

核技术利用建设项目

眉山天府新区第一人民医院

新增射线装置应用项目

环境影响报告表

（公示稿）

四川天府新区眉山管理委员会社会事务局

2022年8月

生态环境部监制

# 目 录

表 1	项目基本概况.....	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）.....	12
表 6	评价依据.....	13
表 7	保护目标与评价标准.....	15
表 8	环境质量及辐射现状.....	19
表 9	项目工程分析与源项.....	28
表 10	辐射安全与防护.....	40
表 11	环境影响分析.....	59
表 12	辐射安全管理.....	98
表 13	结论与建议.....	104
表 14	审批.....	111

**表 1 项目基本概况**

建设项目名称		眉山天府新区第一人民医院新增射线装置应用项目			
建设单位		四川天府新区眉山管理委员会社会事务局 (统一社会信用代码: 11511700MB1C05517K)			
负责人	廖玉兰	联系人	曾**	联系电话	1*****
注册地址		四川省眉山市仁寿县视高街道中建大道二段 8 号			
项目建设地点		四川省仁寿县视高街道环天府新区快速通道北侧眉山天府新区第一人民医院门急诊医技综合楼地下一层、一层和四层			
立项审批部门		四川天府新区眉山管理委员会发展合作局	批准文号	天眉管发合投(2020)10号	
建设项目总投资(万元)	5000	项目环保投资(万元)	110	投资比例(环保投资/总投资)	2.2%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积(m <sup>2</sup> )	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
	其他	/			

**1.1 项目建设单位情况**

为响应四川省人民政府深化医药卫生体制改革试点方案的通知，满足社会对医疗卫生市场的需求，四川天府新区眉山管理委员会社会事务局拟投资建设眉山天府新区第一人民医院项目，建设地址位于眉山天府新区视高街道益州大道南延线与环天府大道快速通道相交处。拟建眉山天府新区第一人民医院（以下简称“医院”）为一家集医疗、预防、保健、科研为一体的综合性医院。为此，四川天府新区眉山管理委员会发展合作局于 2020 年 3 月 4 日出具了《四川天府新区眉山管理委员会发展合作局关于眉山天府新区第一人民医院项目可研（代立项）的批复》（天眉管发合投【2020】10 号，见附件 4），同意在眉山天府新区视

高街道新建眉山天府新区第一人民医院（以下简称医院）。同年5月20日四川天府新区眉山管理委员会发展合作局又出具《四川天府新区眉山管理委员会发展合作局关于调整眉山天府新区第一人民医院建设项目有关事项的批复》（天眉管发合投【2020】69号，见附件4），将医院建设规模调整为三级甲等综合医院，调整后医院总投资为155040.22万元，建设规模为：占地面积约178亩，总建筑面积约154843m<sup>2</sup>（其中地上建筑面107920m<sup>2</sup>，地下建筑面积46923m<sup>2</sup>）；主要建设内容包括门急诊医技综合楼（-1F~4F）、行政办公综合楼（1F~4F）、体检健康中心（-1F~3F）、感染楼（1F~5F）、住院楼（-1F~14F）、高压氧舱（1F）及其它附属用房，拟设总床位数920床，其中住院部800床，传染病区120床。目前医院正在建设中。

四川天府新区眉山管理委员会社会事务局委托眉山环天管理技术服务有限公司编制了《眉山天府新区第一人民医院项目环境影响报告书》，于2022年2月通过了眉山市生态环境局的环保审批，批复文号：眉市环建天〔2022〕5号，见附件5。

## 1.2 任务由来及编制目的

因治疗与诊断的需要，以及拓展医院的服务范围，达到预期诊疗水平，医院拟在门急诊医技综合楼地下一层放疗中心新增1台15MV医用直线加速器（配套一台模拟定位CT机进行模拟定位）；拟在门急诊医技综合楼一层放射科和四层手术中心各新增2台数字减影血管造影机（DSA），共4台DSA。根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（原环境保护部，国家卫生和计划生育委员会公告，公告2017年第66号），上述医用直线加速器、DSA属于II类射线装置；模拟定位CT属于III类射线装置（该设备拟单独备案，不在本次评价范围内）。

按照《中华人民共和国环境保护法》的规定和要求，本项目需进行环境影响评价。对照《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》（生态环境部令第16号，2021年1月1日起施行），本项目属于五十五、核与辐射：172、核技术利用建设项目-“生产、使用II类射线装置的”，本次环评类别为环境影响报告表。

为保护环境，保障公众健康，四川天府新区眉山管理委员会社会事务局委托杭州卫康环保科技有限公司对本项目进行辐射环境影响评价，环评委托书见附件1。评价单位接受委托后，在进行现场踏勘、收集有关资料等工作，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、技术资料后，在项目区域环境质量现状评价的基础上，对项目的环境影响进行了预测，并按相应标准进行评价。同时，就项目对环境可能造成的影响、项目单位从事相应辐射活动的的能力、拟采取的辐射安全和防护措施及相关管理制度等进行了评价分析，在此

基础上提出合理可行的对策和建议,并依据《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》(HJ 10.1-2016)的相关要求,编制完成了本项目的环境影响报告表,供建设单位上报审批。

### **1.3 本项目产业政策及实践正当性**

#### **1.3.1 产业政策符合性分析**

本项目为核技术利用于医学领域。根据《产业结构调整指导目录(2019年本)》及《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,本项目医用直线加速器属于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”项目,DSA属于第十三项“医药”中第5款“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备,人工智能辅助医疗设备,高端放射治疗设备,电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备,新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用,危重病用生命支持设备,移动与远程诊疗设备,新型基因、蛋白和细胞诊断设备”项目,均属于国家鼓励类产业,符合国家产业政策。

#### **1.3.2 实践正当性分析**

本项目的建设可以更好地满足仁寿县及周边病人就诊需求,提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展,对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用,因此,该项目的实践是必要的。

医院在放射诊断和放射治疗过程中,对射线装置的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施,对射线装置的安全管理将建立相应的规章制度。因此,在正确使用和管理射线装置的情况下,可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害,该核技术应用实践具有正当性,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中“实践的正当性”原则。

### **1.4 项目概况**

#### **1.4.1 项目建设单位、名称、性质、地点**

建设单位:四川天府新区眉山管理委员会社会事务局

项目名称:眉山天府新区第一人民医院新增射线装置应用项目

建设性质:新建

建设地点：四川省仁寿县视高街道环天府新区快速通道北侧眉山天府新区第一人民医院门急诊医技综合楼地下一层、一层和四层。

#### 1.4.2 建设内容与规模

经与建设单位核实，确定本次评价规模为：

##### (1) 放疗中心

医院拟在门急诊医技综合楼（-1F/4F，高约 18.0m）地下一层放疗中心新建医用直线加速器机房内使用 1 台 15MV 医用直线加速器（属 II 类射线装置，型号待定），用于全身肿瘤诊疗。医用直线加速器治疗时 X 射线最大能量为 15MV，距靶 1m 处的最大主束辐射剂量率为  $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$ ，电子线最高能量为 22MeV，年曝光时间约 417h。加速器机房面积（含迷道）约 98.7m<sup>2</sup>，其东侧为控制室（面积约为 21.5m<sup>2</sup>）、病人准备室（面积约为 17.96m<sup>2</sup>）及加速器水冷机房（面积约为 13.06m<sup>2</sup>）。加速器机房四面墙体、迷路、顶部和底部均为现浇混凝土，主射朝向南侧墙体、北侧墙体、顶部与地面。南墙主屏蔽区为 3100mm 厚混凝土，屏蔽宽度为 5200mm，与主屏蔽相连的次屏蔽区为 2000mm 厚混凝土；北墙主屏蔽区为 3100mm 厚混凝土，屏蔽宽度为 5200mm，与主屏蔽相连的次屏蔽区为 2000mm 厚混凝土；顶棚主屏蔽为 3100mm 厚混凝土，屏蔽宽度 5200mm，与主屏蔽相连的次屏蔽区为 1850mm 厚混凝土；西侧墙为 1800mm 厚混凝土；东侧墙体为迷道墙，迷道内墙为 1650mm~1950mm 厚混凝土，迷道外墙为 1419mm~1650 mm 厚混凝土；防护门为内衬 20mm 铅板+20cm 含硼聚乙烯的铅钢防护门。加速器机房无地下层，楼上无建筑物，为室外绿化带。

##### (2) 放射科和手术中心

本项目拟在门急诊医技综合楼（-1F/4F，高 18.0m）一层放射科和四层手术中心各新增 2 台数字减影血管造影机（DSA），共 4 台 DSA（为方便描述，将其中一层放射科 DSA 编号为 1#DSA 和 2#DSA，四层手术中心 DSA 编号为 3#DSA 和 4#DSA，型号均待定），其额定电压均不大于 150kV、额定电流均不大于 1250mA，出束方向由下而上，属于 II 类射线装置。本项目新增 4 台 DSA 主要用于介入治疗、血管造影等。

##### ①门急诊医技综合楼一层放射科

放射科 1#DSA 和 2#DSA 机房布局为东西对称布置，其机房有效面积均约为 57.6m<sup>2</sup>，净长 8.0m，净宽 7.2m；2 间机房共用一间控制室、一间准备/恢复间和一间缓冲间，控制室有效面积约为 40.13m<sup>2</sup>，准备/恢复间有效面积约为 28.66m<sup>2</sup>，缓冲间有效面积约为 9.8m<sup>2</sup>，2 间机房设备间有效面积均约为 13.6m<sup>2</sup>。放射科 2 间 DSA 机房四侧墙体均为 240mm 实心砖墙+40mm

硫酸钡涂料（约合 4.0mmPb），顶棚为 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料（约合 3.0mmPb），地坪为 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料（约合 3.5mmPb），防护门均采用 4mmPb 铅门（3 扇），观察窗为 20mm 厚铅玻璃（1 扇，约合 4.0mmPb）。

②门急诊医技综合楼四层手术中心

手术中心 3#DSA 和 4#DSA 机房布局亦为东西对称布置，其机房有效面积均约为 76.8m<sup>2</sup>，净长 11.3m，净宽 6.8m；3#DSA 机房控制室有效面积约为 17.17m<sup>2</sup>，4#DSA 机房控制室有效面积约为 23m<sup>2</sup>，手术中心 2 间机房共用一间刷手区和紧急消毒间，刷手区有效面积约为 19.07m<sup>2</sup>，紧急消毒间有效面积约为 50.56m<sup>2</sup>；手术中心 2 间 DSA 机房四侧墙体均 240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡涂料（约合 4.0mmPb），顶棚为 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料（约合 3.0mmPb），地坪为 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料（约合 3.5mmPb），防护门均采用 4mmPb 铅门（3 扇），观察窗为 20mm 厚铅玻璃（1 扇，约合 4.0mmPb）。

项目总投资 5000 万元，其中环保投资 110 万元，约占总投资的 2.2%。

本项目建设项目组成及主要的环境问题见表 1-1。

表 1-1 建设项目组成及主要的环境问题表

名称	科室	场所	建设内容及规模		可能产生的环境问题	
					施工期	运营期
主体工程	门急诊医技综合楼地下一层放疗中心	直线加速器机房	设备、数量	15MV 医用直线加速器 1 台	1、施工废水，噪声、扬尘、固体废物 2、射线装置安装调试阶段产生 X 射线；	X 射线、电子线、中子、感生放射性物质、废靶、臭氧、氮氧化物、噪声
			设备型号	待定		
			管理类别	II 类		
			使用场所	门急诊医技综合楼（-1F~4F）地下一层放疗中心加速器机房内		
			年曝光时间	417h		
			距靶 1m 处最大剂量率	15MV X 射线：1.44×10 <sup>9</sup> μGy/h		
				22MeV 电子线：3.6×10 <sup>8</sup> μGy/h		
屏蔽体结构	主射朝南、北、顶棚及地面，南墙主屏蔽区为 3100mm 厚混凝土，屏蔽宽度为 5200mm，与主屏蔽相连的次屏蔽区为 2000mm 厚混凝土；北墙主屏蔽区为 3100mm 厚混凝土，屏蔽宽度为 5200mm，与主屏蔽相连的次屏蔽区为 2000mm 厚混凝土；顶棚主屏蔽为 3100mm 厚混凝土，屏蔽宽度 5200mm，与主屏蔽相连的次屏蔽区为 1850mm 厚混凝土；西侧墙为 1800mm 厚混凝土；东侧墙体为迷道墙，迷道内墙为 1650mm~1950mm 厚混凝土，迷道外墙为 1419mm~1650 mm 厚混凝土；防护门					

				为内衬 20mm 铅板+20cm 含硼(5%)聚乙烯的铅钢防护门		
	门急诊医技综合楼一层放射科和四层手术中心	DSA	设备、数量	4 台 DSA		X 射线、氮氧化物、臭氧、医疗废物、噪声、医疗废水
			设备型号	待定		
			管理类别	II类		
			使用场所	门急诊医技综合楼（-1F~4F）一层放射科和四层手术中心		
			年曝光时间	110h（减影 10h，透视 100h）/台		
			最大管电压、最大管电流	150kV/1250mA		
			屏蔽体结构	四侧墙体均为 240mm 实心砖墙+40mm 硫酸钡涂料(约 4mmPb)，顶棚为 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料(约 3mmPb)，地坪为 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料(约 3.5mmPb)，防护门均采用 4mmPb 铅门（3 扇），观察窗为 20mm 厚铅玻璃（1 扇，4mmPb）		
辅助工程	医用直线加速器：控制室、更衣室、加速器水冷机房、护士站、医生诊室、模具室、计划室等					生活垃圾、生活污水
	DSA：控制室、缓冲区、医生更衣室、卫生间、淋浴、材料库房、病人准备/恢复区、设备间、污物暂存间					
环保设施	废水	废水处理依托医院的污水管道和污水处理站(设计处理能力为 900m <sup>3</sup> /d，处理工艺为“预处理+二级生化+次氯酸钠消毒”)处理达标后送至视高第二污水处理厂处理。				废水、固体废物、废气
	废气	医用直线加速器机房通排风系统，排风量为 3700m <sup>3</sup> /h，进出风管由防护门上方墙体“Z”型穿出机房，引至建筑屋顶排放；DSA 机房通排风系统。				
	固废	医疗废物依托医院医废暂存间及收集系统进行收集暂存后委托有资质单位进行处理；办公、生活垃圾依托医院生活垃圾暂存间及收集系统收集暂存后由环卫部门统一清运处理；加速器废靶件交给有资质单位收贮。				
	噪声	选用低噪声设备，设备基础减振、建筑隔声等				
公用工程	依托医院给水、供电、通风等配套设施					/
办公、生活设施	本次新建候诊厅、护士站、医生办公室等					生活垃圾、生活污水

项目依托情况介绍：

①依托办公设施：候诊厅、护士站、医生办公室依托本次新建的候诊厅、护士站、医生办公室。

②依托环保设施：本项目产生的生活污水、医疗废水依托医院污水处理设施处理；生活



垃圾依托医院收集设施收集后统一委托当地环卫部门清运。本项目产生的医疗废物，医院拟委托有资质单位进行统一收集、清运和处置。

医院拟新建 1 个医疗废物暂存间，位于门急诊医技综合楼负一层西侧，建筑面积 45m<sup>2</sup>，用于存放医疗废物，定期交由有资质单位处置。

医院拟新建污水处理站一座，其设计处理能力为 900m<sup>3</sup>/d，采用“预处理+二级生化+次氯酸钠消毒”处理。医院废水经污水处理站处理达到《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)中的表 2 预处理标准后排入市政污水管网，最终进入视高第二污水处理厂处理后排外排。医院污水处理站设计处理能力能够满足本项目生活污水及医疗废水产生量和排放量的排放需求。

### 1.4.3 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 本项目主要原辅材料及能耗一览表

类别	名称	年使用量	来源	主要化学成分
主要原辅材料	造影剂 (L)	240	外购	碘海醇
	电 (kW·h)	30000	市政电网	/
	水 (m <sup>3</sup> )	1008	自来水公司	/

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 1200 台手术，则年使用量约为 240L。由公司统一采购，常温储存，使用后的废包装物按医疗废物处置。

### 1.4.4 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	数量	设备参数	管理类别	年总出束时间/台	出束方向	使用场所	备注
直线加速器	待定	1 台	最大 X 射线能量 15MV	II类	417h	南侧墙体、北侧墙体、顶部和地面	门急诊医技综合楼地下一层放疗中心医用直线加速器机房	拟购
DSA	待定	2 台	150kV/1250mA	II类	110h(拍片 10h、透视 100h) *	由下向上	门急诊医技综合楼一层放射科 DSA 机房	拟购
DSA	待定	2 台	150kV/1250mA	II类		由下向上	门急诊医技综合楼四层手术中心 DSA 手术室	拟购

注\*：各个科室手术的拍片和透视的出束时间不一样，本环评保守按时间最长计（单台手术最长出束时间：透视 20min 和拍片 2min，300 台手术/年/台）

#### 1.4.5 工作人员配置情况和工作负荷

工作制度：年工作日 250d，每周工作 5 天，每天工作 8h。

工作负荷：本项目医用直线加速器每日最大治疗人次不超过 100 人，一周工作 5 天，加速器周治疗照射时间为 8.33h/周（详见 11.2.1 小节），则年治疗时间约为 417h。

DSA 年手术台数最大为 300 台，主要用于外周血管介入、心血管介入、神经介入、肿瘤介入等手术，保守取单台手术减影曝光时间 2min，透视时间 20min，则单台减影过程年总曝光时间为 10h，透视过程年总曝光时间为 100h，DSA 年出束总时间为 110h。

人员配置：本项目拟配置辐射工作人员 40 人，均为对外招聘，其中医用直线加速器工作人员 8 人（医生 2 人，技师 4 人，物理师 2 人），分两组，轮班上岗，医用直线加速器人员定岗定责，不兼职操作其他射线装置；DSA 拟配置 32 人，每台 DSA 配置 8 人，分为 2 组，每组 4 人，其中控制室技师 1 人，护士 1 人，手术医生 2 人。单台设备的使用工作人员相对固定，不兼职操作其他射线装置。（每台手术人员配备为 1 位医生，1 位护士和 1 位技师，手术医生轮流进行手术）。

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年第 57 号），本项目新增的 40 名辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗，并定期复训。

### 1.5 本项目外环境及选址合理性分析

#### 1.5.1 项目外环境

眉山天府新区第一人民医院拟建地址位于仁寿县视高街道环天府新区快速通道北侧。医院总地块位于眉山天府新区视高街道东临益州大道南延线，南临环天府大道快速通道，用地呈 L 型，东侧为益州大道南沿线，南侧为环天府新区快速通道，西侧和北侧均为规划道路。

医院拟建址地理位置图见附图 1。

#### 1.5.2 项目周边环境概况

本项目辐射工作场所选址于眉山天府新区第一人民医院门急诊医技综合楼（-1F~4F）内。医用直线加速器机房位于门急诊医技综合楼地下一层放疗中心，DSA 机房位于门急诊医技综合楼一层放射科和四层手术中心。

本项目放疗中心医用直线加速器机房东侧依次为缓冲间、控制室、水冷机房、配电房；南侧为地下车库；西侧为通风机房和送风机房；北侧为气瓶间、污水提升间、卫生间和候诊室；顶部为室外绿化带，无地下层。本项目医用直线加速器机房上层地面对应区域的东侧、南侧均为门急诊医技综合楼，西侧为院内道路，北侧为地面绿化，西北侧约 40m 为医院二期用地（目前闲置）。

本项目放射科 1#DSA 机房东侧依次为缓冲间和控制室、南侧为污物通道、西侧为洁净通道、北侧为设备间和病人等候区，正上方为检验科，正下方为电子病案库；2#DSA 机房东侧为过道、南侧为污物通道、西侧依次为准备/恢复室和控制室、北侧为病人等候区和设备间，正上方为检验科，正下方为电子病案库。1#和 2#DSA 机房北侧约 26m 处为住院楼，约 122m 处为行政办公楼；手术中心 3#DSA 手术室东侧依次为紧急消毒间和控制室，南侧和西侧为洁净走廊，北侧为污物通道，正上方为屋顶平台（无人平台），正下方为妇科诊区；4#DSA 手术室东侧依次为污洗间、污物暂存间和控制室，南侧为洁净走廊，西侧为刷手区和紧急消毒间，北侧为污物通道，正上方为屋顶平台（无人平台），正下方为妇科诊区。3#和 4#DSA 手术室南侧约 64m 处为感染楼，东、西、北侧均为门急诊医技综合楼、绿化或院内道路。

本项目外环境关系图详见附图 2。

### 1.5.3 选址合理性分析

本项目用地属于医疗卫生用地（建设用地规划许可证见附件 6）。

本项目位于仁寿县视高街道环天府新区快速通道北侧眉山天府新区第一人民医院内，该项目已取得眉山生态环境局眉市环建天（2022）5 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，项目 50m 评价范围主要为医院内部建筑物，不涉及国家级生态保护红线，无学校、幼儿园等敏感建筑，无环境制约因素，且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相关法律法规确定的剂量管理约束值的要求。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。

### 1.6 原有核技术利用项目许可情况

眉山天府新区第一人民医院为新成立医院，无原有核技术利用项目。

**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
本项目不涉及								

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
本项目不涉及										

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》(GB 18871-2002)。

**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 (MeV)	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	1台	待定	电子	X射线能量：≤15MV 电子线能量：≤22MeV	X射线：24Gy/min 电子线：6Gy/min	放射治疗	门急诊医技综合楼地下一层放疗中心加速器机房	新增，本次环评

(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	2台	待定	≤150	≤1250	影像诊断和介入治疗	门急诊医技综合楼一层放射科 1#、2#DSA 机房	新增，本次环评
2	DSA	II类	2台	待定	≤150	≤1250	影像诊断和介入治疗	门急诊医技综合楼四层手术中心 3#、4#DSA 机房	新增，本次环评

(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	
本项目不涉及													

**表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）**

场所	名称	状态	污染物	排放口浓度	暂存情况	最终去向
医用直线 加速器	废靶	固态	/	/	在铅桶内暂存，铅桶外剂量率处于环境本底水平。	委托有资质单位收贮
	非放气态 废弃物	气态	臭氧（O <sub>3</sub> ）、 氮氧化物	0.04mg/m <sup>3</sup>	经专用排风管道排至楼顶	环境大气
	感生放射 性废气	气态	<sup>13</sup> N、 <sup>15</sup> O	/	经专用排风管道排至楼顶	环境大气
DSA	非放气态 废弃物	气态	臭氧（O <sub>3</sub> ）、 氮氧化物	极少量	经排风扇排放	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/m<sup>3</sup>；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/m<sup>3</sup>）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法律文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法（2014 年修订）》，2015 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法（2018 年修订）》，2018 年 12 月 29 日起施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(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 日起施行；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019 年修改）》，国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日起施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021 年修订）》，生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(8) 《关于发布射线装置分类的公告》，原环境保护部、国家卫生计生委公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行；</p> <p>(9) 《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，2006 年 9 月 26 日起施行；</p> <p>(10) 《放射性废物的分类》，原环境保护部、工业和信息化部与国防科工局公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(11) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，中华人民共和国生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(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，原环境保护部文件；</p> <p>(13) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号），2016 年 3 月 7 日起施行；</p> <p>(14) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》生态环境部公告 2019 年第 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行；</p> <p>(15) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部，公告 2019 年第 57 号，2020 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(16) 《关于发布&lt;建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法&gt;配套文件的公告》，生态环境部，公告 2019 年第 38 号，2019 年 11 月 1 日起施行；</p>
------	---

	<p>(17) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部，公告 2019 年第 39 号，2019 年 11 月 1 日起启用；</p> <p>(18) 《产业结构调整指导目录（2019 年本）》(2021 年修改，国家发展和改革委员会 2021 年令 49 号) 2021 年 12 月 30 日起施行；</p> <p>(19) 《四川省辐射污染防治条例》，2016 年 6 月 1 日起实施。</p>
<p>技 术 标 准</p>	<p>(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和格式》（HJ 10.1-2016）；</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>(3) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）；</p> <p>(4) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；</p> <p>(5) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）；</p> <p>(6) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；</p> <p>(7) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>(8) 《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）；</p> <p>(9)《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/T 201.2-2011)；</p> <p>(10) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>(11) 《电离辐射所致眼晶状体剂量估算方法》（GBZ/T 301-2017）；</p> <p>(12) 《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）；</p> <p>(13) 《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）；</p> <p>(14) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）；</p> <p>(15) 《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS674-2020）。</p>
<p>其 他</p>	<p>(1) 环评委托书，见附件 1；</p> <p>(2) 眉山天府新区第一人民医院提供的其它相关资料；</p> <p>(3) 《辐射安全与防护监督检查技术程序》（原中华人民共和国环境保护部，2012 年 3 月）；</p> <p>(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）。</p>



## 表 7 保护目标与评价标准

### 7.1 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》（HJ 10.1-2016）的规定：“以项目实体为中心，射线装置的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）”，结合本项目的辐射污染特点，确定本项目的评价范围为辐射工作场所建筑实体边界外 50m 区域，评价范围示意图见附图 2。

### 7.2 保护目标

根据《关于印发四川省生态保护红线方案的通知》（川府发 2018 年 24 号），四川省生态保护红线总面积 14.80 万平方公里，占全省幅员面积的 30.45%。空间分布格局呈“四轴九核”，分为 5 大类 13 个区块，主要分布在川西高原山地、盆周山地的水源涵养、生物多样性维护、水土保持生态功能富集区和金沙江下游水土流失敏感区、川东南石漠化敏感区。本项目位于四川省仁寿县视高街道环天府新区快速通道北侧，不涉及四川省生态保护红线，详见附件 11。

根据本项目辐射工作场所的平面布局和周围的外环境关系，确定本项目主要环境保护目标为辐射工作场所辐射工作人员以及辐射工作场所周围公众等，详见表 7-1。

表 7-1 本项目环评范围内环境保护目标一览表

场所	环境保护目标		规模	方位	与机房实体边界最近距离（m）		年剂量约束值(mSv)
					水平	垂直	
放疗中心直线加速器	职业	控制室	8	东侧	紧邻	0	5.0
	公众	水冷机房、配电间	2 人次/d	东侧	紧邻	0	0.1
		护士站	2 人	东北侧	4	0	0.1
		地下一层停车场	约 50 人次/d	南侧	紧邻	0	0.1
		通风、送风机房	2 人次/d	西侧	紧邻	0	0.1
		卫生间、候诊区	约 100 人次/d	北侧	紧邻	0	0.1
		地上室外绿化带	约 10 人次/d	正上方	0	-1	0.1
		院内道路	约 500 人次/d	西侧	20	-1	0.1
门急诊医技综合楼其他公众	约 500 人次/d	四周	3~50	0	0.1		
放射科	职业	DSA 机房内	6	场所内	/	0	5.0
		控制室、医护缓	2	1#DSA 手术室和	紧邻	0	5.0

DSA	公众	冲区		2#DSA 手术室之间			
		病人等候区	2	北侧	紧邻	0	0.1
		准备/恢复室	4	北侧	紧邻	0	0.1
		设备间	2	北侧	紧邻	0	0.1
		污物暂存间、库房	1	南侧	5	0	0.1
		MRI 室	2	北侧	7	0	0.1
		病人检查通道	5	北侧	3	0	0.1
		检验科	约 150 人次/d	正上方	0	紧邻	0.1
		设备用房	约 2 人次/d	正下方	0	紧邻	0.1
		住院楼	约 200 人	北侧	26	0	0.1
门急诊医技综合楼其他公众	约 500 人次/d	四周	3~50	0	0.1		
手术中心 DSA	职业	DSA 手术室内	2	场所内	/	0	5.0
		控制室、刷手区、紧急消毒间	6	3#DSA 手术室和 4#DSA 手术室之间	/	0	5.0
	公众	洁净通道	约 10 人次/d	南侧	/	0	0.1
		污物暂存间、污洗间	1	东侧	/	0	0.1
		中心手术室	3	北侧	2	0	0.1
		屋顶设备平台	约 2 人次/d	正上方	0	紧邻	0.1
		妇科诊区	约 150 人次/d	正下方	0	紧邻	0.1
门急诊医技综合楼其他公众	约 500 人次/d	四周	3~50	0	0.1		

## 7.3 评价标准

### 7.3.1 执行标准

#### (1) 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）及其修改单中的二级标准；

②声环境质量执行国家《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 2 类标准；

③地表水质量执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）的 III 类标准。

#### (2) 污染物排放标准

①废气：施工期执行《四川省施工场地扬尘排放标准》（DB51/2682-2020）表 1 要求；臭氧排放执行《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<sup>3</sup>；氮氧化物执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中的二级标准；

②医疗废水：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：施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）各阶段标准限值；运营期执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的2类标准；

④固废：执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）；医疗废物暂存执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）及其修改单相关标准。

⑤电离辐射：执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中相关规定。

### 7.3.2 辐射环境评价标准

#### （1）电离辐射剂量限值和剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的规定，以及根据本项目特点并遵循辐射防护最优化原则，从事本项目辐射工作人员和公众的年剂量限值及剂量约束值见表7-2。

表7-2 本项目辐射环境影响评价标准

分类	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 （GB18871-2002）基本限值标准	剂量约束值/评价标准
职业照射	20mSv/a	5mSv/a
职业照射四肢（手和足）	500mSv/a	125mSv/a
职业照射四肢（眼晶体）	150mSv/a	37.5mSv/a
公众照射	1mSv/a	0.1mSv/a

#### （2）辐射工作场所边界周围剂量率控制水平

##### ①直线加速器

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《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》及《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）等相关标准，本项目直线加速器机房屏蔽体外人员居留因子  $T > 1/2$  的场所： $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ，人员居留因子  $T \leq 1/2$  的场所： $H_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv/h}$ 。

直线加速器机房选址与布局要求、空间与通风要求、辐射安全装置和警示标志要求的辐射安全与防护要求执行《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）。

##### ②DSA

参照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）有关规定，本项目DSA机房工作场所在距离DSA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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

## 表 8 环境质量及辐射现状

### 8.1 项目地理和场所位置

眉山天府新区第一人民医院拟建地址位于仁寿县视高街道环天府新区快速通道北侧。医院总地块位于眉山天府新区视高街道东临益州大道南延线，南临环天府大道快速通道，用地呈 L 型，东侧为益州大道南沿线，南侧为环天府新区快速通道，西侧和北侧均为规划道路。

本项目辐射工作场所选址于眉山天府新区第一人民医院门急诊医技综合楼(-1F~4F)内。医用直线加速器机房位于门急诊医技综合楼地下一层放疗中心，DSA 机房位于门急诊医技综合楼一层放射科和四层手术中心。

本项目医院总平面图见附图 3。

### 8.2 辐射环境现状监测及评价

为掌握项目所在地的辐射环境现状，本次评价过程中，四川致胜创科环境监测有限公司受委托于 2022 年 5 月 13 日对眉山天府新区第一人民医院新增射线装置应用项目拟建场所及周边进行了 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率和中子剂量当量率的布点监测。其监测项目、分析方法及来源见表 8-1。

表 8-1 监测项目内容及监测规范

监测项目	监测规范	标准编号
$\gamma$ 辐射空气吸收剂量率	《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》	HJ1157-2021
	《辐射环境监测技术规范》	HJ61-2021
中子剂量当量率	《辐射防护仪器中子周围剂量当量(率)仪》	GB/T14318-2019
	《辐射环境监测技术规范》	HJ61-2021

监测使用仪器及环境条件见表 8-2。

表 8-2 监测仪器的参数与规范

项目	监测方法	方法来源	使用仪器
$\gamma$ 辐射空气吸收剂量率	《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》	HJ1157-2021	名称: X/ $\gamma$ 剂量率仪 型号: XH-3512E 编号: H01
	《辐射环境监测技术规范》	HJ61-2021	能量相应范围: 25keV~7MeV 测量范围: 10nSv/h~200 $\mu$ Sv/h 校准因子: 1.08 校检有效期: 2022.11.28

			证书编号：检字第[2021]-L1308
中子剂量当量率	《辐射防护仪器中子周围剂量当量（率）仪》	GB/T14318-2019	名称：中子周围剂量当量（率）仪 型号：XH-3028
	《辐射环境监测技术规范》	HJ61-2021	编号：H05 能量相应范围：0.025eV~15MeV 测量范围：10nSv/h~200μSv/h 校准因子：0.98 校检有效期：2022.12.30 证书编号：检字第[2021]-N1578

### 8.3 质量保证措施

本项目环境现状监测单位四川致胜创科环境监测有限公司，通过了计量认证，具备完整、有效的质量控制体系。

四川致胜创科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致胜创科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。

### 8.4 环境现状监测结果及评价

监测点位合理性分析：本次监测期间，医院主体建筑正在建设中，项目场所及周边建筑已完成隔断，因此本次监测依据平面布局图，在拟建辐射工作场所及周边、50m评价范围内的其他建筑物及周边环境共布设了58个点位，所布点位能反映本项目评价范围内拟建场所的辐射环境现状水平。因此，监测点位布设是合理的。

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。

具体监测结果见表8-3至表8-8，现场监测照片见图8-5：

表 8-3 本项目医用直线加速器拟建址  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率监测结果

点位号	监测位置	$\gamma$ 辐射空气吸收剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )		扣除设备宇宙 射线响应值 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	备注
		平均值	标准差		
1	直线加速器机房内部	0.0828	0.0006	0.0618	拟建直 线加速 器机房 建地
2	控制室	0.1177	0.0005	0.0909	
3	控制室操作位	0.1183	0.0007	0.0914	
4	水冷机房	0.1112	0.0015	0.0854	
5	地下车库	0.1096	0.0004	0.0841	
6	通风机房	0.1165	0.0009	0.0899	
7	送风机房	0.1136	0.0007	0.0874	
8	气瓶间	0.1066	0.0007	0.0816	
9	污水提升间	0.1102	0.0007	0.0846	
10	卫生间	0.1162	0.0009	0.0896	
11	候诊室	0.1032	0.0014	0.0788	
12	铅门右侧	0.0966	0.0024	0.0733	
13	铅门下侧	0.0989	0.0008	0.0752	
14	铅门左侧	0.1006	0.0014	0.0766	
15	直线加速器机房上层平台	0.0681	0.0011	0.0488	

注：1、扣除设备宇宙射线响应值换算依据：《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）中 5.5；

2、X- $\gamma$ 辐射剂量率的设备宇宙射线响应值引用 ZSCK20220103 号报告数据，本次监测所用设备宇宙射线响应值为：  
0.0080 $\mu\text{Gy/h}$ ，室内修正系数为 0.8、地下室为 0.9、室外为 1.0；

3、监测布点图见图 8-1。

表 8-4 本项目医用直线加速器拟建址中子剂量当量率监测结果

点位号	监测位置	中子剂量当量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )		备注
		平均值	标准差	
1	直线加速器机房内部	<LLD	/	拟建直线加速器 机房建地
2	控制室	<LLD	/	
3	控制室操作位	<LLD	/	
4	水冷机房	<LLD	/	
5	地下车库	<LLD	/	
6	通风机房	<LLD	/	
7	送风机房	<LLD	/	
8	气瓶间	<LLD	/	
9	污水提升间	<LLD	/	
10	卫生间	<LLD	/	
11	候诊室	<LLD	/	

12	铅门右侧	<LLD	/	
13	铅门下侧	<LLD	/	
14	铅门左侧	<LLD	/	
15	直线加速器机房上层平台	<LLD	/	

注：1、LLD=0.01 $\mu$ Sv/h。

2、监测布点图见图 8-1。

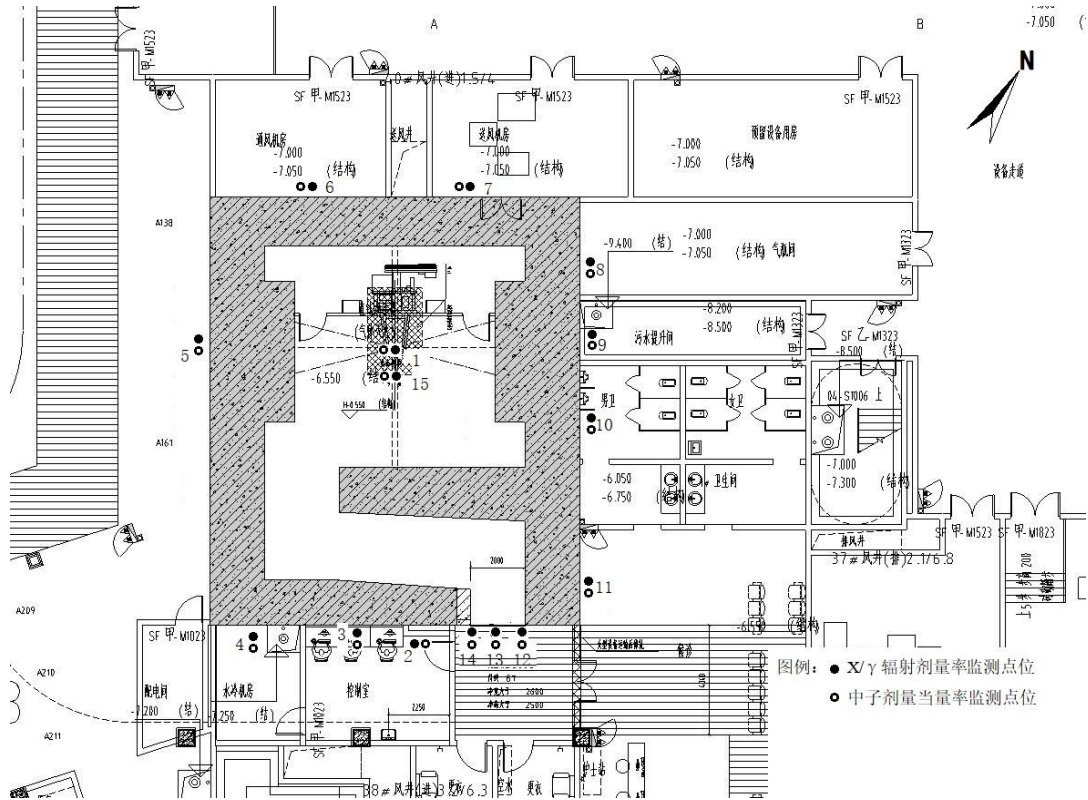


图 8-1 本项目医用直线加速器拟建址监测布点示意图

表 8-5 本项目 1#DSA 和 2#DSA 机房拟建址 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率监测结果

点位号	监测位置	$\gamma$ 辐射空气吸收剂量率 ( $\mu$ Sv/h)		扣除设备宇宙射线响应值 ( $\mu$ Gy/h)
		平均值	标准差	
1	1#DSA 机房内部	0.0985	0.0006	0.0757
2	1#DSA 机房工作人员铅门外(控制室)	0.0763	0.0008	0.0572
3	1#DSA 机房铅玻璃外(控制室操作位)	0.0772	0.0009	0.0579
4	1#DSA 机房南侧(污物走廊)	0.0824	0.0011	0.0623
5	1#DSA 机房西侧(洁净走廊)	0.0966	0.0018	0.0741
6	1#DSA 机房北侧(设备间)	0.0779	0.0011	0.0585
7	1#DSA 机房北侧(病人等候间)	0.0824	0.0005	0.0623
8	1#DSA 机房东侧(缓冲间)	0.0692	0.0008	0.0512



9	2#DSA 机房内部	0.0917	0.0019	0.0700
10	2#DSA 机房工作人员铅门外(控制室)	0.0986	0.0014	0.0758
11	2#DSA 机房铅玻璃外(控制室操作位)	0.0969	0.0019	0.0744
12	2#DSA 机房南侧(污物走廊)	0.0842	0.0007	0.0638
13	2#DSA 机房西侧(候诊走廊)	0.0718	0.0008	0.0534
14	2#DSA 机房北侧(设备间)	0.1048	0.0013	0.0809
15	2#DSA 机房北侧(病人等候间)	0.0793	0.0010	0.0597
16	2#DSA 机房西侧(准备/恢复室)	0.0678	0.0017	0.0501
17	1#DSA 机房下层(电子病案库)	0.0877	0.0003	0.0659
18	1#DSA 机房上层(检验科)	0.0733	0.0003	0.0547
19	2#DSA 机房下层(电子病案库)	0.0895	0.0015	0.0674
20	2#DSA 机房上层(检验科)	0.0727	0.0005	0.0542

- 注：1、扣除设备宇宙射线响应值换算依据：《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）中 5.5；  
2、X-γ辐射剂量率的设备宇宙射线响应值引用 ZSCK20220103 号报告数据，本次监测所用设备宇宙射线响应值为：0.0080μGy/h，室内修正系数为 0.8、地下室为 0.9、室外为 1.0；  
3、监测布点图见图 8-2。

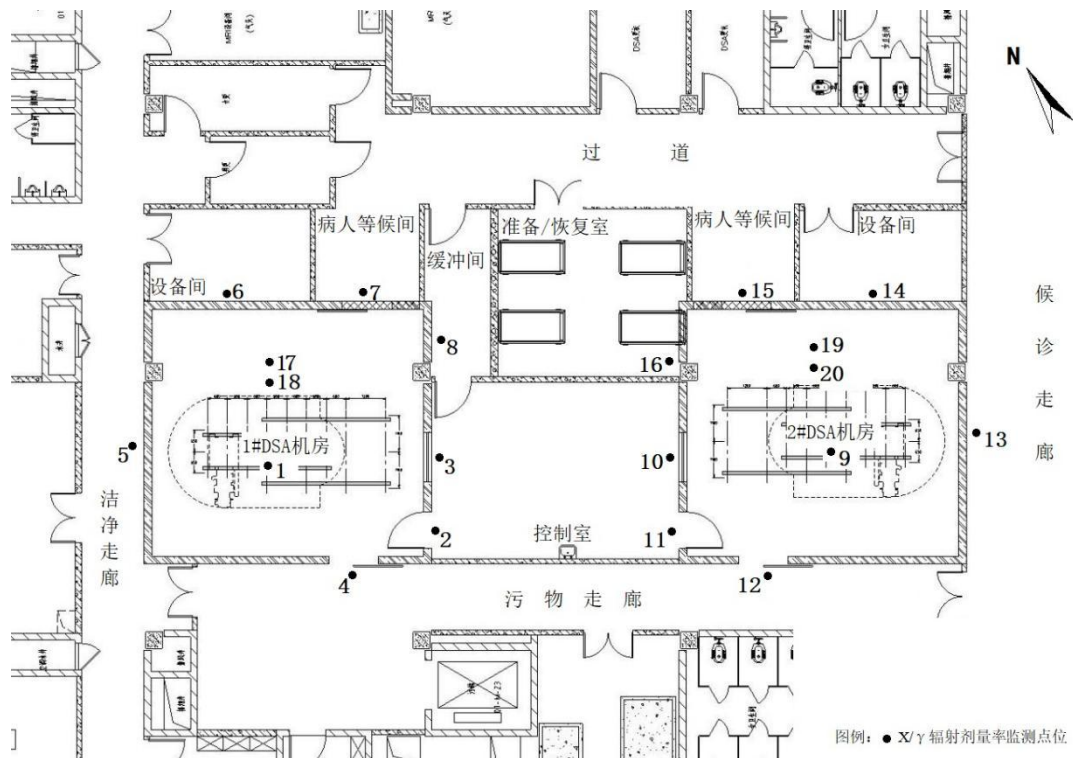


图8-2 本项目1#DSA和2#DSA机房拟建址监测布点示意图

表 8-6 本项目 3#DSA 和 4#DSA 机房拟建址 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率监测结果

点位号	监测位置	$\gamma$ 辐射空气吸收剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )		扣除设备宇宙射线 响应值 ( $\mu\text{Gy/h}$ )
		平均值	标准差	
1	3#DSA 机房中心	0.0889	0.0005	0.0677
2	3#DSA 控制室	0.0902	0.0015	0.0688
3	3#DSA 机房北侧边界	0.0837	0.0011	0.0634
4	3#DSA 机房西侧边界	0.0798	0.0037	0.0601
5	3#DSA 机房南侧边界	0.0740	0.0007	0.0553
6	3#DSA 楼顶平台	0.0781	0.0006	0.0587
7	3#DSA 楼下妇科诊区	0.0793	0.0024	0.0597
8	4#DSA 机房中心	0.0710	0.0021	0.0527
9	4#DSA 控制室	0.0850	0.0036	0.0645
10	4#DSA 机房北侧边界	0.0880	0.0034	0.0669
11	4#DSA 机房西侧边界	0.0889	0.0028	0.0676
12	4#DSA 机房南侧边界	0.0758	0.0029	0.0567
13	4#DSA 楼顶平台	0.0784	0.0032	0.0589
14	4#DSA 楼下妇科诊区	0.0885	0.0029	0.0673

- 注：1、扣除设备宇宙射线响应值换算依据：《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）中 5.5；  
 2、X- $\gamma$ 辐射剂量率的设备宇宙射线响应值引用 ZSCK20220103 号报告数据，本次监测所用设备宇宙射线响应值为：  
 0.0080 $\mu\text{Gy/h}$ ，室内修正系数为 0.8、地下室为 0.9、室外为 1.0；  
 3、监测布点图见图 8-3。

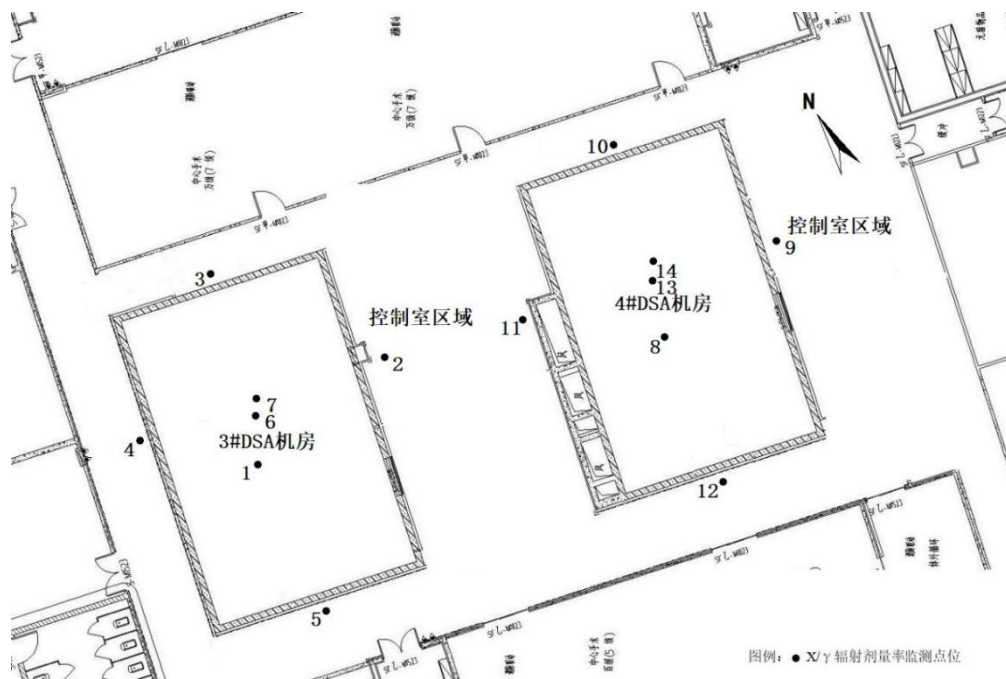


图8-3 本项目3#DSA和4#DSA机房拟建址监测布点示意图

表 8-7 本项目周边环境 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率监测结果

点位号	监测位置	$\gamma$ 辐射空气吸收剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )		扣除设备宇宙射线响应值 ( $\mu\text{Gy/h}$ )
		平均值	标准差	
1	门急诊医技综合楼西侧院内道路	0.0607	0.0007	0.0426
2	感染楼	0.0657	0.0008	0.0484
3	高压氧舱	0.0609	0.0012	0.0444
4	门急诊医技综合楼南侧院内道路	0.0586	0.0004	0.0408
5	门急诊医技综合楼东侧院内道路	0.0609	0.0005	0.0428
6	益州大道	0.0656	0.0005	0.0467
7	门急诊医技综合楼北侧院内道路	0.0631	0.0007	0.0446
8	住院楼	0.0655	0.0009	0.0482
9	行政办公楼	0.0637	0.0006	0.0466

- 注：1、扣除设备宇宙射线响应值换算依据：《环境 $\gamma$ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）中 5.5；  
 2、X- $\gamma$ 辐射剂量率的设备宇宙射线响应值引用 ZSCK20220103 号报告数据，本次监测所用设备宇宙射线响应值为：  
 0.0080 $\mu\text{Gy/h}$ ，室内修正系数为 0.8、地下室为 0.9、室外为 1.0；  
 3、监测布点图见图 8-4。

表 8-8 本项目周边环境 neutron 剂量当量率监测结果

点位号	监测位置	中子剂量当量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	
		平均值	标准差
1	门急诊医技综合楼西侧院内道路	<LLD	/
2	感染楼	<LLD	/
3	高压氧舱	<LLD	/
4	门急诊医技综合楼南侧院内道路	<LLD	/
5	门急诊医技综合楼东侧院内道路	<LLD	/
6	益州大道	<LLD	/
7	门急诊医技综合楼北侧院内道路	<LLD	/
8	住院楼	<LLD	/
9	行政办公楼	<LLD	/

- 注：1、LLD=0.01 $\mu\text{Sv/h}$ ；  
 2、监测布点图见图 8-4。

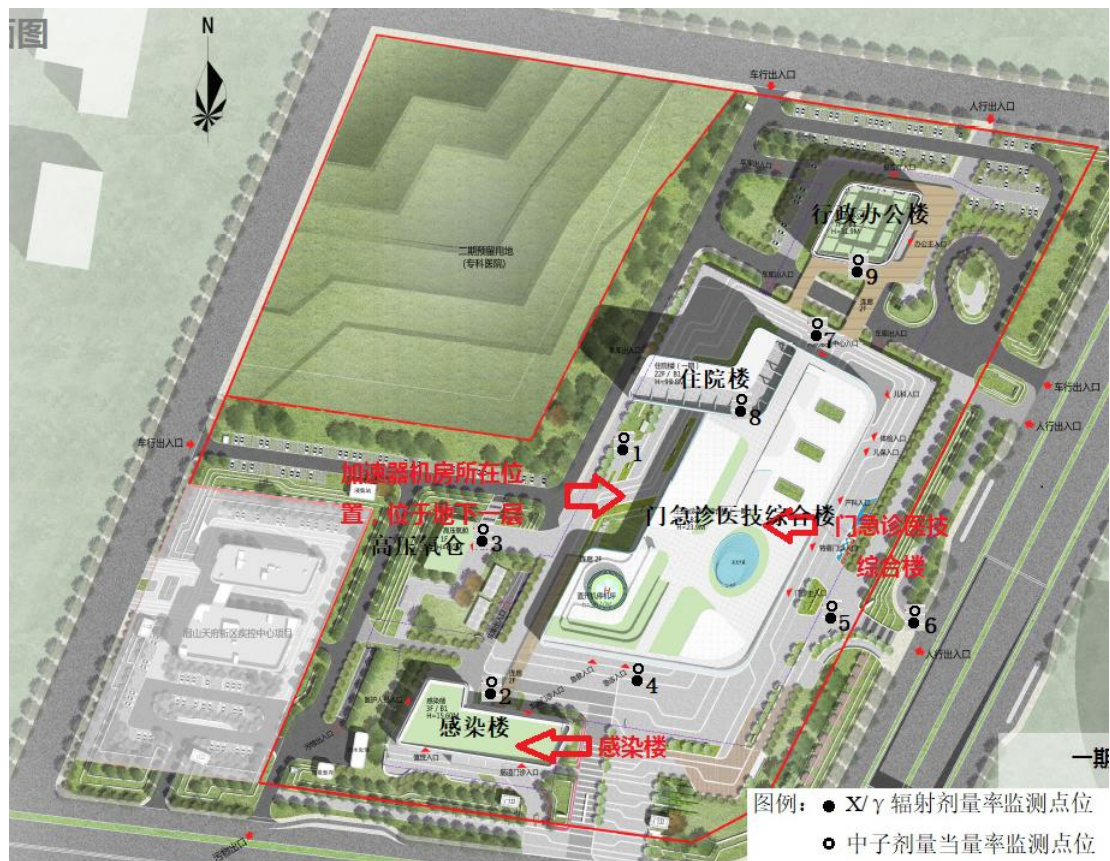


图 8-4 本项目医院及周边监测布点示意图

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。

由上述监测结果可知，本项目辐射工作场所及周围环境 $\gamma$ 空气吸收剂量率范围为 40.8~91.4nGy/h，上述监测结果与四川省生态环境厅《2020年四川省生态环境状况公报》中全省环境电离辐射水平（ $\leq 130\text{nGy/h}$ ）基本一致，属于当地正常天然本底辐射水平。本项目中子辐射剂量当量率为未检出，未见异常。





1#DSA 机房



2#DSA 机房



3#DSA 机房



4#DSA 机房



加速器机房



感染楼

图8-5 现场监测照片

## 表 9 项目工程分析与源项

### 9.1 建设阶段工程分析

本项目拟建的放疗中心、放射科及手术中心等均位于新建眉山天府新区第一人民医院内，目前医院新址尚在施工建设中，其建设阶段的工程分析和环境影响分析见《眉山天府新区第一人民医院项目环境影响报告书》（环评批复文号：眉市环建天〔2022〕5号），本环评不再赘述。

本项目各辐射工作场所相关设备安装不涉及放射性药物的使用，仅射线装置调试阶段会产生 X 射线，同时设备安装完成后，会有少量的废包装材料产生。调试阶段应在已经做好辐射防护的机房内进行，张贴辐射警示标识，避免无关人员靠近，经墙体的屏蔽及距离衰减后对环境的影响可以接受的。

### 9.2 运行阶段工程分析

#### 9.2.1 医用直线加速器

##### （一）项目概况

本项目医用直线加速器机房位于门急诊医技综合楼地下一层放疗中心，使用 X 射线能量不超过 15MV 的医用直线加速器开展放疗。

工作负荷：本项目医用直线加速器每日最大治疗人次不超过 100 人，一周工作 5 天，加速器周治疗照射时间为 8.33h/周（详见 11.2.1 小节），则年治疗时间约为 417h。

人员配置：本项目医用直线加速器工作场所拟配置辐射工作人员 8 人，均为对外招聘，其中医生 2 人，技师 4 人，物理师 2 人，轮班上岗，医用直线加速器人员定岗定责，不兼职操作其他射线装置。

根据医院的招标意向，本项目医用直线加速器主要技术参数见表 9-1。

表 9-1 本项目医用直线加速器技术参数一览表

参数名称	参数值
X 射线能量	X 射线最大能量：15MV，电子线最大能量：22MeV
射线最大出射角	28°（等中心点每侧 14°）
源轴距 SAD	1m
距靶 1m 处最高剂量率	X 射线最高剂量率为：24Gy/min（ $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$ ）；
	电子线最高剂量率：6Gy/min（ $3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ ）
泄漏 X 射线	小于 0.1%

最大照射野尺寸	40cm×40cm
机架旋转	360°
靶材料	钨靶
等中心点离地高度	(保守取等中心点离地高度最小值) 1250cm

注：医院在购买设备时，拟购的设备参数均不能超过表 9-1 中的技术参数。

## (二) 工作原理、工作流程及产污环节

### (1) 工作原理

直线加速器主要是根据被加速的电子轰击高原子序数的金属靶而产生高能X射线的原理，利用加速器产生的不同能量的X射线，根据人体正常组织和肿瘤组织对射线照射的反应不同，以最佳输出能量对人体肿瘤进行照射治疗，属II类射线装置。

电子发射源发射的电子，进入真空加速管被加速，然后经磁偏转装置，使电子束转向，一般转90°或270°，经过磁偏转转向的高速电子束，射向高原子序数的金属靶，当电子同金属靶的原子核相撞时，速度减慢并损失部分能量，电子损失的能量转换为X射线，X射线经过一个平板滤片，二次准直射出达到患者病灶进行治疗。

### (2) 设备组成

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

医院典型医用直线加速器见图9-1，医用直线加速器内部结构见图9-2，实景图见图9-3。

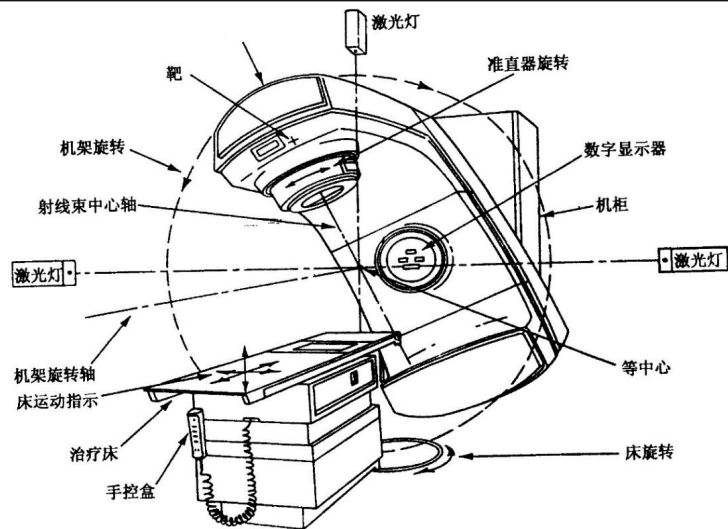


图9-1 典型医用直线加速器示意图

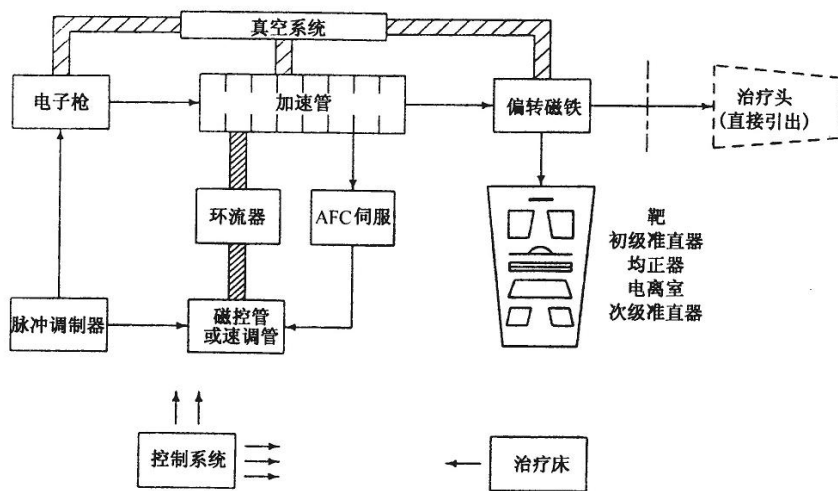


图9-2 医用直线加速器内部结构框图



图9-3 典型医用直线加速器外观图



### (3) 操作流程

a、进行定位。先通过模拟定位机（该CT模拟定位机位于加速器机房东南侧，医院将另行备案，不属于此次评价范围）对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。

b、TPS计划治疗系统：根据患者所患疾病性质、部位和大小确定照射剂量和照射的时间，并依据TPS计划治疗系统制定治疗方案。

c、固定患者体位。在利用加速器进行治疗前需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野。

d、开机治疗。

### 4、污染因子

由加速器的工作原理可知，医用直线加速器用于X射线治疗时，电子枪产生的电子经过加速后，高能电子束与靶物质及其他加速器结构材料相互作用时将产生高能X射线，其可能对工作人员及公众造成一定危害。这种X射线随机器的开、关而产生或消失。氧气分子受到X射线束照射时，会分解成原子。氧原子的不稳定性极强，与氧气、氮气反应时，就形成了臭氧和氮氧化物。

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）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），X射线能量高于10MV的加速器，需考虑中子辐射及感生放射性影响。

本项目医用直线加速器运行过程中还会造成靶部件、机头部件活化，需考虑加速器废靶件处置问题。

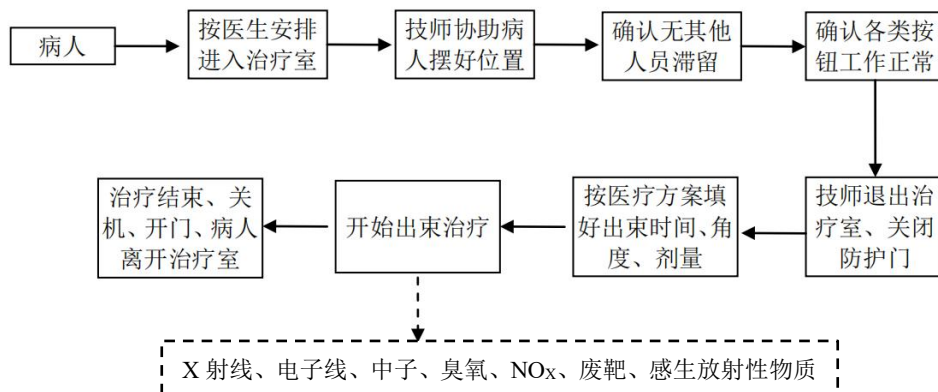


图 9-4 医用加速器放疗工作流程图

### (三) 人流路径规划

病人和医护人员均从门急诊医技综合楼一层进入直线加速器工作场所，病人在候诊区登

记候诊，治疗时，病人经防护门进入加速器治疗室接受治疗，治疗结束后原路返回。辐射工作人员进入南侧的控制室，工作结束后原路返回。

人流路径详见下图：

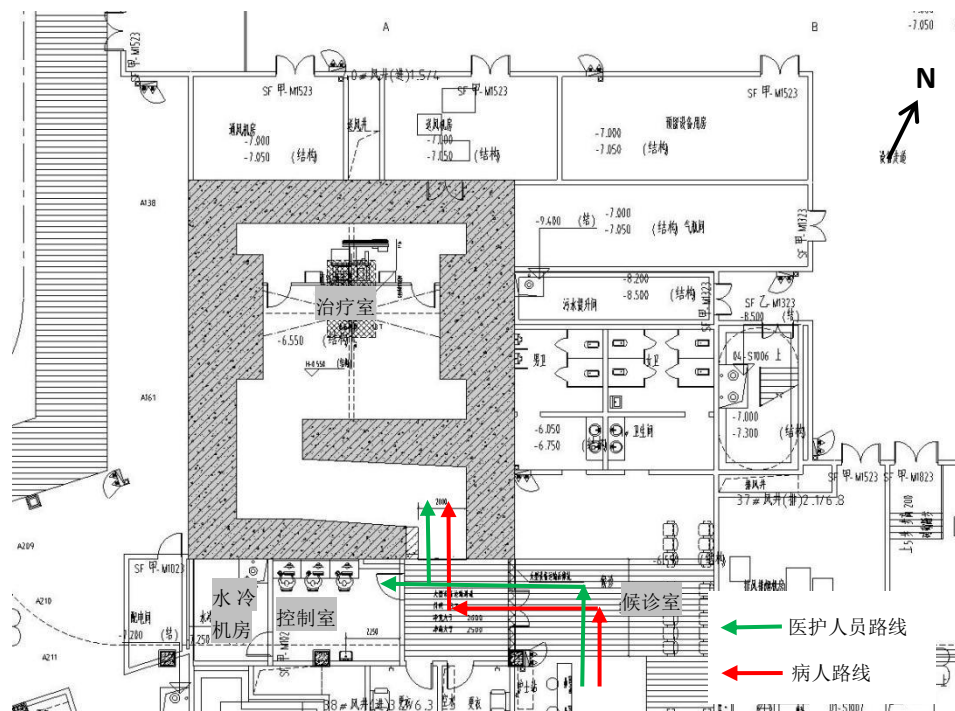


图9-5 医用直线加速器工作场所人流路径规划示意图

## 9.2.2 介入治疗单元

### (一) 项目概况

本项目 DSA 机房位于门急诊医技综合楼一层放射科和四层手术中心，各拟配备 2 台 DSA（型号未定，最大管电压 150kV、最大管电流 1250mA），一共 4 台 DSA，用于介入治疗和影像诊断。根据医院提供的工作方案，本项目单台 DSA 检查患者人数为 300 人/年，主要用于外周血管介入、心血管介入、神经介入、肿瘤介入等手术。人员配置：拟配置 32 人，每台 DSA 配置 8 人，人员相对固定，分为 2 组，每组 4 人，其中控制室技师 1 人，护士 1 人，手术医生 2 人（每台手术人员配备为 1 位医生，1 位护士和 1 位技师，手术医生轮流进行手术）。

### (二) 工作原理、工作流程及产污环节

#### 1、工作原理

DSA是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，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；由于造影剂用量少，浓度低，损伤小、较安全；节省胶片使造影价格低于常规造影。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、设备组成

DSA主要组成部分：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、多幅照相机。本项目DSA的整体外观示意图如图9-6所示。

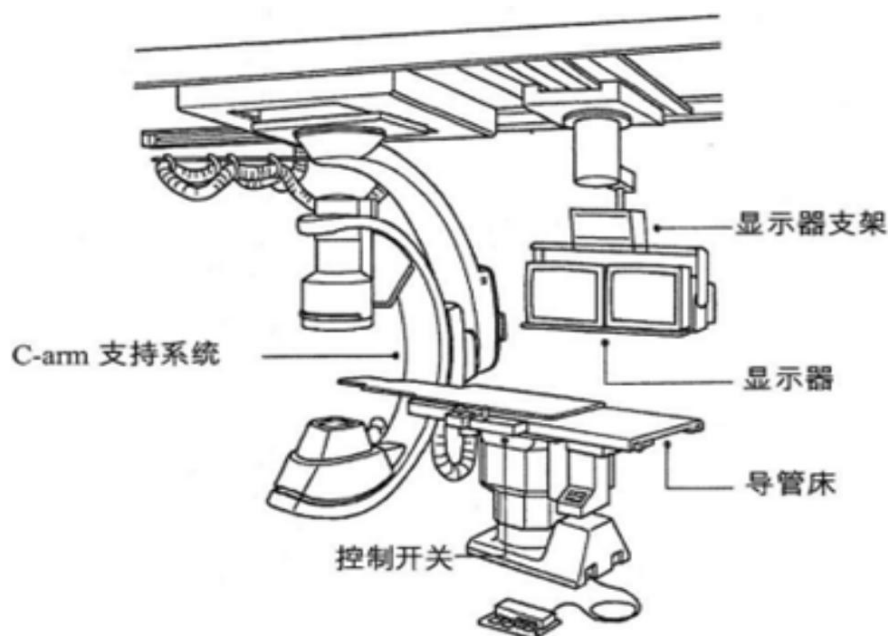


图9-6 DSA射线装置整体外观示意图

## 3、操作流程

诊疗时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺静脉，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管，推送导管，在X线透视下将导管送达静脉，顺序取血测定静、动脉，并留X线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。

DSA在进行曝光时分为减影和透视两种情况：

①第一种情况减影：操作人员采取隔室操作的方式（即操作医生在控制室内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。

②第二种情况透视：医生需进行手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，

并采用连续脉冲透视，此时操作医生位于铅屏风后并身着铅服、戴铅眼镜等防护用品，在曝光室内对病人进行直接的手术操作。

DSA治疗流程及产污环节示意图见图9-7。

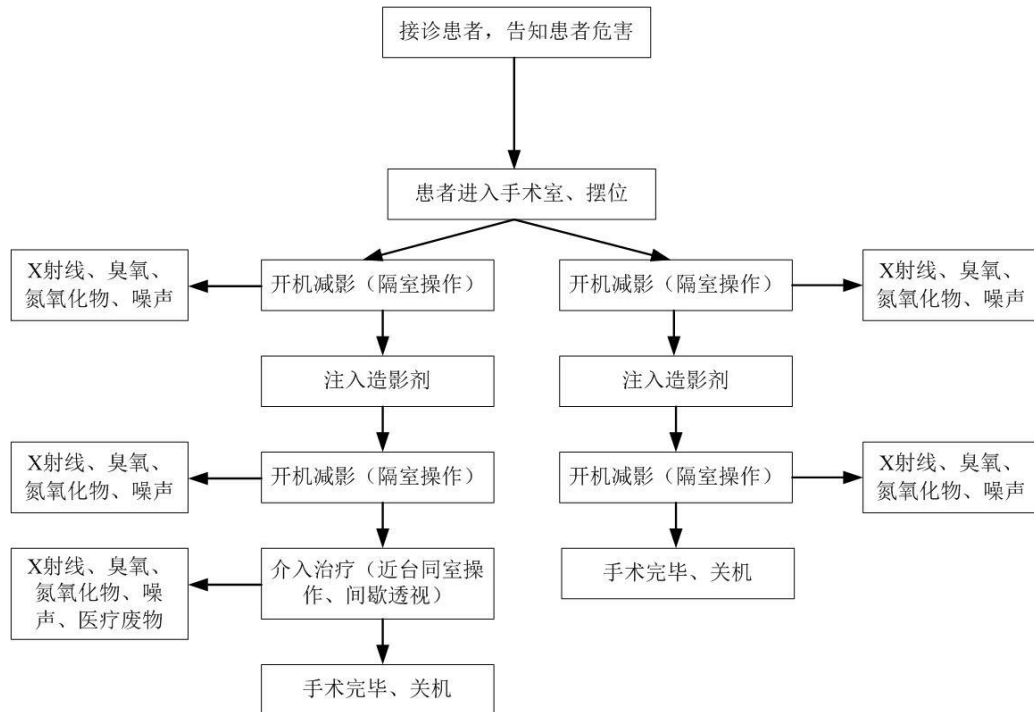


图9-7 DSA工作流程及产污环节示意图

#### 4、产污环节

本项目DSA为II类射线装置，其在开机状态下主要污染为X射线、臭氧及氮氧化物、噪声及医疗废物，在不开机状态下不产生污染。

##### （三）人流路径规划

介入治疗单元人流物流路径规划见下图：

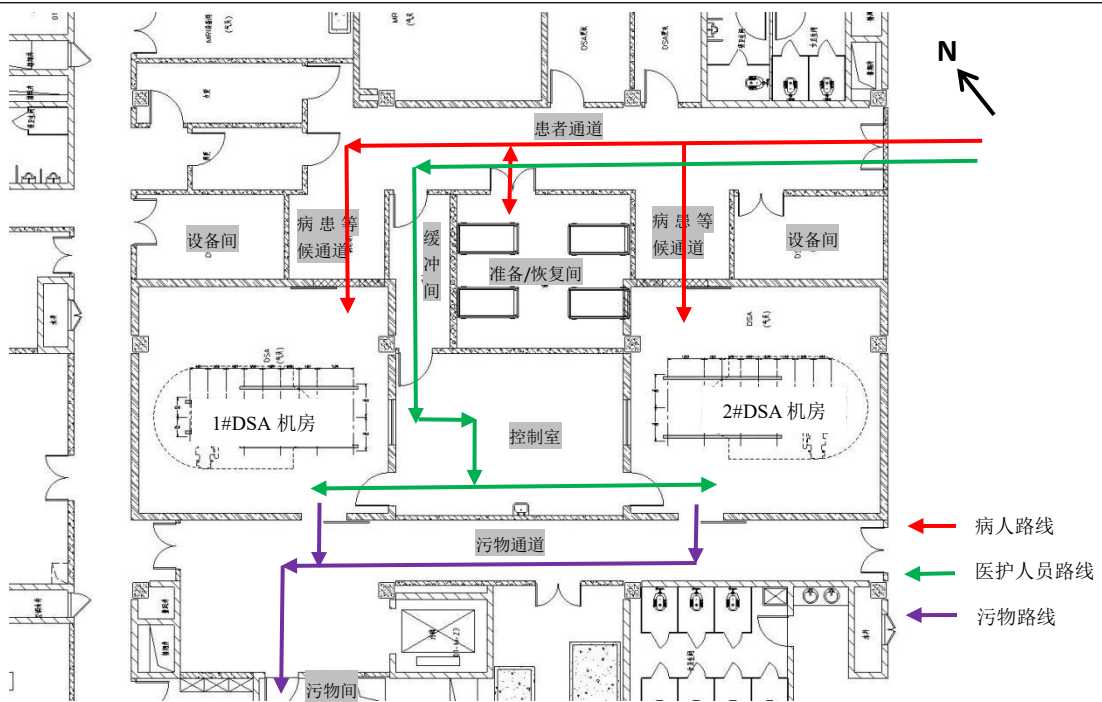


图9-8 1#DSA机房和2#DSA机房人流物流路径规划示意图

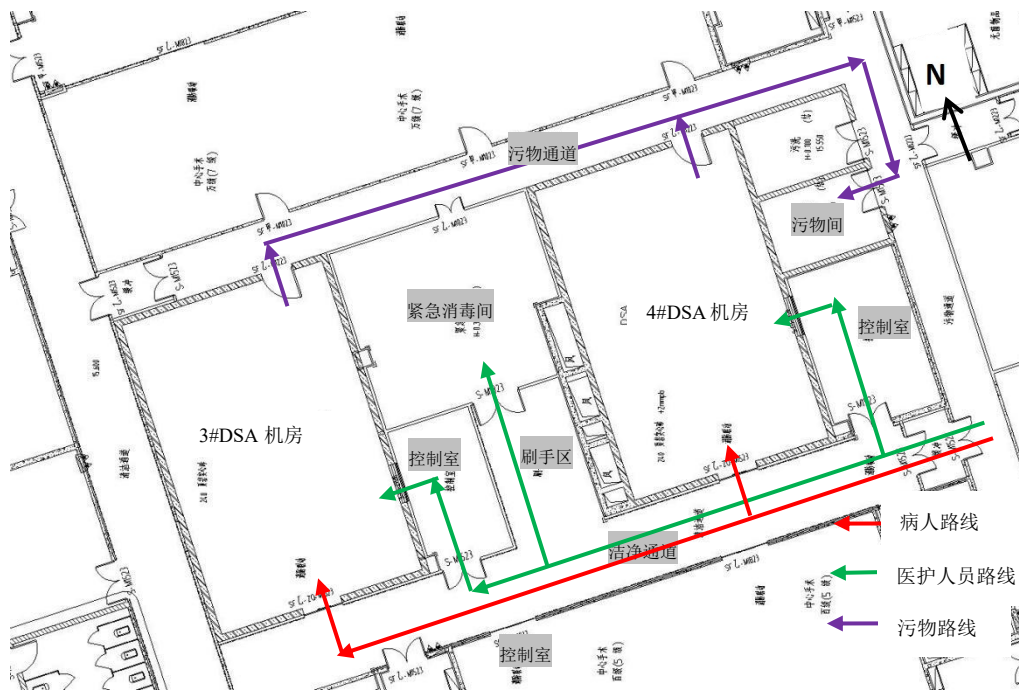


图9-9 3#DSA机房和4#DSA机房人流物流路径规划示意图

(1) 病人路线

1#DSA机房和2#DSA机房：病人从入口进入患者通道，走到准备/恢复间，然后通过病患等候通道的患者防护门进入机房内部；

3#DSA机房和4#DSA机房：病人从入口进入洁净通道，走到候诊区域，通过DSA机房南侧的患者防护门进入机房内部。

## (2) 医护路径

1#DSA机房和2#DSA机房：医护人员经患者通道、缓冲间进入控制室，通过DSA机房的工作人员防护门进入机房操作设备。

3#DSA机房和4#DSA机房：医护人员洁净通道进入控制室、刷手区和紧急消毒间，在控制室内通过DSA机房的工作人员防护门进入机房操作设备。

## (3) 污物路径

手术产生的药棉、纱布和手套等医疗废物收集后通过污物通道运至各DSA机房配套的污物间暂存，再经专人收集转运至医院医疗废物暂存间，定期委托有资质单位处置。

## 9.3 污染源项描述

### 9.3.1 施工期及设备调试安装

#### (1) 辐射污染源项

本项目设备在安装和调试时候会产生X射线等，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、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）。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。

### 9.3.2 运行期

#### (一) 放射性源项

##### 1、医用直线加速器

#### (1) X射线、电子线

医用直线加速器电子枪产生的电子经过加速后，受到金属靶的阻止而产生韧致辐射X射线，其辐射可分为瞬发辐射和感生辐射两类。瞬时辐射包括初级辐射（被加速的电子）及其与靶材料或加速器的结构材料相互作用产生的次级辐射X射线等。瞬发辐射在加速器运行时产生，关机后即消失。剩余是指加速器的初级电子束和次级辐射在加速器结构材料及环境介质（包括空气、屏蔽物等）中诱发生成的感生放射性。剩余辐射在加速器关机后仍存在。而且随加速器的运行时间的增加而积累，随加速器关机时间的增加而减弱。但只有当粒子的能量大于核反应的阈能时，才会产生感生放射性。

本项目医用直线加速器的X射线最大能量为15MV，距靶1m处的最大主束辐射剂量率为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy/h}$ ，电子线最高能量为22MeV，电子与靶物质作用产生韧致辐射X射线。由于X射线的贯穿能力极强，对周围环境可能造成辐射污染，但运行时产生的X射线随加速器的开、关而产生和消失。加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于X射线，在X射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。在加速器开机的时间内，产生的X射线为主要辐射环境污染因素。

医用直线加速器在运行时，电子枪产生大量的电子，电子被加速后聚焦为一股束流，电子束虽然占据的体积小，但能量非常集中，电子束的贯穿能力比X射线弱，加速器四周的混凝土屏蔽墙和防护门均能将其完全屏蔽。

直线加速器停止运行后，无X射线污染产生。

## (2) 中子

在加速器工作时，高能电子束与靶物质相互作用而产生的韧致辐射，与加速器部件以及空气等物质作用形成放射性核，而会发生光核反应，放出中子。根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中“7.1 对于高于 10MV X 射线治疗束和质子重离子治疗束的放射治疗，除考虑中子放射防护外，在日常操作中还应考虑感生放射线的放射防护。”，本项目拟建的医用直线加速器能量为 15MV，需考虑中子辐射和感生放射性。

由治疗机头中产生的中子分为 2 部分：一部分是混在 X 射线野内的原射快中子和经治疗机头衰减漏射出来的漏射中子组成的直射中子，另一部分是由治疗室墙壁、天花板、地板多次散射后的散射中子，散射中子其能量较低。上述中子是放射治疗工作中不需要的，所以又统称为污染中子。

中子的辐射生物效应远高于 X、 $\gamma$ 射线，按中子能量高低其辐射权重因子(WR)为 5~20，因此在高能医用电子加速器的防护设计中需要考虑中子的防护。一般情况下，治疗室墙体、天花板的屏蔽厚度满足了对 X 射线的防护要求时也能够满足了对污染中子的防护要求，但要特别注意散射中子的防护，散射中子的影响主要考虑防护门的影响。

## (3) 感生放射性

本项目加速器电子最大能量为 22MeV，当治疗过程中电子能量超过相关核素 ( $\gamma, n$ ) 反应的阈能量时，中子活化作用使治疗室空气中产生  $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  等放射性气体。其衰变过程中产生正电子，即 $\beta^+$ 射线， $\beta^+$ 射线在空气中的射程只有几米。放射性气体产额很低，半衰期较短，通过合理的通风系统可使其浓度降低。



加速器设备中使用的内循环冷却水可能产生感生放射性。在加速器运行时，循环水系统的某一部分可能使附近的操作人员受到照射。因此，循环水系统尽量避开可能使工作人员受到照射的地方。冷却水中被活化形成的放射性核素<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O，它们的半衰期分别为2.1min和7.3s，半衰期很短，且产生量很少，只需放置一定的时间其活度就可以衰减到较低的水平。冷却水半年更换一次，更换的冷却水在专用的容器里放置一定时间，经监测达到解控水平可作为普通医疗废水处置。

### (3) 放射性固废

加速器靶物质经长期照射后，可积累一定数量的感生放射性核素，因此，退役的废靶为放射性固体废物应委托有资质单位收贮。

## 2、DSA

本项目DSA为II类X射线装置，其额定电压均不大于150kV、额定电流均不大于1250mA，X射线装置在开机状态下主要辐射为X射线，关机状态不产生X射线。

### (二) 非放射性源项

#### 1、废气

加速器在运行过程中产生的X射线与空气作用可产生少量臭氧和氮氧化物，它们是具有刺激性作用的非放射性有害气体。通过机房内通风换气，通风换气次数应满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中规定的不小于每小时4次的要求，如此，则产生的非放射性废气对周围大气环境的影响是可以接受的。

本项目DSA在曝光过程中，由于X射线与空气电离作用，会有少量臭氧和氮氧化物产生。DSA 机房拟安装通排风系统，应保持机房内良好通风。

#### 2、废水

项目运行后，废水主要为辐射工作人员的生活污水和医疗废水。工作人员生活用水按每人每天100L计，医疗废水按100L/台手术，排污系数取0.9，本项目辐射工作人员共计40人，年手术台数1200台，则生活污水产生量为3.6m<sup>3</sup>/d，900m<sup>3</sup>/a；医疗废水产生量约0.432m<sup>3</sup>/d，108m<sup>3</sup>/a。则本项目废水总产生量约4.032m<sup>3</sup>/d，1008m<sup>3</sup>/a。

本项目医疗废水、生活污水排入医院污水处理站处理，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。

#### 3、固废

本项目DSA运行过程中会产生医疗废物，医疗废物采用专用容器分类收集后，转移至医



院医疗废物库暂存，按医疗废物执行转移联单制度，委托当地有资质单位处置。

本项目一台介入手术约产生医疗废物药棉0.1kg，纱布0.1kg，手套0.2kg，一年最多1200台手术，则本项目一年约产生医疗废物药棉120kg，纱布120kg，手套240kg，总共每年约产生医疗废物480kg。

工作人员会产生生活垃圾和办公垃圾，产生量约0.1kg/人，本项目辐射工作人员共40人，则生活垃圾及办公垃圾产生量为4kg/d，1.0t/a。生活垃圾和办公垃圾由医院进行统一集中收集，并交由当地环卫部门清运。

另外本项目每年会产生一定量废造影剂和废造影剂瓶。本项目DSA注入的造影剂不含放射性，同时射线装置均采用先进的数字显影技术，不会产生废显影液、废定影液和废胶片。

#### 4、噪声

本项目噪声源主要为空调噪声，噪声源强一般小于60dB(A)所有设备选用低噪声设备，均处于室内或屋顶，通过建筑墙体隔声及距离衰减后，运行期间场界噪声可达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)2类要求。

### 9.3.3 非正常工况污染源项描述

#### 1、医用直线加速器非正常工况污染源项描述：

- ①门机联锁装置发生故障，人员误入正在运行的加速器机房导致误照射；
- ②其他医护人员还未全部撤离机房，即进行出束治疗，致使人员受到不必要的照射；
- ③门机联锁装置发生故障，在防护门未关闭的情况下即开始出束治疗，给工作人员和周围公众造成不必要的照射；
- ④维修人员在维修期间加速器误出束致使维修人员误照射；加速器事故状态下污染源项主要为X射线。

#### 2、DSA

- ①装置在运行时，由于门灯联锁系统失效，非介入手术工作人员误入或滞留在机房内而造成误照射；
  - ②工作人员或病人家属还未全部撤离治疗机房，操作间人员启动设备，造成滞留人员的误照射；
  - ③射线装置在检修、维护等过程中，检修、维护人员误操作，造成有关人员误照射；
  - ④X射线装置工作状态下，没有关闭防护门对人员造成的误照射。
- 异常运行或事故状态下主要辐射源同正常运行状态。

## 表 10 辐射安全与防护

### 10.1 项目安全设施

#### 10.1.1 辐射工作场所布局

本项目辐射工作场所选址于眉山天府新区第一人民医院门急诊医技综合楼(-1F~4F)内。医用直线加速器机房位于门急诊医技综合楼地下一层放疗中心，DSA 机房位于门急诊医技综合楼一层放射科和四层手术中心。

##### (1) 医用直线加速器

本项目放疗中心医用直线加速器机房东侧依次为缓冲间、控制室、水冷机房、配电间；南侧为地下车库；西侧为通风机房和送风机房；北侧为气瓶间、污水提升间、卫生间和候诊区；顶棚为室外绿化带，无地下层。加速器机房东侧设置有放疗医生诊室、模具室和计划室等功能用房。

本项目加速器机房（治疗室）与控制室分开，机房东侧设有“L”型迷道入口，由迷道内墙和迷道外墙组成，迷道口设有防护门（拟采用电动平开门），加速器主射线方向不朝向迷路和控制室照射，有用线束避开了居留因子较大的用室，布局合理可行。加速器工作场所选址和布局符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）相关要求。

本项目医用直线加速器工作场所平面布局图见附图 5-1。

##### (2) DSA

本项目放射科 1#DSA 手术室东侧依次为缓冲间和控制室、南侧为污物通道、西侧为洁净通道、北侧为设备间和病人等候区，正上方为检验科，正下方为电子病案库；2#DSA 手术室东侧为过道、南侧为污物通道、西侧依次为准备/恢复室和控制室、北侧为病人等候区和设备间，正上方为检验科，正下方为电子病案库；手术中心 3#DSA 手术室东侧依次为紧急消毒间和控制室，南侧和西侧为洁净走廊，北侧为污物通道，正上方为屋顶平台（无人平台），正下方为妇科诊区；4#DSA 手术室东侧依次为污洗间、污物暂存间和控制室，南侧为洁净走廊，西侧为刷手区和紧急消毒间，北侧为污物通道，正上方为屋顶平台（无人平台），正下方为妇科诊区。

本项目 DSA 工作场所平面布局图见附图 6-1 和附图 6-4。

由图可知，本项目 DSA 工作场所功能齐全，人流、物流分开，充分考虑了相邻工作场所人员的防护和安全；DSA 有用线束不照射门、窗、管线口与工作人员操作位；DSA 经过

机房实体屏蔽体屏蔽后，屏蔽体外剂量率符合标准要求，对周围辐射环境及人员影响是可以接受的，因此 DSA 机房平面布局合理可行。

### 10.1.2 分区管理

#### (1) 分区依据和原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。

**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，要求或可能要求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（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区，放射性操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记；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。

电离辐射标志和电离辐射警告标志如图 10-1 所示：

#### (2) 项目区域划分

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，结合辐射防护和环境情况特点，本项目射线装置机房的控制区和监督区划分如下。

表10-1 本项目控制区和监督区划分情况

场所名称	控制区	监督区
加速器	加速器机房（含迷道）	机房控制室、水冷机房、缓冲间、候诊室
放射科 DSA	1#DSA机房、2#DSA机房	洁净通道、污物通道、控制室、准备/恢复室、病人等候区、设备间、缓冲间、过道
手术中心 DSA	3#DSA机房、4#DSA机房	洁净通道、污物通道、控制室、刷手区、紧急消毒间、污物暂存间和污洗间

各辐射工作场所分区管理示意图见附图5-1、附图6-1和附图6-4。

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，项目建设单位应做到：

#### ①控制区防护手段与安全措施

a、控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志；

b、制定职业防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

c、运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；

d、在更衣室备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；

e、定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界；

②监督区防护手段与安全措施：

a、以黄线警示监督区的边界；

b、在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

c、定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

### 10.1.3 辐射工作场所屏蔽设计

#### (1) 直线加速器

本项目直线加速器有用束照射方向为南、北方向、顶棚和地面，机房治疗室净面积约60m<sup>2</sup>，治疗室内部净高为4.3m，设计采用密度不低于2.35t/m<sup>3</sup>的混凝土浇筑。加速器机房屏蔽防护措施详见表10-2。

表10-2 本项目医用直线加速器机房屏蔽防护措施一览表

防护措施		防护参数	标准要求	符合性	
屏蔽材料及厚度	北墙	主屏蔽区	3100 mm 混凝土（5200mm 宽）	有用线束直接照射的防护墙（包括顶棚）按初级辐射屏蔽要求设计，其余墙体按次级辐射屏蔽要求设计，辐射屏蔽设计应符合 GB18871 的要求	符合
		次屏蔽区	2000mm 混凝土		
	南墙	主屏蔽区	3100 mm 混凝土（5200mm 宽）		
		次屏蔽区	2000 mm 混凝土		
	西墙（侧墙）		1800 mm 混凝土		
	东墙	迷道内墙	1650mm~1950 mm 混凝土		
		迷道外墙	1419 mm~1650mm 混凝土		
	迷道宽度		2500mm		
	顶棚	主屏蔽区	3100 mm 混凝土（5200mm 宽）		
		次屏蔽区	1850 mm 混凝土		
迷道外防护门		20mm 铅板+20cm 5%含硼聚乙烯材料			
警示	联锁装置		拟设置	治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备；防	符合
	电离辐射警告标志		拟设置		

标志	控制室设置照射监控系统	拟设置	护门应与加速器联锁;相关位置应安装醒目的放射指示灯及辐射标志	
通风	新风口	3个	治疗室通风换气数不低于4次/h	符合
	排风口	2个		
	风量换气次数	风量为3700m <sup>3</sup> /h,换气次数约8次/h		
备注:铅密度≥11.35g/cm <sup>3</sup> ,混凝土密度≥2.35g/cm <sup>3</sup> 。				

通风系统:本项目放疗中心东侧设有1间新风机房,内有1台吊装新风机,用于加速器机房的新风输送。放疗中心东北侧设有一个排风机房,用于加速器机房的排风。加速器机房内设有三个送风口和两个排风口,送风口位于天花板上(治疗室南侧),排风口距地板高度为300mm,位于机房的西北角和东北角。进出风管道和排风管道采用“Z”型预埋管道从迷道防护门上方经迷道至机房内(穿墙处内部拟用铅皮+5%含硼聚乙烯材料进行遮盖),新风机设计值为3000m<sup>3</sup>/h,排风量设计值为3700m<sup>3</sup>/h,本项目加速器机房内总容积约为450m<sup>3</sup>,根据经验公式“通风次数=通风量/总容积”并考虑管道的阻尼效应,通风次数预计约8次/h,通风示意图附图8。通风管穿墙示意图详见附图9。

本项目加速器机房与控制室操作台之间的各种电缆管线均应以地沟形式在地坪以下部位布设,并以“U”字形从地坪下方穿越墙体;其它所有电、水、风管布设,走向必须符合辐射屏蔽防护要求,并在非主束投照部位采用迷道形式穿越墙体或顶盖,如在防护墙体部位设置开关箱等嵌入式电气设备,需进行屏蔽补偿。另有加速器测试用管线穿墙孔拟采用45°斜插穿过控制室与机房之间的防护墙体。

## (2) DSA

表 10-3 DSA 机房屏蔽设计情况

机房名称	机房位置	分类	机房有效使用面积 (m <sup>2</sup> )	最小单边长度 (m)	辐射屏蔽材料及厚度						符合性
					四侧墙体	顶棚	地坪	工作人员防护门	受检者防护门	观察窗	
1#DSA 机房	门急诊医技综合楼一层放射科	设计值	57.6	7.2	240mm 页岩实心砖+40mm 硫酸钡涂料	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料	4mm 铅板	4mm 铅板	20mm 铅玻璃	符合
		折算值	—	—	4.0mmPb	3.0mmPb	3.5mmPb	4.0mmPb	4.0mmPb	4.0mmPb	
		标准	30	4.5	2mmPb	3mmPb	2mmPb	2mmPb	2mmPb	2mmPb	
2#DSA 机房	门急诊医技综合楼一层放射科	设计值	57.6	7.2	240mm 页岩实心砖+40mm 硫酸钡涂料	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料	4mm 铅板	4mm 铅板	20mm 铅玻璃	符合
		折算值	—	—	4.0mmPb	4.0mmPb	3.5mmPb	4.0mmPb	4.0mmPb	4.0mmPb	
		标准	30	4.5	2mmPb	3mmPb	2mmPb	2mmPb	2mmPb	2mmPb	
3#DSA 机房	门急诊医技综合楼四层手术中心	设计值	76.8	6.8	240mm 页岩实心砖+40mm 硫酸钡涂料	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料	4mm 铅板	4mm 铅板	20mm 铅玻璃	符合
		折算值	—	—	4.0mmPb	4.0mmPb	3.5mmPb	4.0mmPb	4.0mmPb	4.0mmPb	
		标准	30	4.5	2mmPb	3mmPb	2mmPb	2mmPb	2mmPb	2mmPb	
4#DSA 机房	门急诊医技综合楼四层手术中心	设计值	76.8	6.8	240mm 页岩实心砖+40mm 硫酸钡涂料	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料	4mm 铅板	4mm 铅板	20mm 铅玻璃	符合
		折算值	—	—	4.0mmPb	3.0mmPb	3.5mmPb	4.0mmPb	4.0mmPb	4.0mmPb	
		标准	30	4.5	2mmPb	3mmPb	2mmPb	2mmPb	2mmPb	2mmPb	

注：\*本项目 DSA 有用线束朝上，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020），150kV（有用线束方向，200mm 混凝土保守折算为 2mmPb；非有用线束方向 200mm 混凝土折算为 2.5mmPb。根据《放射防护实用手册》，240mm 实心砖折算为 2mmPB，20mm 硫酸钡涂料保守折算为 1mmPb。铅密度为 11.34g/cm<sup>3</sup>，实心砖密度为 1.65g/cm<sup>3</sup>，混凝土密度为 2.35g/cm<sup>3</sup>，铅玻璃密度为 4.2g/cm<sup>3</sup>，硫酸钡涂料密度为 3.8 g/cm<sup>3</sup>。

通过表 10-3 可知，本项目 DSA 机房屏蔽防护、面积、最小单边长度均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关要求。

通风系统：本项目DSA各机房拟按照层流手术室的要求进行送风和排风，送风在手术室天花板顶部，两侧墙下回风，即上送下回的气流组织形式，对室内空气进行更新。每间DSA手术室天花板的顶部均设置一个160×160mm的排气扇，产生的臭氧通过机械排风系统经过排风井至楼顶排放，风管管道在机房的吊顶上穿出机房，并用3mm铅皮包裹进行辐射屏蔽补偿。本项目产生的臭氧和氮氧化物产生量很小，经风机由楼顶排放后，浓度远低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）的二级标准（0.2mg/m<sup>3</sup>）的要求。

DSA设备电缆以地沟形式穿越墙体，洞口处用3mm铅皮包裹进行辐射屏蔽补偿，地沟盖3mm不锈钢板，示意图详见附图10。

#### 10.1.4 加速器辐射安全防护措施

##### （1）设备固有措施

在加速器运营中，为防止出现超剂量照射事故，设备自身采取了多种安全防护措施：

①控制台上显示有辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数的显示装置，操作人员可随时了解设备运行情况；

②条件显示联锁：加速器具有联锁装置，只有当射线能量、吸收剂选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当治疗室与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行；

③钥匙控制：决定加速器产生辐射的主要控制系统用开关钥匙进行控制，钥匙由专人保管。

④剂量控制联锁：为剂量分布监测装置与照射终止系统联锁，当剂量分布偏差超过预选值时，以及当剂量超过预选值时，可自动终止照射；

⑤控制台上配置有独立于其它任何控制辐照终止系统的辐照控制计时器，当辐照终止后能保留计时器读数，计时器复零，才能启动下次辐照；

⑥有全部安全联锁设施的检查装置，能保证所有安全联锁系统保持良好的运行状态；

⑦有时间控制联锁，当预选照射时间已定时，定时器能独立地使照射停止；

⑧设备机身标有明显的电离辐射标志。

##### （2）场所辐射安全措施设计

①标志：医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：

a) 放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；

b) 放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。

## ②联锁装置

放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。防护门未完全关闭时加速器不能出束，加速器出束状态下防护门打开停止出束。

③急停开关：治疗床、治疗室的每面墙上非主束位置以及控制室的操作台上均拟设置急停开关，并明确标识和使用方法，便于操作人员及误入人员在发生紧急情况时能及时切断系统电源。急停开关一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动。

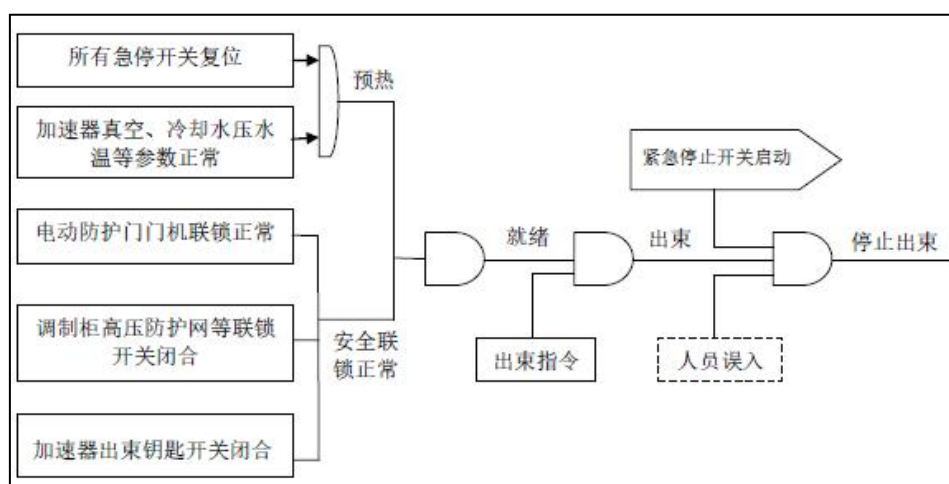
④电视监控及双向对讲系统：治疗室迷道入口、迷道内及治疗室内配备电视监控及对讲系统，在治疗过程中医务人员可以及时观察病人情况，与病人交流，防止意外情况的发生。

⑤开门按钮：治疗室迷道处人员易接触的位置装有紧急开门按钮，在事故状态下人员逃逸至迷道内可通过该按钮开启防护门，实现紧急逃逸。

⑥工作状态指示灯：机房防护门口醒目处均安装工作状态指示灯，并与设备工作状态联锁，工作状态指示灯能显示加速器工作状态。

⑦搭接：为减少接缝处射线的泄漏，要求防护门两侧铅板搭接及防护门与墙缝隙搭接宽度大于门缝宽度10倍以上。

医用直线加速器的安全联锁逻辑图如图10-1，机房安全措施设置示意图见附图9。



### (3) 操作过程中的辐射安全与防护措施

①医院拟对辐射工作场所的安全联锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全联锁的正常有效运行。

②治疗期间，医院拟设两名或以上人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，控制室有工作人员值守。



③任何人员未经授权或允许不得进入控制区；工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室。

#### (4) 其他防护措施

①为每名辐射工作人员配备1支个人剂量计，配2台个人剂量报警仪，工作人员在工作期间应正确佩戴个人剂量计，在进入机房时应持个人剂量报警仪。

②建设单位在加速器工作场所配备1套固定式剂量监测系统，在迷道内口转角处设置固定式辐射剂量监测仪探头，该监测系统能够显示机房内实时剂量及累积剂量，并有报警功能，其显示单元设置在控制室内；

③放疗中心配备1台便携式X- $\gamma$ 射线巡测仪和1台中子剂量率仪；

④每间控制室上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等；

⑤建议本项目放疗中心配备成人、儿童铅衣、铅帽、围脖、三角巾等个人防护用品与辅助防护设施各1套，以降低患者非受照部位的照射剂量；

⑥在加速器顶棚地面绿化带设置警示牌，告诫行人勿长时间停留；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。

⑦在加速器机房防护门上张贴电离辐射警示标识。

⑧建设单位拟在放射治疗机房设置防火报警装置，并设置机械通风装置，采用“上送、下排”的通风方式（风管穿墙方式及屏蔽补偿方式，排放口位置与高度等详见10.3.1小节），其排风量为3700m<sup>3</sup>/h，通风换气能力大于8次/h（治疗室总容积为450m<sup>3</sup>），满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中“通风换气次数不小于4次/h”的要求。

#### (5) 辐射安全防护措施的符合性

为防止发生辐射事故，根据《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》和《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环办发[2016]1400号）中对医用直线加速器辐射防护安全装置的要求，本次评价根据建设单位采取的辐射安全装置及安全措施进行了对照分析，具体情况见表10-4。

表 10-4 本项目医用直线加速器机房辐射安全防护设施汇总对照分析表

项目	规定的措施	落实情况	备注	符合情况
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	/	符合
	控制台有紧急停机按钮	设备自带	/	符合
	电视监控与双向交流对讲系统	/	拟配置	符合
	治疗室与束流联锁（门-机联锁）	/	拟配置	符合
	治疗室内准备出束音响提示	/	拟配置	符合

警示装置	入口电离辐射警示标志	/	拟配置	符合
	入口有加速器工作状态显示（门-灯连锁）	/	拟配置	符合
照射室紧急设备	紧急开门连锁	/	拟配置	符合
	治疗室及迷道内有紧急停机按钮	/	拟配置	符合
	治疗床有紧急停机按钮	设备自带	/	符合
监测设备	固定式剂量率仪	/	拟配置	符合
	个人剂量报警仪	/	拟配置	符合
	个人剂量计	/	拟配置	符合
	环境辐射巡测仪、中子仪	/	拟配置	符合

### 10.1.5 DSA辐射安全防护措施

(1) DSA设备固有防护性能

①设备出线口上应安装限束系统（如限束器、光阑等）。

②X射线管组件上应有清晰的焦点位置标示。

③X射线管组件上应标明固有滤过，所有附加滤过片均应标明其材料和厚度。

④随机文件应说明下列与防护有关的性能：

a) X射线管组件的固有滤过；

b) X射线源组件的滤过；

c) 滤过片的特性；

d) 距焦点100 cm远处球面上泄漏辐射的空气比释动能率；

e) 限制有用线束的方法；

f) 在焦点到影像接收器的各种距离下有用线束照射野尺寸；

g) 焦点到影像接收面的最大和最小距离；

h) 管电压和管电流加载条件；

i) 各种使用条件下焦皮距的说明；

j) 位于有用线束中床板和滤线栅对X射线束的衰减当量；

k) X射线设备随机文件中应提供等剂量图，描述设备周围的杂散辐射的分布以及工作人员典型位置的杂散辐射值，便于工作人员选择防护方案；

⑤在随机文件中关于滤过的内容，应符合：

a) 在正常使用中不可拆卸的滤过部件，应不小于0.5mmAl；

b) 应用工具才能拆卸的滤片和固有滤过（不可拆卸的）的总滤过，应不小于1.5mmAl；

c) X射线有用线束中的所有物质形成的等效总滤过，应不小于2.5mmAl。

⑥设备应满足其相应设备类型的防护性能专用要求。

⑦设备在机房内应具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键。

⑧设备应配备能阻止使用焦皮距小于20cm的装置。

⑨介入操作中，设备控制台和机房内显示器上应能显示当前受检者的辐射剂量测定指示和多次曝光剂量记录。

本项目DSA设备拟购买于正规厂家，设备各项安全措施齐备，均能满足以上要求。

## (2) DSA机房防护措施

①本项目拟合理设置DSA、机房的门、窗和管线口位置，避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

②机房拟设置动力通风装置，并保持良好的通风。

③机房门外拟设电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区拟设置放射防护注意事项告知栏，警告无关人员请勿靠近。手术期间，陪护人员禁止进入监督区域和控制区域。

④本项目DSA机房工作人员防护门和污物门拟设平开机房门，设置有自动闭门装置；患者防护门拟设电动推拉式机房门，并设置防夹装置；推拉式机房门拟设曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯（术中灯和射线装置工作指示灯）能与机房门联锁。

本项目每台DSA均设有单独的机房，DSA机房内布局合理，避免了有用线束直接照射门、窗、管线口位置和工作人员操作位，充分考虑了邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全，机房设计均能满足以上要求。

## (3) DSA机房屏蔽

①根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求：标称125 kV以上的摄影机房有用线束方向机房的屏蔽防护铅当量不低于3mmPb，非有用线束方向机房的屏蔽防护铅当量不低于2mmPb；

②机房的门和窗关闭时应满足以上要求。

本项目所设计各DSA机房墙体、门和窗（关闭时）辐射防护屏蔽能力均能满足辐射环境保护要求（详见表10-3）。

## (4) DSA工作场所防护用品及防护设施配置

①按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），本项目单台DSA机房内应配置

四套辐射工作人员防护用品，包括防护当量为 0.5mmPb 的铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜及不低于 0.025mm 厚的铅当量的介入防护手套，介入手术工作人员应穿戴防护用品，采用铅帘进行必要的遮挡。同时 DSA 配备床侧铅帘（0.5mmPb）、悬吊铅帘（0.5mmPb）和铅屏风（0.5mmPb）等辅助防护用品与设施，在设备运行中可用于加强对有关人员采取放射防护与安全措施。

为受检者或患者配有铅橡胶颈套、铅橡胶帽子（防护铅当量 0.5mm，儿童、成人尺寸各 1 套）以及铅防护方巾 2 套（防护铅当量 0.5mm），用于患者非照射部位进行防护，以避免病人受到不必要的照射。

个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

#### （5）设备操作的防护安全

①放射工作人员应熟练掌握业务技术，接受放射防护和有关法律知识培训，满足放射工作人员岗位要求。

②根据不同检查类型和需要，选择使用合适的设备、照射条件、照射野以及相应的防护用品。

③合理选择各种操作参数，在确保达到预期诊断目标条件下，使受检者所受到的照射剂量最低。

④如设备具有儿童检查模式可选项时，对儿童实施检查时应使用该模式；如无儿童检查模式，应适当调整照射参数（如管电压、管电流、照射时间等），并严格限制照射野。

⑤X射线设备曝光时，应关闭与机房相通的门、窗。

⑥放射工作人员应按《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求接受个人剂量监测。

⑦在进行病例示教时，不应随意增加曝光时间和曝光次数。

⑧不应使用加大摄影曝光条件的方法，提高过期胶片的显影效果。

⑨工作人员应在有屏蔽的防护设施内进行曝光操作，并应通过观察窗等密切观察受检者状态。除存在临床不可接受的情况外，图像采集时工作人员应尽量不在机房内停留；对受检者实施照射时，禁止与诊疗无关的其他人员在机房内停留。

⑩DSA应具有记录受检者剂量的装置，并尽可能将每次诊疗后受检者受照剂量记录在病历中，需要时，应能追溯到受检者的受照剂量。

#### （6）其他安全措施

①视频监控系统、双向交流对讲系统。机房和控制室之间安装有监视、双向交流对讲系统，控制室内能通过监控显示系统可观察机房内的情况，并通过对讲系统与室内人员联系，以便于医生在操作室观察患者在机房内的状况、及时处理意外情况。

②本项目所有辐射工作人员拟配备个人剂量计：建议用双剂量计检测方法（分别佩戴于铅围裙外锁骨对应的领口位置、铅围裙内躯干上），另外DSA手术医生还将在腕部佩戴个人剂量计，以显示手部皮肤所受剂量。

③DSA机房内设良好通风系统。

④控制室上张贴相应的岗位规章制度、操作规程。上墙制度包括《放射安全防护管理制度》、《放射科工作制度》、《设备操作规程》、《放射事故应急预案》，制度字体醒目，尺寸大小应不小于400mm×600mm。

(7) 辐射安全防护措施的符合性

为防止发生辐射事故，根据《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》和《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环办发[2016]1400号）中对DSA辐射防护安全装置的要求，本次评价根据建设单位采取的辐射安全装置及安全措施进行了对照分析，具体情况见表10-5。

表10-5 DSA机房辐射安全防护设施汇总对照分析表

项目	规定的措施	落实情况	备注	符合情况
场所设施	隔室操作	已设计	/	符合
	观察窗防护	已设计	/	符合
	门防护	已设计	/	符合
	候诊位设置	已设置	/	符合
	辅助防护用品	/	拟配置	符合
	紧急制动	/	拟配置	符合
	通风设施	/	拟配置	符合
	入口处电离辐射警告标志	/	拟设置	符合
	入口处工作状态显示及门灯联锁	/	拟设置	符合
监测设备	便携式辐射剂量仪	/	拟配置	符合
	个人剂量计	/	拟配置	符合
防护器材	个人防护用品	/	拟配置	符合

10.1.5 放射防护要求符合性分析

(1) 放疗中心加速器机房放射防护要求分析见下表：

表 10-6 放疗中心加速器机房放射防护要求符合性分析表

《放射治疗辐射安全与防护要求》 (HJ1198-2021) 的相关要求	《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020) 的相关要求	放疗中心加速器机房防护设计
放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域	放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置	本项目加速器机房位于拟建门诊急诊医技综合楼地下 1 层放疗中心，已避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，机房及其辅助设施同时设计和建造，布局合理，选址符合相关的要求
放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等；与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）	放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区	直线加速器机房内部（包含迷路）为控制区，机房相关控制室、机房周边的水冷机房、缓冲间划定为监督区
放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射	治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求	本项目已经按额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，经预测，加速器机房有用线束照射方向及其他方向的防护屏蔽均满足相应屏蔽要求
术中放射治疗手术室应采取适当的辐射防护措施，并尽量设在医院手术区的最内侧，与相关工作用房（如控制室或专用于术中放射治疗设备调试、维修的房间）形成一个相对独立区域；术中控制台应与治疗设备分离，实行隔室操作，控制台可设在控制室或走廊内	治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射	本项目加速器治疗机房设在放疗中心西侧相对独立区域，与控制室、水冷机房及其他功能用房分开设计 本项目加速器机房控制室位于治疗机房的东侧，已避开有用线束的照射方向
放射治疗机房应设置强制排风系	放射治疗机房应有足够的有效使	本项目加速器机房治疗室有

<p>统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于4次/h</p>	<p>用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要</p> <p>放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于4次/h</p>	<p>效使用面积约60m<sup>2</sup>，有足够的有效使用空间</p> <p>本项目加速器机房采用机械通风，进排风口呈“上进下出，对角设置”，机房设计排风量为3700m<sup>3</sup>/h，通风换气次数大于8次/h</p>
<p>治疗室墙和入口门外表面30cm处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面30cm处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足所确定的剂量率参考控制水平</p>	<p>治疗机房（不包括移动式电子加速器治疗机房）墙和入口门外30cm处（关注点）的周围剂量当量率不大于其所确定的周围剂量当量率参考控制水平</p>	<p>经预测，加速器机房四周屏蔽墙、顶棚和入口防护门外30cm处的周围剂量当量率均不大于其所确定的周围剂量当量率参考控制水平</p>
<p>放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于10MV的X射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽</p>	<p>屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能和经济因素，符合最优化要求，新建机房一般选用普通混凝土</p>	<p>本项目加速器机房为混凝土材料浇筑，机房防护门已设计中子屏蔽设施</p>
<p>质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近</p>	<p>含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置，应确保其报警功能正常</p>	<p>加速器机房迷路外墙（迷道的内入口处）拟安装固定式剂量报警仪装置，并在控制室内设置显示单元</p>
<p>放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门-机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应</p>	<p>放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能</p>	<p>拟按要求设置</p>

设有断电自动回源措施		
放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等	放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯	拟按要求设置
应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发	放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置	拟按要求设置
控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统	控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流	拟按要求设置
符合性分析		符合

(2) 放射科和手术中心 DSA 机房放射防护要求分析见下表：

**表 10-7 放射科和手术中心 DSA 机房放射防护要求符合性分析**

场所名称	《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 要求	设计情况	是否满足要求
机房面积	不小于20m <sup>2</sup> ，单边长度不小于3.5m	本项四间DSA机房面积最小为57.6m <sup>2</sup> ，最小单边长度为6.8m	满足
机房位置	X射线设备机房（照射室）应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全	本项目4间DSA机房设计均已考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全	满足
机房布局	要合理，不得堆放与诊断工作无关的杂物；机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到患者和受检者状态	已设计观察窗，设计合理，无杂物	满足
机房通风	机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风	设有机械通风系统，能保持良好的通风	满足
标志、指示灯	机房门外应有电离辐射警告标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句；机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动	拟在门口设电离辐射警告标志，醒目指示灯，放射防护注意事项等，并且机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动	满足



由上表可知，本项目放疗中心加速器机房和放射科和手术中心 DSA 机房的放射防护要求均满足相关标准要求。

### 10.3 环保设施及投资分析

本项目总投资5000万元，其中环保投资110万元，占总投资约2.2%。具体环保设施及投资见下表：

**表10-8 本项目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
医用直线加速器			
实体防护	四周墙体+迷路	1套	计入建设费用
	铅防护门	1扇	计入建设费用
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、时间控制联锁	设备自带	/
	门机联锁	1套	3.0
警示装置	入口电离辐射警示标志	2个	0.5
	入口加速器工作状态显示	2个	1
	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	1.0
	监控、对讲装置	1套	1.0
	有中文标识的紧急开门按钮	1个	1.0
监测设备	机房内固定式剂量报警仪	1个	2.0
	便携式辐射监测仪	1个	2.0
	中子剂量率仪	1个	3.0
	个人剂量报警仪	2个	1.0
	个人剂量计	8枚	0.5
防护器材	通风系统	1套	24.0
	病人未受照部位防护设施、陪护人员防护设施	1套	3.0
DSA			
场所设施	四周墙体	4套	计入建设费用
	四周、屋顶、地面屏蔽	4套	计入建设费用
	机房防护门	12扇	计入建设费用
	操作位局部屏蔽防护设施	4套	8.0
	观察窗屏蔽	4套	4.0

	有中文标识的紧急停机按钮	4 套	设备自带
	门灯联锁	4 套	4.0
	监控、双向交流对讲系统	4 套	4.0
警示设备	入口处电离辐射警告标志	4 套	2.0
	入口处机器工作状态显示	4 套	2.0
	操作警示装置	4 套	1.0
监测设备	便携式辐射监测仪	1 个	2.0
	个人剂量计（介入医护：24 个铅衣内、24 个铅衣外、24 个腕部；技师：8 个铅衣外）	80 枚	5.0
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）（介入手套 0.025Pb，其余均 0.5mmPb））	16 套	12.0
	患者防护：铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子（0.5mmPb）	8 套	5.0
	通风系统	4 套	8.0
其他			
辐射工作人员及应急人员的组织培训			10.0
合计			110.0

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。

## 10.4 三废的治理

### 10.4.1 废气

#### (1) 直线加速器

加速器运行过程中，电离辐射会与空气发生作用，产生少量臭氧和氮氧化物，相比之下臭氧的危害较氮氧化物大，其产额高，毒性大，氮氧化物产额为臭氧的 1/3，因此主要考虑臭氧的影响。为保证本项目机房内空气中臭氧浓度符合国家职业接触限值，本项目拟设置相应的通风设施。根据建设单位提供的设计资料，本项目医用直线加速器工作场所通风方案具体设计为：

放疗中心东侧设有 1 间新风机房，内有 1 台吊装新风机，用于加速器机房的新风输送。放疗中心东北侧设有一个排风机房，用于加速器机房的排风，排放口位于门急诊医技综合楼楼顶。加速器机房内设有三个送风口和两个排风口，送风口位于天花板上（治疗室南侧），排风口位于机房的西北角和东北角，距地板高度为 300mm。进出风管道和排风管道采用“Z”型预埋管道从迷道防护门上方经迷道至机房内（穿墙处内部拟用 3mm 铅皮+5%含硼聚乙烯

材料进行包裹，作为屏蔽补偿，不破坏墙体的屏蔽），新风机设计值为 3000m<sup>3</sup>/h，排风量设计值为 3700m<sup>3</sup>/h，本项目加速器机房内净容积约为 450m<sup>3</sup>，根据经验公式“通风次数=通风量/总容积”并考虑管道的阻尼效应，通风次数预计约 8 次/h。排风管道穿墙位置拟用 3mm 铅皮+5%含硼聚乙烯材料进行遮盖，防止射线外漏。

直线加速器工作场所通风设计平面图见附图 8。

## (2) DSA

本项目 DSA 各机房拟按照层流手术室的要求进行送风和排风，送风在手术室天花板顶部，两侧墙下回风，即上送下回的气流组织形式，对室内空气进行更新。每间 DSA 手术室天花板的顶部均设置一个 160×160mm 的排气扇，产生的臭氧通过机械排风系统经过排风井至楼顶排放。

### 10.4.2 废水

项目废水主要来自于运行期间各工作场所工作人员的生活废水和少量医疗废水，该部分废水经医院污水处理站“预处理+二级生化+次氯酸钠消毒”工艺处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 中预处理标准后，经市政污水管网进入市政污水处理厂处理。本项目废水产生量约为 4.032m<sup>3</sup>/d，医院污水处理站处理能力为 900m<sup>3</sup>/d，污水处理站处理能力已考虑了本部分辐射工作人员生活污水和医疗废水，因此本项目废水依托新建污水处理站处理是从容量及处理工艺等方面均是可行的。

医用直线加速器如需排放循环冷却水，根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），应对循环冷却水进行总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 监测符合要求后排放。

### 10.4.3 固废

本项目运营期产生的医疗废物包括药棉、纱布、手套等医用辅料，采用专门的收集容器集中收集后，转移至医疗废物暂存库，按照普通医疗废物执行转移联单制度，由当地有资质的医疗废物处理机构定期统一处置。

工作人员产生的生活垃圾和办公垃圾不属于医疗废物，医院进行统一集中收集并交由环卫部门统一清运。

医用直线加速器如有废靶产生，废靶件暂存于铅桶内，委托有资质单位收贮。

### 10.4.4 噪声治理措施

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机，各机房所使用的通排风系统均为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值一般低于 60dB(A)，噪声较小，且所有风机均设

置在医院配套用房楼顶或室内，考虑到噪声的远距离衰减作用，无需采用专门的降噪措施，对周围环境影响可以忽略不计。

#### **10.4.5 射线装置报废处理**

根据《四川省辐射污染防治条例》，“射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化”。本项目使用的医用直线加速器、DSA 在进行报废处理时，医院应将射线装置高压射线管进行拆卸并去功能化，同时将射线装置主机的电源线绞断，使射线装置不能正常通电，防止二次通电使用，造成误照射。

## 表 11 环境影响分析

### 11.1 建设阶段对环境的影响

#### 11.1.1 施工期的环境影响分析

医院新址主体工程建设已委托眉山环天管理技术服务有限公司编制了《眉山天府新区第一人民医院项目环境影响报告书》，眉州市生态环境局以眉市环建天（2022）5号进行了批复。报告书中施工期环境影响评价已包含本项目拟建的放疗中心、放射科及手术中心等土建、装修期间的环境影响，因此，本次评价不再赘述本项目建设施工期的影响，有关施工期影响详见医院主体工程报告表。

#### 11.1.2 设备安装调试期间的环境影响分析

本项目设备的安装、调试应请设备厂家专业人员进行，医院方不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在各个机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。由于各设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。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。

### 11.2 运行阶段对环境的影响

#### 11.2.1 直线加速器

##### （1）加速器工作负荷

本项目医用直线加速器 X 射线最高能量为 15MV，电子线能量为 22MeV，X 射线最大剂量率为 24Gy/min，常用剂量率为 6Gy/min；主射束朝南、北、顶棚与地面，属于 II 类射线装置。保守起见，本次以加速器最大剂量率 24Gy/min 核算加速器机房屏蔽厚度，以常用剂量率 6Gy/min 估算加速器工作出束时间。

根据医院提供的资料，本项目加速器治疗工作量不超过 100 人次/天，每周工作 5 天，平均每人每野次治疗剂量 2.0Gy，平均每人治疗照射 3 野次，周工作负荷  $W=100 \times 5 \times 2.0 \times 3=3000\text{Gy/周}$ 。本项目加速器等中心处治疗模体内参考点的常用剂量率（ $D_0$ ）为 6Gy/min，加速器周治疗照射时间为  $t=W/D_0=3000(\text{Gy/周})/6(\text{Gy/min})=500(\text{min/周})=8.33\text{h/周}$ ，则年治疗时间约为 417h。治疗过程中，调强因子一般为 2~4，《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）A.1.2 显示，通常 N=5，因此本评价调强因子 N=5。

(2) 关注点位设置

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）的要求，在本项目直线加速器机房外表面 30cm 处，人员受照的剂量可能最大的位置设定关注点对机房的屏蔽体进行核算，关注点位见图 11-1，图 11-2。本项目的居留因子选取根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）的要求，具体数值见表 11-1。

表 11-1 加速器机房各关注点一览表

序号	关注点	点位描述	居留因子	备注
1	A	南墙主屏蔽区外 30cm 处，地下停车场	1/16	偶然居留
2	B	北墙主屏蔽区外 30cm 处，污水提升间、卫生间	1/16	偶然居留
3	C	南墙次屏蔽区与主屏蔽区连接处外 30cm 处，地下停车场	1/16	偶然居留
4	D	北墙次屏蔽区与主屏蔽区连接处外 30cm 处，卫生间	1/16	偶然居留
5	E	西墙外 30cm 处，通风机房、送风机房	1/16	偶然居留
6	F	东墙外 30cm 处，控制室	1	全居留
7	G	迷道外墙外 30cm 处，水冷机房	1/16	偶然居留
8	H	加速器机房防护门外 30cm 处	1/8	偶然居留
9	J	机房顶部（主屏蔽区）30cm 处，地面室外绿化带	1/16	偶然居留
10	K	机房顶部（次屏蔽区）30cm 处，地面室外绿化带	1/16	偶然居留

表 11-2 不同场所的居留因子

场所	居留因子 (T)		示例
	典型值	范围 <sup>a</sup>	
全居留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、移动式电子加速器的相邻手术室与诊室、咨询台、有人护理的候诊室以及周边建筑中的驻留区
部分居留	1/4	1/2~1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的患者检查室 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然居留	1/16	1/8~1/40	1/8: 各治疗室门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货区域、楼梯、无人看管的电梯

<sup>a</sup> 取值依据参考《Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X-and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities》（NCRP 第 151 号报告）

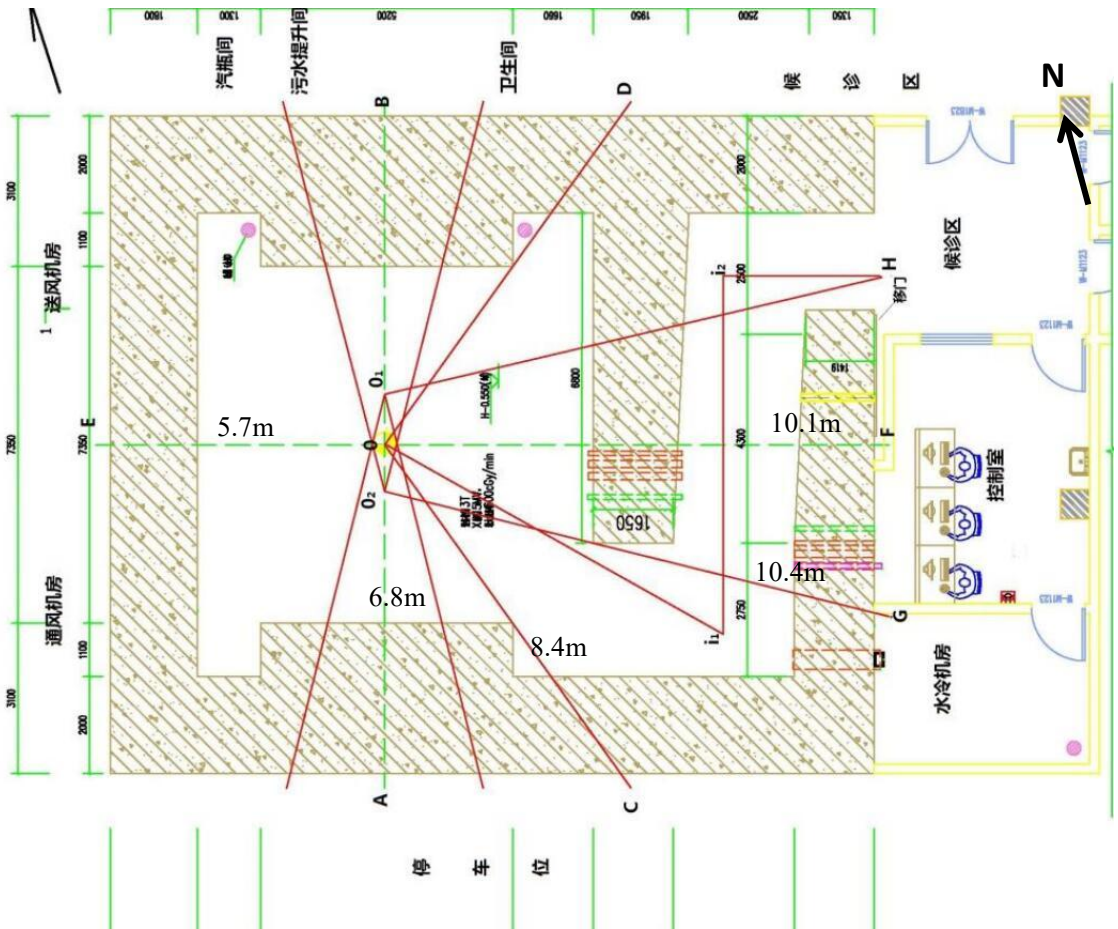


图11-1 加速器机房（平面布局）关注点和主要照射路径

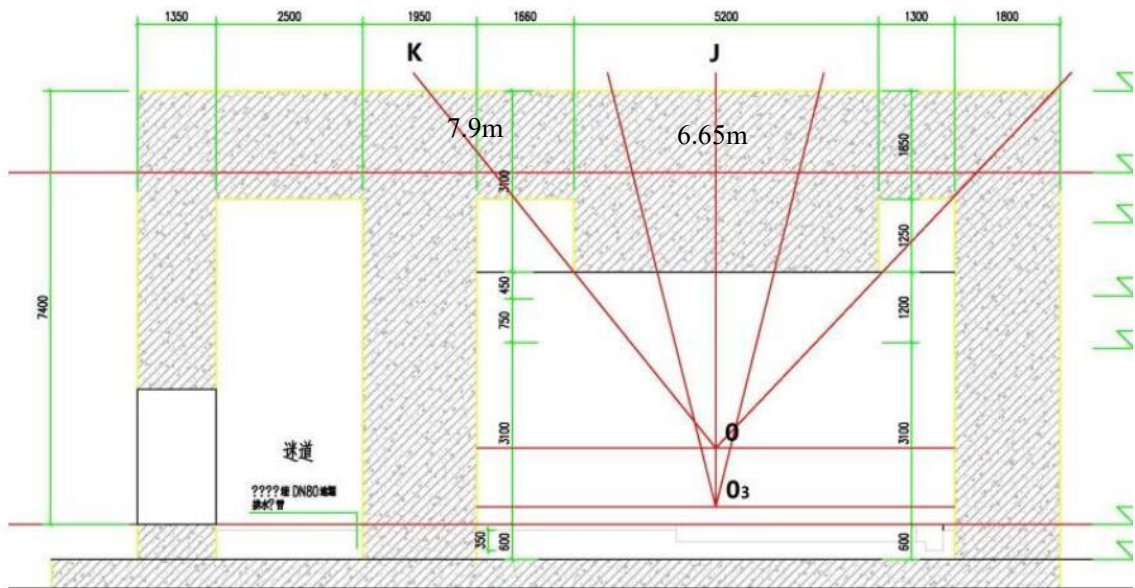


图11-2 加速器机房（东西剖面）关注点和主要照射路径

(3) 导出剂量率参考控制水平确定

由 GBZ/T201.2-2011 附录 A.2, 单一有用线束关注点的导出剂量率控制水平为:

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots \text{(式 11-1)}$$

式中:

$H_c$ : 周参考剂量控制水平 ( $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ),

$t$ : 治疗装置周治疗照射时间, h;

$U$ : 有用线束向关注位置的方向照射的使用因子;

$T$ : 人员在相应关注点驻留的居留因子。

单一泄漏辐射在关注点的导出剂量率控制水平为:

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (N \cdot t \cdot T) \dots\dots \text{(式 11-2)}$$

式中:

$N$ : 调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子;

其余同公式 11-1。

上述导出的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 与按人员居留因子确定的关注点剂量率参考控制水平(人员居留因子  $T \geq 1/2$  的场所:  $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ; 人员居留因子  $T < 1/2$  的场所:  $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv}/\text{h}$ )相比较, 取其较小者为关注点剂量率参考控制水平。

对于与主屏蔽直接相连的次屏蔽区, 属于复合辐射。根据 GBZ/T201.2-2011 中附录 A2.2 复合辐射, 导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 需考虑加速器的泄漏辐射和有用线束水平照射的患者散射辐射, 其中患者散射导出剂量率参考控制水平为 $\dot{H}_{c,max}$ 的一半; 泄漏辐射导出剂量参考控制水平为公式(11-2)计算结果的一半, 二者之和为该关注点的导出剂量率参考控制水平。

各关注点剂量率控制水平见表 11-3。



表 11-3 各关注点剂量率控制水平

关注点	辐射类型	居留因子 (T)	使用因子 (U)	调强因子	周治疗照射时间 t (h)	$H_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{周}$ )	$H_{c,d}$ 计算值 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )				$H_{c,max}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	$H_e$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) 最终取值
							有用	泄漏	散射	合计		
A	有用	1/16	1	/	8.33	5.0	9.6	-	-	9.6	10.0	9.6
B	有用	1/16	1	/	8.33	5.0	9.6	-	-	9.6	10.0	9.6
C	复合	1/16	1	5	8.33	5.0	-	0.96	5.0	5.96	10.0	5.96
D	复合	1/16	1	5	8.33	5.0	-	0.96	5.0	5.96	10.0	5.96
E	泄漏	1/16	1	5	8.33	5.0	-	1.92	-	1.92	10.0	1.92
F	泄漏	1	1	5	8.33	100.0	-	2.40	-	2.40	2.5	2.4
G	泄漏	1/16	1	5	8.33	5.0	-	1.92	-	1.92	10.0	1.92
H	复合	1/8	1	5	8.33	5.0	-	0.48	5.0	5.48	10.0	5.48
J	有用	1/16	1	/	8.33	5.0	9.6	-	-	9.6	10.0	2.5
K	复合	1/16	1	5	8.33	5.0	-	0.96	5.0	5.96	10.0	2.5

注：1、根据 GBZ/T201.2-2011，保守取 U=1；  
 2、年剂量参考控制水平：职业人员取 100 $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，公众取 5 $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；  
 3、加速器顶棚为地面绿化，人员可达区域，保守取 2.5 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

(4) 有用线束主屏蔽区宽度核算

使用《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) 的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度。

$$Y_p = 2[(a + \text{SAD}) \cdot \tan\theta + 0.3] \dots\dots \text{(公式 11-3)}$$

式中：

$Y_p$ ——机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD——源轴距，m；

$\theta$ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线）；

a——等中心点至“墙”的距离，m。当主屏蔽区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙（或顶）的内表面；当主屏蔽区向机房外凸时，“墙”指主屏蔽区墙（或顶）的外表面，本项目加速器机房主屏蔽墙均为内凸。

将各参数代入公式（11-3）得出本项目加速器机房的主屏蔽宽度，核算结果见表 11-4。

表 11-4 本项目加速器机房主屏蔽区宽度设计核算结果（内凸）

参数	南墙主屏蔽区	北墙主屏蔽区	屋顶主屏蔽区
a (m)	4.775	4.775	4.850
SAD (m)	1	1	1
$\theta$ ( $^\circ$ )	14	14	14
计算宽度 $Y_p$ (m)	3.48	3.48	3.52
设计宽度 (m)	5.2	5.2	5.2
评价	满足	满足	满足

设备厂家和建设单位在进行直线加速器安装时,必须严格按照设备等中心既定的位置进行安装,即主射束为北侧、南侧、地面及屋顶,杜绝安装后主射方向超出屏蔽范围的情况出现。

(5) 本项目加速器机房屏蔽厚度校核

加速器机房屏蔽厚度校核公式参考《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)中的计算方法,估算不同关注点达到剂量率参考控制水平时所需的屏蔽厚度。

①有用线束和泄漏辐射的屏蔽估算公式

(a) 关注点达到剂量率参考控制水平时,设计的屏蔽所需要的屏蔽透射因子

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \dots\dots (\text{式 11-4})$$

式中:

$\dot{H}_c$ : 剂量率参考控制水平,  $\mu\text{Sv/h}$ , 本项目推导出的剂量率参考控制水平;

$\dot{H}_0$ : 加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的最高剂量率,  $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ; 本项目为  $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ;

$R$ : 辐射源点(靶点)至关注点的距离, m;

$f$ : 对有用线束为 1; 对泄漏辐射为泄漏辐射比率为 0.001。

(b) 估算所需要有效屏蔽厚度  $X_e$ , 再计算得屏蔽厚度  $X$  (cm)

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \dots\dots (\text{式 11-5})$$

式中:

$TVL_1$  (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。当未指明  $TVL_1$  时,  $TVL_1=TVL$ 。

$$X = X_e \cdot \cos\theta \dots\dots (\text{式 11-6})$$

式中:

$X_e$ : 射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度, cm;

$X$ : 屏蔽墙体厚度, cm;

$\theta$ : 入射角夹角。

②患者一次散射辐射的屏蔽估算公式

(a) 关注点达到剂量率参考控制水平时,设计的屏蔽所需要的屏蔽透射因子

$$B = \frac{\dot{H}_c \cdot R_s^2}{\dot{H}_0 \cdot a_{ph} \cdot (F/400)} \dots\dots \text{(式 11-7)}$$

式中：

$\dot{H}_c$ ：剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；本项目推导出的剂量率参考控制水平。

$\dot{H}_0$ ：加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；本项目为  $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ 。

$a_{ph}$ ：患者  $400\text{cm}^2$  面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称  $400\text{cm}^2$  面积上的散射因子；根据 GBZ/T201.2-2011 附录表 B.2 可查，取  $30^\circ$  时的最大值  $3.18 \times 10^{-3}$ 。

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

$R_s$ ：患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

（b）估算所需要有效屏蔽厚度  $X_e$ ，再计算得屏蔽厚度  $X$ （cm）

按式 11-5 估算所需要有效屏蔽厚度  $X_e$ ，再按式 11-6 计算得屏蔽厚度  $X$ （cm）。

### ③迷道内墙屏蔽校核估算公式

迷道内墙屏蔽校核按照式 11-4~11-6 进行估算。

### ④防护门（>10MV）屏蔽校核估算公式

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）4.3.2.6，对于大于 10MV 加速器的机房，迷路入口需考虑下列辐射：a) 图 11-1 的 H 点，应估算三项中子（加速器机头外的杂散中子、杂散中子在机房内壁的散射中子和相互作用中生成的热中子）在迷路内的散射中子和中子俘获 $\gamma$ 射线在 H 处的辐射剂量。b) 除 a) 外，还应按 4.3.2.5.1b) 核算至 H 处的辐射剂量，注意到 4.3.2.5.1a) 的散射辐射能量相对中子俘获 $\gamma$ 射线能量较低，在防护中子俘获 $\gamma$ 射线的屏蔽门外，此部分剂量往往是可以忽略的。

因此，本项目 15MV 医用直线加速器迷路入口考虑漏射线和散射中子和中子俘获 $\gamma$ 射线在 H 处的辐射剂量。

### A、散射中子和中子俘获 $\gamma$ 射线在 H 处的辐射剂量计算公式

#### a、总中子注量（ $\Phi_B$ ）

迷路的中子散射路径为“O→i→H”。在 i 点的总中子注量 $\Phi_B$ 按式 11-8 计算：

$$\Phi_B = 0.85 \cdot \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + 0.85 \cdot \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \dots\dots \text{(式 11-8)}$$

式中：

$\Phi_B$ ：等中心处 1Gy 照射时  $i_1$  处的总中子注量，（中子数/m<sup>2</sup>）/Gy；

0.85：对于钨屏蔽的加速器机头的衰减因子；

$Q_n$ ：等中心处每 1Gy 照射时加速器机头发射出的总中子数，参照 NCRP NO.151 表 B.9，保守取  $7.6 \times 10^{11}$ ；

$d_{i_1}$ ：等中心 O 至  $i_1$  的距离，m；（ $i_1$  点为从等中心点与迷路内墙端的连线和迷路长轴中心线的交点），m， $d_{i_1}$  经计算可得为 8.4m。

S：机房的总内表面积（m<sup>2</sup>），包括四壁墙、顶面和地面，不包括迷路内各面积。本项目约为 350m<sup>2</sup>。

b、机房入口处中子俘获 $\gamma$ 射线剂量率（ $\dot{H}_\gamma$ ）

机房内及迷路内的中子与屏蔽物质作用时产生中子俘获 $\gamma$ 射线，机房入口门外 30cm（H 点）处无防护门时的中子俘获 $\gamma$ 射线的剂量率  $\dot{H}_\gamma$  按式 11-9 计算：

$$\dot{H}_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \cdot \Phi_B \cdot 10^{-d_2/TVD} \cdot \dot{H}_0 \dots\dots \text{（式 11-9）}$$

式中：

$6.9 \times 10^{-16}$ ：该方法中的经验因子，Sv/（中子数/m<sup>2</sup>）；

$d_2$ ： $i_1$  点至机房入口 H 点的距离，m；对于二阶迷路（本项目），本项目经计算得  $d_2=11.6\text{m}$ ；

TVD：将 $\gamma$ 辐射剂量减至其十分之一的距离（称为什值距离），对于 15MV 医用直线加速器为 3.9m；

$\dot{H}_0$ ：等中心点处 X 射线剂量率（ $\mu\text{Gy/h}$ ），依据 GBZ/T201.1 的 4.8.3，屏蔽计算中可视为 $\mu\text{Sv/h}$ 。

对于二阶迷路（本项目）在式（11-9）中， $\dot{H}_\gamma$  为式（11-9）的 1/3。

c、机房入口的中子剂量率（ $\dot{H}_n$ ）

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm（H 点）处无防护门时的剂量率  $\dot{H}_n$  按式 11-10 计算：

$$\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \Phi_B \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \cdot \dot{H}_0 \dots\dots \text{（式 11-10）}$$

式中：

$2.4 \times 10^{-15}$ : 该计算方法中的经验因子, Sv/(中子数/m<sup>2</sup>);

$S_0$ : 迷路内口的面积; 经计算为 15.26m<sup>2</sup>。

$S_1$ : 迷路横截面积; 经计算为 13.87m<sup>2</sup>。

$d_2$ :  $i_1$  点到迷路入口 (H) 的距离, m; 对于二阶迷路 (本项目) 在式 (11-10) 中, 本项目经计算得  $d_2=11.6\text{m}$ 。

$T_n$ : 迷道中能量相对高的中子剂量衰减至十分之一行径的距离 (m), 称为什值距离。

$T_n$  是一个经验值, 与迷路横截面积有关,  $T_n$  按下式计算:  $T_n = 2.06\sqrt{S_1}$ 。

B、防护门外总中子剂量率计算公式:

$$\dot{H} = \dot{H}_\gamma \cdot 10^{-(X_\gamma/TVL_\gamma)} + \dot{H}_n \cdot 10^{-(X_n/TVL_n)} \quad \dots\dots \text{(式 11-11)}$$

式中:  $TVL_\gamma$  和  $TVL_n$  分别为中子俘获  $\gamma$  射线和中子在上述两种屏蔽材料中的什值层, cm; 分别为 3.1cm 和 4.5cm。其他符号意义同上。

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

$$X_\gamma = TVL_\gamma \times \log[2H_\gamma/H_c - H_{od}] \quad \dots\dots \text{(式 11-12)}$$

$$X_n = TVL_n \times \log[2H_n/H_c - H_{od}] \quad \dots\dots \text{(式 11-13)}$$

式中:

$X_\gamma$ 、 $X_n$ : 分别为屏蔽上述两种辐射的不同屏蔽材料的厚度, cm;

$TVL_\gamma$  和  $TVL_n$ : 分别为中子俘获  $\gamma$  射线和中子在上述两种屏蔽材料中的什值层, 分别为 3.1cm 和 4.5cm;

$H_\gamma$ 、 $H_n$ : 分别为机房入口的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率和机房入口的中子剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

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

$H_{OH}$ : 穿过迷路内墙的泄漏辐射在防护门入口处的剂量率, 取  $4.81 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ 。

本项目加速器机房屏蔽厚度校核见下表 (保守以 1m 处的最高剂量率  $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$  计算):

表 11-5 本项目加速器机房屏蔽厚度校核估算结果

机房名称	屏蔽校核	关注点位	导出剂量率 H <sub>c</sub> (μSv/h)	H <sub>0</sub> (μSv/h)	R (m)	a <sub>ph</sub>	TVL (cm)	TVL <sub>1</sub> (cm)	θ(°)	主射或漏射屏蔽透射因子 B	散射屏蔽透射因子 B	计算厚度 (mm 砼)	设计厚度 (mm 砼)	符合性评价	
加速器机房	主防护墙的主屏蔽区	A	9.6 (主射)	1.44×10 <sup>9</sup>	8.1	/	41	44	0	4.37×10 <sup>-7</sup>	/	2637	3100	符合	
		B	9.6 (主射)	1.44×10 <sup>9</sup>	8.1	/	41	44	0	4.37×10 <sup>-7</sup>	/	2637	3100	符合	
		J	9.6 (主射)	1.44×10 <sup>9</sup>	7.95	/	41	44	0	4.21×10 <sup>-7</sup>	/	2644	3100	符合	
	侧屏蔽墙校核	E	1.92 (漏射)	1.44×10 <sup>9</sup>	6.0	/	33	36	0	4.80×10 <sup>-5</sup>	/	1455	1800	符合	
		F	2.4 (漏射)	1.44×10 <sup>9</sup>	10.4	/	33	36	0	1.80×10 <sup>-4</sup>	/	1266	1650+ 1350	符合	
	主防护墙的次屏蔽区	C	0.96 (漏射)	1.44×10 <sup>9</sup>	8.7	/	33	36	30	5.05×10 <sup>-5</sup>	/	1254	1395	2000	符合
			5.0 (散射)	1.44×10 <sup>9</sup>	8.7	0.00318	31	31	30	/	2.07×10 <sup>-5</sup>	1258			符合
		D	0.96 (漏射)	1.44×10 <sup>9</sup>	8.7	/	33	36	30	5.05×10 <sup>-5</sup>	/	1254	1395	2000	符合
			5.0 (散射)	1.44×10 <sup>9</sup>	8.7	0.00318	31	31	30	/	2.07×10 <sup>-5</sup>	1258			符合
		K	0.96 (漏射)	1.44×10 <sup>9</sup>	8.2	/	33	36	30	4.48×10 <sup>-5</sup>	/	1269	1406	1850	符合
			5.0 (散射)	1.44×10 <sup>9</sup>	8.2	0.00318	31	31	30	/	1.84×10 <sup>-5</sup>	1272			1850
	迷道外墙校核	G	1.92 (漏射)	1.44×10 <sup>9</sup>	10.7	/	33	36	0	1.53×10 <sup>-4</sup>	/	1289	1419	符合	
	迷道内墙校核	H	1.37 (漏射)	1.44×10 <sup>9</sup>	10.7	/	33	36	30	1.09×10 <sup>-4</sup>	/	1159	1650	符合	
	防护门校核	H	5.48	1.44×10 <sup>9</sup>	/	/	TVL <sub>γ</sub> 3.1cm	TVL <sub>γ</sub> 3.1cm	/	/	/	/	/	20mm 铅	符合
1.44×10 <sup>9</sup>				/	/	TVL <sub>n</sub> 4.5cm	TVL <sub>n</sub> 4.5cm	/	/	/	/	9.2cm 含硼聚乙烯	20cm 含硼聚乙烯	符合	

注：根据（GBZ/T 201.2-2011）中 5.2.5（a）中规定计算有线束患者散射辐射和加速器泄漏辐射所需要的屏蔽厚度，依 GBZ/T201.1-2007 的 4.3.3 的原则，当它们的屏蔽厚度相差一个什值层（TVL）或更大时，采用其中较厚的屏蔽；当相差不足一个 TVL 时，则在较厚的屏蔽上增加一个半值层（HVL）厚度。参考《放射防护实用手册》，15MV 混凝土半值层取 13.7cm。

根据表 11-5 可知，本项目加速器机房设计屏蔽厚度满足要求。

(6) 加速器机房屏蔽体外剂量率水平估算

①有用线束和泄漏辐射的剂量率估算公式

根据 GBZ/T201.2-2011，首先按式 11-14 计算有效厚度  $X_e$  (cm)：

$$X_e = X \cdot \sec\theta \dots\dots \text{(式 11-14)}$$

式中：

$X_e$ ：射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度，cm；

$X$ ：屏蔽墙体厚度，cm；

$\theta$ ：入射角夹角。

接着，按式 11-15 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子  $B$ ：

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1) / TVL} \dots\dots \text{(式 11-15)}$$

式中：

$TVL_1$  (cm) 和  $TVL$  (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个半值层厚度和平衡半值层厚度。

当未指明  $TVL_1$  时， $TVL_1 = TVL$ 。

再按式 11-16 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率  $\dot{H}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ )：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots \text{(式 11-16)}$$

式中：

$\dot{H}_0$ ：加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，本项目 15MV 直线加速器为  $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ 。

$f$ ：泄漏辐射比率。对有用线束为 1，泄漏辐射为 0.001。

$R$ ：辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

$B$ ：屏蔽物质的屏蔽透射因子。

②患者一次散射辐射的剂量率估算

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)，患者一次散射辐射的剂量率可按公式 11-17 进行估算。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot F / 400}{R_s^2} \cdot B \dots\dots \text{(式 11-17)}$$

式中：

$\dot{H}_0$ ：加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，

本项目 15MV 直线加速器为  $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ 。

$a_{ph}$ : 患者  $400\text{cm}^2$  面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m (关注点方向) 处的剂量比例, 又称  $400\text{cm}^2$  面积上的散射因子; 根据 GBZ/T201.2-2011 附录表 B.2, 15MV 加速器保守取  $a_{ph}=3.18 \times 10^{-3}$ 。

$F$ : 治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积,  $\text{cm}^2$ ; 本项目加速器为  $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ 。

$R_S$ : 患者 (位于等中心点) 至关注点的距离, m;

$B$ : 屏蔽物质的屏蔽透射因子。

根据上述公式, 加速器机房各侧墙体外辐射剂量率估算结果详见表

### ③ 机房入口的中子剂量率计算模式及参数

首先按照公式 (11-8) 计算出总中子注量  $\Phi_B$ , 再按照公式 (11-10) 计算机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm (H 点) 无防护门时的剂量率  $H_n$ 。

计算结果见表 11-6 和表 11-7。

表 11-6 等中心处 1Gy 治疗照射时 i1 处的总中子注量  $\Phi_B$  计算

参数	$Q_n$ (中子数/Gy)	$d_1$ (m)	S ( $\text{m}^2$ )	$\Phi_B$ ((中子数/ $\text{m}^2$ )/Gy)
取值	$0.76 \times 10^{12}$	8.4	350	$2.75 \times 10^9$

表 11-7 中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm 处无防护门时的剂量率计算

参数	$\Phi_B$ (中子数/ $\text{m}^2$ )/Gy)	$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	$S_0$ ( $\text{m}^2$ )	$S_1$ ( $\text{m}^2$ )	$d_2$ (m)	$T_n$ (m)	$\dot{H}_n$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )
取值	$2.75 \times 10^9$	$1.44 \times 10^9$	15.26	13.87	11.6	7.67	306.4

### c) 机房入口的中子俘获 $\gamma$ 射线的剂量率计算模式及参数

按照公式 (11-9) 计算机房入口门外 30cm (H 点) 无防护门时的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率  $\dot{H}_r$ , 计算结果见表 11-8:

表 11-8 机房入口门外 30cm 处无防护门时的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率计算

参数	$\Phi_B$ (中子数/ $\text{m}^2$ )/Gy)	$H_0$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	$d_2$ (m)	TVD (m)	$\dot{H}_r$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )
取值	$2.75 \times 10^9$	$1.44 \times 10^9$	11.6	3.9	0.97

### (7) 防护门外总辐射剂量率计算

入口门屏蔽设计时, 通常使中子和中子俘获  $\gamma$  射线屏蔽后有相同的辐射剂量率, 对于中子俘获  $\gamma$  射线, 以铅屏蔽; 对于中子, 以含硼 (5%) 聚乙烯屏蔽, 当给定防护门屏蔽厚度  $X_\gamma$  和  $X_n$  时, 防护门外的辐射剂量率按下式计算:

$$\dot{H} = \dot{H}_r \cdot 10^{-(X_r/TVL_r)} + \dot{H}_n \cdot 10^{-(X_n/TVL_n)} + \dot{H}_{oH} \cdot B_{oH} \dots \dots \text{(公式 11-18)}$$



式中：

$\dot{H}$ 、 $\dot{H}_r$ 、 $\dot{H}_n$ 、 $\dot{H}_{oH}$ 意义同前文；

$X_\gamma$ ：防护门铅屏蔽厚度，cm；

$X_n$ ：防护门含硼（5%）聚乙烯屏蔽厚度，cm；

$B_{oH}$ ：防护门对 $\dot{H}_{oH}$ 的屏蔽透射因子，在 $\dot{H}_{oH}$ 相对防护门入口处的总剂量率较小时，可以忽略 $\dot{H}_{oH} \cdot B_{oH}$ 项；

$TVL_\gamma$ ：中子俘获 $\gamma$ 射线在铅屏蔽中的什值层，cm；

$TVL_n$ ：中子在含硼（5%）聚乙烯屏蔽中的什值层，cm。

将各参数代入公式（11-18）计算得防护门外的辐射剂量率，计算结果见表 11-9。

表 11-9 防护门外的总辐射剂量率计算

参数	$\dot{H}_r$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$X_\gamma$ (cm)	$TVL_\gamma$ (cm)	$\dot{H}_n$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$X_n$ (cm)	$TVL_n$ (cm)	$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )
取值	0.97	2	3.1	306.4	20	4.5	0.23
控制值							5.48
评价结果							满足

由表 11-9 和表 11-10 可以看出，本项目加速器在最大 X 射线能量、最大剂量率条件下，机房周围各关注点的剂量率均满足本项目所推导出的剂量率参考控制水平，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）与《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）的要求。

表 11-10 加速器机房各侧墙体外关注点剂量率估算结果表

关注点	点位描述	TVL (cm)	TVL <sub>1</sub> (cm)	R (m)	$\theta$ (°)	$f$	$\dot{H}_0$ ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )	设计厚度 (cm 砼)	屏蔽透射因子 B	有用线束或漏射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	散射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	总剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	导出剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	符合性评价
A	南侧墙主屏蔽区外 30cm 处	41	44	8.1	0	1	$1.44\times 10^9$	310	$3.25\times 10^{-8}$	0.71	/	0.71	9.6	符合
B	北侧墙主屏蔽区外 30cm 处	41	44	8.1	0	1	$1.44\times 10^9$	310	$3.25\times 10^{-8}$	0.71	/	0.71	9.6	符合
J	顶棚主屏蔽区外 30cm 处	41	44	7.95	0	1	$1.44\times 10^9$	310	$3.25\times 10^{-8}$	0.74	/	0.74	2.5	符合
C	南侧墙次屏蔽区外 30cm 处	33	36	8.7	30	0.001	$1.44\times 10^9$	200	$1.24\times 10^{-7}$	$2.36\times 10^{-3}$	/	$1.09\times 10^{-2}$	5.96	符合
		31	31			/			$3.55\times 10^{-8}$	/	$8.59\times 10^{-3}$			
D	北侧墙次屏蔽区外 30cm 处	33	36	8.7	30	0.001	$1.44\times 10^9$	200	$1.24\times 10^{-7}$	$2.36\times 10^{-3}$	/	$1.09\times 10^{-2}$	5.96	符合
		31	31			/			$3.55\times 10^{-8}$	/	$8.59\times 10^{-3}$			
K	顶棚次屏蔽区外 30cm 处	33	36	8.2	30	0.001	$1.44\times 10^9$	185	$6.20\times 10^{-7}$	$8.88\times 10^{-3}$	/	$4.39\times 10^{-2}$	2.5	符合
		31	31			/			$1.29\times 10^{-7}$	/	$3.50\times 10^{-2}$			
E	西侧墙体外 30cm 处	33	36	6.0	0	0.001	$1.44\times 10^9$	180	$4.33\times 10^{-6}$	0.17	/	0.17	1.92	符合
F	东侧墙体外 30cm 处	33	36	10.4	0	0.001	$1.44\times 10^9$	176+ 154	$1.23\times 10^{-10}$	$1.64\times 10^{-6}$	/	$1.64\times 10^{-6}$	2.4	符合
G	东侧迷道外墙 30cm 处	33	36	10.7	0	0.001	$1.44\times 10^9$	165	$1.25\times 10^{-5}$	0.16	/	0.16	1.92	符合

### (8) 加速器机房电子线防护评价

本项目医用电子直线加速器最大能量为 15MV，电子线最大能量为 22MeV，电子在物质中的最大射程可以由下式估算（公式摘自《辐射防护技术与管理》，P123）。

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\beta\max} \dots \dots \dots \text{（式 11-19）}$$

式中：

d—最大射程，cm；

$\rho$ —防护材料的密度，g/cm<sup>3</sup>；

$E_{\beta\max}$ —电子最大能量，MeV。

电子束的最大能量为 22MeV 时，在混凝土中（2.35g/cm<sup>3</sup>）的最大射程约为 4.68cm。由于加速器机房混凝土厚度均在 100cm 以上，加速器电子线虽然能量相对于 X 射线较高，但其贯穿能力远弱于 X 射线。由此可见，项目加速器机房设计厚度和结构材质完全能满足对电子线的屏蔽，可不再作特殊的防护要求。因此，本项目医用电子直线加速器运行期间产生的电子线对周围环境影响轻微。

### (9) 中子的辐射污染分析

加速器治疗机头外的杂散中子称为直接光中子，来源于 X 射线中能量大于 10MeV 的光子与加速器的靶、准直器、均整器及电子束和光子束通道上的其他物质相互作用发生光核反应所产生的中子。直接光中子平均能量不超过 1MeV。直接光中子与加速器机房墙壁作用发生弹性散射和非弹性散射，散射中子的能量约为 0.24 MeV。直接光中子和散射中子的平均能量约为 0.34 MeV。混凝土中含有 4%~5%的水，对 0.34 MeV 中子的什值层衰减厚度为 21cm，而混凝土对 10MV~25MV 的 X 射线治疗装置 90° 泄漏辐射的什值层为 31cm~36cm。因此，加速器机房采用混凝土屏蔽墙时，墙的屏蔽只需考虑对 X 射线的屏蔽。

根据相关研究表明，在加速器使用过程中，放射治疗工作人员年受照剂量的 1/3 是由感生放射性造成的，考虑到空气中形成的感生放射性核素能够被吸入而形成内照射的事实，感生放射性造成的剂量实际上更高。参考镇江某医院 15MV 医用直线加速器验收监测结果（（2009）辐环监（验）字第（321）号），加速器在停机后 2 分钟，加速器机头 5cm 处的感生放射性水平为 3.57 $\mu$ Sv/h，机头外 1m 处为 2.06 $\mu$ Sv/h，医务人员摆位处为 1.25 $\mu$ Sv/h，可见，此时进入到加速器机房的医务人员将会受到一定的辐射危害。感生放射性核素的活度和半衰期的范围都很宽，但大多数放射性核素的半衰期比较短，停机 5-10 分钟后就可以减弱到初始值的一半，因此，对感生放射性的有效防护措施之一就是等其自然衰变。

加速器机房工作人员摆位所受有效剂量估算：

加速器机房工作人员每天放射治疗工作量最多为 100 人，一年为 25000 人。保守考虑，本项目按工作人员在放射治疗停止后 2min 内进入机房进行摆位，为每名患者摆位时间按 1min 计，则每年的摆位时间为  $100 \times 1 \times 250 / 60 = 416.7\text{h}$ ，可知操作人员在摆位过程中受到的有效剂量为  $1.25 \times 10^{-3} \text{mSv/h} \times 416.7\text{h} = 0.52\text{mSv}$ 。

为避免加速器室内感生放射性对辐射工作人员造成的危害，建议：

- ①医务人员和患者都尽可能减少加速器室内滞留时间，或等待停机 5min 后再进入机房。
- ②加强加速器室内通风，保持加速器治疗室内的空气流动。

(10) 人员所受辐照剂量估算

①计算公式

照射剂量采用《辐射防护手册》（第一分册）中计算公式：

$$D_r = D_1 \times U \times T \times t \times 10^{-3} \dots\dots \text{（式 11-20）}$$

式中：

$D_r$ —关注点年辐射剂量率，mSv/a；

$D_1$ —关注点处的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$t$ —每年工作负荷，h/a，本项目医用直线加速器年工作负荷约为 417h；

$U$ —使用因子，取 1；

$T$ —居留因子。

②居留因子

本项目的居留因子根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）选取。

③有效剂量估算

相关人员的预期年剂量水平的计算见表 11-11。

表 11-11 加速器外所致个人群组年有效剂量估算结果

环境保护目标	H( $\mu\text{Sv/h}$ )	U	T	t(h)	年有效剂量 (mSv/a)
地下车库 (A)	0.71	1	1/16	417	$1.85 \times 10^{-2}$
卫生间 (B)	0.71	1	1/16		$1.85 \times 10^{-2}$
排风井 (E)	0.17	1	1/16		$4.43 \times 10^{-3}$
控制室 (F)	$1.64 \times 10^{-6}$	1	1		$6.84 \times 10^{-7}$
水冷机房 (G)	0.16	1	1/16		$4.17 \times 10^{-3}$
防护门外表面 (H)	0.23	1	1/8		$1.20 \times 10^{-2}$
地面绿化带 (J)	0.74	1	1/16		$1.93 \times 10^{-2}$

由表 11-11 可知，本项目医用直线加速器工作场所控制室辐射工作人员附加年有效剂量最大值不超过  $6.84 \times 10^{-7} \text{mSv}$ ，叠加摆位时受到的感生放射性附加年有效剂量  $0.52 \text{mSv}$  后，辐射工作人员的附加年有效剂量为  $0.52 \text{mSv}$ ，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）对职业成员年剂量管理约束值  $5 \text{mSv}$  的要求，也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的年剂量限值  $20 \text{mSv}$  的要求。

本项目  $50 \text{m}$  评价范围内公众成员附加年有效剂量最大值为  $1.93 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）对公众成员年剂量管理约束值  $0.1 \text{mSv}$  的要求，同时也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中年剂量限值  $1 \text{mSv}$  要求。

#### （11）通风管道、电缆穿墙管孔出口处的辐射影响分析

①本项目加速器机房电缆以地沟形式在地坪以下部位布设，并在非主射投照部位以“U”形从地坪下方穿越墙体，电缆沟的坑道两侧均用混凝土填充，穿墙管线入口和出口处均用硫酸钡封堵作为屏蔽补偿，保障不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。其它所有电、水、风管布设，走向必须符合辐射屏蔽防护要求，并在非主束投照部位采用迷道形式穿越墙体或顶盖，如在防护墙体部位设置开关箱等嵌入式电气设备，需进行屏蔽补偿。另有加速器测试用管线穿墙孔拟采用  $45^\circ$  斜插穿过控制室与机房之间的防护墙体。因此，电缆管线穿墙管孔出口处的剂量率不超上述分析的设备机房和控制室的剂量率。

②本项目加速器机房设有三个送风口和两个排风口，送风口位于天花板上，治疗室南侧，排风口距地板高度为  $300 \text{mm}$ ，位于机房的对角线新风口和排风口呈对角线布置，新风管和排风管道采用“Z”型预埋管道从迷道防护门上方经迷道至机房内，X射线在“Z”型管道中 3 次散射，且风管穿墙入口和出口处均用硫酸钡封堵作为屏蔽补偿，不破坏墙体的屏蔽。因此，通风管穿墙管孔出口处的剂量率不超上述分析的墙体外的剂量率控制水平。

#### （12）加速器“三废”影响分析

##### ①废气

加速器运行过程，辐射会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等。其中所产生的氮氧化物，其中以  $\text{NO}_2$  为主，其产额约为  $\text{O}_3$  的一半，根据《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）中“氮氧化物的时间加权平均容许浓度为  $5 \text{mg}/\text{m}^3$ ”，远高于“臭氧最高容许浓度  $0.3 \text{mg}/\text{m}^3$ ”，因此本次环评对仅臭氧进行评价分析。参照《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-85）附录 E 的计算公式，估算加速器 X 射线所致臭氧浓度。

$$C_{O_3} = 2.79 \times \frac{Id}{V} \times \left( 1 - e^{-\frac{v}{V}t} \right) \dots\dots \text{(式 11-21)}$$

式中：

- $C_{O_3}$ ——机房中臭氧浓度， $mg/m^3$ ；
- $I$ ——电子束流强度， $mA$ ；
- $d$ ——电子束在空气中的径迹长度， $cm$ ；
- $V$ ——靶室体积， $m^3$ ；
- $v$ ——排气速率， $m^3/s$ ；
- $t$ ——辐照时间， $s$ ；

使用医用直线加速器进行放射治疗时，根据治疗计划，治疗 1 名患者加速器出束时间最多约为 450 秒，直线加速器机房排气速率为  $1.028m^3/s$  ( $3700m^3/h$ )。由上式计本项目医用直线加速器运行时臭氧的浓度为见表 11-12。

表 11-12 直线加速器机房内臭氧浓度预测

序号	机房名称	机房容 积 $m^3$	电子束流 强度 $mA$	电子束在空气 中的径迹长度 $cm$	排气速率 $m^3/s$	治疗结束后机房内 的臭氧浓度 $mg/m^3$
1	加速器机房	$450m^3$	0.1	100	1.028	0.04

由上表可知，本项目加速器治疗室内治疗结束后空气的臭氧浓度为  $0.04mg/m^3$ ，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)中臭氧的最高容许浓度  $0.3mg/m^3$ 。治疗室内产生的臭氧通过排风系统高空排放（排风出口应高出所在建筑物屋脊），对周围大气环境的影响十分轻微。

在多种氮氧化物 ( $NO_x$ ) 中，以  $NO_2$  为主，其产额约为  $O_3$  的一半。工作场所中  $NO_2$  的浓度限值 (GBZ2.1-2019，浓度限值为  $5mg/m^3$ ) 超出  $O_3$  的 10 多倍，因而， $NO_2$  的产生和排放对周围大气环境的影响很小。

本项目加速器治疗室设计采用机械通风，换气次数达每小时 8 次以上，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)和《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。加速器机房进出风管道避开主射线方向，射线经几次散射后，进出风管道进出口处 辐射剂量将在控制范围内。在工作中要保证通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员和设备产生危害。

## ②废水

加速器设备中使用的内循环冷却水半年更换一次，更换的冷却水在专用的容器里放置一定

时间，经监测满足标准后可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。

### ③废靶

加速器运行约 10 年后退役，更换下来的靶物质及其他强感生放射性部件均应作为放射性废物进行处理，委托有资质单位收贮。

### （13）噪声的环境影响分析

直线加速器风机工作时将产生一定的噪声，本项目医用直线加速器采用 1 台风机，其噪声源强为 65dB（A），由于风机位于地下一层（距地面约 6m）经距离衰减与墙体的隔离后，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。

## 11.2.2 介入治疗单元

### （一）辐射屏蔽防护分析

由表 10-3 可知，本项目 DSA 机房四周屏蔽墙、顶部、底部、防护门及观察窗屏蔽厚度均不小于 3mm 铅当量，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）“标称 125 kV 以上的摄影机房屏蔽防护铅当量有用线束方向厚度不小于 3mm 铅当量，非有用线束方向厚度不小于 2mm 铅当量”的要求；本项目 4 间 DSA 机房最小有效使用面积为 57.6m<sup>2</sup>，最小单边长为 6.8m，均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“单管头 X 射线设备(含 C 形臂，乳腺 CBCT)机房最小单边长度应不小于 3.5m、最小有效使用面积应不小于 20m<sup>2</sup>”的要求，因此可推断机房周围环境辐射水平能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h”的要求。

### （二）本项目 DSA 采用理论分析进行评价。

#### （1）DSA 机房周围关注点剂量率计算

根据医院提供资料，以 1#DSA 机房为例（本项目 4 间 DSA 机房的防护设施相同），DSA 设备参数与工况、机房防护情况如表 11-13。

表11-13 本项目DSA设备参数与工况及防护情况

厂家型号	待定		
技术参数	最大管电压为 150kV，最大管电流为 1250mA		
过滤材料	2.5mmAl		
最大照射野	100cm <sup>2</sup>		
工况模式	拍片	工况下，最大常用电压 100kV， 最大常用电流 500mA	距靶点 1m 处的空气比释动能率为 1.53×10 <sup>8</sup> μGy/h①
	透视	工况下，最大常用电压 80kV，最 大常用电流 10mA	距靶点 1m 处的空气比释动能率为 2.16×10 <sup>6</sup> μGy/h①

泄漏辐射源强		离靶点 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率不超过 1mGy/h②	
机房尺寸		1#DSA、2#DSA 机房	有效使用面积约为 57.6m <sup>2</sup> (长 8.0m×宽 7.2m)
		3#DSA、4#DSA 机房	有效使用面积约为 76.8m <sup>2</sup> (长 11.3m×宽 6.8m)
防护设施 ③	四周墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡涂料 (约 4mmPb)	
	防护门	内衬 4.0mm 铅板	
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	
	顶棚	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 (约 3.0mmPb)	
	地坪	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料 (约 3.5mmPb)	
	辅助防护用品 (铅帘、铅屏风等)	0.5mmPb	
个人防护用品	铅衣、铅围脖、铅眼镜等防护用品 (0.5mmPb)、介入防护手套 (0.025mmPb)		

注：①根据《辐射防护导论》附图 3 可知，X 射线过滤材料为 2.5mmAl，本项目拍片 100kV 电压下，发射率常数为 5.1mGy·m<sup>2</sup>/(mA·min)，透视 80kV 电压下，发射率常数为 3.6mGy·m<sup>2</sup>/(mA·min) 计。  
②参考国际放射防护委员会第 33 号出版物《医用外照射源的辐射防护》“(77) 用于诊断目的的每一个 X 射线管必须封闭在管套内，以使得位于该套管内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1m 处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1mGy/h”。  
③4 间 DSA 机房的防护设施相同。

本报告以保守以 1#DSA 机房为例进行计算 (4 台 DSA 设备参数相同，1#DSA 机房面积、长度和宽度最小)，取控制室操作位、各防护墙外 30cm 处、铅防护门外 30cm 处、楼上离地 100cm 处、楼下离地 170cm 处为预测点位，预测点位图见下图：

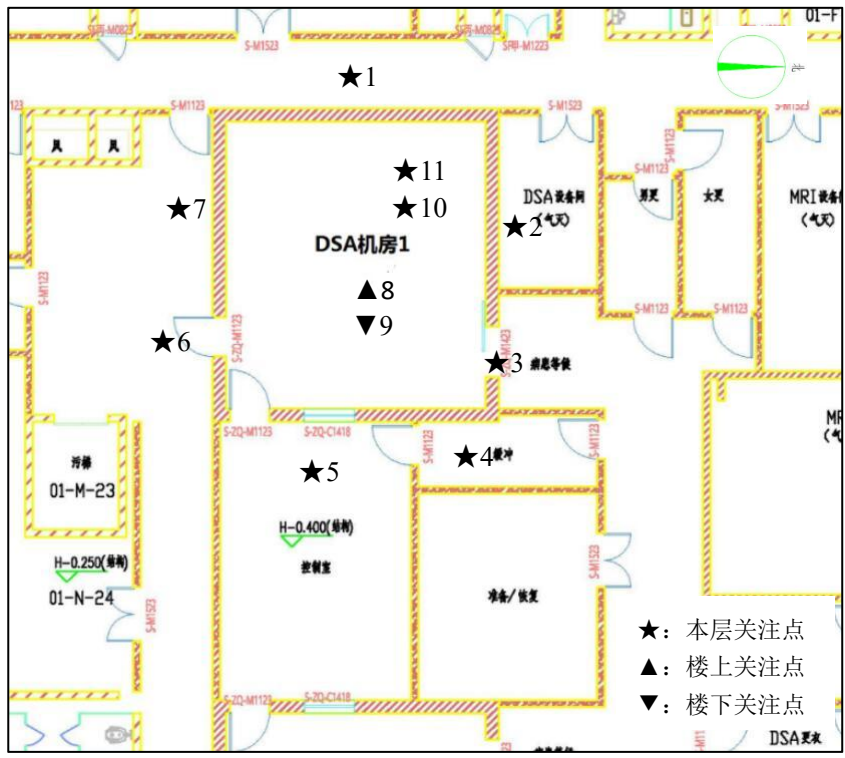


图 11-3 1#DSA 机房预测关注点位示意图

参考《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 附录 C 的 C.1.2 中式 (C.1) 进行屏蔽透射因子的计算。



$$B = \left[ \left( 1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \dots\dots \text{（公式 11-22）}$$

式中：

B——屏蔽透视因子；

$\beta$ ——不同屏蔽物质对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

$\alpha$ ——不同屏蔽物质对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

$\gamma$ ——不同屏蔽物质对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

X——不同屏蔽物质厚度。

以下公式根据李德平、潘自强主编《辐射防护手册》（第一分册—辐射源与屏蔽）中公式（10.8）、（10.9）、（10.10）等公式演化而来。

①主射方向屏蔽估算

$$H = \frac{H_0 \cdot B}{d^2} \dots\dots \text{（公式 11-23）}$$

式中：

H---预测点处的透射辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

$H_0$ ---距靶 1m 处初级 X 射线束造成的空气比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

d—靶点距关注点的距离，m；

B---屏蔽透射因子，按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C中公式和参数计算，公式计算同式11-22。

主射方向预测点屏蔽透射因子计算结果列表见表11-14。

**表 11-14 主射方向预测点屏蔽透射因子计算参数及结果**

工作模式	预测点位	防护情况	屏蔽厚度	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	B
减影	8#（楼上离地 100cm 处（检验科）	20mm 硫酸钡涂料 + 影像增强器	折算为 2.15mmPb	2.500	15.28	0.7557	$9.67 \times 10^{-9}$
		200mm 混凝土	200mm	0.03925	0.08567	0.4273	
透视		20mm 硫酸钡涂料 + 影像增强器	折算为 2.15mmPb	3.067	18.83	0.7726	$1.47 \times 10^{-9}$
		200mm 混凝土	200mm	0.04228	0.1137	0.4690	

注：1、减影电压取100kV，透视电压保守取90kV。

2、根据NCP Report No.147 中4.1.6节可得，影像接收器等硬件设施的等效铅当量为1.15mmPb。

主射方向预测点辐射剂量率计算结果列表见表11-15。

表 11-15 主射辐射预测点辐射剂量率计算参数及结果

工作模式	关注点位置描述	$H_0$ ( $\mu\text{Gy/h}$ )	$d$ (m)	$B$	$H$ ( $\mu\text{Gy/h}$ )
减影	8#(楼上离地 100cm 处(检验科))	$1.53 \times 10^8$	4.9	$9.67 \times 10^{-9}$	0.062
透视		$2.16 \times 10^6$		$1.47 \times 10^{-9}$	$1.32 \times 10^{-4}$

②病人体表散射屏蔽估算

$$H_s = \frac{H_0 \cdot a \cdot B \cdot (s/400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \dots\dots \text{（公式 11-24）}$$

式中：

$H_s$ ---预测点处的散射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

$H_0$ ---距靶 1m 处初级 X 射线束造成的空气比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

$\alpha$ ---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 0.0013；

$s$ ---散射面积， $\text{cm}^2$ ，取  $100\text{cm}^2$ ；

$d_0$ ---源与病人的距离，m，取 0.8m；

$d_s$ ---病人与预测点的距离，m；

$B$ ---屏蔽透射因子，按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C中公式和参数计算，公式计算同式11-22。

散射辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果列表见表11-16。

表 11-16 各预测点散射辐射屏蔽透射因子计算结果

工作模式	预测点位	防护情况	屏蔽厚度	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$B$
减影	1#西侧防护墙外 30cm 处（洁净走廊）	240mm 实心砖 +40mm 硫酸钡涂料	折算为 4mmPb	2.507	15.33	0.9124	$5.14 \times 10^{-6}$
	2#北侧防护墙外 30cm 处（设备间）	240mm 实心砖 +40mm 硫酸钡涂料	折算为 4mmPb	2.507	15.33	0.9124	$5.14 \times 10^{-6}$
	3#北侧防护门外 30cm 处（等候区）	4mm 铅板	折算为 4mmPb	2.507	15.33	0.9124	$5.14 \times 10^{-6}$
	4#东侧防护墙外 30cm 处（缓冲间）	240mm 实心砖 +40mm 硫酸钡涂料	折算为 4mmPb	2.507	15.33	0.9124	$5.14 \times 10^{-6}$
	5#东侧观察窗外 30cm 处（控制室）	20mm 铅玻璃	折算为 4mmPb	2.507	15.33	0.9124	$5.14 \times 10^{-6}$
	6#南侧防护门外 30cm	4mm 铅板	折算为	2.507	15.33	0.9124	$5.14 \times 10^{-6}$

	处（污物通道）		4mmPb					
	7#南侧防护墙外 30cm 处（污物通道）	240mm 实心砖 +40mm 硫酸钡涂料	折算为 4mmPb	2.507	15.33	0.9124	5.14×10 <sup>-6</sup>	
	9#楼下距楼下地面 170cm 处（设备用房）	200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料	折算为 3.5mmPb	2.507	15.33	0.9124	1.80×10 <sup>-5</sup>	
透视	1#西侧防护墙外 30cm 处（洁净走廊）	240mm 实心砖 +40mm 硫酸钡涂料	折算为 4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10 <sup>-7</sup>	
	2#北侧防护墙外 30cm 处（设备间）	240mm 实心砖 +40mm 硫酸钡涂料	折算为 4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10 <sup>-7</sup>	
	3#北侧防护门外 30cm 处（等候区）	4mm 铅板	折算为 4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10 <sup>-7</sup>	
	4#东侧防护墙外 30cm 处（缓冲间）	240mm 实心砖 +40mm 硫酸钡涂料	折算为 4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10 <sup>-7</sup>	
	5#东侧观察窗外 30cm 处（控制室）	20mm 铅玻璃	折算为 4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10 <sup>-7</sup>	
	6#南侧防护门外 30cm 处（污物通道）	4mm 铅板	折算为 4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10 <sup>-7</sup>	
	7#南侧防护墙外 30cm 处（污物通道）	240mm 实心砖 +40mm 硫酸钡涂料	折算为 4mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10 <sup>-7</sup>	
	9#楼下距楼下地面 170cm 处（设备用房）	200mm 混凝土+20m 硫酸钡涂料	折算为 3.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	1.71×10 <sup>-6</sup>	
	10#术者位（机房内）	0.5mmPb 铅帘（铅衣外）	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	0.025	
		0.5mmPb 铅帘 +0.5mmPb 铅橡胶围裙（铅衣内）	1mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08×10 <sup>-3</sup>	
	10#第一手术位手部（机房内）	0.025mmPb 铅手套 +0.5mmPb 铅帘	0.525mm Pb	3.067	18.83	0.7726	2.27×10 <sup>-2</sup>	
11#第一手术位眼晶体（机房内）	0.5mmPb 铅眼镜 +0.5mmPb 铅帘	1mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08×10 <sup>-3</sup>		

本项目1#DSA机房各预测点散射辐射剂量率计算结果列表见表11-17。

表 11-17 各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果

工作模式	关注点位置描述	H <sub>0</sub> (μGy/h)	α	s (cm <sup>2</sup> )	d <sub>0</sub> (m)	d <sub>s</sub> (m)	B	H <sub>s</sub> (μGy/h)
减影	1#西侧防护墙外 30cm 处（洁净通道）	1.53×10 <sup>8</sup>	0.0013	100	0.8	4.3	5.14×10 <sup>-6</sup>	2.16×10 <sup>-2</sup>
	2#北侧防护墙外 30cm 处（设备间）	1.53×10 <sup>8</sup>	0.0013	100	0.8	3.9	5.14×10 <sup>-6</sup>	2.63×10 <sup>-2</sup>

	3#北侧防护门外 30cm 处 (等候区)	$1.53 \times 10^8$	0.0013	100	0.8	3.9	$5.14 \times 10^{-6}$	$2.63 \times 10^{-2}$
	4#东侧防护墙外 30cm 处 (缓冲间)	$1.53 \times 10^8$	0.0013	100	0.8	4.3	$5.14 \times 10^{-6}$	$2.16 \times 10^{-2}$
	5#东侧观察窗外 30cm 处 (控制室)	$1.53 \times 10^8$	0.0013	100	0.8	4.3	$5.14 \times 10^{-6}$	$2.16 \times 10^{-2}$
	6#南侧防护门外 30cm 处 (污物通道)	$1.53 \times 10^8$	0.0013	100	0.8	3.9	$5.14 \times 10^{-6}$	$2.63 \times 10^{-2}$
	7#南侧防护墙外 30cm 处 (污物通道)	$1.53 \times 10^8$	0.0013	100	0.8	3.9	$5.14 \times 10^{-6}$	$2.63 \times 10^{-2}$
	9#楼下距楼下地面 170cm 处 (设备用房)	$1.53 \times 10^8$	0.0013	100	0.8	4.7	$1.80 \times 10^{-5}$	$6.33 \times 10^{-2}$
透视	1#西侧防护墙外 30cm 处 (洁净通道)	$2.16 \times 10^6$	0.0013	100	0.8	4.3	$3.69 \times 10^{-7}$	$2.19 \times 10^{-5}$
	2#北侧防护墙外 30cm 处 (设备间)	$2.16 \times 10^6$	0.0013	100	0.8	3.9	$3.69 \times 10^{-7}$	$2.66 \times 10^{-5}$
	3#北侧防护门外 30cm 处 (等候区)	$2.16 \times 10^6$	0.0013	100	0.8	3.9	$3.69 \times 10^{-7}$	$2.66 \times 10^{-5}$
	4#东侧防护墙外 30cm 处 (缓冲间)	$2.16 \times 10^6$	0.0013	100	0.8	4.3	$3.69 \times 10^{-7}$	$2.19 \times 10^{-5}$
	5#东侧观察窗外 30cm 处 (控制室)	$2.16 \times 10^6$	0.0013	100	0.8	4.3	$3.69 \times 10^{-7}$	$2.19 \times 10^{-5}$
	6#南侧防护门外 30cm 处 (污物通道)	$2.16 \times 10^6$	0.0013	100	0.8	3.9	$3.69 \times 10^{-7}$	$2.66 \times 10^{-5}$
	7#南侧防护墙外 30cm 处 (污物通道)	$2.16 \times 10^6$	0.0013	100	0.8	3.9	$3.69 \times 10^{-7}$	$2.66 \times 10^{-5}$
	9#楼下距楼下地面 170cm 处 (设备用房)	$2.16 \times 10^6$	0.0013	100	0.8	4.7	$1.71 \times 10^{-6}$	$8.49 \times 10^{-5}$
	10#术者位 (铅衣外)	$2.16 \times 10^6$	0.0013	100	0.8	0.5	0.025	110
	10#术者位 (铅衣内)	$2.16 \times 10^6$	0.0013	100	0.8	0.5	$4.08 \times 10^{-3}$	17.9
	10#第一手术位手部 (机房内)	$2.16 \times 10^6$	0.0013	100	0.8	0.5	$2.27 \times 10^{-2}$	99.6
	11#第一手术位眼晶体 (机房内)	$2.16 \times 10^6$	0.0013	100	0.8	1.0	$4.08 \times 10^{-3}$	4.48
注：透视模式下， $\alpha$ 保守取 100kV 下的 0.0013。								

### ③泄漏辐射剂量估算

泄漏辐射剂量率利用点源辐射进行计算，各预测点的泄漏辐射剂量率可用式 11-25 进行计算。

$$H_L = \frac{H_0 \cdot B}{d^2} \dots\dots \text{（公式 11-25）}$$

式中：

$H_L$ —预测点处的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

$H_0$ —距靶 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ，本项目取  $1\text{mGy/h}$ ；

$d$ —靶点距关注点的距离，m；

$B$ —屏蔽透射因子，按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 中公式和参数计算，公式计算同式 11-22。泄漏辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果见表 11-18。

表 11-18 泄漏辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果

工作模式	预测点位	防护情况	屏蔽厚度	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$B$
减影	1#西侧防护墙外 30cm 处（洁净走廊）	240mm 实心砖 +40mm 硫酸钡涂料	折算为 4mmPb	2.500	15.28	0.7557	$3.39 \times 10^{-6}$
	2#北侧防护墙外 30cm 处（设备间）	240mm 实心砖 +40mm 硫酸钡涂料	折算为 4mmPb	2.500	15.28	0.7557	$3.39 \times 10^{-6}$
	3#北侧防护门外 30cm 处（等候区）	4mm 铅板	4mmPb	2.500	15.28	0.7557	$3.39 \times 10^{-6}$
	4#东侧防护墙外 30cm 处（缓冲间）	240mm 实心砖 +40mm 硫酸钡涂料	折算为 4mmPb	2.500	15.28	0.7557	$3.39 \times 10^{-6}$
	5#东侧观察窗外 30cm 处（控制室）	20mm 铅玻璃	折算为 4mmPb	2.500	15.28	0.7557	$3.39 \times 10^{-6}$
	6#南侧防护门外 30cm 处（污物通道）	4mm 铅板	4mmPb	2.500	15.28	0.7557	$3.39 \times 10^{-6}$
	7#南侧防护墙外 30cm 处（污物通道）	240mm 实心砖 +40mm 硫酸钡涂料	折算为 4mmPb	2.500	15.28	0.7557	$3.39 \times 10^{-6}$
	9#楼下距楼下地面 170cm 处（设备用房）	200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料	折算为 3.5mmPb	2.500	15.28	0.7557	$1.18 \times 10^{-5}$
	透视	1#西侧防护墙外 30cm 处（洁净走廊）	240mm 实心砖 +40mm 硫酸钡涂料	折算为 4mmPb	3.067	18.83	0.7726
2#北侧防护墙外 30cm 处（设备间）		240mm 实心砖 +40mm 硫酸钡涂料	折算为 4mmPb	3.067	18.83	0.7726	$3.69 \times 10^{-7}$
3#北侧防护门外 30cm 处（等候区）		4mm 铅板	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	$3.69 \times 10^{-7}$
4#东侧防护墙外 30cm 处（缓冲间）		240mm 实心砖 +40mm 硫酸钡涂料	折算为 4mmPb	3.067	18.83	0.7726	$3.69 \times 10^{-7}$

5#东侧观察窗外 30cm 处（控制室）	20mm 铅玻璃	折算为 4mmPb	3.067	18.83	0.7726	$3.69 \times 10^{-7}$
6#南侧防护门外 30cm 处（污物通道）	4mm 铅板	4mmPb	3.067	18.83	0.7726	$3.69 \times 10^{-7}$
7#南侧防护墙外 30cm 处（污物通道）	240mm 实心砖 +40mm 硫酸钡涂料	折算为 4mmPb	3.067	18.83	0.7726	$3.69 \times 10^{-7}$
9#楼下距楼下地面 170cm 处（设备用房）	200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料	折算为 3.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	$1.71 \times 10^{-6}$
10#术者位（铅衣外）	0.5mmPb 铅橡胶围 裙（铅衣外）	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	0.025
10#术者位（铅衣内）	0.5mmPb 铅帘 +0.5mmPb 铅橡胶围 裙（铅衣内）	1mmPb	3.067	18.83	0.7726	$4.08 \times 10^{-3}$
10#第一手术位手部 （机房内）	0.025mmPb 铅手套 +0.5mmPb 铅帘	0.525mm Pb	3.067	18.83	0.7726	$2.27 \times 10^{-2}$
11#第一手术位眼晶 体（机房内）	0.5mmPb 铅眼镜 +0.5mmPb 铅帘	1mmPb	3.067	18.83	0.7726	$4.08 \times 10^{-3}$

各预测点位泄漏辐射剂量率计算参数及结果见下表11-19。

表 11-19 各预测点泄漏辐射剂量率计算参数及结果

工作模式	关注点位置描述	$H_0$ ( $\mu\text{Gy/h}$ )	d (m)	B	$H_L$ ( $\mu\text{Gy/h}$ )
减影	1#西侧防护墙外 30cm 处（洁净走廊）	1000	4.3	$3.39 \times 10^{-6}$	$1.83 \times 10^{-4}$
	2#北侧防护墙外 30cm 处（设备间）	1000	3.9	$3.39 \times 10^{-6}$	$2.23 \times 10^{-4}$
	3#北侧防护门外 30cm 处（等候区）	1000	3.9	$3.39 \times 10^{-6}$	$2.23 \times 10^{-4}$
	4#东侧防护墙外 30cm 处（缓冲间）	1000	4.3	$3.39 \times 10^{-6}$	$1.83 \times 10^{-4}$
	5#东侧观察窗外 30cm 处（控制室）	1000	4.3	$3.39 \times 10^{-6}$	$1.83 \times 10^{-4}$
	6#南侧防护门外 30cm 处（污物通道）	1000	3.9	$3.39 \times 10^{-6}$	$2.23 \times 10^{-4}$
	7#南侧防护墙外 30cm 处（污物通道）	1000	3.9	$3.39 \times 10^{-6}$	$2.23 \times 10^{-4}$
	9#楼下距楼下地面 170cm 处（设备用房）	1000	4.7	$1.18 \times 10^{-5}$	$5.34 \times 10^{-4}$
透视	1#西侧防护墙外 30cm 处（洁净走廊）	1000	4.3	$3.69 \times 10^{-7}$	$2.0 \times 10^{-5}$
	2#北侧防护墙外 30cm 处（设备间）	1000	3.9	$3.69 \times 10^{-7}$	$2.43 \times 10^{-5}$
	3#北侧防护门外 30cm 处（等候区）	1000	3.9	$3.69 \times 10^{-7}$	$2.43 \times 10^{-5}$
	4#东侧防护墙外 30cm 处（缓冲间）	1000	4.3	$3.69 \times 10^{-7}$	$2.0 \times 10^{-5}$
	5#东侧观察窗外 30cm 处（控制室）	1000	4.3	$3.69 \times 10^{-7}$	$2.0 \times 10^{-5}$
	6#南侧防护门外 30cm 处（污物通道）	1000	3.9	$3.69 \times 10^{-7}$	$2.43 \times 10^{-5}$
	7#南侧防护墙外 30cm 处（污物通道）	1000	3.9	$3.69 \times 10^{-7}$	$2.43 \times 10^{-5}$
	9#楼下距楼下地面 170cm 处（设备用房）	1000	4.7	$1.71 \times 10^{-6}$	$7.74 \times 10^{-5}$

10#术者位（铅衣外）	1000	0.5	0.025	100
10#术者位（铅衣内）	1000	0.5	$4.08 \times 10^{-3}$	45.3
10#第一手术位手部（机房内）	1000	0.5	$2.27 \times 10^{-2}$	16.3
11#第一手术位眼晶体（机房内）	1000	1.0	$4.08 \times 10^{-3}$	4.08

④漏射和散射总辐射剂量率估算

根据表 11-17 和表 11-19 的计算结果，将各个预测点的总辐射剂量率统计于下表 11-20。

表11-20 各个预测点的总辐射剂量率

工作模式	关注点位置描述	主射辐射剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	散射辐射剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	泄漏辐射剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	总辐射剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )*	
					叠加前	叠加后
减影	1#西侧防护墙外 30cm 处(洁净通道)	/	$2.16 \times 10^{-2}$	$1.83 \times 10^{-4}$	$2.18 \times 10^{-2}$	
	2#北侧防护墙外 30cm 处（设备间）	/	$2.63 \times 10^{-2}$	$2.23 \times 10^{-4}$	$2.65 \times 10^{-2}$	
	3#北侧防护门外 30cm 处（等候区）	/	$2.63 \times 10^{-2}$	$2.23 \times 10^{-4}$	$2.65 \times 10^{-2}$	
	4#东侧防护墙外 30cm 处（缓冲间）	/	$2.16 \times 10^{-2}$	$1.83 \times 10^{-4}$	$2.18 \times 10^{-2}$	$4.36 \times 10^{-2}$
	5#东侧观察窗外 30cm 处（控制室）	/	$2.16 \times 10^{-2}$	$1.83 \times 10^{-4}$	$2.18 \times 10^{-2}$	$4.36 \times 10^{-2}$
	6#南侧防护门外 30cm 处 （污物通道）	/	$2.63 \times 10^{-2}$	$2.23 \times 10^{-4}$	$2.65 \times 10^{-2}$	$5.3 \times 10^{-2}$
	7#南侧防护墙外 30cm 处 （污物通道）	/	$2.63 \times 10^{-2}$	$2.23 \times 10^{-4}$	$2.65 \times 10^{-2}$	$5.3 \times 10^{-2}$
	8#楼上离地 100cm 处（检验科）	0.062	/	/	0.062	0.124
	9#楼下距楼下地面 170cm 处 （设备用房）	/	$6.33 \times 10^{-2}$	$5.34 \times 10^{-4}$	0.064	0.128
透视	1#西侧防护墙外 30cm 处 （洁净走廊）	/	$2.19 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-5}$	$4.19 \times 10^{-5}$	$8.38 \times 10^{-5}$
	2#北侧防护墙外 30cm 处（设备间）	/	$2.66 \times 10^{-5}$	$2.43 \times 10^{-5}$	$5.09 \times 10^{-5}$	$5.09 \times 10^{-5}$
	3#北侧防护门外 30cm 处（等候区）	/	$2.66 \times 10^{-5}$	$2.43 \times 10^{-5}$	$5.09 \times 10^{-5}$	$5.09 \times 10^{-5}$
	4#东侧防护墙外 30cm 处（缓冲间）	/	$2.19 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-5}$	$4.19 \times 10^{-5}$	$8.38 \times 10^{-5}$
	5#东侧观察窗外 30cm 处（控制室）	/	$2.19 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-5}$	$4.19 \times 10^{-5}$	$8.38 \times 10^{-5}$
	6#南侧防护门外 30cm 处 （污物通道）	/	$2.66 \times 10^{-5}$	$2.43 \times 10^{-5}$	$5.09 \times 10^{-5}$	$1.02 \times 10^{-4}$
	7#南侧防护墙外 30cm 处 （污物通道）	/	$2.66 \times 10^{-5}$	$2.43 \times 10^{-5}$	$5.09 \times 10^{-5}$	$1.02 \times 10^{-4}$
	8#楼上离地 100cm 处（检验科）	$1.32 \times 10^{-4}$	/	/	$1.32 \times 10^{-4}$	$2.64 \times 10^{-4}$
	9#楼下距楼下地面 170cm 处 （设备用房）	/	$8.49 \times 10^{-5}$	$7.74 \times 10^{-5}$	$1.62 \times 10^{-4}$	$3.24 \times 10^{-4}$
	10#术者位（铅衣外）	/	110	45.3	155.3	
	10#术者位（铅衣内）	/	17.9	16.3	34.2	
10#第一手术位手部（机房内）	/	99.6	90.8	190.4		
11#第一手术位眼晶体（机房内）	/	4.48	4.08	8.56		

注\*：位于 2 台 DSA 机房之前的 4#、5#、6#、7#点位及楼上 8#、楼下 9#点位保守按 2 倍叠加计。

由表 11-20 计算结果可知：减影工况，控制室操作位的辐射剂量率最大为  $4.36 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ ，

机房周边辐射剂量率最大为 0.128 $\mu$ Gy/h；透视工况，控制室操作位的辐射剂量率最大为 8.38 $\times 10^{-5}$  $\mu$ Gy/h，机房周边辐射剂量率最大为 3.24 $\times 10^{-4}$  $\mu$ Gy/h。

综上，本项目 DSA 在正常运行情况下，机房外控制室、四周防护墙外、楼上、楼下及防护门外的辐射剂量率均能够满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)中规定的屏蔽体外表面 30cm 处剂量率不大于 2.5 $\mu$ Sv/h 的标准限值（剂量换算系数 Sv/Gy，近似取 1）。

为防止射线泄漏，DSA 机房防护门在设计安装时，门体与墙体之间的缝隙应尽量的小，门体与门洞的搭接长度与缝隙的比例应不小于 10:1。DSA 机房在防护施工以及装饰过程中应严格控制工程质量，并保证 DSA 机房的最小单边长度和有效使用面积不小于《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

### (2) 人员所受辐照剂量估算

本项目共设 4 间 DSA 机房，每间 DSA 机房拟配备 8 名辐射工作人员，分成 2 组，每组由 2 名医生、1 名技师与 1 名护士组成，每天分两班，两组轮班工作。本项目 DSA 包括透视和拍片两种模式，根据 DSA 工作流程分析，DSA 机操作为介入操作，医生需进入机房内工作，在患者手术时，医生穿戴好铅衣、铅围脖、铅帽、铅眼镜等辐射防护用品后近距离操作，因此 X- $\gamma$ 辐射剂量率较高。

根据医院提供的工作方案：

- a. 单台 DSA 检查患者人数为 300 人/年；
- b. 单台手术最大出束时间包括透视 20 分钟、减影 2 分钟；
- c. 全年工作 250 个工作日。

本项目单台 DSA 最大工作负荷统计见表 11-21。

**表 11-21 本项目拟建 DSA 最大工作负荷（单台）**

射线装置	工作状态	平均每台手术最长出束时间 (min)	全年开展手术量 (台)	设备年总出束时间(h)	单个医生年最大受照时间 (h)	单个护士年最大受照时间 (h)	单个技师年最大受照时间 (h)
DSA	减影	2	300	10	5	10	10
	透视	20		100	50	100	100
合计				110	55	110	110

#### ①控制室工作人员与公众有效剂量估算

DSA减影曝光时，除存在临床不可接受的情况外工作人员均回到控制室进行操作，DSA透视曝光时，医生在手术间内近台操作，护士和技师通常不在手术间内。因此，透视模式下需要考虑近台操作医生的受照剂量（减影模式下无需考虑近台操作医生的受照剂量）。



根据联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）--2000 年报告附录 A 公式以及居留因子的选取，对各点位处公众及职业人员的年有效剂量进行计算。

$$H_1 = H_0 \cdot T \cdot t \cdot l \cdot 10^{-3} \dots\dots \text{（公式 11-26）}$$

式中： $H_1$ —X射线外照射有效剂量，mSv；

$H_0$ —X射线束造成的空气比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

T—居留因子；

$t$ —X射线年照射时间，h/a；

$l$ —剂量换算系数，本项目转换系数取 1。

计算结果详见表11-22。

表11-22 职业人员及公众年有效剂量估算结果

工作模式	关注点位置描述	总辐射剂量率 $H_0$ ( $\mu\text{Gy/h}$ )	年工作时间 $t$ (h)	居留因子 T	年有效剂量 $H_1$ (mSv)	涉及人员类型
减影	1#西侧防护墙外 30cm 处 (洁净通道)	$2.18 \times 10^{-2}$	10	1/5	$4.36 \times 10^{-5}$	公众人员
	2#北侧防护墙外 30cm 处 (设备间)	$2.65 \times 10^{-2}$	10	1/16	$1.66 \times 10^{-5}$	公众人员
	3#北侧防护门外 30cm 处 (等候区)	$2.65 \times 10^{-2}$	10	1/8	$3.31 \times 10^{-5}$	公众人员
	4#东侧防护墙外 30cm 处 (缓冲间)	$4.36 \times 10^{-2}$	10	1/2	$2.18 \times 10^{-4}$	公众人员
	5#东侧观察窗外 30cm 处 (控制室)	$4.36 \times 10^{-2}$	10	1	$4.36 \times 10^{-4}$	职业人员
	6#南侧防护门外 30cm 处 (污物通道)	$5.3 \times 10^{-2}$	10	1/5	$1.06 \times 10^{-4}$	公众人员
	7#南侧防护墙外 30cm 处 (污物通道)	$5.3 \times 10^{-2}$	10	1/5	$1.06 \times 10^{-4}$	公众人员
	8#楼上离地 100cm 处 (检验科)	0.124	10	1	$1.24 \times 10^{-3}$	公众人员
	9#楼下距楼下地面 170cm 处 (设备用房)	0.128	10	1/16	$8.0 \times 10^{-5}$	公众人员
透视	1#西侧防护墙外 30cm 处 (洁净通道)	$8.38 \times 10^{-5}$	100	1/5	$1.68 \times 10^{-6}$	公众人员
	2#北侧防护墙外 30cm 处 (设备间)	$5.09 \times 10^{-5}$	100	1/16	$3.18 \times 10^{-7}$	公众人员
	3#北侧防护门外 30cm 处 (等候区)	$5.09 \times 10^{-5}$	100	1/8	$6.36 \times 10^{-7}$	公众人员
	4#东侧防护墙外 30cm 处 (缓冲间)	$8.38 \times 10^{-5}$	100	1/2	$4.19 \times 10^{-6}$	公众人员
	5#东侧观察窗外 30cm 处 (控制室)	$8.38 \times 10^{-5}$	100	1	$8.38 \times 10^{-6}$	职业人员

6#南侧防护门外 30cm 处 (污物通道)	$1.02 \times 10^{-4}$	100	1/5	$2.04 \times 10^{-6}$	公众人员
7#南侧防护墙外 30cm 处 (污物通道)	$1.02 \times 10^{-4}$	100	1/5	$2.04 \times 10^{-6}$	公众人员
8#楼上离地 100cm 处 (检验科)	$2.64 \times 10^{-4}$	100	1	$2.64 \times 10^{-5}$	公众人员
9#楼下距楼下地面 170cm 处 (设备用房)	$3.24 \times 10^{-4}$	100	1/16	$2.03 \times 10^{-6}$	公众人员

各预测点位年有效剂量估算结果汇总于表11-23。

**表11-23 控制室职业人员及公众年有效剂量估算结果汇总**

关注点位置描述	减影 (mSv/a)	透视 (mSv/a)	总有效剂量 (mSv/a)	人员类型
1#西侧防护墙外 30cm 处 (洁净走廊)	$4.36 \times 10^{-5}$	$1.68 \times 10^{-6}$	$4.53 \times 10^{-5}$	公众人员
2#北侧防护墙外 30cm 处 (设备间)	$1.66 \times 10^{-5}$	$3.18 \times 10^{-7}$	$1.69 \times 10^{-5}$	公众人员
3#北侧防护门外 30cm 处 (等候区)	$3.31 \times 10^{-5}$	$6.36 \times 10^{-7}$	$3.37 \times 10^{-5}$	公众人员
4#东侧防护墙外 30cm 处 (缓冲间)	$2.18 \times 10^{-4}$	$4.19 \times 10^{-6}$	$2.22 \times 10^{-4}$	公众人员
5#东侧观察窗外 30cm 处 (控制室)	$4.36 \times 10^{-4}$	$8.38 \times 10^{-6}$	$4.44 \times 10^{-4}$	职业人员
6#南侧防护门外 30cm 处 (污物通道)	$1.06 \times 10^{-4}$	$2.04 \times 10^{-6}$	$1.08 \times 10^{-4}$	公众人员
7#南侧防护墙外 30cm 处 (污物通道)	$1.06 \times 10^{-4}$	$2.04 \times 10^{-6}$	$1.08 \times 10^{-4}$	公众人员
8#楼上离地 100cm 处 (检验科)	$1.24 \times 10^{-3}$	$2.64 \times 10^{-5}$	$1.27 \times 10^{-3}$	公众人员
9#楼下距楼下地面 170cm 处 (设备用房)	$8.0 \times 10^{-5}$	$2.03 \times 10^{-6}$	$8.20 \times 10^{-5}$	公众人员

### ②机房内工作人员有效剂量估算

根据《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)中对于介入放射工作人员穿戴铅围裙估算有效剂量的计算方法,采用公式 11-27 进行估算。

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \dots \dots \text{(公式 11-27)}$$

式中:

E——有效剂量中的外照射分量,单位:mSv;

$\alpha$ ——系数,有甲状腺屏蔽时,取 0.79,无屏蔽时,取 0.84;

$\beta$ ——系数,有甲状腺屏蔽时,取 0.051,无屏蔽时,取 0.100;

$H_u$ ——铅围裙内估算的有效剂量,单位:mSv;

$H_o$ ——铅围裙外估算的有效剂量,单位:mSv。

$$H = Dr \times t \dots \dots \text{(公式 11-28)}$$

式中：

H——X-γ射线外照射累积有效剂量，mSv；

Dr——X-γ射线剂量当量率，mSv/h；根据公式11-24和公式11-25，计算得；

t——X-γ射线照射时间，h；根据医院提供的资料，本项目每台DSA每年最多300台手术，每位介入医生每年最多75台手术，平均每台手术透视时间约为20分钟，则每位介入医生年受照时间最多为50h。

本项目介入手术医生在做手术时拟使用防护厚度0.5mmPb的防护服、铅防护眼镜，配置0.5mmPb铅防护帘，介入手术人员在铅防护帘后工作，操作位距离球管大约0.5m~1m。综合以上防护措施，则计算得铅围裙内 $H_u=34.2\mu\text{Sv/h}\times 50\text{h}\times 10^{-3}=1.71\text{mSv}$ ，铅围裙外 $H_o=155.3\mu\text{Sv/h}\times 50\text{h}\times 10^{-3}=7.77\text{mSv}$ ， $E=0.79\times 1.71+0.051\times 7.77=1.75\text{mSv}$ ，满足项目管理限值5mSv/a要求。

### ③手术医生四肢（手和足）和眼晶体年剂量当量估算

介入工作人员进行介入手术时主要工作方式透视模式，透视时间保守取20min/人，减影模式时间较短，且减影模式时工作人员均退出机房，且关闭机房防护门，故减影模式下对手足部和眼晶体剂量的影响可忽略不计。

根据《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）、《电离辐射所致眼晶状体剂量估算方法》（GBZ/T301-2017）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中皮肤和眼晶体吸收剂量相关公式：

$$D_S = C_{KS}(\dot{k} \cdot t) \cdot 10^{-3} \dots\dots \text{（公式 11-29）}$$

$$D_L = C_{KL} (\dot{k} \cdot t) \cdot 10^{-3} \text{（式 11-30）}$$

$$H = D_S(D_p) \cdot W_R \dots\dots \text{（公式 11-31）}$$

式中：

$D_S$ ——皮肤吸收剂量(mGy)；

$C_{KS}$ ——空气比释动能到皮肤吸收剂量的转换系数(mGy/mGy)，从《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）表A.5查空气比释动能到皮肤吸收剂量的转换系数 $C_{KS}=1.156\text{mGy/mGy}$ （0.08MeV，AP入射方式）；

$D_L$ ——眼晶体吸收剂量，单位为毫戈瑞（mGy）；

$C_{KL}$ ——空气比释动能到眼晶体吸收剂量的转换系数，单位为mGy/mGy，从《电离辐射所

致眼晶状体剂量估算方法》（GBZ/T301-2017）表 A.4 查空气比释动能到眼晶体吸收剂量的转换系数  $C_{KL}=1.55\text{mGy/mGy}$ （0.08MeV，前向照射）；

$\dot{k}$ ——X、 $\gamma$ 辐射场的空气比释动能率( $\mu\text{Gy/h}$ )，根据前文计算，皮肤吸收剂量计算时取为  $190.4\mu\text{Gy/h}$ ，眼晶体吸收剂量计算时取为  $8.56\mu\text{Gy/h}$ ；

t——人员累积受照时间，h；

H——关注点的当量剂量，mSv（近似  $1\text{Gy}=1\text{Sv}$ ）；

WR——辐射权重因数，X 射线取 1。

手部和眼晶体当量剂量估算结果见表 11-24。

表 11-24 手部和眼晶体当量剂量估算结果

部位	$C_{KS}$ ( $C_{KL}$ ) (mGy/mGy)	$\dot{k}$ ( $\mu\text{Gy/h}$ )	t (h)	$D_s$ ( $D_p$ ) (mGy)	WR	H (mSv)
手部	1.156	190.4	50	11.0	1	11.0
眼晶体	1.550	8.56	50	0.66	1	0.66

综上，本项目 50m 评价范围内公众成员附加年有效剂量最大值为  $1.27 \times 10^{-3}\text{mSv}$ ，能够满足本项目提出的公众人员剂量约束值（不大于  $0.1\text{mSv/a}$ ）的要求；本项目机房内辐射工作人员年有效剂量最大为  $1.75\text{mSv}$ ，控制室辐射工作人员年有效剂量最大为  $4.44 \times 10^{-4}\text{mSv}$ ，能够满足本项目提出的辐射工作人员剂量约束值（不大于  $5\text{mSv/a}$ ）的要求；医生年手部皮肤当量剂量为  $11.0\text{mSv}$ ；年眼晶体剂量当量为  $0.66\text{mSv}$ ，满足本项目辐射工作人员手足部和眼晶体年当量剂量分别不高于  $125\text{mSv/a}$  和  $37.5\text{mSv}$  的剂量约束值要求。

由于本项目介入治疗手术过程中辐射工作人员的受照剂量受多种不确定因素的影响，工作人员的受照射情况复杂多变难以准确估算其年有效剂量。因此上述理论估算结果只能大致反映出工作人员受辐射照射程度。本项目参与介入手术的医务人员手术过程中均应佩戴个人剂量计，医院应根据个人剂量检测结果对工作人员工作岗位进行调整，确保其年有效剂量满足本项目的目标管理值要求。

### （3）典型点叠加影响分析

由表 11-16 可知，本项目医用直线加速器工作场所 50m 评价范围内公众成员附加年有效剂量最大值为  $0.034\text{mSv}$ ，由表 11-28 可知，本项目 DSA 工作场所 50m 评价范围内公众成员最大附加年有效剂量为  $1.27 \times 10^{-3}\text{mSv}$ ，叠加后 50m 范围内的公众成员最大附加年有效剂量为  $0.036\text{mSv}$ ，能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的剂量限值  $1\text{mSv/a}$  和本项目目标管理值  $0.1\text{mSv/a}$  的要求。

#### (4) 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。

#### (5) DSA“三废”影响分析

##### ①臭氧环境影响分析

DSA 产生的 X 射线能量较小，其臭氧产生量较小通过排放措施后对环境影响较小。本项目 DSA 机房顶部均拟设置一个 160×160mm 的排气扇，产生的臭氧通过机械排风系统经排风井至楼顶排放，排放口朝西北侧。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，扩散后远低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）的二级标准（0.2mg/m<sup>3</sup>）的要求。

##### ②水环境影响分析

项目运行后，废水主要为医疗废水，本项目废水进入本院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 中排放限值后，再排入市政污水管网。

##### ③固体废物环境影响分析

本项目不会产生放射性固废，对周围环境无影响。

本项目每年约产生医疗废物 480kg。另外本项目一年会产生废造影剂和废造影剂瓶。将以上医疗废物采用专门的收集容器分类收集后，转移至医院的医疗废物暂存间，按照医疗废物执行转移联单制度，委托当地有医疗废物处置资质的单位处置，不会对周围环境造成影响。

本项目生活垃圾由医院进行统一集中收集，并交由当地环卫部门清运。

### (6) DSA 声环境影响分析

本项目 DSA 工作场所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。

## 11.3 事故影响分析及应急措施

### 11.3.1 事故等级判断依据

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事故等级见表 11-25。

表 11-25 辐射事故等级划分表

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见表 11-26。

表 11-26 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

### 11.3.2 可能产生的辐射事故

主要考虑电离辐射损伤和射线装置失控对环境的影响。医用直线加速器和 DSA 均属于 II 类射线装置。

#### (1) 直线加速器

①门机联锁装置发生故障，人员误入正在运行的加速器机房导致误照射；

②其他医护人员还未全部撤离机房，即进行出束治疗，致使人员受到不必要的照射；

③门机联锁装置发生故障，在防护门未关闭的情况下即开始出束治疗，给工作人员和周围公众造成不必要的照射；

④维修人员在维修期间加速器误出束致使维修人员误照射；加速器事故状态下污染源项主要为 X 射线。

#### (2) DSA

①装置在运行时，由于门灯联锁系统失效，非介入手术工作人员误入或滞留在机房内而造成误照射；

②工作人员或病人家属还未全部撤离治疗机房，操作间人员启动设备，造成滞留人员的误照射；

③射线装置在检修、维护等过程中，检修、维护人员误操作，造成有关人员误照射；

④X 射线装置工作状态下，没有关闭防护门对人员造成的误照射。

### 11.3.3 事故情况下环境影响分析

#### (1) 直线加速器

①剂量估算：本项目医用直线加速器主射束 1m 处常用最大剂量率为 24Gy/min，本项目加速器主射计算不同照射时间、不同照射距离下主束方向和非主束方向人员受照剂量。人员在主束方向直接照射概率较小，直线加速器机房治疗床、机房内墙体及控制室均设置有急停按钮，主束线照射时间一般不会超过 10s。

表 11-27 非主射方向不同距离不同受照时间所致人员剂量 单位: mGy

受照时间 距离	10s	20s	30s	1min	2min	5min	10min
0.5m	16.00	32.00	48.00	96.00	192.00	480.00	960.00
1m	4.00	8.00	12.00	24.00	48.00	120.00	240.00
1.5m	1.78	3.56	5.33	10.67	21.33	53.33	106.67
2m	1.00	2.00	3.00	6.00	12.00	30.00	60.00
2.5m	0.64	1.28	1.92	3.84	7.68	19.20	38.40
3m	0.44	0.89	1.33	2.67	5.33	13.33	26.67

表 11-28 主束方向不同距离不同受照时间人员剂量 单位: Gy

受照时间 距离	10s	20s	30s	40s	50s	60s
0.5m	16.00	32.00	48.00	64.00	80.00	96.00
1m	4.00	8.00	12.00	16.00	20.00	24.00
1.5m	1.78	3.56	5.33	7.11	8.89	10.67

## ②事故后果计算

本项目医用直线加速器对病人开机治疗时，距焦点 1m 处 X 射线的最大吸收剂量率为 24Gy/min，假设考虑加速器运行时人员误入机房，人员在无其他屏蔽的情况下处于加速器机头外 1m 远处的主射束方向。由于机房内安装有出束提醒并在人员易接触的位置设置有“紧急制动”按钮，只要误入人员按下此按钮就可以停机，所以受照时间取 10s，则事故情况下误入人员距加速器机头 1m 处受到的辐射剂量为 4.0Sv/次（近似取 Sv/Gy=1），超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 20mSv/a 剂量限值。根据《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系。本项目加速器事状态下急性放射病发生率达到 99%，可导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病，属于较大辐射事故。

二是在病人接受治疗时，假设考虑安全连锁失效，无关人员误入机房，人员在无其他屏蔽的情况下处于加速器照射头射束 1m 处的非主射方向，X 射线束的空气释动能率取主射束方向的 1%，本项目医用直线加速器主射束 1m 处剂量率为 24Gy/min，每次误照射时间为 10min，则机房内误入人员所受的 X 射线辐射剂量率为 240mSv/次，已超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中特殊情况下职业人员 5 个连续年的年平均剂量限值（20mSv），公众 5 个连续年的年平均剂量限值（1mSv），为一般辐射事故。

## （2）DSA

### ①剂量估算：



若以 DSA 的拍片工况（电压为 100kV，电流为 500mA）条件下，拍片工况距靶点 1m 处的最大剂量率为  $1.53 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$  估算，计算不同照射时间、不同照射距离下主束方向和非主束方向人员受照剂量。本项目 DSA 主束方向向上，因此人员在主束方向直接照射概率极小，DSA 机房治疗床及控制室均设置有急停按钮，主束线照射时间一般不会超过 1min。

表 11-29 非主射方向不同距离不同受照时间所致人员剂量 单位：mGy

受照时间 距离	10s	20s	30s	1min	2min	5min	10min	20min	30min
0.5m	1.71	3.40	5.10	10.20	20.40	51.00	102.00	204.00	306.00
1m	0.43	0.85	1.28	2.55	5.10	12.75	25.50	51.00	76.50
1.5m	0.19	0.38	0.57	1.13	2.27	5.66	11.33	22.67	34.00
2m	0.10	0.21	0.32	0.63	1.28	3.19	6.37	12.75	19.13
2.5m	0.07	0.13	0.21	0.41	0.81	2.04	4.08	8.16	12.24
3m	0.04	0.09	0.15	0.28	0.57	1.41	2.84	5.66	8.50

表 11-30 主束方向不同距离不同受照时间人员剂量 单位：Gy

受照时间 距离	10s	20s	30s	40s	50s	60s
0.5m	1.71	3.40	5.10	6.80	8.50	10.20
1m	0.43	0.85	1.28	1.71	2.12	2.55
1.5m	0.19	0.38	0.57	0.75	0.94	1.13

②事故后果计算

事故情景假设 1:

I、门灯联锁装置失效，DSA X 射线源处于“曝光”状态，人员误入或滞留在机房内，保守考虑人员在靶点 1m 处停留时间为 10min，未穿戴铅衣、配套铅手套和铅防护眼镜等个人防护用品。

II、在上述条件下，若以 DSA 的减影工况（电压为 100kV，电流为 500mA）条件下，减影工况距靶点 1m 处的最大剂量率为  $1.53 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$  估算。

剂量估算：根据上述条件，对照上表 11-34，得出误照人员受照剂量约为 25.5mGy/人·次。

事故后果：在上述事故情景假设条件下，受 X 射线源误照人员年剂量已超过年剂量限值，属于一般辐射事故。

事故情景假设 2:

I、设备维护人员在维护 DSA 射线管或测量探测器时，射线管正处于出束状态；

II、在上述条件下，若以 DSA 的摄影工况（电压为 100kV，电流为 500mA）条件下，减影工况距靶点 1m 处的最大剂量率为  $1.53 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$  估算；

III、DSA 上的指示灯和声音装置均失效；

IV、维护人员位于 X 射线主射束方向，距靶 1m 处，停留时间 0.5min，未穿戴铅衣、配套铅手套和铅防护眼镜等个人防护用品。

剂量估算：根据上述条件，对照上表 11-35，得出维护人员受照剂量为 1.28Gy/人·次。

事故后果：在上述事故情景假设条件下，受 X 射线源误照人员年剂量已超过年剂量限值，属于一般辐射事故。

综上所述，医用直线加速器和 DSA 事故工况下事故等级划分详见表 11-31。

表 11-31 项目的环境风险因子、潜在危害及事故等级

名称	环境风险因子	潜在危害	事故等级
DSA	X 射线	DSA 失控导致人员受超年剂量限值的照射	一般辐射事故
直线加速器	X 射线	直线加速器失控导致人员受超年剂量限值的照射	一般辐射事故
		直线加速器失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾	较大辐射事故

### （3）事故综合防范应对措施

上述辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理规章制度和辐射事故应急措施加以防范，是辐射环境风险控制在可以接受的水平。针对在运行过程中可能发生的事故，本次评价提出以下防范措施，尽可能的减小或控制事故的危害和影响，主要体现在：

#### 1、直线加速器事故防范措施

①直线加速器机房设置有迷道，当有人员误入或滞留时，人员应立即按动墙上的紧急停机按钮，并躲进迷道，按动迷道防护门入口处的紧急开门按钮，逃出机房。

②在紧急情况下，按动设置在直线加速器治疗床上、控制台上的紧急停机按钮，切断电源，迫使加速器关机停止出束。

③直线加速器机房设计有门机安全联锁，机房门关闭后机器才能启动，治疗过程中机房门不能从外部开启，有效防止人员误入。

④制定和完善现有射线装置安全管理制度，强化安全管理，避免出现人员滞留事故，同时定期检查加速器机房的门机联锁等辐射安全环保设施是否有效。

#### 2、DSA 事故防范措施

①DSA 机房治疗床设置有急停按钮，在紧急情况下，按动急停按钮或直接切断电源，迫使 DSA 关机停止出束。

②制定经常性自检制度，对门-灯联锁、监视器、工作状态指示灯、电离辐射警告标志灯等防护设施进行经常性检查，如发现这些防护设施不够完善或失灵，立即维护、修复；

③制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少意外照射事故的发生；

④医务人员必须严格按照 X 射线装置操作程序进行诊断，确定机房内工作人员及病人家属均离开机房后方可开机，以避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射；

⑤医护人员进行 DSA 手术前，一定要穿好防护铅服，戴铅眼镜，佩戴个人剂量计后方可进行手术作业；

⑥严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如验收监测及年度监测结果表明外墙、防护门缝隙、观察窗、孔洞等处辐射水平偏高时，应立即停机，查明原因并优化屏蔽设计和施工，未整改到位前，设备不得开机。

#### （4）设备维修事故防范措施

①维修人员进入射线装置机房前，必须确认射线装置未出束，同时应携带个人剂量报警仪。

②调试和维修时须设置醒目的警示牌。

③设备维修应由维修资格的人员操作，并按其操作规范进行操作。

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。

当医用直线加速器或 DSA 发生或发现辐射事故后，当事人应立即向单位的辐射安全负责人和法定代表人报告。医院应立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并在 2h 内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向公安部门 and 当地卫生行政部门报告。

## 表 12 辐射安全管理

### 12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

#### 12.1.1 机构设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使Ⅱ类射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

眉山天府新区第一人民医院应成立辐射安全管理领导小组，并明确领导小组及各成员的职责。小组成员应至少有1名具有本科以上学历，其人员设置应满足辐射安全与环境保护管理工作要求。

辐射安全和防护管理领导小组的主要职责是：负责起草、制定及修订医院辐射防护和环境保护的相关规章制度；负责对医院放射诊疗项目的立项、建设、放射设备引进及防护设施配置进行论证和监管；负责协调和监督各相关科室贯彻落实医院放射诊疗和防护管理制度及日常管理工作。

#### 12.1.2 辐射人员管理

1、根据生态环境部《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（2019年，第57号）的相关要求，自2020年1月1日起，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。2020年1月1日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。

医院应及时安排新增辐射工作人员在生态环境部辐射安全与防护培训平台上参加培训，考核合格后方可上岗；在项目运行过程中按要求定期组织辐射工作人员进行再培训和考核，确保所有辐射工作人员培训合格后上岗。

2、本项目所有辐射工作人员应配备个人剂量计，每三个月委托有资质单位进行个人剂量检测，并建立个人剂量档案；应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，在岗期间每年或两年委托相关资质单位对辐射工作人员进行职业健康检查，建立完整的职业健康档案；个人剂量档案和职业健康档案应终生保存。

3、本项目辐射工作人员的职业健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量检测档案三个文件上的人员信息应统一。

#### 12.1.3 年度评估报告

医院应于每年1月31日前向发证机关提交上年度的《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。

## 12.2 辐射安全全档案资料管理和规章制度

### 12.2.1 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”，并由专人进行管理。

### 12.2.2 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	落实情况
1	医院辐射防护安全责任制度	拟制定，应包含但不限于“三废”管理制度、X射线诊断中受检者、陪护人员的防护规定
2	辐射安全操作规程	拟制定，并挂于辐射工作场所墙上
3	辐射工作场所安全管理制度	拟制定，并挂于辐射工作场所墙上
4	医院剂量监测规章制度	拟制定
5	辐射安全装置定期检查与维护规章制度	拟制定
6	场所分区管理规定	拟制定
7	辐射事故处理、应急处置规章制度	拟制定，并挂于辐射工作场所墙上
8	定期剂量检测和剂量仪的校准制度	拟制定
9	辐射工作人员培训计划	拟制定
10	辐射工作设备操作规程	拟制定
11	辐射工作人员岗位职责	拟制定，并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	拟制定
13	质量保证大纲和质量控制检测计划	拟制定

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。

## 12.3 辐射监测

### 12.3.1 监测仪器和防护设备

直线加速器和DSA均属II类射线装置。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，全院应至少配置2台X-γ辐射剂量率巡测仪和1台中子剂量当量率仪，加速器机房至少配置1个固定式报警仪和2个便携式个人剂量报警仪。每个辐射工作人员均应配备个人剂量计（其中DSA介入医护人员应配备双个人剂量计和腕式剂量计），并建立个人剂量档案。

### 12.3.2 日常监测计划

医院辐射工作场所应采用自购辐射巡测仪定期监测，以确保屏蔽防护性能的良好。

### 12.3.3 年度常规监测

医院应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。

### 12.3.4 个人剂量监测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量计，监测周期一般为1个月，最长不超过3个月（每季度将个人剂量片送往有资质的检测机构进行检测）。

医院应按以下要求做好个人剂量档案的管理：

（1）如果在单个季度出现个人剂量超过1.25mSv时需进行干预，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并本人签字。年剂量超过5mSv的管理限值时，暂停该辐射工作人员继续从事辐射工作，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并本人签字，并上报当地生态环境主管部门。单年剂量超过20mSv标准时，构成辐射事故，按事故应急预案处理，立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并上报生态环境主管部门。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向卫生主管部门报告。

（2）个人剂量检测报告（连续四个季度）应当作为医院《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辐射安全许可证发证机关。

(3) 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。个人剂量档案应终生保存。

### 12.3.5 监测计划建议

根据以上分析，本环评建议医院参考表12-2开展监测。

表12-2 辐射工作场所监测计划建议

场所名称		监测内容	监测范围	监测类别	监测频度
放疗中心	直线加速器机房	周围剂量当量率、中子剂量当量率	加速器机房迷路防护门及四周门缝处、控制室和加速器机房四侧墙体和顶棚处和各电缆、风管管道口	年度监测	1次/年
				常规监测	1次/月
				验收监测	竣工验收
	废靶	X- $\gamma$ 空气吸收剂量率	废靶外表面	常规监测	委托处置前
	冷却水	总 $\alpha$ 、总 $\beta$	冷却水	常规监测	外排前
放射科和手术中心	DSA	周围剂量当量率	铅防护门处、观察窗、门缝处、控制室和机房四侧墙体处(包括楼上、楼下)、过道和各管线洞口等	年度监测	1次/年
				常规监测	1次/月
				验收监测	竣工验收
本项目所有辐射场所	个人剂量当量	所有辐射工作人员	个人剂量检测	一般为1个月，最长不超过3个月	

监测质量保证：

①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本单位监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核；

②采用的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；

③制定辐射环境监测管理制度和方案。

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。

### 12.4 环保措施竣工验收

医院应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》（生态环境部公告2018年第9号）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、

验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

## 12.5 辐射事故应急

### 12.5.1 事故应急预案内容

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令第18号）第四十三条规定，应急预案主要包括以下内容：

（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以上地方人民政府及其生态环境局、公安、卫健委等部门报告。

### 12.5.2 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。

### 12.5.3 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**

## **13.1 结论**

### **13.1.1 项目概况**

建设单位：四川天府新区眉山管理委员会社会事务局

项目名称：眉山天府新区第一人民医院新增射线装置应用项目

建设性质：新建

建设地点：四川省仁寿县视高街道环天府新区快速通道北侧眉山天府新区第一人民医院门急诊医技综合楼地下一层、一层和四层。

建设内容及规模：医院拟在门急诊医技综合楼（-1F/4F，高约 18.0m）地下一层放疗中心新建医用直线加速器机房内使用 1 台 15MV 医用直线加速器（属 II 类射线装置，型号待定），用于全身肿瘤诊疗；拟在门急诊医技综合楼一层放射科和四层手术中心各新增 2 台数字减影血管造影机（DSA），共 4 台 DSA，其额定电压均不大于 150kV、额定电流均不大于 1250mA，出束方向由下而上，属于 II 类射线装置。

### **13.1.2 本项目产业政策符合性和实践正当性分析**

项目为核技术利用于医学领域。根据《产业结构调整指导目录（2019 年本）》及《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》，本项目医用直线加速器和 DSA 均属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

项目的建设可以更好地满足仁寿县及周边病人就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

### **13.1.3 本项目选址及平面布局合理性分析**

项目位于仁寿县视高街道环天府新区快速通道北侧眉山天府新区第一人民医院内，项目用地属于医疗卫生用地，本项目不新增用地，不涉及国家级生态保护红线，无学校、幼儿园等敏感建筑，无环境制约因素，且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相关法律法规确定的剂量管理约束

值的要求。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。

本项目辐射工作场所根据工作要求、有利于辐射防护和环境保护来进行布置，功能分区明确，既能有机联系，又不互相干扰，且最大限度避开了人流量较大的门诊区或其它人流活动区；在设计阶段，所有辐射工作场所均进行了合理的优化布局，同时兼顾了病人就诊的方便性，因此，本项目平面布置是合理的。

#### 13.1.4 工程所在地区环境质量现状

本项目辐射工作场所及周围环境 $\gamma$ 空气吸收剂量率范围为 40.8nGy/h~91.4nGy/h，上述监测结果与四川省生态环境厅《2020 年四川省生态环境状况公报》中全省环境电离辐射水平（ $\leq 130\text{nGy/h}$ ）基本一致，属于当地正常天然本底辐射水平。本项目中子辐射剂量当量率为未检出，未见异常。

#### 13.1.5 环境影响评价结论

##### （1）辐射环境影响分析

经理论计算和预测，本项目加速器机房各屏蔽体厚度核算均满足屏蔽要求，机房各屏蔽体外剂量率均满足所推导出的剂量率参考控制水平，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）相关要求。

经理论计算和预测，本项目各 DSA 机房屏蔽体外 30cm 处剂量率均小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关要求。

经计算，在正常工况下，本项目运行后对职业人员造成的年附加有效剂量低于本次评价 5mSv 的职业人员年剂量约束值；对公众造成的年附加有效剂量低于本次评价 0.1mSv 的公众人员年剂量约束值。

本项目加速器机房更换的循环冷却水在专用的容器里放置一定时间，经监测达到解控水平可作为普通医疗废水处置，对周围环境影响较小。

本项目医用直线加速器如有废靶产生，废靶件暂存于铅桶内，委托有资质单位收贮，对周围环境没有影响。

##### （2）大气环境影响分析

本项目医用直线加速器和 DSA 机房工作时产生的臭氧及氮氧化物经排风系统通风后，满足评价标准要求，对机房周围的大气环境影响较小。

##### （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《工业企业厂界环境噪声排放标准》（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）固体废物环境影响分析

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。

### 13.1.6 辐射防护措施有效性结论

（1）直线加速器辐射防护：本项目直线加速器机房屏蔽设计使用混凝土、铅防护门，屏蔽体厚度均满足相关要求。机房控制室拟张贴相应的各项规章制度、操作规程。工作场所实行辐射分区管理，机房门外拟设有电离辐射警告标志、醒目的工作状态指示灯；直线加速器机房内拟设有急停开关、固定式辐射剂量监测报警仪等安全设施，机房门拟设置门灯、门机连锁和视频监控与双向交流对讲系统。辐射安全防护措施配置满足相关要求。

（2）DSA辐射防护：DSA各侧墙体均设计了满足防护要求的屏蔽体厚度。机房内拟配置辐射工作人员和病人个人防护用品；机房设置闭门装置，防护门上方设置工作状态指示灯，并与机房门连锁；防护门外拟设置电离警示标志。设备及控制室设置急停开关，设置对讲系统等，辐射安全防护措施配置满足相关要求。

### 13.1.7 事故风险与防范

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

### 13.1.8 环保设施与保护目标

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

### 13.1.9 辐射安全管理的综合能力

医院拟成立辐射防护安全管理领导小组，并指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理

工作；本项目建成后医院拟根据实际情况及本报告要求，制定和完善相关辐射安全管理制度，以适应当前环保的管理要求；本项目辐射工作人员均须在生态环境部培训平台进行辐射防护与安全培训，经考核合格后方上岗。医院拟对辐射工作人员进行职业健康监护和个人剂量监测，并建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。综上，建设单位具备辐射安全管理的综合能力。

### 13.1.10 项目环保可行性结论

综上所述，本项目选址合理，建设符合当地城市总体规划和土地利用规划；项目符合产业政策和实践正当性，医院在坚持“三同时”的原则，采取切实可行的环保措施，并落实本报告提出的各项辐射管理和辐射防护措施，严格执行相关法律法规、标准规范等文件的前提下，具备从事相应辐射活动的技术能力；项目运行时对周围环境和人员的影响能够满足辐射环境保护相关标准的要求，因此从辐射安全和环境保护角度分析，本项目的建设和运行是可行的。

### 13.1.11 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
医用直线加速器		
实体防护	加速器机房为现浇混凝土结构，南墙、北墙及顶棚为主防护墙，南墙主屏蔽区为 3100mm 混凝土，屏蔽宽度为 5200mm，与主屏蔽相连的次屏蔽区为 2000mm 混凝土；北墙主屏蔽区为 3100mm 混凝土，屏蔽宽度为 5200mm，与主屏蔽相连的次屏蔽区为 2000mm 混凝土；顶棚主屏蔽为 3100mm 混凝土，屏蔽宽度 5200mm，与主屏蔽相连的次屏蔽区为 1850mm 混凝土；西侧次屏蔽墙为 1800mm 混凝土；东侧墙体为迷道墙，迷道内墙为 1650mm~1950mm 混凝土，迷道外墙为 1419mm~1650mm 混凝土	1 间
	铅防护门为 20mm 铅板+20cm 5%含硼聚乙烯材料	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、控制超剂量联锁装置、时间控制联锁	设备自带
	门机联锁	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灯	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	1 个
	便携式中子剂量当量率仪	1 个
	个人剂量报警仪	2 个
	个人剂量计	8 枚
防护器材	通风系统	1 套
<b>DSA</b>		
场所设施	DSA 机房四侧墙体为 240mm 页岩实心砖+40mm 硫酸钡涂料，顶棚为 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料，地坪为 200mm 混凝土+20mm 硫酸钡涂料	4 间
	DSA 设备辅助防护设施（铅帘、铅挂屏等）	4 套
	观察窗为 4mmPb 当量铅玻璃	4 套
	工作人员防护门、患者防护门、污物门等（4mmPb）	4 套
	有中文标识的紧急停机按钮	4 套
	门灯连锁	4 套
	监控、双向交流对讲系统	4 套
警示装置	入口处电离辐射警告标志	4 套
	入口处机器工作状态显示	4 套
	操作警示装置	4 套
监测设备	便携式辐射监测仪	与直加共用
	介入医生每人配 3 枚个人剂量计，包括铅衣内、铅衣外及腕部剂量计，共计 72 枚；技师每人配 1 枚个人剂量计，共计 8 枚	80 枚
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、铅橡胶帽子）（除介入防护手套当量不小于 0.025mmPb 外，其余防护用品的铅当量不小于 0.5mmPb）	16 套
	病人防护（铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子）（防护铅当量 0.5mm）	4 套
	儿童防护（铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子）（防护铅当量 0.5mm）	4 套
	通风系统	4 套
环保制度	辐射管理制度，相关制度张贴上墙	/
人员培训	辐射工作人员、管理人员培训	/
辐射应急	应急物资、应急人员培训、辐射事故应急演练	/

## 13.2 建议和承诺

1、落实本报告中的各项辐射防护措施和安全管理制度的。

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>）。

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、医院在申领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>），对相关信息进行填报。

8、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。

9、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。

10、根据《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。



## 表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见

公章

经办人（签字）：

年 月 日

审批意见

公章

经办人（签字）：

年 月 日