

核技术利用建设项目

综合科研大楼新增射线装置应用项目

环境影响报告表

(公示本)

四川省医学科学院·四川省人民医院

二〇二四年二月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

综合科研大楼新增射线装置应用项目 环境影响报告表



建设单位：四川省医学科学院·四川省人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：成都市青羊区一环路西2段32号

邮政编码：

联系人：

电子邮件：

联系电话：

目 录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	21
表 3	非密封放射性物质	22
表 4	射线装置	23
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	24
表 6	评价依据	25
表 7	保护目标与评价标准	27
表 8	环境质量和辐射现状	32
表 9	项目工程分析与源项	36
表 10	辐射安全与防护	53
表 11	环境影响分析	72
表 12	辐射安全管理	128
表 13	结论与建议	136

表 1 项目基本情况

建设项目名称		综合科研大楼新增射线装置应用项目			
建设单位		四川省医学科学院·四川省人民医院			
法人代表	杨正林	联系人	***	联系电话	18*****981
注册地址		成都市青羊区一环路西 2 段 32 号			
项目建设地点		成都市青羊区一环路西 2 段 32 号四川省人民医院综合科研大楼			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	***	项目环保投资 (万元)	**	投资比例	**%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它		占地面积	/
应用 类 型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☐ 使用	☐ I 类(医疗使用) ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
	非密封放射 性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☒ III 类		
	其他	无			

项目概述

一、企业概况及项目由来

四川省医学科学院·四川省人民医院（统一社会信用代码125100004507205582，后文简称“四川省人民医院”）坐落在成都青羊宫旁、浣花溪畔，建于1941年，前身四川省公立医院是中央大学医学院附属医院，1952年命名为四川省人民医院，1989年评为首批国家三级甲等医院，2002年与四川省医学科学院（前身为中国医学科学院四川分院）合并，成为四川省医学科学院·四川省人民医院。2012年，由四川省人民政府与中国科学院合作共建的中国科学院四川转化医学研究医院挂牌。2013年，与电子科技大学合作共建电子科技大学医学院，成为电子科技大学附属医院。

医院秉承“一院多区、协同发展；全面推进、重点突出；科教兴院、人才强院”发展理念，以院本部为主体，包括青羊院区（院本部、皮肤病性病研究所、省老年医学中心）、龙泉院区（东院）、温江院区（省精神医学中心、温江科研基地）、高新院区（高新医学中心、实验动物研究所、中和科研平台）、成都铁路卫生学校，形成集临床医疗、教学科研为一体的发展格局，先后荣获全国文明单位、全国百佳医院、全国抗震救灾英雄集体、全国抗击新冠肺炎疫情先进集体、全国卫生系统先进集体、全国卫生文化先进单位等荣誉。

（一）项目由来

四川省人民医院为提升医疗技术和诊疗能力，满足不断增加的就诊人数需求，根据省委专题会议纪要精神，结合自身的实际情况，在青羊本部院区内建设综合科研大楼项目，新增总建筑面积 106589 平方米，其中，地上建筑面积 77921 平方米，地下建筑面积 28668 平方米（地下建筑包括停车库、放疗中心），其中综合科研大楼自南向北呈“凹”型布置，北侧为大楼主入口和门厅，总建筑面积 106589 平方米，目前综合科研大楼建设项目整体正处于主体施工建设阶段。

根据建设单位提供的资料，本项目评价内容如下：

1、放疗中心：医院拟在综合科研大楼东南侧新建一座放疗中心（为地下一层建筑），总建筑面积约 2000m²，其中包含 2 间医用直线加速器机房、1 间射波刀机房及配套用房，并分别在直线加速器机房内各安装一台 10MV 医用直线加速器（型号待定，属于Ⅱ类射线装置），在射波刀机房内安装一套 X 射线立体定向放射外科治疗系统（简称：射波刀，其型号待定，属Ⅱ类射线装置），均用于全身肿瘤治疗。

2、手术中心

1) 术中放疗：医院拟在综合科研大楼 11 层南部新建一间术中放疗手术室，并拟购置一台术中放射治疗仪用于全身各部位肿瘤的术中放疗，其型号待定，额定管电压为 50kV，额定管电流为 0.04mA，属于Ⅱ类射线装置。

2) DSA：医院拟在综合科研大楼 7 层、11 层手术中心新建 14 间常规介入手术室和 2 间复合介入手术室，共涉及使用 16 台 DSA，并拟在复合手术室内各使用一台移动 CT；设备型号均待定，DSA 额定管电压均不大于 150kV、额定管电流均不大于 1250mA，出束方向由下而上，均属于Ⅱ类射线装置，移动 CT 额定管电压均不大于

150kV、额定管电流均不大于 1000mA，均属于Ⅲ类射线装置；DSA 主要用于介入治疗和血管造影，而复合手术将 DSA、CT、MRI 等先进影像设备融合在一台手术里一次完成，实现一站式术前诊断、术中治疗、术后评估。

本项目放射治疗工作前期的模拟定位依托医院本部院区肿瘤中心原有的模拟定位 CT，建设单位已经在建设项目环境影响登记表备案系统中进行备案登记，目前在用。

（二）编制目的

按照《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第449号）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（国家环保部令第18号）规定和要求，本项目需进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》（生态环境部 部令第16号，2021年1月1日起施行），本项目属于“第五十五项—172条核技术利用建设项目—使用Ⅱ类射线装置、Ⅲ类射线装置”，应编制环境影响报告表，并报四川省生态环境厅审查批准。因此，医院委托四川同佳环保科技有限责任公司编制该项目环境影响报告表（委托书见附件1）。

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

二、本项目产业政策符合性分析

本项目系核与辐射技术用于医学领域，属高新技术。根据中华人民共和国国家发展和改革委员会2023年第7号令《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目使用直线加速器、射波刀、术中放射治疗仪、数字减影血管造影装置（DSA）、移动CT均为医院医疗基础建设内容，属于鼓励类第六项“核能”中第4条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发与监测设备制造”，本项目符合国家现行产业政策。

本项目的运营可为成都市及全省病人提供诊疗服务，是提高人民群众生活质量，提高全县医疗卫生水平和建设小康社会的重要内容，本项目具有放射性实践的正当性。

三、项目概况

（一）项目名称、性质、地点

项目名称：综合科研大楼新增射线装置应用项目

建设性质：新建

建设地点：成都市青羊区一环路西2段32号四川省人民医院综合科研大楼

（二）建设内容与规模

本项目拟在综合科研大楼东南侧新建一座放疗中心，在综合科研大楼7层、11层手术中心新建介入、术中放疗手术室；其中综合科研大楼及放疗中心的土建工程包含在医院综合科研大楼整体建设项目，目前主体处于在建施工中。

一、放疗中心：医院拟在综合科研大楼地面东南侧新建一座放疗中心（未建，地下一层建筑，约负8m），总面积约2000m²；并拟在放疗中心内建设2间直线加速器机房和1间射波刀机房及配套用房控制室、水冷机房、放疗计划室、医师技师办公室、候诊区、卫生间等；直加、射波刀机房集中分布在放疗中心的东南部，且两间直线加速器机房镜像布置，射波刀机房与直线加速器机房②竖向紧邻。

（1）直线加速器：拟在放疗中心2间直线加速器机房内各安装使用1台10MV直线加速器（型号待定），属II类射线装置，配置有诊断锥体束CT（CBCT），同时具备适形调强放射治疗（IMRT）和容积旋转调强放射治疗（VMAT）功能，用于全身肿瘤治疗。直线加速器治疗时，X射线最大能量为10MV、X射线1m处最大剂量率为24Gy/min，电子束最大能量为22MeV、电子线1m处最大剂量率为10Gy/min；图像引导时，CBCT最大管电压150kV，管电流1000mA。

出束时间：直线加速器单台设备年诊疗人数最多300人，每人最多治疗25野次，每野次最多出束3min，则年最大治疗出束时间约375h；每位患者在放疗实施前，物理师会预先对加速器进行质控，每次质控出束时间最多约5min，则年最大质控出束时间约25h；综上，单台设备年总出束时间最大约400h（治疗+质控）。CBCT诊断平均每人治疗周期内需要成像7次，每次扫描时间最大60s，则年出束时间为35h/台。

屏蔽方案：两间直线加速器机房镜像布置，机房内部净空面积均为 59.04m^2 （ $L \times B = 8.2\text{m} \times 7.2\text{m}$ ，不含迷道），北侧、南侧、顶部、地面均为主射方向，东侧、西侧均为非主射方向，四面墙体、迷道、顶部和底部均为钢筋混凝土结构（密度为 $2.35\text{g}/\text{m}^3$ ）。**直线加速器机房①**北侧、南侧主屏蔽墙体厚均为 3000mm 、宽均为 4300mm ，相连次屏蔽墙体厚为 1700mm ；顶部主屏蔽墙体厚为 3000mm 、宽 4000mm ，相连的次屏蔽墙体厚 1800mm ；东侧“L”型迷道内墙厚 $1400\sim 2200\text{mm}$ 、外墙厚 $1200\sim 2000\text{mm}$ 、迷道内墙长 6950mm ；西侧非主射墙体厚 1700mm ；防护门为铅板+ 150mm 含硼聚乙烯电动推拉门，屏蔽效能为 20mmPb 。**直线加速器机房②**北侧主屏蔽墙体与射波刀机房共用厚为 3400mm 、宽均为 4300mm ，相连次屏蔽墙体厚为 2700mm ；南侧主屏蔽墙体厚为 3000mm 、宽 4300mm ，相连的次屏蔽墙体厚 1700mm ；顶部墙体厚度均为 3000mm ，无次屏蔽墙体；西侧“L”型迷道内墙厚 $1400\sim 2200\text{mm}$ 、外墙厚 $1200\sim 2000\text{mm}$ 、迷道内墙长 6950mm ；东侧非主射墙体厚 1700mm ；防护门为铅板+ 150mm 含硼聚乙烯电动推拉门，屏蔽效能为 20mmPb 。

（2）射波刀：拟在放疗中心射波刀机房内安装使用一套X射线立体定向放射外科治疗系统（以下简称“射波刀”）用于全身肿瘤治疗，其型号待定，主要参数为：X射线最大能量为 6MV ， 0.8m 处输出剂量率最大为 $10\text{Gy}/\text{min}$ ，属II类射线装置。本项目拟购射波刀配置有图像引导系统，该成像系统自带有2个X射线发生器，其最大管电压均为 150kV ，最大管电流均为 640mA 。

出束时间：射波刀年诊疗人数最多300人，每人最多治疗20野次，每野次最多出束 3min ，则年最大治疗出束时间约 300h ；每位患者在放疗实施前，物理师会预先对射波刀进行质控，每次质控出束时间最多约 5min ，则年最大质控出束时间约 25h ；综上，单台射波刀年总出束时间最大约 325h （治疗+质控）。X射线发生器图像引导每人平均治疗4次/疗程，每疗程扫描 $5\sim 10$ 秒，则年出束时间最大约为 3.33h 。

屏蔽方案：射波刀机房净空面积为 43.4m^2 （ $L \times B = 6.2\text{m} \times 7.0\text{m}$ ，不含迷道），四面墙体、迷道、顶部和底部均是密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ 的钢筋混凝土，正常运行时主射方向朝向四周，设备维修、调试时主射方向可能朝向顶部；其中东侧、西侧屏蔽墙厚度均为 2400mm ；南侧屏蔽墙与直线加速器机房②共用厚为 $2700\sim 3400\text{mm}$ ；北侧迷道为“直”迷道，迷道内屏蔽墙厚 $900\sim 1600\text{mm}$ ，迷道外屏蔽墙厚 $2400\sim 3100\text{mm}$ ；顶部屏蔽墙厚 2400mm ，防护门为铅板+ 150mm 含硼聚乙烯电动推拉门，屏蔽效能为 10mmPb 。

二、手术中心：医院拟在综合科研大楼（在建，-4~23层，高约99m）7~11层手术中心共新建14间常规介入手术室和2间复合介入手术室、1间术中放疗手术室，所在区域均配套设置有功能用房：控制室、设备间、更衣室、缓冲区、污物走廊、医废暂存间等。

（1）术中放疗：医院拟在综合科研大楼11层南部新建一间术中放疗手术室，并购置一台术中放射治疗仪用于全身各部位肿瘤的术中放疗，型号待定，其额定管电压为50kV，额定管电流为0.04mA，属于II类射线装置，该台设备专门放置于术中放疗手术室内，平时不使用，仅在在进行术中放疗时由专人进行隔室操作。

出束时间：医院计划使用此台设备每年最多诊治300人次，每人每次最多治疗30min，故，此台设备年工作时长最大为150h。

屏蔽方案：术中放疗手术室有效面积为 62.78m^2 （ $L \times B = 8.6\text{m} \times 7.3\text{m}$ ），手术室四周墙体采用100mm厚轻质墙+3mmPb硫酸钡板，屋顶采用120mm厚钢筋混凝土+3mmPb硫酸钡板，地面采用120mm厚钢筋混凝土+30mm厚硫酸钡涂料，设有3扇防护铅门，防护厚度均为3mmPb，设有1扇观察窗，为3mm铅当量铅玻璃。

（2）DSA：医院拟在综合科研大楼7层、11层手术中心新建14间常规介入手术室和2间复合介入手术室（为方便描述，依次编号为DSA机房1~14、复合手术室1~2），其中复合手术室1由DSA+移动CT组成双复合手术室，复合手术室2由DSA+移动CT+MRI组成多复合手术室；共涉及使用16台DSA，型号均待定，额定管电压均不大于150kV、额定管电流均不大于1250mA，出束方向由下而上，均属于II类射线装置；移动CT额定管电压不大于150kV、额定管电流不大于1000mA，均属于III类射线装置。

出束时间：本项目DSA主要用于外周血管、心血管、神经、综合介入等手术，由于DSA介入治疗时各个科室手术的拍片和透视出束时间不一样，本环评保守按最长使用科室的手术曝光时间计。①**常规 DSA 介入**单台手术最长出束时间：透视30min、拍片1min，500台手术/年/台，则单台 DSA 年累计曝光时间最大约258.34h（其中透视250h、拍片8.34h）；②**复合 DSA 介入**单台手术最长出束时间：透视45min、拍片2min，300台手术/年/台，则复合手术室内单台 DSA 年累计曝光时间最大约235h（其中透视225h、拍片10h），术中移动CT配合诊断每台手术单次曝光时间最长约1min，则移动CT累计年曝光时间最大约5h/台。

屏蔽方案：本项目DSA机房最小有效面积为DSA机房11： 49m^2 （ $L \times B = 7\text{m} \times 7\text{m}$ ），

最大有效面积为DSA机房14: 65m² (L×B=10m×6.5m)。本项目涉及的DSA机房及复合手术室的墙体屏蔽方案均一致: 四周墙体均采用100mm厚轻质墙+3mmPb硫酸钡板, 屋顶采用120mm厚钢筋混凝土+3mmPb硫酸钡板, 地面采用120mm厚钢筋混凝土+30mm厚硫酸钡涂料, 每间介入手术机房均设有1扇观察窗, 均为3mm铅当量铅玻璃, 除复合手术室2设有5扇防护铅门, 其余均设有3扇防护铅门, 防护厚度均为3mmPb。

建设项目组成及主要的环境问题见表1。

表 1-1 建设项目组成及主要的环境问题表

项目	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	放疗中心	直线加速器	设备、数量	10MV 医用直线加速器 2 台	主体工程 工程施工 期环境 影响影 响已包 含在四 川省医 学科学 院·四川 省人民 医院综 合科研 大楼建 设项目 环境影 响报告 表中(成 青环审 [2022]1 0 号)。 之后的 装修、 设备安 装将会 产生: 噪 声、扬 尘、废 水、废	X 射 线、电 子线、 臭氧、 噪声、 固体废 物、生 活污水
			设备型号	待定		
			管理类别	II类		
			使用场所	放疗中心直线加速器机房①/②		
			年曝光时间	400h/台 (治疗 375h+质控 25h)		
			射线束及能量	X 射线最大能量为 10MV 电子束最大能量为 22MeV		
			1m 处剂量率	X 射线 1m 处剂量率为 24Gy/min 电子束 1m 处剂量率为 10Gy/min		
			主射方向	北侧、南侧、顶部、地面		
			CBCT	电压 150kV、电流 1000mA		
			屏蔽结构	直线加速器机房①南、北侧主屏蔽墙体厚均为 3000mm、宽均为 4300mm, 相连次屏蔽墙体厚均为 1700mm; 顶部主屏蔽墙体厚为 3000mm、宽 4000mm, 相连的次屏蔽墙体厚 1800mm; 东侧“L”型迷道内墙厚 1400~2200mm、外墙厚 1200~2000mm; 西侧非主射墙体厚 1700mm; 防护门屏蔽效能 20mmPb。		
				直线加速器机房②北侧主屏蔽墙体与射波刀机房共用厚为 3400mm、宽均为 4300mm, 相连次屏蔽墙体厚为 2700mm; 南侧主屏蔽墙体厚为 3000mm、宽 4300mm, 相连的次屏蔽墙体厚 1700mm; 顶部墙体厚度均为 3000mm, 无次屏蔽墙体; 西侧“L”型迷道内墙厚 1400~2200mm、外墙厚 1200~2000mm; 东侧非主射墙体厚 1700mm; 防护门屏蔽效能 20mmPb。		
		射	设备、数量	射波刀 1 台	X 射 线、臭	
			设备型号	待定		

	波 刀	管理类别	II类		气、固体 废物	氧、噪 声、固 体废 物、生 活污水
		使用场所	放疗中心射波刀机房			
		年曝光时间	325h/台（治疗 300h+质控 25h）			
		射线束及能量	X 射线最大能量为 6MV，无电子线			
		0.8m 处剂量率	X 射线 0.8m 处剂量率为 10Gy/min			
		主射方向	四周			
		X 射线发生器	电压 150kV、电流 640mA			
		屏蔽结构	射波刀机房东、西侧屏蔽墙厚度均为 2400mm； 南侧屏蔽墙与直线加速器机房②共用厚为 2700~3400mm；北侧迷道为“直”迷道，迷道 内屏蔽墙厚 900~1600mm，迷道外屏蔽墙厚 2400~3100mm；顶部屏蔽墙厚 2400mm，防护 门屏蔽效能为 10mmPb			
手 术 中 放 疗 						

		DSA 机房及复合手术室四周墙体均采用 100mm 厚轻质墙+3mmPb 硫酸钡板, 屋顶 120mm 厚钢筋混凝土+3mmPb 硫酸钡板, 地面 120mm 厚钢筋混凝土+30mm 厚硫酸钡涂料, 观察窗均为 3mmPb 铅玻璃, 铅门防护厚度均为 3mmPb		
辅助工程		放疗中心: 控制室、水冷机房、库房、放疗计划室 手术中心: 控制室、设备间、污物通道、缓冲间		
公用工程		市政水网、市政电网、配电系统、废水处理站、通排风系统	/	生活垃圾、生活污水
办公生活设施		医师办公室、护士办公室、值班室、更衣室	/	
环保设施		依托医院污水处理站、生活垃圾暂存间、医疗废物暂存间等	/	

(三) 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 1-2。

表 1-2 本项目射线装置参数表

✱

表 1-3 本项目 DSA 使用情况

✱

注*: 由于各个科室手术台数及手术拍片和透视的出束时间均不一样, 本环评保守按常规 DSA 单台手术最长出束时间: 透视 30min 和拍片 1min; 复合 DSA 单台手术最长出束时间: 透视 45min 和拍片 2min 计算。

(四) 工作人员配置情况和工作负荷

一、工作制度: 年工作日 250d, 每周工作 5d, 每天工作 8h。

二、工作负荷:

①直线加速器单台设备年治疗最大出束时间约 375h、年质控最大出束时间约 25h, 则单台设备年总出束时间最大约 400h; CBCT 诊断年出束时间为 35h/台。

②射波刀年治疗最大出束时间约 300h、年质控最大出束时间约 25h, 则年总出束时间最大约 325h; X 射线发生器图像引导年出束时间最大约为 3.33h。

③术中放疗设备年工作时长最大为 150h。

④DSA 主要用于外周血管、心血管、神经、综合介入等手术, 保守取单台手术最长出束时间: 单台常规 DSA 介入手术年累计曝光时间最大约 258.34h (其中透视 250h、拍片 8.34h); 单台复合 DSA 介入手术年累计曝光时间最大约 235h (其中透视 225h、拍片 10h); 复合手术室内移动 CT 诊断年曝光时间最大约 5h/台。

人员配置: 本项目拟配置辐射工作人员共计 168 人, 其中既有辐射工作人员 106 人, 新增 62 人, 本项目辐射工作人员定岗定责, 工作类别不交叉, 不存在兼岗情况。

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 62 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。

四、依托可行性分析

本项目依托的综合科研大楼已完成《关于四川省医学科学院·四川省人民医院综合科研大楼建设项目环境影响报告表审查的批复》（成青环审【2022】10号，附件5）。

本项目依托的主要环保设施有：

（1）医院原有综合污水处理站 1 处理规模为：3000m³/d；综合科研大楼建设项目拟在原综合污水处理站 1 北侧，新建 1 座处理规模为 800m³/d 综合污水处理站 2，本项目运营期间产生的生活污水依托医院的污水处理站处理达标后排放到市政污水管网，最终排放至成都市第九净水厂处理达标后排放至锦江。

（2）本项目产生的生活垃圾收集后交由市政环卫部门统一清运；

（3）本项目综合科研大楼每层均设有污物暂存间，通过污物梯运至综合科研大楼负 1 层医疗垃圾暂存处（面积约 5m²）暂存，再定期转运至医院原医废暂存间 1（位于医院西南侧，面积约 30m²）或医废暂存间 2（位于综合污水处理站 1 东侧，面积约 8m²）。暂存医疗废物，最后定期统一交由有资质的单位收运处置。

五、本项目外环境及选址合理性分析

（一）本项目外环境关系

本项目位于成都市青羊区一环路西2段32号四川省人民医院本部院内，院外周边主要为住宅区、写字楼、街边商铺，本项目所在位置50m范围内院外环境保护目标除西侧浣花北路26号院1号楼（距离最近辐射工作场所DSA约40m），其余保护目标均位于院内。

放疗中心：本项目放疗中心拟建于综合科研大楼东南侧，为独立的地下负一层建筑，包含 2 间直线加速器机房、1 间射波刀机房及配套用房，总面积约 2000m²，以放疗中心机房实体屏蔽为边界，50m 评价范围均位于院内：东侧为急救中心（10m）；西侧为第三住院大楼（18m）、燃气站（48m）；南侧为第三住院大楼（14m）；北侧为第二住院大楼（9m）、门诊部（30m）；西北侧为综合科研大楼（44m）；正上方

为非机动车停车位；正下方为岩土层。

手术中心：本项目手术中心 DSA/术中放疗拟建于综合科研大楼 7、11 层，以手术中心机房实体屏蔽为边界，取保护目标距离辐射工作场所最近距离，50m 评价范围内：东侧依次为医技楼（30m）、第二住院大楼（29m）；南侧依次为第三住院大楼（21m）、燃气站（41m）；北侧为摸底河（30m）以及院内规划道路和绿化；西侧为锅炉房（27m）、洗消中心（34m）、后勤管理用房（35m）、院外浣花北路 26 号院 1 号楼（40m）；7 层手术中心机房正上方 8F 均为手术中心手术室，正下方 6F 为手麻、手术办公室；11 层手术中心机房正上方 12F 均为 ICU 病房，正下方 10F 为净化机房、新风机房。

综述，以上 50m 范围内保护目标距离均取的距离最近辐射工作场所的距离，根据外环境分析本项目选址所在地交通便利，50m 范围内基本均位于院内，无重大环境制约因素。

（二）选址合理性分析

本项目位于成都市青羊区一环路西 2 段 32 号四川省人民医院本部院区内。院区周围为常见的城区商住交通环境。项目拟建场所综合科研大楼及放疗中心位于医院西南侧，四周临近医院第一、二、三住院大楼；介入和术中放疗分别布置于综合科研大楼 7 层整个楼层和 11 层的南半部，辐射工作场所集中独立布置；直线加速器和射波刀单独布置于地下负一层建筑的放疗中心内，且分别与周围的住院大楼和科研大楼负一层相连通。本项目地理位置图见附图 1，医院总平面布置图见附图 2-1。

（1）放疗中心与“HJ1198-2021”选址要求符合性：本次涉及的直线加速器、射波刀均单独设置于综合科研大楼东南侧地下负一层独立建筑放疗中心内，且位于医院中心区域，分别与医院的住院楼及综合科研大楼相互连通，便于医患联系，满足“HJ1198-2021”中关于“放射治疗场所不得设置在居民住宅、写字楼和商住两用的建筑内，宜设置在多层建筑物底层的一端，避开儿科病房、产房及人员密集区”的选址要求。本项目术中放疗手术室墙体设计有适当的辐射防护屏蔽措施，且位置设置在综合科研大楼 11 层手术中心的最南侧，与相关辅助用房（如控制室、器械预清洗、缓冲区）形成一个相对独立的区域；术中放疗控制台设置在控制室内，与手术室分离，实行隔室操作，满足“HJ1198-2021”中关于“术中放射治疗手术室应采取防护措施、设置在最内侧、独立成区、隔室操作”的选址要求。

（2）手术中心选址合理性：本项目所在综合科研大楼功能布局分为高中低三大功

能中心，分别为科研中心（14-22F）、手术中心（5-13F）和医技中心（1-4F）；DSA介入及术中放疗均布置于综合科研大楼中低区楼层的手术中心（7、11层），竖向交通压力小，且辐射工作场所集中布置，所在楼层均独立成区，通过连廊与临近的第一、第二、第三住院楼相连接，可与院区内已建住院楼门急诊等紧密联系，提升效率；DSA机房集中布置在同楼层的手术中心洁净区，极大程度减少公众误入的几率，有利于科室统一管理，每间DSA机房外围均紧邻污物通道，便于术后污物的运输，实现了人员与污物流出路线不交叉，且临近消防楼梯，一旦发生事故，周围公众也能够很快得到疏散；DSA机房为专门的辐射工作场所，建成后有良好的实体屏蔽设施和防护措施，综上所述，选址合理。

（3）周边环境合理性：本项目建设于医院内中心区域，建成后放疗中心50m评价范围均位于医院内部；手术中心50m评价范围内保护目标除西侧涉及院外浣花北路26号院1号楼（距离最近DSA辐射工作场所约40m），其余均位于医院内部。

（4）用地合理性：本项目所在综合科研大楼及放疗中心用地已取得了成都市青羊区规划和自然资源局颁发的建设用地规划许可证（川国用【2007】第01407号，附件3），用地性质为医疗卫生用地，项目建设均位于医院许可用地范围内，不新增用地。

（5）履行的环保手续：本项目所在综合科研大楼于2022年12月28日取得了成都市青羊区生态环境局《关于四川省医学科学院·四川省人民医院综合科研大楼建设项目环境影响报告表审查的批复》（成青环审【2022】10号，附件5），该大楼的选址合理性已在上述环评报告表中进行了论述，目前大楼正处于主体施工建设阶段。

（7）综述：四川省人民医院青羊本部院区所在位置为城市建成区，项目选址周围基础配套设施完善，给排水等市政管网完善，电力、电缆等埋设齐全，为项目建设提供良好条件。拟建各辐射工作场所良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对辐射工作人员和公众的照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求，并满足报告表确定的剂量管理约束值的要求。综上所述，从辐射防护安全和环境保护角度分析，本项目选址是合理的。

（三）与周边环境的相容性分析

本项目运营期产生的生活废水经医院的污水处理站处理后排入市政污水管网，最终排放至成都市第九净水厂处理达标后排放至锦江。本项目产噪设备为新风系统、风

机、空调，声级很小，排风管道采取了隔声降噪措施后，噪声影响很小。本项目运行阶段产生的电离辐射经机房墙体有效屏蔽后对周围环境影响较小，与周围环境相容。

（四）实践正当性

本项目的建设可以更好地满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，可达到一般非放射性诊治方法所不能及的诊断及治疗效果，是其它项目无法替代的，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。

建设单位在开展诊疗过程中，对射线装置使用将严格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情况下，可以将该项辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，因此该核技术应用的实践具有正当性。

六、原有核技术利用情况

（一）医院原有项目辐射安全许可情况

（1）目前，四川省医学科学院·四川省人民医院已取得四川省生态环境厅核发的《辐射安全许可证》（川环辐证[00096]），许可的种类和范围：使用II、V类放射源；使用II、III类射线装置；使用非密封放射性物质，乙、丙级非密封放射性物质工作场所。发证日期：2023年9月21日，有效期至2025年11月25日。

（2）四川省医学科学院·四川省人民医院现有核技术利用项目的许可情况见下表。该医院现有核技术利用项目环保措施和设施均运行正常；经现场踏勘，未发现有环境遗留问题。

表 1-5 四川省人民医院已获许可使用放射源

序号	核素名称	出厂日期	数量/枚	类别	用途	工作场所名称	来源	转让审批文号
1	^{68}Ge	2019.06.30	3	V	校准源	PET/CT	Sanders	国环辐审[2019]0530号
2	^{60}Co	2021.10.25	25	II	伽玛刀	伽玛刀中心	成都中核高通同位素股份有限公司	川环辐审[2021]1102号

表 1-6 四川省人民医院已获许可使用非密封放射性物质

序号	核素名称	本年度实际使用总量(贝可)	工作场所名称	工作场所等级	用途	来源	转让审批备案文号
1	^{99}Tc	3.0E+11	标记室	乙级	诊断	成都纽瑞特医疗科技股份有限公司	川环辐证[00480]
	^{99}Tc	3.4E+12	标记室	乙级	诊断	成都欣科医药有限公司	川环辐证[00442]
2	^{89}Sr	2.0E+8	服药室	丙级	治疗	成都欣科医药有限公司	川环辐证[00442]
3	^{131}I	8.8E+11	标记室	乙级	治疗	成都欣科医药有限公司	川环辐证[00442]
	^{131}I	5.0E+9	标记室	乙级	治疗	成都欣科医药有限公司	川环辐证[00442]
4	^{125}I (粒籽)	9.20E+10	服药室	丙级	治疗	成都同辐股份有限公司	川环辐证[00148]
5	^{32}P	0	服药室	丙级	治疗	自制	/
6	^{13}N	0	服药室	乙级	治疗	自制	/
7	^{18}F	1.1E+12	注射室	乙级	诊断	自制	/

表 1-7 四川省人民医院已获许可使用射线装置

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	工作场所	备注
1	回旋加速器	MINItrace	II	核医学	回旋加速器室	已有
2	医用电子直线加速器	TRILOGY	II	放疗	医用电子直线加速器治疗室 1	已有
3	医用电子直线加速器	True Beam	II	放疗	医用电子直线加速器治疗室 2	已有
4	DSA	Allura Xper FD10	II	放射诊断	DSA 检查室 1	已有
5	DSA	Artis Zee ceiling (大板)	II	放射诊断	DSA 检查室 2	已有
6	DSA	Xper FD20	II	放射诊断	DSA 检查室 3	已有
7	DSA	Artis Zee ceiling (小板)	II	放射诊断	DSA 检查室 4	已有
8	DSA	Artis Q Ceiling	II	放射诊断	DSA 检查室 5	已有
9	DSA	AlluraXper FD10	II	放射诊断	DSA 检查室 6	已有
10	DSA	Artis Q Ceiling	II	放射诊断	DSA 检查室 7	已有
11	DSA	Artis Q Ceiling	II	放射诊断	DSA 检查室 8	已有
12	DSA	Artis Q Ceiling	II	放射诊断	DSA 检查室 9	已有

13	DSA	Artis Q ceiling	II	放射诊断	城东院区门诊楼一楼 DSA 介入室	已有
14	DR	Digitai Diagnost VS	III	放射诊断	X 光摄影室 1	已有
15	DR	DRX-Innovation	III	放射诊断	X 光摄影室 2	已有
16	DR	DR-TH	III	放射诊断	X 光摄影室 3	已有
17	DR	AXIOM Aristos VXPlus	III	放射诊断	X 光摄影室 4	已有
18	DR	DR7500	III	放射诊断	X 光摄影室 5	已有
19	DR	Definium 6000	III	放射诊断	X 光摄影室 6	已有
20	DR	Definium 6000	III	放射诊断	X 光摄影室 7	已有
21	胃肠机	SONIALVISIO N C200	III	放射诊断	胃肠检查室	已有
22	DR	Selenia Dimensions	III	放射诊断	乳腺摄片室	已有
23	CT	SOMATOM Perspective	III	放射诊断	CT 扫描室 1	已有
24	CT	Optima CT680Expert	III	放射诊断	CT 扫描室 2	已有
25	双源 CT 机	Somatom Force	III	放射诊断	CT 检查室 3	已有
26	CT 机	Somatom Definition AS	III	放射诊断	CT 扫描室 4	已有
27	CT 机	SOMATOM Emotion 16	III	放射诊断	CT 检查室 7	已有
28	CT 机	Revolution CT	III	放射诊断	CT 检查室 8	已有
29	DR	MUX-100DJ	III	放射诊断	放射科	已有
30	DR	MUX-100DJ	III	放射诊断	放射科	已有
31	DR	DX-D 100	III	放射诊断	放射科	已有
32	DR	DX-D 100	III	放射诊断	外科 ICU	已有
33	移动 CT 检测车	ANATOM 64 Fit	III	放射诊断	发热门诊移动 CT 室	已有
34	移动数字 X 光 机 (DR)	MobiEye700	III	放射诊断	放射科移动 DR 存放 间	已有
34	移动 C 臂 X 光 机	Ziehm Vision FD Vario 3D	III	放射诊断	第三住院楼 6 层手术 室	已有
36	移动 C 臂 X 光 机	Brivo OEC 715	III	放射诊断	院本部第三住院楼 6 层 311 手术室	已有
37	移动 C 臂 X 光 机	SIREMOBIL COMPACT L	III	放射诊断	手术室第三住院楼 6 层手术室	已有
38	移动 C 臂 X 光 机	Brivo OEC 850	III	放射诊断	一环路西二段 32 号 第三住院楼 6 层 303 手术室	已有
39	移动 C 臂 X 光 机	ARCADIS Varic Gen2	III	放射诊断	第三住院楼 6 层手术 室	已有

40	移动 C 臂 X 光机	OEC 9900 Elite	III	放射诊断	第三住院楼 6 层手术室	已有
41	DR	Digital Diagnost VS	III	放射诊断	体检中心 DR 检查室 2	已有
42	CT	Ingenuity Core128	III	放射诊断	院本部体检中心院 CT 检查室 5	已有
43	CT	Ingenuity Cove 128	III	放射诊断	院本部体检中心院本部 CT 室 6	已有
44	CT	Optima CT620	III	放射诊断	第三住院大楼 3 层 (健康管理中心) CT 检查室 12	已有
45	X 光手指骨密度仪	Metri Scan	III	放射诊断	体检中心本部 1 层 X 光骨密度检查室 1	已有
46	X 光手指骨密度仪	Metri Scan	III	放射诊断	体检中心本部 2 层 X 光骨密度检查室 2	已有
47	X 光手指骨密度仪	Metri Scan	III	放射诊断	体检中心本部 2 层 X 光骨密度检查室 3	已有
48	X 光手指骨密度仪	Metri Scan	III	放射诊断	体检中心本部 3 层 X 光骨密度检查室 4	已有
49	PET/CT	Biograph mCT Flow 64-4R	III	核医学	PET/CT 检查室	已有
50	骨密度仪	Prodigy Advance	III	放射诊断	骨密度检测室 1	已有
51	骨密度仪	Lunar iDXA	III	放射诊断	骨密度检查室 2	已有
52	SPECT/CT	SYMBIA	III	放射诊断	ECT 机房 1	已有
53	CT 模拟定位机	SOMATOM Definition AS	III	放射诊断	CT 定位室	已有
54	CT 模拟定位机	Acuity	III	放射诊断	模拟定位室	已有
55	口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备	OP300-1	III	放射诊断	口腔照片室 1	已有
56	牙科 X 射线机	eXpert DC	III	放射诊断	口腔照片室 2	已有
57	口腔 X 射线数字化体层摄影设备	3D Accuitomo	III	放射诊断	口腔科口腔 CT	已有
58	体外冲击波碎石机	HK • ESWL-VI	III	放射诊断	碎石机室	已有
59	ERCP	EasyDiagnost Eleva	III	放射诊断	ERCP 室	已有
60	CT	MOCOOTO MCT-I	III	放射诊断	院本部移动 CT(神经外科 ICU)	已有
61	DR	DigitalDiagnost C90	III	放射诊断	老年医学中心门诊医技楼负 1 层 DR 检查	已有

					室 1	
62	DR	DigiEye 680P	III	放射诊断	老年医学中心门诊医技楼 1 层 DR 检查室 2	已有
63	CT	Somatom Force	III	放射诊断	老年医学中心门诊医技楼负一层 CT 检查室 13	已有
64	医用 X 射线治疗机	SRT-100	III	放射治疗	皮研所 X 射线治疗室	已有
65	CT	UTC780	III	放射诊断	温江院区 1 号楼 1 层 CT 室	已有
66	X 光手指骨密度仪	Metri Scan	III	放射诊断	草堂病区体检中心 1 层 X 光骨密度检查室	闲置
67	DR	新东方 1000FC 型	III	放射诊断	东院医技住院楼一楼放射科 DR 室 1	已有
68	CT	Aquilion TSX-101A	III	放射诊断	东院区发热门诊	已有
69	DR	MRAD-DSOSR ADREX	III	放射诊断	东院放射科 DR 室 2	已有
70	牙科 X 射线机	Intraos 70	III	放射诊断	东院门诊三楼口腔科牙片室	已有
71	口腔 X 射线计算机体层摄影系统	Implagraphy	III	放射诊断	东院门诊三楼口腔科全景机室	已有
72	体外冲击波碎石机	HK • ESWL-VI	III	放射诊断	东院体外冲击波碎石机室	已有
73	CT	SOMATOM Defintion Edge	III	放射诊断	东院 CT 室 2	已有
74	数字化医用 X 射线摄影系统	Digi Eyeo680T	III	放射诊断	东院体检中心 DR 室	已有
75	X 射线骨密度仪	Metri Scan	III	放射诊断	东院行政楼二楼体检中心骨密度室	已有
76	移动式平板 C 形臂 X 射线机	PLX118WF-B	III	放射诊断	东院住院楼 15 楼第七手术室	已有
77	数字移动 C 形臂 X 射线机	PLX7100A	III	放射诊断	东院住院楼 15 楼第六手术室	已有
78	CT	SOMATOM go.Fit	III	放射诊断	东院区医技住院楼一楼放射科 CT 室 1	已有
79	DR	DR3500	III	放射诊断	移交国资办统一处理	已去功能化
80	DR	Definium 6000	III	放射诊断	移交国资办统一处理	已去功能化
81	CT	LIGHTSPEED VCT	III	放射诊断	移交国资办统一处理	已去功能化

82	DSA	Innova 3100IQ	II	放射诊断	移交国资办统一处理	已去功能化
----	-----	---------------	----	------	-----------	-------

（二）原有核技术利用情况

医院目前已获许可使用射线装置共计82台，其中在用射线装置共77台，闲置1台，报废4台。医院现有核技术利用情况如下：在用Ⅱ类射线装置13台、Ⅲ类射线装置64台；Ⅱ类放射源⁶⁰Co25枚；Ⅴ类放射源⁶⁸Ge3枚；生产核素¹⁸F；使用核素：¹⁸F、⁹⁹Tc、⁸⁹Sr、¹³¹I、³²P、¹³N、¹²⁵I；辐射工作场所共14个，分别为：放射科、核医学科、肿瘤科、PET/CT中心、手术室、体检中心、介入中心、草堂病区（老年医学中心）、城东病区（东院）、皮研所、伽玛刀中心、口腔科、碎石中心，新增温江精医中心；医院均按照要求履行了环保手续。

医院应定期检查《辐射安全许可证》及全国核技术利用辐射安全申报系统中台账，确保在用种类、台账数量与实际使用射线装置、放射源、非密封放射性物质等一致。医院应按照相关要求，对原有待报废射线装置进行去功能化，及时到四川省生态环境厅办理相关手续。

（三）原有辐射工作场所监测

2022年度，医院已委托了四川中环康源卫生技术服务有限公司对全院辐射工作场所进行了年度监测，根据四川中环康源卫生技术服务有限公司提供的全院年度监测报告CDZH（环）-2022-F0308可知：全院射线装置工作场所及核医学工作场所监测结果均低于GB18871-2002)规定的职业照射有效剂量20mSv的限值和5mSv的剂量管理约束值；也低于（GB18871-2002）规定的公众照射有效剂量1mSv的限值和0.1mSv的剂量管理约束值；核医学科(回旋加速器、PECT)乙级非密封源工作场所β放射性活度均低于国家标准GB18871-2002规定监督区的表面污染控制水平4Bq/cm²、控制区的表面污染控制水平40Bq/cm²

同时医院配备有便携式辐射剂量监测仪和α、β表面污染监测仪，不定期对辐射工作场所进行监测。

（四）职业健康体检及个人剂量检测情况

建设单位登记在册的辐射工作人员共570名，建设单位对于所有入职、在职和离职人员均组织了岗前、在岗和离岗职业健康体检并建档管理，目前在岗的辐射工作人

员的职业健康体检结果均合格。

医院委托四川蓝瑞鑫卫生检测技术服务有限公司对全院辐射工作人员个人剂量进行监测，提供了 2022.07.01~2023.06.30 的个人剂量年度检测报告：SCLRX（放）J202300948AA、SCLRX（放）J202300948AB、SCLRX（放）J202300948BA、SCLRX（放）J202300948BB，根据检测报告可知，本年度辐射工作人员年剂量值均未超过 5mSv，单季度个人剂量均未超过 1.25mSv。

（五）辐射工作人员培训情况

四川省医学科学院·四川省人民医院严格按照国家相关规定执行辐射工作人员持证上岗制度。医院现有登记在册的辐射工作人员共570人（含城东、草堂、皮研所、省精神卫生中心），分别为：X 影像诊断300人，核医学27人，放射治疗67人，放射介入176人。全院在岗从事Ⅲ射线装置使用和操作人员均由医院自行组织其进行了辐射安全防护知识复训或学习，并考试合格；从事放疗、核医学以及操作Ⅱ类射线装置的放射工作人员均按要求报名参加了考试并取得了合格证，对于医院在岗辐射工作人员，医院均按要求确保其持证上岗。

（六）年度评估报告

依据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条“生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告”。建设单位已编制《2022年度四川省核技术利用单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》并上交发证机关（已按时登录全国核技术利用辐射安全申报系统 <http://rr.mee.gov.cn/rsmsreq/login.jsp> 在单位信息维护界面完成了年度报告上传工作）。

现医院辐射安全管理情况如下：

- （1）现单位名称、地址，法人代表未发生改变；
- （2）辐射安全许可证所规定的活动种类和范围未发生改变；
- （3）辐射防护与设施运行、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、辐射应急处理措施均满足相应规定要求；
- （4）医院自从事放射诊疗和放射治疗工作以来，严格按照国家法律法规进行管理，没有发生过辐射安全事故；

（七）辐射管理规章制度执行情况

根据相关文件的规定，结合医院实际情况，医院已调整了辐射（放射）安全管理委员会，并制定有相对完善的管理制度，包括《辐射工作场所安全管理要求》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射安全和防护设施维护维修制度》、《放射源与射线装置台账管理制度》、《场所分区管理规定》、《辐射工作人员培训计划》、《辐射工作设备操作规程》、《辐射工作人员个人剂量管理制度》、《辐射事故处理、应急处置规章制度》、《辐射工作场所和环境辐射水平监测方案》等。建设单位辐射安全管理机构健全，有领导分管，人员落实，责任明确，在落实辐射事故应急预案与安全规章制度后，可满足防护实际需要。对现有场所而言，建设单位也已具备辐射安全管理的综合能力。医院应严格落实台账管理制度，对本次项目建设内容补充完善，并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。

综上所述，四川省人民医院不存在原有辐射环境问题。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 4 射线装置

(一) 直线加速器，包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型直线加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	X 射线最大能量 (MV)	额定管电流 (mA)/剂量率 (Gy/min)	用途	工作场所	备注
1	直线加速器	II类	2 台	待定	电子	X 射线最大能量 10MV，电子束最大能量为 22MeV。	X 射线治疗时 1m 处最大剂量率 24Gy/min，电子束治疗时，1m 处剂量率为 10Gy/min。	肿瘤治疗	综合科研大楼东南侧放疗中心直线加速器机房 ①/②	拟购
2	射波刀	II类	1 台	待定	X 射线	X 射线最大能量为 6MV	0.8m 处最高剂量率为 10Gy/min，无电子线	肿瘤治疗	综合科研大楼东南侧放疗中心射波刀机房	拟购

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	术中放射治疗仪	II类	1 台	待定	50	0.04	术中放射治疗	综合科研大楼 11 层手术中心术中放疗手术室	拟购
2	DSA	II类	16 台	待定	150	1250	诊断治疗	综合科研大楼 7、11 层手术中心 DSA 机房 1~14，复合手术室 1~2	拟购
3	移动 CT	III 类	2 台	待定	150	1000	诊断	综合科研大楼 7、11 层复合手术室 1~2	拟购

(三) 中子发生器, 包括中子管, 但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物 (重点是放射性废弃物)

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	少量	经专用通排风系统过滤后排放	排向大气环境
废靶件	固态	/	/	/	/	/	不暂存	交由有废靶件收贮资质的单位回收处置
医疗废物	固态	/	/	/	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	/	先转运至综合科研大楼负 1 层医疗垃圾暂存处暂存, 再定期运至医院医废暂存间 1 或医废暂存间 2	委托有资质单位定期处置
生活垃圾	固态	/	/	少量	少量	/	不暂存	由医院进行统一收集后, 交由市政环卫部门统一清运
医疗废水、生活废水	液态	/	/	少量	/	/	不暂存	依托医院污水处理站处理达标后排入市政污水管网

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

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

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日实施； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日第二次修订； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日实施； (4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日实施； (5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（生态环境部 部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行）； (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院第 449 号令，根据 2019 年 3 月 2 日《国务院关于修改部分行政法规的决定》第二次修订； (7) 《四川省辐射污染防治条例》，四川省第十二届人民代表大会常务委员会公告第 63 号，2016 年 6 月 1 日实施； (8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（中华人民共和国环境保护部令第 31 号，2021 年 1 月 4 日修订）； (9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起实施； (10) 《射线装置分类》（原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号）； (11) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，环发[2006]145 号，原国家环境保护总局、公安部、卫生部文件，2006 年 9 月 26 日； (12)《关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知》，(环发[2012]77 号)，原环境保护部文件，2012 年 7 月 3 日； (13) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》生态环境部公告 公告 2019 年第 57 号； (14) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》生态环境部公告 公告 2021 年 9 号。
技术	(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

标准	容与格式》（HJ10.1—2016）； （2）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （3）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； （4）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； （5）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）； （6）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）； （7）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）； （8）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； （9）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）； （10）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； （11）《电子辐射工程技术规范》（GB50752-2012）； （12）《放射工作人员健康要求及监护规范》（GBZ 98—2020）； （13）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）。
其他	（1）环评委托书； （2）医院提供的相关资料； （3）《核技术利用辐射安全和防护监督检查大纲》生态环境部（国家核安全局）； （4）《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400号）。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据本项目医用射线装置的特点和应用内容，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）1.5 评价范围和保护目标的要求：射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围，故本项目以直线加速器机房、射波刀机房、DSA 机房、复合手术室、术中放疗手术室建筑实体边界外 50m 区域作为辐射环境影响评价范围。

保护目标

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

表 7-1 本项目环境保护目标一览表

保护目标及相对位置	相对方位	照射类型	与辐射源距离(m)	人数(人/d)	剂量约束值(mSv/a)
放疗中心（直线加速器、射波刀）					
直线加速器①控制室、水冷机房内工作人员	东侧	职业	*	10	5.0
直线加速器②控制室、水冷机房内工作人员	西侧	职业	*	10	5.0
射波刀水冷机房、控制室内工作人员	西侧	职业	*	16	5.0
放疗计划室、学术讨论室内工作人员	北侧	公众	*	30	0.1
医师办公、卫生间的工作人员	北侧	公众	*	30	0.1
放疗中心候诊区、电梯、过道、楼梯、新风机房的公众	北侧	公众	*	100	0.1
放疗中心茶歇、值班室、更淋室、污存、洁具间的公众	西侧	公众	*	50	0.1
放疗中心上方非机动车停车位的公众	上方	公众	*	300	0.1
综合科研大楼 7 层（DSA）					
DSA 机房内医师	机房内	职业	*	2	5.0
DSA 机房内护士		职业	*	2	5.0
DSA 机房控制室工作人员	机房周围	职业	*	5	5.0
DSA 机房设备间工作人员		公众	*	5	0.1
7 层手术中心污物通道的公众		公众	*	30	0.1
7 层手术中心缓冲、医废、更衣、后处理间的工作人员		公众	*	100	0.1
7 层手术中心电梯、手术走廊、楼梯、		公众	*	400	0.1

库房、卫浴、护士站等公众					
6 层手术办公及麻醉科的公众	正下方	公众	*	400	0.1
8 层手术中心的公众	正上方	公众	*	100	0.1
综合科研大楼 11 层 (DSA、术中放疗)					
DSA 机房内医师	机房内	职业	*	2	5.0
DSA 机房内护士		职业	*	2	5.0
DSA 机房控制室工作人员	周围	职业	*	5	5.0
DSA 设备间的工作人员	周围	公众	*	5	0.1
MRI 室、恢复区的公众	北侧	公众	*	30	0.1
11 层手术中心污物通道的公众	周围	公众	*	20	0.1
11 层手术中心北半部微创及普通手术区域的工作人员	北侧	公众	*	200	0.1
11 层手术中心电梯、手术走廊、楼梯、库房、卫浴等公众	东侧	公众	*	300	0.1
术中放疗控制室的工作人员	北侧	职业	*	4	5.0
污物暂存、器械预清洗、缓冲、洁具的工作人员	西侧	公众	*	20	0.1
10 层手术中心净化、新风机房的公众	正下方	公众	*	10	0.1
12 层 ICU 病房、走廊的公众	正上方	公众	*	100	0.1
院内 50m 评价范围内					
综合科研大楼内的公众	/	公众	*	1000	0.1
第三住院大楼内的公众	南侧	公众	*	3000	0.1
急救中心内的公众	东侧	公众	*	2000	0.1
第二住院大楼内的公众	东侧	公众	*	3000	0.1
门诊部的公众	东侧	公众	*	3000	0.1
医技楼的公众	东侧	公众	*	2000	0.1
后勤保障部内的公众	西侧	公众	*	50	0.1
锅炉房内的公众	西侧	公众	*	30	0.1
燃气站内的公众	南侧	公众	*	20	0.1
洗消中心	西侧	公众	*	20	0.1
院内绿化、道路	北侧	公众	*	1000	0.1
院外 50m 评价范围内					
浣花北路 26 号院 1 号楼内的公众	西侧	公众	*	300	0.1
摸底河岸道路及桥面上的公众	北侧	公众	*	200	0.1

评价标准

一、环境质量及污染物排放的执行标准

(一) 环境质量控制标准

- 1、环境空气质量执行国家《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中二级标准;
- 2、声环境质量执行国家《声环境质量标准》(GB3096-2008)中 2 类声功能区环境噪声限值;
- 3、地表水环境质量执行国家《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中Ⅲ类标准。

（二）污染物排放标准

- 1、废气执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）二级标准；
- 2、医疗废水排放执行《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 中的预处理排放标准；
- 3、噪声执行 ①施工期：《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）标准；②运营期：《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中 2 类区域标准；
- 4、医疗废物执行《医疗废物处理处置污染控制标准》（GB39707-2020）。

二、辐射环境影响评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

工作人员职业射和公众照射剂量限值

对象	要求
职业照射剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯平均），20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv ③四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv
公众照射剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%-30%（即 0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内。

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制

控制区：注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

监督区：注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

2、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198--2021）；

3、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；

4、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；

5、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）；

6、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）。

三、电离辐射剂量限值和剂量约束值

（一）剂量限值和剂量约束值

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

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

本评价按上述标准中规定的职业照射年平均有效剂量的 1/4 执行，即 5mSv；四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量约束限值为 125mSv；公众照射按照标准中规定的年有效剂量的 1/10 执行，即 0.1mSv。

（二）放射工作场所边界周围剂量率控制水平

1、放射治疗机房：

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

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

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

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

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

b) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}(\mu\text{Sv/h})$ ：

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

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

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

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

2、X 射线诊断装置机房：

参照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）有关规定：在距离本项目 DSA 机房及 DSA 复合手术室屏蔽体外表面 30cm 处，周围控制目标辐射剂量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

四、臭氧浓度限值

根据《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）室内臭氧符合最高允许浓度 0.16mg/m^3 的要求；根据《环境空气质量标准》（GB3095—2012）室外臭氧小时平均浓度符合二级标准（ 0.20mg/m^3 ）的要求。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、本项目地理位置、布局和周边环境

本项目位于成都市青羊区一环路西2段32号四川省人民医院本部院内，院外周边主要为住宅区、写字楼、街边商铺，根据现场踏勘，本项目外环境关系如下：

放疗中心：本项目放疗中心拟建于综合科研大楼东南侧，为独立的地下负一层建筑，包含 2 间直线加速器机房、1 间射波刀机房及配套用房，总面积约 2000m²，以放疗中心机房实体屏蔽为边界，50m 评价范围均位于院内：东侧为急救中心（10m）；西侧为第三住院大楼（18m）、燃气站（48m）；南侧为第三住院大楼（14m）；北侧为第二住院大楼（9m）、门诊部（30m）；西北侧为综合科研大楼（44m）；正上方为非机动车停车位；正下方为岩土层。

手术中心：本项目手术中心 DSA/术中放疗拟建于综合科研大楼 7、11 层，以手术中心机房实体屏蔽为边界，取保护目标距离辐射工作场所最近距离，50m 评价范围内：东侧依次为医技楼（30m）、第二住院大楼（29m）；南侧依次为第三住院大楼（21m）、燃气站（41m）；北侧为摸底河（30m）以及院内规划道路和绿化；西侧为锅炉房（27m）、洗消中心（34m）、后勤管理用房（35m）、院外浣花北路 26 号院 1 号楼（40m）；7 层手术中心机房正上方 8F 均为手术中心手术室，正下方 6F 为手麻、手术办公室；11 层手术中心机房正上方 12F 均为 ICU 病房，正下方 10F 为净化机房、新风机房。

项目建设位置及四周现状照片如下：



本项目所在综合科研大楼拟建地现状



放疗中心拟建位置现状



本项目西侧后勤保障中心



本项目西南侧锅炉房、燃气站



本项目东侧医技、第二住院大楼



本项目放疗中心北侧第二住院大楼前绿地



本项目西北侧院内边界



本项目南侧第三住院大楼

图 8-1 项目建设区域现状图

二、辐射环境现状监测及评价

本项目主要污染因子为电离辐射，对环境空气、地表水及地下水影响较小，因此本次评价没有对区域环境空气质量、土壤、地表水和地下水环境质量等进行监测评价，

重点对评价区域开展了辐射环境现状监测评价。

为掌握项目所在地的辐射环境现状，本次评价过程中，四川同佳环保科技有限公司委托四川省永坤环境监测有限公司于2023年9月28日对四川省人民医院综合科研大楼新增射线装置应用项目拟建场所及周边进行了X-γ辐射环境剂量率的布点监测，具体可见附件7。其监测项目、分析方法及来源见表8-1。

表 8-1 监测项目、方法及方法来源表

监测项目	监测方法	方法来源
X-γ辐射剂量率	《环境γ辐射剂量率测量技术规范》	HJ 1157-2021
	《辐射环境监测技术规范》	HJ 61-2021

监测使用仪器及环境条件见表8-2。

表 8-2 监测使用仪器表

监测项目	监测设备			使用环境
	名称及编号	技术指标	检定情况	
环境X-γ辐射剂量率	RJ32-3602型分体式多功能辐射剂量率仪 编号：YKJC/YQ-40	1nGy/h~1.2mGy/h 20keV~3.0MeV	检定/校准单位： 中国测试技术研究院 证书编号：202210005087 检定/校准有效期： 2022.10.24~2023.10.23 校准因子：1.06（校准源： 137Cs）	天气：晴 温度： 23.2~ 23.9℃ 湿度： 51.4~54.6%

三、质量保证

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

四川省永坤环境监测有限公司质量管理体系：

（1）计量认证

从事监测的单位四川省永坤环境监测有限公司通过了原四川省质量技术监督局的计量认证（计量认证号：182312050067），有效期至2024年1月28日。

（2）仪器设备管理

①管理与标准化；②计量器具的标准化；③计量器具、仪器设备的检定。

（3）记录与报告

①数据记录制度；②报告质量控制。监测人员均经具有相应资质的部门培训，考

核合格持证上岗。

四、环境现状监测与评价

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

根据本项目平面布置和医院外环境关系，为了解本项目所在区域的背景值，本次选择在拟建综合科研大楼、放疗中心位置地面上方及周围布设监测点位，以便反应机房所在位置及周围敏感点所在位置的辐射环境现状，其监测点位布设合理。X- γ 辐射剂量率具体监测点位布设见表 8-3。

具体监测结果如下所述：

表 8-3 辐射工作场所 X- γ 辐射剂量率监测结果 单位：nGy/h

点位	监测位置	环境 X- γ 辐射剂量率		备注
		测量值	标准差	
1	拟建综合科研大楼地面	*	*	室外
2	拟建综合科研大楼北侧空地	*	*	室外
3	拟建综合科研大楼东北侧空地	*	*	室外
4	拟建综合科研大楼东侧医技楼旁	*	*	室外
5	拟建放疗科北侧第二住院大楼旁	*	*	室外
6	拟建放疗中心地面	*	*	室外
7	拟建综合科研大楼南侧第三住院大楼旁	*	*	室外
8	拟建综合科研大楼西南侧锅炉房	*	*	室外
9	拟建综合科研大楼西侧后勤保障部	*	*	室外
10	青羊区浣花北路 26 号院 1 号楼旁	*	*	室外

注：以上监测数据均未扣除监测仪器宇宙射线响应值。

由表 8-3 可知，本项目所在区域的 X- γ 辐射空气吸收剂量率背景值为 82nGy/h~92nGy/h，与中华人民共和国生态环境部《2022 年全国辐射环境质量报告》中四川省环境电离辐射水平（61.9~151.8nGy/h）基本一致，属于当地正常天然本底辐射水平。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、施工期工艺分析

(一) 施工流程及产污环节

本项目辐射工作场所施工期土建工程属于四川省医学科学院·四川省人民医院综合科研大楼建设项目建设内容之一，其土建施工期环境影响包含在的《四川省医学科学院·四川省人民医院综合科研大楼建设项目环境影响报告表》（成青环审【2022】10号）中。

本项目辐射工作场所还需进行机房四周轻质墙体搭建、场所装修、设备安装、管线敷设、铅玻璃窗、铅防护门及其他防护设施的安裝，施工期将产生少量扬尘、噪声、生活污水及固体废物。施工期工艺流程及污染物主要产生环节见图9-1。

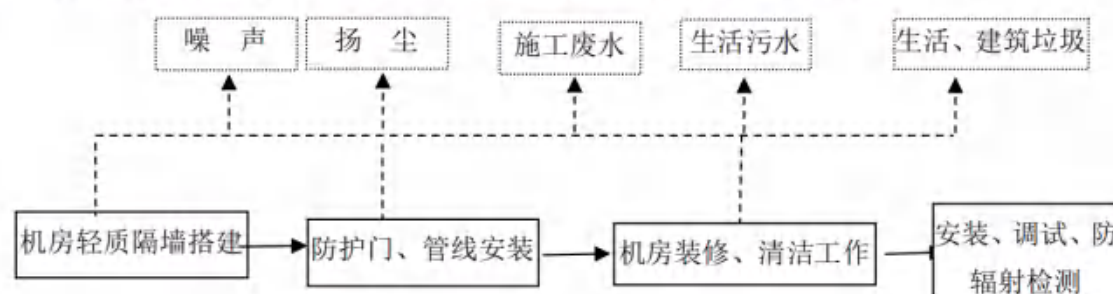


图 9-1 施工期工艺流程及污染物产生环节图

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ201.1-2007）中相关要求，本项目放疗中心加速器机房、射波刀机房在施工期严格按照施工规范进行施工：机房的混凝土浇筑一次整体浇筑并有充分的振捣，以防出现裂缝和过大的气孔，混凝土强度等级应不低于 C50、S8；防护门宽于门洞的部分应大于“门—墙”间隙的十倍，并预留防护门下沉沟槽；不在主屏蔽墙处设穿墙管线，穿过加速器、射波刀机房屏蔽墙的各种管道和电缆线弯成 S 形或 U 形；机房内进风口和排风口应对角线布置。

(二) 设备安装期

1、扬尘

施工过程中产生的扬尘，主要是装修过程中产生的扬尘，属于无组织排放，在主

体墙体粉刷装饰后，设备安装及管线敷设过程中几乎不产生扬尘。

2、噪声

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

3、固体废物

固体废物主要为装修和设备安装过程中产生建筑弃渣、废砂石、废木料、废纸皮和施工人员产生的生活垃圾。其中建筑垃圾由施工单位集中分类收集，运送到指定的建筑垃圾堆放场；生活垃圾依托医院收集系统收集，由环卫部门定期统一清运至垃圾中转站；包装垃圾通过集中分类收集，由废品回收站回收。

4、废水

本项目施工期废水主要为施工人员的生活污水，生活污水排入医院原有污水处理站，处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表2中要求后排入市政污水管网，最终排放至成都市第九净水厂处理达标后排放至锦江。

（三）设备安装调试期间

本项目在设备安装调试阶段会产生X射线、电子线，造成一定电离辐射影响。此外，设备安装调试完后，现场会有少量的废包装材料产生。

本项目拟购的DSA、直线加速器、射波刀、术中放射治疗仪等设备的运输、安装和调试均由设备厂家专业人员进行操作。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》

（HJ1198-2021），在设备运输、安装、调试过程中，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，在运输设备和机房外设立辐射警告标志，禁止无关人员靠近；在设备的调试和维修过程中，射线开关钥匙应安排专人看管，或由维修操作人员随身携带，并在机房入口等关键处设置醒目的警示牌；加速器、射波刀、术中放射治疗仪试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试；人员离开时运输设备的车辆和治疗室上锁并派人看守。

二、运营期

（一）放疗中心

1、直线加速器工艺分析

(1) 设备组成及工作原理

直线加速器是一种利用高频电磁波将电子等带电粒子通过加速管加速到高能装置。高能电子束本身可以用于治疗浅表肿瘤，也可以使其击中 X 线靶产生 X 射线，用于治疗深层肿瘤，其治疗机理是根据肿瘤的不同情况通过模拟定位，采用 X 射线束（深部治疗）进行照射，使细胞分裂和代谢遭到破坏，杀死或者抑制细胞的繁殖生长，从而达到治疗的目的。

物理师对肿瘤病人治疗计划设计时，严格按照相关标准，为病人的正常组织和医务人员的受照剂量进行计算-复核-模拟检测-实施中监测和健康监护等，并做好照射记录。根据病灶位置与性质及目的不同，给予的照射总剂量有所不同；治疗方法不同，给予的每野次剂量亦不同。

本项目拟购的直线加速器主要由加速管、微波功率源、微波传输系统、电子枪、束流系统、真空系统、恒温水冷却系统、电源、控制系统、照射头、CBCT 和治疗床等组成。加速管是医用电子直线加速器的核心部分，电子在加速管内通过微波电场加速，电子枪提供被加速的电子。束流系统由偏转线圈和聚焦线圈组成。恒温水冷却系统带走微波源等发热部件产生的热量。为保证整个系统恒温，恒温水冷却系统需要一定的水流压力和流量。

由于物理师在进行每一次治疗时的摆位状态和分次治疗时病人病灶位置的变化，如呼吸运动、膀胱充盈、小肠蠕动、胸腹水和肿瘤的增大或缩小等引起的位置差异，使得摆位误差仍可能有数毫米，甚至更大，在适形和调强放疗中更为明显。本项目直线加速器在治疗机头两侧安装了 X 射线管以及平板探测器（机载 CBCT），每次放射治疗前，X 射线管和探测板围绕人体一周扫描，经过计算机处理重建后，得到肿瘤靶区及周围一定体积三个不同位置（冠状位、矢状位，横断位）的影像（三维图像），与治疗计划图像对比，如果发现有误差，即调整患者位置使肿瘤靶回到治疗计划位置，让照射野仅仅“追随”靶区，进一步提高了射线照射的精确性，实现了影像学指导的放疗。加速器 CBCT 与诊断 CT 不同，属于锥形束 CT，与直线加速器组合成一体，进行在线位置验证。其结构图见下图 9-2，具体参数见表 9-1



图9-2 医用直线加速器结构图

(2) 设备参数

本项目拟配置 10MV 直线加速器 2 台，均属Ⅱ类射线装置，其具体参数见表 9-1。

表 9-1 10MV 医用直线加速器参数一览表



(3) 项目流程及产污环节

直线加速器治疗流程为：病人进行放射治疗的确诊并向患者告知可能受到辐射危害→职业人员佩戴个人剂量计，携带个人剂量报警仪→模拟定位（依托院本部原肿瘤放疗中心既有的模拟定位机）进行定位、体表标记→制定治疗计划、确定照射位置和剂量→物理师对治疗计划进行质控→病人进入加速器机房摆位→CBCT 扫描，将 CBCT 图像与模拟定位图像配准，确定最终照射位置→校准照射位置和剂量→关闭屏蔽门并开启安全联锁→加速器出束治疗、实施治疗→治疗完毕。本项目所使用的直线加速器治疗流程及产污位置见图 9-3。



图 9-3 10MV 直线加速器治疗流程及产污环节示意图

通过分析可知，产污环节为：模拟定位时产生的 X 射线和臭氧，CBCT 照射位置校准过程中扫描产生的 X 射线、加速器质控及治疗过程中产生的 X 射线、电子线、臭氧以及风机、水冷机房水泵产生的噪声。

(4) 工作负荷

根据医院提供资料，直线加速器单台设备年诊疗人数最多 300 人，每人最多治疗 25 野次，每野次最多出束 3min，则年最大治疗出束时间约 375h；每位患者在放疗实施前，物理师会预先对加速器进行质控，每次质控出束时间最多约 5min，则年最大质控出束时间约 25h；综上，单台设备年总出束时间最大约 400h。CBCT 最大管电压 150kV，管电流 1000mA，平均每人治疗周期内需要 CBCT 成像 7 次，每次扫描时间最大 60s，年出束时间最大为 35h/台。

2、射波刀工艺分析

(1) 设备组成及工作原理

射波刀是全球最新型的全身立体定位放射外科治疗设备，它可治疗全身各部位的肿瘤，只需 1~5 次的照射，即可杀死肿瘤组织，是唯一综合"无伤口、无痛苦、无流血、无麻醉、恢复期短"等优势的全身放射手术形式。射波刀集影像引导系统和高准确性的治疗系统于一身，将一个 6MV 的 X 射线的轻型电子直线加速器安放在一个有 6 个自由度的机械臂上，利用机械臂的全向投照能力对肿瘤进行精确地、非共面和多中心的放射治疗。射波刀是全球唯一整合最先进的机器人技术和智能影像实时监控、追踪系统的放射治疗系统，尤其擅长对颅内肿瘤进行立体定向放射治疗、对运动器官进行追踪治疗。

射波刀结构组成包括：

(1) 直线加速器(Linear accelerator): 射波刀使用一个紧凑型、能产生 6MV 的 X 射线轻型直线加速器，直线加速器安装在由机器人控制的机械臂上。

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

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

(4) 靶区定位(影像)追踪系统(target localization system): 与传统放射外科使用立体定向架固定患者头部以确保射线精确投照不同，射波刀使用人体骨骼结构作为参考框架，颅内病灶与颅骨之间产生固定的对应关系。靶区定位(影像)追踪系统是利用天花板上安装的两组诊断 X 射线球管和安装于地板平面下的影像探测器组成。两组 X 射线球管发出的低能 X 线相互垂直，交叉穿过头颅(或患者肿瘤的治疗部位)，影像探测器获得颅骨的数字图像，并将影像资料传输到数据处理系统(image processing system, IPS)，计算机与事先 CT 扫描获得的颅骨数字重建图像(DDR)相比较，首先确定颅骨的精确位置，然后得出治疗靶目标(病灶)的精确位置。

(5) 治疗计划系统：治疗计划系统由计算机工作站和Multiplan治疗计划软件组成。病人治疗前，先作CT和MRI定位，将定位影像传输到计算机内。医师先勾画出计划治疗的肿瘤和重要器官，然后设置中心点，最后选择准直器并给出肿瘤和重要器官的剂量要求，计算机能自动设计一个满足设定条件、适形满意、剂量分布均匀、照射范围与肿瘤形状几乎吻合的治疗计划。

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

(7) 计算机网络集成与控制系统：射波刀拥有一个计算机工作站(SGI)，SGI 计算机通过网络控制机器人机械臂、控制直线加速器何时投照射线、治疗床的移动和治疗靶区位置的追踪。此外，治疗时获得的骨骼图像与定位图像的自动比对均在 SGI 计算机掌控下自动进行。

射波刀外形结构示意图如下图 9-4 所示、出束治疗示意图如图 9-5 所示。



图 9-4 射波刀外形结构实物示意图



图 9-5 射波刀出束治疗示意图

(2) 设备参数

本项目拟配备一套 X 射线立体定向放射外科治疗系统（射波刀），属 II 类射线装置，其具体参数见下表 9-2。

表 9-2 射波刀参数一览表



(3) 项目流程及产污染环节

射波刀运行期间的工艺流程和产污环节如图 9-6 所示，其具体治疗流程如下：

①患者预约：当病人被确诊需要进行射波刀放射治疗后，主治医师对患者进行预约登记并向其告知可能受到辐射危害。

②进行定位：预约病人首先通过模拟定位 CT（依托院本部原肿瘤/放疗中心既有的模拟定位机）进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状。

③制订治疗计划：根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。

④质控：每位患者放疗实施前，物理师都会预先位于控制室内对射波刀和质控设备验证一遍，确保每一个患者接受精准的放射治疗。

⑤靶区定位：患者平卧并固定在治疗床上，医务人员退出机房，关闭好防护门。影像引导系统采集靶区的实时影像，并与治疗计划系统的治疗影像进行比对，找到靶区方位误差。工作人员通过电脑操作，移动治疗床，使实时影像与治疗影像完全拟合；

⑥启动治疗：机械臂将直线加速器旋转到初始坐标位，然后按照程序将加速器围绕着患者旋转到预定节点。直线加速器每到一个节点，机械臂停止运动，此时靶区定位追踪系统立刻获得新的靶区影像，计算机确认目前的靶区影像与治疗开始时影像完全一致。如果病人靶区有轻微的移动，靶区定位追踪系统立刻计算出移动造成的偏差，并将此偏差传输到机器人机械臂，机械臂微调加速器的方位或射线的入射角度，最后加速器将所需的剂量精确投射到病灶内。如果患者的移动超过计算机自动调整的范围，治疗会紧急暂停 (E-stop)。加速器每到一个预定节点，将重复上述影像实时验证步骤。

⑦治疗结束：加速器完成治疗，机器人回到停车位。工作人员打开防护门护理人员将病人送出治疗室。



图 9-6 射波刀治疗流程及产污环节示意图

通过分析可知，产污环节为：模拟定位时产生的 X 射线和臭氧，X 射线发生器影像引导校准、射波刀质控及治疗过程中产生的 X 射线、臭氧以及风机、水冷机房水泵产生的噪声。

（4）工作负荷

根据医院提供资料，射波刀年诊疗人数最多300人，每人最多治疗20野次，每野次最多出束3min，则年最大治疗出束时间约300h；每位患者在放疗实施前，物理师会预先对射波刀进行质控，每次质控出束时间最多约5min，则年最大质控出束时间约25h；综上，单台射波刀年总出束时间最大约325h。射波刀自带的 X 射线发生器进行图像引导时，每人平均治疗4次/疗程，每疗程扫描5~10秒，年最大诊疗人数300人，则年出束时间最大约为3.33h。

3、放疗中心医护人员和病人路径分析

医护人员路径：辐射工作人员先依托位于肿瘤放疗中心的模拟定位机，协助患者进行模拟定位工作。模拟定位完成后，职业人员通过西北侧的医用电梯到达负一层，然后由候诊区经医护入口自北向南沿医护专用通道直行后再向东经缓冲区域后分别进入直线加速器机房或射波刀机房内协助患者进行摆位，摆位后再分别进入各自的控制室，待患者治疗完毕后，离开工作区域，原路径返回。

患者路径：患者根据安排的时间先进入 CT 模拟定位室进行体表标记，标记完成后，进入直线加速器机房或射波刀机房，根据指定的治疗计划和方案进行出束治疗，治疗完毕后离开机房，乘电梯离开治疗区域，具体分流图可见下图 9-7。



图9-7 本项目放疗中心直线加速器及射波刀医护人员和患者路径图

（二）手术中心

医院拟在综合科研大楼7、11层设置 DSA 机房1~14、DSA 复合手术室1~2，在每间机房内分别使用1台 DSA，共涉及使用16台 DSA，其中 DSA 复合手术室1由 DSA+移动 CT 组成双复合手术，DSA 复合手术室2由 DSA+移动 CT+MRI 组成多复合手术；在11层介入中心区域最南侧设置1间术中放疗手术室，并在手术室内使用一台术中放射治疗仪。

1、术中放疗工艺分析

（1）设备组成

本项目拟配备的术中放射治疗仪为移动式设备，用于全身各部位肿瘤的术中放疗，便于监管和使用，本设备仅在综合科研大楼11层南侧术中放疗手术室内使用，该

手术室作为本项目设备专用手术室，不再作为其他类型手术使用。

该设备可用于全身各部位肿瘤的术中放疗，采用 KV 级 X 射线，剂量输出各向同性，放射剂量精准，确保肿瘤及瘤床高剂量，周围正常组织低剂量。射线能量低，可以尽可能安全有效地降低患者及手术人员的有害辐射。

该系统的外观示意图详见图9-8，该系统的治疗过程示意图详见图9-9。



图 9-8 术中放射治疗仪示意图



图 9-9 术中放射治疗过程示意图

术中放射治疗仪由 X 射线源、控制平台、支持承载系统、质量保证系统、各种施用器和其他附件组成。

①射线源：产生 $\leq 50\text{kV}$ 低能 X 射线，其内部结构示意图如图9-10所示。



图 9-10 术中放射治疗装置微型加速器结构示意图

②控制平台：指导用户安全快捷地执行治疗方案，监控和保证治疗剂量和过程的准确无误。

③支持承载系统：通过电磁耦合机械臂将辐射源精准地锁定在治疗位置，并可方便移动。

④质量保证系统：包括高精度水假体和电离室，用于调试能量和剂量率分布独立验证。

⑤施用器：包括球型施用器、针型施用器、平板施用器等多种施用器，可用于不同部位肿瘤的放疗。具体如图9-11 所示。



图 9-11 术中放射治疗各种施用示意图

(2) 工作原理

X 射线源由其阴极发射的电子经 40kV、50kV 两档能量选择的电压加速，通过束

流偏转系统的控制形成高速电子流打在金靶上，产生最高能量 50kV 的 X 射线，这个过程由内部监控系统进行反馈并可调。产生 X 射线的靶端根据治疗需要可连接各种规格的施用器。常用为球形施用器，其上半圆部分为金属钨，可将 X 射线遮挡以保护操作人员，并形成低能、高剂量、各向同性的 X 射线均匀地作用于治疗区。各种施用器均有连接轴与辐射源直接相连，并使产生 X 射线的金靶端置于施用器的圆心。支持承载系统利用电磁耦合技术确保连接辐射源的施用器精准可靠地定位于治疗区。整个治疗方案的设定、操作均通过控制平台隔室操作实现。

(3) 项目流程及产污染环节

术中放射治疗仪工作流程及产污环节

(1) 外科医师手术切除肿瘤，根据临床指征确定进行术中放疗。

(2) 根据肿瘤区域可疑残余肿瘤组织情况，选择相应的施用器和治疗剂量。控制系统计算确定照射时间。放疗物理师确认治疗技术参数。

(3) 运行术中放疗设备时，将适配器接上 X 射线源，支架装上消毒罩，将施用器置于瘤床之中，调整承载系统并锁定治疗位置。

(4) 全体医务人员撤离出手术室，关闭防护门，放疗科医师、物理师在控制室通过控制平台遥控实施照射治疗。针对本项目，设备在手术室的使用情况下辐射工作人员和控制台均位于控制室内，射线装置位于手术室内，形成隔室操作，工作人员通过观察窗和监控设施观察患者并及时处置异常情况。

(5) 设备出束，进行术中放射治疗。

(6) 治疗结束后除去施用器，外科医师、护士、麻醉师等进入手术室内，外科医师继续完成手术缝合创口。

(7) 手术结束，患者被送出手术室。



图 9-12 术中放射治疗仪治疗流程及产污环节示意图

产污环节分析：本项目设备无需配合其他设备联合使用，在肿瘤切除后直接对相应位置进行放射治疗，因此不存在与其他设备同时运行的情况。由工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。在非治疗状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，X 射线是主要的污染因子。

(4) 工作负荷

术中放疗作为一项多学科合作的技术工作，术中放射治疗需要外科手术医师、放疗医师、麻醉医师、病理医师、影像医师及护理团队的严密组织、精准配合，根据医院提供资料，本项目术中放疗手术室内术中放射治疗仪每年最多诊治300人次，每人每次最多治疗30min，故此台设备年工作时长最大为150h。

2、DSA 介入工艺分析

(1) 复合手术室简介

复合手术室也称杂交手术室，能将DSA、CT、MRI等先进影像设备融合在手术室中，既不影响手术室的固有功能，又能通过其提供的高清影像，旨在把原本需要在不同手术室、分期才能完成的重大手术，合并在一台手术室里一次完成，患者无需在影像科室和手术室多次转运，实现一站式术前诊断、术中治疗、术后评估的手术室，最大限度优化手术方案和流程，一站式彻底解决患者疾病，保障患者安全。本项目复合手术室是配备齐全的手术室和导管室的整合，将DSA、术中CT、MRI等影像设备整合到现代化手术室中。



图 9-13 带滑轨 CT 与 DSA 双复合手术室参考示意图

复合CT：带滑轨的CT可以在手术室移进和移出，以支持复杂的外科手术，比如通过成像获得影像信息的脑，脊柱和创伤手术。

复合MRI：磁共振成像适用于神经外科术前的精确规划、术中帮助医师判断并解释脑组织的位移、术后评估结果，MRI系统一般需要一个很大的空间，无论是在房间和病人的周围，在常规MRI室进行手术是不可能的，本项目MRI为固定式，设有单独检查机房，术中需要MRI成像时，通过移床把病人推至紧邻的MRI检查室。

(2) 设备组成及工作原理

1) DSA：

DSA 是影像增强器技术、电视技术和计算机科学技术相结合的产物，是应用最多的数字化 X 射线透视设备。DSA 主要由带有影像增强器电视系统的 X 射线诊断机、高压注射器、电子计算机图像处理系统、治疗床、操作台、磁盘或磁带机和多幅照相机组成。

数字减影血管造影装置(DSA)是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法,它是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前,首先进行第一次成像,并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后,再次成像并转换成数字信号。两次数相减,消除相同的信号,得知一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观,一些精细的血管结构亦能显示出来。且对比度分辨率高,减去了血管以外的背景,尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示;由于造影剂用量少,浓度低,损伤小、较安全。通过医用血管造影 X 射线机处理的图像,使血管的影像更为清晰,在进行介入手术时更为安全。

2) CT:

CT成像基本原理是用X线束对人体检查部位一定厚度的层面进行扫描,由探测器接收透过该层面的X线,转变为可见光后,由光电转换器转变为电信号,再经模拟/数字转换器(analog/digital converter)转为数字信号,输入计算机处理。图像形成的处理有如将选定层面分成若干个体积相同的长方体,称之为体素(voxel)。扫描所得信息经计算而获得每个体素的X线衰减系数或吸收系数,再排列成矩阵,即数字矩阵(digital matrix),数字矩阵可存储于磁盘或光盘中。经数字/模拟转换器(digital/analog converter)把数字矩阵中的每个数字转为由黑到白不等灰度的小方块,即像素(pixel),并按矩阵排列,即构成CT图像。

(3) 治疗流程

1) 常规 DSA 介入

本项目常规的放射介入诊疗流程如下所示:

(1) 病人候诊、准备、检查:由主管医师写介入诊疗申请单;介入接诊医师检查是否有介入诊疗的适应症,在排除禁忌症后完善术前检查和预约诊疗时间。

(2) 向病人告知可能受到的辐射危害:介入主管医师向病人或其家属详细介绍介入诊疗的方法、途径、可能出现的并发症、可预期的效果、术中所用的介入材料及其费用等。对各种需放置支架的病人,由介入主管医师根据精确测量情况提前预定核实的支架。

(3) 设置参数,病人进入 DSA 机房、摆位:根据不同手术及检查方案,设置 DSA 系统的相关技术参数,以及其他监护仪器的设定;引导病人进入 DSA 机房并进行摆位。

(4) 根据不同的治疗方案, 医师及护师密切配合, 完成介入手术或检查。DSA 在进行曝光时分为拍片和透视两种情况:

①DSA 拍片检查

DSA 检查采用隔室操作方式, 通过控制 DSA 的 X 线系统曝光, 采集造影部位图像。具体方式是受检者位于检查床上, 医护人员调整 X 线球管、人体、影像增强器三者之间的距离, 然后进入控制室, 关好防护门。医师、操作人员通过控制室的计算机系统控制 DSA 的 X 系统曝光, 采集造影部位图像。医师根据该图像确诊患者病变的范围、程度, 选择治疗方案。

②DSA 介入治疗

DSA 介入治疗采用近台同室操作方式。通过控制 DSA 的 X 线系统曝光, 对患者的部位进行间歇式透视。具体方式是受检者位于手术床上, 介入手术医师位于手术床一旁, 距 DSA 的 X 线管 0.5~1.0m 处, 在非主射束方向, 配备个人防护用品(如铅衣、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等)。同时手术床旁设有屏蔽挂帘和移动式防护帘。介入治疗中, 医师根据操作需求, 踩动手术床下的脚踏开关启动 DSA 的 X 线系统进行透视(DSA 的 X 线系统连续发射 X 射线), 通过悬挂显示屏上显示的连续画面, 完成介入操作。医师、护士佩戴防护用品。每台手术 DSA 系统的 X 线系统进行透视的次数及每次透视时间因患者的部位、手术的复杂程度而不同。介入手术完后关机, 医师、病人离开 DSA 机房。

(5) 治疗完毕关机: 手术医师应及时书写手术记录, 技师应及时处理图像、刻录光盘或照片, 急症病人应尽快将胶片交给病人; 对单纯接受介入造影检查的病人, 手术医师应在 24 小时内将诊断报告写出由病人家属取回交病房病历保管。

本项目 DSA 工作流程及产污图见图 9-14:



图 9-14 DSA 常规介入治疗流程及产污环节示意图

2) 复合 DSA 介入

本项目拟建两间多复合手术室, 配备有 DSA、CT、MRI 等先进医疗影像设备以及手术床、悬吊设施设备等, 各种设备及功能既可以独立使用, 也可以根据临床需求实现功能互补、切换、共享, 设备的先后使用顺序视病人情况而定。本项目以复合手

术室 2 为例，MRI 检查室、DSA 复合手术室、CT 设备库房呈“一字”排列；通过智能化数字精控 CT 轨道以及具备多角度复杂摆位功能的手术床，将 MRI、CT、DSA 三大设备“复合”在一起，组成一个多复合手术室，其中术中 CT 通过地面滑轨移动至介入手术床旁使用；MRI 为固定式，通过滑门实现两机房间的相互连通，术中通过移床至 MRI 检查室进行影像评估；复合手术内单台设备使用功能原理不变，操作流程不变，以复合手术室 2 的 3 台设备均会使用为例，设备先后使用顺序视具体情况而定，本项目复合介入诊疗流程如下图 9-15 所示：



图 9-15 DSA 复合介入治疗流程及产污环节示意图

（4）工作负荷

本项目 DSA 介入主要用于外周血管、心血管、神经、综合介入等手术，治疗时各个科室手术的拍片和透视出束时间不一样，本环评保守按最长使用科室的手术曝光时间计：①**常规 DSA 介入**单台手术配置 5 人（2 名手术医师、2 名护士和 1 名技师），最长出束时间：透视 30min、拍片 1min，500 台手术/年/台，则单台 DSA 年累计曝光时间最大约 258.34h（其中透视 250h、拍片 8.34h）；②**复合 DSA 介入**单台手术配置 7 人（3 名手术医师、3 名护士和 1 名技师），最长出束时间：透视 45min、拍片 2min，300 台手术/年/台，则复合手术室内单台 DSA 年累计曝光时间最大约 235h（其中透视 225h、拍片 10h），术中移动 CT 配合诊断每台手术单次曝光时间最长约 1min，则移动 CT 累计年曝光时间最大约 5h/台。

3、手术中心医护人员和患者路径分析

（1）医护人员路径：

1) **术中放疗**：手术前医护人员由综合科研大楼东侧的医护电梯进入 11 层术中放疗手术室区域，外科医师、护士、麻醉师经控制室进入术中放疗手术室内开展外科肿瘤切除手术，放疗物理师和技师进入控制室内等待肿瘤切除后的放射治疗。手术结束后，护士和护工将协作送病人回到住院病房，其余医护人员等原路返回离开。

2) **DSA**：每日手术前医护人员由综合科研大楼东侧的医护电梯先进入综合科研大楼 6 层进行更衣，根据当日手术安排分别进入 7 层或 11 层手术中心；技师经过手术走廊分别进入固定的控制室，进行机器的预热；医师、护师经过手术走廊分别进入

控制室、在控制室内佩戴防护用品，穿戴完成后经控制室进入对应的 DSA 机房。手术结束后，护士和护工将协作送病人回到住院病房，医师、技师原路返回离开。

(2) 患者路径：手术开展前，护士和护工带领患者由综合科研大楼中心部位的手术病床电梯进入 7/11 层介入手术中心，经手术走廊进入对应的手术室内。手术结束后，患者由护士和护工协作送回到住院病房。

(3) 污物路径：本项目所在综合科研大楼 7/11 层介入手术中心区域四周设置为闭环性污物走廊，每层均设有污物临时暂存间，每间手术室均设置有污物进出门，与污物走廊连通，且实现人污分流，每台手术结束后，所有的医疗废物将由护士经污物通道送至所在楼层的污物临时暂存间，一天的手术结束后，污物临时暂存间内的医疗废物由清洁人员通过所在楼层最南侧的污梯运送至综合科研大楼负 1 层医疗垃圾暂存处（面积约 5m²）暂存，最后定期统一交由有资质的单位收运处置。

本项目综合科研大楼 7/11 层手术中心区域人流、物流路径示意图见附图 12-2、12-3。

污染源项描述

（一）施工期及设备调试安装

1、辐射污染源项

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

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。由于设备的安装和调试均在射线装置机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

2、其他环境影响因子

施工期非放环境影响因子主要是：废气、废水、噪声和固体废物。

（二）运行期

1、辐射污染源项分析

1) 直线加速器

本项目医用直线加速器可以提供 2 种射线(X 射线和电子线) 用于肿瘤治疗，X 射

线最大能量 10MV，电子线最大能量 22MeV，因此加速器在开机时，用 X 射线治疗时主要污染物为 X 射线，用电子线治疗时主要污染物为电子。加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿力远弱于 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。因此，在加速器电子束治疗时，电子线对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗。

废靶件：直线加速器的金属靶更换时会有废靶件产生，废靶件属于放射性固体废物，废靶件应由有收贮废靶件资质的第三方单位现场回收，不在医院储存。

2) 射波刀、术中放射治疗仪、DSA、CT

本项目射波刀在开机治疗时产生 X 射线，无电子线；DSA、术中放射治疗仪、CT 在开机工作时产生 X 射线。本项目射波刀产生的最大 X 射线能量为 6MV，0.8m 处输出剂量率最大为 10Gy/min，DSA 产生的最大 X 射线能量为 150kV，术中放射治疗仪产生的最大 X 射线能量为 50kV、束流 $\leq 0.04\text{mA}$ ，CT 产生的最大 X 射线能量为 150kV，设备不开机状态均不产生辐射，污染途径均为 X 射线的外照射。

2、其他环境影响因子

1) 废气

本项目直线加速器、射波刀、术中放射治疗仪、DSA、CT 曝光过程中臭氧产生量很小，故对环境的影响较小。

2) 固体废物

①本项目直线加速器、射波刀、术中放射治疗仪治疗及移动 CT 诊断过程中不产生固体废物；

②本项目 DSA 采用数字成像，不打印胶片，因此不会有废胶片产生。手术时产生一定量的医用器具和药棉、纱布、手套、废造影剂、废造影剂瓶等医用辅料及手术垃圾，按每台手术产生约 2kg 的医疗废物，每年固体废物产生量约为 15200kg。这些医疗废物经分类收集打包好后暂存于污物暂存间，为减少恶臭气体及病原体的产生，要求医疗废物日产日清，交由有相关资质的公司收运处置。

工作人员产生的生活垃圾和办公垃圾不属于医疗废物，医院按照当地管理部门要求，办公、生活垃圾经袋装收集后暂存于生活垃圾暂存间，为防止蚊蝇滋生，要求生活垃圾暂存间日产日清，交由环卫部门清运处理。项目产生固废均得到合理处置，不会对周围环境产生明显影响。

3) 废水

本项目医疗废水、生活废水依托医院的污水处理站处理达标后排放到市政污水管网，最终排放至成都市第九净水厂处理达标后排放至锦江。

4) 噪声

本项目噪声源主要为风机噪声、空调噪声。医院拟采用低噪音风机，其噪声值不超过 65dB（A），且设备均处于室内，通过建筑墙体隔声及距离衰减后，对外界声环境影响较小。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、项目工作场所平面布置合理性分析

四川省人民医院综合科研大楼高约 99m，地下 4 层、地上 23 层，自南向北呈“凹”型布置，北侧为大楼主入口和门厅，总建筑面积 106589 平方米。本项目拟将综合科研大楼手术中心 7 层、11 层南半部设置为介入治疗和术中放疗区域；在综合科研大楼东南侧建设一座放疗中心（地下负一层独立建筑），包含 2 间医用直线加速器机房、1 间射波刀机房及配套用房。

1、放疗中心平面布置

本项目放疗中心建设于综合科研大楼地面上方东南侧，为独立负一层建筑，且分别与四周的第二住院大楼、综合科研大楼、第三住院大楼地下层相连通。放疗中心包含 2 间直线加速器机房、1 间射波刀机房及配套用房，总面积约 2000m²；其中直线加速器机房①与直线加速器机房②位于放疗中心南部，两间机房镜像布置，中间隔辅助用房控制室、设备机房、楼梯、库房；射波刀机房位于东部，与直线加速器机房②自北向南呈竖向紧邻“一”字排列；配套用房放疗计划室、医师办公室、医师卫生间等集中布置于西北部。直线加速器机房①北侧为配套用房放疗计划室、医师办公生活区域，南侧为土体，西侧为排烟机房、茶歇室，东侧为控制室、水冷机房、库房、楼梯、直线加速器机房②的辅助用房及治疗机房；直线加速器机房②北侧为射波刀机房，南侧为土体，西侧为控制室、水冷机房、维修间、楼梯、直线加速器机房①的辅助用房及治疗机房，东侧为土体；射波刀机房北侧为土体、楼梯，南侧为直线加速器机房②，西侧为机房、控制室、库房、候诊区、配套用房放疗计划室、医师办公生活区域，东侧为土体。放疗中心正上方均为地面非机动车停车位。

2、手术中心平面布置

(1) 综合科研大楼 7 层手术中心平面布置

本项目所在综合科研大楼 7 层全部设置为 DSA 介入手术区域，为方便描述，将 7 层介入手术室依次编号为 DSA 机房 1~13、复合手术室 1；其中，DSA 机房及复合手术位于 7 层北部、南部、西部，东部设置为手术中心电梯厅、医疗主街、办公辅助用房区域。DSA 机房 1~10 位于 7 层的北半部，在该区域内东、西两侧为楼梯、电梯厅，

中间为介入手术区域，其中，DSA 机房 1~3 自西向东“一”字排开布置于南侧，DSA 机房 4~7 自西向东“一”字排开布置于北侧，DSA 机房 8~10 自北向南“一”字排开布置于东侧，西侧为缓冲、更衣、医废间等辅助用房，中心区域为每间机房的辅助用房控制室及走廊，外围紧邻机房设置为污物通道、设备间，实现人污分离。DSA 机房 11~13 自北向南“一”字排开，位于 7 层南半部靠近西侧位置，整体北侧为新风机房、设备间、库房，南侧为楼梯、设备间，西侧为污物走廊，东侧为控制室、手术走廊、电梯厅、楼梯、医疗主街；复合手术 1 位于最南侧，北侧为手术走廊、库房、电梯厅、楼梯，西侧为控制室、设备间、缓冲走廊、污物暂存、器械预清洗、医废、污物走廊、洁具、楼梯，东侧为视频传播讨论室、办公室、缓冲区、女卫浴。本项目 7 层手术介入中心正上方 8F 均为手术中心普通手术室，正下方 6F 为手麻、手术办公室。

(2) 综合科研大楼 11 层手术中心平面布置

本项目所在综合科研大楼 11 层手术中心南部设置为 DSA 介入、术中放疗手术区域，北半部均为微创普通手术区域。其中，DSA 复合手术室 2 位于 11 层南部的西侧位置，由 MRI 机房、介入手术室、CT 设备间自北向南“一”字排开布置组成一个多复合介入手术室，以复合手术室为整体，北侧为设备间、恢复区、微创普通手术区域，南侧为设备间、手术室、楼梯、污梯，西侧为污物走廊，东侧为控制室、手术走廊、电梯厅、楼梯、医疗主街；DSA 机房 14 和术中放疗手术室自西向东“一”字排开布置于南侧位置，以两间手术室为整体，北侧为洁净走廊、DSA 控制室、洁净库房、休息厅、电梯厅、楼梯、医疗主街等，南侧为设备间、污物走廊，西侧为控制室、缓冲通道、污物暂存、器械预清洗、医废、洁具、楼梯。本项目所在综合科研大楼 11 层南部 DSA 介入、术中放疗手术室正上方 12F 均为 ICU 病房，正下方 10F 为净化机房、新风机房。

二、辐射工作场所两区划分

1、控制区和监督区的划分

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范和管理工作，项目应当按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求在辐射工作场所内划出控制区和监督区，同时在地面设置行走箭头标识，严格规定各类人员的活动路径。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散以及在一定程度上预防

或限制潜在照射，要求有专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序如进入控制区的工作许可证和实体屏蔽（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区。放射性工作区应与非放射性工作区隔开。

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

本项目控制区和监督区划分情况见表 10-1，两区划分示意图见附图 11-1~11-3。

表 10-1 项目控制区和监督区划分情况

项目		控制区	监督区
放疗中心		直线加速器机房①（含迷道）、直线加速器机房②（含迷道）、射波刀机房（含迷道）	直线加速器①/②控制室、直线加速器①/②水冷机房、射波刀水冷机房和控制室、库房、机房防护门外 1m
手术中心	7层	DSA 机房 1~13、复合手术室 1	控制室、设备间、后处理间、缓冲区、更衣室、一脱、二脱、医废间
	11层	复合手术室 2、CT 设备间、MRI 机房、DSA 机房 14、术中放疗手术室、	设备间、控制室、洁具室



图 10-1 放疗中心两区划分示意图



图 10-2 综合科研大楼 7 层手术中心两区划分示意图



图 10-3 综合科研大楼 11 层手术中心两区划分示意图

2、控制区防护手段与安全措施

①控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志，见图 10-4。

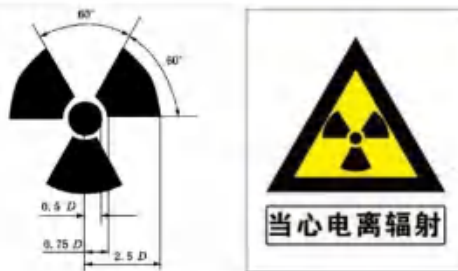


图 10-4 电离辐射标志和电离辐射警告标志

②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；

③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（包括门禁）限制进出控制区；

④在卫生通过区域配备个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜等；

⑤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。

3、监督区防护手段与安全措施

①以黄线警示监督区为边界；

②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

③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。

三、辐射防护设施

（一）放疗中心

（1）辐射屏蔽措施

医用直线加速器及射波刀机房采用混凝土防护，具体屏蔽防护设计见表 10-2。

表 10-2 放疗中心机房屏蔽防护设计

场所	机房面积	辐射防护建筑情况
直线加速器机房①	净空面积 59.04m ² （不含迷道）	线加速器机房①南、北侧主屏蔽墙体厚均为3000mm、宽均为4300mm，相连次屏蔽墙体厚均为1700mm；顶部主屏蔽墙体厚为3000mm、宽4000mm，相连的次屏蔽墙体厚1800mm；东侧“L”型迷道内墙厚1400~2200mm、外墙厚1200~2000mm、迷道内墙长6950mm；西侧非主射墙体厚1700mm；防护门为铅板+150mm含硼聚乙烯电动推拉门，屏蔽效能为20mmPb。
直线加速器机房②	净空面积 59.04m ² （不含迷道）	直线加速器机房②北侧主屏蔽墙体与射波刀机房共用厚为3400mm、宽均为4300mm，相连次屏蔽墙体厚为2700mm；南侧主屏蔽墙体厚为3000mm、

	迷道)	宽4300mm, 相连的次屏蔽墙体厚1700mm; 顶部墙体厚度均为3000mm, 无次屏蔽墙体; 西侧“L”型迷道内墙厚1400~2200mm、外墙厚1200~2000mm、迷道内墙长6950mm; 东侧非主射墙体厚1700mm; 防护门为铅板+150mm含硼聚乙烯电动推拉门, 屏蔽效能为20mmPb。
射波刀机房	净空面积 43.4m ² (不含迷道)	射波刀机房四面墙体、迷道、顶部和底部均是密度为2.35g/cm ³ 的钢筋混凝土, 正常运行时主射方向朝向四周, 其中东侧、西侧屏蔽墙厚度均为2400mm; 南侧屏蔽墙与直线加速器机房②共用厚为2700~3400mm; 北侧迷道为“直”迷道, 迷道内屏蔽墙厚900~1600mm, 迷道外屏蔽墙厚2400~3100mm; 顶部屏蔽墙厚2400mm, 防护门为铅板+150mm含硼聚乙烯电动推拉门, 屏蔽效能为10mmPb。

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

(2) 对 X 射线的防护措施

①本项目放疗中心直线加速器、射波刀机房墙体应进行整体浇筑, 使用满足要求的混凝土, 强度等级应不低于C50、S8;

②不在主屏蔽墙处设穿墙管线, 穿过直线加速器、射波刀机房屏蔽墙的各种管道和电缆线弯成S形或U形 (具体见附图13-1~13-2)。

③防护门宽于门洞的部分应大于“门—墙”间隙的十倍, 并预留防护门下沉沟槽。

④为防止排风口排出的气体反流污染进气口, 进风口和排风口应对角线布置。

⑤操作人员采取隔室操作方式, 控制室与机房之间以墙体隔开, 通过监控图像观察病人情况, 通过对讲机与病人交流;

⑥通过制定最优化的治疗、诊断方案尽量减少射线装置的照射时间。尽量减少人员与机房的近距离接触时间;

⑦操作加速器的辐射工作人员每人佩戴个人剂量计;

⑧治疗前对放疗计划剂量进行核对, 每次照射时体位都须一致。采用恰当的个人防护用品 (如铅衣、铅围裙、三角巾等) 屏蔽肿瘤周围的健康组织。

(3) 对电子线的屏蔽防护

本项目射波刀最大能量为6MV, 无电子线产生, 因此不考虑对电子线的屏蔽防护。本项目10MV直线加速器在按电子束模式工作时, 最大电子线能量为22MeV, 根据《辐射防护手册》第三分册4.1.5加速器的辐射源(P₉₅), 能量为E(MeV)的单能电子束, 在低Z物质中的射程(单位为g·cm⁻²)约为能量(单位为MeV)的0.6倍。本项目10MV直线加速器以电子档工作时最大电子线能量为22MeV, 射程为22×0.6=13.2g/cm², 可以估算出22MeV的电子在密度为2.35g·cm⁻³的混凝土中的深度

约为 5.6cm，而本项目屏蔽体厚度最小的为 120cm 混凝土，对电子线能完全屏蔽，可不再作特殊的防护要求，可不再考虑对电子束模式对周围环境的影响。

（4）通风系统

放疗中心直线加速器及射波刀机房拟采用专用新风机组排风，设计通风量均为 4000m³/h，机房内通排风均采用“上送风、下回风”的方式，回风口下缘距地 0.3m，风管均为镀锌钢管道。机房内送风和回风管道在机房铅门上方以斜角 45°形式穿过迷道门顶部进入机房（回风量均为：3200m³/h、送风量均为：2000m³/h），其中加速器机房送风管道沿机房迷道走线，射波刀机房送风管道沿机房东部走线，回风管道均沿机房南部走线，加速器机房和射波刀机房送/回风管道经铅门上方引出机房后均接自夹层空调机房新风机组，最终分别汇至放疗中心新风机房进风井或排烟机房排风井（进/排风井分别设置在放疗中心西北、东北侧，井口均高出水平地面约 3m，井口处均采用百叶窗口设计）。放疗中心机房内通排风均采用“上送风、下回风”的方式，回风口下缘距地 0.3m，通排风管道均为镀锌钢管道。

放疗中心直线加速器及射波刀机房电缆及排风管道穿墙剖面示意图见下图 10-5：

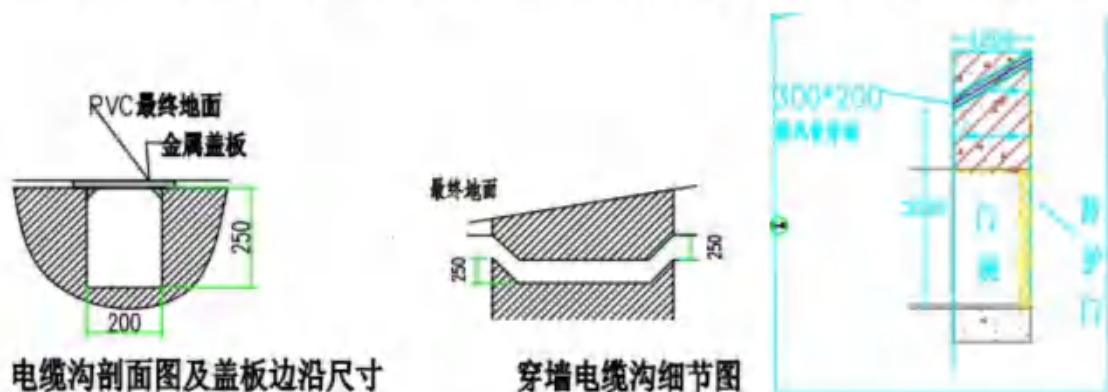


图 10-5 放疗中心加速器、射波刀机房电缆及通排风管道穿墙剖面图

（二）手术中心

（1）辐射屏蔽措施

根据医院提供防护设计资料，本项目手术中心涉及的DSA及术中放疗辐射工作场所的实体屏蔽防护方案均一致，对照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C查询，DSA及术中放疗手术室实体防护设施铅当量折合估算见表10-4。参照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），根据设备特性，针对DSA主要考虑散射线和泄露射线影响，保守估计，在折合铅当量时，仍按照主射线辐射衰减拟合参数

(150kV) 进行铅当量折算, 因此根据最大工况下管电压和不同屏蔽体材料铅当量厚度, 本项目DSA手术室与标准屏蔽措施对照, 具体见表10-5。

表 10-4 手术中心 DSA 及术中放疗手术室实体防护设施铅当量折合对照表

位置	实体结构	折合计算	折合铅当量
四周墙体	100mm厚轻质墙+3mmPb硫酸钡板	3mmPb	3mmPb
屏蔽门	3 扇 3mm 铅当量铅门(复合手术室 2 设有 5 扇)	/	3mmPb
观察窗	1 扇 3mm 铅当量铅玻璃	/	3mmPb
屋顶	120mm 厚钢筋混凝土+3mmPb 硫酸钡板	约合 1mmPb+3mmPb	约合 4mmPb
地面	120mm 厚钢筋混凝土+30mm 厚硫酸钡涂料	约合 1mmPb+2mmPb	约合 3mmPb

注: ①根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)附录 C, 常用屏蔽物质的密度: 混凝土密度 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$, 则医用诊断 X 射线防护中不同屏蔽物质的铅当量如下: 当管电压 150kV(90° 非有用线束), 查表 C.4, 计算 90mm 混凝土相当于 1mm 铅当量, 保守考虑, 本项目 120mm 混凝土现浇楼板折合 1mm 铅当量。

②根据建设单位提供的资料, 本项目放疗中心使用的硫酸钡涂料, $15\text{mm} \geq 1\text{mm}$ 铅当量, 则厚度为 $30\text{mm} \geq 2\text{mm}$ 铅当量(本项目保守按照 2mm 铅当量折算)。

表 10-5 DSA 机房的实体防护设施对照表

名称	面积 (m^2)	四周墙体	屏蔽门	观察窗	地板	屋顶
DSA 机房	最小有效面积为 DSA 机房 13: 49m^2 , 最小单边长度 7.0m	100mm 厚轻质墙+3mmPb 硫酸钡板(约合 3mmPb)	3mm 铅当量铅门(3 扇/5 扇)	3mm 铅当量厚铅玻璃(1 扇)	120mm 厚钢筋混凝土+30mm 厚硫酸钡涂料(约合 3mmPb)	120mm 厚钢筋混凝土+3mmPb 硫酸钡板(约合 4mmPb)
放射诊断放射防护要求	最小有效使用面积 20m^2 , 机房内最小单边长度 3.5m	非有用线束 2mm 铅当量	非有用线束 2mm 铅当量	非有用线束 2mm 铅当量	非有用线束 2mm 铅当量	有用线束 2mm 铅当量
备注	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求

(2) 通风系统

本项目放疗中心辐射工作场所集中布置在综合科研大楼的 7 层和 11 层, 其 DSA 及术中放疗所在区域辐射工作场所均设置有通排风系统, 每间机房顶部均设有 1 个排风口和 1 个新风口, 采用对角线分布, 机房内产生的臭氧通过机械排风系统经排风管道引出机房, 每间机房内引出的分支排风管道均汇总到该区域手术走廊的主排风管道, 最终引至所在楼层距离最近的排风井, 最终至裙楼楼顶排放。进、排气口位置应

做好射线防护，增加铅板或者使用环保型辐射防护板，防止射线外漏。本项目产生的臭氧排入大气环境后，经自然分解和稀释，远低于《环境空气质量标准》(GB3095-2012)的二级标准(0.2mg/m³)的要求。

四、辐射防护措施

(一) 放疗中心

(1) 设备固有安全性

①加速器只有在通电开机时才有X射线、电子线产生；射波刀只有在通电开机时才有X射线等产生；设备断电停机即停止出束。

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

③控制台上蜂鸣器，在设备开机工作时发出声音以警示人员防止误入。

④治疗床旁、设备主机和控制台上均安装有紧急停机按钮。

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

⑥有时间控制联锁，当预选照射时间定时，定时器能独立地使照射停止。

⑦有防止非工作人员操作的锁定开关。

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

(2) 辐射安全和防护措施

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

②门机联锁装置：加速器、射波刀与屏蔽门之间拟设联锁装置。屏蔽门未关好，设备不能出束；设备工作期间屏蔽门不能打开。

③紧急停机装置和紧急开门按钮：除了治疗床、设备主机上以及控制台上自带的

紧急停机按钮外，加速器机房内墙非主射线位置及射波刀机房四周墙体、迷道门口处设置有紧急停机按钮，以使误入人员按动紧急停机按钮就能使设备停机；迷道出口处设置了紧急开门按钮。

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

⑤**视频监控系统、对讲系统：**放疗中心机房配备有电视监控、对讲装置。

⑥**个人防护：**放疗中心机房的辐射工作人员每人佩戴个人剂量计和预定剂量率阈值自动报警仪。

⑦**时间防护：**通过制定最优化的治疗、诊断方案尽量减少射线装置的照射时间。尽量减少人员与机房的近距离接触时间。

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

本项目直线加速器、射波刀安全设施平面布局见附图 15-1，安全联锁逻辑如下图所示：

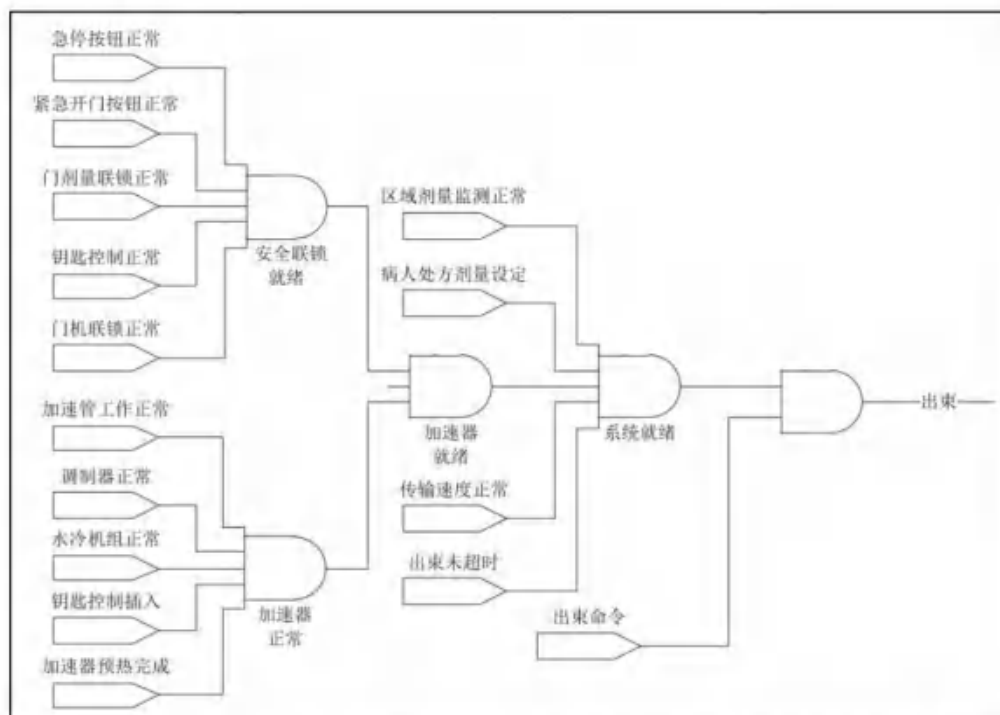


图 10-6 直线加速器、射波刀工作场所安全联锁系统逻辑示意图

(3) 加速器治疗项目对患者的防护要求

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

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

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

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

对病人的防护措施，应做到：

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

②在保证肿瘤得到足够精确致死剂量使其得以有效抑制或消除的前提下，按病变情况，采用适当技术措施，保护照射野以外的正常组织和器官，使受照剂量尽可能小，以获取尽可能大的治疗效果。

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

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

⑤患者治疗过程中必须详细记录设备运行情况，发现异常时，分析产生原因并及时修正。

⑥照射过程中，通过电视监视病人，发现异常应立即停止照射，继续治疗时应重新设定。严禁患者治疗完后在治疗场所逗留。

（4）其他防护措施

①放疗中心需配备个人剂量报警仪1个，每名辐射工作人员均应配备个人剂量计；

②放疗中心控制室上张贴相应的放射工作制度、操作规程、岗位职责等；

③机房受检者出入口门外1m处应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近；

④放疗中心机房安装了通排风系统，产生的废气通过专用排风管道引至排风井，最终在地面上方 3m 位置处排放。

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

（二）手术中心

（1）设备固有安全性

1) 术中放疗

①进入应用软件需授权保护：只有通过授权的用户名及密码才可以进入应用软件操作系统。

②通过由光学联锁和多层询问系统保证只有在有意/正确的操作，才能启动射线源：

aX 射线源只有在正确连接到承载系统，光学联锁才允许射线发射；

b 一旦 X 射线源成功连接到承载系统，用户必须遵循菜单提示用户界面来设置系统开始射线发射按钮；使用者两次点击“开始”按钮才产生射线；

c 完成了必要的验证步骤，由凭密码进入的另一个人确认剂量和系统设置为治疗模式，射线发射只能由受过培训和授权的人员进行操作。

③产生射线时，在用户界面以声学 and 视觉形式予以提示；

④急停按钮：在控制面板上设置了急停按钮，当有人员误入控制区时，操作人员按下急停按钮，可立即停止出束；

⑤防止错误出束指令的措施：

a 控制台传输每个信号/指令到射线源，射线源均有返回信号，控制台校验返回信号的完整性和正确性；

b 内部实时放射监测仪不断监测治疗期间的出束率，如出束率高于计划 10%，射线发射停止；

c 不断监测计划治疗时间和出束率的比率，如果发生任何变化，射线发射停止。

2) DSA

①采用栅控技术：在每次脉冲曝光间隔向旋转阳极加一负电压，抵消曝光脉冲的

启辉与余辉，起到消除软 X 射线、提高有用射线品质并减小脉冲宽度作用。

②采用光谱过滤技术：在 X 射线管头或影像增强器的窗口处放置合适铝过滤板，以消除软 X 射线以及减少二次散射，优化有用 X 射线谱。设备提供适应不同应用时所可以选用的各种形状与规格的准直器隔板和铝过滤板。

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

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

⑤配备相应的表征剂量指示装置：配备能在线监测表征输出剂量的指示装置，例如剂量面积乘积（DAP）仪等。

⑥配备辅助防护设施：DSA 配备床下铅帘（0.5mm 铅当量）和悬吊铅帘（0.5mm 铅当量）、铅屏风等辅助防护用品与设施，则在设备运行中可用于加强对有关人员采取放射防护与安全措施。

⑦正常情况下，必须按规定程序并经控制台确认验证设置无误时，才能由“启动”键启动照射；同时在操作台和床体上均设置“紧急停机”按钮，一旦发生异常情况，工作人员可立即按下此按钮来停止照射。

（2）辐射安全和防护措施

1) 术中放疗

(1) 本项目术中放疗采用隔室操作工作方式，辐射工作人员在控制室隔室操作射线装置，进行放射治疗。手术室墙体采用 3mmPb 当量硫酸钡板进行蔽防护，防护门和防护窗防护屏蔽能力均为 3mmPb 当量，手术室防护能有效降低 X 射线对辐射工作人员造成的辐射影响。

(2) 医院为每名辐射工作人员配备有个人剂量计，配备 1 台便携式个人剂量报警仪。

(3) 在机房受检者防护门上设置醒目的电离辐射警示标识、相关警示文字和工作状态警示灯，射线装置运行出束时有明显灯光警示；在监督区、控制区墙体合适位置张贴监督区、控制区警示标识。

(4) 使用术中放疗装置必须保证隔室操作，工作人员在使用设备前需熟悉设备操作

流程，保证规范操作。在运行过程中定期进行工作人员操作位的辐射剂量率检测。辐射安全领导小组需对工作人员加大日常培训和监管力度。

(5) 门机联锁：只有在术中放疗专用手术室的各防护门关闭到位时，射线装置才能出束；设备出束状态下任意一道防护门均不能被打开，联锁装置即切断术中放疗的出束开关使数显装置不能正常出束或立即停止出束。

(6) 警示灯、警告标志配备：在术中放疗专用手术室防护门上粘贴电离辐射警告标志，并在门口安装与术中放疗设备出束联锁的照射信号指示灯，实现控制区辐射安全的多重保障。

(7) 紧急停机装置：移动式术中放射治疗仪机架及操作控制台上自带有紧急停机开关，上述紧急停机按钮能够在术中放疗专用手术室内发生误照射时第一时间停止出束，保障误留专用手术室内人员的安全。

(8) 观察窗和监控装置：拟在控制室安装观察窗，中部正对治疗床的位置安装 1 个可旋转的高清摄像头，控制室工作人员可通过摄像头和观察窗观察治疗室内病患的状态，应保证监控不存在死角。

(9) 穿越专用手术室防护墙的导线、导管等均考虑了屏蔽防护效果，采取倾斜 45°穿墙，且避开有用射束照射区域。

2) DSA

① 警告标识：DSA 机房患者/医护进出防护门、污物通道防护门外要求设置电离辐射警告标志，提醒周围人员尽量远离该区域，同时在 DSA 机房患者通道应设置电离辐射危害告知等提示信息。

② 观察及对讲装置：DSA 机房与控制室操作台之间安装铅玻璃观察窗（3mmPb），便于医护人员观察患者和受检者状态及防护门开闭情况；DSA 机房与介入控制室之间设置对讲装置，便于医护人员与患者交流。

③ 闭门、防夹装置：本项目所有 DSA 机房均设置有防护铅门，其中患者进出防护门设计为电动推拉式门，控制室内医护人员和污物门均设计为手动平开式单扇门。电动推拉式防护门设置有红外线防夹人设备（防止电动门在运行过程中发生挤伤人员）；平开式单扇防护门设计安装有闭门装置。

④ 联锁装置：本项目 DSA 机房医护人员进出防护门、患者进出门、污物门均应设置有门灯联锁系统，防护门外上方设置醒目的工作状态指示灯，灯箱上设置如“射

线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，在防护门关闭时，指示灯亮，警示无关人员远离该区域。

⑤急停按钮：本项目在 DSA 手术床侧和操作台各设置有 1 个急停按钮（带中文标识），在机器故障时可按下，避免意外照射。

⑥门禁装置：本项目 DSA 机房所在楼层中心手术均为介入手术区，在该区域工作人员进出通道处设置有门禁装置，除医护人员外，其余公众不能随意进入。

（3）人员的安全与防护

人员主要指本项目辐射工作人员、受检者或患者、本次评价范围内公众。

1. 辐射工作人员：

为减少手术中心辐射工作人员的照射剂量，采取防护X射线的主要方法有屏蔽防护、时间防护和距离防护，三种防护联合运用、合理调节。

①距离防护

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

②时间防护

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

③屏蔽防护

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

个人防护用品和辅助防护设施：DSA 辐射工作人员配备个人防护用品（铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套、铅橡胶帽子（选配）），除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb。

④个人剂量监测

手术中心辐射工作人员均应配备有个人剂量计，并要求上班期间必须佩带；拟为

DSA机房内医师位、护士位各配备1套个人剂量报警仪，手术过程中必须佩戴。

医院定期（每季度一次）将个人剂量计送有资质单位进行检测，检测结果存入个人剂量档案。

2. 受检者或患者的安全防护

医院应配有三角巾、铅橡胶颈套，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。另外，在不影响工作质量的前提下，保持与射线装置尽可能大的距离。

3. 手术中心周边公众的安全防护

周边公众主要依托辐射工作场所的屏蔽墙体、防护门窗和地板楼板屏蔽射线。同时，辐射工作场所严格实行辐射防护“两区”管理，在 DSA 及术中放疗辐射工作场所进出门外张贴电离辐射警告标志和工作状态指示灯箱，禁止无关人员进入，以增加公众与射线装置之间的防护距离，避免受到不必要的照射，定期对辐射安全设施的进行维护，确保实时有效。

五、辐射安全防护设施对照分析

综上所述辐射安全防护分析及措施，医院需对下表所列设施进行配置：

表 10-6 本项目辐射安全防护设施对照分析表

项目	应具备条件	落实情况	要求新增措施
10MV 直线加速器			
实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	已设计	/
	铅防护门	已设计	/
控制台及安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	仪器自带	/
	加速器治疗床、加速器主机上以及控制台上应具备紧急停机按钮	仪器自带	/
	条件显示联锁、控制超剂量的联锁装置、时间控制联锁	仪器自带	/
	门机联锁、门剂联锁、门灯联锁	已设计	/
警示装置	入口电离辐射警告标志、工作场所分区及标识	已设计	/
	入口有直线加速器工作状态显示	已设计	/
	机房内准备出束音响提示	仪器自带	/
	控制台上蜂鸣器	仪器自带	/
紧急设施	机房及治疗床、控制台有中文标识的紧急停机按钮	已设计	机房内非主射方向墙上有按钮，高 1.6m
	中文标识的紧急开门按钮	已设计	迷道出口处的铅门内侧墙上，高 1.6m

	防夹人装置	计划配备	/
	紧急照明或独立通道照明系统	计划配备	/
监测设备	便携式辐射监测仪器（与射波刀共用）	计划配备	/
	个人剂量报警仪	计划配备	/
	个人剂量计	计划配备	/
	机房内固定式剂量报警仪	计划配备	迷道出口处 内侧墙上
防护设施	病人未受照部位防护设施	计划配备	铅橡胶铅衣、铅手套、铅围裙等
其他	通风系统	已设计	/
	灭火器材	计划配备	/
	火灾报警仪	计划配备	/
射波刀			
实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	已设计	/
	铅防护门	已设计	/
控制台及安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	仪器自带	/
	治疗床以及控制台上应具备紧急停机按钮	仪器自带	/
	条件显示联锁、控制超剂量的联锁装置、时间控制联锁	仪器自带	/
	门机联锁、门剂联锁、门灯联锁	已设计	/
警示装置	入口电离辐射警告标志、工作场所分区及标识	已设计	/
	入口有射波刀工作状态显示	已设计	/
	机房内准备出束音响提示	仪器自带	/
	控制台上蜂鸣器	仪器自带	/
紧急设施	机房及治疗床、控制台上中文标识的紧急停机按钮	已设计	机房内非主射方向墙上有按钮，高 1.6m
	中文标识的紧急开门按钮	已设计	迷道出口处的铅门内侧墙上，高 1.6m
	防夹人装置	计划配备	/
	紧急照明或独立通道照明系统	计划配备	/
监测设备	便携式辐射监测仪器（与直线加速器共用）	计划配备	/
	个人剂量报警仪	计划配备	/
	个人剂量计	计划配备	/
	机房内固定式剂量报警仪	计划配备	迷道出口处 内侧墙上
防护设施	病人未受照部位防护设施	计划配备	铅橡胶铅衣、铅手套、铅围裙等
其他	通风系统	已设计	/
	灭火器材	计划配备	/
	火灾报警仪	计划配备	/
DSA			
实体	楼顶板、楼底板	与大楼主体同	/

防护		时建成	
	四周墙体钢骨架；四周、屋顶、地面屏蔽防护	已设计	/
	铅防护门、观察窗屏蔽	已设计	/
装置安全设施	操作位局部屏蔽防护设施	设备自带	/
	中文标识的紧急停机按钮	设备自带	/
	门灯、门机联锁	已设计	/
	闭门装置（平开门）/防夹装置（推拉门）	已设计	/
	对讲系统	已设计	/
警示装置	入口处电离辐射警告标志	已设计	/
	入口处机器工作状态显示（门灯联锁）	已设计	/
	操作警示装置	已设计	/
监测设备	便携式辐射监测仪	计划配备	/
	个人剂量计	计划配备	/
	个人剂量报警仪	计划配备	/
防护设施	医护人员个人防护（铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套）	计划配备	/
	患者防护（铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套）	计划配备	/
其他	灭火器材	计划配备	/
	通风系统	已设计	/
术中放射治疗仪			
实体防护	楼顶板、楼底板	与大楼主体同时建成	/
	四周墙体钢骨架；四周、屋顶、地面屏蔽防护	已设计	/
	铅防护门、观察窗屏蔽	已设计	/
装置安全设施	防止非工作人员操作的锁定开关	设备自带	/
	设备主机以及控制台上紧急停机按钮	设备自带	/
	门灯、门机联锁	已设计	/
	闭门装置（平开门）/防夹装置（推拉门）	已设计	/
	监控和对讲装置	已设计	/
警示装置	入口电离辐射警告标志、工作场所分区及标识	已设计	/
	入口处工作状态显示	已设计	/
监测设备	便携式辐射监测仪器（与 DSA 共用）	计划配备	/
	个人剂量报警仪	计划配备	/
	个人剂量计	计划配备	/
其他	通风系统	已设计	/
	灭火器材	计划配备	/

六、环保设施及投资分析

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

表 10-7 环保设施及投资一览表



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

三废的治理

一、废气

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

放疗中心排风系统：放疗中心直线加速器及射波刀机房拟采用专用新风机组排风，设计通风量均为 $4000\text{m}^3/\text{h}$ ，机房内通排风均采用“上送风、下回风”的方式，回风口下缘距地 0.3m ，风管均为镀锌钢管道。机房内送风和回风管道在机房铅门上方以斜角 45° 形式穿过迷道门顶部进入机房（回风量均为： $3200\text{m}^3/\text{h}$ 、送风量均为： $2000\text{m}^3/\text{h}$ ），其中加速器机房送风管道沿机房迷道走线，射波刀机房送风管道沿机房东部走线，回风管道均沿机房南部走线，加速器机房和射波刀机房送/回管道引出机房后均接自夹层空调机房新风机组，最终分别汇至放疗中心新风机房进风井或排烟机房排风井（进/排风井分别设置在放疗中心西北、东北侧，井口均高出水平地面约 3m ，井口处均采用百叶窗口设计）。排风口位置应做好射线防护，增加铅板或者使用环保型辐射防护板，防止射线外漏。本项目产生的臭氧通过排风系统排入大气环境后，经自然分解和稀释，符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准（ $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ ）要求。

手术中心通排风系统：本项目手术中心 DSA、术中放疗辐射工作场所集中布置在综合科研大楼 7 层和 11 层，其辐射工作场所均设置有通排风系统，每间机房顶部均设有 1 个排风口和 1 个新风口，采用对角线分布，机房内产生的臭氧通过机械排风系统经排风管道引出机房，每间机房内引出的分支排风管道均汇总到该区域手术走廊的主排风管道，引至所在楼层距离最近的排风井，最终至裙楼楼顶排放。本项目手术中心产生的臭氧排入大气环境后，经自然分解和稀释，远低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）的二级标准（ $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ ）的要求。

二、固废

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

本项目直线加速器、射波刀、术中放射治疗仪治疗及 CT 诊断过程中不产生固体废物；DSA 介入手术时产生一定量的医用器具和药棉、纱布、手套、废造影剂、废造影剂瓶等医用辅料及手术垃圾，按每台手术产生约 2kg 的医疗废物，每年固体废物产生量约为 15200kg，医疗废物采用专门的容器收集转移至医疗废物暂存库后由医疗废物处理机构定期统一处理；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。

三、废水

施工期产生的生活污水依托医院原有的综合污水处理站 1（规模为：3000m³/d）处理达标后排放到市政污水管网；综合科研大楼建设项目拟在原综合污水处理站 1 北侧，新建 1 座处理规模为 800m³/d 综合污水处理站 2；本项目营运期产生的医疗废水、生活废水依托医院污水处理站处理达标后排放到市政污水管网，最终排放至成都市第九净水厂处理达标后排放至锦江。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

（一）施工期环境影响评价

本项目辐射工作场所施工期土建工程属于四川省医学科学院·四川省人民医院综合科研大楼建设项目建设内容之一，《四川省医学科学院·四川省人民医院综合科研大楼建设项目环境影响报告表》（成青环审【2022】10号）已对综合科研大楼整体建设、房间装修和设备安装可能产生的环境影响进行了评价，并提出了污染防治措施。

1、扬尘的防治措施：本项目施工在综合科研大楼内部进行，通过洒水、设备轻拿轻放、材料集中堆放等措施控制扬尘的产生。

2、废水防治措施：施工废水经沉淀后循环使用；生活污水依托医院既有污水处理站预处理，达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表2中要求后排入市政污水管网，最终排放至成都市第九净水厂处理达标后排放至锦江。

3、噪声防治措施：本项目施工在综合科研大楼内进行，设施设备轻拿、轻放，选用低噪声设备，合理安排施工时间。

4、固废防治措施：生活垃圾依托医院既有生活垃圾收集设施收集后由市政环卫统一清运；装修和设备安装期间的垃圾经过分类收集，能回收部分由施工单位回收，不能回收部分作为建筑垃圾，由施工单位集中收集，运送到指定的建筑垃圾堆放场处理。

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

（二）防辐射泄露施工要求

①结合《电子直线加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）和《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011），本项目机房在施工期间需做到，机房墙体应进行整体浇筑，使用满足要求的混凝土，强度等级应不低于 C50、S8，混凝土密度 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ；穿过直线加速器机房、射波刀机房墙体的各种管道、电缆、进、排风口在主屏蔽墙以外的墙体贯穿，贯穿口采用斜穿方式，并进行相应的屏蔽补偿。

②结合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007) 4.8.8：防护门结构应考虑因自身重量而发生形变，频繁开关门的振动连接松动、屏蔽体老化龟裂等原因，其宽于门洞的部分需大于“门—墙”间隙的10倍。

③穿过机房墙体的各种管道、电缆不影响屏蔽墙体的屏蔽防护效果，开孔处需做铅屏蔽补充措施，且不得正对工作人员经常停留的地点。

(三) 安装调试期环境影响

本项目射线装置在安装调试阶段会产生X射线，造成一定辐射影响。在设备安装调试完后，现场会有少量的废包装材料产生。

本项目拟购射线装置的运输、安装和调试均由设备厂家专业人员进行，安装和调试均在辐射防护设施建设完成后进行。

在设备安装调试阶段，医院应配合设备厂家加强安装调试现场的辐射安全管理，在此过程中保证各类辐射安全防护设施正常运行。在设备调试期间关闭防护门，在防护门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。

由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对周边的辐射影响是可接受的。设备安装完成后，医院方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。

运行阶段对环境的影响

医院拟将综合科研大楼7层手术中心全部设置为介入手术区、将11层手术中心的南半部设置为介入和术中放疗区域；在综合科研大楼东南侧建设一座放疗中心（地下负一层建筑），包含2间医用直线加速器机房、1间射波刀机房及配套用房。

(1) 放疗中心：拟在放疗中心2间直线加速器机房内各安装使用1台10MV直线加速器（型号待定），其中X射线最大能量为10MV、X射线1m处最大剂量率为24Gy/min，电子束最大能量为22MeV、电子线1m处最大剂量率为10Gy/min；拟在射波刀机房内安装使用一台射波刀（型号待定），其中X射线最大能量为6MV，0.8m处输出剂量率最大为10Gy/min，均属II类射线装置，均用于肿瘤治疗。

(2) 手术中心：拟在综合科研大楼11层东南侧术中放疗手术室内使用一台术中放射治疗仪用于全身各部位肿瘤的术中放疗，型号待定，其额定管电压为50kV，额定管电流为0.04mA，属于II类射线装置。拟在综合科研大楼7层、11层手术中心常规介

入手术室和复合手术室内共使用 16 台 DSA 和 2 台移动 CT，型号均待定；DSA 额定管电压均不大于 150kV、额定管电流均不大于 1250mA，出束方向由下而上，均属于 II 类射线装置；移动 CT 额定管电压不大于 150kV、额定管电流不大于 1000mA，均属于 III 类射线装置。

一、放疗中心环境影响分析

（一）职业人员工作负荷

本项目放疗中心加速器及射波刀职业人员根据工作属性不同，分为放疗技师、放疗医师、放疗物理师、护士等；不同职业人员岗位职责及受照时间分析如下所示：

放疗医师：在放射治疗过程中，放疗医师的主要职责为首先针对患者制定放疗方案、安排治疗计划，监测患者治疗情况，评估放疗效果，提供必要的治疗调整并做好医疗记录。根据放疗医师的实际工作职责，患者放射治疗时，医师不可能一直位于控制室内，因此本次预测医师的工作时间时，保守按照患者年治疗总时间的 20% 考虑。

放疗护士：在放射治疗过程中，放疗护士主要负责患者的护理和治疗，为患者进行放疗指导，告诉患者该如何准备和执行治疗，确保患者完全了解治疗的流程和注意事项，因此根据护士的职责，本次预测护士的工作时间时，保守按照患者年治疗总时间的 20% 考虑。

放疗技师：放疗技师需要协助医师为患者制定治疗计划，并按照治疗计划进行放射治疗，确保每位患者的照射位置和照射时间的准确性，因此，预测技师的工作时间时，取患者的年治疗总时间。

放疗物理师：每位患者放疗实施前，放疗物理师都会预先位于控制室内对加速器和质控设备验证一遍，确保每一个患者接受精准的放射治疗（物理师在控制室内的质控时间为： $300 \times 3\text{min} = 900\text{min} = 15\text{h}$ ）；其余时间物理师的工作范围基本均位于放疗计划室内，因此，当预测物理师的受照时间时，需考虑质控时间加上治疗时在计划室的时间之和。

根据本项目放疗中心平面布局图可知，放疗计划室紧邻加速器机房及射波刀机房布置，因此，针对保护目标年附加有效剂量核算时，保守估算，将职业人员分为控制室内医师、技师、护士和放疗计划室内物理师进行计算。本项目放疗中心直线加速器、射波刀医师、护士、物理师、技师人员分配及受照时间见下表 11-1。

表 11-1 放疗中心职业人员分配及受照时间分析表



（二）直线加速器辐射环境影响分析

1、电子束环境影响分析

根据《辐射防护手册》第三分册 4.1.5 加速器的辐射源 (P_{95})，能量为 E (MeV) 的单能电子束，在低 Z 物质中的射程 (单位为 $g \cdot cm^{-2}$) 约为能量 (单位为 MeV) 的 0.6 倍。本项目 10MV 直线加速器在按电子束模式工作时，最大电子线能量为 22MeV，射程为 $22 \times 0.6 = 13.2 g/cm^2$ ，可以估算出 22MeV 的电子在密度为 $2.35 g/cm^3$ 的混凝土中的深度约为 5.6cm，而本项目屏蔽体厚度最小的为 120cm 混凝土，对电子线能完全屏蔽，可不再作特殊的防护要求，可不再考虑对电子束模式对周围环境的影响。

2、直线加速器 X 射线环境影响分析

本项目放疗中心涉及的 2 台 10MV 直线加速器直线加速器治疗时，X 射线最大能量为 10MV、X 射线 1m 处最大剂量率为 24Gy/min，电子束最大能量限定为 22MeV、电子线 1m 处最大剂量率为 10Gy/min，年最大出束时间约 390h/台 (治疗 375h+质控 15h)。

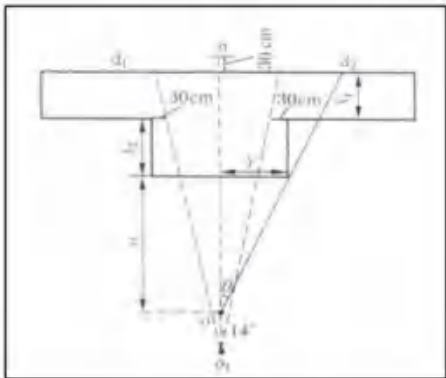
CBCT (锥体束 CT) 在加速器治疗前通过 X 射线扫描得到三维影像，对照射位置和剂量进行校准，最大管电压 150kV，管电流 1000mA。从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本项目直线加速器机房采用混凝土实体屏蔽射线，且防护厚度在 1200mm~3000mm，远大于《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 中主射线束 2.5mmPb 的要求，即射线装置在正常运行时可满足“周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5 \mu Sv/h$ ”的要求，射线装置工作时对机房外公众和辐射工作人员影响较小。模拟定位依托医院本部院区原有的模拟定位 CT，建设单位已经在建设项目环境影响登记表备案系统中进行备案登记，目前在用，且模拟定位过程中产生的影响较小。综上，本次仅考虑 10MV 直线加速器的 X 射线影响。

（1）主屏蔽区宽度校核

本项目拟新建 2 个“镜像”布置的直线加速器机房，室内净空面积相同，均为 $59.04 m^2$ ，机房各方向屏蔽体厚度相近，主射方向相同，拟在机房内使用的直线加速器

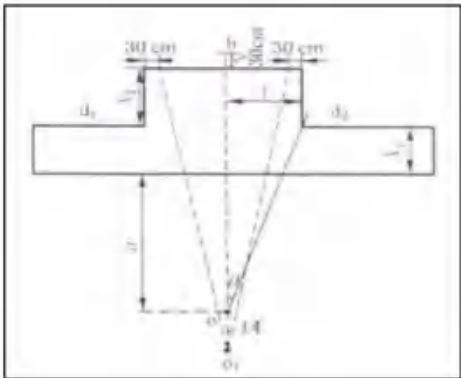
均为 10MV，直线加速器主射线的最大出束角度均为 28°。根据建设单位提供的资料可知，直线加速器机房①北侧、顶部主屏蔽墙体相对加速器机房②较薄，因此，本次预测保守考虑，分析较具有代表性的直线加速器机房①。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）附录 D，直线加速器主屏蔽区宽度计算仅为以下一种情况，对应的主屏蔽半宽度 Y 的计算公式如下：



主屏蔽区内凸

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



主屏蔽区外凸

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

本项目直线加速器机房①设计中，北侧、南侧主屏蔽墙体均为内凸，采用内凸进行考虑；顶部主屏蔽墙体为外凸，采用外凸进行考虑；因此对应的主屏蔽区宽度校核见表11-2。

表 11-2 本项目直线加速器机房①主屏蔽区宽度校核表

焦点距主屏蔽区距离(m)	主屏蔽区宽度计算值(m)	主屏蔽区宽度设计值(m)	结论
距北部主屏蔽墙体 3.60	$2\times[(1+3.60+1.3)tg14^{\circ}+0.3]=3.54$	4.3	满足要求
距南部主屏蔽墙体 3.60	$2\times[(1+3.60+1.3)tg14^{\circ}+0.3]=3.54$	4.3	
距顶部主屏蔽墙体 2.55	$2\times[(1+2.56+1.8+1.2)tg14^{\circ}+0.3]=3.87$	4.0	

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

（2）直线加速器机房关注点设立及剂量率参考水平

1) 直线加速器机房关注点设立

本项目加速器机房建在地下负一层，无地下负二层，故机房地下不作为关注点。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》

(GBZ/T201.2-2011), 本项目加速器机房关注点设立及主要照射路径图见图 11-1、11-2。



图 11-1 本项目直线加速器机房①关注点及主要照射路径示意图（平面）



图 11-2 本项目直线加速器机房①关注点及主要照射路径示意图（剖面）

表 11-3 直线加速器机房外关注点布置

点位编号	位置	照射途径	受照类型
a	南部墙外 30cm 处（土层）	有用线束	/
b	北部墙外 30cm 处（放疗计划室）	有用线束	公众
c	南部与主屏蔽区相连的次屏蔽墙外 30cm 处（岩土层）	泄漏辐射、 散射辐射束	/
d	北部与主屏蔽区相连的次屏蔽墙外 30cm 处（放疗计划室）	泄漏辐射、 散射辐射束	公众
e	西部次屏蔽墙外 30cm 处（排烟机房）	泄漏辐射束	公众
g	东部迷道内墙 30cm 处（防护门内迷道）	泄漏辐射束	公众
f	东部迷道外墙 30cm 处（控制室）	泄漏辐射束	职业
n	防护门外	散射辐射束	公众
H	顶部主屏蔽墙外 30cm 处（地面停车厂）	有用线束	公众
M	顶部与主屏蔽区相连的次屏蔽墙外 30cm 处 （覆土层、地面停车厂）	泄漏辐射、 散射辐射束	公众
k	迷道外墙 30cm 处（水冷机房）	泄漏辐射	公众

2) 剂量率参考水平

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

①有用线束

有用线束（主屏蔽墙）在关注点的导出剂量率参考控制水平（ $H_{c,d}$ ）（ $\mu\text{Sv/h}$ ）可由式 11-1 求得；本项目加速器具有调强治疗功能，故单一泄漏辐射（侧墙）在关注点的导出剂量率参考控制水平（ $H_{c,d}$ ）（ $\mu\text{Sv/h}$ ）可由式 11-2 求得；根据（GBZ/T 201.2-2011）中附录 A2.2 复合辐射（与主屏蔽直接相连的次屏蔽墙），导出剂量率参考控制水平 $H_{e,d}$ 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，即与主屏蔽直接相连的次屏蔽区导出剂量率参考控制水平 $H_{e,d} = \text{泄漏辐射导出剂量率参考控制水平（该关注点单一泄漏辐射的一半）} + \text{有用线束水平照射的患者散射辐射导出剂量率参考控制水}$

平（该关注点最高剂量率参考控制水平的一半）

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

式中：

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

H_c —周剂量参考控制水平，放射治疗机房外控制区的工作人员： $H_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$ ；放射治疗机房外非控制区的人员： $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ ；

U —关注位置方向照射的使用因子，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/T201.1-2011）4.3.2.2，有用线束水平照射或向顶照射时，使用因子 $U=0.25$ ；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子；

t —周治疗照射时间，根据医院提供资料，直线加速器年最大出束时间为 390h，年工作 50 周，则周治疗时间为 7.8h。

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

式中：

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

H_c —周剂量参考控制水平，放射治疗机房外控制区的工作人员： $H_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$ ；放射治疗机房外非控制区的人员： $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ ；

N —强调治疗时用于泄露辐射的调强因子， $N=5$ ；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子；

t —周治疗照射时间。

②按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平

$H_{c,max}$ ：

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

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

本项目 $H_{c,max}$ 均保守取 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

③取①、②中较小者作为关注的剂量率参考控制水平（ H_c ）。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分:电子直线加速器放射治疗机房》4.3.2.5.2c，迷道内墙外关注点（g 点）的最高剂量率应为参考控制水平的一个分数（应

小于 1/4)，又根据附录 D1.2.6，取 0.5μSv/h。综上，各关注点的剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束见下表。

表 11-4 机房外各关注点剂量率参考控制水平

关注点	受照类型	照射途径	H _e (μSv/周)	U (N)	T	H _{c,d} (μSv/h)	H _{c,max} (μSv/h)	H _e (μSv/h)
a(覆土层)	/	有用线束	*	*	*	*	*	2.5
b(放疗计划室)	职业	有用线束	*	*	*	*	*	2.5
c(覆土层)	/	泄漏辐射、 散射辐射束	*	*	*	*	*	2.5
d(放疗计划室)	职业	泄漏辐射、 散射辐射束	*	*	*	*	*	2.5
e(排烟机房)	公众	泄漏辐射束	*	*	*	*	*	0.5
g(迷道内)	公众	泄漏辐射束	*	*	*	*	*	0.5
f(控制室)	职业	泄漏辐射束	*	*	*	*	*	2.5
n(防护门外)	公众	散射辐射束	*	*	*	*	*	2.5
H(地面停车场)	公众	有用线束	*	*	*	*	*	2.5
M(地面停车场)	公众	泄漏辐射、 散射辐射束	*	*	*	*	*	2.28
k(水冷机房)	公众	泄漏辐射	*	*	*	*	*	0.5

注：本项目医用电子直线加速器主射束方向朝向北部、南部、顶部。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/T201.1-2011），偏安全考虑，有用线束方向使用因子 U 保守取 1/4，仅涉及散射辐射的方向 U 取 1，本项目涉及调强治疗，故泄漏辐射关注点处 N 取 5。

（3）直线加速器机房屏蔽体厚度校核

1) 主屏蔽区、迷道内墙和外墙厚度校核

利用 GBZ/201.2-2011 的相关公式对主屏蔽区、迷道外墙、迷道内墙进行厚度核算。屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按下式进行计算。

$$B=\frac{H_e}{H_0}\bullet\frac{R^2}{f}\dots\dots\dots(式 11-3)$$

$$Xe=TVL\bullet\log B^{-1}+(TVL_1-TVL)\dots\dots\dots(式 11-4)$$

$$X_1=Xe\cos\theta\dots\dots\dots(式 11-5)$$

式中：

$$B_1 = \frac{H_c \times R^2}{H_0 \times \alpha_{ph} \times (F/400)} \dots\dots\dots \text{式(11-6)}$$

式中： α_{ph} —患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm² 面积上的散射因子，查 GBZ/T201.2-2011 附录 B.2 可得；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²；

表 11-6 直线加速器机房与主屏蔽区相连的次屏蔽区漏射、散射辐射屏蔽厚度核算

参数	次屏蔽墙 c 点		次屏蔽墙 d 点		屋顶 m 点	
	漏射辐射	散射辐射	漏射辐射	散射辐射	漏射辐射	散射辐射

3) 防护门铅厚度 (X) 校核

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)，防护门铅厚度校核公式为：

$$X = TVL \times \log B^{-1} \dots\dots\dots \text{式 11-7}$$

$$B = \frac{\dot{H}_e - \dot{H}_{0g}}{\dot{H}_g} \dots\dots\dots \text{式 11-8}$$

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \times (F/400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A}{R_2^2} \times \dot{H}_0 \dots\dots\dots \text{式 11-9}$$

式中：

X—防护门铅当量厚度，mm；

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

对应的铅 TVL 取值为 5mm;

B —辐射屏蔽透射因子;

$\dot{H}_e$ —剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv/h}$, 经计算, 本项目为 $2.5\mu\text{Sv/h}$;

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

$\dot{H}_0$ —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率, 本项目为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv.m}^2/\text{h}$ (最高剂量率为 24Gy/min);

$\dot{H}_{og}$ — O_1 位置穿过迷道内墙的泄露辐射在 g 处的剂量率, 根据公式 11-10、公式 11-11 计算而得;

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

α_2 —砼墙入射的患者散射辐射的散射因子, 通常取 i 处的入射角为 45° , 散射角为 0° , 查得混凝土墙 45° 入射、 0° 散射、 1m^2 的散射因子 $\alpha_2 = 5.1 \times 10^{-3}$ (查附录 B 表 B.6);

A — A 处的散射面积, m^2 ; 本项目迷道内口宽 2.2m、高 3.8m, 经计算散射面积约为 8.36m^2 ;

R_1 —第一次散射路径; $R_1 = 8.25\text{m}$;

R_2 —第二次散射路径; $R_2 = 10.2\text{m}$;

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

经计算: $\dot{H}_{og} = 1.41 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$, $\dot{H}_g = 46.82 \mu\text{Sv/h}$, $B = 5.31 \times 10^{-2}$

最终得到防护门的铅当量厚度为: $X = \text{TVL} \cdot \log B^{-1} = 6.37\text{mm}$ 。

由理论计算可知, 机房入口铅防护门屏蔽效能为 6.37mmPb , 实际设计屏蔽效能 **为 20mmPb , 可满足屏蔽要求。**

小结: 经过对直线加速器机房屏蔽厚度校核, 直线加速器机房墙体厚度、迷道厚度、顶部厚度和防护门厚度均满足要求。

(4) 直线加速器对关注点产生的剂量估算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011), 本项目医用直线加速器在运行过程中对关注点处人员产生的最大剂量可根据以下公式进行计算:

主射线束和泄漏辐射剂量估算 (式中各符号含义同前文):

$$H = \frac{H_0 \bullet f}{R^2} \bullet B \dots\dots\dots \text{(式 11-10)}$$

$$B = 10^{-\frac{(Xe+TVL-TV L_1)}{TVL}} \dots\dots\dots \text{(式 11-11)}$$

$$Xe = X / \cos \theta \dots\dots\dots \text{(式 11-12)}$$

患者一次散射辐射剂量估算

$$H_{散} = \frac{H_0 \bullet \alpha_{ph} \bullet (F / 400)}{R^2} \bullet B \dots\dots\dots \text{(式 11-13)}$$

机房迷道入口处 X 射线散射辐射剂量率 H_g:

$$H_g = \frac{\alpha_{ph}(F / 400)}{R_1^2} \bullet \frac{\alpha_2 \bullet A}{R_2^2} \bullet H_0 \dots\dots\dots \text{(式 11-14)}$$

$$H_c = H_g 10^{-(X / TVL)} + H_{og} \dots\dots\dots \text{(式 11-15)}$$

由此估算主射线束和泄漏辐射对各关注点产生的剂量见表 11-7，由患者一次散射对各关注点产生的剂量见表 11-8，机房迷道防护门外由散射辐射产生的剂量见表 11-9。

表 11-7 直线加速器主射线束和泄漏辐射对关注点的剂量估算表

计算参数	主屏蔽区			迷道内墙 (g 点)	次屏蔽 墙 (c 点)	次屏蔽墙 (d 点)	侧墙 (e 点)	侧墙 (k 点)	侧墙 (f 点)	次屏蔽墙 (M 点)
	墙体 (a 点)	墙体 (b 点)	屋顶 (H 点)							

表 11-8 直线加速器患者一次散射对关注点的剂量估算表

计算参数	次屏蔽墙 (c 点)	次屏蔽墙 (d 点)	侧墙 (e 点)	侧墙 (k 点)	侧墙 (f 点)	次屏蔽顶 (M 点)

h—工作负荷 (h/a)；

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

W_T—组织权重因数，全身为 1。

本项目直线加速器致各预测点最终年剂量统计表如下。

表 11-11 本项目各预测点理论预测最大年受照剂量统计表

照射类型	关注点位保护目标	关注点位	照射类型	综合剂量率 (μSv/h)	年最大受照时间(h)	居留因子	漏射/散射年辐射剂量 (mSv/a)	年总辐射剂量 (mSv/a)	约束值

根据表 11-11 可，职业人员物理师受年附加有效剂量最大为 $1.50 \times 10^{-1} \text{mSv}$ ，医师\护士受年附加有效剂量最大为 $9.98 \times 10^{-8} \text{mSv}$ ，技师受年附加有效剂量最大为 $4.99 \times 10^{-7} \text{mSv}$ ；公众受年附加有效剂量最大为 $2.56 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，分别低于职业人员 5.0mSv/a 和公众 0.1mSv/a 的剂量约束值，远低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的职业人员 20mSv/a 和公众 1mSv/a 的剂量限值。

（三）射波刀辐射环境影响分析

放疗中心拟新增 1 台射波刀，主要参数为 X 射线最大能量 6MV，射波刀有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 0.8m 处常用最高剂量率为 10Gy/min ，机头周围的泄漏辐射与最大吸收剂量的比值不超过 0.1%，无电子线产生，年总出束时间最大约 315h（治疗 300h+质控 15h）。

图像引导系统(X射线发生器)在射波刀治疗前通过设备自带的X射线扫描得到三维影像,对照射位置和剂量进行校准,其最大管电压均为150kV,最大管电流均为640mA。从X射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑,本项目射波刀机房采用混凝土实体屏蔽射线,且防护厚度在900mm~3400mm,远大于《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)中主射线束2.5mmPb的要求,即射线装置在正常运行时可满足“周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求,射线装置工作时对机房外公众和辐射工作人员影响较小。模拟定位依托医院本部院区原有的模拟定位CT,建设单位已经在建设项目环境影响登记表备案系统中进行备案登记,目前在用,且模拟定位过程中产生的影响较小。综上,本次仅考虑6MV射波刀的X射线影响。

(1) 射波刀机房关注点设立及剂量率参考水平

1) 射波刀机房关注点设立

根据 GBZ/T201.2-2011 附录 D.3 推荐方法核算射波刀机房屏蔽是否达标。

由于来自于射波刀加速器的漏射线及人体散射线的剂量率及能量都远小于主射线,机房墙体若能屏蔽主射线,也一定能够屏蔽来自于射波刀加速器的漏射线及人体散射线。故本项目射波刀机房仅以主射线屏蔽核算屏蔽体外辐射剂量率是否达标。保守考虑,在射波刀机房设计的尺寸厚度基础上(由于南侧墙体与加速器机房②共用,保守按照次屏蔽墙体2700mm进行核算),假定以最大剂量率 $10\text{Gy/min}(6\text{MV})$ 运行,并针对关注点最不利的情况进行预测计算,本项目射波刀机房的平面、剖面布局设计图及关注点设定如图 11-3。本项目射波刀机房建在地下负一层,无地下负二层,故机房地下不作为关注点。



图 11-3 本项目射波刀机房关注点及主要照射路径示意图

2) 剂量率参考控制水平

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) 4.1 和 4.2 和附录 A 内容,本项目射波刀机房各关注点剂量率参考水平按下式进行计算:

a.单一有用线束: $H_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots$ (式 11-17)

式中：

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

H_c —周剂量参考控制水平，放射治疗机房外控制区的工作人员： $H_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；放射治疗机房外非控制区的人员： $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ ；

U —关注位置方向照射的使用因子，根据 GBZ/T201.2-2011 附录 D.3 的内容，本项目取 0.05；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子；

t —周治疗照射时间， h ；根据医院提供的资料，射波刀预估年有效出束时间最长约 315h，年工作 50 周，则周治疗照射时间约 $t=6.3h$ 。

综上，各关注点的剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束见下表。

表 11-11 射波刀机房外各关注点剂量率参考控制水平

关注点	受照类型	照射途径	H_c ($\mu\text{Sv/周}$)	t ($h/周$)	U (N)	T	$H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	$H_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	H_c ($\mu\text{Sv/h}$)
a (水冷机房、控制室)	职业	有用线束							2.5
b (加速器机房②)	公众	有用线束							2.5
c (覆土层)	公众	有用线束							2.5
d (覆土层)	公众	有用线束							2.5
e (绿化用地)	公众	有用线束							2.5
g (防护门外)	公众	散射辐射							2.5

(2) 射波刀机房屏蔽体厚度校核

1) 机房四周墙体及顶部厚度校核

射波刀在放射治疗应用中，采用非等中心且从不同方向，以几百个小的圆形照射野(直径一般为1.5cm)照射肿瘤部位，主射线束能照射到治疗室机房的大部分墙面上，因此保守考虑，射波刀机房各面墙体均按有用束(使用因子 $U < 0.05$)来估算法房的屏蔽是否达标。

本次评价利用 GBZ/201.2-2011 的相关公式对射波刀机房四周墙体、迷道内外墙进行厚度核算。屏蔽所需要的屏蔽透射因子 B 按下式进行计算。

$$B = \frac{H_e}{H_0} \times \frac{R^2}{f} \dots\dots\dots (式 11-18)$$

$$Xe = TVL \times \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \dots\dots\dots (式 11-19)$$

$$X_1 = X_e \cos \theta \dots\dots\dots(\text{式 } 11-20)$$

式中:

B—屏蔽透射因子;

H_e —剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv/h}$;

H_0 —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的 1m 处常用最高剂量率, $\mu\text{Sv.m}^2/\text{h}$, 根据 GBZ/T 201.2-2011 D3.3.3, 本项目射波刀的剂量率为 $H_0=10 \times 0.8^2 \times 60 \times 10^6 = 3.84 \times 10^8 \mu\text{Sv.m}^2/\text{h}$;

R—辐射源点(靶点)至关注点的距离, m;

f—有用束为 1; 泄漏辐射为主射射线比率 (0.1%)

θ —斜射角, 即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角; 主射束按 0° 垂直入射

TVL1 (cm) 和 TVL (cm)—辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度; 根据 GBZ/201.2-2011 中表 B.1, 6MV 时: 主屏蔽区 TVL1 取 37, TVL 取 33;

X_e —墙体有效屏蔽厚度, cm;

X_1 —墙体屏蔽厚度, cm。

表 11-12 射波刀机房墙体厚度校核

参数	墙体 a 点	墙体 b 点	墙体 c 点	墙体 d 点	屋顶 e 点

2) 防护门厚度校核

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011), 射波刀防护门铅厚度校核公式参照直线加速器防护门的计算公式 11-7~11-9, 经计算: $\dot{H}_{\text{eq}} = 6.0 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$, $\dot{H}_g = 36.01 \mu\text{Sv/h}$, $B = 6.78 \times 10^{-2}$

最终得到射波刀防护门的铅当量厚度为: $X = \text{TVL} \cdot \log B^{-1} = 5.85 \text{mm}$ 。

小结：经过对直线加速器机房屏蔽厚度校核，直线加速器机房墙体厚度、迷道厚度、顶部厚度和防护门厚度均满足要求。

1) 墙体外关注点剂量估算

表 11-13 射波刀加速器主射线束对关注点的剂量估算表

参数	墙体 a 点		墙体 b 点 (加速器机房)	墙体 c 点 (覆土层)	墙体 d 点 (覆土层)	屋顶 e 点 (地面停车厂)
	水冷机房	控制室				

射波刀机房防护门处的辐射，是来自迷道内墙的贯穿辐射与来自迷道的散射的叠加。射线路径：O-g(贯穿射线)，O-n-g(散射线)。迷道内墙的贯穿辐射在入口g处造成的剂量率计算方法，参考加速器方法以6MV主射线朝向g点照射估算，根据图11-3中标注距离可知，迷道内墙等效厚度不小于220cm，R为7.88m，则计算得到辐射剂量率小于1.76 μ Sv/h。

89

表 11-14 射波刀机房迷道入口处由散射辐射产生的剂量估算表

计算参数	迷道入口处（防护门外 g 点）

机房防护门（g）处的辐射剂量，经迷道内墙的贯穿辐射（1.76uSv/h）与迷道的散射辐射（0.42uSv/h）叠加后总剂量为 2.18uSv/h。

综述，在本项目射波刀工作时，机房外关注点的剂量当量率均分别小于对应的导出剂量率控制值。

（4）射波刀对关注点产生的年辐射剂量估算

由于职业人员的工作职责不同，因此不同职业人员所受照射时间不同，具体参考表 11-1。关注点处人员的年有效剂量由《辐射防护导论》给出的下列公式进行估算：

$$D_{\text{Eff}} = K_a \bullet t \bullet T \bullet U \dots\dots\dots(\text{式 11-21})$$

上式中：D_{Eff}—关注点人员有效剂量（mSv/a）；

K_a—关注点的辐射剂量率（mSv/h）；

t—关注点处受照时间（h）；

T—居留因子，取值方式参见 HJ1198-2021及GBZ121-2020 附录 A；

U—使用因子，根据GBZ/T201.2-2011附录D.3 内容，本项目取0.05；

本项目射波刀致各预测点最终年剂量统计表如下。

表 11-15 本项目各预测点理论预测最大年受照剂量统计表

照射类型	关注点位保护目标	关注点位	照射类型	综合剂量率（μSv/h）	年最大受照时间（h）	居留因子	年辐射剂量（mSv/a）	约束值

根据表 11-11 可，职业人员物理师受年附加有效剂量最大为 1.24×10⁻³mSv，医师\

护士受年附加有效剂量最大为 $8.82 \times 10^{-4} \text{mSv}$ ，技师受年附加有效剂量最大为 $4.41 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，水冷机房职业人员受年附加有效剂量最大为 $2.87 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ；公众受年附加有效剂量最大为 $8.18 \times 10^{-4} \text{mSv}$ ，分别低于职业人员 5.0mSv/a 和公众 0.1mSv/a 的剂量约束值，远低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的职业人员 20mSv/a 和公众 1mSv/a 的剂量限值。

（四）放疗中心保护目标辐射影响综合分析

放疗中心位于综合科研大楼南侧，为独立的地下负一层建筑，其中在直线加速器机房①、②内分别使用 1 台 10MV 直线加速器，在其北侧相邻的射波刀机房内使用 1 台 6MV 射波刀，三间机房邻近均布置于放疗中心的东南侧，因此，在放疗中心周围各保护目标受到 2 台直线加速器和 1 台射波刀的剂量叠加综合影响。本次保护目标综合预测过程中，偏保守不考虑建筑屏蔽，仅考虑距离衰减。

保护目标年附加辐射剂量由下式进行计算：

$$E = H \times 10^{-3} \times q \times h \times W_T \dots\dots\dots \text{（式 11-22）}$$

式中：

H—关注点的剂量当量($\mu\text{Sv/h}$)；

E—关注点的年剂量 (mSv/a)；

h—年工作负荷 (h/a)；

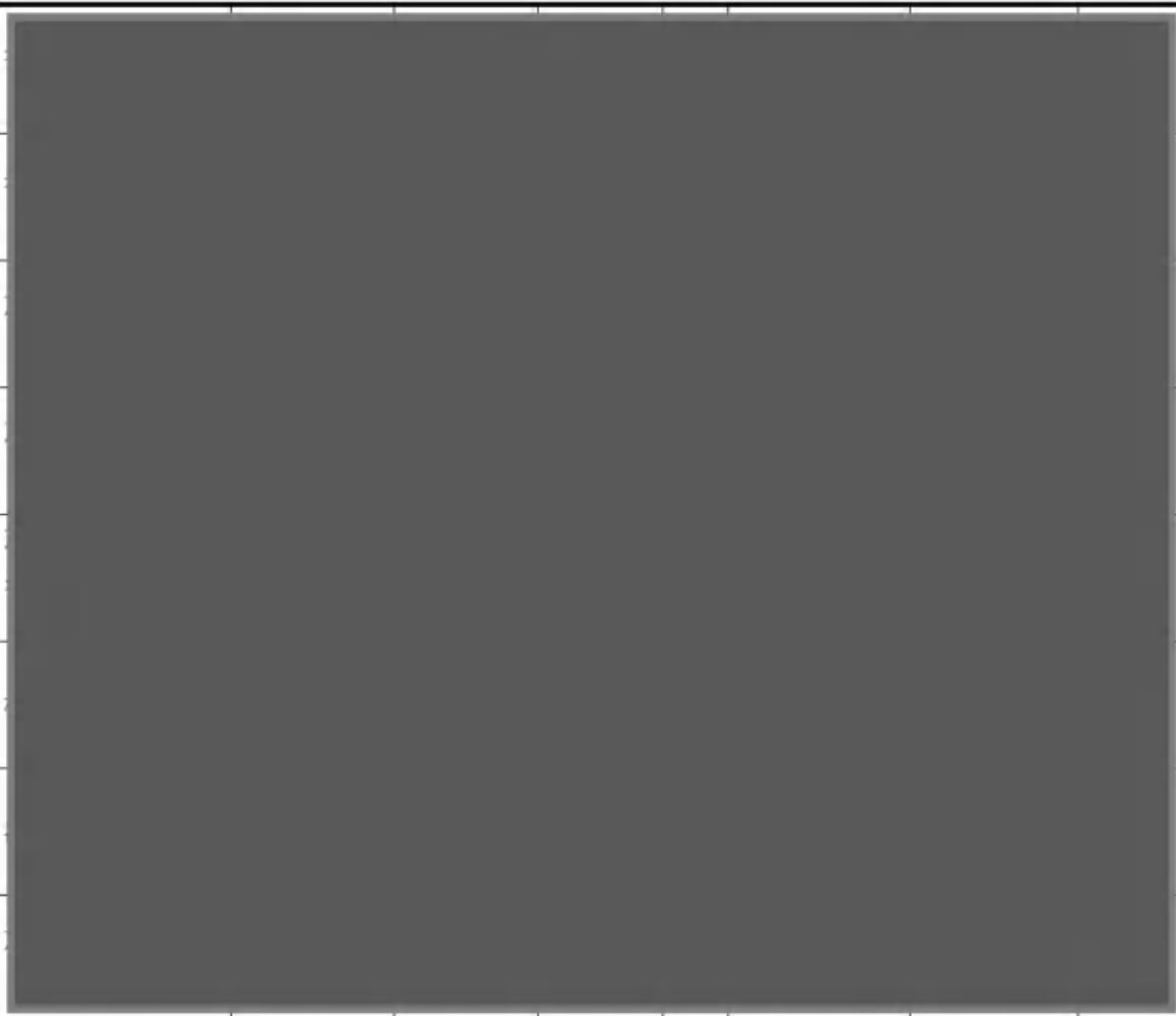
q—居留因子，经常有人员停留的地方取 1，有部分时间有人员停留的地方取 $1/4$ ，偶然有人员经过的地方取 $1/8$ ；

W_T —组织权重因数，全身为 1。

本项目放疗中心设备机房周围保护目标辐射有效剂量如下表所示：

表 11-16 放疗中心射线装置最近各保护目标辐射有效剂量计算

最近保护目标位置	射线装置	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年最大照射时间 (h)	居留因子	年最大辐射剂量 (mSv/a)	综合年有效剂量 (mSv/a)	照射类型



由上表 11-16 可知，放疗中心的直线加速器、射波刀发出的射线经过机房实体防护后，职业人员受照有效剂量最大为 $1.26 \times 10^{-1} \text{mSv/a}$ ，小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B 确定的 20mSv/a 剂量限值，亦小于《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）确定的 5mSv/a 剂量约束值；公众受照有效剂量最大为 $5.77 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B 确定的 1mSv/a 剂量限值，亦小于《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）确定的 0.1mSv/a 剂量约束值。

根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律，距离放疗中心辐射源或装置机房最近的关注点可以代表最大可能辐射有效剂量，评价范围内的其他保护目标处受到年剂量亦低于 0.1mSv/a 的剂量约束值。

（五）放疗中心臭氧环境影响分析

医院拟在放疗中心直线加速器机房①和直线加速器机房②内分别使用 1 台 10MV

直线加速器，在其北侧相邻的射波刀机房内使用 1 台 6MV 射波刀。射线装置在出束期间，机房内空气中的氧受 X/γ 射线电离会产生臭氧。

(1) 直线加速器产生臭氧环境影响分析

本项目直线加速器在开机出束期间，产生的电子束、X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧(O₃)，X 射线产生的臭氧较电子束产生的臭氧对环境的影响小，且电子线治疗占比较 X 射线大，根据《电子直线加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018)附录 B 中臭氧计算方法，仅考虑电子束产生的臭氧，其产生率和浓度可用下面两个公式分别计算：

① 机房内臭氧产生率计算公式：

$$P=45 \cdot d \cdot I \cdot G \dots\dots\dots \text{式 (11-23)}$$

式中：

P——单位时间电子束产生臭氧的质量，mg/h；

I——电子束流强度，mA；取值 0.01；

d——电子在空中的行程，cm；本项目直线加速器取值 2.55cm；

G——空气每吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数，保守值取 10。

② 臭氧浓度

通风系统换气每小时换气次数不小于 4 次，换气一次所需时间远小于臭氧的有效化学分解时间（约 50 分钟），室内臭氧浓度由下式计算：

$$C = \frac{P \cdot T_v}{V} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_v}} \right) \dots\dots\dots \text{式 (11-24)}$$

式中：

C——在 t 时刻室内的臭氧浓度，mg/m³；考虑到单人单次最长受照时间约 3min，因此 t 取值为 3min。

T_v——臭氧有效清除时间，h；

V——机房空间体积，m³；取值 376m³

$$\text{其中, } T_v = \frac{t_v \cdot t_a}{t_v + t_a} \dots\dots\dots \text{式 (11-25)}$$

式中：

t_v——每次换气时间，h；换气一次时间 0.1h；

t_a——臭氧分解时间，h；臭氧有效化学分解时间 0.83h。

本项目直线加速器机房均设计有专用排风系统，设计通风量为 4000m³/h，机房体积按照 376m³ 进行计算，则每小时通风次数为 10 次，每次换气需要 6min，则直线加速器机房内臭氧浓度为 2.72E-03mg/m³，低于《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）臭氧最高允许浓度 0.16mg/m³ 的要求，亦低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）标准限值 0.2mg/m³ 的要求。

通排风系统：直线加速器机房内拟采用专用新风机组排风，设计通风量均为 4000m³/h。机房内通排风均采用“上送风、下回风”的方式，回风口下缘距地 0.3m，送风和回风管道在机房铅门上方以斜角 45°形式穿过迷道门顶部出机房，接自夹层空调机房新风机组，最终分别汇至放疗中心新风机房进风井或排烟机房排风井（进/排风井分别设置在放疗中心西北、东北侧，井口均高出水平地面约 3m，井口处均采用百叶窗口设计）。

（2）射波刀产生臭氧环境影响分析

本项目 6MV 射波刀在开机出束期间，不产生电子束，产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧(O₃)，其产率和浓度可用下面公式进行计算：

$$Q_o = 6.5 \times 10^{-3} \times G \times S_o \times R \times g \dots\dots\dots \text{式 (11-26)}$$

式中：

Q_o —臭氧产率 mg/h；

G —射束在距离源点 1m 处的剂量率 Gy/(h.m²)，6MV 射波刀取 6.0×10^2 ；

S_o —射束在距离源点 1m 处的照射面积 m²，本项目取 0.16；

R —射束径迹长度 m，取 1；

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

室内臭氧饱和浓度由下式计算：

$$C = Q_o \cdot T_v / V \dots\dots\dots \text{式 (11-27)}$$

式中：

C —室内臭氧浓度，mg/m³；

Q_o —臭氧产额 mg/h；

T_v —臭气有效清除时间，h，计算参照式 11-25；

V —机房空间体积，6MV 射波刀机房体积为 229m³（含迷道）；

本项目射波刀机房风机排风量为 4000m³/h，机房体积为 229m³（含迷道），则机房内每小时通风频率约 17 次，机房内每次换气时间为 0.06h，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中放射治疗机房内换气次数不少于 4 次/h 的要求；经计算可知，射波刀机房臭氧产额为 6.24mg/h，则射波刀机房内的臭氧平衡浓度为 1.52×10⁻³mg/m³。

通排风系统：本项目射波刀机房内拟采用专用风机排风，设计通风量为 4000m³/h，射波刀开机治疗过程中产生的臭氧通过新风机组排风，最终引至放疗中心东北侧排风井（出屋面风井，距地高 3m）排出室外，经自然分解和稀释，能够满足《环境空气质量标准》（GB3095—2012）中臭氧小时平均浓度二级标准（0.20mg/m³）的要求，不会对环境空气造成明显影响。

二、手术中心环境影响分析

（一）术中放疗辐射环境影响分析

根据《医用 X 射线治疗放射防护要求》（GBZ 131-2017）：第 5.1 条规定，50kV 以上的治疗机的治疗室应与控制台分开，治疗室面积应不小于 20m²。根据设计图纸可知，该术中放疗手术室净空面积为 48.2m²、最小单边长度为 6.6m、层高为 4.0m，治疗室设计满足相关要求。

本项目术中放射治疗仪额定管电压为 50kV，额定管电流为 0.04mA，属于 II 类射线装，医院计划使用此台设备每年最多诊治 300 人次，每人每次最多治疗 30min，年最大出束时间为 150h。该台设备专门放置于综合科研大楼 11 层东南侧术中放疗手术室，平时不使用，仅在进行术中放疗时由专人进行隔室操作，开机治疗时全体医务人员撤离出手术室，放疗科技师、物理师进入控制室操作设备进行出束，其他外科医师、护士、麻醉师等在控制室北侧的过道等候。

1、关注点的辐射环境影响分析

本项目关注点主要考虑术中放疗手术室四周屏蔽体外及楼上、楼下距离最近的点位。预测点位图见下图 11-4。



图 11-4 术中放射治疗手术室关注点示意图

（1）剂量率参考控制水平

本项目术中放疗年照射时间 150h，年工作 50 周，则周治疗时间为 3h。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）6.1.4，机房外各关注点的剂量率参考控制水平 H_c 由以下方法确定：

a) 治疗室墙和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或治疗室旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗室顶外表面 30cm 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 1) 和 2) 所确定的剂量率参考控制水平 H_c ：

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

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

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

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

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

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

本项目 $H_{c,max}$ 均保守取 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

各关注点的剂量率参考控制水平计算公式参照前文式 11-11，由此确定各关注点的剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束见表 11-17。

表 11-17 术中放疗手术室各关注点剂量率参考控制水平

关注点	受照类型	照射途径	H_c ($\mu\text{Sv/周}$)	U	T	$H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	$H_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	H_c ($\mu\text{Sv/h}$)
a 北侧墙体外 (洁净走廊)	公众	有用线束						2.5
b 南侧墙体外 (设备间)	公众	有用线束						2.5
c 西侧观察窗外 (控制室)	职业	有用线束						2.5
d 东侧墙体外 (DSA14)	公众	有用线束						2.5
e 正下方 (ICU 病房)	公众	有用线束						2.5

f 正上方(净化机房)	公众	有用线束					2.5
-------------	----	------	--	--	--	--	-----

(2) 术中放疗手术室屏蔽体外关注点处剂量率

由《辐射防护导论》可知，X 射线装置机房屏蔽体外关注点处经屏蔽物质屏蔽后的剂量率计算公式如下：

$$\dot{D} = \frac{I \times \delta_a}{r^2} \times 60 \times 10^6 \times B \quad \dots\dots\dots \text{(式 11-28)}$$

D—机房屏蔽体外关注点处经屏蔽物质屏蔽后的剂量率，μGy/h；

I—电子束流强度，mA；本项目取最大值 0.04mA；

δa—射线发射率常数为 0.01Gym²/(mA.min)；

r—靶至关注点处的距离，m；

B—透射系数，对于什值层厚度，B=10^{-X/TVL}，X 为屏蔽物质厚度，TVL 为特定能量下屏蔽物质对应的什值层厚度；

60 为 min⁻¹ 与 h 的转换系数，10⁶ 为 Gy 至μGy 的转换系数；

本项目术中放射治疗装置 X 射线最大能量为 50kV，靶物质为金靶，为高原子序数靶；治疗时，有用线束方向一般朝下。理论计算时的 X 射线发射率常数保守取 100kV 对应值，由《辐射防护导论》（图 3.3）可知，100kV 电子束垂直投照高 Z 厚靶上产生的 X 射线发射率常数为 0.01Gym²/(mA.min)；由《辐射防护导论》（表 3.5）可知 50kV 的 X 射线铅的什值层厚度为 0.18mm，混凝土为 1.3cm。

该术中放射治疗仪为移动式设备，可根据手术部位在手术床四周移动使用，本项目放射治疗专用手术室内尺寸为：4.6(宽)m×5.97(长)m×45m(高)，一般外科手术床长：2070~2100mm，宽 570~575mm，高 680~1120mm，因此保守考虑，设备施用器中心点距离手术间四侧墙体及地面距离按 1m 考虑。因泄露辐射影响小于有用线束方向影响，故计算时各屏蔽墙体保守均按有用线束方向计算，计算结果是偏保守和安全的，代入相关参数算得机房屏蔽体外 30cm 处的剂量率估算结果见表 11-18。

表 11-18 术中放疗手术室屏蔽体外关注点处剂量率估算表

点 位	关注点保护目 标	屏蔽物质及厚度	距靶距离 (m)	透射系数 (B)	关注点处剂量 率 (μGy/h)	剂量率参考 控制水平 (μGy/h)



由上述计算结果可知，本项目术中放疗手术室四周墙体、防护门、观察窗外、顶棚及底板外 30cm 处的周围剂量当量率在 $4.75 \times 10^{-13} \mu\text{Gy/h} \sim 3.06 \times 10^{-12} \mu\text{Gy/h}$ ，均分别小于对应的导出剂量率控制值 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 。因泄露辐射影响小于有用线束方向影响，故能满足有用线束屏蔽要求的墙体也能满足泄露辐射的屏蔽要求。

(3) 术中放疗对手术室周围保护目标综合影响

术中放射治疗仪专门放置于术中放疗手术室内，平时不使用，仅在进行术中放疗时由专人进行隔室操作，开机治疗时全体医务人员撤离出手术室，放疗科技师、物理师进入控制室操作设备进行出束，其他外科医师、护士、麻醉师等在控制室北侧的过道等候，因此本项目辐射工作人员的剂量率取控制室处剂量率估算值，公众人员受照剂量率取除控制室外机房周边其他地方。

由式 11-36 估算各关注点的年附加有效剂量：

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

式中：

H—关注点的剂量当量($\mu\text{Sv/h}$)；

E—关注点的附加有效剂量 (mSv/a) ；

h—工作负荷 (h/a) ；

q—居留因子；

WT—组织权重因数，全身为 1。

由此估算的术中放射治疗手术室周围各关注点的年附加有效剂量见表 11-19。

表 11-19 术中放疗手术室屏蔽体外关注点年附加有效剂量估算表

点位	关注点保护目标	剂量当量 H 预测结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	工作负荷 (h/a)	居留 因子	附加有效剂量 预测结果 (mSv/a)	受照者 类型

根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律，距离术中放疗手术室最近关注点受到的辐射剂量可以代表评价范围内可能受到的最大辐射有效剂量。由表 11-31 可知，术中放疗手术室运行后，控制室内职业人员所受年附加有效剂量最大为 $4.59 \times 10^{-12} \text{mSv}$ ，四周紧邻的公众所受最大年剂量为 $1.15 \times 10^{-12} \text{mSv}$ ，分别低于职业人员 5.0mSv/a 和公众 0.1mSv/a 的剂量约束值，远低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的职业人员 20mSv/a 和公众 1mSv/a 的剂量限值。

（二）DSA 辐射环境影响分析

本项目手术中心共涉及 16 台 DSA，其额定管电压均为 150kV ，额定管电流均为 1250mA ，出束方向由下向上，属于 II 类射线装置，主要用于外周血管、心血管、神经、综合介入等手术，由于 DSA 介入治疗时各个科室手术的拍片和透视出束时间不一样，本环评保守按最长使用科室的手术曝光时间计：

①常规 DSA 介入单台手术最长出束时间：透视 30min、拍片 1min，500 台手术/年/台，则单台 DSA 年累计曝光时间最大约 258.34h（其中透视 250h、拍片 8.34h）；

②复合 DSA 介入单台手术最长出束时间：透视 45min、拍片 2min，300 台手术/年/台，则复合手术室内单台 DSA 年累计曝光时间最大约 235h（其中透视 225h、拍片 10h）。

根据原环境保护部和国家卫生计生委联合发布公告 2017 年第 66 号《射线装置分类办法》，DSA 属于 II 类射线装置，工作时不产生放射性废气、废水和固体废物。本机为数字成像设备，不使用显、定影液，其主要危害因素为射线装置工作时产生的 X

射线，出束方向由下向上。

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

①造影拍片过程：操作人员采取隔室操作的方式，医师通过操作间铅玻璃观察窗 DSA 机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。在拍片过程中，医师位于操作间内，经 DSA 机房各屏蔽体屏蔽后，对 DSA 机房外的公众和工作人员影响较小。

②脉冲透视过程

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

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

1、本项目关注点的辐射环境影响分析

本项目 DSA 辐射工作场所屏蔽方案均一致：四周墙体均采用 100mm 厚轻质墙+3mmPb 硫酸钡板，屋顶采用 120mm 厚钢筋混凝土+3mmPb 硫酸钡板，地面采用 120mm 厚钢筋混凝土+30mm 厚硫酸钡涂料，每间介入手术室均设有 1 扇观察窗，均为 3mm 铅当量铅玻璃，除复合手术室 2 设有 5 扇防护铅门，其余均设有 3 扇防护铅门，防护厚度均为 3mmPb。

根据医院实际诊疗情况，拍片时，DSA 的常用电压 60~100kV，常用电流为 100~500mA；透视时，DSA 常用管电压为 70~90kV，常用管电流为 6~20mA。本项目保守取 0.5mmCu 过滤条件，通过查《辐射防护手册（第一分册）辐射源与屏蔽》图 4.4，对于管电压为 90kV，0.5mmCu 作为过滤板的条件下，当管电压为 90kV 时（透视最大工况），查得 $v_{r0} = 0.15R \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；当管电压为 100kV 时（拍片最大工况），查得 $v_{r0} = 0.21R \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。经计算后，在透视时管电压为 90kV、管电流为 20mA 时，距靶 1m 处的剂量率 H_0 为 $26.19\text{mGy} \cdot \text{min}^{-1}$ ；在拍片管电压为 100kV、管电流为 500mA 时，距靶 1m 处的剂量率 H_1 为 $916.65\text{mGy} \cdot \text{min}^{-1}$ 。见下表：

表 11-20 本项目 DSA 常用工况及源强取值

工作模式	常用管电压	常用管电流	最大使用工况	v_{r0}	H_0
透视	70~90kV	6~20mA	90kV、20mA	$0.15R \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	$26.19\text{mGy} \cdot \text{min}^{-1}$
拍片	60~100kV	100~500mA	100kV、500mA	$0.21R \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	$916.65\text{mGy} \cdot \text{min}^{-1}$

本项目 DSA 运行后，手术过程中 DSA 机房四周的保护目标，均受到漏射线和散射射线的影响，保守考虑，DSA 机房上方同时受到散射和主射辐射的影响，DSA 机房内的辐射工作人员受到散射和漏射的影响。根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律，距离 DSA 机房最近关注点可以代表最大可能辐射有效剂量。

本项目 16 台 DSA 辐射工作场所屏蔽防护方案均一致，其中 DSA 机房 11 的有效使用面积最小（49m²），偏保守考虑，本次 DSA 机房周围辐射剂量率预测选取机房面积最小的 DSA 机房 11 进行预测分析。保护目标取机房内职业人员（主刀/助手医师、护士）、控制室操作位、四周防护墙外 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 11-5，预测点位说明如下：50m 范围内其余环境保护目标距离靶点较以上预测点位更远，因此若以上（紧邻机房四周）预测点位满足要求的话，其余较远的环境保护目标亦能满足要求。



图11-5 本项目DSA机房11四周预测点位示意图

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）公式C.1以及附录表C.2可知。屏蔽减弱因子B：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \dots\dots\dots (式11-30)$$

式中：

B—给定屏蔽材料厚度的屏蔽减弱因子；

β—给定屏蔽材料对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数；

α—给定屏蔽材料对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数；

γ—给定屏蔽材料对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数；

X—屏蔽材料厚度。

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

表 11-21 屏蔽材料对 X 射线的辐射衰减拟合参数

管电压90kV（透视）			
材料	α	β	γ
铅	3.067	18.83	0.7726
管电压 100kV（拍片）			

材料	α		β		γ	
	主束	散射	主束	散射	主束	散射
铅	2.500	2.507	15.28	15.33	0.7557	0.9124

根据计算，DSA手术室不同防护措施对应的屏蔽减弱因子见表11-22。

表 11-22 DSA 手术室设计屏蔽参数及防护措施铅当量一览表

屏蔽方位	屏蔽材料与厚度	等效约合 铅当量	屏蔽减弱因 子（透视）	屏蔽减弱因子（拍片）	
				主束	散射

（1）主射线束方向影响分析

①计算模式

本项目主射方向屏蔽防护采用《辐射防护手册》（第一分册）中计算公式如下：

$$D_r = D_1 \cdot \mu \cdot \eta \cdot f \cdot T / r^2 \dots\dots\dots \text{（式 11-31）}$$

式中：

D_r —预测点处辐射空气吸收剂量，mGy/a；

D_1 —X 射线在 1m 处的辐射空气吸收剂量率，mGy/min；

T —每年工作时间，15500.4min（包括透视 15000min 和拍片 500.4min）；

μ —利用因子，主射方向取 1；

η —对防护区的占用因子；

f —屏蔽材料对初级 X 射线束的减弱因子；

r —预测点距 X 射线源的距离，m。

②预测结果分析

根据 NCRP147 报告，患者和接收器对初始线束的减弱倍数为 10 到 100 倍，考虑最不利影响，患者和接收器对初始线束的减弱倍数取 10 倍，则主射方向照射量率取

将相关参数带入(式 11-31)中,进行各关注点年有效剂量预测,预测点年剂量估算结果见表 11-23:

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

个人年最大有效剂量估算公式如下:

t —一年工作时间, h;

T —居留因子，职业人员保守取 1，公众保守取 1/4。

各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果见下表 11-24。

表 11-24 散射辐射各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果



(3) 泄漏辐射剂量估算

泄漏辐射剂量率按初级辐射束的 1‰ 计算，利用点源辐射进行计算，各预测点的泄漏辐射剂量率可用下(式 11-34)进行计算。

$$H = \frac{H_0 \cdot f \cdot B}{R^2} \dots\dots\dots (式11-34)$$

式中：

H —预测点处的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

f —泄漏射线比率，1‰；

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

各预测点泄漏辐射剂量率计算参数及结果见下表 11-25。

表11-26 本项目各预测点保护目标最大辐射剂量率表

[illegible]



由表 11-26 计算结果可知：透视工况，控制室操作位的辐射剂量率最大为 $1.03 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，机房周边辐射剂量率最大为 $1.03 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ；拍片工况，控制室操作位的辐射剂量率最大为 $2.13 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，机房周边辐射剂量率最大为 $2.91 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ 。

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》(GBZ130-2020)中规定的屏蔽体外表面 30cm 处剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的标准限值。(剂量换算系数 Sv/Gy ，近似取 1)

(5) 单台射线装置对机房周围保护目标的综合影响

本项目单台射线装置所致保护目标最大年有效剂量理论预测结果见表 11-27。

表 11-27 单台射线装置致各预测点保护目标理论预测最大受照剂量





注：以上不同场所关注点位居留因子取值参照“HJ 1198-2021”附录A表A.1

(6) 本项目DSA所在手术中心人员受辐照剂量估算

1) 控制室职业人员与公众有效剂量估算

本项目所在综合科研大楼7\11层手术中心共涉及新增使用16台DSA，其中7层全部设置为DSA介入手术，包括14间DSA手术室（13间常规DSA机房+1间双复合手术室）；11层的南半部设置为术中放疗、介入手术，包括有1间术中放疗、2间DSA手术室（1间常规DSA机房+1间多复合手术室）。根据综合科研大楼7\11层手术中心平面布局图可知，7层的DSA介入手术室较多且分布较集中（各个手术机房之间紧邻排列布置），因此，手术中心DSA机房周围环境保护目标剂量叠加主要考虑临近DSA机房之间的相互影响，保守考虑，选取DSA辐射工作场所较多且集中的7层手术中心进行周围保护目标剂量叠加，剂量叠加计算时，按照机房四周最近的保护目标会同时受到前后左右四个方位的DSA剂量叠加影响。本项目手术中心内DSA对周围各保护目标的综合影响见下表：

表 11-28 本项目 DSA 致机房外控制室操作人员及公众预测点保护目标综合影响

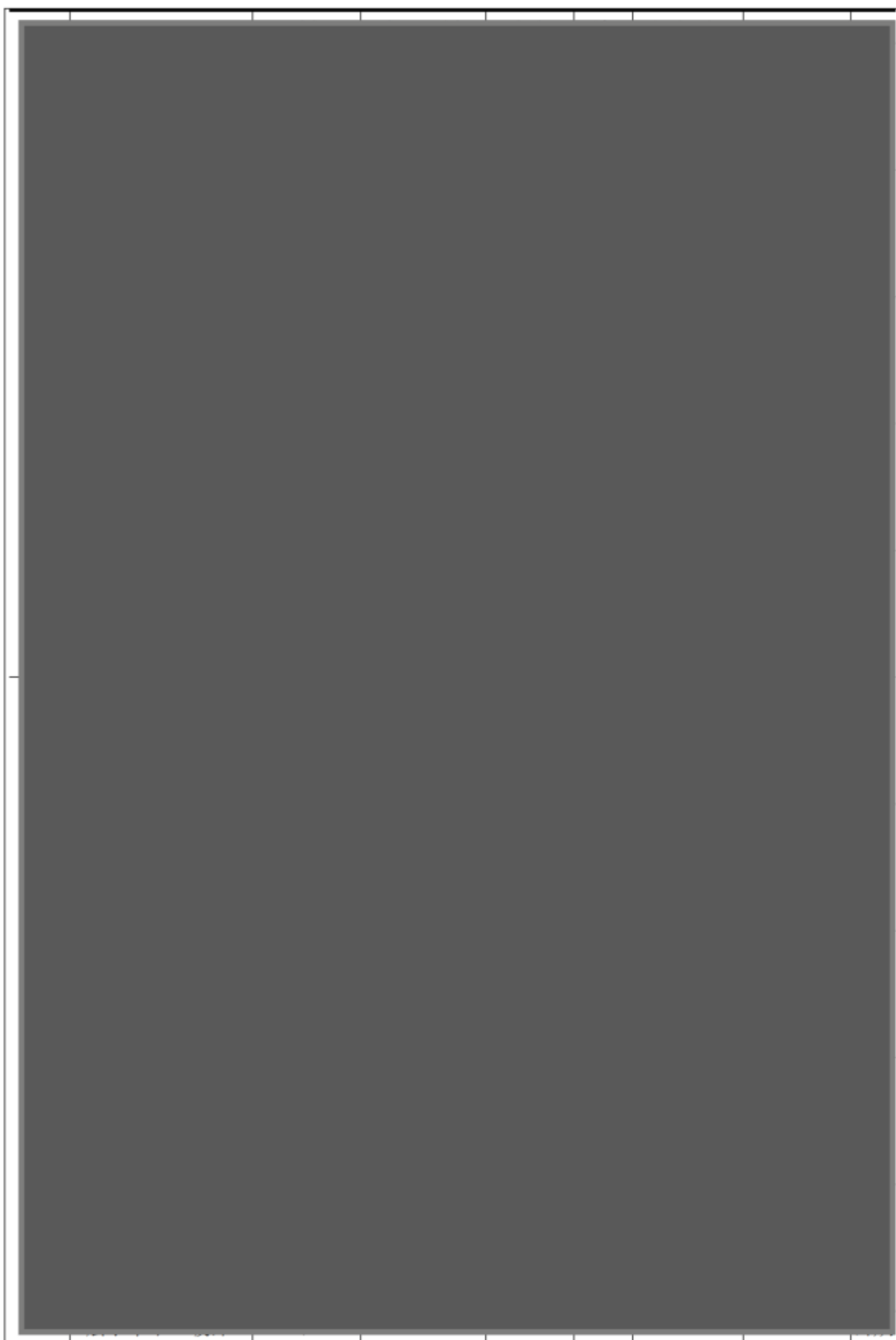




表 11-29 DSA 机房周围关注点综合剂量率及年有效剂量叠加结果

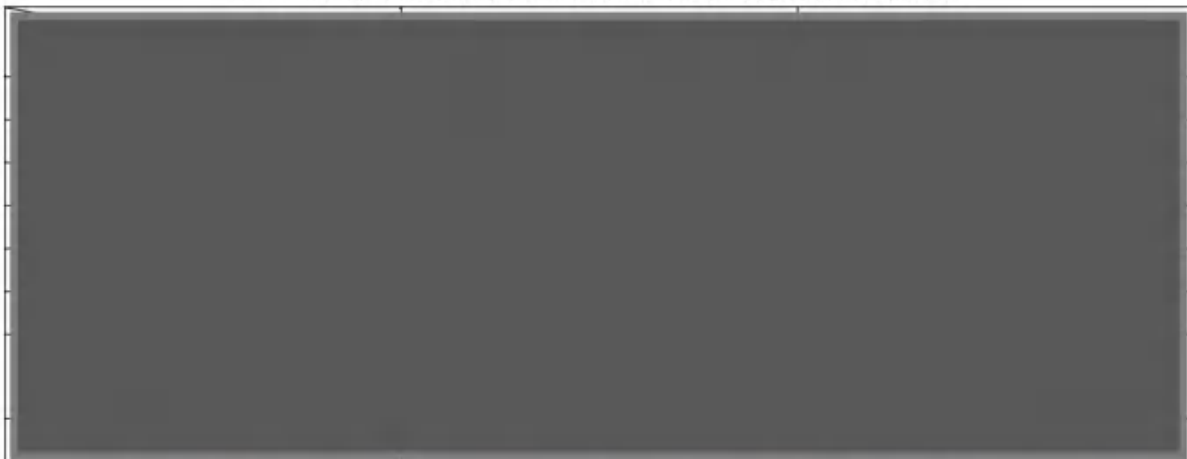


2) 机房内工作人员有效剂量估算

本项目所在综合科研大楼手术中心7层、11层共涉及使用16台DSA，拟配置辐射工作人员共130人（护士50人、技师16人、医师64人），临床科室介入手术分专业完成（神经、心脏、外周、综合），由介入中心技术、护理人员配合完成，其中常规DSA介入手术每台需配置5人（2名手术医师、2名护士和1名技师），复合DSA介入手术每台需配置7人（3名手术医师、3名护士和1名技师），16名技师分别固定在各自的介入控制室，其余医师护士轮班分组进行手术操作，根据当天手术排班从而决定在哪间手术室内开展工作，由于临床科室及手术复杂程度不同，不同科室的医师在手术过程中可能担任主刀也可能会担任助手角色，实际操作中很难做到手术医师手术台数及担任手术角色的定量、定性化，因此结合医院提供的工作方案、年总手术台数、人员配

置数量及每台手术人员配置分组情况，保守考虑，手术医师即会是主刀又会担任助手角色，每人手术受照时间按年总拍片、透视时间除以人员总数量，即，每名手术医师的年总受照剂量为：担任主刀时的受照剂量加担任助手时的受照剂量总和。本项目职业人员进行年最大工作负荷分配情况如下表所示：

表 11-30 本项目机房内职业人员年最大工作负荷分配统计表



本项目职业人员（主刀/助手医师、护士）在机房内开展介入手术时，会受到左右两侧及最近DSA之间的相互影响；以DSA机房6为例，保守取职业人员会同时受到两侧DSA机房5、DSA机房7和较近的DSA机房2的剂量叠加影响；本项目手术中心DSA对机房内职业人员的综合影响见下表：

表 11-31 本项目 DSA 致机房内职业人员保护目标综合影响



注：按照手术站位，护士距离 DSA 曝光点相对较远（1m），保守考虑，在核算屏蔽材料及厚度时，只考虑铅衣的屏蔽，未考虑床下铅帘的屏蔽影响，因此剂量核算时相对医师较高。

由上表 11-29、11-31 可知，7 层手术中心的介入手术医师每年最大有效剂量为

2.98mSv/a，护士附加年最大辐射有效剂量为 4.34mSv/a，操作室内技师受到附加年最大辐射有效剂量为 3.84×10^{-3} mSv/a，机房周围公众所受附加年最大辐射剂量为 3.00×10^{-3} mSv/a，均低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的职业人员 20mSv/a 和公众 1mSv/a 剂量限值，也均低于职业人员 5mSv/a，公众 0.1mSv/a 的管理约束值。

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

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

3) 医师腕部皮肤受照剂量

医师介入手术操作时,会穿连体铅衣、戴介入防护手套、铅防护眼镜、铅橡胶颈套等防护用品,通常站立于介入治疗病床侧面,面对病患,受到散射和漏射线束照射,由于手术过程中手术医师随时在活动,其腕部不会一直处于受照射位置不动,因此保守考虑,分以下两种情况预测:①预计在透视时有 1/5 时间手术医师在受照位置进行插入导管等操作,此时医师腕部受铅防护手套(0.025mmPb)保护;②预计在剩余透视时的 4/5 时间内手术医师在手术床侧的其他位置,此时腕部未处于受照位置,腕部受到铅防护手套(0.025mmPb)和铅悬挂防护屏(0.5mmPb)的保护。

本项目采用理论预测分析介入手术医生腕部所受到的皮肤剂量，减弱因子参照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）公式 C.1 以及附录表 C.2，则手术时医生腕部及眼睛状体所受的最大辐射剂量见下表：

表11-32 本项目介入手术医师腕部及眼睛状体最大辐射剂量率表



腕部皮肤受照剂量:

手术医师和护士在 DSA 机房内进行介入手术时, 手术医师腕部距离辐射源(非主射束方向)最近, 因 X 射线随着距离的增加呈现衰减趋势, 故以手术医师腕部剂量估算结果进行核算医护人员皮肤照射年剂量, 根据《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》(GBZ/T244-2017) 中的公式估算 DSA 机房内人员年皮肤吸收剂量:

$$D_s = C_{ks}(\dot{k} \cdot t) \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots \text{(式 11-35)}$$

$$\dot{k} = \frac{\dot{H}_{(10)}^*}{C_{KH}} \dots\dots\dots \text{(式 11-36)}$$

式中: D_s —皮肤吸收剂量, mGy;

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

C_{ks} —空气比释动能到皮肤吸收剂量的转化系数 (Gy/Gy);

t —人员累积受照时间, h;

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

C_{KH} —空气比释动能到周围剂量当量的转化系数 (Sv/Gy)。

理论计算: 根据手术医师的工作量分配情况, 人均受照时间最长为 62h, 根据上述分析有如下两种情况: ①手术医师在透视时预计有 1/5 时间在受照位置进行插入导管等操作, 此时受照时间为 12.4h (62h×1/5), 根据表 11-32 分析, 腕部位置处的剂量当量率为 $5.21 \times 10^3 \mu\text{Gy/h}$; ②手术医师在透视时预计有 4/5 时间在非受照位置进行手术操作时, 此时受照时间为 49.6h (62h×4/5), 根据表 11-32 分析, 腕部位置处的剂量当量率为 $1.89 \times 10^2 \mu\text{Gy/h}$ 。

本项目 DSA 可近似地视为垂直入射, 而且是 AP 入射方式。从表 A.9 可查得 X 辐射场空气比释动能到周围剂量当量的转化系数 $C_{KH}=1.72\text{Sv/Gy}$, 由 (公式 11-36) 计算出手术医师在上述两种受照情况下辐射场的空气比释动能分别为 $3.03 \times 10^3 \mu\text{Gy/h}$ 、 $1.10 \times 10^2 \mu\text{Gy/h}$ 。从表 A.4/A5 中查得空气比释动能到皮肤吸收剂量的最大

转换系数 $C_{\text{KS}}=1.156\text{mGy/mGy}$ 。根据式 11-35，手术医师在受照位置进行插入导管等操作时，医师手术位腕部皮肤受照当量剂量为：43.43mGy/a，手术医师在非受照位置进行手术操作时，医师手术位腕部皮肤受照当量剂量为：6.31mGy/a，则手术医师腕部皮肤受照当量剂量叠加共为 49.74mGy/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 4.3.2.1 条的规定，对任何工作人员，四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量不超过 500mSv 的要求，也满足本项目对于放射工作人员四肢（手和足）或皮肤当量剂量通常管理限值，即不超过 125mSv/a 的要求。

医院应严格落实辐射安全防护的各项规章制度，所有手术过程中 DSA 机房内的医护人员均应按辐射工作人员进行管理，手术时医护人员穿戴好防护用品并严格遵守操作规程。对病人病灶进行照射时，应将病人病灶以外的部位用铅橡胶布进行遮盖或穿着铅服，以避免病人受到不必要的照射。

（7）介入治疗对医生和患者的辐射防护要求

介入治疗是一种解决临床疑难病的新方法，但介入治疗时 X 射线曝光量大，曝光时间长，距球管和散射体近，使介入治疗操作者受到大剂量的 X 射线照射。为了减少介入治疗时 X 射线对操作者和其他人员的影响，本评价提出以下几点要求：

介入治疗医生自身的辐射防护要求：①加强教育和培训，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。

（三）移动 CT 辐射环境影响分析

拟在手术中心 2 间复合手术室内各使用一台带地轨的移动 CT，可以在手术室移进和移出，用于配合较为复杂的介入外科手术，用于术中诊断、评估。本项目所用移动 CT 额定管电压不大于 150kV、额定管电流不大于 1000mA，均属于 III 类射线装置，

CT 机均为数字成像，无废显定影液及废胶片产生，其主要影响为设备工作时产生 X 射线。

(1) 屏蔽体校核：根据医院提供资料，本项目术中移动 CT 配合诊断每台介入手术单次曝光时间最长约 1min，则单台移动 CT 累计年曝光时间最大约 5h。复合手术室内 DSA 和移动 CT 根据需求独立使用，不存在两台设备同时开机情况，CT 不使用时暂存在设备库房内，使用时通过地面滑轨移动至复合手术室病床区域；复合手术室四周墙体均采用 100mm 厚轻质墙+3mmPb 硫酸钡板，屋顶采用 120mm 厚钢筋混凝土+3mmPb 硫酸钡板，地面采用 120mm 厚钢筋混凝土+30mm 厚硫酸钡涂料，铅窗为 3mm 铅当量，防护门为 3mm 铅当量含铅门。根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)表 3，结合附录 C 中表 C.7 可知，移动 CT 使用场所复合手术室周围屏蔽防护能够满足 2.5mmPb 的要求。

(2) 臭氧：移动 CT 曝光时产生的臭氧量很少，经复合手术室内通风系统换气后室内的臭氧浓度很低，对机房周边大气环境影响可忽略。

三、院内、外 50m 范围内其他保护目标环境影响分析

本项目院内外 50m 评价范围内外环境关系如下：

放疗中心：以放疗中心机房实体屏蔽为边界，50m 评价范围均位于院内：东侧为急救中心（10m）；西侧为第三住院大楼（18m）、燃气站（48m）；南侧为第三住院大楼（14m）；北侧为第二住院大楼（9m）、门诊部（30m）；西北侧为综合科研大楼（44m）。

手术中心：本项目手术中心 DSA/术中放疗拟建于综合科研大楼 7、11 层，以手术中心机房实体屏蔽为边界，取保护目标距离辐射工作场所最近距离，50m 评价范围内：东侧依次为医技楼（30m）、第二住院大楼（29m）；南侧依次为第三住院大楼（21m）、燃气站（41m）；北侧为摸底河（30m）以及院内规划道路和绿化；西侧为锅炉房（27m）、洗消中心（34m）、后勤管理用房（35m）、院外浣花北路 26 号院 1 号楼（40m）。

本项目拟在综合科研大楼 7/11 层共新增使用 16 台 DSA、1 台术中放射治疗仪；在放疗中心新增使用 2 台 10MV 电子加速器、1 台 6MV 射波刀；因此，院内及院外 50m 范围内各保护目标受到直线加速器、射波刀、DSA、术中放射治疗仪的剂量叠加

综合影响。本报告前文已将各辐射工作场所所在区域（放疗中心、手术中心）环境保护目标进行了辐射影响综合分析，参照前文每台射线装置机房外最大辐射剂量率，根据辐射剂量率与距离的平方成反比的规律，在本次院内及院外保护目标综合预测过程中，偏保守不考虑建筑屏蔽，仅考虑距离衰减。本项目所致院内及院外保护目标辐射有效剂量如下表所示：

表 11-33 本项目院内及院外 50m 范围环境保护目标综合影响

综述：由以上分析可知，本项目放疗中心职业人员的所受最大附加剂量为 $1.26\text{E-}01\text{mSv/a}$ ，周围公众所受最大附加剂量为 $5.77\text{E-}02\text{mSv/a}$ ；手术中心职业人员所受最大附加剂量为 4.34mSv/a ，周围公众所受最大附加剂量为 $3.00\text{E-}03\text{mSv/a}$ ；医院内外 50m 范围内其他环境保护目标（公众）所受最大附加剂量为 $1.01\text{E-}04\text{mSv/a}$ ，分别低于 5mSv/a 和 0.1mSv/a 的评价约束值。

四、水环境影响分析

本项目营运期间产生的医疗废水、生活废水依托医院污水处理站处理达标后排放到市政污水管网，最终排放至成都市第九净水厂处理达标后排放至锦江。

五、固体废物环境影响分析

本项目直线加速器、射波刀、术中放射治疗仪、移动 CT 运营期主要固体废物为工作人员及患者产生的生活垃圾及办公垃圾。工作人员、患者生活垃圾及办公垃圾经过统一收集后交由环卫部门。

本项目 DSA 采用数字成像，不打印胶片，因此不会有废胶片产生。

手术时产生一定量的医用器具和药棉、纱布、手套、废造影剂、废造影剂瓶等医用辅料及手术垃圾，按每台手术产生约 2kg 的医疗废物，每年固体废物产生量约为 15200kg。这些医疗废物经分类收集打包好后暂存于污物暂存间，为减少恶臭气体及病原体的产生，要求医疗废物日产日清，交由有相关资质的公司收运处置。

工作人员产生的生活垃圾和办公垃圾不属于医疗废物，医院按照当地管理部门要求，办公、生活垃圾经袋装收集后暂存于生活垃圾暂存间，为防止蚊蝇滋生，要求生活垃圾暂存间日产日清，交由环卫部门清运处理。项目产生固废均得到合理处置，不会对周围环境产生明显影响。

六、声环境影响分析

本项目噪声源主要为风机噪声、空调噪声。医院拟采用低噪音风机，其噪声值不超过 65dB（A），且设备均处于室内，通过建筑墙体隔声及距离衰减后经距离衰减，运行期间厂界噪声可满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2 类标准要求。

七、射线装置报废

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

环境影响风险分析

一、环境风险评价目的

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

二、风险识别

（一）放疗中心风险识别

1、直线加速器可能发生的辐射事故

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

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

2、射波刀可能发生的辐射事故

本项目射波刀属于Ⅱ类 X 射线装置，射波刀自带的 2 台 X 射线发生器属Ⅲ类射线装置，当设备运行时会产生 X 射线，关机时不会产生 X 射线，环境风险因子为 X 射线，根据其工作原理分析，最大可能发生的事故主要有以下两种情况：

①射波刀治疗机房联锁装置、声光报警系统等失效，治疗过程中工作人员或公众误留或误入治疗机房内，使其受到照射；

②检修时，检修人员触动射波刀加速器开关，造成检修人员受到误照射。

（二）手术中心风险识别

1、术中放疗可能发生的辐射事故

本项目使用的术中放射治疗仪属于Ⅱ类射线装置。对于X射线装置，当设备关机时不会产生X射线，不存在影响辐射环境质量事故，只有当设备开机时才会产生X射线等危害因素。其X射线能量不大，曝光时间都比较短，事故情况下，人员误入或误照射情况下，可能导致人员受到超过年剂量限值的照射，主要存在以下两种事故工况：

①术中放射治疗仪检修、维护过程中，操作人员在不知情的情况下启动设备造成维修人员被误照；

②安全联锁装置发生故障，射线装置工作时无关人员打开屏蔽门并误入，造成有关人员被误照射，引发辐射事故。

2、DSA可能发生的辐射事故

本项目使用的 DSA 属于Ⅱ类射线装置，属中危险射线装置，复合手术室内使用的移动 CT 属Ⅲ类射线装置，DSA 和移动 CT 不运行时不可能发生放射性事故，也不存在影响辐射环境质量事故，只有当设备运行期间才会产生 X 射线等危害因素；因此最大可能发生的事故情景如下：

①装置在运行时，介入手术人员在未采取任何防护的情况下位于非主射方向进行介入手术操作；

②手术过程中，人员误入或滞留在 DSA 手术室内而造成非主射方向的误照射；

三、源项分析及事故等级分析

医用直线加速器会产生 X 射线、电子线、臭氧，臭氧经通风设施换气，对大气环境基本无影响，电子线经治疗室屏蔽体的材料和厚度屏蔽后，在环境辐射方面已无影响，故医用直线加速器可能发生的风险事故中，其风险因子主要为 X 射线；射波刀、DSA、术中放射治疗仪作业时会产生 X 射线、臭氧，臭氧经通风设施换气，对大气环境基本无影响，故射波刀可能发生的风险事故中，其风险因子主要为 X 射线。

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）第四十

条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，详见表 11-34 中。

表 11-34 项目的环境风险因子、潜在危害及事故等级

事故等级	事故类型
特别重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。
重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

根据《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系（表 11-35）：

表 11-35 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

辐射剂量/ Gy	急性放射病发生率/%	辐射剂量/ Gy	死亡率/%
0.70	1	2.00	1
0.90	10	2.50	10
1.00	20	2.80	20
1.05	30	3.00	30
1.10	40	3.20	40
1.20	50	3.50	50
1.25	60	3.60	60
1.35	70	3.75	70
1.40	80	4.00	80
1.60	90	4.50	90
2.00	99	5.50	99

四、后果计算

（一）放疗中心

1、10MV 直线加速器事故的后果计算

（1）人员误入机房受到意外照射

1) 事故情景假设

在对病人进行治疗时，10MV直线加速器主射束1m处剂量率为最大值24Gy/min，假设考虑安全联锁失效，有人员误入机房，人员在无其它屏蔽的情况下处于加速器照射头射束1m处的散射方向，X射线漏射束的空气比释动能率取主射束方向的1‰，每次误入照射时间为3min（治疗方案中单次出束最长时间），结合加速器机房平面布置，误入人员与加速器照射头最远距离为4m。

2) 剂量估算

根据上述事故情景，经计算，随时间和距离的变化，最大可能受到的剂量见下表：

表 11-36 直线加速器事故状态下不同时间、距离处有效剂量情况表（mSv）

时间(s) 距离(m)	5	10	20	50	90
非主射方向					
1	2.00E+00	4.00E+00	8.00E+00	2.00E+01	3.60E+01
2	5.00E-01	1.00E+00	2.00E+00	5.00E+00	9.00E+00
3	2.22E-01	4.44E-01	8.89E-01	2.22E+00	4.00E+00
4	1.25E-01	2.50E-01	5.00E-01	1.25E+00	2.25E+00
主射方向					
1	2.00E+03	4.00E+03	8.00E+03	2.00E+04	3.60E+04
2	5.00E+02	1.00E+03	2.00E+03	5.00E+03	9.00E+03
3	2.22E+02	4.44E+02	8.89E+02	2.22E+03	4.00E+03
4	1.25E+02	2.50E+02	5.00E+02	1.25E+03	2.25E+03

3) 事故等级

通过计算，当人员误入 50s 受到直线加速器非主射方向 1m 处的辐射影响，其有效剂量最大为 20mSv，分别大于公众年剂量限值 1mSv、职业人员年剂量限值 20mSv，**为一般辐射事故**；人员误入受到直线加速器主射方向 1m 处 5s 的辐射影响，其有效剂量为 2.0Sv/次，根据表 11-34、11-35，事故等级为**较大辐射事故**，随着时间的推移，受照剂量不断增加，可能造成重大事故和特别重大事故。

(2) 维修射线装置时，人员受意外照射

1) 事故情景假设

在维修人员进行检修时，检修人员必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，假设触动直线加速器开关，造成维修人员在无其它屏蔽的情况下处于加速器主射束方向，结合直加机房平面布置，其与照射头最近距离1m，最远距离3m，10MV直线加速器主射束1m处剂量率为最大值24Gy/min，检修人员被误照射开始至听报警仪报警关闭加速

器停止出束时间为10秒。

2) 剂量估算

在假设事故情境下，不同时间和距离的剂量情况见下表。

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

时间 (s) 距离 (m)	1	3	5	7	10
1	4.00E+02	1.20E+03	2.00E+03	2.80E+03	4.00E+03
2	1.00E+02	3.00E+02	5.00E+02	7.00E+02	1.00E+03
3	4.44E+01	1.33E+02	2.22E+02	3.11E+02	4.44E+02

3) 事故等级

通过计算，在以上假设事故情景下，则维修人员受到直线加速器主射方向 1m 处 5 秒钟的辐射影响，其有效剂量为 2.0Sv/次，根据表 11-34、11-35，事故等级为较大辐射事故。

综上：本项目直线加速器在运行过程中可能发生的**最大事故等级为较大辐射事故**，但不排除随着时间的推移，人员在主射方向受到持续照射，故而造成重大事故及特别重大辐射事故的情况。

2、6MV 射波刀事故的后果计算

(1) 事故情景假设

1) 人员误入机房受到意外照射

假设考虑滞留人员在无其它屏蔽的情况下处于加速器照射头外1m远处的主射束方向，本项目射波刀开机治疗时，距焦点0.8m处X射线的最大吸收剂量率为10Gy/min。机房墙面、迷道内及治疗床旁均设置有“紧急停止”按钮，只要按下此按钮就可以停机，保守取每次误入照射时间为3min（治疗方案中单次出束最长时间）。

2) 维修射线装置时，人员受意外照射

假设考虑维修人员进行检修时，触动设备开关，造成维修人员在无屏蔽的情况下处于射波刀主射束方向受到误照射，本项目射波刀开机治疗时，距焦点0.8m处X射线的最大吸收剂量率为10Gy/min。本项目机房内设置有“紧急停止”按钮，只要按下此按钮就可以停机，故受照时间保守取10s。

(2) 剂量估算

根据上述事故情景，经计算，随时间和距离的变化，最大可能受到的剂量见下表：

表 11-38 射波刀事故状态下主射方向不同时间、距离处有效剂量情况表 (mSv)

时间 (s) 距离 (m)	5	10	60	120	180
1	2.67E+01	5.33E+01	3.20E+02	6.40E+02	9.60E+02
2	6.67E+00	1.33E+01	8.00E+01	1.60E+02	2.40E+02
3	2.96E+00	5.93E+00	3.56E+01	7.11E+01	1.07E+02
4	1.67E+00	3.33E+00	2.00E+01	4.00E+01	6.00E+01

(3) 事故等级

由表 11-38 可知, 在以上假设事故情景下, 误入人员或维修人员受到射波刀主射方向 1m 处 5 秒钟的辐射影响, 其有效剂量最大为 26.7mSv, 分别大于公众年剂量限值 1mSv、职业人员年剂量限值 20mSv, 为一般辐射事故, 随着时间的推移, 受照剂量不断增加, 可能造成较大事故和重大事故。

(二) 手术中心

1、术中放疗事故的后果计算

假设考虑滞留人员或维修人员在无其它屏蔽的情况下处于术中放射治疗仪的主射束方向, 移动式术中放射治疗仪机架及操作控制台上自带有紧急停机开关, 只要按下此按钮就可以停机, 保守取每次误入照射时间最大为 30min 计 (治疗方案中单次照射最长时间), 本项目术中放射治疗仪在对病人开机治疗时, 距源点 1m 处 X 射线的最大吸收剂量率按 1.32mGy/min, 则与源点不同距离上 X 射线剂量率可由下式估算。

$$D=H_0/R^2 \dots\dots\dots \text{(式 11-37)}$$

式中:

D—距焦点 R 处的 X 射线的吸收剂量率(mGy/min);

H_0 —距焦点 1m 处 X 射线的吸收剂量率, 为 1.32mGy/min;

R—估算点与设备焦点的距离, m。

$$E=H \cdot WT \cdot WR \dots\dots\dots \text{(式 11-38)}$$

式中:

E—受照人员的有效剂量 ;

WT—组织权重因数, 本项目取 1;

WR—辐射权重因数, 本项目取 1。

根据(式 11-37)和(式 11-38), 将与术中放射治疗仪源点不同距离的 X 射线吸收剂

量的估算结果列于表 11-39。

表 11-39 事故状态下不同受照时间不同距离所致人员剂量估算表 (mSv)

时间 距离 (m)	10s	30s	1min	5min	10min	20min	30min
0.3	2.44	7.33	14.67	73.33	146.67	293.33	440.00
0.5	0.88	2.64	5.28	26.40	52.80	105.60	158.40
1	0.22	0.66	1.32	6.60	13.20	26.40	39.60
1.5	0.10	0.29	0.59	2.93	5.87	11.73	17.60
2	0.06	0.17	0.33	1.65	3.30	6.60	9.90

由表11-39可知,在以上假设事故情景下,误入人员或维修人员受到术中放射治疗系统主射方向0.5m处5min的辐射影响,其有效剂量最大为26.4mSv,分别大于公众年剂量限值1mSv、职业人员年剂量限值20mSv,为一般辐射事故,随着时间的推移,受照剂量不断增加,可能造成较大事故和重大事故。

2、DSA事故的后果计算

(1) 手术期间意外照射

1) 事故情景假设

射线装置在运行时,介入手术人员在未采取任何防护的情况下位于非主射方向进行介入手术操作,此时设备以工况:90kV/20mA(按透视运行参数)在曝光。

2) 剂量估算

在假设事故情境下,在不同距离,不同曝光时间,介入手术操作人员所受辐射剂量估算详见表 11-40。

表 11-40 介入手术过程中误照射不同距离、时间人员受照剂量表

关注点与射线装置 的距离 (m)	时间 (min)	散射所致剂量(mSv/ 次)	漏射所致剂量(mSv/ 次)	总剂量 (mSv/次)
0.5	1.0	3.41×10^{-2}	1.05×10^{-1}	1.39×10^{-1}
	5	1.70×10^{-1}	5.24×10^{-1}	6.95×10^{-1}
	10	3.41×10^{-1}	1.05	1.39
	15	5.11×10^{-1}	1.57	2.08
1	1.0	8.53×10^{-3}	2.62×10^{-3}	3.47×10^{-2}
	5	4.26×10^{-2}	1.31×10^{-1}	1.74×10^{-1}
	10	8.52×10^{-2}	2.62×10^{-1}	3.47×10^{-1}
	15	1.28×10^{-1}	3.93×10^{-1}	5.21×10^{-1}

3) 事故等级

根据表 11-40 可知,本项目介入手术人员在不同位置随着时间的推移,非主射方

向 0.5m 处 15min 的辐射影响，其有效剂量为 2.08mSv/次，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871- 2002）规定的职业人员 20mSv/a 的剂量限值，不构成辐射事故，随着时间的推移，受照剂量不断增加，可能造成一般事故和较大事故。

（2）公众误入机房或未撤离机房受意外照射

1）事故情景假设

装置以工况以 90kV/20mA（按透视运行参数）在曝光运行时，公众误入 DSA 机房或未撤离 DSA 机房的情况下进行照射操作，对人员造成不必要的照射，本项目手术床旁及操作室内均设置有“紧急停止”按钮，只要按下按钮就可以停机，人员反应时间取 15s。

2）剂量估算

在不同距离，不同曝光时间，人员误入所受辐射剂量估算详见表 11-41。

表 11-41 公众误入 DSA 机房误照射不同距离、时间人员受照剂量表

关注点与射线装置 的距离（m）	时间（s）	散射所致剂量 （mSv/次）	漏射所致剂量（mSv/ 次）	总剂量 （mSv/次）
1	5	7.09×10^{-4}	2.18×10^{-3}	2.89×10^{-3}
	10	1.42×10^{-3}	4.36×10^{-3}	5.78×10^{-3}
	15	2.13×10^{-3}	6.54×10^{-3}	8.67×10^{-3}
2	5	1.77×10^{-4}	5.46×10^{-4}	7.23×10^{-4}
	10	3.54×10^{-4}	1.09×10^{-3}	1.45×10^{-3}
	15	5.31×10^{-4}	1.64×10^{-3}	2.17×10^{-3}

3）事故等级

根据表 11-41 可知，公众误入 DSA 机房或未撤离 DSA 机房，在不同位置随着时间推移，非主射方向 1m 处 15s 的辐射影响，其有效剂量为 8.67×10^{-3} mSv/次，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871- 2002）规定的职业人员 1mSv/a 的剂量限值，不构成辐射事故，随着时间的推移，受照剂量不断增加，可能造成一般事故和较大事故。

综上所述，本项目 DSA 在上述事故情景中不构成辐射事故，但不排除在事故发生情况下随着时间的推移，人员受到持续照射，其所受剂量可能将远超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中的剂量限值，也可能造成更大的辐射事故。

五、事故后果综述

综上所述，若本项目发生辐射事故，最大可能为较大辐射事故，但不排除随着时间的推移，人员在主射方向受到持续照射，故而造成重大事故及特别重大辐射事故的情况。本项目射线装置一旦发生辐射事故，应立即切断电源，停止射线装置。建设单位在管理中必须认真执行安全操作规程和各项规章制度，强化安全管理，杜绝此类事故发生。

六、事故情况下射线装置事故防范措施

1、直线加速器事故防范措施

（1）直线加速器运行时其它无关人员误入或滞留于加速器机房。

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

（2）医务人员误操作，导致病人受超剂量照射或受其它的额外照射；

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

2、射波刀事故防范措施

（1）射波刀运行时其它无关人员误入或滞留于射波刀机房。

应对措施：射波刀系统具有联锁装置，只有当射线能量、吸收剂量选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当治疗室与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行；且在控制台上设有蜂鸣器，在射波刀系统工作时发出声音以警示人员防止误入；安装有两套独立的剂量监测系统，每套皆可单独终止照射；有门机安全联锁，机房门关闭后辐射才能启动；有时间控制联锁，当预选照射时间已定时，定时器能独立地使照射停止。

（2）医务人员误操作，导致病人受超剂量照射或受其它的额外照射；

应对措施：射波刀的控制台上显示有辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数的显示装置，操作人员可随时了解设备运行情况；射波刀系统自带由有剂量分布监测装置与照射终止系统联锁，当剂量超过预选值或当剂量分布偏差超过预选值时，可自动终止辐照。

3、术中放疗事故防范措施

(1) 术中放射治疗仪检修、维护过程中，操作人员在不知情的情况下启动设备造成维修人员被误照。

应对措施：检修人员必须佩戴个人剂量计和剂量报警仪；当有人员误入或滞留时，人员可立即按动设备自带紧急停机按钮逃出手术室。本项目术中放疗控制台上亦配置有紧急停机按钮，在紧急情况下可按动这类紧急按钮。设备控制台自带防止错误出束指令，系统每传输一个信号/指令到射线源，射线源均有返回信号，控制台会校验返回信号的完整性和正确性，防止人员误操作；

(2) 术中放射治疗时，手术室内清场不彻底，造成其它无关人员误入或滞留于术中放疗手术室内。

应对措施：在控制面板上设置有急停按钮，当有人员误入控制区时，操作人员按下急停按钮，可立即停止出束；只有在术中放疗专用手术室的各防护门关闭到位时，射线装置才能出束；设备出束状态下任意一道防护门均不能被打开。

4、DSA事故防范措施

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

应对措施：介入手术人员佩戴剂量报警仪进行手术；治疗手术床侧及操作台上方各安装 1 套紧急制动装置，每套皆可单独终止照射；当有人员误入或滞留时，人员可立即按动紧急停机按钮逃出 DSA 手术室。

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，发生辐射事故时，医院应当立即启动本单位的应急方案，采取应急措施，并立即向当地生态环境主管部门，生态环境主管部门接到辐射事故报告后，应当立即派人赶赴现场，进行现场调查，采取有效措施，控制并消除事故影响，同时将辐射事故信息报告本级人民政府和上级人民政府生态环境主管部门。县级以上地方人民政府及其有关部门接到辐射事故报告后，应当按照事故分级报告的规定及时将辐射事故信息报告上级人民政府及其有关部门。

七、事故综合防范应对措施

医院在管理中必须认真执行安全操作规程和各项规章制度，强化安全管理，避免各辐射工作场所出现人员滞留事故发生；定期检查各辐射工作场所的门机联锁等辐射

安全环保设施是否有效，同时应当加强控制区和监督区的管理，避免人员误入事故的发生。

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

- ①建立安全管理领导小组，组织管理医院的安全工作。
- ②加强人员的培训，考试（核）合格、持证上岗。
- ③建立岗位的安全操作规程和安全规章制度，注意检查考核，认真贯彻实施。
- ④制定医院事故处理预案、完善组织、落实经费、准备物资、加强演练、时刻准备应对可能发生的各种事故和突发事件。

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

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理

一、辐射防护安全和应急救援工作领导小组

四川省医学科学院·四川省人民医院于 2022 年 8 月 26 日对医院放射防护与辐射安全领导小组成员进行了调整（省医办[2022]33 号，附件 4），领导小组负责对全院的辐射安全管理工作进行管理，办公地点设在医务部。

领导小组文件已包含小组成员及职责分工，但还需补充以下内容：

- ①贯彻执行《放射诊疗管理规定》，并组织落实。
- ②定期检查医院辐射工作人员执行各项规章制度和技术操作规程情况，保证辐射防护、安全与诊疗质量。
- ③定期委托有资质的单位对放射诊疗场所和防护设施进行检测，保证辐射水平符合有关规定。
- ④按照国家对辐射防护的有关规定和标准，定期对医院辐射工作人员进行上岗前、在岗期间、离岗时的职业健康体检。
- ⑤定期进行专业及防护知识培训，并督促辐射工作人员建立个人剂量、职业健康管理和教育培训档案；建立辐射防护的相关资料并存档；督促制定年度工作计划，并完成工作总结。
- ⑥负责组织应急准备工作，调度人员，指挥辐射事故应急救援行动，负责向上级行政主管部门报告辐射污染事件应急救援情况。

二、辐射工作岗位人员配置和能力分析

（1）辐射工作岗位人员配置和能力现状分析

①人员配置

本项目拟配置辐射工作人员共计 168 人，其中既有辐射工作人员 106 人，新增 62 人，本项目辐射工作人员定岗定责，工作类别不交叉，不存在兼岗情况，医院后期可根据设备数量，承担诊疗、科研任务，开展的项目和工作量等实际情况适当增加人员编制。人员配置具体分析如下：

医用直线加速器拟配置辐射工作人员 20 人，包括医师 12 人、技师 2 人、物理师 2 人、

护士4人，均为肿瘤科既有辐射工作人员，平均分两组，轮班上岗。

射波刀拟配置辐射工作人员16人，包括多学科医师10人，技师4人，物理师1人，护士1人，其中新增10名多学科医师、其余均为肿瘤科既有辐射工作人员。

术中放疗拟新增配置2名辐射工作人员（放疗医师1名、放疗技师1名），与多学科外科医师、麻醉医师、病理医师、护理团队精准配合共同完成术中放射治疗手术。

DSA拟配置辐射工作人员共130人（护士50人、技师16人、医师64人），其中新增人员50人，其余80人均均为介入中心既有辐射工作人员；临床科室介入手术分专业完成（神经、心脏、外周、综合），由介入中心技术、护理人员配合完成，技师分别固定在各自己的介入控制室，其余医师护士轮班分组进行手术操作，根据当天手术排班从而决定在哪间手术室内开展工作

②射线装置操作人员均需取得射线装置相关操作证书，熟悉专业技术；

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

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

（2）辐射工作人员能力培养方面还需从以下几个方面加强：

①对医用射线装置，应加强操作人员对其安全操作的培训。

②建设单位应严格执行辐射工作人员培训制度，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，均应登录国家核技术利用辐射安全与防护学习平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习辐射安全与防护知识，并通过辐射安全与防护的考核，辐射安全与防护成绩报告单有效期为五年。

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

辐射安全档案资料管理和规章制度

一、档案管理分类

医院应将相关资料进行分类归档妥善放置，包括以下九大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“放射源和射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“辐射应急资料”和“废物处置记录”。

二、辐射安全管理规章制度

根据《核技术利用监督检查技术程序》（生态环境部（国家核安全局），2020发布版）、《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），医院辐射安全管理规章制度已落实、还需补充的内容见下表 12-1：

表 12-1 本项目辐射管理制度汇总对照分析表

序号	国家生态环境部要求		省生态环境厅要求	具体要求	对照分析
	项目	制度名称	制度名称		
1	A 综合	辐射安全与环境保护管理机构和岗位职责	辐射安全与环境保护管理机构和岗位职责	应建立辐射安全管理机构或配备专（兼）职管理人员，落实了部门和人员全面负责辐射安全管理的具体工作	已制定，需将本项目新增射线装置辐射工作场所相关负责人和人员加入管理机构，并明确人员职责
2		辐射工作场所安全管理规定	辐射工作场所安全管理规定	应悬挂于辐射工作场所。内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸应不小于 400×600mm	本次新增工作场所应新增管理制度上墙
3		放疗设备的安全性能检查维护记录	辐射安全防护设施维护维修制度	应定期检查辐射安全防护设施的有效性	已制定
4		辐射安全防护设施维护维修制度			
5	B 场所	场所分区管理制度	场所分区管理制度	按要求划分控制区和监督区，实行分区管理，应有明确的标识	即有场所已划定，需按要求划定新增场所的两区
7		设备操作规程	辐射工作设备操作规程	应悬挂于辐射工作场所。内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸应不小于 400×600mm	应补充本次新增设备操作规程并在新增的辐射工作场所上墙
8	C 监测	场所及环境监测方案	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	每年委托有资质的单位进行 1 次场所年度监测；平时应定期开展自我监测，并做好记录；取得《许可证》后 3 个月内完成验收监测。	已制定相关制度并按要求实施
9		监测仪表使用与校验管理制度	监测仪表使用与校验管理制度	需制定并落实监测仪表使用与校验管理制度	已制定

11		辐射工作人员培训/再培训制度	辐射工作人员培训制度	辐射工作人员和辐射防护负责人均应登录国家核技术利用辐射安全与防护学习平台（网址： http://fushe.mee.gov.cn ）学习辐射安全与防护知识并通过考核；已取得辐射安全培训合格证满五年需再培训并考核合格	已制定并落实
12	D 人员	辐射工作人员个人剂量管理制度	辐射工作人员个人剂量管理制度	个人剂量监测周期为 1 次/季。当单个季度个人剂量超过 1.25mSv 时，建设单位要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过 5mSv 时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关。	已制定并落实
13		工作人员岗位职责	辐射工作人员岗位职责	应悬挂于辐射工作场所。内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸应不小于 400×600mm	本次新增诊疗项目应补充制定工作人员岗位职责并上墙
14	E 应急	辐射事故/事件应急预案	辐射事故预防措施及应急处理预案	辐射事故应急预案的主要内容应包括：应急组织结构，应急职责分工，辐射事故应急处置（最大可信事故场景，应急报告，应急措施和步骤，应急联络电话），应急保障措施，应急演练计划。应悬挂于辐射工作场所。内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸应不小于 400×600mm	已制定并落实，需根据新增诊疗项目更新补充应急预案内容，并在新增工作场所墙上悬挂应急预案内容
15		X 射线诊断中受检者防护规定	/	对核医学科诊断患者采取铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套等防护	本次需新增射线装置诊断场所患者防护设施
16	F 其他	/	质量保证大纲和质量控制检测计划	使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位须制定质量保证大纲和质量控制检测计划，利用更精确的诊疗计划减少病患受到不必要的照射	已制定，需补充新增诊疗项目的质量保证大纲和质量控制检测计划

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

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

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

辐射监测

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

1、工作场所监测

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

年度监测：委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年；年度监测报告应作为《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

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

2022年度，医院已委托了四川中环康源卫生技术服务有限公司对全院辐射工作场所进行了年度监测，根据四川中环康源卫生技术服务有限公司提供的全院年度监测报告 CDZH（环）-2022-F0308可知：全院射线装置工作场所及核医学工作场所监测结果均低于 GB18871-2002)规定的职业照射有效剂量20mSv 的限值和5mSv 的剂量管理约束值；也低于 GB18871-2002)规定的公众照射有效剂量 1mSv 的限值和0.1mSv 的剂量管理约束值；核医学科(回旋加速器、PECT)乙级非密封源工作场所β放射性活度均低于国家标准 GB18871-2002 规定监督区的表面污染控制水平4Bq/cm²、控制区的表面污染控制水平40Bq/cm²

2、个人剂量监测

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

医院应按以下要求做好个人剂量档案的管理：

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

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

(3) 根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019），就本项目而言，辐射主要来自前方，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般左胸前；对于工作中穿戴铅衣的情况，通常应根据佩戴在铅衣里面躯干上的剂量计估算工作人员有效剂量；

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

医院已委托四川蓝瑞鑫卫生检测技术服务有限公司对全院辐射工作人员个人剂量进行监测，提供了 2022.07.01~2023.06.30 的个人剂量年度检测报告：SCLR X（放）J202300948AA、SCLR X（放）J202300948AB、SCLR X（放）J202300948BA、SCLR X（放）J202300948BB，根据检测报告可知，本年度辐射工作人员年剂量值均未超过 5mSv，单季度个人剂量均未超过 1.25mSv。

3、医院自我监测

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

4、监测内容和要求

(1) 监测内容：X- γ 辐射剂量率。

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

表 12-2 本项目监测布点方案表

场所或设备		监测内容	监测周期	监测布点位置
放疗中心	10MV 直线加速器	X- γ 空气吸收剂量率	验收监测 1 次，委托有资质的单位监测，频率为 1 次/年；自行开展辐射监	加速器机房墙体外侧 30cm 处、技师操作位、防护门外、迷道内墙外、机房正上方、放疗计划室内。
	射波刀			射波刀机房墙体外侧 30cm 处、技师操作位、防护门外、迷道内墙外、机房正上方、放疗计划室内。
手术	术中放疗			术中放疗手术室四周墙体外、控制室操作位、铅玻

中心		测	玻璃观察窗处、手术室防护门缝隙处、手术室正上方和正下方
	DSA		机房四周墙体外、控制室操作位、控制室铅玻璃观察窗、机房防护门缝隙外、机房正上方和正下方

(3) 监测范围：控制区和监督区域及周围环境

(4) 监测质量保证

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

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

c、制定辐射环境监测管理制度。

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

5、年度评估报告情况

医院于 2023 年 1 月向四川省生态环境厅提交了 2022 年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，并在全国核技术利用辐射安全申报系统中实施了申报登记。内容包含近一年（四个季度）个人剂量检测报告、辐射工作场所年度监测报告和辐射工作人员培训情况。编写格式满足《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）的规定。医院必须延续、变更许可证，新增或注销射线装置以及单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。

辐射事故应急

1、事故应急预案内容

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

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

(2) 应急组织体系和职责、应急处理程序、上报电话；

(3) 应急人员的培训；

(4) 环境风险因子、潜在危害、事故等级等内容；

(5) 辐射事故调查、报告和处理程序中相关负责人员及联系电话；

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

2、应急措施

若本项目发生了辐射事故，医院应迅速、有效采取以下应急措施：

(1) 一旦发现误照射事故时，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》，向当地生态环境和公安部门报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫健行政部门报告。

(4) 最后查清事故原因，分清责任，消除事故隐患。

3、其他要求

(1) 辐射事故风险评估和辐射事故应急预案，应报送所在地县级地方人民政府生态环境主管部门备案；

(2) 医院应结合本次新增直线加速器、射波刀、DSA、术中放疗诊断和治疗项目，及时补充应急预案内容并演练。

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

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

项目名称：综合科研大楼新增射线装置应用项目

建设性质：新建

建设地点：成都市青羊区一环路西 2 段 32 号四川省人民医院综合科研大楼

本项目建设内容与规模为：①**放疗中心**：医院拟在综合科研大楼地面东南侧新建一座放疗中心，并在放疗中心2间直线加速器机房内各安装使用1台10MV直线加速器（型号待定），属II类射线装置，用于全身肿瘤治疗。直线加速器治疗时，X射线最大能量为10MV、X射线1m处最大剂量率为24Gy/min，电子束最大能量为22MeV、电子线1m处最大剂量率为10Gy/min；在放疗中心射波刀机房内安装使用一套射波刀，其型号待定，属II类射线装置，设备主要参数为：X 射线最大能量为6MV，0.8m处输出剂量率最大为10Gy/min。②**手术中心**：医院拟在综合科研大楼11层手术中心南侧术中放疗手术室内使用一台术中放射治疗仪用于全身各部位肿瘤的术中放疗，型号待定，其额定管电压为50kV，额定管电流为0.04mA，属于II类射线装置。拟在综合科研大楼7\11层手术中心新建14间常规介入手术室和2间复合介入手术室、1间术中放疗手术室；其中复合手术室1由DSA+移动CT组成，复合手术室2由DSA+移动CT+MRI组成。在介入手术室内各使用一台DSA，其额定管电压均不大于150kV、额定管电流均不大于1250mA，出束方向由下而上，属于II类射线装置；在复合手术室内各使用一台移动CT，其额定管电压均不大于150kV、额定管电流均不大于1000mA，均属于III类射线装置。

二、本项目产业政策符合性分析

本项目系核和辐射技术用于医学领域，属高新技术。根据中华人民共和国国家发展和改革委员会2023年第7号令《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目使用直线加速器、射波刀、术中放射治疗仪、数字减影血管造影装置（DSA）、移动CT均为医院医疗基础建设内容，属于鼓励类第六项“核能”中第

4条“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发与监测设备制造”，符合国家现行产业政策。

三、本项目选址合理性分析

本项目所在综合科研大楼于2022年12月28日取得了成都市青羊区生态环境局《关于四川省医学科学院·四川省人民医院综合科研大楼建设项目环境影响报告表审查的批复》（成青环审【2022】10号，附件5），选址合理性已在上述环评报告表中进行了论述，且取得了由成都市青羊区规划和自然资源局颁发的建设用地规划许可证（川国用【2007】第01407号，附件3），用地性质为医疗卫生用地，本项目建设均位于医院许可用地范围内，不新增用地。项目建成后50m评价范围内人员活动较少。满足“HJ1188-2021”和“HJ1198-2021”的选址要求。综上，本项目选址是合理的。

四、工程所在地区环境质量现状

根据四川省永坤环境监测有限公司的监测报告，本项目所在区域的X-γ辐射空气吸收剂量率背景值为82nGy/h~92nGy/h，与中华人民共和国生态环境部《2022年全国辐射环境质量报告》中四川省环境电离辐射水平（61.9~151.8nGy/h）基本一致，属于当地正常天然本底辐射水平。

五、环境影响评价分析结论

（一）施工期环境影响分析

本项目土建工程已在《四川省医学科学院·四川省人民医院综合科研大楼建设项目环境影响报告表》（成青环审【2022】10号）中进行评价分析，建设单位在落实报告表提出的各项污染防治措施后，对周围环境影响较小。

（二）营运期环境影响分析

1、辐射环境影响分析

本项目投入运营后，放疗中心职业人员的所受最大附加剂量为

1.20E-01mSv/a，周围公众所受最大附加剂量为 5.49E-02mSv/a；手术中心职业人员所受最大附加剂量为 4.34mSv/a，周围公众所受最大附加剂量为 3.00E-03mSv/a；医院内外 50m 范围内其他环境保护目标（公众）所受最大附加剂量为 1.01E-04mSv/a，满足本次评价确定的职业照射个人年有效剂量 5mSv 和公众人员个人年有效剂量 0.1mSv 的剂量约束值，也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的职业人员 20mSv/a 和公众 1mSv/a 的剂量限值的规定。

2、大气的环境影响分析

（1）放疗中心对大气的影响分析

经预测分析，放疗中心机房内臭氧平衡浓度远低于《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中臭氧最高允许浓度 0.3mg/m³ 的规定，本项目放疗中心内产生的臭氧采用专用排风管道引出后在射波刀机房西北侧接排风机组，最终汇至一旁排风井（出屋面风井，距地高 3m），经自然分解，能够满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）的二级标准（0.20mg/m³）的要求。

（2）手术中心对大气的影响分析

手术中心内的 DSA 和术中放疗主要环境影响为臭氧。医院拟设置排气管道，DSA 和术中放疗射线装置曝光过程中产生的臭氧经过排气管道引出后在楼顶排放，经过预测分析，能够满足相关标准的要求。

3、声环境影响分析

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

4、水环境影响分析

本项目营运期产生的医疗废水、生活废水依托医院污水处理站处理达标后排放到市政污水管网，最终排放至成都市第九净水厂处理达标后排放至锦江。

5、固体废物影响分析

直线加速器、射波刀、术中放射治疗仪、移动 CT 运行时不产生固体废物；

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。

介入手术时产生一定量的医用器具和药棉、纱布、手套、废造影剂、废造影剂瓶等医用辅料及手术垃圾，按每台手术产生约 2kg 的医疗废物，每年固体废物产生量约为 15200kg，医疗废物采用专门的容器收集转移至医疗废物暂存库后由医疗废物处理机构定期统一处理；辐射工作人员会产生少量的生活垃圾及办公垃圾由环卫部门统一定期清运。

六、事故风险与防范

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

七、环保设施与保护目标

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

八、医院辐射安全管理的综合能力

医院严格落实本报告提出的规章制度、环保措施，具备辐射安全管理的综合能力。

九、环境影响评价报告信息公开

在本项目环境影响报告表送审前，建设单位在环境影响评价信息公示平台上进行了公示，截至报告送审前，未收到单位和个人有关项目情况的反馈意见。

十、项目环保可行性结论

在坚持“三同时”的原则，采取切实可行的环保措施，落实本报告提出的各项污染防治措施，本评价认为从环境保护和辐射防护角度看项目建设是可行的。

十一、项目环保竣工验收检查内容

表 13-1 项目环保竣工验收检查一览表



建议和要求

- 1、建设单位应加强与周边公众的沟通，做好解释协调工作。
- 2、落实本报告表中的各项辐射防护措施和安全管理制度的。
- 3、定期组织辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的学习与考核，成绩合格单到期，应再次考核。
- 4、年度评估报告须按照《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；年度评估报告应签章后上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。
- 5、定期检查辐射工作场所的电离辐射标志和电离辐射警告标志，工作状态指示灯，若出现松动、脱落或损坏，应及时修复或更换。
- 6、医院须重视控制区和监督区的管理。
- 7、射线装置在报废处置时，应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化。
- 8、医院在更换辐射安全许可证之前，需登录全国核技术利用辐射安全申报系统，对相关信息进行修改。
- 9、加速器退役时，应对加速器部件测定辐射水平，高于豁免值的部件应作为放射性固体废物进行处理。
- 10、根据原环保部《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）规定：
 - （1）建设单位可登陆生态环境部网站查询建设项目竣工环境保护验收相关技术规范（<http://www.mee.gov.cn>）。
 - （2）项目竣工后，建设单位应当如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收（调查）报告。
 - （3）本项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，方可投入使用，未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。
 - （4）除按照国家需要保密的情形外，建设单位应当通过其网站或其他便于公众知晓的方式，向社会公开下列信息：
 - ①本项目配套建设的环境保护设施竣工后，公开竣工日期；

②对项目配套建设的环境保护设施进行调试前，公开调试的起止日期；

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

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