂量率仪	患者离开核医学科通道		1 台	
13	个人剂量报警仪	SPECT 和 PET 的分装、注射、摆位工作人员随身佩戴		8 台	/
14	个人剂量计	辐射工作人员随身佩戴		1 套/人	/

综上所述，本项目核医学科按照上述辐射安全与防护措施落实后，能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求。放射性废水能够得到及时

有效的处理，放射性固体废物能够实现规范的管理，放射性废气能够得到有效的治理，放射性物质的安全能够得到一定的保障。

7、其他Ⅲ类射线装置

(1) 安全防护措施

①具有安全设备，当设备出现错误或故障时，能中断照射，并有相应故障显示。

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

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

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

⑤警告标志：机房的防护门外的醒目位置，设置明显的电离辐射警告标志。

(2) 其他防护措施

①机房操作室上张贴相应的岗位规章制度、操作规程。

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

③机房受检者出入口门外应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

④辐射工作人员必须配备个人剂量计。

五、辐射安全防护设施对照分析

综上所述，辐射安全防护分析及措施，医院需对下表所列设施进行配置：

表 10-11 本项目辐射安全防护设施对照分析表

项目	应具备的条件	落实情况	备注
10MV 医用直线加速器			
实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	已设计	/
	铅防护门	已设计	/
控制台及安全连锁	防止非工作人员操作的锁定开关	仪器自带	/
	加速器治疗床、加速器主机上以及控制台上应具备紧急停机按钮	仪器自带	/
	条件显示连锁、控制超剂量的连锁装置、时间控制连锁	仪器自带	/
	门机、门灯连锁	已设计	/

警示装置	入口电离辐射警示标志	已设计	/
	入口加速器工作状态显示	已设计	/
	机房内准备出束音响提示	仪器自带	/
	控制台上蜂鸣器	仪器自带	/
紧急设施	紧急开门按钮	拟设计	迷道出口处的铅门内侧墙上，按钮高 1.2~1.5m
	监控、对讲装置	拟设计	保证机房全覆盖
	紧急停机按钮	拟设计	机房内非主射面墙上、迷道口有按钮，高 1.2~1.5m
监测设备	机房内固定式剂量报警仪	计划配备	探头朝向迷道内
	便携式辐射监测仪器仪表	计划配备	/
	个人剂量报警仪	计划配备	/
	个人剂量计	计划配备	/
防护器材	灭火器材	计划配备	/
	火灾报警仪	计划配备	/
其他	通风系统	已设计	
后装机			
实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	已设计	/
	铅防护门	已设计	/
装置安全设施	防止非工作人员操作的锁定开关	设备自带	/
	施源器与源联锁	设备自带	/
	管道遇堵自动回源	设备自带	/
	仿真源模拟运行系统	设备自带	/
	主机外表电离辐射警示标志	设备自带	/
	控制台显示放射源位置	设备自带	/
	控制台紧急停止照射按钮	设备自带	/
	停电或意外中断照射时自动回源装置	设备自带	/
	手动回源装置	设备自带	/
	铅防护门、防盗门	已设计	/
	通风系统	已设计	/
应急、连锁	放射源返回储源器的应急开关	已设计	机房内拟设应急按钮，高度 1.2m
	机房门与源联锁	已设计	/
	紧急开门按钮	已设计	迷道出口处的铅门内侧墙上，按钮高度 1.2m
	备用应急贮源罐	已设计	/
警示装置	停电或意外中断照射时声光报警	已设计	/
	机房电视监控、对讲装置	已设计	保证机房全覆盖
	电离辐射警示标志和工作状态指示灯	已设计	/
	火灾报警仪	已设计	/
监测设备	便携式X-γ辐射监测仪	计划配备	/
	后装机机房内固定式剂量监测仪	计划配备	监测探头位于迷道内，

			剂量显示器位于后装机控制室内
	个人剂量报警仪	计划配备	/
	个人剂量计	计划配备	/
DSA			
场所设施	墙体、机房防护门	已设计	/
	操作位局部屏蔽防护设施	已设计	/
	观察窗屏蔽	已设计	/
	通风设施	已设计	/
	紧急停机按钮	已设计	/
	门灯联锁装置	已设计	/
	对讲装置	已设计	/
警示装置	入口处电离辐射警告标志	已设计	/
	入口处机器工作状态显示	已设计	/
	操作警示装置	已设计	/
监测设备	便携式辐射监测仪	计划配备	与放疗科共用
	个人剂量计	计划配备	/
	个人剂量报警仪	计划配备	/
防护设施	医护人员个人防护	计划配备	/
	患者防护	计划配备	/
防护器材	灭火器材	计划配备	/
	火灾报警仪	计划配备	/
其他	通风系统	计划配备	/
ERCP			
场所设施	墙体、机房防护门	已设计	/
	操作位局部屏蔽防护设施	已设计	/
	观察窗屏蔽	已设计	/
	通风设施	已设计	/
	紧急停机按钮	计划配备	/
	门灯联锁装置	计划配备	/
	对讲装置	计划配备	/
警示装置	入口处电离辐射警告标志	计划配备	/
	入口处机器工作状态显示	已设计	/
	操作警示装置	已设计	/
监测设备	便携式辐射监测仪	计划配备	与放疗科共用
	个人剂量计	计划配备	/
	个人剂量报警仪	计划配备	/
防护设施	医护人员个人防护	计划配备	/
	患者防护	计划配备	/
防护器材	灭火器材	计划配备	/
	火灾报警仪	计划配备	/
其他	通风系统	已设计	/
Ⅲ类医用射线装置			

实体防护	墙体、铅防护门、观察窗	已设计	/
警示装置	工作状态指示灯	已设计	/
	电离辐射警告标志	已设计	/
紧急设施	门灯联锁装置	已设计	
	室内安装紧急止动装置	已设计	/
	对讲装置	已设计	/
防护设施	病人、陪护人员防护	计划配备	/
防护器材	火灾报警仪	计划配备	/
	灭火器材	计划配备	/
其他	通风系统	已设计	/
核医学科			
场所设施	墙体、观察窗、机房防护门	已设计	
	场所门外电离辐射警示标志、通道标志	已设计	/
	独立的通风设施（流向）	已设计	/
	有负压和过滤的工作箱/通风柜（乙级以上场所）	已设计	/
	注射用屏蔽设施	已设计	/
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料	已设计	/
	移动放射性液体时容器不易破裂或有不易破裂套	已设计	/
	病人专用卫生间	已设计	/
	放射性同位素暂存库或设施	已设计	/
	放射性固体废物收集容器和放射性标识	已设计	/
	安全保卫设施（贮存场所必须）	已设计	/
	人员出口配备污染监测仪	计划配备	/
	发生器辐射屏蔽	已设计	/
	操作位屏蔽防护措施	已设计	/
	放射性废液暂存设施	已设计	/
监测设备	储源室安装固定式剂量报警仪	计划配备	/
	便携式辐射监测仪（污染、辐射水平等）	计划配备	/
	个人剂量计	计划配备	/
	个人剂量报警仪	计划配备	/
	放射性活度计	计划配备	/
放射性废物和废液	放射性下水系统（衰变池）及标识	已设计	/
	放射性固体废物暂存间（设施）	已设计	/
	废物暂存间屏蔽措施	已设计	/
	废物暂存间通风系统	已设计	/
防护器材	通道铅隔板、门禁、监控装置	计划配备	/
	场所门外电离辐射警示及禁止串门的标志	计划配备	/
	个人防护用品	计划配备	/
	放射性表面去污用品和试剂	计划配备	/
	火灾报警仪	计划配备	/
	灭火器材	计划配备	/

五、环保投资

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

表 10-12 环保设施及投资估算一览表

辐射安全防护设施		数量（套/个）	投资金额（万元）
10MV 直线加速器			
实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	2 套	**
	铅防护门	2 扇	**
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	**
	加速器治疗床、加速器主机上以及控制台上应具备紧急停机按钮	设备自带	**
	条件显示连锁、控制超剂量的联锁装置、时间控制连锁	设备自带	**
	门机连锁、门灯连锁	各 1 套	**
警示装置	入口电离辐射警示标志	各 1 个	**
	入口加速器工作状态显示	各 1 个	**
	机房内准备出束音响提示	设备自带	**
	控制台上蜂鸣器	设备自带	**
紧急设施	含中文标识紧急开门按钮	各 1 个	**
	监控、对讲装置	各 1 套	**
	含中文标识紧急停机按钮	各 3 个	**
监测设备	机房内固定式剂量报警仪	各 1 台	**
	便携式辐射监测仪	1 台	**
	个人剂量计	11 套	**
其他	通风系统	1 套	**
	灭火器材	各 1 套	**

	火灾报警仪	各 1 套	**
后装机			
实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	1 套	**
	铅防护门	1 扇	**
安全设施	防止非工作人员操作的锁定开关	设备自带	**
	施源器与源联锁	设备自带	**
	管道遇堵自动回源	设备自带	**
	仿真源模拟运行系统	设备自带	**
	主机外表电离辐射警示标志	设备自带	**
	控制台显示放射源位置	设备自带	**
	控制台紧急停止照射按钮	设备自带	**
	停电或意外中断照射时自动回源装置	设备自带	**
	手动回源装置	设备自带	**
	门与源联锁	1 套	**
	门灯联锁	1 套	**
紧急设施	放射源返回储源器的应急开关	1 套	**
	含中文标识紧急开门按钮	1 套	**
	备用应急贮源罐	1 套	**
	长柄夹具	1 套	**
警示装置	停电或意外中断照射时声光报警	1 套	**
	视频监控对讲装置	1 套	**
	工作状态指示灯	1 套	**

	电离辐射警示标识	1 套	**
监测设备	便携式辐射监测仪	1 套	**
	固定式剂量监测仪	1 套	**
	放射源在线监控系统	1 套	**
防护用品	个人剂量报警仪	2 台	**
	个人剂量计	6 套	**
	铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾（0.5mm 铅当量）等	2 套	**
其他	通风系统	1 套	**
	灭火器材	1 套	**
	火灾报警仪	1 套	**
DSA			
场所设施	防护墙体	3 套	**
	机房防护门	9 扇	**
	操作位局部屏蔽防护设施	3 套	**
	观察窗	3 套	**
	含中文标识紧急停机按钮	3 套	**
	门灯联锁装置	3 套	**
	对讲装置	3 套	**
警示装置	入口处电离辐射警告标志	6 个	**
	入口处机器工作状态显示	3 套	**
	操作警示装置	3 套	**
监测设备	便携式辐射监测仪	1 个	**

	个人剂量计	1 套/人	**
	个人剂量报警仪	12 个	**
防护设施	医护人员个人防护	10 套	**
	患者防护	3 套	**
其他	通风系统	2 套	**
	灭火器材	3 套	**
	火灾报警仪	3 套	**
ERCp			
场所设施	防护墙体	1 套	**
	机房防护门	2 扇	**
	操作位局部屏蔽防护设施	1 套	**
	观察窗	1 个	**
	含中文标识紧急停机按钮	1 套	**
	门灯联锁装置	1 套	**
	对讲装置	1 套	**
警示装置	入口处电离辐射警告标志	2 个	**
	入口处机器工作状态显示	1 套	**
	操作警示装置	1 套	**
监测设备	便携式辐射监测仪	1 个	**
	个人剂量计	1 套/人	**
	个人剂量报警仪	6 个	**
防护设施	医护人员个人防护	5 套	**

	患者防护	2 套	**
其他	通风系统	1 套	**
	灭火器材	1 套	**
	火灾报警仪	1 套	**
Ⅲ类医用射线装置			
实体防护	墙体、铅防护门、观察窗	3 套	**
警示装置	工作状态指示灯	3 套	**
	电离辐射警告标志	3 套	**
紧急设施	门灯联锁装置	3 套	**
	对讲装置	3 套	**
监测设备	个人剂量计	1 套/人	**
防护设施	病人、陪护人员防护	3 套	**
其他	通风系统	3 套	**
	灭火器材	3 套	**
	火灾报警仪	3 套	**
核医学科			
工作场所	防护墙体	/	**
	铅防护门	/	**
	观察窗	6 扇	**
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料、 铅桶、废物桶	1 套	**
	活度计	1 套	**
	注射防护套	2 套	**

	给药窗口	2 套	**
	通风柜	2 套	**
	储源铅罐	2 套	**
	放射性废物暂存桶	6 个	**
	放射性废物衰变桶	3 个	**
	铅防护屏风	6 扇	**
	对讲和视频监控系统	1 套	**
	通道门禁	1 套	**
	场所门外电离辐射警示标志	6 个	**
监测设备	固定式剂量报警仪	2 台	**
	个人剂量计	14 套	**
	个人剂量报警仪	10 个	**
	便携式表面污染监测仪	1 套	**
	便携式X-γ辐射监测仪	1 套	**
放射性废物和废液	放射性废水衰变池	1 座	**
	放射性表面去污用品和试剂	若干	**
	防护手套、口罩等防护用品	若干	**
其他	独立通风系统	1 套	**
	高效排风过滤器+活性炭吸附装置	1 套	**
	灭火器材	1 套	**
	火灾报警仪	1 套	**
合计			455.6

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

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目辐射工作场所土建工程属于“省一中医医院建设工程项目”建设内容之一，其施工期环境影响包含在《成都锦城华创置业有限责任公司省一中医医院建设工程项目环境影响报告书》中。施工期主要防护措施有：

1、大气污染防治措施

施工单位应严格按照《中华人民共和国大气污染防治法》，《四川省〈中华人民共和国大气污染防治法〉实施办法》(2019 年 1 月 1 日起施行)，省政府办公厅《关于印发<四川省大气污染防治计划实施细则 2017 年度实施计划>的通知》（川办函[2017]102 号），《四川省人民政府办公厅关于加强灰霾污染防治的通知》（川办发[2013]32 号），《四川省灰霾污染防治实施方案》（川环发[2013]78 号）；《成都市 2021 年大气污染防治工作行动方案》；成都市人民政府《关于划定高排放非道路移动机械禁止使用区的通告》（2018 年 2 月 1 日起施行），成都市人民政府《成都市重污染天气应急预案（2020 修订）》，《成都市城市扬尘污染防治管理暂行规定》（成都市人民政府第 86 号令），四川省环境保护厅《关于加强雾霾天气期间环保工作的紧急通知》（川环函[2013]46 号）等相关要求，做到文明施工、清洁施工，做好扬尘防治工作：

（1）施工场地扬尘防治措施

- ①施工前须制定控制工地扬尘方案，施工期间接受城管部门的监督检查，采取有效防尘措施。
- ②风速四级以上易产生扬尘时，建议施工单位应暂停土方开挖，采取覆盖堆料、湿润等措施，有效减少扬尘污染。
- ③及时清运施工废弃物，同时应对裸露的场地和暂时不能清运废弃物采取密闭式防尘网等进行覆盖。工程完毕后及时清理施工场地。
- ④必须使用商品混凝土，不得进行现场搅拌加工混凝土，禁止使用袋装水泥。
- ⑤在施工现场出入口设置喷淋、冲洗等防尘降尘设施，施工单位已对施工现场出入口进行硬化。

⑥施工应做到‘六必须’（必须围挡作业、必须硬化道路、必须设置冲洗设备、必须及时洒水作业、必须落实保洁人员、必须定时清扫施工现场）、‘六不准’（不准车辆带泥出门、不准运渣车辆冒顶装载、不准高空抛洒建筑垃圾、不准现场搅拌混凝土、不准场地积水、不准现场焚烧废弃物）、建筑垃圾密闭运输”。

通过采取上述措施后，确保施工扬尘满足《四川省施工场地扬尘排放标准》（DB51/2682-2020）中“土方开挖/土方回填阶段 $\leq 600\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其他工程阶段 $\leq 250\mu\text{g}/\text{m}^3$ ”的要求，可以有效地控制施工期扬尘影响的范围及程度。

（2）运输扬尘防治措施

运输沙、石、水泥、土方、垃圾等易产生扬尘物质的车辆，必须封盖严密，采取密闭运输，严禁超速、超载，严禁撒漏；运输路线尽量避免穿越人口集中区、商业繁华区等敏感地段。

（3）燃油废气及沥青烟的消减与控制

施工期间，运输车辆大部分使用汽（柴）油作燃料，尾气产生量与污染物含量相对较高，为了减轻尾气对周围环境的影响，施工单位已采取如下措施进行尾气控制：

①购置车辆尽可能选用尾气排放达到国家规定的排放标准；

②运输线路尽量不穿越人群集中居住区。

③不在施工现场设置沥青搅拌站，沥青在专业搅拌站制成成品后，由专运输车运至现场，立即铺设。

本项目施工期采取以上环保措施后，可以有效地控制施工期扬尘影响的范围及程度。而且施工扬尘造成的污染是短期的、局部的，施工期结束后即消失，施工扬尘对周边环境影响较小。

2、噪声防治措施

本项目在施工过程中可采取以下措施防治噪声污染环境：

（1）根据《关于进一步加强全市房屋建筑和市政基础设施工程项目夜间施工噪声管理的通知》（成住建发[2020]118号），应做到以下几点：

①建设工程项目严禁在 22 时至次日 6 时进行产生环境噪声污染的施工作业，因工艺要求或者特殊需要确需进行夜间施工的，施工单位必须在施工作业前 3 个工作日，向区县建设行政主管部门提出书面申请，申请材料包括申请书、

项目开工手续、施工进度计划表、现场连续施工具体时间和工作量，噪声污染控制措施、商品混凝土供应商出具的商品混凝土供应量证明材料。

②经批准，应在批准的范围和时间内施工，并在施工现场进出口显著位置公示《夜间施工许可证》，明确施工现场噪声污染防治责任人，严禁采取捶打、敲击、金属切割、装卸钢管钢筋等易产生高噪声的作业方式。

③《夜间施工许可证》的有效期限不超过3天，确需连续施工超过3天的可续办一次。

④中、高考期间禁止夜间施工。

⑤施工单位要合理安排工期，缩短夜间施工时间，减少夜间施工噪声影响。

⑥施工单位要合理安排施工工序，确需进行夜间施工的，应尽可能安排在周末时段。

(2) 现场加工、绑扎钢筋，场内周转建筑材料，场内切割、加工建筑材料，安装、拆除脚手架、模板等工序应尽量安排在白天，并应采取降噪措施，以免对周围居民造成影响。

(3) 合理布局施工场地，变电站应当将易产生噪声的作业设备设置在场地北侧。

(4) 施工单位应加强现场管理，加强对设备的维护、养护，闲置设备应立即关闭；尽可能采用外加工材料，减少现场加工的工作量。

(5) 施工交通噪声防治措施

①在施工工作面铺设草袋等，以减少车辆与路面摩擦产生噪声；

②适当限制大型载重车的车速，尤其进入噪声敏感区时应限速；

③对运输车辆定期维修、养护；

④合理安排运输路线和时间，减少或杜绝鸣笛。

经采取以上噪声治理措施后，主变电所施工期场界噪声满足能满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）要求。

3、固废防治措施

①产生的装修垃圾、建筑垃圾运至政府指定的渣土堆放场，施工人员产生的生活垃圾市政环卫统一清运。

②在工程竣工以后，施工单位应同时拆除各种临时施工设施，做到“工完、

料尽、场地清”。建设单位应负责督促施工单位的固体废物处置清理工作。

4、水污染防治措施

施工期机械冲洗废水循环使用，不外排；施工人员生活污水产量较小，利用附近市政厕所收集，不外排。

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

运行阶段对环境的影响

医院拟在医疗综合楼负二层西北侧设放疗科，一层东北侧设介入中心、三层西北侧中部设内镜中心、四层西北侧中部设中心手术室，负一层西北侧设核医学科。

在放疗科内新建 2 个直线加速器治疗室、1 个后装治疗室和 1 个模拟定位机机房，分别在直线加速器治疗室内各使用 1 台 10MV 直线加速器；在后装治疗室内使用 1 台后装机，在后装机内使用 ^{60}Co 放射源 1 枚，装源活度不大于 $3.70 \times 10^{11}\text{Bq}$ （属 II 类放射源）；在模拟定位机房内使用 1 台模拟定位机。拟在介入中心 DSA1 机房 和 DSA2 机房、中心手术室内复合手术室内各使用 1 台 DSA 用于心脑血管造影检查。拟在内镜中心 ERCP 机房机房内使用 1 台 ERCP，用于肝胆造影检查。在核医学科内设内使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 两种核素，在 SPECT 房内使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，在 PET/CT 机机房内使用 ^{18}F ，均用于显像诊断。

项目在运行阶段，直线加速器主要对环境的影响为 X 射线、电子线、臭氧，后装机主要环境影响为 γ 射线、臭氧；DSA 和 ERCP 主要对环境的影响为 X 射线、臭氧；核医学科主要环境影响为 γ 射线、 β 表面污染、放射性固体废物、放射性废水、放射性废气。

一、放疗科环境影响分析

（一）直线加速器辐射环境影响分析

1、电子束环境影响分析

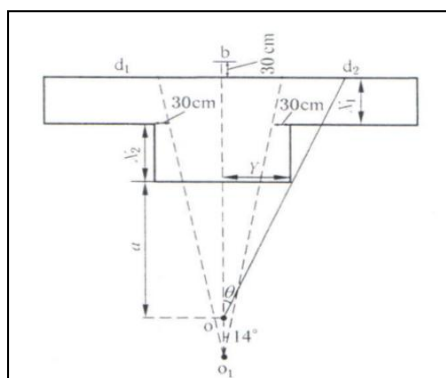
本项目 10MV 直线加速器在按电子束模式工作时，最大电子线能量为 18MeV，根据《辐射防护手册》第三分册 4.1.5 加速器的辐射源（P₉₅），能量

为 E (MeV) 的单能电子束, 在低 Z 物质中的射程 (单位为 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) 约为能量 (单位为 MeV) 的 0.6 倍。本项目 10MV 直线加速器以电子档工作时最大电子线能量为 18MeV, 射程为 $18\times 0.6=10.8\text{g}/\text{cm}^2$, 可以估算出 18MeV 的电子在密度为 $2.35\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 的混凝土中的深度约为 4.6cm, 而本项目屏蔽体厚度最小的为 150cm 混凝土, 对电子线能完全屏蔽, 可不再作特殊的防护要求, 可不再考虑对电子束模式对周围环境的影响。

2、直线加速器 X 射线环境影响分析

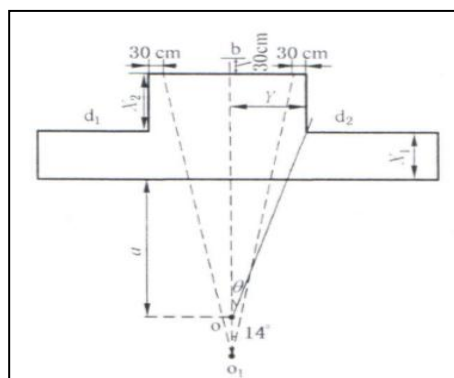
(1) 加速器机房主屏蔽区宽度校核

本项目拟新建 2 座镜像布置的 10MV 直线加速器治疗室, 因直线加速器治疗室 1 和直线加速器治疗室 2 尺寸和屏蔽层厚度相近, 在机房内使用的直线加速器也相同, 主射线的最大出束角度均为 28° , 因此本次预测仅需分析具有代表性的直线加速器治疗室 1 即可。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) 附录 D, 加速器主屏蔽区宽度计算分为以下两种情况, 对应的主屏蔽半宽度 Y 的计算公式如下:



主屏蔽区内凸

$$Y = (100 + a + X_2) \tan 14^\circ + 30$$



主屏蔽区外凸

$$Y = (100 + a + X_1 + X_2) \tan 14^\circ + 30$$

本项目直线加速器治疗室1设计中, 西北侧和顶部主屏蔽墙体为内凸, 采用内凸进行考虑, 东南侧内和外均有凸起, 本次保守按照外凸进行预测, 对应的主屏蔽区宽度校核见表11-1。10MV直线加速器主射线束主屏蔽区示意图见图11-1, 主屏蔽宽度校核结果见表11-1。

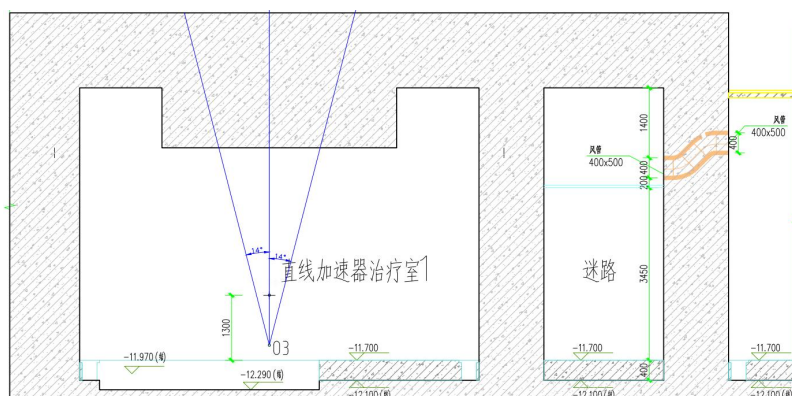
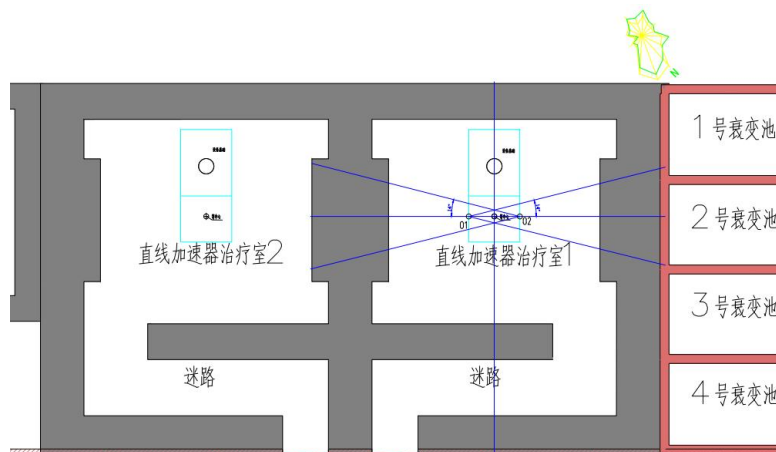


图 11-2 本项目加速器机房主射屏蔽范围计算示意图 (立面)

焦点距主屏蔽区距离(mm)	主屏蔽区宽度计算值(m)	主屏蔽区宽度设计值(m)	结论
西北侧主屏蔽墙体 5.14	$2 \times (7.70 \text{tg} 14^\circ + 0.3) = 4.44$	4.80	满足要求
东南侧主屏蔽墙体 5.14	$2 \times (8.10 \text{tg} 14^\circ + 0.3) = 4.64$	4.80	满足要求
距顶部主屏蔽墙体 3.95	$2 \times (6.60 \text{tg} 14^\circ + 0.3) = 3.89$	4.80	满足要求

根据表 11-1 可知，本项目加速器机房主屏蔽宽度均满足要求，设备厂家和建设单位在进行直线加速器安装时，必须严格按照既定的方案进行安装，杜绝安装后主射束超出主屏蔽范围的情况出现。

(2) 10MV 直线加速器治疗室关注点设立及剂量率参考水平

1) 加速器机房关注点设立

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),本项目加速器机房建在地下负二层,无地下负三层,故机房地下不作为关注点。

本项目加速器机房关注点设立及主要照射路径图见图 11-2、11-3。

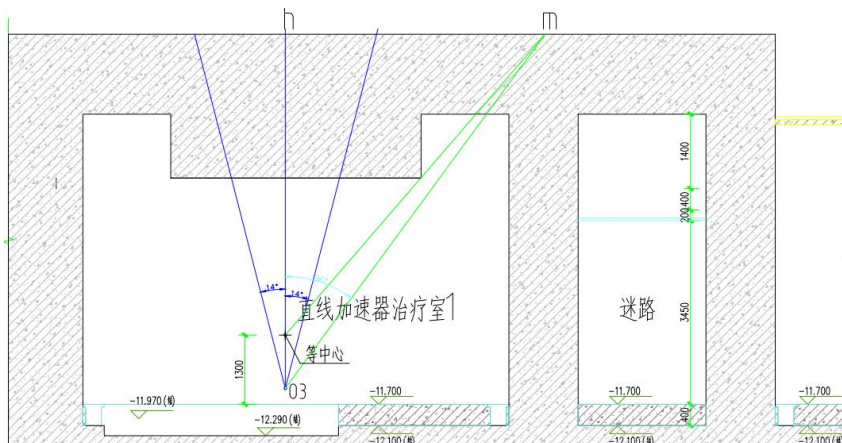


图 11-3 本项目加速器机房关注点及主要照射路径示意图（立面）

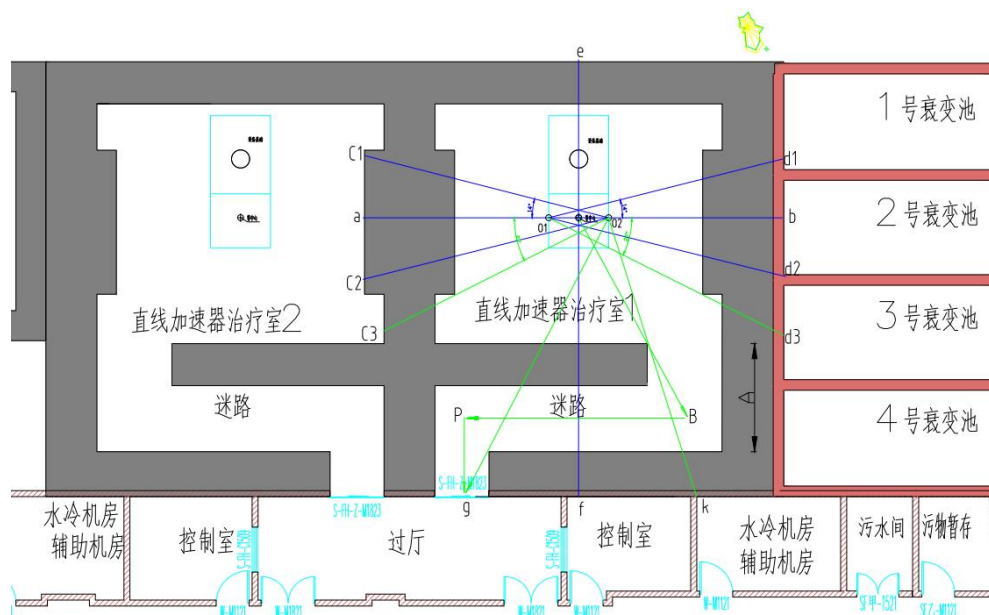


图 11-4 本项目关注点及主要照射路径示意图（平面）

2) 剂量率参考控制水平

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）6.1.4，机房外各关注点的剂量率参考控制水平 H_c 由以下方法确定：

①使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，可以依照附录 A，由式中周剂量参考水平 (H_c) 求得关注点的导出剂量率参考控制水平 ($H_{c,d}$)：

$$H_{c,d} = H_c / (t \bullet U \bullet T) \dots\dots\dots (式 11-1)$$

式中：

$H_{c,d}$ —导出剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_c —周剂量参考控制水平，放射治疗机房外控制区的工作人员： $H_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

放射治疗机房外非控制区的人员： $H_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

U —关注位置方向照射的使用因子，偏保守考虑，有用射线束方向均取 1，非有用射线束方向均取 5；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子；

t —周治疗照射时间，根据医院提供资料，直线加速器年最大出束治疗时间为 480h/台，年工作 50 周，则周治疗时间为 9.6h。

②按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$ ：

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

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

③取①、②中较小者作为关注的剂量率参考控制水平（ H_c ）。

对于直线加速器机房西南侧墙体外（e 点）人员不可到达、加速器机房顶部（h 点、m 点）高于负一层地面约 2m，偏保守考虑，均按照辐射剂量率 $10 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 进行控制；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》4.3.2.5.2c，迷道门外关注点（g 点）的最高剂量率应为参考控制水平的一个分数（应小于 1/4），因此取 $0.625 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。由此确定的各关注点的剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束见下表。

表 11-2 直线加速器机房外各关注点剂量率参考控制水平

关注点	受照类型	照射途径	周剂量率控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	使用因子	居留因子	$H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	关注点的最高剂量率参考控制水平($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	本项目剂量率参考控制水平($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
a	公众	有用线束	5	1	1/4	2.1	10	2.1
b	公众	有用线束	5	1	1/4	2.1	10	2.1
c	公众	泄漏辐射、散射辐射束	5	5	1/4	0.4	10	0.4
d	公众	泄漏辐射、散射辐射束	5	5	1/4	0.4	10	0.4
e	公众	泄漏辐射、散射辐射束	/	/	/	/	10	10
f	职业	泄漏辐射束、散射辐射束	100	5	1	2.1	2.5	2.1
g	公众	泄漏辐射、散射辐射束	/	/	/	/	0.625	0.625
h	公众	泄漏辐射、散射辐射束	/	/	/	/	10	10

m	公众	泄漏辐射、 散射辐射束	/	/	/	/	10	10
k	公众	泄漏辐射、 散射辐射束	5	5	1/8	0.8	10	0.8

(3) 10MV 直线加速器治疗室屏蔽体厚度校核

1) 主屏蔽区、迷道内墙和外墙厚度校核

由于本项目直线加速器机房建在负三层，无地下负四层，故加速器机房地面屏蔽厚度不进行校核。

本次评价利用 GBZ/201.2-2011 的相关公式对主屏蔽区、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。

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

$$X_e = TVL \times \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \dots\dots\dots (式 11-3)$$

$$X_1 = X_e \cos \theta \dots\dots\dots (式 11-4)$$

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 —直线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， $\mu\text{Sv.m}^2/\text{h}$ ；本项目为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv.m}^2/\text{h}$ （最高剂量率为 6Gy/min）；

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f—有用束为 1；泄漏辐射为主射射线比率（0.1%）

θ —斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角；

TVL1（cm）和 TVL（cm）—辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度；

X_e —墙体有效屏蔽厚度，cm；

X_1 —墙体屏蔽厚度，cm。

表 11-3 直线加速器机房主屏蔽区、迷道内墙和外墙厚度校核

2) 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 11-2、11-3、11-4 进行计算, 散射辐射的透射因子按式 11-3、11-4、11-5 进行计算 (TVL1 (cm) 和 TVL (cm) 为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)。

$$B_1 = \frac{H_e \times R^2}{H_0 \times \alpha_{ph} \times (F / 400)} \dots\dots\dots \text{式(11-5)}$$

式中:

α_{ph} —患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m (关注点方向) 处的剂量比例, 又称 400cm² 面积上的散射因子;

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm² 。

表 11-4 直线加速器机房与主屏蔽区相连的次屏蔽区辐射屏蔽厚度核算

3) 防护门厚度校核

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), 防护门铅厚度校核公式为:

$$X = TVL \times \log B^{-1} \dots\dots\dots \text{(式 11-6)}$$

$$B = \frac{\dot{H}_e - \dot{H}_{og}}{\dot{H}_g} \dots\dots\dots \text{(式 11-7)}$$

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \times (F/400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A}{R_2^2} \times \dot{H}_0 \dots\dots\dots (式 11-8)$$

式中：

X —防护门铅当量厚度，mm；

TVL —单位 mm，根据（GBZ/T201.2-2011）中 5.2.6.1c）可知，入口处散射辐射能量约为 0.2MeV，对应的铅 TVL 取值为 5mm；

B —辐射屏蔽透射因子；

$\dot{H}_e$ —剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_g$ —g 处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

$\dot{H}_{og}$ — O_2 位置穿过迷路内墙的泄露辐射在 g 处的剂量率，根据公式 11-9、公式 11-10 计算而得；

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上的散射因子，通常取 45° 散射角的值（本项目取 1.35×10^{-3} ）；

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，通常取 i 处的入射角为 45° ，散射角为 0° ，查得混凝土墙 45° 入射、 0° 散射、 1m^2 的散射因子 $\alpha_2 = 22.0 \times 10^{-3}$ （查附录 B 表 B.6）；

A —A 处的散射面积， m^2 ；经计算本项目约为 12.6m^2 ；

R_1 —“o—B”之间的距离； $R_1 = 7.5\text{m}$ ；

R_2 —“B—P—g”之间的距离； $R_2 = 10.1\text{m}$ ；

F —治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；本项目等中心处最大治疗野为 $40\text{cm} \times 40\text{cm} = 1600\text{cm}^2$ ；

经计算： $\dot{H}_{og} = 1.40 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ， $\dot{H}_g = 93.9 \mu\text{Sv/h}$ ， $B = 2.65 \times 10^{-2}$

最终得到防护门的铅当量厚度为： $X = TVL \cdot \log B^{-1} = 7.9\text{mm}$ 。

由理论计算可知，机房入口铅防护门屏蔽厚度为 7.9mm，实际设计为 11mmPb，可满足屏蔽要求。

小结：经过对直线加速器机房屏蔽厚度校核，直线加速器机房墙体厚度、

迷道厚度、顶部厚度和防护门厚度均满足要求。

(4) 电子直线加速器对关注点产生的剂量估算

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), 本项目医用直线加速器在运行过程中对关注点处人员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(式中各符号含义同前文):

$$H = \frac{H_0 \times f}{R^2} \times B \dots\dots\dots \text{(式 11-9)}$$

$$B = 10^{-\frac{(Xe+TVL_1-TV L)}{TVL}} \dots\dots\dots \text{(式 11-10)}$$

$$Xe = X / \cos \theta \dots\dots\dots \text{(式 11-11)}$$

患者一次散射辐射剂量估算:

$$H = \frac{H_0 \times \alpha_{ph} \times (F/400)}{R^2} \times B \dots\dots\dots \text{(式 11-12)}$$

机房迷道入口处 X 射线散射辐射剂量率 $\dot{H}_g$, 迷道入口处综合剂量率 $\dot{H}$:

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \times (F/400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A}{R_2^2} \times H_0 \dots\dots\dots \text{(式 11-13)}$$

$$\dot{H} = \dot{H}_g \times 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \dots\dots\dots \text{(式 11-14)}$$

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 11-5, 由患者一次散射对各关注点产生的剂量见表 11-6, 机房迷道入口处由散射辐射产生的剂量见表 11-7。

表 11-5 直线加速器主射线束和泄露辐射对关注点的剂量估算表

表 11-6 直线加速器机房内患者一次散射对关注点的剂量估算表

表 11-7 直线加速器机房迷道入口处由散射辐射产生的剂量估算表

对于 g 点（机房迷道口）而言，既要受 X 射线漏射影响，亦要受 X 射线散射影响，机房四周、顶部 m 点既要受 X 射线漏射影响，亦要受机房患者一次散射影响，通过剂量叠加得到上述关注点的最终年剂量如下表所示：

表 11-8 直线加速器治疗室 1 周围关注点综合剂率叠加结果

由表 11-8 可知，在本项目直线加速器机房四周和顶部最大附加剂量为 $5.93 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中规定的关注点剂量率控制水平的要求。

（二）后装机辐射环境影响分析

根据医院提供信息，医院拟在医疗综合楼地下负二层后装治疗室内拟安装使用 1 台后装机，在后装机内使用 ^{60}Co 放射源 1 枚，装源活度不大于 $3.70 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，本次预测分析按照使用 ^{60}Co 放射源装源活度 $3.70 \times 10^{11} \text{Bq}$ 进行考虑。 ^{60}Co 放射源虽有 β 、 γ 两种辐射，但 β 射线在空气中的射程较短，经放射源的内包鞘和治疗机的相关屏蔽防护设施屏蔽后，在环境辐射方面已无影响，故本次环评中重点分析 ^{60}Co 产生的 γ 射线的环境影响问题。

后装机为一铸钢容器，内填充金属钨和贫化铀以及铅作防护材料，使源在容器内时其泄漏辐射符合国家标准要求。根据《医用电气设备 第二部分： γ 射

束治疗设备安全专用要求》(GB9706.17-2009)中 29.4.2 中规定的“关束状态下的距离防护屏蔽表面 5cm 处的杂散辐射引起吸收剂量率不得超过 200 μ Sv/h, 距离防护屏蔽表面 1m 处的杂散辐射引起吸收剂量率不得超过 20 μ Sv/h”。

建设单位在购得 ^{60}Co 放射源后,须由放射源生产厂家进行安装,并邀请第三方有资质的单位对设备防护效果开展验收监测,后装机贮源器表面空气比释动能率必须满足《医用电气设备第二部分: γ 射束治疗设备安全专用要求》(GB9706.17-2009)的相关要求,才能通过验收。

1、后装治疗室屏蔽体厚度校核

当放射源处于贮存状态时,机体的漏射线经过屏蔽墙的屏蔽作用和距离衰减后,对机房外的人员几乎没有影响,因此本次评价不考虑后装机非工作状态下对机房外其他人员的影响,对于后装机治疗项目的评价分析如下:

(1) 后装机关注点及剂量率参考水平

表 11-9 后装治疗室外主要关注点布置

位置编号	位置	照射途径	备注
A	东南侧屏蔽墙外 0.3m (后装机操作室)	初级辐射	公众
B	西南侧屏蔽墙外 0.3m (回填土)	初级辐射	人员无法到达
C	西北侧屏蔽墙外 0.3m (直线加速器治疗室 2 机房内)	初级辐射	公众
D	东北侧屏蔽墙外 0.3m (准备间)	初级辐射	公众
E	东北侧屏蔽墙外 0.3m (准备间)	初级辐射	公众
F	防护门屏蔽墙外 0.3m	散射辐射、漏射辐射	职业
G	屋顶上 0.3m (预留用房)	初级辐射	公众

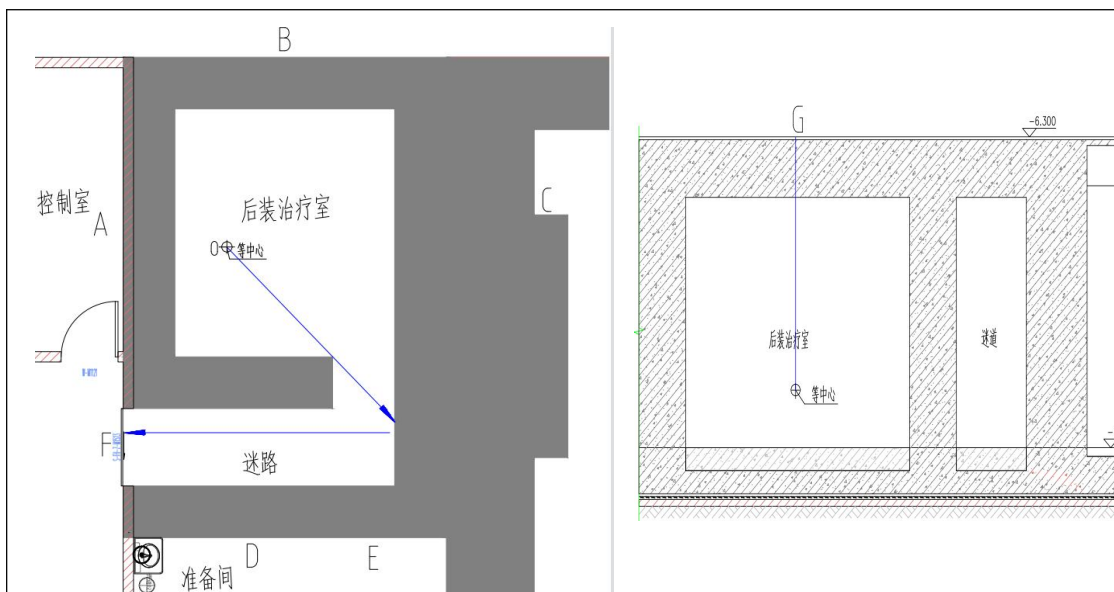


图 11-5 后装机关注点位示意图

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198—2021) 6.1.4, 机房外各关注点的剂量率参考控制水平 H_c 由以下方法确定:

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

$$H_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots \text{(式 11-15)}$$

式中:

$H_{c,d}$ —导出剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv}/\text{周}$;

H_c —周剂量参考控制水平; 根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 提出剂量约束值为职业人员 5mSv/a 、公众 0.1mSv/a , 年工作 50 周, 则职业人员 $H_c=100\mu\text{Sv}/\text{周}$ 、公众 $H_c=5\mu\text{Sv}/\text{周}$;

U —关注位置方向照射的使用因子; 本项目取 1;

T —人员在相应关注点驻留的居留因子;

t —周治疗照射时间, h ; 根据医院提供的资料, 后装机预估年有效出束时间最长约 400h, 年工作 50 周, 则周治疗照射时间 $t=8\text{h}$;

②关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$: 人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所, $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$; 人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所, $H_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

③取①、②中较小者作为关注的剂量率参考控制水平 (H_c); 对于后装治疗室西南侧墙体外 (B 点) 人员不可到达, 偏保守考虑, 按照辐射剂量率 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$

进行控制，由此确定的各关注点的剂量率参考控制水平见下表。

表 11-10 后装机房外各关注点剂量率参考控制水平

关注点	居留因子	剂量率参考控制水平 (H_c) $\mu\text{Sv/h}$		
		$H_{c,d}$	$H_{c,max}$	H_c
A	1	12.5	2.5	2.5
B	/	/	10	10
C	1/4	2.50	10	2.5
D	1/4	2.50	10	2.5
E	1/4	2.50	10	2.5
F	1/4	2.5	10	2.5
G	1	2.5	2.5	2.5

(2) 后装治疗室周围屏蔽体厚度校核

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分： γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014)，采用什值层计算屏蔽厚度，计算公式如下：

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

$$X_e = TVL \cdot \lg B^{-1} + (TVL_l - TVL) \dots\dots\dots(\text{式 11-17})$$

$$B_1 = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \times \frac{R^2}{f} \dots\dots\dots(\text{式 11-18})$$

$$H_0 = A \times K_\gamma \dots\dots\dots(\text{式 11-19})$$

式中：

X—屏蔽物质的屏蔽厚度，mm；

X_e —射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度，mm；

θ —斜射角，即入射线与物质平面的法线夹角；

TVL_1 —辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度， $TVL_1=245\text{mm}$ ；

TVL —辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度，mm；查 GBZ/T201.3-2014 的附录 C 表 C.1，对于 ^{60}Co 放射源，在混凝土中的 $TVL=218\text{mm}$ ；

B_1 —屏蔽物质的屏蔽透射因子；

H_c —剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R—辐射源至关注点的距离，m；

f —利用因子，对有用线束为 1，对漏射辐射取 0.1%；

H_0 —放射源在距其 1m 处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A—放射源的活度，MBq；本项目 ^{60}Co 取初始活度 $3.7 \times 10^5 \text{MBq}$ ；

K_γ —放射源的空气比释动能率常数， $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；查 GBZ/T201.3-2014 的附录 C 表 C.1， ^{60}Co 的空气比释动能率常数取 $0.308 \mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ 。

根据上述公式，机房墙体屏蔽厚度核算结果如下：

表 11-11 后装机房墙体屏蔽厚度核算

关注点	点位描述	距离放射源距离 (m)	剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	透射因子 (B_1)	理论计算厚度 (mm)	建筑混凝土屏蔽厚度 (mm)	核算结果
A	东南侧屏蔽墙外 0.3m (后装机操作室)	2.3	2.5	$1.2\text{E}-04$	885	1000	满足要求
B	西南侧屏蔽墙外 0.3m (回填土)	4.0	10	$1.4\text{E}-03$	649	1000	满足要求
C	西北侧屏蔽墙外 0.3m (直线加速器治疗室 2 机房内)	6.2	2.5	$8.4\text{E}-04$	697	2700	满足要求
D	东北侧屏蔽墙外 0.3m (准备间)	5.9	2.5	$7.6\text{E}-04$	707	内墙1000+ 外墙1000	满足要求
E	东北侧屏蔽墙外 0.3m (准备间)	5.9	2.5	$7.6\text{E}-04$	707	1000	满足要求
G	屋顶上 0.3m (预留用房)	4.7	2.5	$4.8\text{E}-04$	750	1000	满足要求

根据计算结果，本项目后装机四周墙体和机房顶部的建筑厚度能满足屏蔽防护要求。

②铅防护门厚度校核（机房入口）

根据 GBZ/T201.3-2014，机房入口处的散射辐射剂量率 $\dot{H}_{\text{散}}$ 采用下式计算：

$$\dot{H}_{\text{散}} = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot S_w \cdot a_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \dots\dots\dots (\text{式 11-20})$$

式中：

S_w —迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可视见的墙区面积， 6.45m^2 ；

a_w —散射体的散射因子，查表附录 C 中表 C.5 可得， 7.79×10^{-3} ；

R_1 —散射源至散射体中心点的距离，4.8m；

R_2 —散射体中心点至计算点的距离，5.4m。

经计算，机房入口处 g 点的散射辐射剂量率 $\dot{H}_{\text{散}}$ 为 8.5μSv/h。

在给定迷道内墙屏蔽物质的厚度为 1000mm 时，可按下列公式计算屏蔽体外关注点 g 的漏射剂量率 $\dot{H}_{\text{漏}}$ 。

$$X_e = X \cdot \sec\theta \dots\dots\dots(\text{式 11-21})$$

$$B_2 = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \dots\dots\dots(\text{式 11-22})$$

$$\dot{H}_{\text{漏}} = \frac{H_0 \cdot f}{R_3^2} \cdot B \dots\dots\dots(\text{式 11-23})$$

式中：

R₃—放射源距离关注点的距离，取 4.4m；

其余同上。

经计算，机房入口处 g 点的漏射辐射剂量率 $\dot{H}_{\text{漏}}$ 为 1.8×10⁻⁹μSv/h；

防护门需要的屏蔽因子 B₃，可以根据公式 11-25，结合公式 11-18 进行计算：

$$B_3 = \frac{H_c - \dot{H}_{\text{漏}}}{\dot{H}_{\text{散}}} \dots\dots\dots(\text{式 11-24})$$

经计算，铅门需要的屏蔽因子 B₃=0.293，入口处散射辐射平均能量约 0.2MeV，铅的 TVL 取值为 5mm，则防护门铅厚度 X=TVL·lgB₃⁻¹=2.66mm，后装机房防护铅门实际设计值为 6mmPb，故满足屏蔽要求。

小结：经过对机房屏蔽校核，后装治疗室墙体厚度、迷道厚度、顶部厚度和防护门厚度均满足要求。

2、后装机对周围职业人员和公众的影响

(1) 后装机未出源状态下给病患摆位时对医务人员的影响

在进行治疗前，医务人员将病患推入后装机室，并在机房内做治疗前的准备，每次在后装治疗机房内停留时间为 1min，此时后装机处于非工作状态，放射源处于贮源罐内，医务人员一般距放射源 1m 左右的位置。

后装机为一铸钢容器，内填充金属钨和贫化铀以及铅作防护材料，使源在其贮源容器内时泄漏辐射符合国家标准要求。根据《医用电气设备第二部分：γ射线治疗设备安全专用要求》（GB9706.17-2009）中 29.4.2 中规定“关束状态下的

距离防护屏蔽表面 5cm 处的杂散辐射引起吸收剂量率不得超过 200μSv/h，距离防护屏蔽表面 1m 处的杂散辐射引起吸收剂量率不得超过 20μSv/h”的要求，医院每年约 2400 人次接受后装治疗，则估算出辐射工作人员在做治疗前的摆位过程中接受的年有效剂量为 0.8mSv/a。

(2) 后装机出源状态下机房屏蔽体外辐射剂量估算

当放射源处于贮存状态时，贮源器泄漏辐射经过贮源器及机房墙体、防护门等屏蔽体的屏蔽后，对机房外的人员几乎没有影响，因此本次评价主要考虑后装机出源状态下对机房外的辐射影响。

根据 GBZ/T201.3-2014，在给定屏蔽物质厚度时，屏蔽体外关注点的剂量率计算公式：

$$\dot{H} = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B_4 \dots\dots\dots (式 11-25)$$

$$B_4 = 10^{-(X_e+TVL-TV L_1)/TVL} \dots\dots\dots (式 11-26)$$

$$X_e = X \cdot sec\theta \dots\dots\dots (式 11-27)$$

式中各符号含义同前。

根据 GBZ/T201.3-2014，在给定防护门的铅屏蔽厚度时，防护门外的辐射剂量率计算公式：

$$\dot{H}_{\text{门}} = H_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + H_{\text{og}} \dots\dots\dots (式 11-28)$$

式中：H_g—入口处的散射辐射剂量率，μSv/h；

H_{og}—泄露辐射在 g 处的剂量率，μSv/h。

经过计算预测，后装治疗室外关注点处辐射剂量率见下表：

表 11-12 后装治疗室外关注点处辐射剂量率

表 11-13 后装治疗室防护门外关注点处剂量估算表

（三）模拟定位机（CT）辐射环境影响分析

拟在放疗科内使用 1 台模拟定位机（CT），用于直线加速器和后装机模拟定位，属于Ⅲ类射线装置。本项目所用模拟定位机（CT）为数字成像，无废显定影液及废胶片产生，其主要影响为设备工作时产生 X 射线。

根据医院提供资料，本项目模拟定位机（CT）每年累计曝光时间不超过 100 小时。模拟定位机（CT）机房四周墙体为 300mm 厚混凝土，屏蔽门为 4mm 铅门，屏蔽铅窗为 4mm 铅当量，楼顶为 260mm 混凝土。根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表 3，结合附录 C 中表 C.7 可知，模拟定位机（CT）机房周围屏蔽防护能够满足 3mmPb 的要求，机房周围屏蔽体外 30cm 处辐射剂量率不超过 2.5μSv/h。

（四）放疗科保护目标辐射影响综合分析

医疗综合楼地下负二层放疗科内分别在直线加速器治疗室 1、直线加速器治疗室 2 内各使用 1 台 10MV 直线加速器，在直线加速器机房 2 旁紧邻的后装治疗室内使用 1 台后装机，在后装治疗室机房东侧约 3.5m 处为模拟定位机（CT）机房。因此，在放疗科周围各保护目标受到直线加速器、后装机、模拟定位机（CT）的剂量叠加综合影响。在本次保护目标综合预测过程中，保守不考虑建筑屏蔽，仅考虑距离衰减。

保护目标年附加辐射剂量由下式进行计算：

$$E = H \times 10^{-3} \times q \times h \times W_T \dots\dots\dots \text{（式 11-29）}$$

式中：

H—关注点的剂量当量(μSv/h)；

E—关注点的年剂量（mSv/a）；

h—年工作负荷（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 1/8；

W_T —组织权重因数，全身为 1。

本项目放疗科设备机房周围保护目标最大辐射剂量率如下表所示：

表 11-14 放疗科射线装置最近各保护目标辐射剂量率综合分析

备注：上述环境保护目标所受年剂量均为附加剂量值。

由上表可知，在医疗综合楼负二层放疗科的辐射源装置发出的射线经过机房实体防护后，直线加速器项目职业人员受年附加有效剂量最大为 $5.76E-04$ mSv/a，后装机项目职业人员受到年附加有效剂量最大为 $8.10E-02$ mSv/a，模拟定位机（CT）职业人员受到年附加有效剂量最大为 $2.62E-03$ mSv/a；放疗科周围公众受年附加有效剂量最大为 $1.28E-02$ mSv/a，分别满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198 -2021）中规定的“一般情况下，从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为 5mSv/a，公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a”，远低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的职业人员 20mSv/a 和公众 1mSv/a 的剂量限值。

根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律，距离放疗科辐射源装置机房最近的关注点可以代表最大可能辐射有效剂量。在放疗科射辐射源装置投入运营后，产生的X/γ射线经混凝土墙体、铅门屏蔽和距离衰减后，机房周围环境保护目标年受照剂量远低于预测剂量，对放疗科周围公众影响更小。

（五）放疗科臭氧环境影响分析

在放疗科内，新建 2 间直线加速器治疗室、1 间后装治疗室和 1 间模拟定位机（CT）机房，分别在直线加速器治疗室内各使用 1 台 10MV 直线加速器；在后装治疗室内使用 1 台后装机，在后装机内使用 ^{60}Co 放射源 1 枚，装源活度不大于 $3.70 \times 10^{11} \text{Bq}$ （属 II 类放射源）；在模拟定位机（CT）机房内使用 1 台模拟定位机（CT）。射线装置辐照在出束期间，机房内空气中的氧受 X/γ射线电离会产生臭氧，主要产生臭氧的射线装置主要为直线加速器和后装机，模拟定位机（CT）产生的臭氧可忽略不计。

1、直线加速器产生臭氧环境影响分析

本项目使用 2 台直线加速器均为 10MV，加速器治疗室 1 和直线加速器治疗室净空 2 净空尺寸和布局均相同，因此本次仅对其中 1 台进行计算分析。直线加速器具有两种治疗模式，机房内空气中的氧分别受 X 射线和电子束不同模式下电离空气而产生臭氧。

(1) X 射线治疗模式

直线加速器采用 X 射线治疗模式时，其产率和浓度可用下面公式进行计算：

$$Q_o = 6.5 \times 10^{-3} \times G \times S_o \times R \times g \dots\dots\dots \text{式 (11-30)}$$

式中：

Q_o —臭氧产率 mg/h；

G —射束在距离源点 1m 处的剂量率 Gy/(h.m²)，10MV 直线加速器取 360；

S_o —射束在距离源点 1m 处的照射面积 m²，本项目取 0.16；

R —射束径迹长度 m，取 1；

g —空气每吸收 100eV 辐射能量产生 O₃ 的分子数，本项目取 10。

经计算，10MV 直线加速器机房臭氧产额为 3.74mg/h。

室内臭氧饱和浓度由下式计算：

$$C = Q_o.T_v / V \dots\dots\dots \text{式 (11-31)}$$

式中：

C —室内臭氧浓度，mg/m³；

Q_o —臭氧产额 mg/h；

T_v —臭气有效清除时间，h；

V —机房空间体积，10MV 直线加速器机房体积 304m³；

本项目直线加速器机房设计有专用排风系统，设计通风量为 4000m³/h，机房体积按照 304m³ 进行计算，则每小时通风次数为 13 次，每次换气需要 0.076h。

$$T_v = \frac{t_v.t_a}{t_v + t_a} \dots\dots\dots \text{式 (11-32)}$$

t_v —每次换气时间，0.076h；

t_a —臭氧分解时间，取值为 0.83h。

经计算，10MV 直线加速器机房臭氧产额为 3.74mg/h，则 10MV 直线加速器机房内的臭氧平衡浓度为 $6.89 \times 10^{-4} \text{mg/m}^3$ 。

本项目直线加速器在 X 射线束治疗过程中产生的臭氧通过经排风管道引至塔楼顶部排入环境大气后，经自然分解和稀释，能够满足《环境空气质量标准》（GB3095—2012）中臭氧小时平均浓度二级标准（ 0.20mg/m^3 ）的要求，不会对环境空气造成明显影响。

（2）电子束治疗模式

直线加速器在使用电子束治疗过程中所产生的臭氧分析，根据《辐射防护手册》（第三分册）4.6.1，产生的臭氧浓度可由下式进行估算。

$$C_{O_3} = 3.25 \left[\frac{S_{coj} I t d}{V} \right] \bullet 10^{-3} \dots\dots\dots \text{式 (11-33)}$$

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，取 2.5keV/cm；

d —器外电子束在空气中所通过的距离，本项目取 100cm；

I —器外电子束流强度，取 2mA；

t —辐照时间，取单次最长照射时间为 180s；

V —治疗室空间体积，直线加速器治疗室体积 304m^3 。

经计算，本项目直线加速器运行期间，治疗室内臭氧浓度为 0.96ppm，为使治疗室内臭氧浓度能满足《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）中臭氧浓度限值的标准限值（ $\leq 0.16 \text{mg/m}^3$ ）的要求：

治疗室通风时间 T 由下面公示计算：

$$T = \sqrt{\frac{V \ln \frac{C'_{O_3}}{C_{O_3}}}{f}} \dots\dots\dots \text{式 (11-34)}$$

式中：

T —通风时间，s；

C_{O_3} —臭氧浓度标准限值，取 0.07ppm (0.16mg/m³)；

f —通风量，取 1.11m³/s。

经计算，在直线加速器机房采用电子束治疗模式下，通风时间大于 27s 后即可使机房内臭氧浓度达标，产生的臭氧经排风管道引至医疗综合楼楼顶排放后，经自然分解和稀释，能够满足《环境空气质量标准》(GB3095—2012)中臭氧小时平均浓度二级标准(0.20mg/m³)的要求，不会对环境空气造成明显影响。

2、后装机产生臭氧环境影响分析

后装治疗室内空气中的氧受 γ 射线电离而产生臭氧，假设机房为密闭，保守按照放射源活度为 3.70×10^{11} Bq 进行考虑，则臭氧产生率按下式计算：

$$Q_0 = 6.2 \times 10^{-3} A G V^{1/3} \dots\dots\dots \text{式 (11-35)}$$

$$C = Q_0 \times T_v / V \dots\dots\dots \text{式 (11-36)}$$

$$T_v = \frac{t_v \cdot t_a}{t_v + t_a} \dots\dots\dots \text{式 (11-37)}$$

式中：

Q —臭氧产生率，mg/h；

A —放射源活度，0.37TBq；

G —空气吸收 γ 射线能量产生臭氧分子数，对 γ 源取 10；

V —机房空间体积，20.6m³；

C —室内臭氧饱和浓度，mg/m³；

Q_0 —臭氧产额 mg/h；

T_v —臭气有效清除时间，h；

t_v —每次换气时间，根据设计资料，后装治疗室设计排风量为 3000m³/h，则每次换气时间为 0.029h；

t_a —臭氧分解时间，取值为 0.83h。

由公式 11-35~11-37 计算，臭氧产额为 6.29×10^{-2} mg/h，最终计算出的后装治疗室内臭氧平衡浓度为 8.7×10^{-5} mg/m³。

3、小结

根据预测计算得知，直线加速器机房内的臭氧平衡浓度为 $6.89 \times 10^{-4} \text{mg/m}^3$ ，后装治疗室内臭氧平衡浓度为 $8.7 \times 10^{-5} \text{mg/m}^3$ ，远低于《室内空气质量标准》

（GB/T18883-2002）表1中臭氧小时平均标准值浓度符合 0.16mg/m^3 的要求，本项目放疗科内产生的臭氧采用换气系统排入环境大气后，经自然分解和稀释，符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）的二级标准（ 0.20mg/m^3 ）的要求。

根据设计方案得知，直线加速器治疗室 1、直线加速器治疗室 2、后装治疗室均设计有专用排风管道，机房内产生的臭氧通过排风管道引出经过排风井，在医疗综合楼楼顶（12F）排放。

（六）噪声环境影响分析

在医疗综合楼负二层放疗科内通排风风机工作时将产生一定的噪声，噪声源位于机房内，本项目通排风机产生的噪声通过墙体实体防护和距离衰减后，厂界噪声可满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2类标准限值要求。

（七）水环境影响分析

本项目放疗科运行后，废水主要为医院工作人员、患者产生的生活污水和冷水机房产生的废水。生活污水进入医院现有的医疗污水处理站，经污水处理站处理后的废水进入市政污水管网；冷水机房废水循环利用，不外排。

（八）固体废物环境影响分析

本项目放疗科运营期主要固体废物为退役放射源、工作人员及患者生活垃圾及办公垃圾。其中，工作人员及患者生活垃圾及办公垃圾经过统一收集后交由环卫部门处置；后装机所使用的 ^{60}Co 放射源在不进行治疗时贮存于后装治疗室内的后装机圆柱形铅贮源器中，有良好的外屏蔽设施。 ^{60}Co 放射源半衰期为5.27年，使用一定时间后，其活度不能满足放射治疗需要时，需要更换放射源，退役源应及时通知生产厂家回收处理，不得擅自处理。更换放射源时，须向生态环境主管部门提交《放射性同位素转让审批表》，申请更换放射源。换源时，须委托有相应资质能力的单位进行处理，不得自行操作。

二、DSA、ERCP 环境影响分析

（一）DSA、ERCP 辐射环境影响分析

本项目共涉及使用 3 台 DSA 和 1 台 ERCP。其中，医疗综合楼一层介入中心 DSA1、DSA2 机房内分别各使用 1 台 DSA，在医疗综合楼三层内镜中心 ERCP 机房内使用 1 台 ERCP，在医疗综合楼四层中心手术室复合手术室内使用 1 台 DSA。每台医用射线装置年工作量为 450 例，单台手术最长出束时间 10min，出束方向由下而上。年曝光时间最大为 75h（拍片 9h、透视 66h）。

根据环境保护部公告 2017 年第 66 号《射线装置分类办法》，DSA、ERCP 属于 II 类射线装置，工作时不产生放射性废气、废水和固体废物。本机为数字成像设备，不使用显、定影液，其主要环境影响因素为工作时产生的 X 射线。

医用射线装置在进行曝光时分为两种情况：

①造影拍片过程：操作人员均采取隔室操作的方式，医生通过控制室铅玻璃观察窗机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。在拍片过程中，医生位于控制室内，经机房各屏蔽体屏蔽后，对机房外（包括机房楼上、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

为更清楚的了解病人情况，医生需进入机房进行治疗时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师身着铅衣、戴铅眼镜等在机房内对病人进行直接的手术操作。

本环评采用理论预测方法分析本项目 DSA 和 ERCP 在正常运行期间对辐射工作人员及公众的辐射影响。

1、机房外关注点辐射环境影响

医疗综合楼一层介入中心 DSA1、DSA2 机房四面墙体拟采用方管龙骨架+3mm 铅板+1.0mm 电解钢板，屋顶为 260mm 混凝土+3mm 铅板+1.0mm 电解钢板，地面为 260mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡涂层，防护门为 3mm 铅当量，观察窗为 3mm 铅当量；医疗综合楼三层内镜中心 ERCP 机房四面墙体均采用 370mm 厚实心砖墙，屋顶为 200mm 混凝土+2.5mmPb 硫酸钡水泥砂浆，地面为 200mm 混凝土+2.5mmPb 硫酸钡水泥砂浆，防护门为 3mm 铅当量，观察窗为 3mm 铅当量；医疗综合楼四层中心手术室复合手术室（OR.13）四面墙体拟采用方管龙骨架+3mm 铅板+1.0mm 电解钢板，屋顶为 260mm 混凝土+3mm 铅

板+1.0mm 电解钢板，地面为 200mm 混凝土+2.5mmPb 硫酸钡水泥砂浆，防护门为 3mm 铅当量，观察窗为 3mm 铅当量。拟在各机房内使用的射线装置最大额定电压均为 150kV，最大额定管电流均为 1000mA。

拍片时 DSA 和 ERCP 的常用管电压 60~100kV，常用管电流为 100~300mA；在 DSA 透视时常用管电压为 70~90kV，常用管电流为 10~20mA。在透视时，本项目评价 DSA 过滤板采用 2.0mmAl，管电压按 90kV 进行保守考虑，根据《辐射防护手册》（第一分册）图 4.4c，查得 $v_{r0}=0.9R\cdot mA^{-1}\cdot min^{-1}$ ，透视工况下按照最大管电流 20mA 换算后，距靶 1m 处的剂量率为 $157.14mGy\cdot min^{-1}$ ；拍片时，管电压按 100kV 进行保守考虑，常用最大管电压查得 $v_{r0}=1.0R\cdot mA^{-1}\cdot min^{-1}$ ，按照最大常用管电流换算后，距靶 1m 处的剂量率为 $2619mGy\cdot min^{-1}$ 。

根据设计图纸，本项目 DSA 安装在设备机房内，DSA 射线管在机房内的位置基本相同；由上述机房屏蔽体厚度可知，DSA 机房四周墙体、楼顶屏蔽厚度均相同，仅中心手术室复合手术室（OR.13）地面屏蔽厚度最小；此外，根据表 10-5 可知，DSA1 机房面积最小。偏保守考虑，本次 DSA 预测选取机房面积最小的 DSA1 机房，机房地面屏蔽体厚度选取最薄的手术室复合手术室（OR.13）地面进行预测分析，ERCP 机房的四周和楼顶屏蔽体厚度与 DSA 机房不同，因此单独进行预测。

在 DSA 和 ERCP 投用后，手术过程中 DSA、ERCP 机房四周和下方的保护目标，均受到漏射线和散射射线的影响，楼顶同时受到散射和主射辐射的影响。DSA 检查室内的辐射工作人员受到散射和漏射的影响。根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律，距离 DSA、ERCP 机房最近关注点可以代表最大可能辐射有效剂量。

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）公式 C.1 以及附录表 C.2 可知，屏蔽透射因子 B：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \dots\dots\dots \text{式 (11-38)}$$

式中：B—给定铅厚度的屏蔽透射因子；

β —铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

α —铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

γ —铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；
 X —铅厚度。

表 11-15 铅对 X 射线的辐射衰减拟合参数

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

注：表 11-15 中数据来自 GBZ130-2020 中表 C.2。

根据上表参数代入公式计算，DSA 检查室不同屏蔽体材料及厚度对应的屏蔽透射因子见表 11-2。

表 11-16 设计屏蔽参数及防护措施铅当量一览表

屏蔽方位	屏蔽材料与厚度	等效铅当量	屏蔽透射因子 （透视）	屏蔽透射因子（拍片）	
				主束	散射
DSA 机房					
四周墙体	方管龙骨+3mm 铅板 +1.0mm 电解钢板	3	7.9E-06	4.1E-05	6.3E-05
顶部	260mm 混凝土+3mmPb 铅板+1.0mm 电解钢板	6	8.0E-10	2.3E-08	3.4E-08
地面	200mm 混凝土+2.5mmPb 硫酸钡水泥	5	1.7E-08	2.8E-07	4.2E-07
防护门	3mm 铅当量铅门	3	7.9E-06	4.1E-05	6.3E-05
防护窗	3mm 铅当量铅玻璃	3	7.9E-06	4.1E-05	6.3E-05
手术医生、 护士位	0.5mmPb 铅防护衣 +0.5mm 铅帘	1	4.1E-03	7.4E-03	1.0E-02
ERCP 机房					
四周墙体	370mm 厚实心砖墙	3	7.9E-06	4.1E-05	6.3E-05
顶部	200mm 混凝土+2.5mmPb 硫酸钡水泥砂浆	5	1.7E-08	2.8E-07	4.2E-07
地面	200mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡水泥砂浆	4.5	8.0E-08	9.7E-07	1.5E-06
防护门	3mm 铅当量铅门	3	7.9E-06	4.1E-05	6.3E-05
防护窗	3mm 铅当量铅玻璃	3	7.9E-06	4.1E-05	6.3E-05
手术医生、 护士位	0.5mmPb 铅防护衣 +0.5mm 铅帘	1	4.1E-03	7.4E-03	1.0E-02

(1) 主射线束方向保护目标的影响

①计算模式

主射束的屏蔽防护采用《辐射防护手册》（第一分册）中计算公式如下：

$$D_r = D_l \cdot \mu \cdot \eta \cdot f \cdot T / r^2 \dots\dots\dots \text{式 (11-39)}$$

式中：

D_r —预测点处辐射空气吸收剂量，mGy/a；

D_l —X 射线在 1m 处的辐射空气吸收剂量率，mGy/min；

T —每年工作时间，4500min（其中透视 3960min，拍片 540min）；

μ —利用因子；

η —对防护区的占用因子，各预测点位的占用因子均取 1；

f —屏蔽材料对初级 X 射线束的减弱因子；

r —预测点距 X 射线源的距离，m。

②预测结果分析

将相关参数带入（式 11-39）中，进行各关注点年有效剂量预测，预测点年剂量估算结果见表 11-17:

表 11-17 主射方向预测点辐射剂量估算

(2) 病人体表散射辐射剂量估算

$$H_s = \frac{H_0 \cdot \alpha \cdot B \cdot (s/400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \dots\dots\dots \text{式 (11-40)}$$

式中：

H_s —预测点处的散射剂量率，μGy/h；

H_0 —靶 1m 处的剂量率，μGy/h；

α —患者对 X 射线的散射比；根据《辐射防护手册》（第一分册）表 10.1 查表取得， 2.2×10^{-3} ；

s —散射面积，cm²，取 100cm²；

d_0 —源与病人的距离，m，取 1m；

d_s —病人与预测点的距离，m；

B —减弱因子。

个人年最大有效剂量估算公式如下：

$$E = H \cdot t \cdot T \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots \text{式 (11-41)}$$

式中：

E —辐射外照射人均年有效剂量，mSv；

H —辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t —年工作时间，h；

T —居留因子，职业人员和公众人员均保守取1。

各与测点散射辐射剂量率计算参数及结果见下表 11-18。

表 11-18 DSA 机房外各关注点散射辐射剂量率计算参数及结果

表 11-19 ERCP 机房外各关注点散射辐射剂量率计算参数及结果

(3) 泄露辐射剂量估算

泄露辐射剂量率按初级辐射束的 1‰计算，利用点源辐射进行计算，各预测点的泄漏辐射剂量率可用下（式 11-42）进行计算。

$$H = \frac{H_0 \cdot f \cdot B}{R^2} \dots\dots\dots \text{式 (11-42)}$$

式中：

H —预测点处的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

f —泄漏射线比率，1‰；

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

R —靶点距关注点的距离，m；

B —减弱因子。

各预测点泄漏辐射剂量率计算参数及结果见下表 11-20。

表 11-20 DSA 机房外各关注点的泄露辐射剂量率计算参数及结果

表 11-21 ERCP 机房外各关注点的泄露辐射剂量率计算参数及结果

(4) 单台射线装置对保护目标的综合影响

本项目单台射线装置所致保护目标最大年有效剂量理论预测结果见表 11-22。

表 11-22 单台射线装置致各预测点保护目标理论预测最大受照剂量

(5) 本项目射线装置对保护目标的综合影响

本项目医疗综合楼一层介入中心 DSA1、DSA2 机房内分别各使用 1 台 DSA，医疗综合楼三层内镜中心 ERCP 机房内使用 1 台 ERCP，在医疗综合楼四层中心手术室复合手术室内使用 1 台 DSA。根据建设单位提供的设计图可知，本项目距离放射科射线装置机房最近距离约 18m，距离负一层核医学科边界最近距离约 95m，距离放疗科边界最近距离约 100m。根据《放射诊断放射防护要求》结合医院对辐射工作场所的管理要求，放射科射线装置机房屏蔽体外控制剂量率按照 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 进行考虑，根据辐射剂量率与距离的平方成反比的规律和建筑屏蔽效果后，放射科射线装置对本项目辐射工作人员和公众的贡献剂量率可以忽略不计。因此，本项目使用 DSA 和 ERCP 对机房周围保护目标剂量叠加主要考虑介入中心的两台 DSA 之间的相互影响、内镜中心 ERCP 机房与中心手术室复合手术室内 DSA 之间的相互影响。本项目 DSA 和 ERCP 对保护目标的综合影响见下表：

表 11-23 本项目射线装置致各预测点保护目标综合影响

注：上表参考点辐射剂量率均偏保守选用拍片工况下的辐射剂量率进行考虑。

根据医院辐射工作人员配置情况可知，医院拟为介入中心配置 15 名辐射工作人员，其中手术医生 8 名，护士 4 名，技师 4 名；内镜中心 ERCP 和中心手术室复合手术室 DSA 项目各配备 8 名辐射工作人员，其中手术医生 4 名，

护士 2 名，技师 2 名。医院拟为每台 DSA、ERCP 配置 4 名手术医生、2 名技师、2 名护士，并将其平均分为 4 组（即 1 名手术医生、1 名护士、1 名技师为一组，护士与技师分别与 2 名手术医生组队），则每名辐射工作人员最大年有效剂量见下表。

表 11-24 DSA、ERCP 项目保护目标附加年最大有效剂量

保护目标类型	手术医生	护士	技师	公众
年最大附加辐射剂量（mSv/a）	3.95	1.99	1.00×10 ⁻²	4.53×10 ⁻²

由上表可知，手术医生每年最大有效剂量为 3.95mSv/a，护士附加年最大辐射有效剂量为 1.99mSv/a，操作室内技师受到附加年最大辐射有效剂量为 1.00×10⁻²mSv/a，机房周围公众所受附加年最大辐射剂量为 4.53×10⁻²mSv/a，均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18 871-2002）规定的职业人员 20mSv/a 和公众 1mSv/a 剂量限值，也均低于职业人员 5mSv/a，公众 0.1mSv/a 的管理约束值。

医院须合理安排手术医生的手术量，每个季度对辐射工作人员个人剂量进行监督，杜绝出现辐射工作人员个人剂量单季度超过 1.25mSv、年超过 5mSv 事件的发生，若发现单季度超过 1.25mSv 的情况，医院应立即采取有效的管控措施。

根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律，距离 DSA 机房和 ERCP 机房最近的关注点可以代表最大可能辐射有效剂量。在 DSA 和 ERCP 投入运营后，项目运行产生的 X 射线经墙体、门窗屏蔽、距离衰减，DSA 机房和 ERCP 机房周围环境保护目标受照剂量低于预测剂量，对机房周围公众影响更小。

2、医生腕部皮肤受照剂量

手术医生和护士在手术室内进行介入手术时，会穿联体铅衣、戴铅手套、铅眼镜、铅围脖等防护用品，但是仍然有部分皮肤暴露在射线下受到照射，在过程手术中，手术医生腕部距离射线主射方向最近，因 X 射线随着距离的增加呈现衰减趋势，故以手术医生腕部剂量估算结果进行核算医护人员皮肤照射年剂量，根据《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）中的公式估算手术室或介入室人员年皮肤吸收剂量：

$$D_S=C_{ks}(\dot{k}\bullet t)\bullet10^{-3} \dots\dots\dots\text{式（11-43）}$$

$$\dot{k} = \frac{\dot{H}^{*(10)}}{C_{KH}} \dots\dots\dots \text{式 (11-44)}$$

式中:

D_s —皮肤吸收剂量, mGy/h;

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

C_{KS} —空气比释动能到皮肤吸收计量的转化系数 (Gy/Gy);

t —人员累计受照时间, 75h;

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

C_{KH}^* —空气比释动能到周围剂量当量的转化系数 (Sv/Gy)。

按照常用最大电流换算后, 距靶 1m 处的剂量率为 157.14mGy/min, 医生操作时腕部距主射束的距离取 0.3m, 且不考虑任何防护, 手术时腕部位置处的空气吸收剂量通过计算可得到辐射剂量当量为 $1.05 \times 10^5 \mu\text{Gy/h}$ 。本项目 DSA 可近似地视为垂直入射, 而且是 AP 入射方式 (AP, 即垂直于人体长轴/Z 轴, 从人体正面的入射)。从表 A.9 可查得 X 辐射场空气比释动能到周围剂量当量的转化系数 $C_{KH}^* = 1.72\text{Sv/Gy}$, 由 (式 44) 计算出辐射场的空气比释动能为 $6.09 \times 10^4 \mu\text{Gy/h}$ 。从表 A.4 可查出空气比释动能到皮肤吸收剂量的转换系数 $C_{KS} = 1.134\text{mGy/mGy}$ 。皮肤组织权重因子按照 0.01 考虑, 人员累计受照时间为 75h, 则手术医生手术位腕部皮肤受照当量剂量为 51.8mSv/a, 满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 第 4.3.2.1 条的规定, 对任何工作人员, 四肢 (手/足) 或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv, 也满足本项目对于放射工作人员四肢 (手和足) 或皮肤当量剂量通常管理限值, 即不超过 125mSv 的要求。

医院应严格落实辐射安全防护的各项规章制度, 所有手术过程中检查室内的医护人员均应按辐射工作人员进行管理, 手术室医护人员穿戴好防护用品并严格遵守操作规程。对病人病灶进行照射时, 应将病人病灶以外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。

3、使用 DSA 和 ERCP 对医生和患者的辐射防护要求

使用 DSA 和 ERCP 实施心脑血管造影检查是一种解决临床疑难病的新方法，但心脑血管造影检查时 X 射线曝光量大，曝光时间长，距球管和散射体近，使心脑血管造影检查操作者受到大剂量的 X 射线照射。为了减少心脑血管造影检查时 X 射线对操作者和其他人员的影响，本评价提出以下几点要求：

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

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

4、射线装置报废

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

（二）大气环境影响分析

医用射线装置室内空气中的氧受 X 射线电离而产生臭氧，本项目涉及介入中心 DSA1、DSA2 机房，内镜中心 ERCP 机房和中心手术室复合手术室共计 4 间介入用射线装置机房，因本项目拟使用介入设备的额定管电压、管电流均相同，常用管电压、管电流照射野均相同，因此臭氧产生率也相同。相同臭氧产生率，机房面积越小机房内的臭氧浓度越高，所以本次采用机房面积最小的 DSA1 机房进行分析。

臭氧产率和浓度可用下面两个公式分别计算。

$$Q_o = 6.5 \times 10^{-3} \cdot G \cdot S_o \cdot R \cdot g \dots\dots\dots \text{式 (11-45)}$$

式中：

Q_o —臭氧产率 mg/h；

G —射束在距离源点 1m 处的剂量率 Gy/（h.m²），本项目取 157；

S_o —射束在距离源点 1m 处的照射面积 m²，取（最大射野 40×40cm²）0.16m²；

R —射束径迹长度 m，取 1m；

g —空气每吸收 100eV 辐射能量产生 O₃ 的分子数，本项目取 10。

经计算，臭氧产率为 1.63mg/h。

室内臭氧饱和浓度由下式计算：

$$C = Q_o.T_v / V \dots\dots\dots \text{式 (11-46)}$$

式中：

C —室内臭氧浓度，mg/m³；

Q_o —臭氧产额 mg/h；

T_v —臭气有效清除时间，h；

V —机房空间体积，DSA1 机房体积为 163.2m³。

$$T_v = \frac{t_v.t_a}{t_v + t_a} \dots\dots\dots \text{式 (11-47)}$$

t_v —每次换气时间，本项目 DSA1 机房设计排风量为 1750m³/h，每次换气时间为 0.09h；

t_a —臭氧分解时间，取值为 0.83h。

经计算，每次换气时间约 5.4min，DSA 机房内臭气平衡浓度为 8.12×10⁻⁴mg/m³，远低于《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）表 1 中规定的臭氧标准浓度 0.16mg/m³ 的要求。

综上所述，本项目介入设备在机房内产生的产生的臭氧平衡浓度均能够满足《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）的要求，产生的臭氧通过排风管道抽至屋顶排风口排入大气环境后，经自然分解和稀释，对机房周围的环境影响远低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）的二级标准（0.2mg/m³）的要求。

（三）水环境影响分析

本项目 DSA 专用 X 线数字成像系统运行后，本项目产生废水主要为地面清洁废水、手术医护人员产生的清洗废水和少量生活污水。废水进入医院生活污水处理站处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 中预处理标准后，经市政污水管网进入成都市第四污水处理厂处理，最终排往沙河，本项目的下水道应进行地面硬化处理等防渗措施，防止污染地下水。

（四）声环境影响分析

本项目噪声源主要为空调噪声，所有设备选用低噪声设备，均处于室内，通过建筑墙体隔声及距离衰减后，运行期间厂界噪声可达到《工业企业厂界噪声标准》（GB12348-2008）2 类标准要求。

（五）固废境影响分析

本项目一台手术约产生医疗废物药棉 0.1kg，纱布 0.1kg，手套 0.2kg，一年最多 1800 台手术，则一年约产生医疗废物药棉 180kg，纱布 180kg，手套 360kg，总共每年约产生医疗废物 720kg，采用专门的收集容器集中回收后，转移至医疗废物暂存库，按照医疗废物执行转移联单制度，交由有资质的医疗废物处理机构定期统一回收处理。

工作人员产生的生活垃圾和办公垃圾医院进行统一集中回收并交由环卫部门统一处理。本项目不会产生放射性固废，对周围环境无影响。

三、核医学科环境影响分析

（一）β射线的辐射影响分析

本项目涉及使用的^{99m}Tc、¹⁸F核素在衰变过程中会有β粒子，但由于¹⁸F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，本次只考虑^{99m}Tc。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下式计算：

$$d = \frac{I}{2\rho} \bullet E_{MAX} \dots\dots\dots \text{式 (11-48)}$$

式中：

d ——β射线在介质中的射程，cm；

ρ ——介质的密度，空气密度为 $1.29 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$ ；砖密度为 1.8g/cm^3 ；铅玻璃密度为 4.6g/cm^3 ；

E_{MAX} —— β 射线的最大能量，MeV。

表 11-25 各核素 β 射线在空气中理论最大射程

核素	β 射线能量 (MeV)	空气密度 (g/cm^3)	空气中的 射程 (cm)	砖墙密度 (g/cm^3)	砖墙中的射 程 (cm)	铅玻璃密 度(g/cm^3)	铅玻璃中射 程 (cm)
^{99m}Tc	0.002	1.29×10^{-3}	0.78	1.8	5.56×10^{-4}	7.36	1.36×10^{-4}

由上表可知，本项目使用的核素 ^{99m}Tc 产生的 β 射线在空气中射程较短，在实心砖和玻璃中的射程可以忽略不计，同时在整个使用过程中职业人员还穿戴铅防护服，因此 β 射线对职业人员和公众辐射影响是很小，可忽略不计。

(二) 韧致辐射（X射线）影响分析

由于 β 粒子在遇到重质材料（如：铅、铁等原子序数大于56的材质）屏蔽时，才会产生韧致辐射，但是本项目使用的核素能量较小，韧致辐射对周围辐射剂量率贡献值很小，因此本次评价可以忽略。

(三) CT机的X射线外照射

对于PET/CT、SPECT机房，还需考虑PET/CT、SPECT运行时产生的X射线的辐射屏蔽。拟建PET/CT、SPECT机房四面墙体、顶棚、防护门以及观察窗的建设均采取了辐射屏蔽，充分考虑邻室（含楼上下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度满足核素屏蔽要求，均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从X射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本评价项目的各机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关防护设施的技术要求。因此，可进一步得知本次评价的射线装置在正常运行时可满足“周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

(四) 校准用密封源的环境影响

PET/CT 设备拟使用 3 枚 ^{68}Ge 校准源，一般情况下校准源储存在储源室的保险柜内，进行图片质量校准时从储源室中取出放置在需要校准的设备上采集信息。放射源处于贮存状态时，贮存容器和储源室的屏蔽设施能够完全屏蔽掉 γ 射线对周围环境的影响。校准状态时，使用场所在做了专门防护的扫描间内，且校准时，校准源需放置在设备自带屏蔽体内部，对周围环境影响可忽略不计。

校准时间选择在非运营时间，故不会有非相关人员的进入。专门负责的校准工作人员穿着专门的铅衣在扫描间对机器进行校准，且本项目使用的校准源活度较低，因此校准源使用过程中对周围环境影响很小，对工作人员的剂量贡献较低。

（五）辐射工作场所γ辐射水平分析

辐射工作人员在放射性药物操作区进行相关放射性药物的分装和给病人注射放射性核素，这个过程主要是放射性核素产生的γ射线引起的辐射照射。当病人注射了放射性药物之后，病人又成为一个活动的辐射体，其所在的工作场所则要考虑来自病人身体的射线辐射。

将注射后的患者视为“点状辐射源”，参考《放射防护实用手册》（赵兰才，张丹枫）中对γ剂量估算的经验公式。

$$H_R = A \times f \times R^{-2} \times 10^{-X/TVL} \dots\dots\dots \text{式 (11-49)}$$

式中：

- H_R —经屏蔽材料屏蔽后，关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；
- A —药物的放射性活度，MBq；
- f —1m处的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot(\text{h}\cdot\text{MBq})^{-1}$ ；
- R —关注点到辐射源的距离，m；
- X —拟采用的屏蔽厚度，cm；
- TVL —γ射线在相应屏蔽材料中的十值层，cm。

表11-26 使用放射性药物工作场所辐射屏蔽计算参数

核素	周围剂量当量率常 (裸源) ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$)	周围剂量当量率常 (患者体内) ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$)	TVL (mm)		
			铅 ($11.3\text{g}/\text{cm}^3$)	实心砖 ($1.65\text{g}/\text{cm}^3$)	混凝土 ($2.35\text{g}/\text{cm}^3$)
^{18}F	0.143	0.092	16.6	263	176
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.0303	0.0207	1	160	110

备注：周围剂量当量率常数来源于临床核医学患者防护要求（WS553-2017），表中TVL取值参考核医学放射防护要求（GBZ120-2020）附录L中表L.1。

根据医院诊疗流程可知，SPECT诊断患者注射药物后等待15分钟即可进行扫描；SPECT每15分钟扫描一个病人；扫描完后需留观15分钟。本项目设有为SPECT诊断项目各设有1间注射后等待室，1间留观室。注射后等待室、留观室

内分别最多等候2人，留观室每天最多可容纳64人；SPECT诊断项目日最大诊断人数为40人，因此本项目SPECT诊断区内注射后等待室及留观室患者容量满足本项目就诊人数需求。

PET诊断项目患者注射药物后等待15分钟即可进行扫描；PET/CT每5分钟扫描一个病人；扫描完后需留观15分钟。本项目设有1间注射后等待室和1间留观室，最多容纳2人，每天最多可容纳64人，PET诊断项目日最大诊断人数为30人，因此本项目PET休息室及留观室患者容量满足本项目就诊人数需求。

1、单个对辐射工作场所的影响

本次预测不考虑注射(服药)等待的时间对药物的衰变影响，偏保守预测核医学科内单个项目对各场所周围最大有效剂量，预测结果见下表。

表11-27 核医学科辐射工作场所内诊断辐射剂量率预测结果

2、核医学科辐射工作场所综合影响

因在医疗综合楼负一层核医学科内，SPECT诊断项目与PET诊断项目共用一个辐射工作场所，在患者就诊过程中，存在人流交叉。因此，在医疗综合楼一层核医学科内，存在辐射工作场所和人员剂量的叠加。

表11-28 核医学科辐射工作场所内最大辐射剂量综合分析

由上表各关注点综合辐射剂量估算结果可知，核医学科控制区外人员可到达处，距屏蔽体外表面0.3m处的周围剂量当量率控制目标值不大于2.5μSv/h；控制区内屏蔽体外表面0.3m的周围剂量当量率控制目标值不大于2.5μSv/h，距核医学工作场所各控制区内屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于10μSv/h；核医学科通风橱外表面0.3m处人员操作位处的周围剂量当量率控制目标值不大于2.5μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）的相关要求。

本项目核医学科在实际运营过程中，病人在注射后候诊室、扫描检测、留观等待过程中，由于衰变作用导致病人体内核素的活度不断减少，因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

（六）辐射工作人员及公众个人剂量估算

1、工作负荷及计算参数

（1）SPECT诊断

根据药物的使用方法和医务人员行走路径，医务人员一般不会长时间接触SPECT诊断显影病人，但在扫描时医务人员会近距离接触服药患者并协助摆位，因此职业照射估算分析按照患者均注射 ^{99m}Tc 对工作人员的辐射影响。

工作负荷及计算参数：SPECT诊断显影药物为成品药物，在分装室内分装后传递到注射室内；SPECT诊断显影药物的活度监测、质控等可在4mmPb通风橱中进行，分装时辐射剂量率取通风橱外表面5cm处的值，该操作时间按照单份1min计。护士注射药物是在2mmPb当量的屏蔽窗口进行，注射器外2mmPb套筒，每次注射用时约30秒，身体与注射器的直线距离约0.5m。受检者在摆位技师的辅助下（直线距离约1m）进行扫描检查，摆位时间约30秒，摆位人员接触受检者的整个过程中均穿戴0.5mmPb个人防护用品。

（2）PET诊断

根据药物的使用方法和医务人员行走路径，医务人员一般不会长时间接触PET诊断显影病人，但在扫描时医务人员会近距离接触服药患者并协助摆位，因此职业照射估算分析按照患者均注射 ^{18}F 对工作人员的辐射影响。

工作负荷及计算参数：PET诊断显影药物的分装拟在50mmPb通风橱中进行，分装时辐射剂量率取通风橱外表面5cm处的值，该操作时间按照单份60秒计。护士注射药物是在6mmPb当量的屏蔽窗口进行，每次注射用时约30秒，身体与注射器的直线距离约0.5m。患者在接受药物注射后进入PET注射后等待室候诊，约15分钟后进入PET/CT机房扫描，并在摆位技师的辅助下进行扫描检查，这一过程摆位人员与受检者的直线距离取0.5m，摆位时间按30秒考虑，摆位人员接触受检者的整个过程中均穿戴0.5mmPb个人防护用品。

2、辐射工作人员受照剂量预测

根据上述核医学科内屏蔽体外剂量率预测结果，个人年最大有效剂量估算公式如下：

$$H_r = H \bullet t \bullet T \bullet 10^3 \dots\dots\dots \text{式 (11-50)}$$

式中：

- H_r —辐射外照射人均年有效剂量，mSv；
- H —辐射剂量率，μSv/h；
- t —年工作时间，h；
- T —居留因子，职业人员保守按照1考虑，公众人员根据NCRP144中的取值进行考虑。

(1) 辐射工作人员年有效剂量估算

表11-29 核医学科所致辐射工作人员个人年有效剂量估算

由上表可知，控制室内的技师最大年有效剂量为0.039mSv/人，SPECT摆位护士受到的最大年有效剂量为0.628mSv/人；PET摆位护士受到的最大年有效剂量为1.08mSv/人；分装标记室内护士受到的年最大有效剂量为3.21mSv/人。

综上所述，医疗综合楼核医学科内辐射工作人员的年有效剂量均能满足辐射工作人员的年有效剂量小于剂量管理限值**5mSv/a**。

(2) 公众受照剂量估算

根据表11-27可知各辐射工作场所最近的关注点的辐射剂量率，在不考虑其他墙体的屏蔽效果，根据关注点辐射剂量率与保护目标的距离成反比的规律，可得出经过距离衰减后关注点的最大辐射剂量率；本项目放疗科机房与核医学科最近距离约5m，放疗科机房与核医学科之间公众存在剂量叠加影响，由此可得出距离核医学科最近的保护目标年最大有效剂量，详见下表。

表11-30 核医学科周围公众人员年有效剂量

综上，核医学周围公众的年有效剂量最大为 $7.76\text{E-}02\text{mSv/a}$ ，能满足公众人员的年有效剂量率小于评价项目提出的剂量管理限值 0.1mSv/a 。

由此可见，本项目正常运营后，对核医学科周围环境中的工作人员和公众的辐射影响均能满足相关标准要求。由以上估算结果及分析可知，本项目工作人员和公众成员所受到的附加辐射照射，均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求以及本项目剂量约束值的要求。

（3） β 表面沾污的防护措施

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

①使用、操作放射性同位素的人员应经过培训，具备相应的技能与防护知识；

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

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，特别是已服药和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，医院应暂停开展核医学放射性区的相关业务，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）。

（七）放射性“三废”影响分析

1、放射性废水

本项目核医学科 PET 和 SPECT 诊断项目产生的放射性废水均统一收集至医疗综合楼负二层西北侧的一座衰变池内，项目运营过程中均不需要进行住院观察，所以在注射或者服药后候诊过程中产生的废水主要来源于少量排泄废水、清洗废水。根据设计文件，本项目设计衰变池为 1 座，共 4 格，单格衰变池有效容积为 72m^3 ，衰变池总有效容积为 $4 \times 72 = 288\text{m}^3$ 。项目产生的放射性废水在衰变池进行衰变处置，在衰变池内衰变至满足排放要求后排入医院污水处理站进一步处理。根据设计资料，本项目衰变池池底和四周池壁拟先刷 15mm 厚水泥砂浆保护层，再在保护层的基础上在池底刷 1.5mm 厚、四周刷 1.2mm 厚防水涂料，最后在防水涂料的基础上在池底采用 15~40mm 厚水泥砂浆找坡、四周池壁采用 20mm 厚水泥砂浆找平。**建设单位应严格要求工程质量，衰变池池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀，放射性衰变池应加以密封，应有防雨、防渗和防漏的措施，确保放射性废水衰变池和放射性固体废物暂存间地面的达到等效黏土防渗层 $M_b \geq 6.0\text{m}$ ，渗透系数 $\leq 10^{-10} \text{cm/s}$ 。**

根据《综合医院建筑设计规范》（GB51039-2014），门诊患者每人每天用水定额取 10L，医疗综合楼负一层核医学每日诊断患者最多 70 人，患者废水产生量约为 $0.56\text{m}^3/\text{d}$ ；每日对核医学科去污共产生废水约 $0.2\text{m}^3/\text{d}$ ；核医学科每日清洗废水应急废水约 $0.1\text{m}^3/\text{d}$ 。则核医学科每天废水产生量为 $0.86\text{m}^3/\text{d}$ ，周产放射性废水量为 $4.3\text{m}^3/\text{周}$ 。

本项目衰变池为四级并联，偏保守的角度，放射性废水待放满第 1 格衰变池起才计算衰变时间，直到放满其余 2 格衰变池，再排放第 1 格衰变池废水，注满 2 格衰变池需要 167d。根据《核医学辐射防护与安全要求》7.3.3.1 中规定，核医学区内核素最长半衰期为 6.02h，半衰期小于 24h，衰变池内的放射性废水暂存超过 30 天后，可以直接解控排放。因此，核医学科内放射性废水排入衰变池可行，衰变池容积能够满足放射性废水暂存 30 天的要求，能够满足《核

医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）中关于“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放”的规定。

医院应结合废水在衰变池中的储存周期，制定排水计划，并按照计划定期将废水排放至院内污水处理站进一步处理达标后纳入市政管网。每次排放应做好排放时间、排放量等应详细记录，设置专门的废水排放台账，台账应有专人管理，存档保存。

2、放射性固废

核医学科内设置有1个放射性废物暂存间用于暂存放射性固废，本项目产生的放射性固体废物主要为工作人员操作过程产生的服药杯子、注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料等，按照每人每天0.2kg产生量进行估算，正常情况下，核医学科年放射性固体废物的产生量为3900kg。

此外，有放射性废气过滤装置更换下来的活性炭等，产生量约50kg/a，根据核素类型分类收集，进行衰变暂存。

医院拟将上述放射性固体废物采用专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋及时转送至放射性废物间。对放射性固体废物进行分类、分期收集装入塑料袋标明产生日期并系紧袋口，每天下班前将当天各操作场所产生的放射性废物及时转移至放射性废物间内，让放射性物质自行衰变。放射性固废收集后应进行监测，需满足每袋废物表面剂量率不超过0.1mSv/h，重量不超过20kg/袋的收集要求。每次收集后应做好固废存放台账，记录固废存放监测数据、收集时间及收集量，台账应有专人管理，存档保存。待暂存超过30天后，按照医疗废物交由有资质单位进行处置。

3、放射性废气

核医学科产生的废气主要为放射性废气、臭氧。其中，本项目核医学内臭氧产生量较小，经排风系统引出后在楼顶排放，经自然稀释分解后对环境的影响可以忽略不计，本次主要对放射性废气进行分析。

PET诊断项目仅使用¹⁸F核素，SPECT诊断项目仅使用^{99m}Tc核素。核医学科内使用的两种核素均涉及分装，均在分装标记室内进行分装。本项目放射性废气的产生量保守按照操作核素总活度的1‰考虑。本项目拟采用高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施，去除效率为99%，每天操作核素时间2h。本

项目核医学科全年工作250d，假设人呼吸量为1.2m³/h。各场所的计算结果见下表。

表11-31 排气口核素所致公众年吸入量预测结果

由上表可知，各场所排气口核素所致公众年吸入量小于《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WST613-2018）规定的公众成员吸入放射性气溶胶年摄入量限值。

本项目拟设排风口位于医疗综合楼楼顶，在排气口方向朝向人民塘路东一段，在排气口附近无公众长期停留。因此，本项目核医学科产生的放射性废气经过空气稀释后，远低于预测公众年最大吸入量。

表11-32 排气口核素所致公众受内照射预测结果

由上表可知，核医学科排气口核素所致公众年受内照射剂量远低于对公众照射剂量约束值0.1mSv/a，因此本项目产生的放射性废气对周围环境影响较小。

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

（八）非放射性污染物环境影响分析

1、水环境影响

本项目核医学科运行期间产生的生活污水经医院现有的生活污水处理站预处理达标后，经市政污水管网进入成都市第四再生水厂处理，最终排往沙河，对项目所在地水环境影响较小。

2、大气环境影响分析

PET/CT与SPECT配套CT机能量小，扫描时间短，运行过程产生的O₃量少。经机房排风系统排入大气环境稀释后，对工作人员和公众不会造成危害，不会对周围环境及公众造成明显影响。

3、声环境影响分析

本项目运行过程中产生的噪声，经房间隔声、距离衰减措施后，对项目区域外的声环境影响很小。

4、固体废弃物影响分析

本项目运行期间产生的生活垃圾和医疗废物经分类收集后，依托医院新建的处理系统，由当地环卫部门和具有医疗废物处理资质的单位及时处理，不直接排入环境，对当地环境影响程度较小。

四、III类医用 X 射线诊断机运行环境影响分析

四川省第一中医医院医疗综合楼内拟使用 1 台 PET/CT、1 台 SPECT、1 台模拟定位机（CT）均为III类医用射线装置。本项目所用射线装置均为数字成像，无废显定影液及废胶片产生，其主要危害为设备工作时产生 X 射线。

根据医院提供资料，四面墙体均采用为300mm 混凝土，屋顶为260mm 混凝土，铅窗为4mm 铅当量，防护门为4mm 铅当量铅门。

经前文射线装置实体防护分析，本项目 III类医用射线装置屏蔽体满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求。根据类似射线装置现状监测数据，经机房墙体、门屏蔽后，III类医用射线装置工作时对机房外公众和工作人员影响较小。

建设单位在施工过程中，严格按照施工规范，避免墙体与铅防护门、铅窗衔接处存在缝隙。

五、本项目对保护目标辐射环境影响综合分析

根据上述分析，本项目的保护目标综合影响预测结果见表 11-33。

表 11-33 本项目周围环境保护目标综合影响

由上表可知，本项目职业人员的所受最大附加剂量为 3.95mSv/a，周围最近公众所受最大附加剂量为 7.76×10^{-2} mSv/a，在评价范围内距离最近的民兴苑小区最大附加剂量为 2.2×10^{-3} mSv/a，分别低于 5mSv/a 和 0.1mSv/a 的评价约束

值。

事故影响分析

一、环境风险评价的目的

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

二、风险识别

（一）直线加速器可能发生的事故

直线加速器不运行时不存在放射性事故，也不存在影响辐射环境质量事故，只有当加速器运行期间才会产生 X 射线、电子束等危害因素，而且最大可能的事故主要有两种：

- ①医用直线加速器运行时其它无关人员误入或滞留于加速器机房；
- ②检修时，检修人员触动直线加速器开关，造成检修人员受到误照射。

（二）后装机可能发生的辐射安全事故

后装机中含有放射源 ^{60}Co ，装源活度不大于 $3.70 \times 10^{11} \text{Bq} \times 1$ 枚，按其出厂活度划分，属于 II 类放射源， ^{60}Co 衰变时会释放 β 和 γ 射线，如无正当防护会造成放射性事故，最大可能发生的事故如下：

- ①放射源丢失、被盗；
- ②人员在后装治疗室误照射事故；
- ③卡源。治疗过程中出现卡源情况，源体无法复位至屏蔽状态，造成病人受到过量照射，引发辐射事故。

（三）核医学科工作场所可能发生的事故

- ①放射性药物丢失、被盗、撒漏或工作场所失火，均可能使放射性药物释放到环境中，这样就会使室内的设备、地面等受到放射性污染；
- ②校准源丢失、被盗、失控。

（四）DSA、ERCp 可能发生的事故

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

- ①在介入手术操作中，DSA、ERCP 控制系统失灵；
- ②DSA、ERCP 射线装置 X 射线源处于“曝光”状态，介入手术人员在距 X 射线管非主射束方向进行介入手术操作。

（五）III类医用射线装置可能发生的辐射事故

本项目共涉及III类医用射线装置3台，分别为1台模拟定位机（CT）、1台PET/CT、1台SPECT，本项目所用射线装置均为数字成像，无废显定影液及废胶片产生，其主要危害为设备工作时产生X射线。III类射线装置属于低危险射线装置，发生事故时一般不会对受照者造成辐射损伤，事故等级属一般辐射事故。

三、源项分析及事故等级分析

医用直线加速器会产生 X 射线、电子线、臭氧，臭氧经通风设施换气，对大气环境基本无影响，电子线经治疗室屏蔽体的材料和厚度屏蔽后，在环境辐射方面已无影响，故医用直线加速器可能发生的风险事故中，其风险因子主要为 X 射线；后装机使用 ⁶⁰Co 放射源，其主要风险因子为γ射线；核医学科所用的放射性核素，将产生α、β和γ射线，由于α、β辐射在空气中射程较短，易于防护，故核医学科可能发生的风险事件中，其风险因子为γ射线。

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第 449 号）第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，详见表 11-34 中。

表 11-34 项目的风险因子辐射伤害程度与事故分级

事故等级	事故类型
特别重大辐射事故	I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。

重大辐射事故	I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	II 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故	IV 类、V 类放射源丢失、被盗、失控，或放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

根据《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（表 11-35）：

表 11-35 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

四、后果计算

（一）10MV 直线加速器事故的后果计算

（1）人员误入机房，人员受到意外照射

1）事故情景假设

在对病人进行治疗时，10MV 直线加速器主射束 1m 处剂量率为最大值 6Gy/min，假设考虑安全联锁失效，有人员误入机房，人员在无其它屏蔽的情况下处于加速器照射头射束 1m 处的散射方向，X 射线漏射束的空气比释动能率取主射束方向的 1‰，每次误入照射时间为 3min。

2）剂量估算

根据上述事故情景，经计算，随时间和距离的变化，最大可能受到的剂量见下表：

表 11-36 直线加速器事故状态下非主射方向不同时间、距离处有效剂量情况表（mGy）

时间 (s) / 距离 (m)	5	10	20	40	90	180
1	0.50	1.00	2.00	4.00	9.00	18.0
2	0.13	0.25	0.50	1.00	2.25	4.50
3	0.06	0.11	0.22	0.44	1.00	2.0
4	0.03	0.06	0.13	0.25	0.56	4.1

3) 事故等级

通过计算，在以上假设事故情景下，人员误入 120s 受到直线加速器非主射方向 1m 处的辐射影响，其有效剂量为 18mSv，根据表 11-34、11-35，假如本项目发生此种事故，事故等级为一般辐射事故。

(2) 维修射线装置时，人员受意外照射

1) 事故情景假设

在维修人员进行检修时，检修人员必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，假设触动直线加速器开关，造成维修人员在无其它屏蔽的情况下处于加速器照射头射束 0.5m 处的直射方向，10MV 直线加速器主射束 1m 处剂量率为最大值 6Gy/min，检修人员被误照射开始至听报警仪报警关闭加速器停止出束时间为 10 秒。

2) 剂量估算

在假设事故情境下，不同时间和距离的剂量情况见下表。

表 11-37 事故状态下主射方向不同时间、距离处有效剂量情况表 (mGy)

时间 (s) / 距离	1	2	5	7	10
0.5	400	800	2000	2800	4000
1	100	200	500	700	1000
2	25.0	50.0	125	175	250
4	6.3	12.5	31.3	43.8	62.5

3) 事故等级

通过计算，在以上假设事故情景下，则维修人员受到直线加速器主射方向 0.5m 处 10 秒钟的辐射影响，其有效剂量为 4Sv/次，根据表 11-34、11-35，其死亡率为 80%，假如本项目发生此种事故，事故等级为重大辐射事故。

(二) 后装机情景假设事故的后果计算

假设本项目相关人员均未穿戴防护服，放射源保守按照根据人员与放射源

不同距离随着时间的推移，最大可能受到的剂量见下表：

表 11-38 后装机内放射源随不同时间、距离处有效剂量情况表（mSv）

时间(min) 距离(m)	0.5	1	2	5	10	15	30	720 (12h)
0.5	3.80	7.60	15.19	37.99	75.97	113.9	227.9	5470
1	0.95	1.90	3.80	15.19	18.99	28.49	56.98	1368
2	0.24	0.47	0.95	2.37	4.75	7.12	14.25	341.9
5	0.04	0.08	0.15	0.38	0.76	1.14	2.28	54.70

（1）放射源丢失、被盗

参照表11-34，本项目放射源丢失、被盗可造成较大辐射事故。

此外，根据表11-34，Ⅱ类放射源丢失、被盗、失控，假如在放射源丢失、被盗失控时，12小时才寻回，则最大可能受到的剂量约5.5Sv，根据表11-35可知，引起人员死亡率约99%，为重大辐射事故。

（2）公众人员在负二层后装机机房误照射事故

在假设事故情况下，公众人员误入后装机机房内，与放射源距离大于等于1m，操作室内技师在30min内发现并立即停止放射治疗，受到最大有效剂量约57mSv/次，超过(GB18871-2002)中公众5个连续年的年平均剂量限值(1mSv)，为一般辐射事故。

（3）卡源

自动回源功能装置失效，维修人员进入后装机机房内采取手动回源措施，距离放射源位置最近为0.5m，10min内完成手动回源，受到最大有效剂量约76mSv/次，超过(GB18871-2002)中特殊情况下职业人员5个连续年的年平均剂量限值(20mSv)，结合表11-34，构成一般辐射事故。

小结，本项目后装机一旦发生辐射安全事故，最大可造成重大辐射事故。

（三）核医学科工作场所事故的后果计算

1、放射性药物意外泄漏或丢失事故

（1）事故情景假设

①本项目使用核素主要为 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 两种放射性核素，事故情况假设放射性核素试剂瓶发生丢失或药物泼洒，发生事故时放射性核素的活度为 ^{18}F

（ $1.67 \times 10^{10}\text{Bq}$ ）、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （ $3.26 \times 10^{10}\text{Bq}$ ）。假设事故持续过程中按点源考虑，受照人员不考虑任何屏蔽措施，事故持续最长时间为2h；②保守假设事故持续时

间内，丢失的药物被同一人随身携带，距离按 20cm 考虑；③携带人员无任何屏蔽措施，不考虑放射性核素随着时间的衰变。

（2）剂量估算

在假设事故情景下，计算携带人员在事故持续时间内的受照剂量，计算结果见表 11-36。

表 11-36 放射性核素丢失或泼洒后不同时间内个人受照剂量表

核素	辐射剂量率 (mSv/h)	各事故持续时间段 γ 射线所致最大辐射有效剂量 (mSv)				
		10min	30min	60min	90min	120min
^{18}F	1.16E+05	19.4	58.2	116.4	174.6	232.8
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1.26E+04	2.1	6.3	12.6	18.9	25.2

（3）事故后果

在上述事故情景假设条件下，携带放射性核素人员或近距离公众在事故持续时间内已受到超过年剂量限值。考虑的整个事故持续周期 2h 内，急性放射病发病率均在 1%之下，事故持续周期内可造成人员超剂量照射而导致一般辐射事故。由于计算过程未考虑放射性核素衰变，计算结果偏保守。

2、若校准源丢失、被盗、失控

（1）事故情景假设

- ①1 枚 ^{68}Ge 校准源丢失、被盗、失控，活度最大为 $4.625 \times 10^8 \text{Bq}$ ；
- ②距离最近的人员为 0.2m；
- ③从丢失、被盗、失控至找到放射源的时间为 4h。

（2）剂量估算

在假设事故情境下，人员在事故持续时间内的受照剂量为 3.98mSv/次，超过公众外照射年剂量限值。

（3）事故等级

根据表 11-34、11-35，假如本项目发生校准源丢失、被盗、失控情况，事故等级为一般辐射事故。

（四）DSA、ERCp 可能发生的事故

1、介入手术过程中，发生介入手术人员超剂量照射

（1）事故假设

- ①在介入手术操作中，控制系统失灵；
- ②X 射线源处于“曝光”状态，介入手术人员在距 X 射线管主射束方向 0.5m

处进行介入手术操作；

③假定该名手术人员在此停留时间为 5min，未穿戴铅衣、配套铅手套和铅防护眼镜等个人防护用品（防护厚度均为 0.5mm 铅当量）。

（2）剂量估算

在上述条件下，以《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 表 G1.4 中入射体表剂量率 100mGy/min 估算，计算结果见表 11-37。

表 11-37 介入手术事故下不同时间手术医生有效剂量分布表

人员	事故下不同时间手术医生有效剂量（mGy）				
	1min	2min	3min	4min	5min
手术医生	100	200	300	400	500

（3）事故后果

由表 11-37 可以看出，在事故持续时间的推移下，手术医生受照射辐射剂量最大为 500mGy。结合表 11-34、11-35 可知，考虑整个事故持续 5min，急性放射病发病率均在 1%之下，为一般辐射事故。

2、维修射线装置时，人员受意外照射

（1）事故情景假设

①设备维护人员在维护 X 线机射线管或测量探测器时，突然发现射线管正处于出束状态，便立即离开中断电源；

②假若维护时，DSA 以透视模式运行，距靶 1m 处的辐射剂量率为 157.14mGy/min；

③射线装置上的指示灯和声音装置均失效；

④维护人员位于 X 射线主射束方向，距靶 1m 的地方，停留时间 5min，无任何屏蔽措施。

（2）剂量估算

根据上述条件，计算得出维护人员所受照射剂量见表 11-38。

表 11-38 维护人员事故下不同时间手术医生有效剂量分布表

人员	事故下不同时间手术医生有效剂量（mGy）				
	1min	2min	3min	4min	5min
手术医生	157.1	314.3	471.4	628.6	785.7

（3）事故后果

由表 11-38 可以看出，在事故持续时间的推移下，手术医生受照射辐射剂

量最大为 785.7mGy。结合表 11-34、11-35 可知，考虑整个事故持续 5min，急性放射病发病率低于 10%，为一般辐射事故。

（五）III类医用射线装置的后果计算

模拟定位机、PET/CT、SPECT属于III类射线装置，其X射线能量不大，曝光时间都比较短，事故情况下，人员误入或误照射情况下，可能导致人员受到超过年剂量限值的照射。

事故情况下，X射线直接照射到人员身上，保守考虑，误入人员或病人在距离射线头1m处被误照射，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表E.4典型成年受检者X射线透视的诊断参考水平入射体表剂量率100mGy/min。人员误入受照射时间按检查1个患者的最长扫描时间（10min）计算，则机房内误入人员所受的X射线辐射剂量率最大为1.0Gy/次，急性放射病发率为20%，人员受到超年剂量照射，为一般辐射事故。

（五）事故后果总结

经上述事故情景分析得知，本项目最大可能发生的事故为重大辐射事故。

五、事故防范措施

1、直线加速器事故防范措施

①直线加速器运行时其它无关人员误入或滞留于加速器机房。

应对措施：加速器自身有多种安全防护措施，如辐射启动装置与控制台上显示的辐射参数预选值联锁，选择参数前辐照不能启动；安装有两套独立的剂量监测系统，每套皆可单独终止照射；有门机安全联锁，机房门关闭后辐射才能启动。

②医务人员误操作，导致病人受超剂量照射或受其它的额外照射；

应对措施：加速器的控制台上显示有辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数的显示装置，操作人员可随时了解设备运行情况。

2、后装机事故防范措施

①放射源丢失、被盗，且放射源屏蔽体可能被人为破坏，放射源对人员造成近距离照射。一定时间内，可能导致人员急性重度放射病、局部器官残疾甚至死亡。

应对措施：医院应该采取各种行之有效的措施，防止被盗或者丢失。特别

是定期对放射源要进行核实，确保其处于指定位置，对放射源实行 24 小时监控。

②人员受误照射。治疗过程中人员误入或滞留于机房，造成有关人员被误照射，引发辐射事故。

应对措施：工作人员遵守相关操作规程，治疗过程中任何人员不得进入机房。每次开机治疗前必须确认所有人员全部撤出机房。一旦发生辐射事故，必须马上停机收源，对受照人员进行身体检查，确定是否有伤害，以便采取相应救护措施。

③卡源。治疗过程中出现卡源情况，源体无法复位至屏蔽状态，造成病人受到过量照射，引发辐射事故。

应对措施：若出现卡堵源情况，首先迅速将病人撤出机房，医院关闭机房，专业技术人员到来前不得开启，同时派专人职守，防止无关人员进入事故现场，及时联系生产厂家或指定维修单位进行处理。专业技术人员排除事故时，应配备铅衣、铅手套、铅眼镜等防护措施和必要的剂量监测设备，并严格控制与放射源近距离操作的时间。

后装机使用的 ^{60}Co 放射源为 II 类放射源，按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，发生辐射事故时，医院应当立即启动本单位的应急方案，采取应急措施，并立即向当地生态环境主管部门报告，生态环境主管部门接到辐射事故报告后，应当立即派人赶赴现场，进行现场调查，采取有效措施，控制并消除事故影响，同时将辐射事故信息报告本级人民政府和上级人民政府生态环境主管部门。发生重大辐射事故后，事故发生地省政府和中华人民共和国国务院有关部门应当在 4h 内报告中华人民共和国国务院；特殊情况下，事故发生地人民政府及其有关部门可以直接向中华人民共和国国务院报告，并同时报告上级人民政府及其有关部门。

3、DSA、ERCP 的事故与应对措施

DSA、ERCP 属于 II 类射线装置，为中危险射线装置，事故时可使受照人员产生较严重的放射损伤，但由于 DSA、ERCP 的特殊性，事故时使受照人员受大剂量照射甚至导致死亡的几率很小。DSA、ERCP 开机时，医生与病人同处一室，且距 X 射线机的管头组装体约 1m 左右，距病人很近，介入机主要事

故是因曝光时间较长，防护条件欠佳对医生和病人引起的超剂量照射，其级别最高为较大辐射事故。

为了防止事故的发生，应做好以下工作：

①购置工作性能和防护条件均较好的介入诊疗设备；②实施介入诊疗的质量保证；③做好医生的个人防护；④做好病人非投照部位的防护工作；⑤按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，当 DSA、ERCP 导致辐射事故时，应即时上报当地生态环境主管部门。

4、Ⅲ类医用射线装置事故分析与防范应对措施

本项目共涉及Ⅲ类医用射线装置 3 台，为低危险射线装置，发生事故时一般不会对受照者造成辐射损伤，事故等级属一般辐射事故。

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

5、核医学科可能发生的事故及应对措施

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

①无关人员误入核医学科工作场所，造成人员误照射事故；

应对措施：核医学科工作场所进出门外设置工作状态指示灯和悬挂电离辐射警示标识，相关场所的出入口均设置了门禁及视频监控系统，在机房控制室设置应急停止按钮，机房防护门设置门灯门机联锁、张贴应急预案，放射防护注意事项、设备操作规程、紧急处理措施等。

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

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

③在放射性药物的给药过程中，因为多种原因导致工作人员获得高剂量照射。

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

6、事故综合防范应对措施

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

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

①建立安全管理领导小组，组织管理医院的安全工作。

②加强人员的培训，考试（核）合格、持证上岗。

③建立岗位的安全操作规程和安全规章制度，注意检查考核，认真贯彻实施。

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

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

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

一、辐射防护与安全管理机构

四川省第二中医医院成立了辐射安全与防护领导小组机构，并于 2021 年 1 月调整了辐射安全与防护领导小组（川二中医院[2021]（4 号）），领导小组负责对全院的辐射安全管理工作进行管理（见附件 7），办公地点设在医务部。文件明确了领导小组的职责要求。

1、领导小组文件已包含内容：

1)领导小组人员组成：

组长：胡***

副组长：苟***

成员：***

2)领导小组办公地点设在医务部，由赵***干事负责全院辐射安全与防护工作统筹协调。

3)领导小组的主要职责分工：

①医疗装备部负责辐射相关设备准入及防护资质办理、设备维护及定期检测；

②后勤保障部负责放射诊疗设备房屋新、改、扩建的预评、环评及辐射安全许可的校验；

③医院感染管理办公室负责放射人员健康档案管理；

④放射科负责放射防护制度建设、应急预案、质量保证、职业防护培训；

⑤手麻科及使用放射设备的科室工作人员，按照放射防护要求办理职业体检、培训及放射监测；

⑥放射防护统筹管理为医务部，各科室负责人是辐射安全与防护第一负责人，负责本科室放射防护距离工作安排处理。

2、根据四川省第二中医医院机构调整和相关文件要求，医院在以后工作中还需做到：

①四川省第一中医医院作为独立法人机构投运后，及时成立四川省第一中医医院辐射安全与防护管理机构；

②辐射安全管与防护管理机构文件中应包含应急电话和上级生态环境主管部门联系电话；

③文件中应规定定期对辐射工作人员个人剂量档案进行监督检查，发现个人剂量异常进行调查和处置。

二、辐射工作人员配置和能力要求

①医院为本项目拟配备辐射工作人员66人，医院后期可根据设备数量，承担诊疗、科研任务，开展的项目和工作量等实际情况适当增加人员编制；

②射线操作人员均需取得射线装置相关操作证书，熟悉专业技术；

③本项目辐射工作人员需参加生态环境部辐射培训平台中辐射安全与防护知识的学习，定期参加考核，考核通过后方能上岗；

④医院应定期委托有资质的单位对辐射工作人员个人剂量进行检测，且应建立辐射工作人员个人剂量档案管理。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定，辐射工作人员和辐射防护负责人均应通过辐射安全与防护的考核，医院应尽快其他相关人员在国家核技术利用辐射安全与防护学习平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习辐射安全与防护知识并通过考核；已取得辐射安全培训合格证的，合格证到期前，需进行再次考核，辐射安全与防护成绩报告单有效期为五年。

三、射线装置处理报废

医院报废的射线装置在报废前必须做去功能化处理，应采取去功能化的措施（如拆除电源或拆除高压零部件），确保装置无法再次通电使用，并上报到生态环境主管部门作备案登记。

辐射安全档案资料管理和规章管理制度

一、档案管理分类

医院应将相关资料进行分类归档妥善放置，包括以下九大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“放射源和射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个

人剂量档案”、“培训档案”、“辐射应急资料”和“废物处置记录”。

二、辐射安全管理规章制度

根据医院实际情况，医院辐射安全管理规章制度落实情况见下表 12-1：

表 12-1 本项目辐射管理制度汇总对照分析表

序号	制度名称	对照分析	
1	辐射工作场所安全管理规定	应制定，需上墙	
2	辐射工作人员个人剂量管理制度	应明确“个人剂量档案须终身保存”、“个人剂量计佩戴位置”	
3	辐射工作设备操作规程	应制定，需悬挂于辐射工作场所墙上	
4	辐射工作人员岗位职责	应包含“辐射工作人员应参加辐射安全专业知识的学习、持证上岗”，需悬挂于辐射工作场所墙上	
5	监测仪表使用与校验管理制度	应包含“监测仪表定期送检定或者比对”的相关内容	
6	射线装置台账管理制度	应包含“新增射线装置和报废射线装置的台账模板”	
7	分区管理制度	应制定	
8	质量保证大纲和质量控制检测计划	应制定	
9	辐射安全防护设施维护维修制度	应制定	
10	辐射工作人员培训制度	应制定	应明确“所有从事放射诊疗类的工作人员和管理人员，应自觉进行辐射安全与防护专业知识的学习。学习网址为 fushe.mee.gov.cn ，考试成绩单超过 5 年的辐射工作人员，需进行再进行学习和考核”的相关内容
11	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	应制定	监测方案应包含年度监测和自行监测两个部分，本项目具体的监测执行科室，监测因子、监测内容、监测频次及布点方案，参考本章辐射监测方案
12	辐射事故预防措施及应急处理预案	应制定	预案中应明确“应急物资的准备和应急责任人员、环保主管部门应急电话及射线装置发生事故时的辐射事故处理”的内容，辐射安全事故应急响应程序需悬挂于辐射工作场所墙上

根据原四川省环境保护厅关于印发《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》要求，《辐射工作场所安全管理要求》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作设备操作规程》和《辐射事故应急响应程序》应悬挂于辐

射工作场所。医院对于各项制度在日常工作中要加强检查督促，认真组织实施。上墙制度的内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸大小应不小于400mm×600mm。

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

辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人剂量监测。

1、工作场所监测

自主验收监测：医院在取得《辐射安全许可证》后三个月内，应委托有资质的单位开展1次辐射工作场所验收监测，编制自主验收监测（调查）报告。

年度监测：委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为1次/年；年度监测报告应作为《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并提交给发证机关。

日常自我监测：定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行监测），制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案，监测频次根据医院的实际工作量自行确定。

2、个人剂量监测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量计，监测周期为1次/季。

医院应按以下要求做好个人剂量档案的管理：

（1）当单个季度个人剂量超过1.25mSv时，建设单位要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过5mSv时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关。检测报告及有关调查报告应存档备查；

（2）个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度监测报告一起作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并提交给发证机关；

（3）根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019），就本项目而

言，辐射主要来自前方，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般左胸前；对于工作中穿戴铅衣的情况，通常应根据佩带在铅衣里面躯干上的剂量计估算工作人员的实际有效剂量；

(4) 辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。医院应当将个人剂量档案终身保存。

3、医院自我监测

医院定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行自行监测），制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案，监测周期为 1 次/月。

4、监测内容和要求

(1) 监测内容：X- γ 辐射剂量率、总 β 、 β 表面沾污。

(2) 监测布点及数据管理：本项目监测布点应参考环评提出的监测计划（表 12-3）或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立监测数据台账。

表 12-3 本项目监测布点方案表

场所或设备	监测内容	监测周期	监测布点位置
10MV 直线加速器	X- γ 空气吸收剂量率	验收监测 1 次，委托有资质的单位监测，频率为 1 次/年；自行开展辐射监测	墙体外侧、技师操作位、防护门外、迷道内墙外、机房正上方
后装机	X- γ 空气吸收剂量率		机房墙外 30cm 处、技师操作位、防护门外、机房正上方
介入中心 DSA 机房	X- γ 空气吸收剂量率	验收监测 1 次，委托有资质的单位监测，频率为 1 次/年；自行开展辐射监测	机房四周、操作室、防护门外、机房正上方和正下方
内镜中心 ERCP 机房	X- γ 空气吸收剂量率		机房四周、操作室、防护门外、机房正上方和正下方
中心手术室复合手术室	X- γ 空气吸收剂量率		机房四周、操作室、防护门外、机房正上方和正下方
核医学科	X- γ 空气吸收剂量率	验收监测 1 次，委托有资质的单位监测，频率为 1 次/年；自行开展辐射监测	储源室、分装标记室、PET 注射室、SPECT 注射室、抢救室、SPECT 留观室、PET 留观室、放射性废物间（放射性废物暂存间）、SPECT 机房、PET/CT 机房、患者专用卫生间、病人电梯、核医学科正上方、正下方等
	β 表面放射性污染		储源室、分装标记室、PET 注射室、SPECT 注射室、抢救室、SPECT 留观室、PET 留观

			室、放射性废物间（放射性废物暂存间）、SPECT 机房、PET/CT 机房、患者专用卫生间、病人电梯、医护通道、患者通道的墙壁、地面、防护门、辐射工作人员工作服、手套、工作鞋、手、皮肤等
	放射性废水 中总 β	验收监测 1 次	衰变池排放口
模拟定位机（CT）	X- γ 空气吸收剂量率	委托有资质的单位监测，频率为 1 次/年	铅窗、操作位、防护门、与机房相邻的房间或过道

（3）监测范围：控制区和监督区域及周围环境

（4）监测质量保证

a、制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测部门的监测数据与医院监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核；

b、采用国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法；

c、制定辐射环境监测管理制度。

此外，医院需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。

5、年度评估报告情况

医院应于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，近一年（四个季度）个人剂量检测报告和辐射工作场所年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。医院应按照《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400 号）规定的格式编写《安全和防护状况年度评估报告》。医院必须在“全国核技术利用辐射安全申报系统”(网址 <http://rr.mee.gov.cn>)中实施申报登记。延续、变更许可证，新增或注销射线装置以及单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。

辐射事故应急

1、事故应急预案内容

为了应对放射诊疗中的事故和突发事件，医院应制订辐射事故应急预案，应包含以下内容：

（1）应急机构和职责分工，应急和救助的装备、资金、物资准备，辐射事故应急处理程序，辐射事故分级与应急响应措施，辐射事故调查、报告和处理程序，辐射事故的调查、预案管理；

（2）应急组织体系和职责、应急处理程序、上报电话；

（3）应急人员的培训；

（4）环境风险因子、潜在危害、事故等级等内容；

（5）辐射事故调查、报告和处理程序中相关负责人员及联系电话；

（6）发生辐射事故时，应当立即启动应急预案，采取应急措施，并按规定向所在地县级地方人民政府及其生态环境、公安、卫健等部门报告。

2、应急措施

若本项目发生了辐射事故，医院应迅速、有效采取以下应急措施：

（1）一旦发现放射性药物、放射源被盗或者丢失，及时向公安部门、生态环境主管部门和卫健部门报告。

（2）放射源工作或者贮存过程中发生火灾、爆炸等可能影响放射源的安全，在现场允许情况下，应优先对放射源进行灭火并抢离火灾现场，防止放射源屏蔽体破坏。

（3）发现误照射事故时，工作人员应立即切断电源，将病人撤出机房，关闭机房门，同时向医院主管领导报告。

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

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

（6）最后查清事故原因，分清责任，消除事故隐患。

3、其他要求

（1）辐射事故风险评估和辐射事故应急预案，应报送所在地县级地方人民

政府生态环境主管部门备案；

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

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

项目名称：四川省第一中医医院新建放射诊疗和放射性同位素工作场所项目
建设单位：四川省第二中医医院
建设性质：新建
建设地点：成都市成华区华林一路拟建四川省第一中医医院医疗综合楼
本项目建设内容与规模为：医院拟在医疗综合楼负二层设放疗科、一层设介入中心、三层设内镜中心、四层设中心手术室、负一层设核医学科。医院拟在放疗科直线加速器治疗室 1 和直线加速器治疗室 2 内各使用 1 台最大 10MV 直线加速器（型号待定），属 II 类射线装置，年最长出束治疗时间为 480h/台；拟在后装治疗室内使用 1 台后装机，在后装机内使用 ^{60}Co 放射源 1 枚，装源活度不大于 $3.70\times 10^{11}\text{Bq}$ （属 II 类放射源），年最长出源治疗时间为 400h/台，均用于放射治疗；拟在模拟定位机房内使用 1 台模拟定位机（III 类射线装置），用于模拟定位。医院拟在医疗综合楼一层介入中心 DSA1 室、DSA2 室分别使用 1 台 DSA（型号待定）、拟在医疗综合楼四层中心手术室复合手术室内使用 1 台 DSA（型号待定），用于心脑血管造影检查，拟在三层内镜中心 ERCP 机房内使用 1 台 ERCP（型号待定），用于胆管造影，年最大曝光时间为 75h/台（其中透视 66h，拍片 9 小时）。医院拟在医疗综合楼负一层核医学科内使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F ，用于显像诊断，配套使用 2 台 SPECT、1 台 PET/CT 机（均为 III 类射线装置），使用 3 枚锝-68 放射源（活度为 $9.25\times 10^7\text{Bq}\times 1$ 枚+ $4.625\times 10^8\text{Bq}\times 2$ 枚）对 PET/CT 进行校准，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

二、本项目产业政策符合性分析

根据中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 29 号《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2020 年 1 月 1 日施行）的相关规定，本项目拟使用医用直线加速器、后装机、非密封放射性物质、数字减影血管造影装置（DSA）、III 类射线装置、II 类放射源等为医院医疗基础建设内容，属该指导目录中第三十七项“卫生健康”中第 5 款“医疗卫生服务设施建设”，属于国家鼓励类产业，符合国

家产业政策。

三、本项目选址合理性分析

本项目位于在建四川省第一中医医院内，项目运营对环境基本无影响。本评价认为其选址是合理的。

四、所在地区环境质量现状

根据四川省永坤环境监测有限公司的监测报告，项目所在地的 γ 辐射空气吸收剂量率背景值属于正常天然本底辐射水平，拟建核医学科场所周围环境 β 表面污染检测结果均低于检测限值。

五、环境影响评价分析结论

（一）施工期环境影响分析

本项目土建工程已在《成都锦城华创置业有限责任公司省一中医医院建设工程项目环境影响报告书》中进行评价分析，建设单位在落实报告书提出的各项污染防治措施后，对周围环境影响较小。

（二）营运期环境影响分析

1、辐射环境影响分析

（1）放疗科辐射环境影响分析

在医疗综合楼负二层放疗科的职业人员受年附加有效剂量最大为 $8.10\text{E-}02\text{mSv}$ ，公众受年附加有效剂量最大为 $1.28\text{E-}02\text{mSv}$ ，分别低于 5.0mSv 和 0.1mSv 的剂量约束值。

（2）介入中心、内镜中心、中心手术室辐射环境影响分析

在医院医疗综合楼介入中心、内镜中心、中心手术室本项目的职业人员受年附加有效剂量最大为 3.95mSv/a ，公众受年附加有效剂量最大为 $4.53\times 10^{-2}\text{mSv/a}$ ，分别低于 5.0mSv 和 0.1mSv 的剂量约束值。

（3）核医学科辐射环境影响分析

本项目投入运营后，所致核医学科内护士所受年最大有效剂量为 3.21mSv/a ，技师所受年最大有效剂量为 0.039mSv/a ；所致核医学科周围公众年最大有效剂量为 $7.76\text{E-}02\text{mSv/a}$ ，分别低于 5.0mSv 和 0.1mSv 的剂量约束值。

（4）模拟定位机（CT）辐射环境影响分析

本项目模拟定位机（CT）周围保护目标所受年剂量满足职业人员5.0mSv/a，公众人员0.1mSv/a的剂量约束值。

（5）辐射环境影响综合分析

综上所述，本项目投入运营后，所致辐射工作人员年最大有效剂量为3.95mSv/a；公众年最大有效剂量为7.76E-02mSv/a，满足本次评价确定的职业照射个人年有效剂量5mSv和公众人员个人年有效剂量0.1mSv的剂量约束值，也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的职业人员20mSv/a和公众1mSv/a的剂量限值的规定。

2、大气的环境影响分析

（1）放疗科对大气的影响分析

经预测分析，放疗科机房内臭氧平衡浓度远低于《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）表1中臭氧小时平均标准值浓度符合0.16mg/m³的要求，本项目放疗科内产生的臭氧采用专用排风管道引出在楼顶排放，经自然分解和稀释，能够满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）的二级标准（0.20mg/m³）的要求。

（2）介入中心、内镜中心、中心手术室对大气的影响分析

介入中心、内镜中心、中心手术室内的DSA和ERCP主要环境影响为臭氧。医院拟设置排气管道，DSA和ERCP曝光过程中产生的臭氧经过排气管道引出后在楼顶排放，经过预测分析，能够满足相关标准的要求，项目产生的放射性废气对周围环境影响较小，通过通风换气等措施后，对工作人员的影响可控制在合理可接受范围内，不会对周围环境及公众造成明显影响。

（3）核医学科对大气的影响分析

本项目核医学科产生的废气主要为含放射性核素废气，医院拟设置专用排气管道，在排气口采用高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施进行处理，处理后废气在医疗综合楼楼顶排放，经过预测分析，能够满足相关标准的要求，对周围环境影响是可接受的，不会对周围公众造成明显影响。

（4）大气环境影响综合分析

综上所述，本项目投入运营后，四川省第一中医医院医疗综合楼内放疗科、介入中心、内镜中心、中心手术室、核医学科对周围环境的影响是可接受的，不

会对周围环境和公众造成明显影响。

3、声环境影响分析

本项目噪声源主要为风机、空调噪声，所有设备选用低噪声设备，均处于室内，通过建筑墙体隔声及距离衰减后，运行期间厂界噪声可达到《工业企业厂界噪声标准》（GB12348-2008）2类标准要求。

4、水环境影响分析

本项目投入运营后，废水主要为放射性废水和医院工作人员、患者产生的生活污水及医疗废水。本项目产生的放射性废水通过铅皮包裹的管道排入衰变池中衰变30天后，直接排入医院污水处理站处理。医院工作人员、患者产生的生活污水及医疗废水经过院内的污水处理站处理达预处理标准后进入市政污水管网。

5、固体废物影响分析

本项目产生的医疗废物，按照危废管理相关要求，进行分类收集；核医学科产生的放射性废物分类暂存于放射性废物暂存间，放射性固体废物暂存时间超过30天，经过监测辐射剂量率处于环境本底水平， α 表面污染小于 0.08 Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8 Bq/cm^2 后，作为医疗废物进行处理；最终与医院其他医疗废物统一交由有资质的单位处理；本项目工作人员和患者会产生少量的办公垃圾和生活垃圾，经统一收集后交由环卫部门定期清运。

六、环保设施与保护目标

按照环评报告落实后，医院环保设施配置较全，总体效能良好，可使保护目标所受年剂量低于本次确定的剂量约束值。

七、事故风险与防范

医院制订的辐射事故应急预案和安全规章制度内容较全面、措施可行，应认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

八、辐射安全管理的综合能力

医院按照环评要求完善相关内容后，对本项目辐射设备和场所而言，其具备辐射安全管理的综合能力。

九、项目环保可行性结论

在坚持“三同时”的原则，采取切实可行的环保措施，落实本报告提出的各项污染防治措施，本评价认为从环境保护和辐射防护角度看，本项目在成都市成华区华林一路四川省第一中医医院医疗综合楼内建设是可行的。

十、项目环保竣工验收检查内容

表 13-1 项目环保竣工验收检查一览表

设备机房	辐射安全防护设施		数量（套/个）
10MV 直线加速器	实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	2 套
		铅防护门	2 扇
	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
		加速器治疗床、加速器主机上以及控制台上应具备紧急停机按钮	设备自带
		条件显示连锁、控制超剂量的联锁装置、时间控制连锁	设备自带
		门机连锁、门灯连锁	各 1 套
	警示装置	入口电离辐射警示标志	各 1 个
		入口加速器工作状态显示	各 1 个
		机房内准备出束音响提示	设备自带
		控制台上蜂鸣器	设备自带
	紧急设施	含中文标识紧急开门按钮	各 1 个
		监控、对讲装置	各 1 套
		含中文标识紧急停机按钮	各 3 个
	监测设备	机房内固定式剂量报警仪	各 1 台
		便携式辐射监测仪	1 台
		个人剂量计	11 套
	其他	通风系统	1 套
后装机	实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	1 套
		铅防护门	1 扇
	安全设施	防止非工作人员操作的锁定开关	设备自带
		施源器与源联锁	设备自带
		管道遇堵自动回源	设备自带
		仿真源模拟运行系统	设备自带
		主机外表电离辐射警示标志	设备自带
		控制台显示放射源位置	设备自带
		控制台紧急停止照射按钮	设备自带
		停电或意外中断照射时自动回源装置	设备自带
		手动回源装置	设备自带
		门与源联锁	1 套
		门灯联锁	1 套

	紧急设施	放射源返回储源器的应急开关	1 套
		含中文标识紧急开门按钮	1 套
		备用应急贮源罐	1 套
		长柄夹具	1 套
	警示装置	停电或意外中断照射时声光报警	1 套
		视频监控对讲装置	1 套
		工作状态指示灯	1 套
		电离辐射警示标识	1 套
	监测设备	便携式辐射监测仪	1 套
		固定式剂量监测仪	1 套
		放射源在线监控系统	1 套
	防护用品	个人剂量报警仪	2 台
		个人剂量计	6 套
		铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾（0.5mm 铅当量）等	2 套
	其他	通风系统	1 套
DSA	场所设施	防护墙体	3 套
		机房防护门	9 扇
		操作位局部屏蔽防护设施	3 套
		观察窗	3 套
		含中文标识紧急停机按钮	3 套
		门灯联锁装置	3 套
		对讲装置	3 套
	警示装置	入口处电离辐射警告标志	6 个
		入口处机器工作状态显示	3 套
		操作警示装置	3 套
	监测设备	便携式辐射监测仪	1 个
		个人剂量计	1 套/人
		个人剂量报警仪	12 个
	防护设施	医护人员个人防护	10 套
		患者防护	3 套
	其他	通风系统	2 套
ERCP	场所设施	防护墙体	1 套
		机房防护门	2 扇
		操作位局部屏蔽防护设施	1 套
		观察窗	1 个
		含中文标识紧急停机按钮	1 套
		门灯联锁装置	1 套
		对讲装置	1 套
	警示装置	入口处电离辐射警告标志	2 个
		入口处机器工作状态显示	1 套

	监测设备	操作警示装置	1 套
		便携式辐射监测仪	1 个
		个人剂量计	1 套/人
		个人剂量报警仪	6 个
	防护设施	医护人员个人防护	5 套
		患者防护	2 套
	其他	通风系统	1 套
Ⅲ类医用射线装置	实体防护	墙体、铅防护门、观察窗	3 套
	警示装置	工作状态指示灯	3 套
		电离辐射警告标志	3 套
	紧急设施	门灯联锁装置	3 套
		对讲装置	3 套
	监测设备	个人剂量计	1 套/人
	防护设施	病人、陪护人员防护	3 套
核医学科	其他	通风系统	3 套
	工作场所	防护墙体	/
		铅防护门	/
		观察窗	6 扇
		易去污的工作台面和防污染覆盖材料、铅桶、废物桶	1 套
		活度计	1 套
		注射防护套	2 套
		给药窗口	2 套
		通风柜	2 套
		储源铅罐	2 套
		放射性废物暂存桶	6 个
		放射性废物衰变桶	3 个
		铅防护屏风	6 扇
		对讲和视频监控系统	1 套
		通道门禁	1 套
		场所门外电离辐射警示标志	6 个
	监测设备	固定式剂量报警仪	2 台
		个人剂量计	14 套
		个人剂量报警仪	10 个
		便携式表面污染监测仪	1 套
		便携式X-γ辐射监测仪	1 套
	放射性废物和废液	放射性废水衰变池	1 座
		放射性表面去污用品和试剂	若干
		防护手套、口罩等防护用品	若干
	其他	独立排风系统	1 套
		高效排风过滤器+活性炭吸附装置	1 套

建议和要求

- 1、建设单位应加强与周边公众的沟通，做好解释协调工作。
- 2、落实本报告中的各项辐射防护措施和安全管理制度的。
- 3、定期组织辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的学习与考核，成绩合格单到期，应再次考核。
- 4、每年要对射线装置使用情况进行年度评估，每年 1 月 31 日前将评估结果报送省生态环境厅和当地生态环境部门，安全和防护状况年度评估报告要按照《四川省核技术利用单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》固定的格式进行编制；并且年度评估报告的电子档还应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>）。
- 5、经常检查辐射工作场所的电离辐射标志和电离辐射警告标志，工作状态指示灯，若出现松动、脱落或损坏，应及时修复或更换。
- 6、医院须重视控制区和监督区的管理。
- 7、射线装置在报废处置时，应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化。
- 8、医院在更换辐射安全许可证之前，需登录全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn>），对相关信息进行修改。
- 9、本次环评仅涉及核医学科及工作场所，放疗科和介入射线装置及其工作场所，日后如有新增或者较大变更，应根据相关文件要求进行完善落实。
- 10、若日后核医学科不再使用，医院必须经对乙级非密封放射性工作场所办理退役手续后，方可再行他用。
- 11、加速器退役时，应对加速器部件的感生放射性进行一次调查，测定辐射水平，高于豁免值的部件应作为放射性固体废物进行处理。
- 12、根据原环保部《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4 号）规定：
 - （1）建设单位可登陆生态环境部网站查询建设项目竣工环境保护验收相关技术规范（<http://www.mee.gov.cn>）。
 - （2）项目竣工后，建设单位应当如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收（调查）报告。

(3) 本项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，方可投入使用，未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

(4) 除按照国家需要保密的情形外，建设单位应当通过其网站或其他便于公众知晓的方式，向社会公开下列信息：

① 本项目配套建设的环境保护设施竣工后，公开竣工日期；

② 对项目配套建设的环境保护设施进行调试前，公开调试的起止日期；

③ 验收报告编制完成后 5 个工作日内，公开验收报告，公示的期限不得少于 20 个工作日。

建设单位公开上述信息的同时，应当在建设项目环境影响评价信息平台（<http://114.251.10.205/#/pub-message>）中备案，且向项目所在地生态环境主管部门报送相关信息，并接受监督检查。