

核技术利用建设项目

华蓥市第二人民医院

新增射线装置应用项目环境影响报告表

（公示本）

华蓥市第二人民医院

二〇二一年一月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

华蓥市第二人民医院

新增射线装置应用项目环境影响报告表

建设单位：华蓥市第二人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）： ***

通讯地址：四川省广安市华蓥市汪杜路

邮政编码： ***

联系人： ***

电子邮件： ***

联系电话： ***

目 录

表 1	项目基本情况.....	1
表 2	放射源.....	8
表 3	非密封放射性物质.....	8
表 4	射线装置.....	9
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）.....	10
表 6	评价依据.....	11
表 7	保护目标与评价标准.....	17
表 8	环境质量和辐射现状.....	16
表 9	项目工程分析与源项.....	23
表 10	辐射安全与防护.....	30
表 11	环境影响分析.....	40
表 12	辐射安全管理.....	67
表 13	结论与建议.....	72

表 1 项目基本情况

建设项目名称		新增射线装置应用项目			
建设单位		华蓥市第二人民医院			
法人代表	***	联系人	***	联系电话	***
注册地址		四川省广安市华蓥市汪杜路			
项目建设地点		四川省广安市华蓥市新华大道杜家坪汪杜路北侧华蓥市第二人民医院门诊住院综合大楼负一层、一层内			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)		***	项目环保投资 (万元)	***	投资比例 ***
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			占地面积 m ² 100.92
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		
	其他	无			
	项目概述 一、企业概况及项目由来 华蓥市第二人民医院（统一社会信用代码 12511381MB1A12598E，后文简称“医院”）于 2019 年 12 月成立，位于华蓥市医疗卫生服务中心，拟建为一家集医疗、预防、保健、科研为一体的综合性医院，目前医院正在建设中。医院规划总建筑面积约 6 万平方米，设计床位 600 张。医院拟开设专业有心血管内科（心导管室）、消化内科（内镜中心）、呼吸与危重症医学科、血液科、内分泌科、肾内科（血液透析中心）、风湿免疫科、神经内科、普通外科、肝胆外科、泌尿外科、神经外科、胸外科、肛肠科、骨外科、康复科医学科、放射科、肿瘤科。医院内拟设妇女儿童医院，妇产科、儿科				

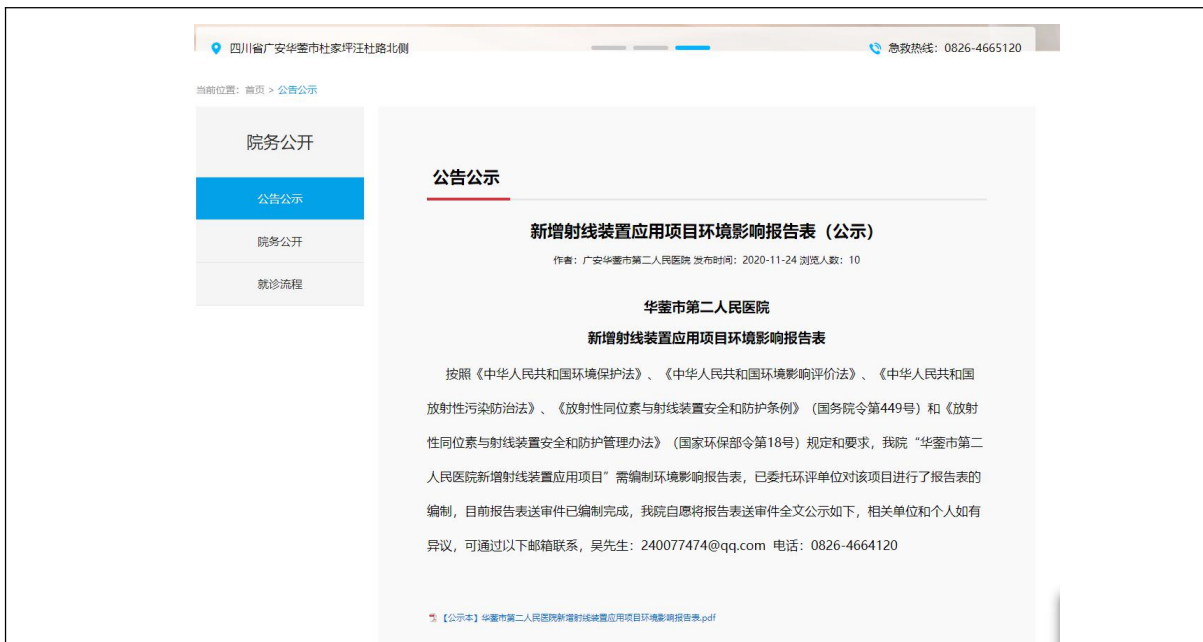
为院重点学科，后续能开展全腹腔镜下宫颈癌根除术、腹腔镜下胰十二指肠切除术、腹腔镜下胃癌根治术、永久心脏起搏器植入术、冠状动脉血管造影及支架植入术、外周血管介入、ERCP、ESD、肾穿刺活检术等诊疗技术。

随着医疗服务对象的扩大及人民群众对医疗服务质量要求的提高，为拓展医院的服务范围，达到预期诊疗水平，医院拟在门诊住院综合大楼负一层新增 1 台 6MV 直线加速器，属 II 类射线装置，依托门诊住院综合大楼一层 CT 室内 CT（备案号：202051168100000171）进行模拟定位，属 III 类射线装置；拟在门诊住院综合大楼一层新增 1 台数字减影血管造影机（DSA），属 II 类射线装置。医院所在的华蓥市医疗卫生服务中心已取得广安市生态环境局的批复（广环审批[2019]27 号）（见附件 2）。

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》、《放射性同位素和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）的规定和要求，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 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—使用 II 类射线装置”，应编制环境影响报告表，报四川省生态环境厅审查批准。

华蓥市第二人民医院委托四川省中栎环保科技有限公司编制该项目的环境影响报告表（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评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，建设单位华蓥市第二人民医院在官网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.gahy120.com/new.php?action=%E5%85%AC%E5%91%8A%E5%85%AC%E7%A4%BA&id=31>



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《国家发展改革委关于修改<产业结构调整指导目录（2019 年本）有关条款的决定>的相关规定，本项目属第一类鼓励类项目的第六项“核能”第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。本项目的运营可为华蓥市及周边病人提供诊疗服务，是提高人民群众生活质量，提高全市医疗卫生水平和建设小康社会的重要内容，本项目具有放射性实践的正当性。

三、项目概况

（一）项目名称、性质、地点

项目名称：新增射线装置应用项目

建设性质：新建

建设地点：四川省广安市华蓥市新华大道杜家坪汪杜路北侧华蓥市第二人民医院门诊住院综合大楼负一层、一层内

（二）建设内容与规模

本项目建设内容及规模为：

1、医院拟在已建门诊住院综合大楼（-1F/10F，高约44m）负一层东北部新建直线加速器机房内使用1台6MV 直线加速器（属II类射线装置，型号待定），用于全身肿瘤诊疗。直线加速器治疗时 X 射线最大能量为6MV，1m 处剂量率为3Gy/min，年曝光时

间约100h。

加速器机房面积（含迷道）约50.40m²，其西南侧预留有控制室（面积为12.24m²）、病人准备室（面积为15.75m²）、加速器水冷机房（面积为12.60m²）及辅助机房（面积为13.26m²）。加速器机房四面墙体、迷路、顶部和底部均为钢筋混凝土，主射朝向西南侧墙体、东北侧墙体、顶部。加速器机房西南侧主屏蔽墙厚2200mm、宽3700mm，次屏蔽墙厚1200mm；东北侧主屏蔽墙厚2000mm、宽6000mm，次屏蔽墙厚1000mm；西北侧迷路内墙厚1000mm、外墙厚1000mm；顶部主屏蔽墙厚2200mm、宽3700mm，次屏蔽墙厚1350mm；东南侧屏蔽墙体厚1000mm；防护门为15mm 铅当量单扇电动推拉铅钢防护门。

2、本项目拟在已建门诊住院综合大楼（-1/10F，高约44m）一层北部新建的 DSA 手术室内使用1台数字减影血管造影机（DSA），其额定电压为125kV、额定电流为1000mA，出束方向由下而上，属于II类射线装置。本项目年曝光时间累计约89.96h（拍片5 h、透视84.96 h），主要用于介入治疗、血管造影等。

DSA 手术室面积约为50.52m²。DSA 手术室东北侧、东南侧、南侧墙体均为240mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡水泥砂浆（约合4.9mmPb）；西南侧墙体为370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡水泥砂浆（约合5.8mmPb）；屋顶为120mm 混凝土+50mm 硫酸钡水泥砂浆（约合6.17mmPb），地板为120mm 混凝土+14mm 铅钢防护板（约合3.3mmPb）；防护门均采用4mmPb 铅门（3扇），观察窗为4mmPb 厚铅玻璃（1扇）。

建设项目组成及主要的环境问题见表 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	运营期
主体工程	门诊住院综合大楼	直线加速器机房	设备、数量	6MV 直线加速器 1 台	噪声、扬尘、固体废物已在《华蓥市卫生	X 射线、臭氧、噪声
			设备型号	待定		
			管理类别	II类		
			使用场所	门诊住院综合大楼（-1F/10F）负一层东北部加速器机房		
			年曝光时间	100h		
			1m 处剂量率	X 射线 1m 处剂量率为 3Gy/min		

			屏蔽体结构 (墙体、迷路和顶部均为混凝土)	主射朝向西南侧墙体、东北侧墙体、顶部。 ①加速器机房西南侧主屏蔽墙厚 2200mm、宽 3700mm，次屏蔽墙厚 1200mm；东北侧主屏蔽墙厚 2000mm、宽 6000mm，次屏蔽墙厚 1000mm；西北侧迷路内墙厚 1000mm、外墙厚 1000mm；顶部主屏蔽墙厚 2200mm、宽 3700mm，次屏蔽墙厚 1350mm；东南侧屏蔽墙体厚 1000mm。②防护门为 15mm 铅当量单扇电动推拉铅钢防护门。	医 疗 服 务 中 心 (一 期) PPP 项 目 (A 部分) 环 境 影 响 报 告 书 》 (广 环 审 批 [2019] 27 号) 中 进 行 了 评 价。	
	住院 综合 楼	DSA	设备、数量	1 台 DSA		
			设备型号	待定		
			管理类别	II类		
			使用场所	门诊住院综合大楼 (-1/10F) 一层 DSA 手术室		
			屏蔽体结构	主射朝向由下而上，东北侧、东南侧、南侧墙体均为 240mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡水泥砂浆 (约合 4.9mmPb)；西南侧墙体为 370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡水泥砂浆 (约合 5.8mmPb)；屋顶为 120mm 混凝土+50mm 硫酸钡水泥砂浆 (约合 6.17mmPb)，地板为 120mm 混凝土+14mm 铅钢防护板 (约合 3.3mmPb)；防护门均采用 4mmPb 铅门 (3 扇)，观察窗为 4mmPb 厚铅玻璃 (1 扇)		
			年曝光时间	89.96h (拍片 5 h、透视 84.96 h)		
			电压、电流	125kV/1000mA		
辅助工程	直线加速器：控制室、更衣室、加速器水冷机房等。					
	DSA：操作室、刷手间、缓冲区、医生更衣室、卫生间、淋浴、材料库、为病人缓冲区、术后复苏间、设备间、污物打包间。					
公用工程	候诊区、过道					
办公及生活设施	办公学习区、公共卫生间、污水处理站、医疗废物收集及暂存库等					
仓储或其它	其他用房					

(三) 本项目主要原辅材料及能耗情况

本项目 DSA 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

类别	名称	使用量	来源	主要化学成分
主要原辅材料	造影剂	2000 瓶	外购	碘海醇

	电(kW)	10000kW·h	市政电网	-
	气(Nm ³)	-	-	-
	水	420.5m ³	-	-

(四) 本项目所涉及的医用射线装置

本项目涉及医用射线装置的情况见表 1-3。

表 1-3 本项目射线装置参数表

装置名称	型号	生产厂家	设备参数	管理类别	年总出束时间	出束方向	使用场所	备注
DSA	待定	待定	125kV 1000mA	II类	89.96h (拍片 5 h、透视 84.96 h)	由下向上	门诊住院综合大楼一层北部 DSA 手术室	拟购
直线加速器	待定	待定	最大 X 射线能量 6MV	II 类	年总曝光时间约 100h	东北侧、西南侧墙体、顶部	门诊住院综合大楼负一层东北部加速器机房	拟购

表 1-4 各科室介入手术工作量分配

科室名称	年手术数量	平均每人手术曝光时间		年曝光时间		
		拍片(min)	透视(min)	拍片(h)	透视(h)	小计(h)
心内科	550	0.30	6.00	2.75	55.00	57.75
神内科	200	0.30	4.00	1.00	13.30	14.30
神外科	150	0.30	4.00	0.75	10.00	10.75
胸外科	100	0.30	4.00	0.50	6.66	7.16
合计	1000	1.20	18.00	5.00	84.96	89.96

(五) 工作人员配置情况

医院人员配备情况如下表所示：

表 1-5 工作人员配置情况

序号	装置名称	配备人数	人员构成	备注
1	直线加速器	9	医师 5 名、技师 2 名、物理师 2 名	均为新增辐射工作人员，且专岗专责
2	DSA	8	医师 5 名、技师 1 名、护士 2 名	

医院拟配备辐射工作人员共 17 名，其中加速器拟配备 9 名辐射工作人员（医师 5 名、技师 2 名、物理师 2 名）；DSA 拟配备 8 名辐射工作人员（医师 5 名、技师 1 名、护士 2 名），从事本项目 DSA 后不承担其他辐射工作；以后可根据设备数量，承担诊疗、教学科研任务，开展的项目和工作量等实际情况适当增减人员编制。

工作制度：医院实行 8 小时工作制度，周工作日为 5 天。

四、本项目外环境及选址合理性分析

（一）项目外环境

本项目选址于广安市华蓥市新华大道杜家坪汪杜路北侧华蓥市第二人民医院门诊住院综合大楼（-1F/10F）内，直线加速器机房位于门诊住院综合大楼负一层东北部，DSA 手术室位于门诊住院综合大楼一层北部。

本项目直线加速器机房西南侧依次为病人准备间、控制室、水冷机房、辅助机房；东南侧、东北侧、西北侧均为天然土壤层；顶部约 6m 为院内地上停车场；正上方东北侧约 18m 为杜家坪村二组 105 号民房；正上方南侧约 50m 为月子中心。本项目 DSA 手术室东北侧、东南侧依次为操作室、刷手间、缓冲区、医生更衣室、卫生间、淋浴；西南侧依次为材料库、病人缓冲区、术后复苏间；西北侧依次为设备间及污物打包间；东北侧紧邻院内地上停车场；东北侧约 36m 为杜家坪村二组 105 号民房。本项目外环境关系图详见附图 2、附图 3。

（二）选址合理性分析

本项目位于广安市华蓥市新华大道杜家坪汪杜路北侧华蓥市第二人民医院内，其所在华蓥市医疗卫生服务中心已取得广安市生态环境局广环审批（2019）27 号文批复，医院选址合理性已在相关环评报告中进行了论述，本项目仅为其中配套建设内容，不新增用地，且 DSA 手术室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。

直线加速器产生的电离辐射同时经机房实体和天然土体双重屏蔽以及距离衰减后，评价范围内保护目标处剂量率远小于机房屏蔽体外 30cm 处剂量率，人员所受剂量亦低于机房外人员所受剂量，满足本次确定的剂量约束值。因此，从辐射安全防护和环境保护的角度分析，本项目选址是合理的。

综上，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。本项目地理位置图见附图 1。

五、原有核技术利用情况

据了解，华蓥市第二人民医院为新成立医院，无原有核技术利用情况。

1. 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	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—

2. 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	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

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	X 射线最大能量 (MV)	额定电流 (mA)/ 剂量率 (Gy/min)	用途	工作场所	备注
1	医用直线加速器	II 类射线装置	1	待定	电子	6MV	X 射线: 3Gy/min	放射治疗	门诊住院综合大楼负一层直线加速器机房	拟购
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA	II 类	1	待定	125	1000	介入治疗	门诊住院综合大楼一层 DSA 机房	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 (μA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

3. 表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
DSA	气态 O ₃	少量	少量	经过排风扇排放	环境大气
医用直线加速器	气态 O ₃	少量	9.21×10 ⁻⁴ mg/m ³	经过专用通排风系统排放	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，年排放总量为 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》，2015 年 1 月 1 日实施； (2)《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日第二次修订； (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 10 月 1 日实施； (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)《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，根据 2019 年 3 月 2 日《国务院关于修改部分行政法规的决定》第二次修订； (7)《四川省辐射污染防治条例》，四川省第十二届人民代表大会常务委员会公告第 63 号，2016 年 6 月 1 日实施； (8)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（中华人民共和国环境保护部令第 47 号，2017 年 12 月 25 日实施）； (9)《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起实施； (10)《射线装置分类》（环保部公告 2017 年第 66 号）； (11)《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，环发[2006]145 号，原国家环境保护总局、公安部、卫生部文件，2006 年 9 月 26 日； (12)《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，环境保护部文件，2012 年 7 月 3 日； (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)《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； (15)《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）及 2013 年修改
------	--

	单； (16)《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)《电子直线加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)； (8)《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)； (9)《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)； (10)《电子辐射工程技术规范》(GB50752-2012)； (11)《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》(GBZ/T244-2017)； (12)《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)。
其他	(1)环评委托书； (2)医院提供的相关资料； (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)《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)。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据本项目医用射线装置的特点和应用内容，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）要求，确定辐射环境影响评价的范围：以辐射工作场所建筑实体为边界，50m 内区域作为评价范围。

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一览表

		位置	与辐射源 距离(m)	保护 对象	人流量 (人/d)	照射类型	剂量约束值 (mSv)
辐 射 环 境	直 线 加 速 器	控制室（西南侧）	6.69	职业	3	职业照射	5.0
		加速器水冷机房（南侧）	7.13	职业	3	职业照射	5.0
		辅助机房（东南侧）	7.66	职业	1	职业照射	5.0
		病人准备间（西南侧）	8.82	公众	3	公众照射	0.1
		地上停车场 （东北侧以及正上方）	6	公众	10	公众照射	0.1
		放疗中心其他配套用房 （西侧）	10~25	公众	3	公众照射	0.1
		杜家坪村二组 105 号民房 （约 7m 高差，东北侧）	18~50	公众	2	公众照射	0.1
	D S A	DSA 手术室内	0.5/1.0	职业	5	职业照射	5.0
		控制室、医护缓冲区 （东北侧）	5.68	职业	5	职业照射	5.0
		更衣室、洗手间（东南侧）	6.23	职业	5	职业照射	5.0
		病人缓冲区（西南侧）	3.21	公众	1	公众照射	0.1
		术后复苏间（西南侧）	3.49	公众	2	公众照射	0.1
		设备间、污物打包间 （西北侧）	5.29~6.65	公众	1	公众照射	0.1
		DR 室（西南侧）	4.94	公众	2	公众照射	0.1
		病人检查通道（西南侧）	6.65	公众	5	公众照射	0.1
		杜家坪村二组居民房 （东北侧）	36	公众	20（5 户）	公众照射	0.1
		二层示教办公室（正上方）	4	公众	10	公众照射	0.1
		3 层~10 层其他工作人员	6.7~44	公众	30	公众照射	0.1

		(正上方)					
		柴油发电机房 (正下方)	4	公众	1	公众照射	0.1

评价标准

一、环境质量及污染物排放的执行标准

(一) 环境质量控制标准

- 1、环境空气质量执行国家《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 中二级标准；
- 2、声环境质量执行国家《声环境质量标准》(GB3096-2008) 中 2 类声功能区环境噪声限值。

(二) 污染物排放标准

- 1、废气执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 表 2 二级标准；
- 2、医疗废水排放执行《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；
- 3、噪声执行 ①施工期：《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011) 标准；②运营期：《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 表 1 中 2 类区域标准；
- 4、固废：一般固废执行《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB18599-2001) 及原环保部公告[2013]第 36 号修改单。

二、电离辐射剂量限值和剂量约束值

(一) 剂量限值和剂量约束值

- (1) 电离辐射执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。
- (2) 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。
- (3) 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。

本评价按上述标准中规定的职业照射年平均有效剂量的 1/4 执行，即 5mSv，四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量约束限值为 125mSv；公众照射按照标准中规定的

年有效剂量的 1/10 执行，即 0.1mSv。

（二）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），加速器迷路门处、控制室和加速器机房墙体外 30cm 处，周围剂量当量率不大于 2.5μSv/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 使用场所在距离机房屏蔽体外表面 30cm 处，周围辐射剂量当量率应满足：控制目标值不大于 2.5μSv/h。

表 8 环境质量和辐射现状

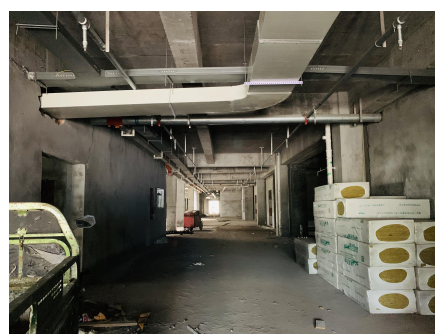
环境质量和辐射现状

一、本项目地理位置

本项目选址于广安市华蓥市新华大道杜家坪汪杜路北侧华蓥市第二人民医院门诊住院综合大楼（-1F/10F）内，直线加速器机房位于门诊住院综合大楼负一层东北部，DSA 手术室位于门诊住院综合大楼一层北部。项目建设位置及正上方现状照片如下：



直加机房拟建位置上方



DSA手术室拟建位置

图 8-1 项目拟建区域现状图

二、辐射环境现状监测及评价

本项目主要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、土壤、地表水和地下水环境质量等进行监测评价，重点对评价区域开展了辐射环境现状监测评价。

为掌握项目所在地的辐射环境现状，本次评价过程中，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 2020 年 08 月 31 日按照要求对华蓥市第二人民医院新增射线装置应用项目拟建场所及周边进行了 X- γ 辐射环境剂量率的布点监测。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	检定情况	

X-γ辐射剂量率	451P 型加压电离室 巡检仪 编号: YKJC/YQ-34	0.01μSv/h~500mSv/h 20keV~2.0MeV	检定/校准单位: 中国测试技术研究院 检定/校准有效期: 2020.07.23~2021.07.22	天气: 多云 温度: 30.3℃ 湿度: 58.158%
----------	--------------------------------------	------------------------------------	---	---------------------------------------

三、质量保证

本项目环境现状监测单位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。

四川省永坤环境监测有限公司质量管理体系:

(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), 有效期至 2024 年 1 月 28 日。

(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。监测人员均经具有相应资质的部门培训, 考核合格持证上岗。

四、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 辐射工作场所 X-γ辐射剂量率监测结果 单位: μSv/h

点位	监测位置	测量值	标准差	备注
直线加速器				
1	直线加速器机房	0.09	0.009	室内
2	直线加速器机房北侧	0.10	0.009	室内
3	直线加速器机房东侧	0.08	0.041	室内
4	直线加速器机房南侧	0.09	0.012	室内
5	直线加速器机房西侧	0.08	0.009	室内
6	直线加速器机房迷道	0.09	0.009	室内
7	病人准备间	0.11	0.009	室内
8	控制室	0.11	0.012	室内

9	水冷机房	0.10	0.013	室内
10	辅助机房	0.09	0.013	室内
DSA				
1	DSA 机房	0.11	0.009	室内
2	DSA 机房北侧	0.11	0.012	室内
3	DSA 机房东侧	0.10	0.009	室内
4	DSA 机房南侧	0.10	0.012	室内
5	DSA 机房西侧	0.10	0.010	室内
6	控制室	0.11	0.009	室内
7	缓冲间	0.11	0.013	室内
8	医生更衣室	0.11	0.014	室内
9	材料库	0.10	0.013	室内
10	病人缓冲间	0.10	0.015	室内
11	术后恢复间	0.12	0.012	室内
12	污物打包间	0.09	0.010	室内
13	DSA 设备室	0.11	0.019	室内
14	DR 室	0.12	0.009	室内
15	DSA 机房北侧墙外	0.12	0.012	室外
16	杜家坪村二组 105 号住户院坝	0.12	0.013	室外

注：以上监测数据均未扣除监测仪器宇宙射线响应值。

项目所在区域室内 X- γ 辐射剂量率背景值为 0.08~0.12 μ Sv/h，在普通生活环境状态下，辐射环境权重因子按 1 进行考虑，则室内 X- γ 辐射剂量率背景值为 80~120nSv/h；室外 X- γ 辐射剂量率背景值为 0.12 μ Sv/h，在普通生活环境状态下，辐射环境权重因子按 1 进行考虑，则室内 X- γ 辐射剂量率背景值为 120nSv/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。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、施工期

本项目加速器机房及DSA手术室土建工程属于“华蓥市卫生医疗服务中心PPP项目”配套建设内容，其施工期环境影响包含在《华蓥市卫生医疗服务中心PPP项目环境影响报告书》中进行了评价，批复文号为广环审批[2019]27号，但还需进行设备安装、管线敷设、铅玻璃窗、铅防护门及其他环境防护设施的安裝；本项目DSA机房还将进行硫酸钡抹面等，施工期将产生扬尘、噪声、生活污水。施工期工艺流程及污染物产生环节见图9-1。

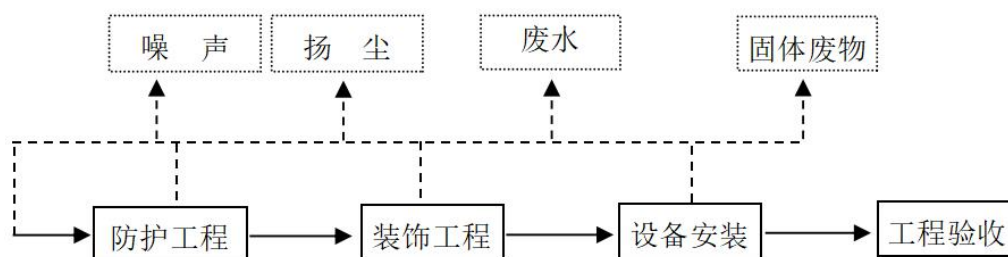


图 9-1 施工期工艺流程及污染物产生环节图

1、扬尘

由于本项目直线加速器机房及 DSA 手术室施工期工程量较小，在主体墙体粉刷后，设备安装及管线敷设过程中几乎不产生扬尘。

2、噪声

由于本项目直线加速器机房及 DSA 手术室主体工程施工期间已预留有管线沟槽，仅设备安装过程中会产生一定噪声，但由于施工范围小，施工噪声对周围环境的影响较小。

3、固体废物

装修过程中产生的装修垃圾和施工人员产生的生活垃圾可依托市政垃圾收运系统收集处理。

4、废水

施工废水沉淀后循环使用，不外排。

二、运营期

（一）射线装置污染源项分析

1、直线加速器工艺流程及产污环节分析

（1）设备组成及工作原理

本项目 6MV 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，给予的每日剂量亦不同。

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，其结构图见附图 9-2，具体参数见表 9-1。

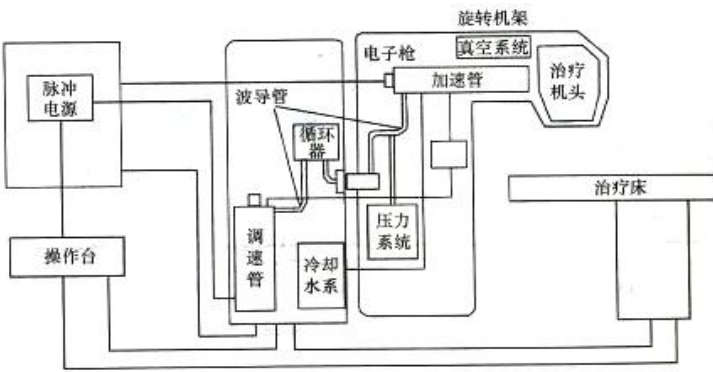


图 9-2 本项目 6MV 直线加速器结构示意图

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	3Gy/min
治疗角	0-360°

正常治疗距离	100cm
主射线最大出束角度	28°
等中心高度	1.3m
最大照射野（SSD=1 米）	40cm×40cm

（2）项目流程及产污环节

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，携带个人剂量报警仪→使用 CT 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：使用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。

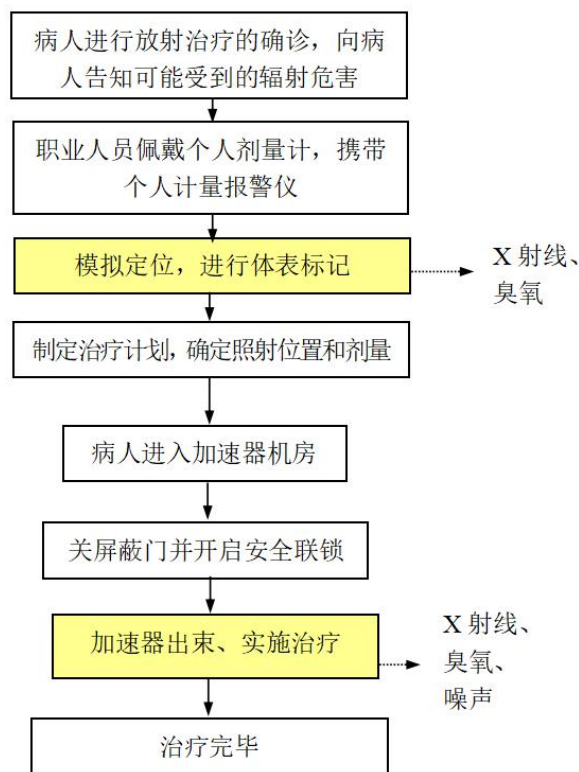


图 9-3 6MV 加速器治疗流程及产污环节示意图

（3）工作负荷

根据院方提供的资料，本项目医用直线加速器的运营时间为每年 50 周，每周 5 天，每天治疗 12 人次，每人平均治疗剂量为 2Gy，则加速器每周工作负荷为 120Gy，每人出束治疗时间最多为 2min（不含摆位时间），年曝光时间为 100h。

(4) 医患分流图

根据项目治疗流程，患者进入放疗室时需要医护人员协助其进行摆位，摆位完成后患者留在放疗室等待治疗，医护人员退出治疗室进入操作室，关闭屏蔽门开启安全联锁，加速器出束实施治疗。本项目医护人员和患者路径图见下图（附图9）。

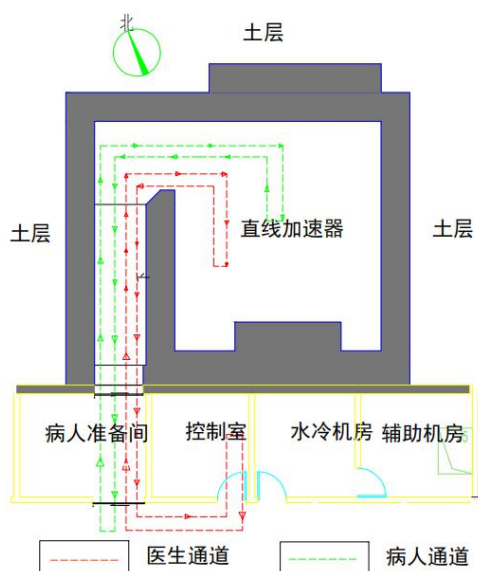


图9-4 本项目医护人员和患者路径图

2、DSA 工艺流程及产污环节分析

(1) 设备组成及工作原理

DSA 是影像增强器技术、电视技术和计算机科学技术相结合的产污，是应用最多的数字化 X 射线透视设备。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、电子计算机图像处理系统、治疗床、操作台、磁盘或磁带机和多幅照相机组成。

数字减影血管造影装置(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。两次数相减，消除相同的信号，得知一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来。且对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示；由于造影剂用量少，浓度低，损伤小、较安全。通过医用血管造影 X 射线机处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

(2) 治疗流程

DSA 在进行曝光时分为 DSA 检查和介入治疗两种情况，对应的治疗流程及产污图见图 9-4：

(1) DSA 检查

DSA 检查采用隔室操作方式，通过控制 DSA 的 X 射线系统曝光，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 射线球管、人体、影像增强器三者之间的距离，然后进入操作间，关好防护门。医师、操作人员通过操作间的电子计算机系统控制 DSA 的 X 系统曝光，采集造影部位图像。医师根据该图像确诊患者病变的范围、程度，选择治疗方案。

(2) DSA 介入治疗

DSA 介入治疗采用近台同室操作方式。通过控制 DSA 的 X 射线系统曝光，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，介入手术医师位于手术床一旁，距 DSA 的 X 射线管 0.5~1.0m 处，在非主射束方向，配备个人防护用品（如铅衣、铅围脖、铅眼镜、铅手套等）。同时手术床旁设有屏蔽挂帘和移动式防护帘。介入治疗中，医师根据操作需求，踩动手术床下的脚踏开关启动 DSA 的 X 射线系统进行透视(DSA 的 X 射线系统连续发射 X 射线)，通过悬挂显示屏上显示的连续画面，完成介入操作。

每台手术 DSA 系统的 X 射线系统进行透视的次数及每次透视时间因患者的部位、手术的复杂程度而不同。介入手术完后关机，病人离开介入室。

(3) 产污环节

本项目 DSA 在开机状态下主要辐射为 X 射线，不开机状态不产生 X 射线；在曝光过程中将产生少量臭氧；辐射工作人员和患者将产生生活污水；介入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；空调设备将产生噪声。

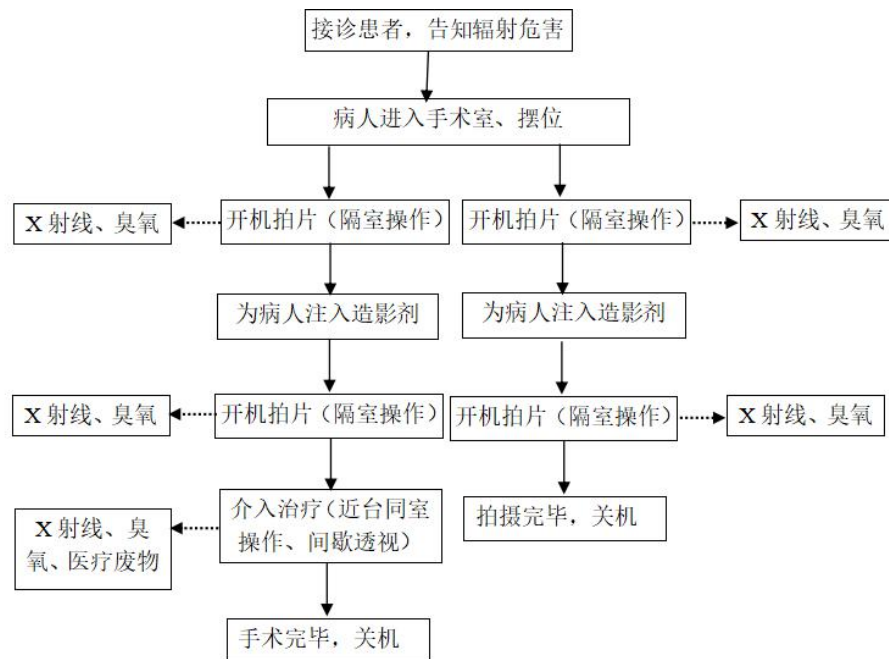


图 9-5 DSA 治疗流程及产污环节示意图

(4) 医患分流图

根据项目治疗流程，患者从病人通道进入手术室，医护、技师从医护通道进入手术室，医疗污物通过污物通道运输。本项目医患、污物分流图见下图和附图 13。

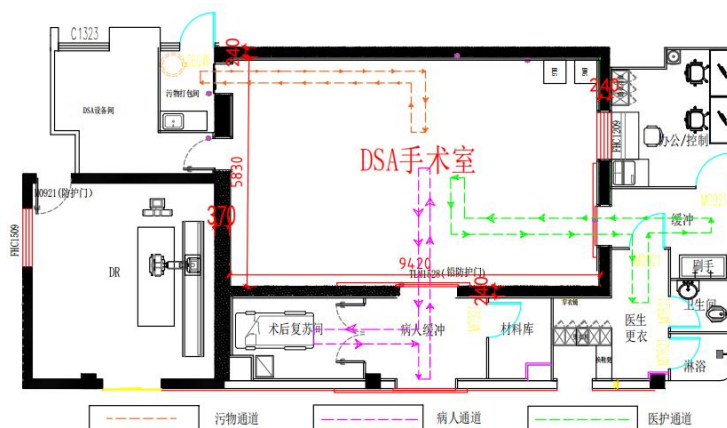


图9-6 本项目 DSA 手术室医患分流图

污染源项描述

（一）施工期及设备调试安装

1、辐射污染源项

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；

射线装置的安装、调试须由设备厂家专业人员操作，同时加强辐射防护管理，严格限制无关人员靠近，防止发生辐射事故。由于设备的安装和调试均在射线装置机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

2、其他环境影响因子

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、电离辐射

DSA 在开机状态下产生的 X 射线，6MV 直线加速器在开机状态下产生的 X 射线。

2、废气

直线加速器、DSA 曝光过程中臭氧产生量很小，经通排风系统处理后对环境影响较小。

3、固体废物

介入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 2kg 的医疗废物，每年固体废物产生量约为 2000kg；辐射工作人员会产生少量的生活垃圾及办公垃圾由环卫部门统一定期清运。

4、废水

本项目医疗废水、生活废水经预处理后排入污水处理站处理，达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 中预处理标准限值后，接入市政污水管网。

5、噪声

本项目噪声源主要为风机噪声、空调噪声。医院拟采用低噪音风机，其噪声值不

超过 65dB (A)，且设备均处于地下负一层，通过建筑墙体、土壤层隔声及距离衰减后，对外界声环境影响较小。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、辐射工作场所平面布置及两区划分

1、项目平面布置

本项目选址于广安市华蓥市新华大道杜家坪汪杜路北侧华蓥市第二人民医院门诊住院综合大楼（-1F/10F）内，直线加速器机房位于门诊住院综合大楼负一层东北部，DSA 手术室位于门诊住院综合大楼一层北部。

本项目直线加速器机房西南侧依次为病人准备间、控制室、水冷机房、辅助机房；东南侧、东北侧、西北侧均为天然土壤层，机房位于地下负一层，周围人员较少，流动性较大，设有专用的候诊区域、就诊通道和医护通道，布局合理可行。

本项目 DSA 手术室东北侧、东南侧依次为操作室、刷手间、缓冲区、医生更衣室、卫生间、淋浴；西南侧依次为材料库、病人缓冲区、术后复苏间；西北侧依次为设备间及污物打包间，手术室设有专用的候诊区域、就诊通道和医护通道，布局合理可行。

2、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。

本项目控制区和监督区划分情况见表 10-1、图 10-1、10-2。

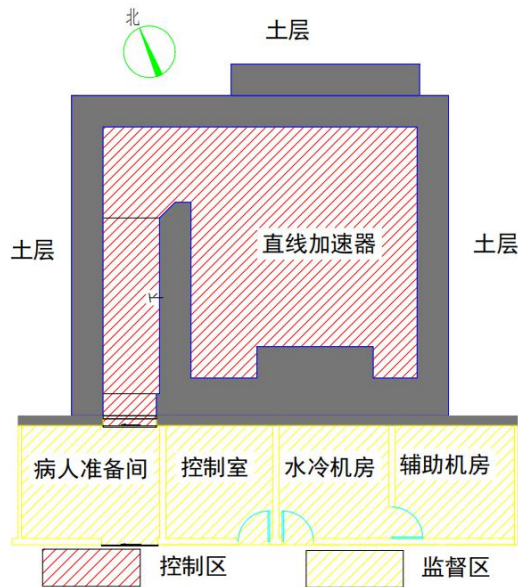


图 10-1 直线加速器机房两区划分图

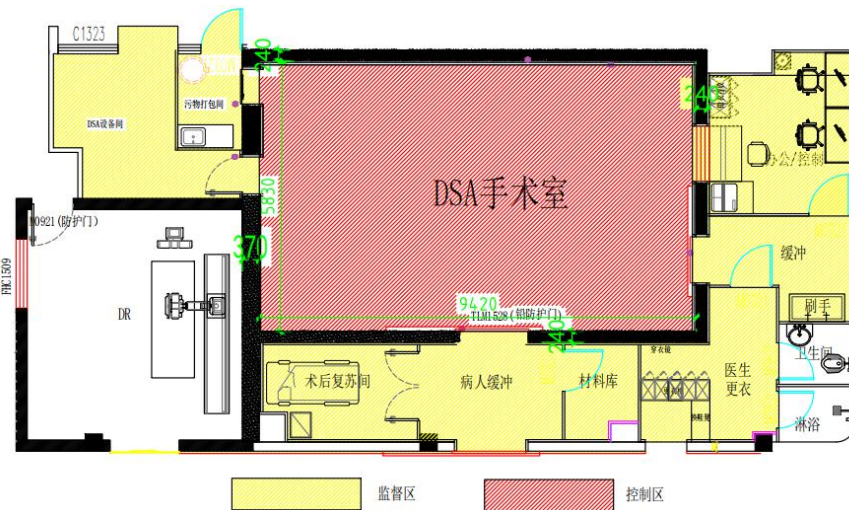


图 10-2 DSA 手术室两区划分图

表 10-1 本项目控制区和监督区划分情况

项目	控制区	监督区
加速器	加速器机房（含迷道）	控制室、加速器水冷机房、病人准备间
DSA	DSA 手术室	控制室、更衣室、医生缓冲区、洗手间、医生更衣室、材料库、病人缓冲区、术后复苏间、污物打包间、设备间

医院需重视控制区和监督区的管理，进行分区管理。

二、医用直线加速器的安全与防护

（一）辐射屏蔽措施

根据华蓥市第二人民医院提供的资料，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》（GBZ 126-2011）进行校核，结果表明直线加速器机房实际使用面积为50.40m²，大于GBZ 126-2011要求的机房实际使用面积为45m²。机房墙体、迷路和顶部均采用混凝土作为防护，防护门为15mm铅当量单扇电动推拉铅钢防护门。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），本项目直线加速器机房墙体屏蔽满足相关要求，具体如表10-2所示：

表 10-2 医用直线加速器工作场所实体防护设施表

场所	机房面积	墙体		防护门	顶部
		结构及厚度（混凝土）		结构及厚度	结构及厚度
直线加速器机房	50.40m ²	东北侧	主屏蔽墙厚 2000mm、宽 6000mm，次屏蔽墙厚 1000mm	15mm 铅当量单扇电动推拉铅钢防护门	主屏蔽区：2200mm 宽：3700mm 次屏蔽区：1350mm
		西南侧	主屏蔽墙厚 2200mm、宽 3700mm，次屏蔽墙厚 1200mm		
		东南侧	1000mm 厚混凝土		
		西北侧迷路	内墙厚 1000mm、外墙厚 1000mm		

备注：混凝土密度2.35g/cm³。

（二）通风系统

通排风系统：6MV 直线加速器机房配置有通排风系统。进风口设置在距迷路入口处 3m 处，排风口设置在机房东南侧距地高度 0.8m 处，风管穿墙高度-0.5 米，以“U”型管道穿墙与大楼排风系统连接。抽出的臭氧经 400×400mm 的排风管经通风管道输送至楼顶排放，排放口朝向东南侧，通风频率共计 10 次/小时，排风量约 1864m³/h。排风扇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）直线加速器的辐射防治措施

1、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。机房内四周墙体距地 2.4m (3 个)、迷路口距地 2.4m 处 (1 个) 均安装有监控装置, 保证机房内监控全覆盖, 如附图 10 所示。

(2) 操作台控制: 防止非工作人员操作的锁定开关、对治疗室电视监控和对讲装置。

(3) 连锁装置

①门-机连锁: 加速器机房铅门要与出束连锁, 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。

②门-剂量连锁: 加速器机房铅门与固定式辐射剂量监测仪连锁, 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。

③门-灯连锁: 加速器机房铅门与工作状态显示连锁, 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。

(4) 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、迷路门出口处均设置有中文标识的紧急停机开关, 误入人员按动紧急停机开关就能使加速器停机; 迷路出口处设置中文标识的紧急开门按钮。

(5) 工作状态显示及警示标识: 加速器机房铅门上设置明显的电离辐射警告标志, 出入口应有工作状态显示、声音、光电等警示措施。

(6) 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), 探头安装在机房迷路内墙上 (靠近防护门), 只要迷路内的剂量超过预设的剂量阈值, 就会报警。

(7) 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。

(8) 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的自动报警仪。

(9) 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。

2、直线加速器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。

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，降低辐射事故的发生率。

3、加速器治疗项目对患者的防护要求

在满足治疗和诊断要求前提下，根据治疗和诊断要求以及病人实际情况制定最优化的治疗、诊断方案，减少工作人员所受剂量，也保护患者受到多余剂量的照射。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“医疗防护最优化”的要求，医院制定《治疗照射最优化方案》需要包括以下内容：

(1) 医用放射性设备要求：医疗照射的系统应当可及时发现系统内单个部件的故障，以使对患者的任何非计划医疗照射减至最小，并有利于尽可能避免或减少人为失误。医院同时应在设备供货方的合作下，使设备时刻处于安全状态。

(2) 操作要求：应按照电离辐射防护与辐射源安全基本标准 (GB18871-2002) 的要求完善对婴儿及孕妇的防护。

(3) 医疗照射的质量保证：医院按要求在放射治疗中配备了相应的治疗医师、物理师、技师等，并制定了质量保证大纲 (方案)。

对病人的防护措施，应做到：

①根据临床检查结果，对患者肿瘤诊断和治疗方式利弊进行分析，选取最佳治疗方案，并制定最佳治疗计划。

②在保证肿瘤得到足够精确致死剂量使其得以有效抑制或消除的前提下，按病变

情况，采用适当技术措施，保护照射野以外的正常组织和器官，使受照剂量尽可能小，以获取尽可能大的治疗效果。

③定期对治疗中患者进行检查和分析，根据病情变化需要，调整治疗计划，密切注意体外放疗中出现的放射反应和可能出现的放射损伤，采取必要的医疗保护措施。

④在治疗过程中，医院应当为患者穿戴合适的防护用品（如铅衣、铅围裙），采用体模或面模固定病人，制作铅挡块，对敏感器官和组织进行屏蔽防护。

⑤患者治疗过程中详细记录设备运行情况，发现异常，分析产生原因并及时修正。

⑥照射过程中，通过电视监视病人，发现异常应立即停止照射，继续治疗时应重新设定。

⑦严禁患者治疗完后在治疗场所逗留。

医院需制定《治疗照射最优化方案》，并严格按照该规程操作；在每次使用治疗之前，医院应告知病人本次治疗或诊断所受到的辐射剂量率水平，尊重患者及其家属享有的知情权。

三、DSA 的安全与防护

（一）辐射屏蔽措施

根据医院提供的防护设计资料，参照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），本项目机房与标准屏蔽措施对照情况见表 10-3。

表 10-3 机房的实体防护设施对照表

名称	面积（m ² ）	四周墙体	屏蔽门	观察窗	屋顶	地板
DSA 机房	50.52（最小单边长度 5.86m）	东北侧、东南侧、南侧墙体均为 240mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡水泥砂浆；西南侧墙体为 370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡水泥砂浆	3 扇铅门	1 扇铅玻璃	120mm 混凝土+50mm 硫酸钡水泥砂浆	120mm 混凝土+14mm 铅钢防护板

上表中混凝土密度为 2.35g/cm³，铅玻璃密度为 3.1g/cm³，实心砖密度为 1.8g/cm³。根据硫酸钡板以及硫酸钡水泥的检测报告（附件 5），10mm 厚度的硫酸钡水泥约合 0.96mmPb。根据放射诊断放射防护要求（GBZ130-2020）附录 C 查询，本项目 100mm 混凝土约合 1mmPb。当屏蔽体结构由多种材料构成，各材料折合的铅当量之和即为总的铅当量。因此，本项目实体防护折合铅当量计算见表 10-4：

表 10-4 DSA 手术室的实体防护设施铅当量折合对照表

位置	实体结构	折合计算 (mmPb)	折合铅当量
四周墙体	东北侧、东南侧、南侧墙体均为240mm实心砖墙+30mm硫酸钡水泥砂浆	2.02+3×0.96	约 4.9mmPb
	西南侧墙体为370mm实心砖墙+30mm硫酸钡水泥砂浆	3.00+3×0.96	约 5.8mmPb
屏蔽门	3 扇 4mmPb 铅门	/	4mmPb
观察窗	1 扇 4mmPb 铅玻璃	/	4mmPb
屋顶	120mm 混凝土+50mm 硫酸钡水泥砂浆	1.37+5×0.96	约 6.17mmPb
地面	120mm 混凝土+14mm 铅钢防护板	1.37+1.93	约 3.3mmPb

(二) 通风系统

本项目 DSA 机房的西南侧顶部设置一个 160×160mm 的排气扇，产生的臭氧通过机械排风系统经过北侧的排风井至楼顶排放，排放口朝东南侧。排气扇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。

(三) 辐射防治措施

1、DSA 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。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（0.5mm 铅当量）和悬吊铅帘(0.5mm 铅当量)、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；同时在操作台和床体上均设置“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。

2、辐射工作场所防治措施

①DSA 机房采取屏蔽措施。

②介入手术室防护门外设有电离辐射警示标志和工作指示灯。

③配有铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套（选配：铅橡胶帽子）等防护措施。

④门灯联锁：DSA 手术室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。

⑤紧急止动装置：控制台上、介入手术床旁设置紧急止动按钮。DSA 系统的 X 射线系统出束过程中，一旦出现异常，按下任一个紧急止动按钮，均可停止 X 射线系统出束。

3、诊疗项目对医生及患者的污染防治措施

（1）在介入诊疗中，手术医生必须认真做好自身的防护工作，具体要求是：

①进一步提高安全文化素养，全面掌握辐射防护法规与技术知识。

②结合诊疗项目实际，综合运用时间、距离与屏蔽防护措施。

③介入手术中，佩带好个人防护用具。

④必须开展介入诊疗手术医生的个人剂量监测。

⑤发现问题及时整改。

（2）同时，医院在实施介入治疗时还须采取以下防护措施：

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

②距离防护：操作人员采取隔室操作方式，控制室与机房之间以墙体隔开，通过观察窗观察病人情况，通过对讲机与病人交流。

③缩小照射野：在不影响操作的前提下尽量缩小照射野。

④缩短物片距：尽量让影像增强器或平板靠近患者，减少散射线。

⑤充分利用各种防护器材。

a.介入手术中手术室内操作者需配有铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套（选配：铅橡胶帽子）等防护措施（防护厚度均为 0.5mm 铅当量）。

b.使用铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘（选配：移动铅防护屏风）（防护厚度均为 0.5mm 铅当量）。

⑥在不影响图像质量和诊疗需要的前提下，尽量使用低剂量。

（3）同时，在介入诊疗中必须做好患者的防护工作。

①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。

②将 X 射线球管尽量远离患者，而将影像增强器尽量靠近患者。

③作好患者非投照部位的保护工作，需配有铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套（选配：铅橡胶帽子）

④定期维护介入设备；制定和执行介入诊疗中的质量保证计划。

四、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 10-5 本项目辐射安全防护设施对照分析表

项目	应具备条件	落实情况	要求新增措施
直线加速器			
实体防护	四周墙体+迷路	与大楼主体同时建成	/
	铅防护门	本次新建	/
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、控制超剂量的联锁装置、时间控制连锁	仪器自带	/
	门机连锁、门剂连锁、门灯连锁	本次新增	/
警示装置	入口电离辐射警示标志	本次新增	/

	入口加速器工作状态显示	本次新增	/
	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	中文标识的紧急开门按钮	本次新增	机房内非主射方向墙上有按钮，高度 1.3m
	监控、对讲装置	本次新增	保证机房全覆盖
	中文标识的紧急开门按钮	本次新增	迷路出口处的铅门内侧墙上，按钮高度 1.3m
监测设备	机房内固定式剂量报警仪	本次新增	/
	便携式辐射监测仪器（与 DSA 共用）	本次新增	/
	个人剂量报警仪	本次新增	/
	个人剂量计	本次新增	/
防护设施	病人未受照部位防护设施、陪护人员防护设施	本次新增	铅橡胶铅衣、铅手套、铅围裙等（0.5mm 铅当量）
其他	通风系统	本次新增	/
DSA			
场所设施	四周墙体	与大楼主体同时建成	/
	四周、屋顶、地面屏蔽，铅防护门	本次新增	/
	观察窗屏蔽	本次新增	/
	通风设施	本次新增	/
	紧急停机按钮	本次新增	/
	门灯连锁	本次新增	/
	监控、对讲系统	本次新增	/
警示装置	入口处电离辐射警告标志	本次新增	/
	入口处机器工作状态显示	本次新增	/
	操作警示装置	本次新增	/
监测设备	便携式辐射监测仪（与直加共用）	本次新增	/
	个人剂量计	本次新增	/
	个人剂量报警仪	本次新增	/
防护设施	医护人员个人防护（铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套（选配：铅橡胶帽子）（0.5mm铅当量））	本次新增	/
	患者防护（铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套（选配：铅橡胶帽子））	本次新增	/
其他	通风系统	本次新增	/

五、环保设施及投资分析

本项目总投资***万元，其中环保投资***万元，占总投资约***。具体环保设施

及投资见下表。

表 10-6 环保设施及投资一览表

项目	设施与器材	数量	投资（万元）/备注
直线加速器			
实体防护	四周墙体+迷路	1 套	与大楼主体同时建成
	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、控制超剂量连锁装置、时间控制连锁	设备自带	/
	门机连锁、门剂连锁、门灯连锁	1 套	***
警示装置	入口电离辐射警示标志	2 个	***
	入口加速器工作状态显示	2 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	机房内有中文标识的紧急停机按钮	5 个	***
	监控、对讲装置	1 套	
	有中文标识的紧急开门按钮	1 个	
监测设备	机房内固定式剂量报警仪	1 个	***
	便携式辐射监测仪	1 个	***
	个人剂量报警仪	9 个	***
	个人剂量计	9 套	***
防护器材	通风系统	1 套	***
	病人未受照部位防护设施、陪护人员防护设施	1 套	***
DSA			
场所设施	四周墙体	1 套	与大楼主体同时建成
	四周、屋顶、地面屏蔽	1 套	***
	机房防护门	3 扇	***
	操作位局部屏蔽防护设施	1 套	***
	观察窗屏蔽	1 套	***
	有中文标识的紧急停机按钮	1 套	***

	门机连锁	1 套	***
	监控、对讲系统	1 套	***
警示装置	入口处电离辐射警告标志	1 套	***
	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	与直加共用
	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（铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套（选配：铅橡胶帽子）（0.5mm 铅当量））	8 套	***
	患者防护（铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套（选配：铅橡胶帽子））	1 套	***
	通风系统	1 套	***
合计		/	***

今后在实践中，医院应根据国家发布的法规内容，结合自身实际情况对环保设施做相应补充，使之更能满足实际需要和法规要求。

三废的治理

一、废气

施工期产生的废气主要是施工扬尘，通过对施工范围、施工时间段的控制以及施工现场管理等手段，降低对环境的影响。

加速器机房通排风系统：6MV 直线加速器机房配置有通排风系统。进风口设置在距迷路入口处 3m 处，排风口设置在机房东南侧距地高度 0.8m 处，风管穿墙高度 -0.5 米，以“U”型管道穿墙与大楼排风系统连接。抽出的臭氧经 400×400mm 的排风管经通风管道输送至楼顶排放，排放口朝向东南侧，通风频率共计 10 次/小时，排风量约 1864m³/h。排风扇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。本项目产生的臭氧通过排风系统排入大气环境后，经自然分解和稀释，符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准（0.20mg/m³）要求。

DSA 手术室通排风系统：本项目 DSA 机房的西南侧顶部设置一个 160×160mm 的排气扇，产生的臭氧通过机械排风系统经过北侧的排风井至楼顶排放，排放口朝东南侧。排气扇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（ $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ ）的要求。

二、固废

施工装修过程中产生的废弃包装物部分回收利用，部分与生活垃圾一同依托医院垃圾收集设施收集，最终由市政环卫统一清运。

运营期产生的生活垃圾依托医院现有垃圾收集设施收集，最终由市政环卫统一清运。

三、废水

施工废水沉淀后循环使用，不外排。

运营期产生的医疗废水、生活废水经预处理后排入污水处理站处理，达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表2中预处理标准限值后，接入市政污水管网。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目均在华蓥市第二人民医院门诊住院综合大楼内进行建设。加速器机房及 DSA 手术室所在的门诊住院综合楼建设项目已经通过了基建环评审批，文号为广环审批[2019]27 号，但还需进行设备安装、管线敷设、铅玻璃窗、铅防护门、硫酸钡抹面及其他环境保护设施的安装。对于本项目施工期将产生扬尘、噪声、生活污水及固体废物，提出了以下施工要求：

1、施工期的大气污染防治对策措施

严格落实大气污染防治措施。施工期，通过加强施工管理，减少建筑材料露天堆放，修建围挡或围栏，定期洒水降尘硬化施工场地，控制车速，车辆密闭运输，落实“六不准”、“六必须”规定等措施，减少施工扬尘对周围环境影响；装修阶段采用绿色环保装修材料，防治装修废气影响。

2、施工期的噪声污染防治对策措施

严格落实噪声污染防治措施。施工期，通过合理布局，合理安排施工时间，优化运输路线，文明施工及选用低噪声设备等措施，减轻施工噪声对周围环境的影响。运营期，水泵、风机设置在专用机房内，对其余高噪声设备进行减震、隔离、消声处理防止噪声扰民。

3、施工期固体废物处置及管理

严格落实固体废物防治措施。生活垃圾由环卫部门统一收集处理。

4、施工期地表水污染防治措施

严格落实水污染防治措施。按照“雨污分流”原则，优化管网系统设置，防止废水进入雨水排放系统。施工期，施工废水经沉淀处理后回用。

医院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

一、6MV 直线加速器诊疗项目环境影响分析

本项目拟购的 1 台 6MV 医用直线加速器 X 射线能量为 6MV。医用直线加速器属于Ⅱ类射线装置，在营运中的主要危害有 X 射线。机房内的空气还会受 X 射线作用电离而产生臭氧和氮氧化物，氮氧化物的产量仅为臭氧的十分之一，故本报告表中不对其进行评述。此外，采用专用排风系统强制换气，产生噪声。

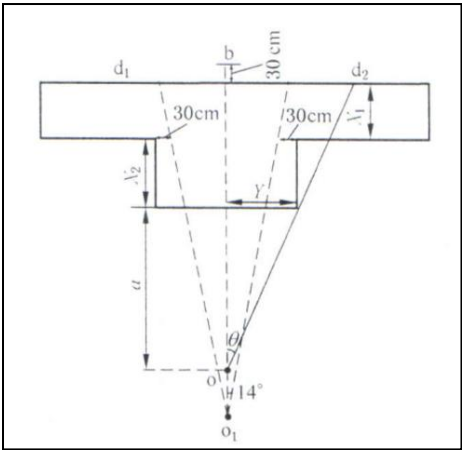
以下就 6MV 直线加速器运营中产生的 X 射线、臭氧的影响进行预测评价。

（一）6MV 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

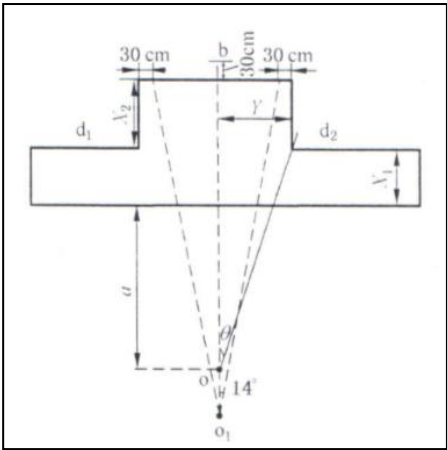
6MV 直线加速器机房，主屏蔽区包括屋顶及墙体的部分位置，加速器主射线的最大出束角度为 28°。6MV 直线加速器主射线束主屏蔽区示意图见图 11-1，主屏蔽宽度校核结果见表 11-1。

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

$$Y = (100 + a + X_2)tg14^{\circ} + 30$$



主屏蔽区外凸

$$Y = (100 + a + X_1 + X_2)tg14^{\circ} + 30$$

本项目中，北侧和南侧的主屏蔽墙体为内凸，顶部主屏蔽为外凸，因此对应的主屏蔽区宽度校核见表 11-1。

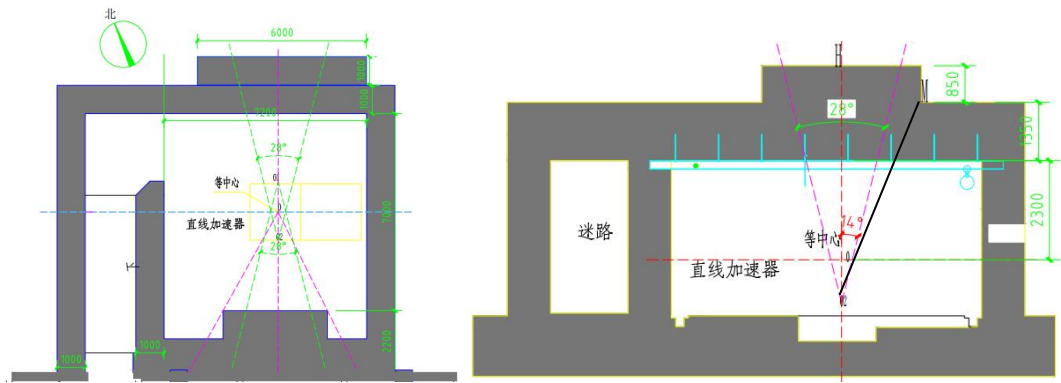


图 11-1 本项目加速器机房主射屏蔽范围计算示意图

表 11-1 本项目 6MV 加速器机房主屏蔽区宽度校核表

焦点距主屏蔽区距离(m)	主屏蔽区宽度计算值(m)	主屏蔽区宽度设计值(m)	结论
距西南侧主屏蔽墙体 3.50	$2 \times [(1+3.5+1)\text{tg}14^\circ+0.3]=3.34$	3.70	满足 要求
距东北侧主屏蔽墙体 3.50	$2 \times [(1+3.5+1+1)\text{tg}14^\circ+0.3]=3.84$	6.00	
距顶部主屏蔽墙体 2.30	$2 \times [(1+2.3+1.36+0.85)\text{tg}14^\circ+0.3]=2.96$	3.70	

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，防止安装后主射方向超出主屏蔽范围的情况出现。

2、6MV 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），本项目加速器机房建在地下负一层，除西南侧墙体外，其余侧均为土壤层。

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。

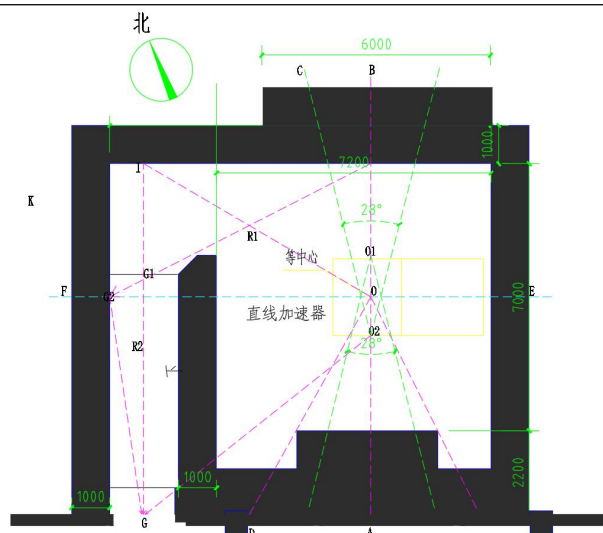


图 11-2 本项目加速器机房关注点及主要照射路径示意图（平面）

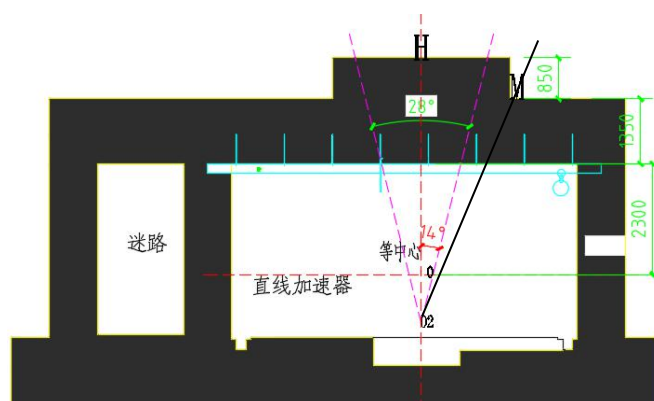


图 11-3 本项目加速器机房关注点及主要照射路径示意图（剖面）

（2）剂量率参考水平

根据《电子直线加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011），加速器迷路门处、控制室、加速器机房顶部和西南侧墙体外 30cm 处（G、M、D、A），周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；机房地面、北侧、西侧、东侧墙体外 30cm 处（B、C、E、F、K）为土壤层，周围剂量当量率取 $100\mu\text{Sv/h}$ ，故本次 6MV 加速器机房外各关注点的剂量率参考控制水平为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 、 $100\mu\text{Sv/h}$ 。

3、6MV 加速器机房屏蔽体厚度校核

（1）主屏蔽区、迷路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、迷路外墙、迷路内墙进行厚度核算。屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按下式进行计算。

$$B = \frac{H_e}{H_0} \cdot \frac{R^2}{f} \dots\dots\dots (式 11-1)$$

$$Xe = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \dots\dots\dots (式 11-2)$$

$$X_1 = Xe \cos \theta \dots\dots\dots (式 11-3)$$

式中：

B—屏蔽透射因子；

H_e —剂量率参考控制水平，2.5 μ Sv/h、100 μ 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， μ Sv·m²/h；
本项目为 1.8×10⁸ μ Sv·m²/h（最高剂量率为 3Gy/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，本项目 TVL₁、TVL 取值见下表 11-2；

Xe—墙体有效屏蔽厚度，cm；

X₁—墙体屏蔽厚度，cm。

表 11-2 加速器机房主屏蔽区、迷路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 H 点)	迷路外墙 (K 点)	迷路入口处 (G 点)
H_e (μ Sv/h)	2.5	100	2.5	100	0.625
R (m)	5.70	5.30	4.70	9.04	9.20
H_0 (μ Sv·m ² /h)	1.80×10 ⁸	1.80×10 ⁸	1.80×10 ⁸	1.80×10 ⁸	1.80×10 ⁸
f	1	1	1	10 ⁻³	10 ⁻³
B	1.81×10 ⁻⁵	1.56×10 ⁻⁵	2.81×10 ⁻⁷	4.54×10 ⁻²	2.94×10 ⁻⁴
TVL ₁ (cm)	37	37	37	34	34
TVL (cm)	33	33	33	29	29
Xe (cm)	160	163	218	44	107
斜射角 θ (°)	0	0	0	15°	15°
X ₁ (cm)	213	163	218	42	103
设计厚度 (cm)	220	200	220	100	100
是否满足要求	满足	满足	满足	满足	满足

(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 11-1、11-2、11-3 进行计算, 散射辐射的透射因子按式 11-2、11-3、11-4 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。

$$B_1 = \frac{H_e \times R^2}{H_0 \times \alpha_{ph} \times (F / 400)} \dots\dots\dots \text{式(11-4)}$$

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, 查 GBZ/T201.2-2011 附录 B.2 可得;

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 加速器机房与主屏蔽区相连的次屏蔽区漏射、散射辐射屏蔽厚度核算

参数	墙体 D 点		屋顶 M 点	
	漏射辐射	散射辐射	漏射辐射	患者一次散射辐射
He(μSv/h)	1.25	1.25	1.25	1.25
R (m)	6.53	6.53	4.09	4.09
H ₀ (μSv·m ² /h)	1.8×10 ⁸	1.8×10 ⁸	1.8×10 ⁸	1.8×10 ⁸
f/α _{ph}	10 ⁻³	2.33×10 ⁻³	10 ⁻³	2.33×10 ⁻³
透射因子 B	2.96×10 ⁻⁴	3.17×10 ⁻⁵	1.16×10 ⁻⁴	1.24×10 ⁻⁵
TVL ₁ (cm)	34	27	34	27
TVL (cm)	29	27	29	27
X _e (cm)	107	121	119	132
斜射角θ (°)	29	29	27	27
X ₁ (cm)	93	106	106	118
设计屏蔽厚度 (cm)	120	120	136	136
设计是否满足要求	满足	满足	满足	满足

备注: ①对于与主屏蔽区相连的次屏蔽区漏射辐射、散射辐射所需屏蔽厚度核算时, 剂量率参考控制水平取主屏蔽方向的一半; 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:

$$X = TVL \cdot \log B^{-1} \dots\dots\dots \text{(式 11-5)}$$

$$B = (H_e - H_{og}) / H_g \dots\dots\dots \text{(式 11-6)}$$

$$H_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot H_0 \dots\dots\dots (\text{式 11-7})$$

式中：

X—防护门铅当量厚度，mm；

TVL—单位 mm，根据（GBZ/T201.2-2011）中 5.2.6.1 c）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；

H_c—关注点处的散射辐射剂量率参考控制水平，取 2.5μSv /h；

H_{og}—O₂ 位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在 G 处的控制剂量率，经计算为 0.025μSv/h；

a_{ph}—400cm² 面积上的散射因子，取 45°散射角的值 1.39×10⁻³；

α₂—墙入射的患者散射辐射因子，患者一次散射角为 45°，墙入射角为 45°，墙散射角近似按 0°计算，查得混凝土墙 45°入射、0°散射、1m² 的散射因子α₂=6.40×10⁻³（查附录 B 表 B.6）；

A—散射面积，m²；经计算本项目为 12.25m²；

R₁—第一次散射路径；R₁=6.91m；

R₂—第二次散射路径；R₂=9.20m；

F—治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积，cm²；本项目等中心处最大治疗野为 40cm×40cm=1600 cm²；

经计算：H_g=19.41μSv/h，B=(2.5-0.025)/19.41=0.127

最终得到防护门的铅当量厚度为：

X=TVL·logB⁻¹=4.47mm。

由理论计算可知，机房入口铅钢防护门屏蔽厚度为 4.47mm，实际设计为 15mm，可满足屏蔽要求。

小结：经过对机房主屏蔽体宽度校核，直线加速器机房墙体厚度、迷路厚度、顶部厚度和防护门厚度均满足要求。

3、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）：

$$H = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots \text{（式 11-8）}$$

$$B = 10^{-\frac{(Xe+TVL-TVLI)}{TVL}} \dots\dots\dots \text{（式 11-9）}$$

$$Xe = X / \cos \theta \dots\dots\dots \text{（式 11-10）}$$

患者一次散射辐射剂量估算

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

机房迷路入口处 X 射线散射辐射剂量率 H_g

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

$$H_c = H_g 10^{-(X/TVL)} + H_{\text{og}} \dots\dots\dots \text{（式 11-13）}$$

由式 11-14 估算各关注点的年剂量：

$$E = H \cdot 10^{-3} \cdot q \cdot h \cdot W_T \dots\dots\dots \text{（式 11-14）}$$

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

W_T —组织权重因数，全身为 1。

由此估算的主射线束和泄露辐射对各关注点产生的剂量见表 11-4，由患者一次散射对各关注点产生的剂量见表 11-5，机房迷路入口处由散射辐射产生的剂量见表 11-6。

表 11-4 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 (H 点)	迷路外墙 (K 点)	迷路入口 处(G 点)	墙体 (D 点)	墙体 (E 点)	顶部 (M 点)
设计屏蔽体厚度 X (cm)	220	200	220	100	100	120	100	136
斜射角 θ	0°	0°	0°	15°	15°	29°	0°	27°
Xe (cm)	220	200	220	103	103	137	100	152
TVL ₁ (cm)	37	37	37	34	34	34	34	34
TVL (cm)	33	33	33	29	29	29	29	29
透射因子 B	2.84×10^{-7}	1.14×10^{-6}	2.84×10^{-7}	1.00×10^{-3}	1.00×10^{-3}	9.32×10^{-5}	1.23×10^{-3}	3.27×10^{-5}
$H_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	1.80×10^8	1.80×10^8	1.80×10^8	1.80×10^8	1.80×10^8	1.80×10^8	1.80×10^8	1.80×10^8
f	1	1	1	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}
R (m)	5.70	5.30	4.50	9.04	9.20	6.53	4.15	4.09
剂量当量 Hc($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	4.84×10^{-2}	2.60×10^{-1}	1.25×10^{-1}	2.70×10^{-2}	2.51×10^{-2}	9.23×10^{-3}	7.46×10^{-1}	2.10×10^{-2}
工作负荷 (h)	100	100	100	100	100	100	100	100
居留因子 (q)	1/4	1/16	1/4	1/16	1/16	1/4	1/16	1/16
年剂量 E(mSv/a)	1.21×10^{-3}	1.63×10^{-3}	3.12×10^{-3}	1.68×10^{-4}	1.57×10^{-4}	2.31×10^{-4}	4.67×10^{-3}	1.31×10^{-4}
受照类型	职业人员	公众	公众	公众	公众	职业人员	公众	公众

表 11-5 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 点	顶部 M 点
屏蔽厚度 X (cm)	120	136
斜射角 θ	29°	27°
Xe (cm)	137	152
TVL (cm)	29	29
透射因子 B	1.89×10^{-5}	5.74×10^{-6}
$H_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	1.80×10^8	1.80×10^8
α_{ph}	1.39×10^{-3}	1.39×10^{-3}
F(cm^2)	40×40	40×40
R (m)	6.53	4.09
剂量当量 Hc($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	4.43×10^{-1}	3.43×10^{-1}
工作负荷 (h)	100	100
居留因子 (q)	1/4	1/16
年剂量 E(mSv/a)	1.11×10^{-2}	2.14×10^{-3}
受照类型	职业人员	公众

表 11-6 加速器机房迷路入口处由散射辐射产生的剂量估算表

计算参数	机房迷路入口处（防护门外、关注点 G）
机房入口处的散射辐射剂量率 H_g ($\mu\text{Sv/h}$)	19.41
屏蔽厚度 X (mm)	15
剂量当量 H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	4.44×10^{-2}
TVL (mm)	5
工作负荷 (h)	100
居留因子 (m)	1/4
关注点年剂量(mSv/a)	1.11×10^{-3}
受照类型	公众

由于墙体 D 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 11-7 D、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 点	顶部 M 点
漏射影响(mSv/a)	2.31×10^{-4}	1.31×10^{-4}
散射影响(mSv/a)	1.21×10^{-2}	2.14×10^{-3}
年剂量(mSv/a)	1.23×10^{-2}	2.27×10^{-3}
受照类型	职业人员	公众

通过表 11-4 至 11-7 可知，通过直线加速器机房的实体防护后，照射类型为职业人员的年剂量最大为 $1.23 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，照射类型为公众的年剂量最大为 $4.67 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，分别低于 5.0mSv 和 0.1mSv 的剂量约束。

保护目标分析：

由于医院加速器布置在负一层，且无其他射线装置，因此不考虑剂量叠加，其保护目标具体情况如下表所示。

表 11-8 加速器保护目标环境影响分析

位置	保护目标	与射线源距离 (m)	居留因子	照射类型	年有效剂量 (mSv/a)
	控制室、病人准备间、水冷机房（西南侧）	6.69~8.82	1	职业照射	1.23×10^{-2}
	辅助机房（东南侧）	7.66	1/4	职业照射	1.21×10^{-3}

加速器 机房	地上停车场 (东北侧以及正上方)	6.00	1/4	公众照射	5.67×10^{-4}
	放疗中心其他配套用房(西侧)	10~25	1/4	公众照射	1.68×10^{-4}
	杜家坪村二组 105 号民房 (约 7m 高差, 东北侧)	18~50	1/4	公众照射	4.46×10^{-5}

由上表可知, 加速器保护目标为职业人员的所受最大剂量为 $1.23 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$, 保护目标为公众的所受最大剂量为 $1.21 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$, 分别低于 5.0mSv/a 和 0.1mSv/a 的评价约束值。

(二) 臭氧环境影响分析

本项目 6MV 直线加速器机房内空气中的氧受 X 射线电离而产生的臭氧, 其产率和浓度可用下面两个公式分别计算。

$$Q_o = 6.5 \times 10^{-3} \cdot G \cdot S_o \cdot R \cdot g \dots\dots\dots \text{式 (11-15)}$$

式中:

Q_o —臭氧产率 mg/h ;

G —射束在距离源点 1m 处的剂量率 $\text{Gy.m}^2/\text{h}$, 取 180;

S_o —射束在距离源点 1m 处的照射面积 m^2 , 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 O_3 的分子数, 本项目取 10。

经计算, 直线加速器机房臭氧产额为 1.87mg/h 。

室内臭氧饱和浓度由下式计算:

$$C = Q_o \cdot T_v / V \dots\dots\dots \text{式 (11-16)}$$

式中:

C —室内臭氧浓度, mg/m^3 ;

Q_o —臭氧产额 1.87mg/h ;

T_v —臭气有效清除时间, h ;

V —机房空间体积, 直线加速器机房体积 $7.0 \text{m} \times 7.2 \text{m} \times 3.6 \text{m}$, 181.44m^3 ;

$$T_v = \frac{t_v \cdot t_a}{t_v + t_a} \dots\dots\dots \text{式 (11-17)}$$

t_v —每次换气时间, 0.1h;

t_α —臭氧分解时间, 取值为 0.83h。

本项目 6MV 直线加速器专用排风系统, 通风量为 $1864\text{m}^3/\text{h}$ 。加速器机房通风频率共计 10 次/小时, 若每次换气时间均为 6min, 则 6MV 加速器机房内的臭氧平衡浓度为 $9.21 \times 10^{-4}\text{mg}/\text{m}^3$, 符合室内空气质量标准中臭氧 $0.16\text{mg}/\text{m}^3$ 的标准值。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, 符合《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 的二级标准 ($0.20\text{mg}/\text{m}^3$) 的要求。

通排风系统: 6MV 直线加速器机房配置有通排风系统。进风口设置在距迷路入口 3m 处, 排风口设置在机房东南侧距地高度 0.8m 处, 风管穿墙高度 -0.5 米, 以“U”型管道穿墙与大楼排风系统连接。抽出的臭氧经 $400 \times 400\text{mm}$ 的排风管经通风管道输送至楼顶排放, 排放口朝向东南侧, 通风频率共计 10 次/小时, 排风量约 $1864\text{m}^3/\text{h}$ 。排风扇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) 噪声的环境影响分析

6MV 直线加速器风机工作时将产生一定的噪声, 本项目 6MV 直线加速器采用 1 台风机, 其排风量为 $1864\text{m}^3/\text{h}$ 、功率为 2.2kW、噪声源强为 65dB (A), 由于风机位于地下负一层 (距地面约 6m) 经距离衰减与土壤的隔离后, 厂界噪声可满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 2 类标准要求。

二、DSA 环境影响分析

本项目拟在门诊住院综合大楼 (-1/10F) 一层北部预留的 DSA 手术室新增 1 台数字减影血管造影机 (DSA), 其额定电压为 125kV、额定电流为 1000mA, 出束方向由下而上, 属于 II 类射线装置。年工作负荷约 1000 人次, 年曝光时间约 89.96h (拍片 5h、透视 84.96h)。其中心内手术约 550 人次, 年曝光时间约 57.75h (透视 55h、拍片 2.75h); 神内手术约 200 人次, 年曝光时间约 14.30h (透视 13.30h、拍片 1h); 神外手术约 150 人次, 年曝光时间约 10.75h (透视 10h、拍片 0.75h); 胸外手术约 100 人次, 年曝光时间约 7.16h (透视 6.66h、拍片 0.5h)。

根据原环境保护部公告 2017 年第 66 号《射线装置分类办法》, DSA 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。

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

①造影拍片过程：操作人员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 DSA 手术室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。

本次采用理论预测分析 DSA 在额定工况运行期间对辐射工作人员及公众的影响。

（一）本项目关注点的辐射环境影响分析

1、理论预测

本项目 DSA 手术室东北侧、东南侧、南侧墙体均为 240mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡水泥砂浆（约合 4.9mmPb）；西南侧墙体为 370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡水泥砂浆（约合 5.8mmPb）；屋顶为 120mm 混凝土+50mm 硫酸钡水泥砂浆（约合 6.17mmPb），地板为 120mm 混凝土+14mm 铅钢防护板（约合 3.3mmPb）；防护门均采用 4mmPb 铅门（3 扇），观察窗为 4mmPb 厚铅玻璃（1 扇）。

拍片时，DSA 的常用电压 60~90kV，常用电流为 100~500mA；透视时，DSA 常用管电压为 70~90kV，常用管电流为 6~10mA。

本项目 DSA 投用后，手术过程中介入手术室四周、介入手术室上下的保护目标均受到 X 射线散射和漏射影响，顶部同时受到主射影响。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，距离介入手术室最近关注点可以代表最大可能辐射有效剂量。

①计算模式

主射束的屏蔽防护公式如下：

$$D_r = D \cdot \mu \cdot \eta \cdot f \cdot T / r^2 \dots\dots\dots \text{式 (11-18)}$$

式中：

D_r —预测点处辐射空气吸收剂量，mGy/a；

D—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 $v_{r0}=0.9R\cdot mA^{-1}\cdot min^{-1}$ ，按照常用最大管电流换算后，距靶 1m 处的剂量率为 78.57mGy/min；

- T—每年工作时间，5397.6min（含透视和拍片）；
- μ—利用因子，各监测点位的利用因子均取 1；
- η—对防护区的占用因子（居留因子）；
- f—屏蔽材料对初级 X 射线束的透射因子；
- 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：

$$B=[(1+\frac{\beta}{\alpha})e^{\alpha\gamma X}-\frac{\beta}{\alpha}]^{-\frac{1}{\gamma}} \dots\dots\dots \text{式（11-19）}$$

- 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 11-9 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11-10。

表 11-10 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
四周墙体	东北侧、东南侧、南侧墙体均为240mm实心砖墙+30mm硫酸钡水泥砂浆	约 4.9mmPb	2.34×10 ⁻⁸
	西南侧墙体为370mm实心砖墙+30mm硫酸钡水泥砂浆	约 5.8mmPb	1.47×10 ⁻⁹
屏蔽门	3 扇 4mmPb 铅门	4mmPb	3.69×10 ⁻⁷

观察窗	1 扇 4mmPb 铅玻璃	4mmPb	3.69×10^{-7}
屋顶	120mm 混凝土+50mm 硫酸钡水泥砂浆	约 6.17mmPb	4.75×10^{-10}
地面	120mm 混凝土+14mm 铅钢防护板	约 3.3mmPb	3.16×10^{-6}

②预测结果分析

将相关参数带入式（11-18）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 11-11：

表 11-11 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)	1m 处空气吸收剂量率 (mGy/min)	透射因子 (f)	利用因子 (μ)	占用因子 (η)	主射方向预测点年有效剂量 (mSv/a)
二层办公室	4	120mm 混凝土+50mm 硫酸钡水泥砂浆（约合 6.17mmPb）	78.57	4.75×10^{-10}	1	1	1.26×10^{-5}

（2）病人体表散射辐射剂量估算

$$H_s = \frac{H_0 \cdot \alpha \cdot B \cdot (s/400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \dots\dots\dots \text{式 (11-20)}$$

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，μGy/h，本项目为 $4.71 \times 10^6 \mu\text{Gy/h}$ ；

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 1.30×10^{-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 ——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 11-12。

表 11-12 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	源与病人距离(m)	病人到预测点距离(m)	屏蔽材料	屏蔽材料折合铅当量(mmPb)	X射线的散射比	透射因子	剂量率(μSv/h)	年散射辐射剂量(mSv/a)
介入室内手术医生位	1	0.5	0.5mm 铅衣+0.5mm 铅屏风	1.0	1.30×10^{-3}	4.08×10^{-3}	25	2.24
介入室内护士位	1	1.0	0.5mm 铅衣+0.5mm 铅屏风	1.0	1.30×10^{-3}	4.08×10^{-3}	6.25	5.62×10^{-1}
操作间(东北侧)	1	5.68	铅玻璃	4	1.30×10^{-3}	3.69×10^{-7}	1.75×10^{-5}	1.58×10^{-6}
医护缓冲 区、更衣室 (东南侧)	1	6.23	240mm 实心砖 墙+30mm 硫酸 钡水泥砂浆	约合 4.9	1.30×10^{-3}	2.34×10^{-8}	9.24×10^{-7}	2.08×10^{-8}
病人缓冲 间、术后复 苏间 (西南侧)	1	3.21	240mm 实心砖 墙+30mm 硫酸 钡水泥砂浆	约合 4.9	1.30×10^{-3}	2.34×10^{-8}	3.48×10^{-6}	7.83×10^{-8}
设备间、污 物打包间 (西北侧)	1	5.29	370mm 实心砖 墙+30mm 硫酸 钡水泥砂浆	约合 5.8	1.30×10^{-3}	1.47×10^{-9}	8.05×10^{-8}	1.81×10^{-9}
DR 室 (西南侧)	1	4.94	370mm 实心砖 墙+30mm 硫酸 钡水泥砂浆	约合 5.8	1.30×10^{-3}	1.47×10^{-9}	9.23×10^{-8}	2.08×10^{-9}
杜家坪村 二组 105 号 民房(东北 侧)	1	36	240mm 实心砖 墙+30mm 硫酸 钡水泥砂浆	约合 4.9	1.30×10^{-3}	2.34×10^{-8}	2.77×10^{-8}	6.22×10^{-10}
二层医生 办公室 (正上方)	1	4	120mm 混凝土 +50mm 硫酸钡 水泥砂浆	约合 6.17	1.30×10^{-3}	4.75×10^{-10}	4.55×10^{-8}	1.02×10^{-9}
柴油发电 机房(正下 方)	1	4	地板为 120mm 混凝土+14mm 铅钢防护板	约合 3.3	1.30×10^{-3}	3.16×10^{-6}	3.03×10^{-4}	6.81×10^{-6}

(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 (11-21) 进行计算。

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

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， $\mu\text{Gy/h}$ ，本项目为 $4.71 \times 10^6 \mu\text{Gy/h}$ ；

R —靶点距关注点的距离，m；

B ——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 11-13。

表 11-13 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	病人到预测点距离(m)	屏蔽材料	屏蔽材料折合铅当量(mmPb)	距靶点 1m 处剂量率($\mu\text{Gy/h}$)	减弱因子	关注点剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	漏射年辐射剂量(mGy/a)
介入室内手术医生位	0.5	0.5mm 铅衣 +0.5mm 铅屏风	1.0	4.71×10^6	4.08×10^{-3}	76.93	6.92
介入室内护士位	1.0	0.5mm 铅衣 +0.5mm 铅屏风	1.0	4.71×10^6	4.08×10^{-3}	19.23	1.73
操作间 (东北侧)	5.68	铅玻璃	4	4.71×10^6	3.69×10^{-7}	5.39×10^{-5}	4.85×10^{-6}
医护缓冲区、更衣室 (东南侧)	6.23	240mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡水泥砂浆	约合 4.9	4.71×10^6	2.34×10^{-8}	2.84×10^{-6}	2.56×10^{-7}
病人缓冲间、术后复苏间 (西南侧)	3.21	240mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡水泥砂浆	约合 4.9	4.71×10^6	2.34×10^{-8}	1.07×10^{-5}	2.41×10^{-7}
设备间、污物打包间 (西北侧)	5.29	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡水泥砂浆	约合 5.8	4.71×10^6	1.47×10^{-9}	2.47×10^{-7}	5.57×10^{-9}
DR 室 (西南侧)	4.94	370mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡水泥砂浆	约合 5.8	4.71×10^6	1.47×10^{-9}	2.84×10^{-7}	6.39×10^{-9}
杜家坪村二组 105 号民房 (东北侧)	36	240mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡水泥砂浆	约合 4.9	4.71×10^6	2.34×10^{-8}	8.51×10^{-8}	1.91×10^{-9}
二层医生办公室 (正上方)	4	120mm 混凝土+50mm 硫酸钡水泥砂浆	约合 6.17	4.71×10^6	4.75×10^{-10}	1.39×10^{-7}	3.15×10^{-9}
柴油发电机房 (正下方)	4	地板为 120mm 混凝土+14mm 铅钢防护板	约合 3.3	4.71×10^6	3.16×10^{-6}	9.311×10^{-4}	2.09×10^{-5}

(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11-14:

表11-14 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)			年总辐射剂 量 (mSv)	照射 类型
		主射	散射	漏射		
手术室内	介入室内手术医生位	/	2.24	6.92	9.17	职业
	介入室内护士位	/	5.62×10^{-1}	1.73	2.29	职业
介入手术 室周围	操作间	/	1.58×10^{-6}	4.85×10^{-6}	6.43×10^{-6}	职业
	医护缓冲区、更衣室	/	2.08×10^{-8}	2.56×10^{-7}	2.76×10^{-7}	公众
	病人缓冲间、术后复苏间	/	7.83×10^{-8}	2.41×10^{-7}	3.19×10^{-7}	公众
	设备间、污物打包间	/	1.81×10^{-9}	5.57×10^{-9}	7.38×10^{-9}	职业
	DR 室	/	2.08×10^{-9}	6.39×10^{-9}	7.64×10^{-9}	公众
	杜家坪村二组 105 号民房	/	6.22×10^{-10}	1.91×10^{-9}	2.54×10^{-9}	公众
正上方	二层医生办公室	1.26×10^{-5}	1.02×10^{-9}	3.15×10^{-9}	1.26×10^{-5}	公众
正下方	柴油发电机房	/	6.81×10^{-6}	2.09×10^{-5}	2.77×10^{-5}	公众

由上表可知, 本项目公众所受年剂量最大为 2.77×10^{-5} mSv, 远小于本次评价确定的 0.1mSv/a 的约束值。

在介入手术室内参加手术的 5 名医生所受剂量合计为 9.17mSv/a, 2 名护士所受剂量合计为 2.29mSv/a, 1 名技师所受剂量合计为 6.43×10^{-6} mSv/a。本项目介入手术包含心内、神内、神外、胸外 4 个科室, 合计 1000 台手术。根据表 1-4 各科室介入手术工作量分配和表 1-5 本项目人员配置情况, 每位医生、护士和技师的年剂量核算见下表。

表11-15 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	9.18	2	5.94	2.97
	神内科		1	1.44	1.44
	神外科		1	1.08	1.08
	胸外科		1	0.72	0.72
护士	/	2.29	2	/	1.145
技师	/	6.43×10^{-6}	1	/	6.43×10^{-6}

从上表可知, 本项目心内科医生所受剂量最大为 2.97mSv/a, 低于 5.0mSv/a 的剂

量约束值。

医院须严格按照《职业性外照射个人监测规范》(GB128-2019)的相关要求，为每一名辐射工作人员配置个人剂量计，所有辐射工作人员按照规范的要求正确配戴个人剂量计，个人剂量计检测委托有资质的单位检测并建立个人剂量档案。对所有辐射工作人员进行合理分工分组。医护人员在手术室内手术时须做好防护措施。

(5) 环境保护目标剂量叠加

由于杜家坪村二组 105 号民房为直线加速器及 DSA 的最近保护目标，故需做剂量叠加，结果可见下表。

表11-16 计量叠加后预测点保护目标理论预测最大受照剂量

关注点	直加贡献值 (mSv/a)	DSA 贡献值 (mSv/a)	年总辐射剂量 (mSv/a)
杜家坪村二组 105 号民房	4.46×10^{-5}	2.54×10^{-9}	4.46×10^{-5}

由上表可知，杜家坪村二组 105 号民房所受年剂量最大为 $4.46\times10^{-5}\text{mSv}$ ，小于本次评价确定的 0.1mSv/a 的约束值。

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，会穿铅衣、戴铅手套、铅眼镜、铅围脖等防护用品，但仍然有部分皮肤暴露在射线受到照射，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，故以常用透视管电流工况下，手术医生腕部剂量估算结果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人员年皮肤吸收剂量：

$$D_s = C_{ks}(\dot{k} \cdot t) \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots \text{式 (11-22)}$$

$$\dot{k} = \frac{\dot{H}_{(10)}^*}{C_{KH}} \dots\dots\dots \text{式 (11-21)}$$

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，μGy/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，手术医生手术位腕部按照漏射（0.1%）考虑，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，由式（11-21）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1.134Gy/Gy。皮肤按照组织权重因子0.01考虑，则腕部皮肤受照剂量合计量为15.02mSv/a。根据表1-4各科室介入手术工作量分配和表1-5本项目人员配置情况，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有效剂量为7.51mSv/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）或皮肤当量剂量管理限值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 X 射线照射。为减少介入治疗时 X 射线影响，医院应从以下几点进行控制：

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，并按照国有资产和生态环境主管部门的要求，履行相关报废手续。

四、大气环境影响分析

本项目 DSA 机房的西南侧顶部设置一个 160×160mm 的排气扇，产生的臭氧通过机械排风系统经过北侧的排风井至楼顶排放，排放口朝东南侧。排气扇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。

五、地表水环境影响分析

本项目医疗废水、生活废水经预处理后排入污水处理站处理，达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表2中预处理标准限值后，接入市政污水管网。

六、固体废物影响分析

本项目介入手术时将会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2kg的医疗废物，每年固体废物产生量约为2000kg。这些医疗废物按照危废管理相关要求，进行分类收集；医院未使用完和过期的造影剂作为医疗废物进行处理，造影剂不属于重金属和其他持久性有机物，不存在泄露风险，临时堆放于医疗废物暂存间内，最终与医院医疗废物统一交由有危废处理资质的单位处理；辐射工作人员会产生少量的生活垃圾及办公垃圾由环卫部门统一定期清运。

七、声环境影响分析

本项目 DSA 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《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2类标准要求。

环境影响风险分析

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）DSA 可能发生的事故

本项目使用的 DSA 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 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 控制系统失灵；

②DSA 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。

三、源项分析及事故等级分析

直线加速器会产生 X 射线、臭氧，臭氧经通风设施换气、稀释，对大气环境基本无影响，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。

DSA 在诊疗过程中，其风险因子为 X 射线。

按照国务院 449 号令第四十条关于事故的分级原则现将项目的环境风险因子、潜在危害及可能发生的事故等级列于表 11-17 中。

表 11-17 项目的环境风险因子、潜在危害及事故等级

事故等级	事故情形
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 11-18）：

表 11-18 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）6MV 直线加速器事故的后果计算

本次评价以 X 射线能量较高的 6MV 直线加速器进行事故分析，在其治疗过程中，其它无关人员误入或滞留机房内为例进行事故后果计算。

1、事故情景假设

（1）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 3Gy/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0.1%，每次误入照射时间为2分钟（单次照射最长时间）。

（2）在维修人员进行检修时，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1m处的主射方向，6MV直线加速器主射束1m处剂量率为最大值3Gy/min，每次误入照射时间为15秒。

2、后果计算与分析

11-19 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	2	12	24
1	0.5	3	6
2	0.125	0.75	1.5
5	0.020	0.12	0.24

表 11-20 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	200	2000	12000	24000
1	50	500	3000	6000
2	12.5	125	750	1500
4	3.15	31.5	187.5	375

（1）通过计算，在以上假设事故情景下，误入人员 2 分钟受到直线加速器非主射方向 0.5m 处的辐射影响，其辐射剂量为 24mSv，超过人员年剂量限值（20mSv），结合表 11-17、表 11-18，为一般辐射事故。

（2）通过计算，在以上假设事故情景下，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2Sv/次，为一般辐射事故。

（二）DSA 事故的后果计算

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装置在运行时，由于安全联锁系统失效，人员误入或滞留在治疗机房内而造成误照射；

②DSA 的 X 射线源处于“曝光”状态下，介入手术人员在距 X 射线管主射束方向进行介入手术操作；设备维护人员在维护 DSA 射线管或测量探测器时，射线管处于出束状态。

(2) 剂量估算

人员在该处所受剂量与停留时间相关，下表根据停留时间长短核算出工作人员未穿戴铅衣等个人防护用品情况下所受的剂量大小。

表 11-21 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

关注点位描述	距离 (m)	时间 (min)	散射所致剂量 (mSv)	漏射所致剂量 (mSv)	总剂量 (mSv)
手术医生位	0.5	2	0.204	0.157	0.361
	0.5	5	0.511	0.393	0.904
	0.5	10	1.021	0.786	1.807
	0.5	15	1.532	1.179	2.711
手术护士位	1	2	0.051	0.039	0.090
	1	5	0.128	0.098	0.226
	1	10	0.255	0.196	0.451
	1	15	0.383	0.295	0.678
公众	0.5	1	0.204	0.157	0.361
	0.5	2	0.511	0.393	0.904
	1	1	0.255	0.196	0.451
	1	2	0.383	0.295	0.678
	2	2	0.013	0.010	0.023
	2	5	0.032	0.025	0.057
	2	10	0.064	0.049	0.113
	2	15	0.096	0.074	0.170
	3	2	0.006	0.004	0.010
	3	5	0.014	0.011	0.025
	3	10	0.028	0.022	0.050
	3	15	0.043	0.033	0.076
	4	2	0.003	0.002	0.005
	4	5	0.008	0.006	0.014
	4	10	0.016	0.012	0.028
	4	15	0.024	0.018	0.042

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 11-22 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 (mSv)	距离	时间 (s)	剂量 (mSv)	距离	时间 (s)	剂量 (mSv)
0.3	1	14.55	0.5	1	5.24	1	1	1.31
0.3	2	29.10	0.5	2	10.48	1	2	2.62
0.3	4	58.20	0.5	4	20.95	1	5	6.55
0.3	32	465.60	0.5	32	167.62	1	14	18.33
0.3	60	873.00	0.5	60	314.28	1	60	78.57
0.3	90	1309.50	0.5	90	471.42	1	90	117.86

(3) 事故后果

从表 11-21、11-22 可知：

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，在本项目单台最大手术时间内所受剂量 2.711mSv，小于职业人员年剂量限值 20mSv；安全联锁系统失效，手术过程中公众误入或滞留在手术室内所受剂量最大为 0.904mSv，小于职业人员年剂量限值 1mSv。综上，介入手术人员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，手术过程中公众误入手术室受到非主射方向的误照均不构成辐射事故。

②维修人员在维修时受到主射方向的照射。在主射束方向距辐射源 0.3m 处停留时间为 2s 的情况下，所受剂量为 29.10 mSv；在主射束方向距辐射源 0.5m 处停留时间为 4s 的情况下，所受剂量为 20.95mSv；在主射束方向距辐射源 1m 处停留时间为 60s 的情况下，所受剂量为 78.57 mSv。上述情景均会受到超年剂量限值照射，构成一般辐射事故。

五、事故情况下的环境影响分析与防范应对措施

(一) 6MV 直线加速器事故的防范应对措施

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）DSA 的事故与应对措施

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，其级别最高为一般辐射事故。

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 导致较大辐射事故时，应即时上报华蓥市生态环境局、广安市生态环境局。

（三）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率，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

一、辐射防护安全和应急救援工作领导小组

华蓥市第二人民医院已成立辐射安全和环境保护管理领导小组(华蓥二医院[2020]4号),领导小组组长为院长。

(1) 领导小组文件已包含小组成员及职责分工,还需补充的内容:

①贯彻执行《放射诊疗管理规定》,并组织落实。

②定期检查医院辐射工作人员执行各项规章制度和技术操作规程情况,保证辐射防护、安全与诊疗质量。

③定期委托有资质的单位对放射诊疗场所和防护设施进行检测,保证辐射水平符合有关规定。

④按照国家对辐射防护的有关规定和标准,定期对医院辐射工作人员进行上岗前、在岗期间、离岗时的职业健康体检。

⑤定期进行专业及防护知识培训,并督促辐射工作人员建立个人剂量、职业健康管理和教育培训档案;建立辐射防护的相关资料并存档;督促制定年度工作计划,并完成工作总结。

⑥负责组织应急准备工作,调度人员,指挥辐射事故应急救援行动,负责向上级行政主管部门报告辐射污染事件应急救援情况。

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:医院拟配备辐射工作人员17人,医院可根据设备数量,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减人员编制。

②射线装置操作人员均需取得射线装置操作证书,熟悉专业技术。

③建设单位应组织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.mee.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，辐射工作人员个人剂量档案应终生保存。

(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，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部培训平台 (<http://fushe.mee.gov.cn>) 报名并参加考核。

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”、“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”、“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。

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	备注
1	医院辐射防护安全责任制度	需制定，应包含但不限于“三废”管理制度、X 线诊断中受检者、陪护人员的防护规定
2	辐射安全操作规章制度	需制定，并挂于墙上
3	辐射工作人员管理规章制度	需制定，并悬挂于新增的辐射工作场所墙上
4	医院剂量监测规章制度	需制定新增辐射工作场所的监测制度
5	辐射安全装置定期检查与维护规章制度	需制定
6	场所分区管理规定	需制定，需新增本项目对应的区域管理
7	辐射事故处理、应急处置规章制度	需制定
8	定期剂量检测和剂量仪的校准制度	需制定
9	辐射工作人员培训计划	需制定
10	辐射工作设备操作规程	需制定
11	辐射工作人员岗位职责	需制定，内容悬挂于辐射工作场所墙上
12	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	需制定，监测方案需新增本章辐射监测内容
13	质量保证大纲和质量控制检测计划	需制定

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。

一、工作场所监测

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《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。

二、个人剂量监测

个人剂量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戴一个剂量计，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保存终身。

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 射线。

(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，建立监测数据台账。

表 12-2 本项目监测布点方案表

场所或设备	监测内容	监测布点位置
6MV 直线加速器	X 射线	墙体四周内侧、操作人员操作位、防护门外、迷路内墙外、机房正上方地上停车场
DSA	X 射线	铅窗、操作位、防护小门、防护大门、与手术室相邻的房间或过道

(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局、公安、卫健委等部门报告。

2、应急措施

若本项目发生了辐射事故，项目单位应迅速、有效的采取以下应急措施：

（1）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。

（2）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。

（3）事故发生后的2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向生态环境主管部门和公安部门报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫健委报告。

(4) 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：新增射线装置应用项目

建设性质：新建

建设地点：四川省广安市华蓥市新华大道杜家坪汪杜路北侧华蓥市第二人民医院门诊住院综合大楼负一层、一层内

本次具体建设内容及规模为：医院拟在已建门诊住院综合大楼（-1F/10F，高约 44m）负一层东北部新建直线加速器机房内使用 1 台 6MV 直线加速器（属 II 类射线装置，型号待定），用于全身肿瘤诊疗；拟在已建门诊住院综合大楼（-1/10F，高约 44m）一层北部新建的 DSA 手术室内使用 1 台数字减影血管造影机（DSA），其额定电压为 125kV、额定电流为 1000mA，出束方向由下而上，属于 II 类射线装置。

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《国家发展改革委关于修改<产业结构调整指导目录（2019 年本）有关条款的决定>的相关规定，本项目属第一类鼓励类项目的第六项“核能”第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，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

本项目位于广安市华蓥市新华大道杜家坪汪杜路北侧华蓥市第二人民医院内，其所在的华蓥市医疗卫生服务中心已取得广安市生态环境局广环审批（2019）27 号文批复，医院选址合理性已在相关环评报告中进行了论述，本项目仅为其中配套建设内容，不新增用地，且 DSA 手术室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。直线加速器产生的电离辐射同时经机房实体和

天然土体双重屏蔽以及距离衰减后,评价范围内保护目标处剂量率远小于机房屏蔽体外 30cm 处剂量率,人员所受剂量亦低于机房外人员所受剂量,满足本次确定的剂量约束值。因此,从辐射安全防护和环境保护的角度分析,本项目选址是合理的。

四、工程所在地区环境质量现状

本项目所在区域室内 X- γ 辐射剂量率背景值为 0.08~0.12 μ Sv/h,在普通生活环境状态下,辐射环境权重因子按 1 进行考虑,则室内 X- γ 辐射剂量率背景值为 80~120nSv/h;室外 X- γ 辐射剂量率背景值为 0.12 μ Sv/h,在普通生活环境状态下,辐射环境权重因子按 1 进行考虑,则室内 X- γ 辐射剂量率背景值为 120nSv/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

(一) 施工期环境影响分析

本项目直线加速器在华蓥市第二人民医院已建的门诊住院综合大楼负一层建设。本项目 DSA 在门诊住院综合大楼一层建设,施工周期短,医院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。

(二) 营运期环境影响分析

1、辐射环境影响分析

直线加速器环境影响分析

当 6MV 直线加速器机房工作时,所致职业人员的年剂量最大为 1.23×10^{-2} mSv,照射类型为公众的年剂量最大为 4.67×10^{-3} mSv。

DSA 的环境影响分析

DSA 投入运行后,所致职业人员的年剂量最高的为心内科医生,所受剂量为 1.96mSv,所致公众所受年剂量最大为 2.77×10^{-5} mSv。

保护目标辐射影响分析

经叠加后，本项目最近环境保护目标杜家坪村二组105号民房所受最大剂量为 $4.46 \times 10^{-5} \text{mSv/a}$ 。

综上所述，本项目职业人员所受的年剂量均低于本次评价中所确定的 5.0mSv 的年剂量约束值，公众所受的年剂量均低于本次评价中所确定的 0.1mSv 的年剂量约束值。从上述预测结果可以看出，本项目辐射工作场所的墙体、门窗满足辐射防护的要求。

2、大气的环境影响分析

本项目 6MV 直线加速器专用排风系统，通风量为 $1864 \text{m}^3/\text{h}$ 。加速器机房每小时换气约 10 次，若每次换气时间均为 6min，则 6MV 加速器机房内的臭氧平衡浓度为 $9.21 \times 10^{-4} \text{mg}/\text{m}^3$ ，符合室内空气质量标准中臭氧 $0.16 \text{mg}/\text{m}^3$ 的标准值。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，符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）的二级标准（ $0.20 \text{mg}/\text{m}^3$ ）的要求。

本项目 DSA 机房的西南侧顶部设置一个 $160 \times 160 \text{mm}$ 的排气扇，产生的臭氧通过机械排风系统经过北侧的排风井至楼顶排放，排放口朝东南侧。排气扇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（ $0.2 \text{mg}/\text{m}^3$ ）的要求。

3、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。

4、水环境影响分析

本项目医疗废水、生活废水经预处理后排入污水处理站处理，达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表2中预处理标准限值后，接入市政污水管网。

5、固体废物影响分析

本项目介入手术时将会产生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，按照危废管理相关要求，进行分类

收集；医院未使用完和过期的造影剂作为医疗废物进行处理，造影剂不属于重金属和其他持久性有机物，不存在泄露风险，临时堆放于医疗废物暂存间内，最终与医院医疗废物统一交由有危废处理资质的单位处理；辐射工作人员会产生少量的生活垃圾及办公垃圾由环卫部门统一定期清运。

六、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。

七、环保设施与保护目标

医院现有环保设施配置较全，总体效能良好，可使本次环评中确定的所有保护目标，所受的辐射剂量，保持在合理的、可达到的尽可能低的水平。

八、医院辐射安全管理的综合能力

医院严格落实本报告提出的规章制度、环保措施，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，建设单位华蓥市第二人民医院在医院官网上进行了公示，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

项目	设施与器材	数量
直线加速器		
实体防护	四周墙体+迷路+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、控制超剂量连锁装置、时间控制连锁	设备自带

	门机连锁、门灯连锁	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	机房内有中文标识的紧急停机按钮	5 个
	监控、对讲装置	1 套
	有中文标识的紧急开门按钮	1 个
监测设备	机房内固定式剂量报警仪	1 个
	便携式辐射监测仪器仪表	1 个
	个人剂量报警仪	9 个
	个人剂量计	9 套
防护器材	通风系统	1 套
DSA		
场所设施	墙体、机房防护门	1 套
	操作位局部屏蔽防护设施	1 套
	观察窗屏蔽	1 套
	有中文标识的紧急停机按钮	1 套
	门灯连锁	1 套
	监控、对讲系统	1 套
警示装置	入口处电离辐射警告标志	1 套
	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	8 套
	个人剂量报警仪	8 个
防护设施	医护人员个人防护（铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套（选配：铅橡胶帽子）（0.5mm 铅当量））	8 套
	患者防护（铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套（选配：铅橡胶帽子））	1 套
	通风系统	1 套
管理制度	详见表12-1	/

建议和承诺

- 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培训与考核，证书有效期满前，应组织复训。

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、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。

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、本次环评仅涉及射线装置及其工作场所，日后如有变化，应另作环境影响评价。

10、加速器退役时，应对加速器部件的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。

11、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>）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。