

核技术利用建设项目

新增后装治疗机和医用射线装置应用项目

环境影响报告表

（公示本）

叙永县人民医院

二〇二一年三月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

新增后装治疗机和医用射线装置应用项目

环境影响报告表

建设单位名称：叙永县人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：泸州市叙永县叙永镇和平大道 612 号

邮政编码：646400

联系人：***

电子邮箱：***

联系电话：***

目 录

表 1 项目概况.....	1
表 2 放射源.....	10
表 3 非密封放射性物质.....	10
表 4 射线装置.....	11
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	13
表 6 评价依据.....	14
表 7 保护目标与评价标准.....	17
表 8 环境质量和辐射现状.....	21
表 9 项目工程分析与源项.....	20
表 10 辐射安全与防护.....	34
表 11 环境影响分析.....	49
表 12 辐射安全管理.....	89
表 13 结论与建议.....	95

表 1 项目概况

建设项目名称		新增后装治疗机和医用射线装置应用项目				
建设单位		叙永县人民医院				
法人代表		靳***	联系人	***	联系电话	***
注册地址		泸州市叙永县叙永镇和平大道 612 号				
项目建设地点		泸州市叙永县叙永镇和平大道 612 号 叙永县人民医院新院区				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）		***	项目保护投资（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 ）	***
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

叙永县人民医院（统一社会信用代码：125104234510875472）建于1941年，是叙永县唯一一家集医疗、教学、科研、预防和康复为一体的三级乙等综合医院。医院建筑面积3.7万平方米，开放床位600张，设有临床科室18个、医技科室7个。2013年，医院与西南医科大学附院建立对口支援暨医疗技术合作项目关系，成为西南医科大学附属医院叙永医院，2017年起与四川大学华西医院骨科、西南医科大学附属医院心血管学科、肿瘤科、病理科等9个科室成立专科联盟，通过派驻专家、加强人才培养等方式，重点加强专科、科研等建设，建成四川省医学甲级重点专科1个（呼

吸内科），泸州市临床重点专科5个（儿科、骨科、呼吸内科、麻醉科、心血管内科），泸州市临床重点专科建设项目3个（肾病内科、眼科、检验科）。

为满足医疗需求，向患者提供高质量的医疗服务，叙永县人民医院在四川省泸州市叙永县人民医院老院区北部新增建设用地内实施“叙永县人民医院改扩建工程”，项目新增床位450张，扩建医疗综合业务用房65673m²。同时配套建设给排水、供配电、供气、弱电系统、道路、绿化等设施。该项目的建设已于2018年6月由原叙永县环境保护局进行了批复（叙环项函[2018]63号）。项目建成后，叙永县人民医院将形成新老两个院区。

医院拟在新院区内医疗综合楼负二层直线加速器机房内使用1台6MV直线加速器（型号待定，Ⅱ类射线装置）；在模拟定位机房内使用1台模拟定位机（型号待定，Ⅲ类射线装置）、在后装机房内使用1台后装机（内含一枚¹⁹²Ir放射源，额定装源活度为 3.7×10^{11} Bq，为Ⅲ类密封放射源），用于肿瘤治疗；在医疗综合楼四层2间DSA机房内分别使用1台数字减影血管造影系统（型号待定，简称“DSA”，Ⅱ类射线装置），用于介入治疗。

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，2021年1月1日起施行），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，使用Ⅱ类、Ⅲ类放射源”，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，医院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委托后进行了现场踏勘，实地调查了解项目所在地环境条件，在项目区域环境质量现状监测的基础上，按相应标准对项目可能造成的环境影响、项目单位从事相应辐射活动的能力、拟采取的辐射安全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，建设单位叙永县人民医院官方网站上对该项目进行了全文

公示，公示后未收到任何单位和个人有关项目情况的反馈意见。公示网址和截屏如下：<https://www.xyxrmyy.com.cn//Article/ShowArticle.asp?ArticleID=1168>



二、产业政策符合性

本项目系核和辐射技术用于医学领域，属高新技术。根据《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 29 号）相关规定，本项目属于鼓励类第六项“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”和第三十七项“卫生健康”中第 5 款“医疗卫生服务设施建设”，符合国家产业发展政策。

三、项目概况

（一）项目名称、性质、地点

项目名称：新增放射性同位素和医用射线装置应用项目

建设性质：新建

建设单位：叙永县人民医院

建设地点：叙永县人民医院新院区医疗综合楼负二层加速器机房、后装机机房、模拟定位机房和四层 DSA 机房。

（二）建设内容与规模

医院拟在新院区医疗综合楼（已建，地上 17 层，地下 2 层，高 75.2m）负二层使用 1 台 6MV 直线加速器（II类射线装置），1 台模拟定位机（III类射线装置），1 台后装机（内含一枚 ^{192}Ir 放射源，额定装源活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，为III类密封放射源）用于肿瘤治疗；在医疗综合楼四层 DSA 机房使用 2 台数字减影血管造影系统（简称“DSA”，II类射线装置），用于介入治疗。

1、直线加速器

医院电子直线加速器项目位于医疗综合楼负二层，本项目6MV 直线加速器治疗时 X 射线最大能量为6MV，1m 处剂量率为6Gy/min，加速器年诊疗人数最多300人，每人最多治疗25野次，平均每野次出束2min，年出束250h。

机房室内面积约68.4m²（L×B=9.0m×7.6m，不含迷道），四面墙体、迷道和屋顶均为混凝土结构，主射方向朝向西北侧、东南侧、顶部和地面。西北侧和东南侧主屏蔽墙厚均为2700mm、宽均为4200mm，次屏蔽墙厚均为1800mm；顶部主墙厚2700mm、宽4200mm、次屏蔽墙厚1800mm；西南侧 L 型迷道内墙厚1400mm、外墙厚1400mm；东北侧屏蔽墙厚1600mm；防护门为8mm 铅当量单扇电动推拉门。

（2）后装机

后装机项目位于医疗综合楼负二层，后装机房拟使用1台后装机，内含一枚 ^{192}Ir 放射源，额定装源活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，为III类密封放射源，年出束时间约150h。

机房室内面积约30.8m²（L×B=7.0m×4.4m，不含迷道），四面墙体、迷道和屋顶均为混凝土结构。东南侧屏蔽墙与直线加速器机房共用，厚为1800mm；西北侧迷道内墙厚800mm，迷道外墙厚800mm；东北侧、西南侧、屋顶屏蔽墙厚均为800mm；防护门为8mm 铅当量单扇电动推拉门。

（3）模拟定位机

模拟定位机项目位于医疗综合楼负二层，机房内拟配置使用1台模拟定位机（CT），额定管电压140kV，额定管电流800mA，主要用于放疗定位。

模拟定位机房室内面积约39.6m²（L×B=7.6m×5.2m），四面墙体为240mm 实心砖墙+1mm 铅当量硫酸钡涂料，屋顶为250mm 厚混凝土，防护门为3mm 铅当量铅门，观察窗为3mm 铅当量铅玻璃窗。

（4）DSA

DSA 项目位于医疗综合楼四层，分为 DSA-1和 DSA-2，机房内各配置使用1台

DSA，型号待定，额定管电压均为125kV，额定管电流均为1000mA。每台设备用于介入治疗的工作负荷约为400人次/台·年，每台设备年曝光时间为58h（其中透视56h，拍片2h）。

DSA-1机房室内面积约58m²（L×B=7.7m×7.5m），四面墙体为240mm 实心砖墙+1mm 铅当量硫酸钡涂料，屋顶为150mm 厚混凝土+2mm 防护铅板，地面为250mm 厚混凝土，防护门（3扇）为3mm 铅当量铅门，观察窗（1扇）为3mm 铅当量铅玻璃窗。

DSA-2机房室内面积约60m²（L×B=8.1m×7.4m），四面墙体为240mm 实心砖墙+1mm 铅当量硫酸钡涂料，屋顶为150mm 厚混凝土+2mm 防护铅板，地面为250mm 厚混凝土，防护门（3扇）为3mm 铅当量铅门，观察窗（1扇）为3mm 铅当量铅玻璃窗。

项目组成及主要环境问题见表 1-2。

表 1-2 建设项目组成及主要的环境问题表

名称	项目	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	直线加速器	设备、数量	6MV 直线加速器、1 台	噪声、扬尘、 废水、废气、 固体废物	X 射线、臭氧、噪声
		设备型号	待定		
		管理类别	II类		
		使用场所	医院新院区医疗综合楼负二层直线加速器机房		
		年出束时间	250h		
		1m 剂量率	X 射线 1m 处剂量率为 6Gy/min		
	后装机	设备、数量	后装机 1 台（内含一枚 ¹⁹² Ir 放射源，初始活度为 3.7×10 ¹¹ Bq）		γ射线、β射线、臭氧、噪声、废放射源
		管理类别	III类		
		使用场所	医院新院区医疗综合楼负二层后装机房		
		年出源治疗时间	150h		
	模拟定位机	设备、数量	模拟定位机（CT）、1 台		X 射线、臭氧
		设备型号	待定		
		管理类别	III类		
		使用场所	医院新院区医疗综合楼负二层直模拟定位机房		
	数字减影血管	设备、数量	DSA、2 台		X 射线、臭氧、噪声、
		设备型号	待定		

	造影系统 (DSA)	管理类别	II类		医疗废物
		使用场所	医院新院区医疗综合楼负四层 2 间 DSA 机房		
		年出束时间	58h/台		
辅助工程	直线加速器：控制室、水冷机房、更衣室				废水、固体废物
	后装机：控制室				
	模拟定位机：控制室				
	DSA：控制室、设备间、更衣室、准备间				
公用工程	市政水网、市政电网、废水处理站、通排风系统				
办公及生活设施	医生办公室、卫生间等				
环保设施	依托医院污水处理站、医疗废物暂存间等				

(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	主要化学成分
主要原辅材料	造影剂	80L	外购	碘海醇
能源	电(度)	30000	市政电网	-
	气(Nm ³)	-	-	-
水量	地表水(m ³)	300	市政水网	-
	地下水	-	-	-

本项目拟使用造影剂为碘海醇注射液，规格为 100mL/瓶，平均每台介入手术使用 2 瓶，每年约 400 台手术，年使用量约为 80L。由医院统一采购，常温储存，使用后的废包装物按医疗废物处置。

(四) 本项目所涉及的射线装置及放射源

1、本项目涉及的设备见下表：

表 1-3 本项目射线装置

序号	装置名称	数量	型号	设备参数	管理类别	年出束时间	使用场所	备注
1	医用电子直线加速器	1 台	待定	X 射线：6MV，1m 处 最高剂量率：6Gy/min 无电子线	II 类	250h	医疗综合楼负二层直线加速器机房	拟购
2	模拟定位机	1 台	待定	额定管电压 140kV、额定管电流 800mA	III类	4h	医疗综合楼负二层模拟定位机房	拟购

3	DSA	2 台	待定	额定管电压 125kV, 额定管电流 1000mA	II 类	58h/台	医疗综合楼四层 DSA 机房	拟购
---	-----	-----	----	---------------------------	------	-------	----------------	----

2、本项目放射源及特性

本项目拟使用放射源及其特性见表 1-4;

表 1-4 放射源基本参数情况

放射源种类	单枚/单次装源活度	放射源类别	半衰期	年出束时间	辐射类型	辐射最大能量
^{192}Ir	$3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ $\times 1$ 枚	III 类	74.2d	150h	β 射线 γ 射线	$E_{\beta}=0.675\text{MeV}$ $E_{\gamma}=0.468\text{MeV}$

(五) 项目外环境及选址合理性分析

1、项目外环境及选址合理性分析

本项目涉及的辐射工作场所均位于医院医疗综合楼内。项目整体位于医疗综合楼的东南部，其中负二层后装机房、直线加速器机房由西向东呈“一字型”布置，模拟定位机房位于直线加速器机房的西南侧；四层的DSA-1机房、DSA-2机房呈45度角交叉布置。整个项目的西南侧、西北侧、东北侧50m范围内均为医院内部建筑及道路，东南侧50m范围内为医院内道路、医院停车场、医院内绿化、金色摇篮幼儿园（医院外，与医疗综合负二层高差约15m、直线距离最近约30m，与医疗综合楼四层高差约8m，直线距离最近约38m）、叙永镇综合文化站（医院外）。

2、选址合理性分析

本项目所在医院已在“叙永县人民医院改扩建工程”进行环境影响评价并取得批复（叙环项函[2018]63 号，附件 3），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所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对辐射工作人员和公众的照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求，并满足报告表确定的剂量管理约束值的要求。本项目地理位置图见附图 1。

项目选址基础配套设施完善，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。

综上，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。

(六) 劳动定员及工作制度

劳动定员：本项目共配置辐射工作人员 20 人，均为新增辐射工作人员，具体如表 1-5 所示。

工作制度：实行 8 小时工作制，年工作日以 250 天计。

表 1-5 本项目工作人员构成表

/	设备/项目	工作人员	合计
肿瘤治疗组	6MV 直线加速器	医师 2 人、技师 2 人、物理师 1 人、护士 2 人	7 人
	后装机	医师 2 人、技师 1 人、物理师 1 人	4 人
	模拟定位机	技师 1 人	1 人
介入手术组	DSA-1	医师 2 人、技师 1 人、护士 1 人	4 人
	DSA-2	医师 2 人、技师 1 人、护士 1 人	4 人

本项目 DSA 各科室手术工作量分配见表 1-6。

表 1-6 各科室介入手术工作量分配表

使用科室		单台手术最长曝光时间		年手术台数 (台)	年最大出束时间	
		拍片 (min)	透视 (min)		拍片 (h)	透视 (h)
DSA-1	心内科	0.3	10.0	240	1.2	40
	血管外科	0.3	6.0	160	0.8	16
DSA-2	心内科	0.3	10.0	240	1.2	40
	血管外科	0.3	6.0	160	0.8	16
合计				800	116	

四、原有核技术利用情况

(一) 医院原有项目辐射安全许可证情况

医院已取得泸州市生态环境局核发的《辐射安全许可证》（川环辐证[07016]）（附件 5），许可的种类和范围为：使用 III 类射线装置；发证日期：2020 年 4 月 8 日，有效期至 2025 年 4 月 7 日。具体许可项目见表 1-7。

表 1-7 辐射安全许可证已登记的射线装置

序号	装置名称	型号	工作场所	类别	数量 (台)	备注
1	X 射线骨密度检测仪	ProdigyPrimo	内科附属楼 5F	III 类	1	已上 证、 在用
2	西门子 R200 数字胃肠机	AXIOM-ICONOS-R 200	医技行政楼 2F 胃肠室	III 类	1	
3	数字乳腺 X 射线系统	Navigator DR Mammography	医技行政楼 2F 乳腺室	III 类	1	
4	数字化医用 X 射线摄影系统	Multix Fusion 新天龙	医技行政楼 2F DR 室	III 类	1	
5	X 射线诊断系统	AXIOM Aristos VX	医技行政楼 1F	III 类	1	
6	数字化医用 X 射线摄	Multix Select DR	内科楼 1F 体检中心	III 类	1	

	影系统		DR 室			
7	X 射线计算机体层摄影设备 128 层配置	SOMATOM Definition AS	医技行政楼 1FCT 室	III类	1	
8	全景牙片机	Myray Hyperion	医技行政楼 1F 牙片室	III类	1	
9	口腔 X 射线机	KODAK 2100	外科综合楼 2F 口腔科	III类	1	
10	移动式 C 型臂 X 射线机	OEC9900Elite	搬迁前: 医技行政楼 3F 介入室	III类	1	
			搬迁后: 外科综合楼 4F 手术室骨科间 2			
11	移动式 C 型臂 X 射线机	Ziehm Vision	搬迁前: 外科综合楼 4F 手术室骨科间 2	III类	1	
			搬迁后: 外科综合楼 4F 手术室骨科间 1			
12	高频移动手术式 X 射线机	PLX112C	搬迁前: 外科综合楼 4F 手术室骨科间 1	III类	1	闲置
			搬迁后: 库房			
13	DSA	UINQ-FD20	医技行政楼 3FDSA 手术室	II 类	1	已环评

（二）辐射工作人员培训情况

医院现有 54 名辐射工作人员，目前共有 12 名辐射工作人员已经取得了辐射安全与防护培训合格证。

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参加辐射安全与防护知识的学习，医院应尽快安排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试；已取得辐射安全培训合格证的，合格证到期前，需进行再培训。

（三）年度评估报告

医院在全国核技术利用辐射安全申报系统（rr.mee.gov.cn）中提交了“2020年度四川省核技术利用单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告”，医院对2020年度的辐射场所的安全和防护状况以及辐射管理情况进行了评估说明。

（四）是否发生过辐射安全事故

据了解，医院自取得《辐射安全许可证》以来，未发生过辐射安全事故，情况说明见附件4。

表 2 放射源

序 号	核 素 名 称	总活度 (Bq)/ 活度 (Bq)×枚数	类 别	活 动 种 类	用 途	使用场所	贮存方式与地点	备 注
1	^{192}Ir	$3.7 \times 10^{11} / 3.7 \times 10^{11} \times 1$	III	使用	肿瘤治疗	后装机房	内置于后装机内,设备放置于新院区医疗综合楼负二层后装机房内	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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	6MV 直线加速器	II	1	待定	电子	最大 X 射线能量 6MV	X 射线 1m 处剂量率为 6Gy/min	肿瘤治疗	新院区医疗综合楼负二层直线加速器机房内	本次拟购

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA	II	2	待定	125	1000	介入治疗	新院区医疗综合楼四层 DSA 机房内	本次拟购
2	模拟定位机	III	1	待定	140	800	放射治疗前定位	新院区医疗综合楼负二层模拟机机房内	本次拟购
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧	气态	/	/	少量	少量	少量	不暂存	直接排向大气环境
退役铯-137放射源	固态	^{137}Cs	$3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$	约四个月更换一次	/	/	后装机房暂存	由有资质的单位回收

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) 《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)； (5) 《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)； (6) 《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)； (7) 《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)； (8) 《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)； (9) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2021 年 1 月 4 日修订)； (10) 《射线装置分类》(原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号)； (11) 《放射源分类办法》(原国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号)； (12) 《建设项目环境影响评价信息公开机制方案》(环发[2015]162 号)； (13) 《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)； (14) 《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)； (15) 《关于做好 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训和考核工作有关事项的通知》(环办辐射函[2019]853 号)； (16) 《关于贯彻落实 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训和考核
------	--

	工作有关事项的通知》（川环办函[2019]）507 号； （17）《中华人民共和国生态环境部公告》（2019 年第 57 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）《环境地表γ辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）； （4）《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）； （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/T201.3-2011）； （8）《电子直线加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）； （9）《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》（GBZ/T180-2006）； （10）《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》（GBZ165-2012）； （11）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； （12）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； （13）《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104—2017）； （14）《电子辐射工程技术规范》（GB50752-2012）； （15）《医用 X 射线治疗卫生防护标准》（GBZ131-2017）； （16）《医疗照射防护基本要求》（GBZ179-2006）； （17）《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）； （18）《医用放射性固废的卫生防护管理》（GBZ133-2009）； （19）《辐射防护规定》（GB8703-88）； （20）《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019） （21）《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB18599-2001）及 2013 年修改单； （22）《危险废物污染贮存控制标准》（GB18597-2001）及 2013 年修改单

	(23) 《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ121-2017)。
其他	(1) 环评委托书; (2) 《辐射防护手册》(第一分册—辐射源与屏蔽, 原子能出版社, 1987); (3) 《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》(2012 年 3 月); (4) 《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); (5) 叙永县人民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

根据《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）中的相关要求，结合项目特点和现场监测的实际情况，确定辐射环境影响评价的范围：以辐射工作场所实体为边界，周围 50m 范围区域作为评价范围。

保护目标

本项目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。项目运营期产生的电离辐射经实体屏蔽防护后，机房外人员所受年剂量即低于本次评价确定的剂量约束值。由于电离辐射水平与距离的平方成反比，故机房外评价范围内区域人员所受年剂量亦低于本次确定的剂量约束值。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	相对位置	保护目标	照射类型	与辐射源最近距离(m)	人流量 人次/d	剂量约束值 (mSv/a)
直线加速器机房	控制室、水冷机房、更衣室、医生阅片室、治疗计划室、模具制作室、放射物理室（西南侧）	职业人员	职业	8.5	7	5.0
	进风机房、冷冻机房、非燃品库房（西南侧）	公众人员	公众	15.3	10	0.1
	候诊区、诊室、电梯（西北侧）	公众人员	公众	16.8	20	0.1
	停车场（正上方）	公众人员	公众	3.8	50	0.1
	幼儿园、叙永镇综合文化站（东南侧院区外、高差约 15m）	公众人员	公众	42	约 80	0.1
后装机房	控制室（西北侧）	职业人员	职业	5.5	4	5.0
	候诊区、电梯（西北侧）	公众人员	公众	8.4	20	0.1
	候诊区、诊室、冷冻机房、非燃品库房（西南侧）	公众人员	公众	3.6	25	0.1
	停车场（正上方）	公众人员	公众	3.8	50	0.1
	幼儿园、叙永镇综合文化站（东南侧院区外、高差约 15m）	公众人员	公众	48	约 80	0.1
模拟定位机房	控制室（东南侧）	职业人员	职业	4.3	1	5.0
	放射物理室、模具制作室、治疗计划室、医生阅片室（东南侧）	公众人员	公众	6.9	10	0.1
	冷冻机房、非燃品库房（西南侧）	公众人员	公众	5.5	5	0.1
	医生办公室、主任办公室、电梯（西北侧）	公众人员	公众	4.1	20	0.1
	等候区、诊室（东北侧）	公众人员	公众	2.6	20	0.1

	停车场（正上方）	公众人员	公众	3.8	50	0.1
	幼儿园、叙永镇综合文化站（东南侧院区外、高差约 8m）	公众人员	公众	48	约 80	0.1
DSA-1 机房	DSA 机房内	职业人员	职业	0.5	2	5.0
	控制室（西南侧）	职业人员	职业	4.2	1	5.0
	药房、药品调配中心（西南侧）	公众人员	公众	14.4	8	0.1
	医生办公室（东南侧）	公众人员	公众	4.2	15	0.1
	苏醒室、准备区、等候区、无菌品库、UPS 室、过道、楼梯（西北侧）	公众人员	公众	4.6	30	0.1
	牙科、疼痛科、恢复中心（东北侧）	公众人员	公众	27.0	50	0.1
	屋面（正上方）	公众人员	公众	3.2	5	0.1
	自助大厅（正下方）	公众人员	公众	3.5	60	0.1
	幼儿园、叙永镇综合文化站（东南侧院区外、高差约 8m）	公众人员	公众	39	约 80	0.1
DSA-2 机房	DSA 机房内	职业人员	职业	0.5	2	5.0
	控制室（东南侧）	职业人员	职业	3.6	1	5.0
	医生办公室（东南侧）	公众人员	公众	13.6	15	0.1
	药房、药品调配中心（西南侧）	公众人员	公众	5.9	8	0.1
	无菌品库、UPS 室、过道、楼梯（西北侧）	公众人员	公众	4.3	30	0.1
	苏醒室、准备区、等候区、牙科、疼痛科、恢复中心（东北侧）	公众人员	公众	4.6	50	0.1
	更衣室、医生办公室、演示教室（正上方）	公众人员	公众	3.2	20	0.1
	护士站（正下方）	公众人员	公众	3.5	40	0.1
	幼儿园、叙永镇综合文化站（东南侧院区外、高差约 8m）	公众人员	公众	47	约 80	0.1

评价标准

根据泸州市叙永生态环境局关于叙永县人民医院医用射线装置应用项目环境影响评价执行标准的函（叙环项函〔2020〕67 号），本项目环境影响评价执行环境标准具体为：

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: 本项目污水排入院区设置有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。

三、电离辐射剂量

电离辐射执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。

职业照射: 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 第 4.3.2.1 条的规定, 对任何工作人员, 由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量 (但不可作任何追溯平均) 20mSv。四肢 (手和足) 或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv。

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、放射工作场所边界周围剂量率控制水平

1、放射治疗机房

参照《电子直线加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011), 加速器迷道门处、控制室和加速器机房墙体外 30cm 处, 周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h。

参照《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ121-2017) 有关规定, 后装机机房屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h。

2、X 射线诊断装置机房

参照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）有关规定，本项目 DSA、模拟定位机（CT）使用场所在距离机房屏蔽体外表面 30cm 外，周围辐射剂量率应满足：控制目标值不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

3、后装机储源表面

参照《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017），后装治疗机贮源器内装载允许最大活度时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，泄漏辐射的空气比释动能率不得大于 $50\mu\text{Gy/h}$ ，距离贮源器 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射的空气比释动能率不得大于 $5\mu\text{Gy/h}$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目位置、布局和周边环境

项目选址于泸州市叙永县叙永镇和平大道 612 号叙永县人民医院新院区，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综合楼内。项目整体位于综合楼的东南部，其中负二层后装机房、直线加速器机房由西向东呈“一字型”布置，模拟定位机房位于直线加速器机房的西南侧；四层的DSA-1机房、DSA-2机房呈45度角交叉布置。整个项目的西南侧、西北侧、东北侧50m范围内均为医院内部建筑及道路，东南侧50m范围内为医院内道路、医院停车场、医院内绿化、医院外幼儿园、叙永镇综合文化站。 项目现场情况见图8-1。



直线加速器、后装机房建设区域照片



待建设的医院大楼照片



西北侧、东北侧外环境照片



西南侧外环境照片

图 8-1 项目现场照片

本项目主要的污染因子为电离辐射,对环境空气、地表水及地下水影响较小,因此本次评价没有对区域环境空气质量、地表水和地下水环境质量进行监测评价,重点对评价区域开展了辐射环境现状监测评价。

二、监测方法及仪器

为掌握项目所在地的辐射环境现状,2020年1月10日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对项目拟建场所进行了现场监测,监测报告见附件8,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
γ辐射剂量率	《环境地表γ辐射剂量率测定规范》	GB/T14583-93
	《辐射环境监测技术规范》	HJ/T61-2001

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	技术指标	检定/校准情况	
γ辐射剂量率	451P 型加压电离室巡检仪 编号: YKJC/YQ-34	能量响应: 20keV~2.0MeV 测量范围: 0.01μSv/h~50mSv/h	仪器检定/校准单位: 中国测试技术研究院 有效期限: 2019.07.19~2020.07.18 校准因子: 0.96	符合仪器使用条件

二、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。

三、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 γ 辐射剂量率单位： $\mu\text{Sv/h}$

编号	γ 辐射剂量率		监测位置	备注
	测量值	标准差		
1	0.09	0.008	拟建项目东北侧	室外
2	0.09	0.009	拟建项目东南侧	室外
3	0.08	0.007	拟建项目西南侧	室外
4	0.09	0.008	拟建项目西北侧	室外
5	0.10	0.010	拟建项目东南侧幼儿园（院区外）	室外
6	0.10	0.009	叙永镇综合文化站	室外

由监测报告得知，项目所在区域的 X- γ 辐射空气吸收剂量率背景值为 $0.08\sim 0.10\mu\text{Sv/h}$ ，在普通生活环境状态下，辐射类型权重因子按 1 进行考虑，则室外 X- γ 辐射剂量率背景值为 $80\text{nGy/h}\sim 100\text{nGy/h}$ ，上述监测结果与《四川省生态环境状况公报 2019 年》中四川省电离辐射环境监测自动站测得的 X- γ 辐射空气吸收剂量率（ $76.8\text{nGy/h}\sim 163\text{nGy/h}$ ）处在同一水平，属于当地正常辐射水平。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、施工期

本项目辐射工作场所土建工程属于“叙永县人民医院改扩建工程”建设内容之一，其施工期环境影响包含在《叙永县人民医院改扩建工程环境影响报告表》中，批复文号为（叙环项函[2018]63号，附件3）。

本项目机房还需进行设备安装、管线敷设、铅玻璃窗、铅防护门及其他环境保护设施的安装等，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产生环节见图9-1。

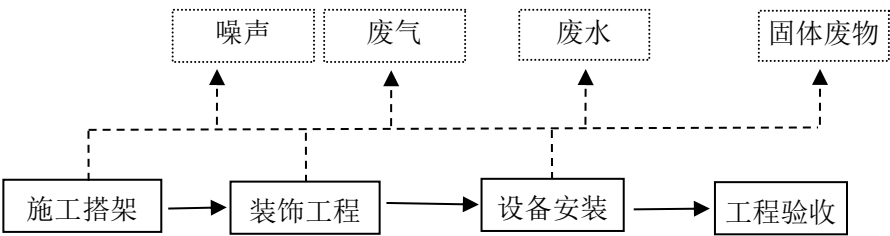


图 9-1 施工期工艺流程及污染物产生环节图

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ201.1-2007）中相关要求，本项目在施工期严格按照施工规范进行施工，机房的混凝土浇筑一次整体浇筑并有充分的振捣，以防出现裂缝和过大的气孔。

在后期的室内装修及其他辐射防护设施安装过程中，在机房内、外墙上的电气部件（如配电箱、激光定位器等）的部位，应与同侧墙具有同等的屏蔽；迷道的防护门结构应考虑门因自身重量而发生形变、频繁开关门的振动连接松动、屏蔽体老化龟裂等问题，防护门应尽可能减小缝隙泄露辐射，通常防护门宽于门洞的部分应大于“门-墙”间隙的十倍，墙体与防护门应有足够的搭接宽度，应预留防护门下沉沟槽。

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、运营期

（一）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。本项目医院拟购买 6MV 直线加速器 1 台，属Ⅱ类射线装置，其结构图见图 9-2，具体参数见表 9-1；

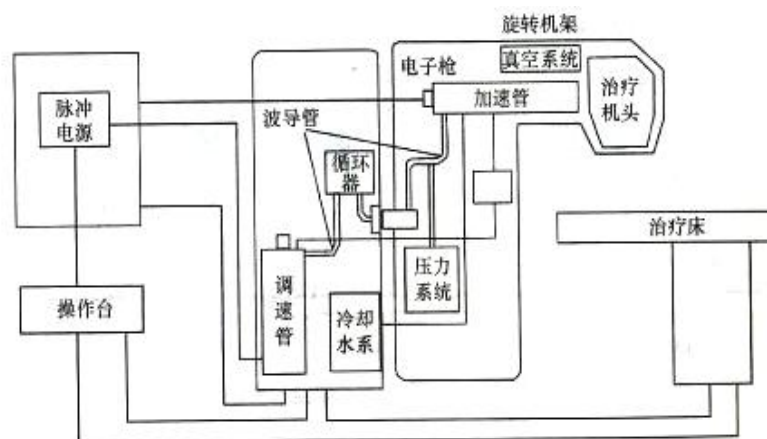


图 9-2 医用直线加速器结构示意图

表 9-1 6MV 医用直线加速器参数

厂家、型号	待定
最大 X 射线能量	6MV
X 射线泄漏率	≤0.1%
X 射线 1m 处最大剂量率	6Gy/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、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。

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、臭氧以及风机、水冷机房水泵产生的噪声。

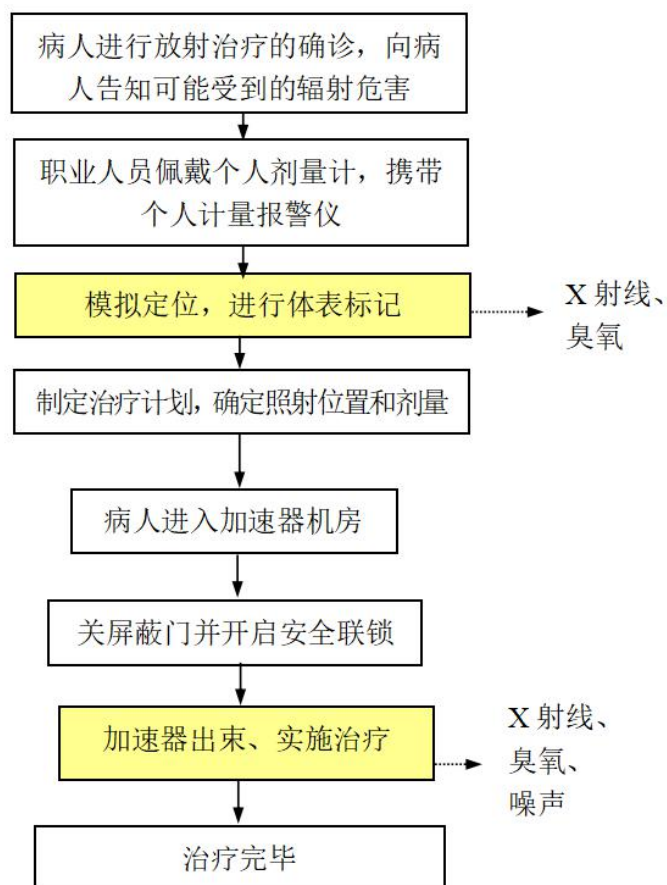


图 9-3 医用电子直线加速器治疗流程及产污环节图

3、人流、物流路径规划

(1) 工作人员路径：辐射工作人员完成模拟定位工作后，进入直线加速器机房协助患者进行摆位，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经模拟定位后，进入直线加速器机房，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。

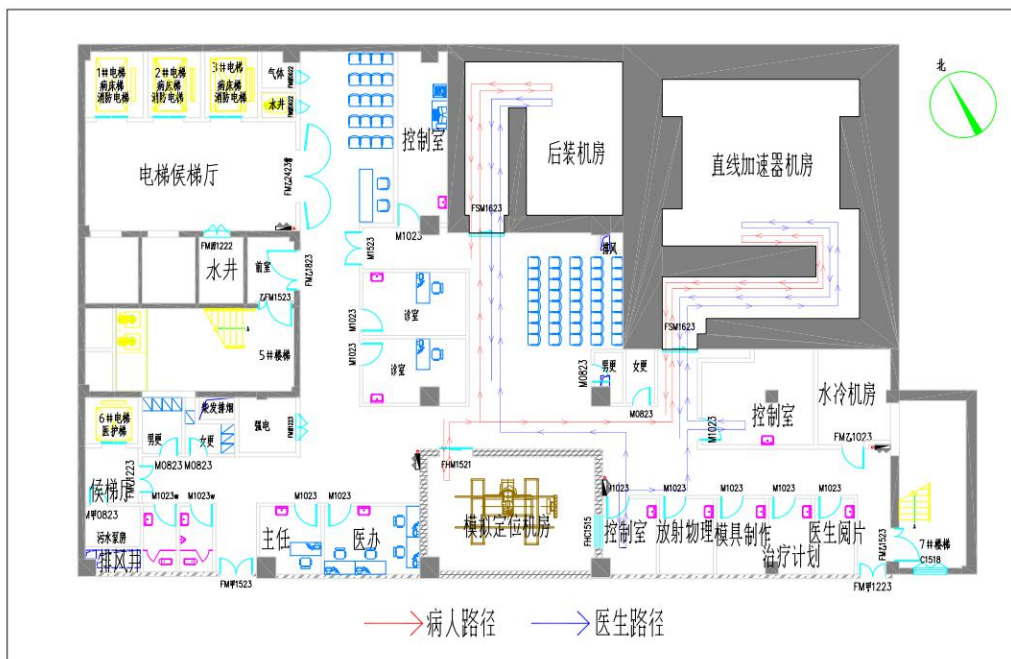


图 9-4 直线加速器区域人流、物流路径示意图

(二) 后装机

本项目后装机拟使用 1 枚铯-192 放射源，设计装源活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ (10Ci)，属Ⅲ类放射源。半衰期为 74.2 天，衰变过程会发出的 γ 射线衰变过程会发出的 β 、 γ 射线；当放射源衰变至其活度不能满足放射治疗需要时，将更换放射源，从而产生退役后的废放射源。

1、工作原理

后装机主要由驱动装置、计算机、打印机、贮源室、治疗床、 γ 射线报警仪、施源器及其定位支架组成。

后装机工作原理主要是预先在病人体内的自然腔、管道或组织的病灶需要治疗的部位正确地放置施源器，将放射源输入到施源器内，使放射源发出的射线对人体自然腔、管道或组织的病灶进行治疗。治疗结束后，源再经导管由治疗机收回贮源器。

2、治疗流程治疗过程如下：

- ①对病人进行确诊，告知辐射危害；
- ②患者经模拟定位后进入后装治疗室，将施源器插入病人肿瘤治疗部位并固定好；
- ③沿施源器通道放入定位缆，用 X 线模拟定位机定位，确定靶区，制定治疗计划；

（三）数字减影血管造影系统（DSA）

（1）设备组成

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（digitalsubtractionangiography, 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。

介入治疗流程：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 0.3~1.0m 处。介入治疗中，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 1.5~2.0m 处。介入治疗中，通过观察各类监控屏

辅助开展治疗。

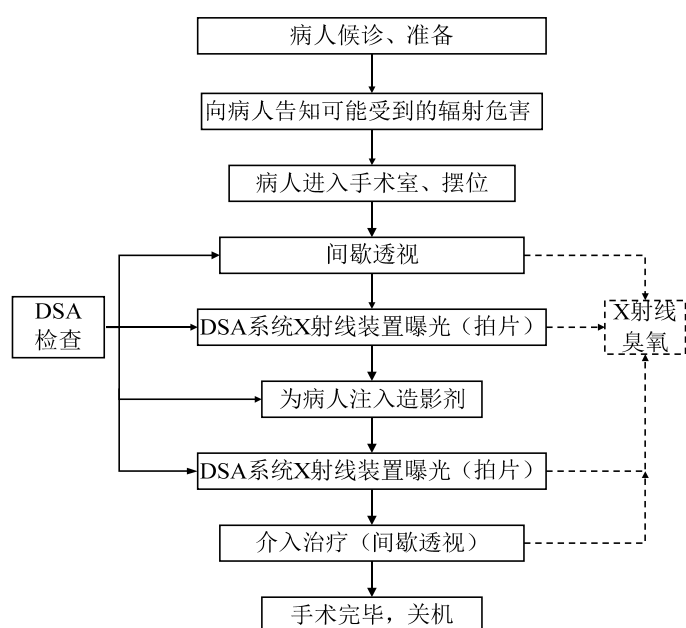


图 9-7 DSA 治疗流程及产污环节图

4、人流、物流的路径规划

①工作人员路径：辐射工作人员由首先进入洁净走廊，然后进入更衣室，技师进入操作室，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候诊区进入缓冲准备区，然后进入 DSA 手术室接受手术，手术完成后沿原路径离开。

③物流路径：手术室产生的医疗废物收集后经设置的污物通道离开手术室。

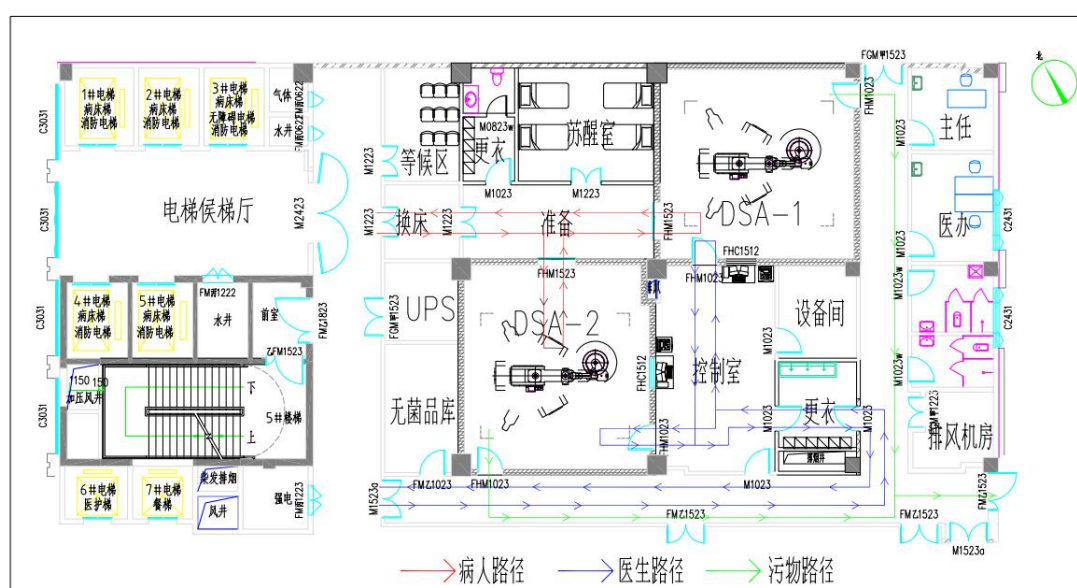


图 9-8 DSA 机房人流、物流路径示意图

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、医用电子直线加速器

根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011），对于最大 X 射线能量 $\leq 10\text{MV}$ 的加速器可以不用考虑中子和感生放射性的辐射影响。本项目拟购 1 台加速器 X 射线最大能量为 6MV，故项目运行期加速器产生的主要污染物为 X 射线、臭氧和噪声。

X 射线：本项目拟使用的医用电子直线加速器利用 X 射线对患者病灶部位进行照射。X 射线随加速器的开、关而产生和消失。因此，加速器开机期间内，X 射线为主要辐射环境污染因素，辐射途径为外照射。

臭氧：加速器开机运行时，产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量氮氧化物(NO_x)和臭氧(O_3)，相比之下臭氧的产额高，臭氧危害性较氮氧化物大，氮氧化物的影响可忽略。

噪声：主要为机房通风系统机组，机组均采用低噪声节能风机，其噪声值一般低于 60dB(A)。

2、后装机

β 、 γ 射线：后装治疗机使用 1 枚铯-137 放射源，为密封源，活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ (10Ci)。铯-137 密封源会产生 β 、 γ 射线，在送源、回源及密封源在病灶位置照射时 β 、 γ 射线会对周围环境造成一定程度的辐射影响。

臭氧：后装治疗机运行过程中产生的 γ 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧(O_3)。

退役放射源：在放射源使用一定年限后，放射源衰变至其活度不能满足放射

治疗需要时，将更换放射源，从而产生退役的废铯-137 放射源。

3、数字减影血管造影系统（DSA）

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、关而产生和消失。

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。

4、模拟定位机

X 射线：模拟定位机出束时，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 射线随模拟定位机的开、关而产生和消失。

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

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	使用场所	主要污染因子
6MV医用电子加速器	新院区医疗综合楼负二层直线加速器机房	X 射线、臭氧、噪声
后装机	新院区医疗综合楼负二层后装机房	β、γ射线、臭氧、退役放射源
DSA	新院区医疗综合楼四层DSA机房	X 射线、臭氧、噪声、固体废物（废一次性医用器具、废药棉、手套等医疗废物）
模拟定位机	新院区医疗综合楼负二层模拟定位机机房	X射线、臭氧

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

本项目医用射线装置及后装机均位于医院医疗综合楼，其中直线加速器、后装机及模拟定位机位于医疗综合楼地下负二层东南侧，DSA 手术室位于医疗综合楼地上四层东南侧。各区域平面布置描述如下：

后装机、直线加速器于医疗综合楼地下负 2 层东南侧从左至右依次布置，东南侧、东北侧为地下土体，西北侧为依次为等候区、电梯、地下土体，西南侧依次为诊室、模拟定位机房、放射物理室、模具制作室、治疗计划室、医生阅片室、库房、进风机房、冷冻机房、非燃品库房等，正上方为地下负一层车库；DSA 手术室位于医疗综合楼地上 4 层东南侧。DSA-1 手术室东南侧为医生办公室，西南侧依次为药房、药品调配中心，西北侧为苏醒室、准备区、等候区、无菌品库、UPS 室、过道、楼梯，东北侧依次为牙科、疼痛科、恢复中心，正上方为人员可达到屋面，正下方为自助大厅；DSA-2 手术室东南侧为控制室、医生办公室、更衣室、医生办公室、排风机房，西南侧依次为药房、药品调配中心，西北侧为无菌品库、UPS 室、过道、楼梯，东北侧为苏醒室、准备区、等候区、牙科、疼痛科、恢复中心，正上方为更衣室、医生办公室、演示教室，正下方为护士站。

本项目各辐射工作场所设有专用的候诊区域，就诊通道，医生用房独立成区，病人、医生流线尽量互不交叉。医院总图布置时已考虑了项目特点和周围环境对本项目可能存在的影响，使各科室病人能够就近诊疗，这样既方便了诊疗，又使辐射工作场所相对集中，以便于医院对医用射线装置和放射源的集中统一管理。

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、后装机机房划分为控制区，而控制室及与机房相邻的配套用房划分为监督区。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
直线加速器	直线加速器机房（含迷道）	控制室、水冷机房、更衣室及相邻走道
后装机	后装机机房（含迷道）	控制室及相邻走道
DSA	DSA 机房	控制室、设备间、更衣室、准备区及相邻走道
模拟定位机	模拟定位机房	控制室及相邻走道

医院需重视控制区和监督区的管理，进行分区管理。

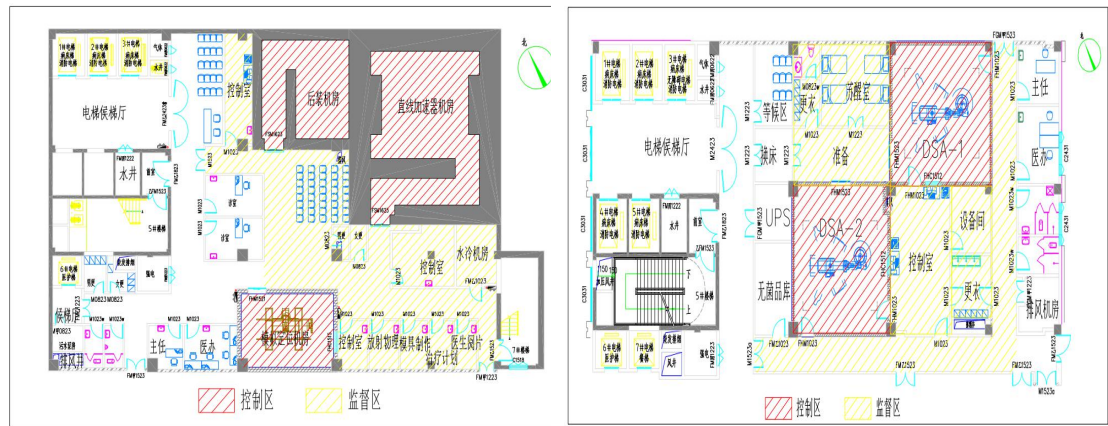


图 10-1 控制区监督区划分示意图

三、辐射防护设施及措施

（一）医用电子直线加速器的安全与防护

1、辐射屏蔽防护措施

医院对直线加速器机房采取了实体屏蔽措施，对机房使用面积按照《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）进行校核，结果表明机房实际使用面积约68.4m²，大于GBZ126-2011要求的机房实际使用面积为45m²。机房墙体、

迷道和顶部均采用混凝土作为防护，防护门为8mm铅当量单扇电动推拉门。对照《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6MV直线加速器机房墙体屏蔽满足《GBZ/T201.2-2011》的相关要求，具体如表10-2所示：

表 10-2 直线加速器机房的实体防护设施表

场所	机房 面积	墙体		防护门	顶部
		结构及厚度		结构及厚度	结构及厚度
直线 加速 器机 房	68.4m ² (不含迷道)	东南侧	主屏蔽墙 2700mm 混凝土 宽 4200mm 混凝土 次屏蔽墙 1800mm 混凝土	8mm 铅当量单扇电 动推拉门	主屏蔽墙： 2700mm 宽：4200mm 次屏蔽墙： 1800mm
		西北侧	主屏蔽墙 2700mm 混凝土 宽 4200mm 混凝土 次屏蔽墙 1800mm 混凝土		
		东北侧	1600mm 厚混凝土		
		西南侧迷道	内墙为 1400mm 厚混凝土、 外墙为 1400mm 厚混凝土		
相关 标准 要求	≥45m ²	/			

备注：混凝土密度：2.35g/cm³、铅密度：11.3g/cm³

2、通排风系统

加速器机房设有通排风系统，排风口位于西南侧的屏蔽墙下部，距地面约0.3m，以“Z”型路径穿墙，排风口由直径750×200mm的镀锌铁皮管道沿墙体连接至排风井，与后装机房排风汇合后，抽出的臭氧再由排风井引至屋顶排放。换气次数共计6次/小时，排风量约1890m³/h。进、排风口设计符合辐射防护要求，排风量及频率满足相关设计规范要求。通排风系统示意图见附图8。

3、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联系。机房内四周墙体距顶200mm、迷道口距顶200mm处均安装有监控装置，保证机房内监控全覆盖。

（2）门机联锁装置：加速器与屏蔽门之间拟设联锁装置。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）紧急制动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制动按钮外，机房内墙非主射线位置上、迷道门出口处均设置有紧急制动按钮，以使误入人员按动紧急制动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）在加速器机房墙上安装固定式剂量报警装置（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。

（6）时间防护：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。

（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，医院设备科人员仅对加速器进行日常维护（如电路、开关、机电等维护）。

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。

4、设备固有安全性分析

（1）加速器只有在通电开机时才有 X 射线产生，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）条件显示联锁：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）控制台上设有蜂鸣器，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）有时间控制联锁，当超过预选照射时间后，定时器能独立使照射停止。

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 射线对人员的辐射危害和降低辐射事故的发生率。

（二）后装机的安全与防护

1、辐射屏蔽防护措施

后装机房辐射屏蔽实体防护措施见下表。

表10-3后装机房的实体防护设施表

场所名称	辐射防护设计情况
后装机机房	后装机机房东南侧屏蔽墙厚 1800mm，与直线加速器机房共用，西北侧迷道内墙厚 800mm，迷道外墙厚 800mm；东北侧屏蔽墙厚 800mm；西南侧屏蔽墙厚 800mm；屋顶厚 800mm；防护门为 8mm 铅当量单扇电动推拉门。

备注：表中材料混凝土的密度为 2.35g/cm^3 ，铅的密度为 11.3g/cm^3 ，屏蔽门使用铅防护门。

2、通风系统

后装机房设置有排风系统，排风口位于西南侧的屏蔽墙下部，距地面约 0.3m，以“Z”型路径穿墙，排风口由直径 $500\times 200\text{mm}$ 的镀锌铁皮管道沿墙体连接至排风井，抽出的臭氧再由排风井引至医疗综合楼屋顶朝向西侧排放。

3、辐射防护措施

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后装机机房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治疗室应有迷道，治疗室内有固定式辐射监测仪，治疗室门要与出束联锁（门-机联锁），与固定式辐射剂量监测仪联锁（门-剂量联锁），与工作状态显示联锁（门-灯联锁）。

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后装机机房拟配备电视监控对讲装置；后装机机房内拟设置固定式剂量监测仪。

⑦后装机机房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在后装机机房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。

4、设备固有安全措施

本项目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。

5、放射源的贮存及处理

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。

后装机机房不得存放易燃、易爆物品，配备专门的灭火器材。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。

（三）DSA 的安全与防护

1、辐射屏蔽防护措施

根据医院提供防护设计资料，对照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C查询，机房实体防护设施铅当量折合估算见表10-4，根据机器特性，在实际使用中不会使用到最大管电压125kV，但保守估计，在折合屏蔽体铅当量时，仍按照125kV下辐射衰减拟合参数进行铅当量折算。参照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），根据最大工况下管电压和不同屏蔽体材料铅当量厚度，本项目机房与标准屏蔽措施对照，具体见表10-5。

表 10-4 DSA 手术室的实体防护设施铅当量折合对照表

机房	位置	实体结构	折合铅当量
DSA-1	四周墙体	240mm 实心砖墙+1mm 硫酸钡水泥涂料	约合 3mmPb
	屏蔽门	3mm 铅当量铅门	3mmPb
	观察窗	3mm 铅当量铅玻璃窗	3mmPb
	屋顶	150mm 混凝土+2mm 铅当量防护铅板	约合 3.5mmPb
	地面	250mm 混凝土	约合 3mmPb
DSA-2	四周墙体	240mm 实心砖墙+1mm 硫酸钡水泥涂料	约合 3mmPb
	屏蔽门	3mm 铅当量铅门	3mmPb
	观察窗	3mm 铅当量铅玻璃窗	3mmPb
	屋顶	150mm 混凝土+2mm 铅当量防护铅板	约合 3.5mmPb
	地面	250mm 混凝土	约合 3mmPb

表 10-5 机房的实体防护设施对照表

机房	机房规格	四周墙体	屏蔽门	观察窗	地面	楼顶
		结构及厚度	结构及厚度	结构及厚度	结构及厚度	结构及厚度
DSA-1机房	机房净空面积58m ² , 机房最小单边长度7.5m	240mm 实心砖墙+1mm 硫酸钡水泥涂料 (约合3mmPb)	3mm铅当量铅门 (3mmPb)	3mm铅当量铅玻璃窗 (3mmPb)	250mm混凝土 (约合3mmPb)	150mm 混凝土+2mm 铅当量防护铅板 (约合3.5mmPb)
DSA-2机房	机房净空面积60m ² , 机房最小单边长度7.4m	240mm 实心砖墙+1mm 硫酸钡水泥涂料 (约合3mmPb)	3mm铅当量铅门 (3mmPb)	3mm铅当量铅玻璃窗 (3mmPb)	250mm混凝土 (约合3mmPb)	150mm 混凝土+2mm 铅当量防护铅板 (约合3.5mmPb)
放射诊断放射防护要求	最小有效使用面积20m ² , 机房内最小单边长度3.5m	非有用线束2mm铅当量	非有用线束2mm铅当量	非有用线束2mm铅当量	非有用线束2mm铅当量	有用线束2mm铅当量
备注	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求

注：混凝土密度为 2.35g/cm³、铅板密度 11.3g/cm³、砖密度为 1.85g/cm³

2、通风系统

DSA 机房排风系统拟采用新风系统排换气，产生的废气通过排放管道进入排风机房，然后经排风机房排放至医疗综合楼外。

3、辐射防护措施

(1) 门灯联锁：DSA手术室门外顶部拟设置工作状态指示灯箱。防护门关闭时，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。

(2) 紧急止动装置：控制台上、介入手术床旁拟设置紧急止动按钮（各按钮分别与X线系统连接）。DSA系统的X线系统出束过程中，一旦出现异常，按动任一紧急止动按钮，均可停止X线系统出束。

(3) 操作警示装置：DSA系统的X线系统出束时，控制台上的指示灯变色，同时蜂鸣器发出声音。

(4) 对讲装置：在DSA手术室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手术室或手术室内的手术人员联系。

(5) 警告标志：DSA手术室的防护门外的醒目位置，设置明显的电离辐射警告标志。

4、设备固有安全性

本项目配备的 DSA 已采取如下技术措施：

（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可以选用的各种形状与规格的准直器隔板和铝过滤板。

（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（last image hold, LiH）。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：DSA 配备床下铅帘（0.5mmPb）和悬吊铅帘（0.5mmPb）、铅屏风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放射防护与安全措施。

（7）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；同时在操作台和介入手术床体旁上均设置“紧急止动”按钮，一旦发生异常情况，工作人员可立即按下此按钮来停止照射。

5、人员的安全与防护

（1）距离防护

DSA 手术室严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，且在机房的人员通道门的醒目位置将张贴固定的电离辐射警告标志并安装工作状态指示灯箱。限制无关人员进入，以免受到不必要的照射。

（2）时间防护

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

人受到额外剂量的照射。根据医院的实际情况，医院的 DSA 主要用于介入手术、血管造影等。

（3）屏蔽防护

隔室操作：辐射工作人员采取隔室操作方式，通过操作室与机房之间的墙体、铅门和铅玻璃窗屏蔽 X 射线，以减弱或消除射线对人体的危害。

个人防护用品和辅助防护设施：辐射工作人员配备个人防护用品（铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等），防护厚度为 0.5mm 铅当量。

（四）模拟定位机的安全与防护

1、辐射屏蔽措施

模拟定位机房辐射屏蔽实体防护措施见下表：

表10-6 CT机房的实体防护设施对照表

机房	使用面积	结构及厚度			
		四周墙体	屏蔽门	观察窗	顶部
模拟定位机机房	39.6m ² （最小单边长度 5.2m）	240mm实心砖墙 +1mm铅当量硫酸 钡水泥涂料 （3mm铅当量）	3mm 铅当量	3mm 铅当量	250mm 混凝土 （3mm铅当量）
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 4.5m	2.5mm 铅当量			
备注	满足要求				

备注：表中材料混凝土的密度为 2.35t/m³，铅的密度为 11.3t/m³，屏蔽门使用铅防护门，观察窗使用铅玻璃。

2、辐射防治措施

（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联锁等安全设施。

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。

三、辐射安全防护设施对照分析

根据《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》和《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查大纲》（川环函[2016]1400号），将本项目的设施、措施进行对照分析，见表 10-7。

表 10-7 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
6MV 医用电子直线加速器			
实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	已设计	/
	铅防护门	已设计	/
控制台及安全联锁	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、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	已设计	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	已设计	保证机房全覆盖
	有中文标识的紧急停机按钮	已设计	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	/
其他	通风系统	已设计	/
后装机			
场所设施	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	已设计	/
	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	满足
	¹⁹² Ir 源专用贮源罐	设备自带	满足
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	/
紧急设施	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	满足
	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	满足
监测设备	便携式辐射监测仪	计划配备	与直线加速器共用
	后装机机房内固定式剂量监测仪	计划配备	/
	放射源在线监控系统	计划配备	/
	个人剂量报警仪	计划配备	/
	个人剂量计	计划配备	/
其他	通风系统	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	/
	有中文标识的紧急停机按钮	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	与直线加速器共用

	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	/
其他	通风系统	已设计	/
模拟定位机（CT）			
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	门灯连锁装置	已设计	
	室内安装紧急止动装置	已设计	/
	对讲装置	已设计	/
监测设备	个人剂量计	计划配备	/
其他	通风系统	已设计	/

四、环保投资

为了保证本项目安全持续开展，根据相关要求，医院将投入一定资金建设必要的环保设施，配备相应的监测仪器和防护用品，本项目环保投资估算见表 10-8。

表 10-8 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）
6MV 直线加速器			
实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	1 套	***
	铅防护门	1 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、控制超剂量的连锁装置、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	1 个	***
	入口加速器工作状态显示	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	紧急开门按钮	1 个	***
	监控、对讲装置	1 套	***
	紧急停机按钮	3 个	***
监测设备	机房内固定式剂量报警仪	1 台	***
	便携式辐射监测仪	1 台	***
	个人剂量报警仪	7 个	***
	个人剂量计	7 套	***

其他	通风系统	1 套	***
后装机			
场所设施	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	***
	防护墙体、后装机机房迷道、铅防护门、防盗门	各 1 套	***
	¹⁹² Ir 源专用贮存柜	设备自带	***
警示装置	入口处电离辐射警告标志	1 个	***
	入口处机器工作状态显示	1 个	***
	操作警示装置	1 套	***
紧急设施	放射源返回储源器的应急开关	1 套	***
	机房门与源联锁	1 套	***
	紧急开门按钮	1 套	***
	备用应急贮源罐	1 套	***
监测设备	便携式辐射监测仪	1 台	***
	后装机机房内固定式剂量监测仪	1 套	***
	放射源在线监测仪	1 套	***
	个人剂量报警仪	4 个	***
	个人剂量计	4 套	***
其他	通风系统	1 套	***
DSA			
场所设施	防护墙体	2 套	***
	机房防护门	6 扇	***
	操作位局部屏蔽防护设施	2 套	***
	观察窗	2 套	***
	紧急停机按钮	2 套	***
	门灯联锁装置	2 套	***
	对讲装置	2 套	***
警示装置	入口处电离辐射警告标志	4 个	***
	入口处机器工作状态显示	2 套	***
	操作警示装置	2 套	***
监测设备	便携式辐射监测仪	1 台	***
	个人剂量计	8 套	***
	个人剂量报警仪	8 个	***
防护设施	医护人员个人防护	4 套	***

	患者防护	2 套	***
其他	通风系统	2 套	***
模拟定位机（CT）			
实体防护	墙体、铅防护门、观察窗	1 套	***
警示装置	工作状态指示灯	1 套	***
	电离辐射警告标志	1 套	***
紧急设施	门灯联锁装置	1 套	***
	室内安装紧急制动装置	1 套	***
	对讲装置	1 套	***
监测设备	个人剂量计	1 套	***
其他	通风系统	1 套	***
合计			203.62

本项目总投资***万元，环保投资***万元，占总投资的***。今后医院在医用射线装置应用项目实践中，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“叙永县人民医院改扩建工程”建设内容之一，其施工期环境影响包含在《叙永县人民医院改扩建工程环境影响报告表》中，批复文号为（叙环项函[2018]63号）。本项目机房还需进行设备安装、管线敷设、铅玻璃窗、铅防护门及其他环境保护设施的安裝等，施工期将产生少量扬尘、噪声、生活污水及固体废物。施工期主要防护措施有：

1、大气污染防治措施

①施工场地扬尘可用洒水和清扫措施予以抑止。

②施工期内多加注意施工设备的维护，使其能够正常的运行，从而可以避免施工机械因故障而使产生的废气超标的现象发生。

③加强对施工人员的环保教育，提高全体施工人员的环保意识，坚持文明施工、科学施工、减少施工期的大气污染。

2、噪声防治措施

①门窗、预制构件、大部分钢筋的成品、半成品在工厂完成，减少施工场地内加工机械产生的噪声；

②不得随意扔、丢，减少金属件的碰击声；

③加强现场运输车辆出入的管理，车辆进入现场禁止鸣笛；

④施工单位通过文明施工、加强有效管理，材料堆放必须轻拿轻放；

⑤施工单位在现场张贴通告和投诉电话，建设单位在接到投诉电话后及时与当地生态环境部门联系，以便及时处理各种环境纠纷。

3、固废防治措施

①产生的弃土、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，进入医院既有污水处理站进行处理，处理后的废水排入市政污水管网。

5、防辐射泄露施工要求

根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）和《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），本项目机房在施工期间应做到：本项目直线加速器机房墙体应进行整体浇筑，使用满足要求的混凝土，强度等级应不低于C50、S8；穿过加速器机房墙体的各种管道、电缆在主屏蔽墙以外的墙体贯穿，贯穿口采用斜穿方式；根据《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）4.8.8：防护门结构应考虑因自身重量而发生形变，频繁开关时的振动连接松动、屏蔽体老化龟裂等原因，其宽于门洞的部分应大于“门—墙”间隙的十倍。

运行阶段对环境的影响

一、X射线环境影响分析

（一）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6MV直线加速器机房，主屏蔽区包括屋顶及墙体部分位置，主射线的最大出束角度为 28° 。根据《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）的相关规定，主屏蔽宽度校核公式如下：

$$Y_p = 2[(a + SAD) \tan \theta + 0.3] \quad (\text{式11-1})$$

式中： Y_p —机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD—源轴距，m；

θ —治疗束的最大张角；

a—等中心点至“墙”的距离，m（当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽相连接的次屏蔽墙的内表面；当主屏蔽区向机房外凸时，“墙”指主屏蔽区墙的外表面）。

主屏蔽区示意图如图11-1，宽度校核结果见表11-1。

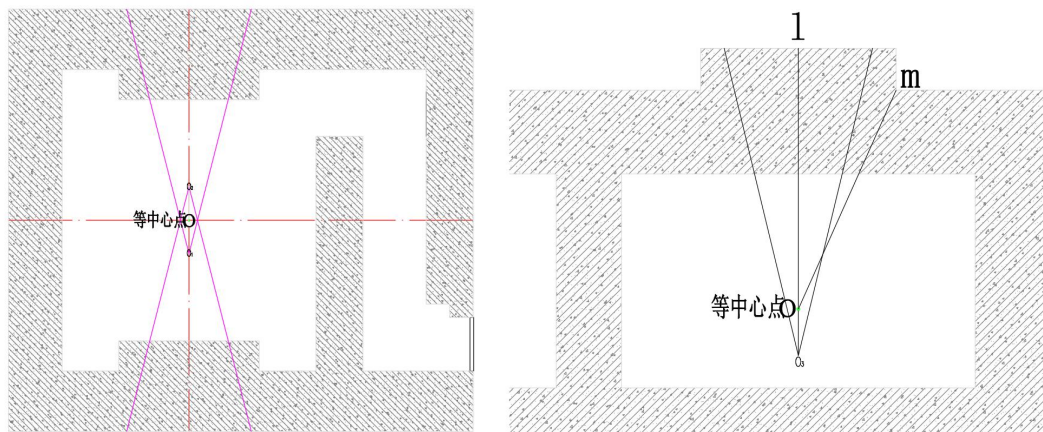


图 11-1 本项目加速器机房主射屏蔽范围计算示意图

表 11-1 本项目加速器机房主屏蔽区宽度校核表

等中心点至“墙”的距离(m)	主屏蔽区宽度计算值(m)	主屏蔽区宽度设计值(m)	结论
距西北侧主屏蔽墙体 4.5	$2 \times [(4.5+1)\tan 14^\circ + 0.3] = 3.34$	4.20	满足要求
距东南侧主屏蔽墙体 4.5	$2 \times [(4.5+1)\tan 14^\circ + 0.3] = 3.34$	4.20	满足要求
距顶部主屏蔽墙体 5.5	$2 \times [(5.5+1)\tan 14^\circ + 0.3] = 3.84$	4.20	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摆位方式进行安装，杜绝安装后主射方向超出主屏蔽范围的情况出现。

2、加速器机房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），本项目加速器机房拟建在医疗综合楼负二层，下方没有地下室。

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。

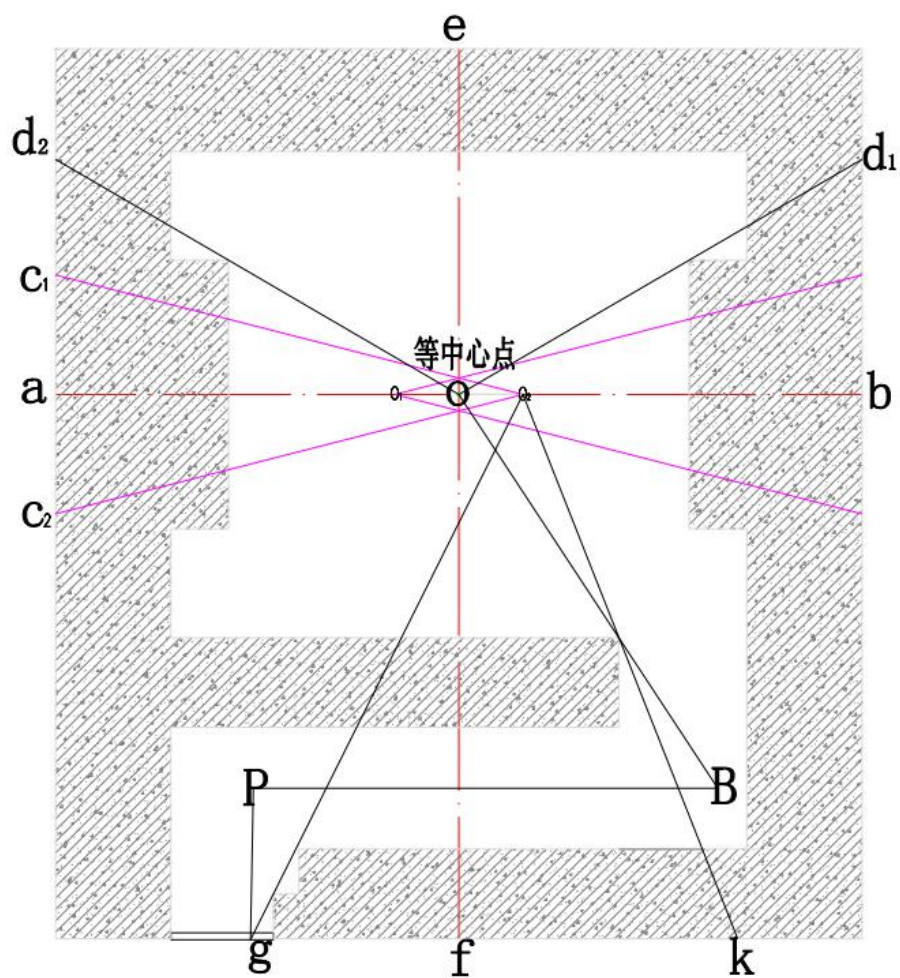


图 11-2 本项目加速器机房关注点及主要照射路径示意图（平面）

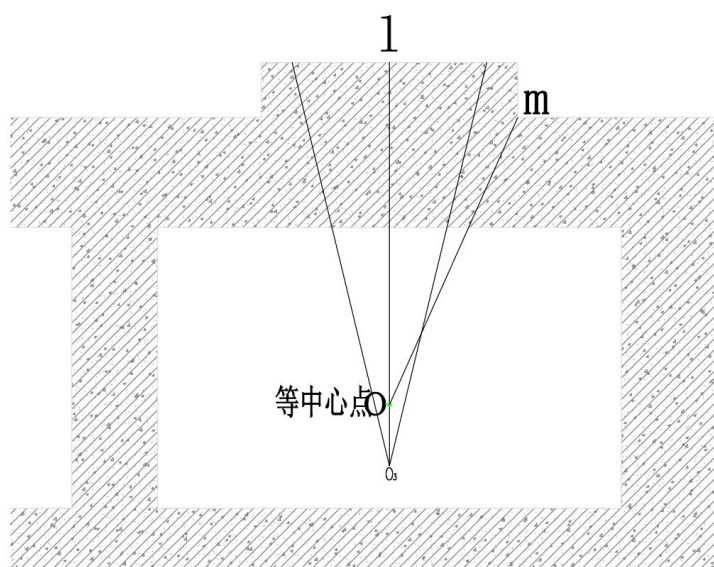


图 11-3 本项目加速器机房关注点及主要照射路径示意图（剖面）

(2) 剂量率参考水平

参考《电子直线加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011), 加速器迷道门处、控制室和加速器机房墙体外 30cm 处, 周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 故本次 6MV 加速器机房外各关注点的剂量率参考控制水平均为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

3、加速器机房屏蔽体厚度校核

(1) 主屏蔽区、迷道内墙和外墙厚度校核

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。

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

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

$$X_1 = Xe \cos \theta \dots\dots\dots(\text{式 11-4})$$

式中:

B—屏蔽透射因子;

H_c —剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv/h}$;

H_0 —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv.m}^2/\text{h}$; 本项目为 $3.60 \times 10^8 \mu\text{Sv.m}^2/\text{h}$;

R—辐射源点(靶点)至关注点的距离, m;

f—有用束为 1; 泄漏辐射为主射射线比率(0.1%)

θ —斜射角, 即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角;

TVL_1 (cm) 和 TVL (cm)—辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度;

Xe—墙体有效屏蔽厚度, cm;

X_1 —墙体屏蔽厚度, cm。

表 11-2 加速器机房主屏蔽区、迷道内墙和外墙厚度校核

参数	主屏蔽区 (墙体 a 点)	主屏蔽区 (墙体 b 点)	主屏蔽区 (屋顶 1 点)	迷道外墙 (k 点)	迷道内墙 (g 点)
$H_c(\mu\text{Sv/h})$	2.5	2.5	2.5	2.5	0.625
R (m)	7.6	7.6	6.9	9.8	9.4
$H_0(\mu\text{Sv.m}^2/\text{h})$	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8
f	1	1	1	10^{-3}	10^{-3}

B	4.01×10^{-7}	4.01×10^{-7}	3.31×10^{-7}	6.67×10^{-4}	1.53×10^{-4}
TVL ₁ (cm)	37	37	37	34	34
TVL (cm)	33	33	33	29	29
Xe (cm)	216	216	218	91	104
斜射角θ	0	0	0	22°	27°
X ₁ (cm)	216	216	218	105	130
设计厚度 (cm)	270	270	270	140	140
是否满足要求	满足	满足	满足	满足	满足

备注：根据 GBZ/T201.2-2011 第 4.3.2.5.1b)，泄漏辐射核算迷道内墙厚度时，剂量率参考控制水平为 H_{c,max} 的 1/4。

(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 11-2、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。

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

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 11-3 与主屏蔽区相连的次屏蔽区、侧屏蔽墙漏射辐射屏蔽厚度核算

参数	墙体 d ₁ 点	墙体 d ₂ 点	屋顶 m 点	侧墙 e 点
H _c (μSv/h)	1.25	1.25	1.25	1.25
R (m)	7.6	7.6	5.4	5.7
H ₀ (μSv.m ² /h)	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8
f	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³
透射因子 B	2.00×10^{-4}	2.00×10^{-4}	1.01×10^{-4}	1.12×10^{-4}
TVL ₁ (cm)	34	34	34	34
TVL (cm)	29	29	29	29
Xe (cm)	113	113	121	120
斜射角θ	30	30	24	0
X ₁ (cm)	98	98	111	120
设计屏蔽厚度 (cm)	180	180	180	160

设计是否满足要求	满足	满足	满足	满足
----------	----	----	----	----

备注：对于与主屏蔽区相连的次屏蔽区泄露辐射所需屏蔽厚度核算时，剂量率参考控制水平取 $H_{e,max}$ 的一半。

表 11-4 与主屏蔽区相连的次屏蔽区散射辐射屏蔽厚度核算

参数	墙体 d ₁ 点	墙体 d ₂ 点	屋顶 m 点
He(μSv/h)	1.25	1.25	1.25
R (m)	7.6	7.6	5.4
H ₀ (μSv.m ² /h)	3.6×10 ⁸	3.6×10 ⁸	3.6×10 ⁸
α _{ph}	2.77×10 ⁻³	2.77×10 ⁻³	2.77×10 ⁻³
F(cm ²)	40×40	40×40	40×40
透射因子 B ₁	1.81×10 ⁻⁵	1.81×10 ⁻⁵	9.14×10 ⁻⁶
TVL (cm)	26	26	26
有效屏蔽厚度 X _e (cm)	124	124	132
斜射角θ	30°	30°	24°
散射所需屏蔽厚 (cm)	107	107	120
设计厚度 (cm)	180	180	180
设计是否满足要求	满足	满足	满足

备注：①对于与主屏蔽区相连的次屏蔽区散射辐射所需屏蔽厚度核算时，剂量率参考控制水平取 $H_{e,d}$ 的一半；②当未说明 TVL₁ 时，TVL₁=TVL。

(3) 防护门铅厚度 (X) 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：

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

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

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

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 5；

B=辐射屏蔽透射因子。

$\dot{H}_c$ —剂量率参考控制水平，μSv/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_1 位置穿过迷路内墙的泄露辐射在 g 处的剂量率;

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 1.39×10^{-3});

α_2 —砗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 $\alpha_2 = 6.4 \times 10^{-3}$ (查附录 B 表 B.6);

A—散射面积, m^2 ; 经计算本项目约为 15.2m^2 ;

R_1 —第一次散射路径; $R_1 = 7.4\text{m}$;

R_2 —第二次散射路径; $R_2 = 9.6\text{m}$;

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: $H_c = 38.6\mu\text{Sv/h}$, $B = 0.06$

最终得到防护门的铅当量厚度为: $X = \text{TVL} \cdot \log B^{-1} = 6.2\text{mm}$ 。

由理论计算可知, 机房入口铅防护门屏蔽厚度为 6.2mm , 实际设计为 8mm , 可满足屏蔽要求。

小结: 经过对机房主屏蔽体宽度校核, 主屏蔽区、侧屏蔽墙、迷道内墙和外墙厚度校核, 与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽厚度校核和防护门铅厚度校核显示, 本项目四周墙体厚度、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), 本项目医用电子直线加速器在运行过程中对关注点 (图 11-2 和 11-3) 处人员产生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):

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

$$B = 10^{\frac{-(X_c + \text{TVL} - \text{TVL}_1)}{\text{TVL}}} \dots\dots\dots \text{(式 11-10)}$$

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

患者一次散射辐射剂量估算

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

机房迷道入口处 X 射线散射辐射剂量率 H_g

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

$$H = H_g 10^{-(X/TVL)} + H_{og} \dots\dots\dots (\text{式 11-14})$$

由式 11-14 估算各关注点的年剂量：

$$E = H \times 10^{-3} \times q \times h \times W_T \dots\dots\dots (\text{式 11-15})$$

式中：

H—关注点的剂量当量 ($\mu\text{Sv/h}$)；

E—关注点的年剂量 (mSv/a)；

h—工作负荷 (h/a)；

q—居留因子；

W_T —组织权重因数，全身为 1。

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 加速器主射线束和泄露辐射对关注点的剂量估算表

计算参数	主屏蔽区 (a 点)	主屏蔽区 (b 点)	主屏蔽区 (l 点)	迷道外墙 (k 点)	迷道内墙 (g 点)	墙体 (d ₁ 点)	墙体 (d ₂ 点)	顶部 (m 点)	墙体 (e 点)
设计屏蔽体厚度 X (cm)	270	270	270	140	140	180	180	180	160
斜射角 θ	0	0	0	22°	27°	30°	30°	24°	0
Xe (cm)	270	270	270	151	158	208	208	198	160
TVL1 (cm)	37	37	37	34	34	34	34	34	34
TVL (cm)	33	33	33	29	29	29	29	29	29
透射因子 B	8.70×10^{-9}	8.70×10^{-9}	8.70×10^{-9}	9.24×10^{-6}	5.74×10^{-6}	1.0×10^{-7}	1.0×10^{-7}	2.40×10^{-7}	4.52×10^{-6}
$H_0 (\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h})$	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8

f	1	1	1	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}
R (m)	7.6	7.6	6.9	9.8	9.4	7.6	7.6	5.4	5.7
剂量当量 H($\mu\text{Sv/h}$)	5.42×10^{-2}	5.42×10^{-2}	6.58×10^{-2}	3.46×10^{-2}	2.34×10^{-2}	6.23×10^{-4}	6.23×10^{-4}	2.96×10^{-3}	5.01×10^{-2}
工作负荷 (h)	250	250	250	250	250	250	250	250	250
居留因子 (q)	1/4	1/4	1/4	1	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4
年剂量 E(mSv/a)	3.39×10^{-3}	3.39×10^{-3}	4.11×10^{-3}	8.67×10^{-3}	1.46×10^{-3}	3.90×10^{-5}	3.90×10^{-5}	1.85×10^{-4}	3.13×10^{-3}
受照类型	公众	公众	公众	职业人员	—	公众	公众	公众	公众

表 11-6 加速器机房患者一次散射对关注点的剂量估算表

计算参数	与主屏蔽区相连的次屏蔽区		
	墙体 d ₁ 点	墙体 d ₂ 点	顶部 m 点
屏蔽厚度 X (cm)	180	180	180
斜射角 θ	30°	30°	24°
X _e (cm)	208	208	197
TVL (cm)	26	26	26
透射因子 B	1.0×10^{-7}	1.0×10^{-7}	2.40×10^{-7}
H ₀ ($\mu\text{Sv.m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8
α_{ph}	1.39×10^{-3}	1.39×10^{-3}	1.39×10^{-3}
F(cm ²)	40×40	40×40	40×40
R (m)	7.6	7.6	5.4
剂量当量 H($\mu\text{Sv/h}$)	1.08×10^{-2}	1.08×10^{-2}	3.04×10^{-2}
工作负荷 (h)	250	250	250
居留因子 (q)	1/4	1/4	1/4
年剂量 E(mSv/a)	6.75×10^{-4}	6.75×10^{-4}	1.90×10^{-3}
受照类型	公众	公众	公众

表 11-7 加速器机房迷道入口处由散射辐射产生的剂量估算表

计算参数	机房迷道入口处 (防护门外、关注点 g)
机房入口处的散射辐射剂量率 H _g ($\mu\text{Sv/h}$)	38.6
屏蔽厚度 X (mm)	8
剂量当量率 H($\mu\text{Sv/h}$)	0.95
TVL (mm)	5
工作负荷 (h)	250
居留因子 (m)	1/4
关注点年剂量(mSv/a)	5.94×10^{-2}

对于墙体 d₁ 点、d₂ 点和顶部 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 d₁、d₂、m 关注点剂量叠加结果

计算参数	与主屏蔽区相连的次屏蔽区		
	墙体 d ₁ 点	墙体 d ₂ 点	顶部 m 点
漏射影响(mSv/a)	3.90×10^{-5}	3.90×10^{-5}	1.85×10^{-4}
散射影响(mSv/a)	6.75×10^{-4}	6.75×10^{-4}	1.90×10^{-3}
年剂量(mSv/a)	7.14×10^{-4}	7.14×10^{-4}	2.09×10^{-3}
受照类型	公众	公众	公众

通过表 11-5 和 11-8 可知，照射类型为职业人员的年剂量最大为 $8.67 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，照射类型为公众的年剂量最大为 $4.11 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，分别低于 5.0mSv 和 0.1mSv 的剂量约束值。

5、臭氧环境影响分析

直线加速器机房内空气中的氧受 X 射线电离而产生臭氧，其产率和浓度可用下面两个公式分别计算。

$$Q_o = 6.5 \times 10^{-3} \cdot G \cdot S_o \cdot R \cdot g \dots\dots\dots (\text{式 11-36})$$

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.m²/h，本项目 6MV 直线加速器取 360；

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，直线加速器机房臭氧产率为 3.74mg/h。

室内臭氧饱和浓度由下式计算：

$$C = Q_o \cdot T_v / V \dots\dots\dots (\text{式 11-38})$$

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，直线加速器机房为 315m³、后装机房为 132m³；

$$T_v = \frac{t_v \cdot t_a}{t_v + t_a} \dots\dots\dots \text{(式 11-39)}$$

t_v —每次换气时间，直线加速器为 0.1h，后装机为 0.083h；

t_a —臭氧分解时间，取值为 0.83h。

直线加速器机房每小时换气次数为 6 次，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）中规定的通风换气次数不小于 4 次/h 的要求。

经计算，直线加速器机房室内臭氧浓度为 $5.3 \times 10^{-3} \text{mg/m}^3$ ，远低于《工作场所所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中臭氧最高允许浓度 0.3mg/m^3 的要求。本项目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，满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）的二级标准（ 0.20mg/m^3 ）限值要求。

医院拟在直线加速器机房安装通排风系统，直线加速器机房抽出的臭氧经 $750 \text{mm} \times 200 \text{mm}$ 排风管道以“Z 型”管道穿过迷道墙，由机房西南侧引出至排风井，最终经排风井引至综合楼楼顶排放。机房内通排风采用“上送风、下排风”的方式，通排风管道均采用镀锌钢管道。排风口位置应做好射线防护，增加铅板或者使用环保型辐射防护板，防止射线外漏。

（二）后装机运行环境影响分析

1、 γ 射线的辐射环境影响

本项目后装机使用 ^{192}Ir 放射源，出厂活度为 $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}(10\text{Ci})$ 。 ^{192}Ir 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 ^{192}Ir 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《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017），后装治疗机贮源器内装载允许最大活度时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，泄漏辐射的空气比释动能率不得大于 $50 \mu\text{Gy/h}$ ，距离贮源器 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射的空气比释动能率不得大于 $5 \mu\text{Gy/h}$ 。

建设单位在购得 ^{192}Ir 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《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）的相关要求，才能通过验收。

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：

2、后装机关注点设立及剂量率参考水平

表 11-9 后装机房外主要关注点布置

位置编号	位置	照射途径	备注
A	南面屏蔽墙外 0.3m（走道）	初级辐射	公众
B	东面屏蔽墙外 0.3m（加速器机房）	初级辐射	公众
C	北面屏蔽墙外 0.3m	初级辐射	公众
D	西面屏蔽墙外 0.3m（控制室）	初级辐射	职业
G	防护门外 0.3m（走道）	散射辐射	公众
M	屋顶上 0.3m（负一层停车场）	初级辐射	公众

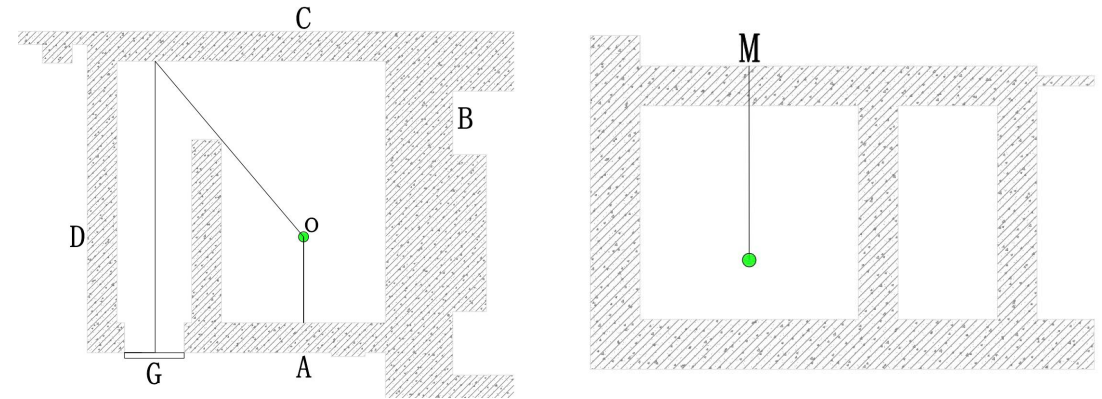


图 11-4 后装机关注点位示意

参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014），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 $H_{c,d}$ ：

$$H_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots \text{（式 11-16）}$$

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；本报告提出剂量管理约束值为职业人员 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 $H_c=2\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

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 150.0h，年工作 50 周，则周治疗照射时间 t=3.0h；

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， $H_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所， $H_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ ；

为确保辐射安全，本次环评各关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$ 均取 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

③取①、②中较小者作为关注的剂量率参考控制水平（ H_c ）。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 11-10 机房外各关注点剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束

关注点	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	1/4	2.67	2.5	2.5
B	1/4	2.67	2.5	2.5
C	1/4	2.67	2.5	2.5
D	1	33.33	2.5	2.5
G	1/4	2.67	2.5	2.5
M	1/4	2.67	2.5	2.5

3、后装机机房屏蔽体厚度校核

（1）初级辐射的屏蔽计算

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：

$$X = X_e \cos \theta \dots\dots\dots(\text{式 11-17})$$

$$X_e = TVL \times \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \dots\dots\dots(\text{式 11-18})$$

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \times \frac{R^2}{f} \dots\dots\dots(\text{式 11-19})$$

$$H_0 = A \times K_\gamma \dots\dots\dots(\text{式 11-20})$$

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，mm；

TVL—辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度，mm；当未指明时 TVL₁ 时，TVL₁=TVL；查 GBZ/T201.3-2014 的附录 C 表 C.1，对于 ¹⁹²Ir 放射源，在混凝土中的 TVL=152mm；

B—屏蔽物质的屏蔽透射因子；

Hc—剂量率参考控制水平，μSv/h；

R—辐射源至关注点的距离，m；

f—对有用线束为 1；

H₀—放射源在距其 1m 处的剂量率，μSv/h；

A—放射源的活度，MBq；本项目 ¹⁹²Ir 取初始活度 3.7×10⁵MBq；

K_γ—放射源的空气比释动能率常数，μSv/（h·MBq）；查 GBZ/T201.3-2014 的附录 C 表 C.1，¹⁹²Ir 的空气比释动能率常数取 0.111μSv/（h·MBq）。

根据上述公式，机房墙体屏蔽厚度核算结果如下：

表 11-11 机房墙体屏蔽厚度核算

屏蔽体	距离放射源距离 (m)	剂量率参考控制水平 (μSv/h)	透射因子 (B)	理论计算厚度 (mm)	设计厚度 (mm)	核算结果
南侧墙体	3.4	2.5	7.04×10 ⁻⁴	480	800	满足要求
东侧墙体	5.3	2.5	1.71×10 ⁻³	345	1800	满足要求
北侧墙体	5.8	2.5	2.05×10 ⁻³	409	800	满足要求
西侧墙体	6.1	2.5	2.27×10 ⁻³	403	内墙800+ 外墙800	满足要求
机房顶部	4.2	2.5	1.07×10 ⁻³	452	800	满足要求

（2）散射辐射的屏蔽计算（机房入口）

根据 GBZ/T201.3-2014，机房入口处的散射辐射剂量 H 采用下式计算：

$$\dot{H} = \frac{A \cdot K_{\gamma} \cdot S_w \cdot a_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \dots\dots\dots(\text{式 11-21})$$

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见的墙区面积，m²，本项目为 12.04m²；

a_w—散射体的散射因子，查附录 C，本项目取 3.39×10⁻²；

R₁—散射源至散射体中心点的距离，m，本项目取 6.2m；

R₂—散射体中心点至计算点的距离，m，本项目取 8.1m。

经计算，机房入口处 g 点的散射辐射剂量率 $\dot{H}_{\text{散}}$ 为 6.7uSv/h。

在给定迷道内墙屏蔽物质的厚度为 800mm 时，可按下列公式计算屏蔽体外关注点 g 的漏射剂量率 $\dot{H}_{漏}$ 。

$$X_e = X \cdot \sec\theta \dots\dots\dots(\text{式 11-22})$$

$$B_2 = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \dots\dots\dots(\text{式 11-23})$$

$$\dot{H}_{漏} = \frac{H_0 \cdot f}{R_3^2} \cdot B \dots\dots\dots(\text{式 11-24})$$

式中：R₃—放射源距离关注点的距离，取 4.2m；

其余同上。

经计算，机房入口处 g 点的漏射辐射剂量率 $\dot{H}_{漏}$ 为 $8.4 \times 10^{-5} \text{uSv/h}$ ；

防护门需要的屏蔽因子 B₃，可以根据公式 11-25 进行计算：

$$B_3 = \frac{H_c - \dot{H}_{漏}}{\dot{H}_{散}} \dots\dots\dots(\text{式 11-25})$$

经计算，铅门需要的屏蔽因子 B₃=0.373，入口处 45° 散射辐射平均能量按照 0.2MeV，铅的 TVL 取值为 5mm，则防护门铅厚度 $X = TVL \cdot \lg B_3^{-1} = 2.2 \text{mm}$ ，机房防护铅门实际设计值为 8mm 铅当量，故满足屏蔽要求。

根据计算结果，本项目后装机防护门的设计厚度能满足屏蔽防护要求。

4、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，在后装治机房内停留时间为 2min，此时后装机处于非工作状态，放射源处于贮源位置，医务人员一般距放射源大于 1m 左右的位置。

根据《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）中“4.2.2 工作贮源器内装载最大容许活度的放射源时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 50 $\mu\text{Sv/h}$ ；距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 5 $\mu\text{Sv/h}$ 。”医院每年约 1500 人次接受后装治疗，则估算出技师在做治疗前的摆位过程中接受的年有效剂量为 0.25mSv/a。

5、后装机出源状态下机房屏蔽体外辐射剂量估算

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《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ121-2017）中“4.2.2 工作贮源器内装载最大容许活度的放射源时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 50 μ Sv/h；距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 5 μ Sv/h。”

由此可见，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，因此本次评价仅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：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots(\text{式 11-26})$$

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \dots\dots\dots(\text{式 11-27})$$

$$X_e = X \cdot \sec\theta \dots\dots\dots(\text{式 11-28})$$

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：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \dots\dots\dots(\text{式 11-29})$$

式中： $\dot{H}_g$ —入口处的散射辐射剂量率， μ Sv/h；

$\dot{H}_{og}$ —泄露辐射在 g 处的剂量率， μ Sv/h；

表 11-12 后装机房外关注点处剂量估算表

关注点位	距放射源距离(m)	屏蔽体厚(mm)	f	透射因子B	屏蔽体外关注点剂量率(μ Sv/h)	居留因子	年出束时间(h)	年剂量(mSv/a)	备注
机房墙体外									
A	3.4	800	1	5.46×10^{-6}	1.94×10^{-2}	1/4	150	7.28×10^{-4}	公众
B	5.3	1800	1	3.50×10^{-15}	5.11×10^{-12}	1/4	150	1.92×10^{-13}	公众
C	5.8	800	1	5.46×10^{-6}	6.66×10^{-3}	1/4	150	2.50×10^{-4}	公众
D	6.1	800+800	1	2.98×10^{-11}	3.29×10^{-8}	1	150	4.94×10^{-9}	职业

M	4.2	800	1	5.46×10^{-6}	1.27×10^{-2}	1/4	150	4.77×10^{-4}	公众
防护门外									
关注 点位	散射面 积 (S_w)	散射 因子 (a_w)	R_1 (m)	R_2 (m)	屏蔽体外关 注点剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留 因子	年出束 时间 (h)	年剂量率 (mSv/a)	备注
G	12.04	3.39×10^{-2}	6.2	8.1	1.58	1/4	150	5.48×10^{-2}	公众

通过后装机房的实体防护后，照射类型为职业人员的年剂量最大为 $4.94 \times 10^{-9} \text{mSv}$ ，照射类型为公众的年剂量最大为 $5.48 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，分别低于 5.0mSv 和 0.1mSv 的剂量约束值。

由于职业人员要受到摆位和后装治疗过程中电离辐射影响，因此，存在剂量叠加。职业人员在治疗前的摆位过程中受到的年有效剂量为 0.25mSv ，则职业人员最大年剂量为 0.25mSv/a ，低于 5.0mSv 的剂量约束值。

6、臭氧环境影响分析

后装机机房内空气中的氧受 γ 射线电离而产生臭氧，假设机房为密闭，则臭氧产生率按下式计算：

$$Q_0 = 6.2 \times 10^{-3} A G V^{1/3} \dots\dots\dots \text{式 (11-37)}$$

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， 132m^3 ；

经计算，后装机房臭氧产生率为 0.12mg/h 。

室内臭氧饱和浓度由下式计算：

$$C = Q_0 T_v / V \dots\dots\dots \text{(式 11-38)}$$

式中：

C—室内臭氧浓度， mg/m^3 ；

Q₀—臭氧产额 mg/h；

T_v—臭气有效清除时间，h；

V—机房空间体积，直线加速器机房为 315m^3 、后装机房为 132m^3 ；

$$T_v = \frac{t_v \cdot t_a}{t_v + t_a} \dots\dots\dots \text{(式 11-39)}$$

t_v —每次换气时间，直线加速器为 0.1h，后装机为 0.083h；

t_a —臭氧分解时间，取值为 0.83h。

直线加速器机房每小时换气次数为 6 次，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）中规定的通风换气次数不小于 4 次/h 的要求。

经计算，后装机房室内臭氧浓度为 $6.8 \times 10^{-3} \text{mg/m}^3$ ，远低于《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中臭氧最高允许浓度 0.3mg/m^3 的要求。本项目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，满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）的二级标准（ 0.20mg/m^3 ）限值要求。

医院拟在后装机机房安装通排风系统，后装机房抽出的臭氧经 $500 \text{mm} \times 200 \text{mm}$ 排风管道以“Z 型”管道穿过迷道墙，由机房西南侧引出至排风井，最终经排风井引至综合楼楼顶排放。机房内通排风采用“上送风、下排风”的方式，通排风管道均采用镀锌钢管道。排风口位置应做好射线防护，增加铅板或者使用环保型辐射防护板，防止射线外漏。

（三）DSA 运行环境影响分析

1、本项目关注点的辐射环境影响分析

（1）理论预测

本项目两间 DSA 手术室的屏蔽防护设计一致，四面墙体为 240mm 实心砖墙 + 1mm 铅当量硫酸钡涂料，屋顶为 150mm 厚混凝土 + 2mm 防护铅板，地面为 250mm 厚混凝土，防护门（3 扇）为 3mm 铅当量，观察窗（1 扇）为 3mm 铅玻璃窗。

拍片时，DSA 的常用电压 $60 \sim 80 \text{kV}$ ，常用电流为 $100 \sim 500 \text{mA}$ ；透视时，DSA 常用管电压为 $70 \sim 90 \text{kV}$ ，常用管电流为 $6 \sim 10 \text{mA}$ 。

本项目 DSA 投用后，手术过程中 DSA 手术室四周、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 手术室内的辐射工作人员受到散射和漏射的影响。根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律，距离 DSA 手术室最近关注点可以代表最大可能辐射有效剂量。

1) 主射线束方向保护目标的影响

①计算模式

本项目 DSA 射线由下向上，顶部为主射方向，其他方向为漏射方向。本项目主射方向屏蔽防护采用《辐射防护手册》（第一分册）中计算公式：

$$D_r = D_1 \cdot \mu \cdot \eta \cdot f \cdot T / r^2 \dots\dots\dots (\text{式 11-30})$$

式中： D_r —预测点处辐射空气吸收剂量，mGy/a；

D_1 —X 射线在 1m 处的辐射空气吸收剂量率，mGy/min，本项目 DSA 过滤板采用 2mmAl，根据图 4.4c，查得 $\nu_{r0} = 0.9R \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，按照最大管电流换算后，距靶 1m 处的剂量率为 78.57mGy/min；

T —每年工作时间，3480min/台（包括透视和拍片的时间）；

μ —利用因子，主射方向取 1；

η —对防护区的占用因子；

f —屏蔽材料对初级 X 射线束的减弱因子（屏蔽透射因子）；

r —预测点距 X 射线源的距离，m。

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：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \dots\dots\dots (\text{式 11-31})$$

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。

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

表 11-13 铅对 X 射线的辐射衰减拟合参数			
管电压90kV			
材料	α	β	γ
铅	3.067	18.83	0.7726

根据计算，DSA手术室不同防护措施对应的屏蔽透射因子见表11-14。

表 11-14 DSA 手术室设计屏蔽参数及防护措施铅当量一览表			
屏蔽方位	屏蔽材料与厚度	等效铅当量	屏蔽透射因子
四面墙体	240mm实心砖墙+1mm铅当量硫酸钡水泥涂料	3mm铅当量	7.94×10^{-6}
顶部	150mm混凝土+2mm防护铅板	3.5mm铅当量	1.71×10^{-6}
地面	250mm混凝土	3mm铅当量	7.94×10^{-6}
防护门	3mm铅当量铅门	3mm铅当量	7.94×10^{-6}
防护窗	3mm铅当量铅玻璃窗	3mm铅当量	7.94×10^{-6}
手术医生位、护士位	0.5mm铅衣+0.5mm铅屏风	1mm铅当量	4.08×10^{-3}

②预测结果分析

将相关参数带入（式 11-30）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 11-15：

表 11-15 DSA 主射方向预测点年有效剂量估算						
预测点	与源直线距离 (m)	屏蔽材料与厚度及等效铅当量 (mm)	减弱因子 (f)	利用因子 (μ)	占用因子 (η)	预测点年有效剂量 (mGy/a)
DSA-1						
屋面 (正上方)	3.2	150mm 混凝土+2mm 防护铅板(约合 3.5mm 铅当量)	1.71×10^{-6}	1	1	3.12×10^{-2}
DSA-2						
更衣室、医生办公室、 演示教室 (正上方)	3.2	150mm 混凝土+2mm 防护铅板(约合 3.5mm 铅当量)	1.71×10^{-6}	1	1	3.12×10^{-2}

2) 病人体表散射辐射剂量估算

$$H_s = \frac{H_0 \cdot \alpha \cdot B \cdot (s / 400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \dots\dots\dots \text{(式11-32)}$$

式中：

H_s ——预测点处的散射剂量率，μGy/h；

H_0 ——距靶 1m 处的剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

a ——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;

s ——散射面积, cm^2 , 取 100cm^2 ;

d_0 ——源与病人的距离, m, 取 1m;

d_s ——病人与预测点的距离, m;

B ——屏蔽透射因子。

各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果见下表 11-16。

表 11-16 散射辐射各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果

关注点位描述	病人(散射点)到关注点距离(m)	屏蔽材料及厚度	屏蔽材料折合铅当量(mmPb)	X 射线的散射比	屏蔽透射因子	散射辐射剂量率($\mu\text{Gy/h}$)	散射辐射剂量(mSv/a)
DSA-1							
手术室内手术医生位	0.5	0.5mm 铅衣+0.5mm 铅屏风	1.0	1.3×10^{-3}	4.08×10^{-3}	25.0	1.45
手术室内护士位	1	0.5mm 铅衣+0.5mm 铅屏风	1.0	1.3×10^{-3}	4.08×10^{-3}	6.25	3.62×10^{-1}
控制室内的技师	4.2	3mm 铅当量铅玻璃窗	3.0	1.3×10^{-3}	7.94×10^{-6}	6.90×10^{-4}	4.00×10^{-5}
医生办公室(东南侧)	5.7	240mm 实心砖墙+1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	1.3×10^{-3}	7.94×10^{-6}	3.74×10^{-4}	5.42×10^{-6}
药房、药品调配中心(西南侧)	14.4	240mm 实心砖墙+1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	1.3×10^{-3}	7.94×10^{-6}	5.87×10^{-5}	8.50×10^{-7}
苏醒室、准备区、等候区、无菌品库、UPS 室、过道、楼梯(西北侧)	4.6	240mm 实心砖墙+1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	1.3×10^{-3}	7.94×10^{-6}	5.75×10^{-4}	8.34×10^{-6}
牙科、疼痛科、恢复中心(东北侧)	27.0	240mm 实心砖墙+1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	1.3×10^{-3}	7.94×10^{-6}	1.67×10^{-5}	2.42×10^{-7}

屋面（正上方）	3.2	150mm 混凝土+2mm 铅当量铅板	3.5	1.3×10^{-3}	1.71×10^{-6}	2.56×10^{-4}	3.70×10^{-6}
自助大厅（正下方）	3.5	250mm 混凝土	3.0	1.3×10^{-3}	7.94×10^{-6}	9.93×10^{-4}	1.44×10^{-5}
其他区域(道路等)	9.2	240mm 实心砖墙+1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	1.3×10^{-3}	7.94×10^{-6}	1.44×10^{-4}	2.08×10^{-6}
幼儿园、叙永镇综合文化站（东南侧、院区外）	38	240mm 实心砖墙+1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	1.3×10^{-3}	7.94×10^{-6}	8.00×10^{-6}	1.22×10^{-7}
DSA-2							
手术室内手术医生位	0.5	0.5mm 铅衣+0.5mm 铅屏风	1.0	1.3×10^{-3}	4.08×10^{-3}	25.0	1.45
手术室内护士位	1	0.5mm 铅衣+0.5mm 铅屏风	1.0	1.3×10^{-3}	4.08×10^{-3}	6.25	3.62×10^{-1}
控制室内的技师	3.6	3mm 铅当量铅玻璃窗	3.0	1.3×10^{-3}	7.94×10^{-6}	9.39×10^{-4}	5.44×10^{-5}
医生办公室（东南侧）	13.6	240mm 实心砖墙+1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	1.3×10^{-3}	7.94×10^{-6}	6.58×10^{-5}	9.54×10^{-7}
药房、药品调配中心（西南侧）	5.9	240mm 实心砖墙+1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	1.3×10^{-3}	7.94×10^{-6}	3.49×10^{-4}	5.06×10^{-6}
无菌品库、UPS 室、过道、楼梯（西北侧）	4.3	240mm 实心砖墙+1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	1.3×10^{-3}	7.94×10^{-6}	6.58×10^{-4}	9.54×10^{-6}
苏醒室、准备区、等候区、牙科、疼痛科、恢复中心（东北侧）	4.6	240mm 实心砖墙+1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	1.3×10^{-3}	7.94×10^{-6}	1.24×10^{-4}	1.79×10^{-6}

更衣室、医生办公室、演示教室（正上方）	3.2	150mm 混凝土+2mm 铅当量铅板	3.5	1.3×10^{-3}	1.71×10^{-6}	2.56×10^{-4}	3.64×10^{-6}
护士站（正下方）	3.5	250mm 混凝土	3.0	1.3×10^{-3}	7.94×10^{-6}	9.93×10^{-4}	1.44×10^{-5}
其他区域(道路等)	17.0	240mm 实心砖墙+1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	1.3×10^{-3}	7.94×10^{-6}	4.21×10^{-5}	6.10×10^{-7}
幼儿园、叙永镇综合文化站（东南侧、院区外）	45	240mm 实心砖墙+1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	1.3×10^{-3}	7.94×10^{-6}	5.51×10^{-6}	8.71×10^{-8}

3) 泄漏辐射剂量估算

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

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

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 ——屏蔽透射因子。

各预测点泄漏辐射剂量率计算参数及结果见下表 11-17。

表 11-17 各预测点的泄漏辐射剂量率计算参数及结果

关注点位描述	病人(散射点)到关注点距离(m)	屏蔽材料及厚度	屏蔽材料折合铅当量(mmPb)	屏蔽透射因子	漏射辐射剂量率($\mu\text{Gy/h}$)	漏射辐射剂量(mSv/a)
DSA-1						
手术室内手术医生位	0.5	0.5mm 铅衣+0.5mm 铅屏风	1.0	4.08×10^{-3}	76.94	4.46
手术室内护士位	1	0.5mm 铅衣+0.5mm 铅屏风	1.0	4.08×10^{-3}	19.23	1.12

控制室内的技师	4.2	3mm 铅当量 铅玻璃窗	3.0	7.94×10^{-6}	2.12×10^{-3}	1.23×10^{-4}
医生办公室（东南侧）	5.7	240mm 实心砖墙 +1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	7.94×10^{-6}	1.15×10^{-3}	1.67×10^{-5}
药房、药品调配中心（西南侧）	14.4	240mm 实心砖墙 +1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	7.94×10^{-6}	1.81×10^{-4}	2.62×10^{-6}
苏醒室、准备区、等候区、无菌品库、UPS 室、过道、楼梯（西北侧）	4.6	240mm 实心砖墙 +1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	7.94×10^{-6}	1.77×10^{-3}	2.56×10^{-5}
牙科、疼痛科、恢复中心（东北侧）	27.0	240mm 实心砖墙 +1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	7.94×10^{-6}	5.13×10^{-5}	7.44×10^{-7}
自助大厅（正下方）	3.5	250mm 混凝土	3.0	7.94×10^{-6}	3.06×10^{-3}	4.44×10^{-5}
其他区域(道路等)	9.2	240mm 实心砖墙 +1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	7.94×10^{-6}	4.42×10^{-4}	6.42×10^{-6}
幼儿园、叙永镇综合文化站（东南侧、院区外）	38	240mm 实心砖墙 +1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	7.94×10^{-6}	2.46×10^{-5}	3.76×10^{-7}
DSA-2						
手术室内手术医生位	0.5	0.5mm 铅衣 +0.5mm 铅屏风	1.0	4.08×10^{-3}	76.94	4.46
手术室内护士位	1	0.5mm 铅衣 +0.5mm 铅屏风	1.0	4.08×10^{-3}	19.23	1.12
控制室内的技师	3.6	3mm 铅当量 铅玻璃窗	3.0	7.94×10^{-6}	2.89×10^{-3}	1.68×10^{-4}
医生办公室（东南侧）	13.6	240mm 实心砖墙 +1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	7.94×10^{-6}	2.02×10^{-4}	2.94×10^{-6}
药房、药品调配中心（西南侧）	5.9	240mm 实心砖墙 +1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	7.94×10^{-6}	1.07×10^{-3}	1.56×10^{-5}
无菌品库、UPS 室、过道、楼梯（西北侧）	4.3	240mm 实心砖墙 +1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	7.94×10^{-6}	2.02×10^{-3}	2.94×10^{-5}
苏醒室、准备区、等候区、牙科、疼痛科、恢复中心（东北侧）	4.6	240mm 实心砖墙 +1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	7.94×10^{-6}	1.77×10^{-3}	2.56×10^{-5}
护士站（正下方）	3.5	250mm 混凝土	3.0	7.94×10^{-6}	3.06×10^{-3}	4.44×10^{-5}

其他区域(道路等)	17.0	240mm 实心砖墙 +1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	7.94×10^{-6}	1.29×10^{-4}	1.88×10^{-6}
幼儿园、叙永镇综合文化站(东南侧、院区外)	45	240mm 实心砖墙 +1mm 铅当量硫酸钡水泥砂浆	3.0	7.94×10^{-6}	1.69×10^{-5}	2.68×10^{-7}

4) 环境保护目标处剂量估算

本项目所致保护目标最大年有效剂量理论预测结果见表11-18:

表11-18 本项目各预测点保护目标理论预测最大受照剂量

保护目标 相对位置	关注点位描述	年辐射剂量（mSv/a）			年总辐射剂 量（mSv/a）	照射 类型
		主射	散射	漏射		
DSA-1						
手术室内	手术室内医生	/	1.45	4.46	5.91	职业
	手术室内的护士	/	3.62×10 ⁻¹	1.12	1.48	职业
手术室周 围	控制室内的技师	/	4.00×10 ⁻⁵	1.23×10 ⁻⁴	1.63×10 ⁻⁴	职业
	医生办公室（东南侧）	/	5.42×10 ⁻⁶	1.67×10 ⁻⁵	2.12×10 ⁻⁵	公众
	药房、药品调配中心（西南 南侧）	/	8.50×10 ⁻⁷	2.62×10 ⁻⁶	3.47×10 ⁻⁶	公众
	苏醒室、准备区、等候区、 无菌品库、UPS 室、过道、 楼梯（西北侧）	/	8.34×10 ⁻⁶	2.56×10 ⁻⁵	3.39×10 ⁻⁵	公众
	牙科、疼痛科、恢复中心 （东北侧）	/	2.42×10 ⁻⁷	7.44×10 ⁻⁷	9.86×10 ⁻⁷	公众
	屋面（正上方）	3.12×10 ⁻²	3.70×10 ⁻⁶	/	3.12×10 ⁻²	公众
	自助大厅（正下方）	/	1.44×10 ⁻⁵	4.44×10 ⁻⁵	5.88×10 ⁻⁵	公众
	其他区域(道路等)	/	2.08×10 ⁻⁶	6.42×10 ⁻⁶	8.50×10 ⁻⁶	公众
幼儿园、叙永镇综合文化 站（东南侧、院区外）	/	1.22×10 ⁻⁷	3.76×10 ⁻⁷	4.98×10 ⁻⁷	公众	
DSA-2						
手术室内	手术室内手术医生位	/	1.45	4.46	5.91	职业
	手术室内护士位	/	3.62×10 ⁻¹	1.12	1.48	职业
手术室周 围	控制室内的技师	/	5.44×10 ⁻⁵	1.68×10 ⁻⁴	2.22×10 ⁻⁴	职业
	医生办公室（东南侧）	/	9.54×10 ⁻⁷	2.94×10 ⁻⁶	3.89×10 ⁻⁶	公众
	药房、药品调配中心（西南 侧）	/	5.06×10 ⁻⁶	1.56×10 ⁻⁵	2.07×10 ⁻⁵	公众
	无菌品库、UPS 室、过道、 楼梯（西北侧）	/	9.54×10 ⁻⁶	2.94×10 ⁻⁵	3.89×10 ⁻⁶	公众

苏醒室、准备区、等候区、牙科、疼痛科、恢复中心（东北侧）	/	1.79×10^{-6}	2.56×10^{-5}	2.74×10^{-5}	公众
更衣室、医生办公室、演示教室（正上方）	3.12×10^{-2}	3.64×10^{-6}	/	3.12×10^{-2}	公众
护士站（正下方）	/	1.44×10^{-5}	4.44×10^{-5}	5.88×10^{-5}	公众
其他区域(道路等)	/	6.10×10^{-7}	1.88×10^{-6}	2.49×10^{-6}	公众
幼儿园、叙永镇综合文化站（东南侧院区外）	/	8.74×10^{-8}	2.68×10^{-7}	3.55×10^{-7}	公众

由上表可知，本项目公众所受 1 台 DSA 设备年剂量最高为 $3.12 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，保守考虑 2 台 DSA 设备同时运行，公众所受的剂量为 $2 \times 3.12 \times 10^{-2} = 6.24 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，小于本次评价确定的 0.1mSv/a 的约束值要求。

本项目有 DSA-1、DSA-2 两台设备，根据表 1-5、表 1-6 本项目各科室介入手术工作量分配表，每位医生、护士和技师的年剂量核算见下表。

表11-19 本项目每名职业人员年剂量核算表

职务	科室	合计所受剂量 mSv/a	职业人员 数量	科室所受剂量合计 (mSv/a·科室)	职业人员所受剂量 (mSv/a·人)
手术室内医生	心内科	5.91	1	3.55	3.55
	血管外科		1	2.36	2.36
护士	/	1.48	1	/	1.48
技师	/	2.22×10^{-4}	1	/	2.22×10^{-4}

从上表可知，本项目职业人员所受剂量最大为 3.55mSv/a ，满足本次评价确定的 5.0mSv/a 的约束值要求。

由于电离辐射水平随着距离的增加而减小，结合上表环境保护目标所受剂量预测结果，综合楼内其余保护目标所受剂量已满足本次确定的评价约束值。

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

室或手术室人员年皮肤吸收剂量：

$$D_s = C_{ks} (\dot{k} \cdot t) \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots (式 11-34)$$

$$\dot{k} = \frac{\dot{H}_{(10)}^*}{C_{KH}} \dots\dots\dots (式 11-35)$$

式中： D_s —皮肤吸收剂量，mGy；

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

C_{KS} —空气比释动能到皮肤吸收剂量的转化系数（Gy/Gy）；

t—人员累积受照时间，h；

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

C_{KH} —空气比释动能到周围剂量当量的转化系数（Sv/Gy）。

按照常用最大电流换算后，距靶 1m 处的剂量率为 78.57mGy/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，计算得出手术时腕部位置处的空气吸收剂量换算为剂量当量率为 $5.24 \times 10^4 \mu\text{Gy/h}$ 。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为 1.72Sv/Gy，计算出辐射场空气比释动能率为 $3.05 \times 10^4 \mu\text{Gy/h}$ 。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为 1.134mGy/mGy。皮肤按照组织权重因子 0.01 考虑，则手术医生手术位腕部皮肤受照当量剂量为 20.06mSv/a。根据表 1-5、表 1-6 各台设备及科室介入手术工作量分配情况，心内科医生工作量最大，核算出心内科每位医生腕部皮肤受到当量剂量为 12.36mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 4.3.2.1 条的规定，对任何工作人员，四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv，也满足本项目对于放射工作人员四肢（手和足）或皮肤当量剂量通常管理限值，即不超过 125mSv/a 的要求。

3、介入治疗对医生和患者的辐射防护要求

介入治疗是一种解决临床疑难病的新方法，但介入治疗时 X 射线曝光量大，曝光时间长，距球管和散射体近，使介入治疗操作者受到大剂量的 X 射线照射。

为了减少介入治疗时 X 射线对操作者和其他人员的影响，本评价提出以下几点要求：

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

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

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，并按照生态环境主管部门的要求，履行相关报废手续。

5、臭氧环境影响分析

本项目 DSA 手术室的采用新风系统换气，DSA 机房排风系统拟采用新风系统排换气，产生的废气通过排放管道进入排风机房，然后经排风机房排放至医疗综合楼外。排气口位置应做好射线防护，增加铅板或者使用环保型辐射防护板，防止射线外漏。本项目 DSA 产生的臭氧排入大气环境后，经自然分解和稀释，远低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）的二级标准（0.2mg/m³）的要求。

（四）模拟定位机（CT）运行环境影响分析

医院拟在医疗综合楼负二层新建 1 间模拟定位机房，机房内安装使用 1 台 CT 机（Ⅲ类射线装置），用于模拟定位，CT 机射线装置为数字成像，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，CT 机最大电压为 140kV、最大电流为 800mA。CT 机房四面墙体为 240mm 实心砖墙+1mm 铅当量硫酸钡涂料，屋顶为 250mm 厚混凝土，屏蔽门为 3mm 铅当量铅门，观察窗为 3mm 铅当量观察窗，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。

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。

二、保护目标环境影响分析

直线加速器及后装机在医院综合楼负二层紧邻布置，操作人员和公众同时受直线加速器和后装机的影响；DSA-1、DSA-2 在医院综合楼 4 层紧邻布置，操作人员和公众同时受 2 台 DSA 设备的影响，具体情况如下表所示：

表 11-20 本项目对保护目标的影响分析

位置	保护目标	居留因子	与射线束最近距离(m)	照射类型	项目	估算年剂量(mSv/a)
负二层						
直线加速器机房控制室、水冷机房、更衣室、医生阅片室、治疗计划室、模具制作室、放射物理室、	职业人员	1	6.9	职业照射	直线加速器贡献值	8.67×10^{-3}
			10.2		后装机贡献值	<0.0001
			/		评价值	8.67×10^{-3}
后装机房控制室	职业人员	1	14.3	职业照射	直线加速器贡献值	9.57×10^{-4}
			5.8		后装机贡献值	4.94×10^{-9}
			/		评价值	9.57×10^{-4}
进风机房、冷冻机房、非燃品库房	公众	1/4	15.3	公众照射	直线加速器贡献值	8.88×10^{-4}
			3.4		后装机贡献值	7.28×10^{-4}
			/		评价值	1.62×10^{-3}
候诊区、诊室、电梯	公众	1/4	16.8	公众照射	直线加速器贡献值	7.37×10^{-4}
			8.4		后装机贡献值	<0.0001
			/		评价值	7.37×10^{-4}
停车场	公众	1/4	3.8	公众照射	直线加速器贡献值	1.35×10^{-2}
			4.2		后装机贡献值	4.77×10^{-4}
			/		评价值	1.40×10^{-2}
幼儿园、叙永镇综合文化站	公众	1/4	30.0	公众照射	直线加速器贡献值	6.77×10^{-6}
			41.0		后装机贡献值	5.00×10^{-6}
			38.0		DSA-1 贡献值	4.98×10^{-7}
			45.0		DSA-2 贡献值	3.55×10^{-7}
			/		评价值	1.26×10^{-5}
四层						
DSA 控制室			4.2	职业	DSA-1 贡献值	1.63×10^{-4}

	职业 人员	1	3.6	照射	DSA-2 贡献值	2.22×10^{-4}
			/		评价值	3.85×10^{-4}
医生办公室	公众	1/4	4.2	公众 照射	DSA-1 贡献值	2.22×10^{-5}
			13.6		DSA-2 贡献值	3.90×10^{-6}
			/		评价值	2.61×10^{-5}
药房、药品调配中心	公众	1/4	14.4	公众 照射	DSA-1 贡献值	3.48×10^{-6}
			5.9		DSA-2 贡献值	2.06×10^{-5}
			/		评价值	2.40×10^{-5}
无菌品库、UPS 室、 过道、楼梯	公众	1/4	4.6	公众 照射	DSA-1 贡献值	3.40×10^{-5}
			4.3		DSA-2 贡献值	3.90×10^{-5}
			/		评价值	7.30×10^{-5}
牙科、疼痛科、恢复 中心	公众	1/4	27.0	公众 照射	DSA-1 贡献值	9.86×10^{-7}
			4.6		DSA-2 贡献值	2.72×10^{-5}
			/		评价值	2.81×10^{-5}
更衣室、医生办公室、 演示教室、屋面	公众	1/4	3.2	公众 照射	DSA-1 贡献值	3.12×10^{-2}
			3.2		DSA-2 贡献值	3.12×10^{-2}
			/		评价值	6.24×10^{-2}
自助大厅、护士站	公众	1/4	3.5	公众 照射	DSA-1 贡献值	5.88×10^{-5}
			3.5		DSA-2 贡献值	5.88×10^{-5}
			/		评价值	1.18×10^{-4}
其他区域	公众	1/4	9.2	公众 照射	DSA-1 贡献值	8.50×10^{-6}
			17.0		DSA-2 贡献值	2.48×10^{-6}
			/		评价值	1.10×10^{-5}

由表 11-5、11-8、11-12、11-18、11-19、11-20 可知，直线加速器职业人员所受最大剂量为 $8.67 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ 、后装机职业人员所受最大剂量为 0.25mSv/a ，DSA 职业人员所受最大剂量为 3.55mSv/a 、均低于 5mSv/a 的评价约束值。公众所受最大剂量为 $6.24 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，低于 0.1mSv/a 的评价约束值。

三、噪声的环境影响分析

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

四、水环境影响分析

本项目运行后，废水主要为辐射工作人员和患者产生的生活污水，少量医疗废水，水冷机房废水。产生的生活污水和医疗废水先经医院设置污水处理站处理，

处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 中的预处理排放标准后，排入市政污水管网；水冷机房废水循环利用，不外排。

五、固体废物影响分析

本项目运营期工作人员产生的生活垃圾、办公垃圾，均由市政环卫统一清运；DSA手术时产生一定量的医用器具和药棉、纱布、手套、废造影剂、废造影剂瓶等医用辅料及手术垃圾，按每台手术产生约1kg的医疗废物，每年固体废物产生量约为800kg。医疗废物采用专门的容器收集转移至医疗废物暂存库后由医疗废物处理机构定期统一处理。产生的退役反射源交由有资质的单位进行回收处置。

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，造成检修人员发生急性重度放射病、局部器官残疾。

（二）后装机可能发生的事故

后装机中含有放射源 ^{192}Ir ，按其出厂活度划分，属于 III 类放射源， ^{192}Ir 会释放 β 和 γ 射线等危害因素，如无正当防护也会造成放射性事故，最大可能发生的事故如下：

①放射源丢失、被盗；

②人员在后装机机房误照射事故；

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）DSA 可能发生的事故

本项目使用的 DSA 属于Ⅱ类射线装置，如果不被安全管理或可靠保护，可能对接触的人员造成放射性损伤和环境污染。DSA 不运行时不会发生放射性事故，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，可能的事故风险主要有以下两种：

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

②医用射线装置在检修、维护等过程中，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。

（四）Ⅲ类医用射线装置可能发生的辐射事故

本项目共涉及使用 1 台模拟定位机（CT），为Ⅲ类医用射线装置，其主要危害为设备工作时产生 X 射线。其可能发生的辐射事故如下：

①设备运行时其它无关人员误入或滞留于机房；

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。

三、源项分析及事故等级分析

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 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 11-21 中。

表 11-21 项目的风险因子辐射伤害程度与事故分级

事故等级	事故类型
特别重大辐射事故	I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。
重大辐射事故	I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。

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

根据《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 11-22）：

表 11-22 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、最大可能性事故后果计算

（一）直线加速器事故后果计算

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，6MV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射线散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2min。

（2）计量估算

表 11-23 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（mSv）

时间（s） 距离（m）	10	60	120
0.5	8.0	48	96
1	2.0	12.0	24
2	0.5	3.0	6.0
5	0.08	0.48	0.96

(3) 事故等级

通过计算，在以上假设事故情景下，误入 2 分钟人员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 24mSv，根据表 11-21、11-22，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，6MV 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 11-24 事故状态下主射方向不同时间、距离处有效剂量情况表 (mSv)

时间 (s) 距离 (m)	1	10	60	120
0.5	400	4000	8000	48000
1	100	1000	2000	12000
2	25	250	500	3000
4	6	63	125	750

(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 11-21、11-22，假如本项目发生此种事故，事故等级为较大辐射事故。

(二) 后装机事故后果计算

假设本项目相关人员均未穿戴防护服，根据人员与放射源不同距离随着时间的退役，最大可能受到的剂量见下表：

表 11-25 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 距离	0.5	1	2	5	10	15	30	1450
0.5	1.4	2.7	5.5	1.4×10^1	2.7×10^1	4.1×10^1	8.2×10^1	4.0×10^3
1	3.4×10^{-1}	6.8×10^{-1}	1.4	3.4	6.8	1.0×10^1	2.1×10^1	9.9×10^2
2	8.6×10^{-2}	1.7×10^{-1}	3.4×10^{-1}	8.6×10^{-1}	1.7	2.6	5.1	2.5×10^2

5	1.4×10^{-2}	2.7×10^{-2}	5.5×10^{-2}	1.4×10^{-1}	2.7×10^{-1}	4.1×10^{-1}	8.2×10^{-1}	4.0×10^1
---	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	-------------------

(1) 放射源丢失、被盗

参照表11-20，本项目放射源丢失、被盗可造成较大辐射事故。此外，根据表11-24，III类放射源丢失、被盗、失控，假如在放射源丢失、被盗失控时，24小时内寻回，则最大可能受到的剂量为4Sv，根据表11-21可知，引起人员死亡率为80%；此外，根据《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）表1所述：“骨髓型急性重度放射病的受照剂量范围参考值范围为4.0~6.0Gy”。因此，随着时间的推移，维修人员在主射方向上，直线加速器出束会导致人员发生急性重度放射病、局部器官残疾。

(2) 人员在后装机机房误照射事故

在假设事故情况下，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，受到最大有效剂量为21mSv/次，其有效剂量将超过人员年剂量限值（20mSv），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，受到最大有效剂量为27mSv/次，结合表11-21，其有效剂量超过人员年剂量限值（20mSv），为一般辐射事故。

(三) DSA 事故后果计算

1、事故假设

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

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

2、剂量估算

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

表 11-26 事故状态下非主射方向不同停留时间和距离人员受照剂量表

关注点与射线装置的距离(m)	时间 (min)	散射所致剂量 (mGy)	漏射所致剂量 (mGy)	总剂量 (mGy)
0.5	2	2.04×10^{-1}	6.29×10^{-1}	8.33×10^{-1}
	5	5.11×10^{-1}	1.57	2.08
	10	1.02	3.14	4.16
1	2	5.11×10^{-2}	1.57×10^{-1}	2.08×10^{-1}
	5	1.28×10^{-1}	3.93×10^{-1}	5.21×10^{-1}
	10	2.55×10^{-1}	7.86×10^{-1}	1.04
1.5	2	2.27×10^{-2}	6.98×10^{-2}	9.25×10^{-2}
	5	5.67×10^{-2}	1.75×10^{-1}	2.31×10^{-1}
	10	1.13×10^{-1}	3.49×10^{-1}	4.63×10^{-1}
	15	1.70×10^{-1}	5.24×10^{-1}	6.94×10^{-1}
2	2	1.28×10^{-2}	3.93×10^{-2}	5.21×10^{-2}
	5	3.19×10^{-2}	9.82×10^{-2}	1.30×10^{-1}
	10	6.38×10^{-2}	1.96×10^{-1}	2.60×10^{-1}

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

表 11-27 事故状态下主射方向不同停留时间和距离维修人员受照剂量表

距离	时间 (s)	剂量 (mGy)	距离	时间 (s)	剂量 (mGy)	距离	时间 (s)	剂量 (mGy)
0.5	1	5.24	1.0	1	1.31	2.0	1	3.27×10^{-1}
0.5	2	10.5	1.0	2	2.62	2.0	2	6.55×10^{-1}
0.5	4	21.0	1.0	4	5.24	2.0	4	1.31
0.5	30	157	1.0	16	21.0	2.0	30	9.82
0.5	60	314	1.0	60	78.6	2.0	61	20.0
0.5	90	471	1.0	90	118	2.0	90	29.5

(3) 事故后果

根据表 11-26 可知，本项目介入手术人员在不同位置随着时间的推移，非主射方向上最大可能受照剂量为 4.16mGy/次，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871- 2002）规定的职业人员 20mSv/a 的剂量限值，因此，介入手术人员或误入人员单次滞留在机房内而造成非主射方向的误照射，不构成辐射事故。

根据表 11-27 可知，维修人员在不同位置随着时间的推移，最大可能受照剂

量为 471mGy/次，高于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871- 2002）规定的职业人员 20mSv/a 的剂量限值。根据表 11-22 可知，引起人员急性重度放射病、局部器官残疾的概率低于 1%，此外，根据《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104 -2017）表 1 所述：“骨髓型急性重度放射病的受照剂量范围参考值范围为 4.0~6.0Gy”。因此，本项目不会导致人员发生急性重度放射病、局部器官残疾。本项目发生此种事故，事故等级为一般辐射事故。

（四）模拟定位机事故后果计算

根据Ⅲ类医用射线装置的工作情况，事故情况下可使受照人员受超年剂量限值的照射，属于一般辐射事故。

五、事故防范措施

（一）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。

（二）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，医院关闭后装机机房，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¹⁹²Ir放射源为Ⅲ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。县级以上地方人民政府及其有关部门接到辐射事故报告后，应当按照事故分级报告的规定及时将辐射事故信息报告上级人民政府及其有关部门。

（三）DSA 事故防范措施

DSA 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 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 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 导致辐射事故时，应即时上报当地生态环境主管部门。

（四）Ⅲ类医用射线装置事故防范措施

本项目共涉及Ⅲ类医用射线装置 1 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和卫健委。

（五）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连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、辐射安全与环境保护管理机构的设置

叙永县人民医院已成立辐射安全管理领导小组，并于 2019 年调整了医院辐射安全管理领导小组成员名单（叙人医[2019]35 号）（附件 2）。

领导小组文件已包含内容：

①小组组成成员

组 长：黄嵩

副组长：靳开宇、李正业、朱静

组 员：李红、李琼、陈怀德、安崇宁、张静、郭美德、温锴、张跃群、刘涛、范涛、万里、付麟

根据医院辐射安全管理领导小组机构文件，医院还需在以下几个方面对文件进行完善：

①补充领导小组相关联系人电话；

②定期修订、检查辐射安全管理领导小组机构成员名单，确保领导小组的实效性；

③发生放射事故事件和和个人剂量异常事件后，积极组织开展事故原因调查，并按照程序向生态环境主管部门报告；

④落实辐射工作场所安全设施设备的定期维护管理，并严格执行日常维护工作。

二、辐射工作岗位人员配置和能力分析

（1）辐射工作岗位人员配置和能力现状分析

①人员配置

本项目辐射工作人员配置情况：本项目拟配备辐射工作人员20名，项目投运后，根据承担治疗人数实际情况进行调整。

②操作人员均需取得相应的操作证书，熟悉专业技术。

③本项目辐射工作人员，医院应组织其他辐射工作人员在网上参加辐射安全与防护培训学习，网址为：<http://fushe.mec.gov.cn>。

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。

(2) 辐射工作人员能力培养方面还需从以下几个方面加强

①对放射源、医用射线装置，应加强操作人员对其安全操作的培训。

②建设单位应严格执行辐射工作人员培训制度，组织辐射工作人员及相关管理人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）上参加辐射安全与防护专业知识的学习、考核，考核通过后方可上岗，需确保在有效期内。

③个人剂量档案管理人员应将每季度的检测结果告知辐射工作人员，如发现结果异常，将在第一时间通知相关人员，查明原因并解决发现的问题。

辐射安全档案资料管理和规章制度

一、档案管理分类

医院对相关资料进行了分类归档放置，包括以下九大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“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

医院已制定了一系列辐射安全规章制度，具体见表 12-1。

表 12-1 项目单位辐射安全管理制度制定要求

序号	制度名称	备注
1	辐射防护安全责任制度	需根据新增项目完善，明确医院具体的辐射管理工作，辐射管理人员的相关职责及分工
2	辐射工作人员岗位职责	需根据新增项目完善，需悬挂于辐射工作场所墙上
3	辐射工作场所安全管理要求	需根据新增项目完善，需悬挂于辐射工作场所墙上
4	辐射安全和防护设施维护维修制度	需根据新增项目完善
5	放射源与射线装置台账管理制度	需根据新增项目完善
6	场所分区管理规定	需根据新增项目完善，应包含但不限于人流、物流图，患者管理规定
7	放射源管理规定	需根据新增项目完善，应包含但不限于换源程序及要求

8	定期剂量检测和剂量仪的校准制度	需根据新增项目完善
9	辐射工作人员培训计划	需根据新增项目完善，内容应至少包括参加辐射安全与防护专业知识的学习、考核的要求及频次
10	辐射工作设备操作规程	需根据新增项目完善，挂于辐射工作场所墙上，明确医生直线加速器、后装机、DSA工作流程及设备的操作程序
11	辐射工作人员个人剂量管理制度	需根据新增项目完善
12	辐射事故处理、应急处置规章制度	需根据新增项目完善，预案中“辐射事故应急响应程序”应悬挂于辐射工作场所墙上
13	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	需根据新增项目完善，监测方案参考本章辐射监测内容
14	质量保证大纲和质量控制检测计划	需根据新增项目完善，内容应至少包括受检者非照射部位所采取的辐射防护措施

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。

三、《辐射安全许可证》发放条件对照分析

结合《辐射安全许可证》发放条件、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2017 年修订，原环保部第 31 号令），将本项目采用的辐射安全防护措施列于表 12-2。

表 12-2 《辐射安全许可证》发放条件与本项目评价结果

序号	环保部第 3 号令要求	项目实际情况	评价结果
1	设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作	已按照要求成立辐射安全与环境保护管理领导小组	满足要求
2	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核	组织辐射工作人员通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核	人员通过考核后，满足要求

3	射线装置使用场所防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施	需配置电离辐射警告标志和工作状态指示灯等	配置后满足要求
4	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警仪、辐射测量仪器等。	新增辐射工作人员需配备个人剂量计和便携式辐射监测仪	配备后满足要求
5	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案	需制定《监测方案》和《辐射工作人员个人剂量管理制度》	制定后满足要求
6	有完善的辐射事故应急措施	需制定《辐射事故应急预案》	完善后满足要求
7	产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案	设计中已具备	按照本报告提出的要求落实后可满足要求
8	使用射线装置开展诊断和治疗的单位，还应当配备质量控制检测设备，制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划，至少有1名医用物理人员负责质量保证与质量控制检测工作	需制定《放射治疗质量保证大纲和质量控制计划》，并由专业人员负责质量保证与质量控制检测工作	制定后满足要求

建设单位在具备《辐射安全许可证》申领条件后，及时到四川省生态环境厅申请办理相关业务。

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。

一、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》的重要组成部分一并提交给发证机关。

日常自我监测：定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行监测），制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案。

二、个人监测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工

作人员需佩戴个人剂量计，监测周期为 1 次/季。

医院应按以下要求做好个人剂量档案的管理：

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

（2）个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度监测报告一起作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关；

（3）根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019），就本项目而言，辐射主要来自前方，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般左胸前；对于工作中穿戴铅衣（如放射科操作）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，当受照剂量可能超过调查水平时（如介入操作），则还需要在铅衣外面衣领上另外佩带一个剂量计，以估算人体未被屏蔽部分的剂量；

（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。

三、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。

四、监测内容和要求

（1）监测内容：X-γ空气吸收剂量率。

（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 12-2）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，建立好监测数据台账以便核查。

表 12-2 工作场所监测计划建议

场所或设备	监测内容	监测周期	监测布点位置
6MV 直线加速器	X 射线	验收监测 1 次，委托有资质的	墙体四周外侧、操作人员操作位、防护门外、迷道内墙外、机房正上方

后装机	γ 射线	单位监测，频率为1次/年； 自行开展辐射监测	墙体四周外侧、操作人员操作位、防护门外、机房正上方区域
DSA	X射线		铅窗、操作位、防护门、与机房相邻的房间或过道、机房正上方、正下方
模拟定位机	X射线		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。

五、年度监测报告情况

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。医院已应按照《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

六、现有辐射项目开展辐射监测的情况

1、个人剂量检测

医院所有辐射工作人员均佩戴了个人剂量计，每季度对个人剂量进行检测，并按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）和《放射性同位素与射

线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令18号）要求建立个人剂量档案，医院有专人负责个人剂量管理工作。医院提供了2020年度辐射工作人员个人剂量检测报告，医院辐射工作人员年剂量值均未超过5mSv，其中有一名工作人员（黄立）第三季度个人剂量出现超过1.25mSv的情况，出现超标的原因是下班后未及时将工作服拿出机房，导致个人剂量计留置机房造成，情况说明见附件9。

2、工作场所辐射水平监测

根据原环保部18号令和《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)》的要求，医院每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行监测。医用射线装置工作场所监测，主要针对射线装置机房周围（四周墙体、楼上和楼下、防护门和观察窗）、控制室等。医院委托了宜宾蓝瑞鑫卫生检测科技有限公司开展了2020年度辐射环境现状监测，在监测结果中，未发现屏蔽体外0.3m处超过2.5μSv/h的情况。

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、卫健委等主管部门报告。

2、应急措施

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，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。

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。

（3）医院应完善组织、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。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

本项目建设内容与规模为：

医院拟在拟在新院区内医疗综合楼负二层使用 1 台 6MV 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）、1 台后装机（内含一枚 ^{192}Ir 放射源，初始活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，为Ⅲ类密封放射源）；在医疗综合楼四层 2 间 DSA 机房内分别使用 1 台数字减影血管造影系统（简称“DSA”，Ⅱ类射线装置），用于肿瘤治疗、介入治疗。

1、直线加速器

医院电子直线加速器项目位于医疗综合楼负二层，本项目 6MV 直线加速器治疗时 X 射线最大能量为 6MV，1m 处剂量率为 6Gy/min，加速器年诊疗人数最多 300 人，每人最多治疗 25 野次，平均每野次出束 2min，年出束 250h。

2、后装机

后装机项目位于医疗综合楼负二层，后装机房拟使用 1 台装机，内含一枚 ^{192}Ir 放射源，额定装源活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，为Ⅲ类密封放射源，年出束时间约 150h。

3、模拟定位机

模拟定位机项目位于医疗综合楼负二层，机房内拟配置使用 1 台模拟定位机（CT），额定管电压 140kV，额定管电流 800mA，主要用于放疗定位。

4、DSA

DSA 项目位于医疗综合楼四层，分为 DSA-1 和 DSA-2，机房内各配置使用 1 台 DSA，型号待定，额定管电压均为 125kV，额定管电流均为 1000mA。每台设备用于介入治疗的工作负荷约为 400 人次/台·年，每台设备年曝光时间为 58h（其中透视 56h，拍片 2h）。

二、本项目产业政策符合性分析

本项目系核和辐射技术用于医学领域，属高新技术。根据《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 29 号）相关规定，本项目属于鼓励类第六项“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术

开发”和第三十七项“卫生健康”中第 5 款“医疗卫生服务设施建设”，符合国家产业发展政策。

三、本项目外环境关系及选址合理性分析

本项目涉及的辐射工作场所均位于医院医疗综合楼内。本项目所在医院已在“叙永县人民医院改扩建工程”进行环境影响评价并取得批复（叙环项函[2018]63 号，附件3），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所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对辐射工作人员和公众的照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求，并满足报告表确定的剂量管理约束值的要求。综上，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。

四、所在地区环境质量现状

由监测报告得知，项目所在区域的 X- γ 辐射空气吸收剂量率背景值为 0.08~0.10 μ Sv/h，在普通生活环境状态下，辐射类型权重因子按 1 进行考虑，则室外 X- γ 辐射剂量率背景值为 80nGy/h~100nGy/h，上述监测结果与《四川省生态环境状况公报 2019 年》中四川省电离辐射环境监测自动站测得的 X- γ 辐射空气吸收剂量率（76.8nGy/h~163nGy/h）处在同一水平，属于当地正常辐射水平。

五、环境影响评价分析结论

（1）施工期环境影响分析

本项目施工工程量比较小，施工时间较短，故施工期的环境影响是短暂的，施工结束后影响即可消除，对周围环境影响较小。

（2）营运期环境影响分析

严格落实环评提出的要求后，本项目所致职业人员年剂量低于本次确定的 5.0mSv 剂量约束值；所致公众年剂量低于本次确定的 0.1mSv 剂量约束值。评价结果表明本项目辐射工作场所的防护性能符合要求。

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

医院按要求制订合理可行的辐射事故应急预案和安全规章制度，并认真贯彻实施，可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、环境影响评价报告信息公开

在本项目环境影响报告表送审前，建设单位叙永县人民医院在医院网站上进行了公示，截至报告送审前，未收到单位和个人有关项目情况的反馈意见。

十、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项目建设是可行的。

十一、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

辐射安全防护设施		数量（套/个）
6MV 直线加速器		
实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	1 套
	铅防护门	1 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
	条件显示联锁、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	1 个
	入口加速器工作状态显示	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	紧急开门按钮	1 个
	监控、对讲装置	1 套
	紧急停机按钮	3 个
监测设备	机房内固定式剂量报警仪	1 台
	便携式辐射监测仪	1 台
	个人剂量报警仪	7 个
	个人剂量计	7 套

其他	通风系统	1 套
后装机		
场所设施	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
	防护墙体、后装机机房迷道、铅防护门、防盗门	各 1 套
	¹⁹² Ir 源专用贮存柜	设备自带
警示装置	入口处电离辐射警告标志	1 个
	入口处机器工作状态显示	1 个
	操作警示装置	1 套
紧急设施	放射源返回储源器的应急开关	1 套
	机房门与源联锁	1 套
	紧急开门按钮	1 套
	备用应急贮源罐	1 套
监测设备	便携式辐射监测仪	1 台
	后装机机房内固定式剂量监测仪	1 套
	放射源在线监测仪	1 套
	个人剂量报警仪	4 个
	个人剂量计	4 套
其他	通风系统	1 套
DSA		
场所设施	防护墙体	2 套
	机房防护门	6 扇
	操作位局部屏蔽防护设施	2 套
	观察窗	2 套
	紧急停机按钮	2 套
	门灯联锁装置	2 套
	对讲装置	2 套
警示装置	入口处电离辐射警告标志	4 个
	入口处机器工作状态显示	2 套
	操作警示装置	2 套
监测设备	便携式辐射监测仪	1 台
	个人剂量计	8 套
	个人剂量报警仪	8 个
防护设施	医护人员个人防护	4 套
	患者防护	2 套

其他	通风系统	2 套
模拟定位机（CT）		
实体防护	墙体、铅防护门、观察窗	1 套
警示装置	工作状态指示灯	1 套
	电离辐射警告标志	1 套
紧急设施	门灯联锁装置	1 套
	室内安装紧急制动装置	1 套
	对讲装置	1 套
监测设备	个人剂量计	1 套
其他	通风系统	1 套
相关制度	医院辐射防护安全责任制度、辐射安全操作规程制度、辐射工作人员管理制度、医院剂量监测规章制度、辐射安全装置定期检查与维护规章制度、辐射事故处理、应急处置规章制度、定期剂量检测和剂量仪的校准制度、辐射工作人员培训计划、辐射工作设备操作规程、辐射工作人员岗位职责、辐射工作场所和环境辐射水平监测方案、质量保证大纲和质量控制检测计划	《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。

建议和要求

- 1、落实本报告中的各项辐射防护措施和安全管理制度。
- 2、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培训与考核，证书有效期满前，应组织复训。
- 3、每年要对射线装置、放射源使用情况进行年度评估，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，每年 1 月 31 日前年度评估报告的电子档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>）。
- 4、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。
- 5、医院须重视控制区和监督区的管理。
- 6、现有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。
- 7、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>）。
- 8、本次环评仅涉及射线装置、后装机及其工作场所，日后如有变化，应另

作环境影响评价。

9、根据环保部《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（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>）中备案，同时应当向所在地生态环境主管部门报送相关信息，并接受监督检查。