

核技术利用建设项目

新建放射性同位素和医用射线装置

应用项目环境影响报告表

(公示本)

都江堰首嘉医院有限公司

二〇二〇年九月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

新建放射性同位素和医用射线装置

应用项目环境影响报告表

建设单位名称：都江堰首嘉医院有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：都江堰市奎光塔街道办事处安顺社区江安东路
中段 95 号

邮政编码：***

联系人：***

电子邮箱：***

联系电话：***

目 录

表 1 项目概况.....	1
表 2 放射源.....	14
表 3 非密封放射性物质.....	14
表 4 射线装置.....	15
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	17
表 6 评价依据.....	18
表 7 保护目标与评价标准.....	20
表 8 环境质量和辐射现状.....	25
表 9 项目工程分析与源项.....	27
表 10 辐射安全与防护.....	38
表 11 环境影响分析.....	52
表 12 辐射安全管理.....	92
表 13 结论与建议.....	99

表 1 项目概况

建设项目名称		新建放射性同位素和医用射线装置应用项目			
建设单位		都江堰首嘉医院有限公司			
法人代表	黄丹	联系人	***	联系电话	***
注册地址		都江堰市奎光塔街道办事处安顺社区江安东路中段 95 号			
项目建设地点		都江堰市灌温路 88 号都江堰华瑞医院院区内			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）		***	项目保护投资（万元）	***	投资比例（环保投资/总投资）
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积（m ² ）
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input checked="" type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类		
其它	/				
<p>项目概述</p> <p>一、建设单位简介及项目由来</p> <p>都江堰华瑞医院是都江堰首嘉医院有限公司（统一社会信用代码：91510181MA65U2TQ9M）投资建设的一家以医疗、康养服务、商业为主的综合性医院。医院建设地址位于都江堰奎光塔街道办事处安顺社区灌温路88号，医院主要服务于都江堰市、阿坝州乃至川西地区人群，旨在将医院打造成为医学及康疗相结合的区域性医疗中心。“都江堰华瑞医院项目建设工程”整体工程已进行环境影响评价并取得批复（成环评审【2020】4号，附件3）。</p> <p>医院规划总建筑面积147436.48平方米，总设计床位800张，预计门诊接待量1200</p>					

人/天。拟设置预防保健科、内科、外科、儿科、妇产科、妇女保健科、眼科、耳鼻喉科、口腔科、皮肤科、急诊医学科、体检科、康复医学科、中医科、中西医结合科、精神科、肿瘤科、老年病科、重症医学科、血透中心、麻醉科、医学检验科、医学影像科、病理科、输血科、营养科、感染科、中心供应室等科室。目前医院大楼主体正在修建中。

为满足医疗需求，向患者提供高质量的医疗服务，达到预期诊疗水平。医院拟在综合楼负二层肿瘤科使用 1 台 10MV 医用电子直线加速器（II类射线装置），使用 1 台模拟定位机（III类射线装置）；在综合楼负一层核医学科使用 ^{18}F 进行 PET-CT 影像诊断，并引进 PET-CT 设备 1 台（III类射线装置），核医学科工作场所属于乙级非密封放射性物质工作场所，使用 3 枚锞-68 对 PET-CT 进行校准，活度为 $4.625 \times 10^7 \times 2 + 9.25 \times 10^7 \times 1 \text{Bq}$ ，均属于 V 类放射源；在综合楼一层放射科使用 1 台 DSA（II类射线装置）；在综合楼二层内窥镜科使用 1 台 ERCP（II类射线装置）；在综合楼三层手术部使用 1 台 DSA（II类射线装置）。

“都江堰华瑞医院”建成验收后，全权交由新成立的都江堰华瑞医院（独立法人）实施运营。

按照《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 449 号）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（国家环保部令 18 号）规定和要求，本项目需进行环境影响评价。根据国家《建设项目环境影响评价分类管理名录》（环境保护部令 44 号）和《关于修改〈建设项目环境影响评价分类管理名录〉部分内容的决定》（生态环境部令 1 号）191 条规定，本项目属于名录中“五十、核与辐射”中“191、核技术利用建设项目——生产、使用 II 类射线装置的；乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）”，应编制环境影响报告表，并报四川省生态环境厅审查批准。因此，医院委托四川省中栎环保科技有限公司编制该项目环境影响报告表（委托书见附件 1）。

四川省中栎环保科技有限公司接受本项目环境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、产业政策符合性

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

三、项目概况

（一）项目名称、性质、地点

项目名称：新建放射性同位素和医用射线装置应用项目

建设性质：新建

建设地点：都江堰市灌温路88号都江堰华瑞医院院区内

（二）建设内容与规模

医院拟在综合楼负二层设置肿瘤科、负一层设置核医学科、一层设置放射科、二层设置内窥镜科、三层设置手术部。

1、肿瘤科

（1）直线加速器机房

医院拟在综合楼地下负二层直线加速器机房内，使用1台10MV直线加速器（型号待定），属II类射线装置，用于全身肿瘤诊疗。直线加速器治疗时，X射线最大能量为10MV，电子束最大能量为22MeV，X射线和电子线1m处剂量率均为6Gy/min，年曝光时间最大为300h。

直线加速器机房室内面积约61.6m²（不含迷道），四面墙体、迷道、顶部和底部均为钢筋混凝土。机房东北侧、西南侧、顶部为主射方向，西北侧、东南侧为漏射方向。东北侧主屏蔽墙厚2700mm、宽4000mm，次屏蔽墙厚1500mm；西南侧“L型”迷道内墙主屏蔽体厚2000mm、宽4300mm，外墙厚1200mm；顶部主屏蔽墙厚2700mm，宽4000mm，次屏蔽墙厚1500mm；机房西北侧、东南侧墙体厚度均为1500mm。防护门为19mm铅当量+120mm含硼石蜡单扇电动推拉门。

(2) 模拟定位机房

医院拟在综合楼地下负二层模拟定位机房内使用1台模拟定位机（CT），用于放疗定位。模拟定位机额定管电压140kV，额定管电流800mA，属于III类射线装置。

模拟定位机房室内面积约45.8m²，四面墙体采用370mm 实心砖墙+10mm 硫酸钡水泥砂浆，屋顶为120mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥砂浆，门窗为4mm 铅当量。

2、核医学科

本项目核医学科场所位于医院综合楼负一层，占地面积约419.2m²，设有 PET-CT 扫描室、控制室、注射操作室、注射室、注射后等待室、留观室、储源室、放射性废物暂存室。放射性废水衰变池位于综合楼负一层。

在 PET-CT 扫描室内使用1台 PET-CT（型号待定），属于III类射线装置，用于扫描，PET-CT 额定管电压140kV，额定管电流800mA。PET-CT 检查显像剂使用放射性同位素¹⁸F，¹⁸F 年用量为 5.55×10^{12} Bq，日实际最大使用量为 2.22×10^{10} Bq，日等效最大操作量为 2.22×10^7 Bq。使用3枚锶-68对 PET-CT 进行校准，活度为 $4.625 \times 10^7 \times 2 + 9.25 \times 10^7 \times 1$ Bq，均属于V类放射源。核医学科工作场所日等效最大操作量为 2.22×10^7 Bq，根据《电离辐射防护与辐射源安全标准》（GB18871-2002）规定，核医学科工作场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。

各场所实体防护叙述如下：

PET-CT 扫描室、控制室、注射操作室、注射室、注射后等待室、留观室、储源室、放射性废物暂存室四周墙体均采用370mm 实心砖墙+10mm 硫酸钡水泥，屋顶均为120mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥，底部均为120mm 混凝土。PET-CT 扫描室防护门为8mm 铅当量，观察窗为8mm 铅当量；控制室进入扫描室一侧防护门为8mm 铅当量，进入过道一侧为防护门为6mm 铅当量；注射操作室防护门为9mm 铅当量，观察窗为40mm 铅当量；注射室、注射后等待室、留观室防护门均为6mm 铅当量。储源室和放射性废物暂存室防护门均为9mm 铅当量。

3、放射科

(1) DSA 机房

医院拟在综合楼一层 DSA 机房内使用1台 DSA（型号待定），属于 II 类射线装置，用于介入治疗。DSA 额定管电压150kV，额定管电流1000mA。DSA 进行介入手术治疗的工作负荷约450人次/年，拍片9h、透视66h；单台手术最长出束时间10min；

出束方向：由下而上。

DSA 机房室内面积约43.2m²，四面墙体均为370mm 实心砖墙+10mm 硫酸钡水泥，屋顶为200mm 混凝土+10mm 硫酸钡水泥，地面为120mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥，防护门为4mm 铅当量，观察窗为4mm 铅当量。

4、内窥镜科

医院拟在综合楼二层 ERCP 机房内，使用1台 ERCP（型号待定），属 II 类射线装置，用于介入治疗。ERCP 额定管电压150kV，额定管电流1000mA。C 形臂（ERCP）进行介入手术治疗的工作负荷约450人次/年，拍片9h、透视66h；单台手术最长出束时间10min；出束方向：由下而上。

ERCP 机房室内面积约47.7m²，机房四面墙体均为370mm 实心砖墙+10mm 硫酸钡水泥，屋顶和地面为200mm 混凝土+10mm 硫酸钡水泥，防护门为4mm 铅当量、观察窗为4mm 铅当量。

5、手术部

医院拟在综合楼三层手术部数字化杂交手术室内，使用1台 DSA，属 II 类射线装置，用于介入治疗。DSA 额定管电压150kV，额定管电流1000mA。DSA 进行介入手术治疗的工作负荷约450人次/年，拍片9h、透视66h；单台手术最长出束时间10min；出束方向：由下而上。

杂交手术室室内面积约51.6m²，机房四面墙体采用4mm 铅当量铅板防护，屋顶为200mm 混凝土+10mm 硫酸钡水泥，地面为120mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥，防护门为4mm 铅当量、观察窗为4mm 铅当量。

项目组成及主要环境问题见表 1-1。

表 1-1 建设项目组成及主要的环境问题表

名称	科室	场所	建设内容及规模		可能产生的环境问题	
					施工期	营运期
主体工程	肿瘤科	直线加速器机房	设备、数量	10MV 医用电子直线加速器 1 台		X 射线、电子线、臭氧、噪声
			设备型号	待定		
			管理类别	II 类		
			使用场所	综合楼负二层直线加速器机房		
			年曝光时间	300h		
			1m 处剂量率	X 射线 1m 处剂量率为 6Gy/min		
				电子束 1m 处剂量率为 6Gy/min		
主射方向	东北侧、西南侧和顶部					

	模拟定位 机房	设备、数量	CT机1台	噪声、扬 尘、废水、 废气、固 体废物	X射线	
		设备型号	待定			
		管理类别	III类			
		使用场所	综合楼负二层模拟定位机房			
		年曝光时间	4h			
		电压/电流	140kV/800mA			
	核医学 科	核素	^{18}F		年用量为 $5.55 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $2.22 \times 10^7\text{Bq}$	X射线、 β 射线、 γ 射 线、放射性 废气、放射 性废水、放 射性固体 废物、废放 射源
		密封源	^{68}Ge		对 PET-CT 进行校准，活度为 $4.625 \times 10^7 \times 2 + 9.25 \times 10^7 \times 1\text{Bq}$ ，均属于V类放射源	
		射线装置	1台PET-CT，属于III类射线装置			
		非密封放射性物质工作场所	PET-CT 机房、注射操作室、注射室、注射后等待室、留观室、储源室、放射性废物暂存库、核素通道			
	放射 科	DSA机 房	设备、数量		1台DSA	X射线、臭 氧、医疗废 物
			设备型号		待定	
			管理类别		II类	
			使用场所		综合楼一层 DSA 机房	
			年曝光时间		75h	
			电压/电流		150kV/1000mA	
	内窥 镜科	ERCP	设备、数量		1台ERCP	X射线、臭 氧、医疗废 物
			设备型号		待定	
			管理类别		II类	
			使用场所		综合楼二层 ERCP 机房	
			年曝光时间		75h	
电压/电流			150kV/1000mA			
手术 部	数字化杂 交手术室	设备、数量	1台DSA	X射线、臭 氧、医疗废 物		
		设备型号	待定			
		管理类别	II类			
		使用场所	综合楼三层数字化杂交手术室			
		年曝光时间	75h			
		电压/电流	150kV/1000mA			
辅助 工程	控制室、水冷机房、设备间、污物暂存间等配套辅助用房			废水、固废		
公用 工程	市政水网、市政电网、配电系统、废水处理站、通排风系统（中央空调）			/		

办公及生活设施	医生办公室、卫生间等	生活垃圾、生活污水
环保设施	废水处理依托医院污水管道和污水处理站，医疗废物依托医院医废暂存间及收集系统进行回收处理，办公、生活垃圾依托医院收集系统进行回收处理。	废水、固废

(三) 本项目主要原辅材料及能耗情况

本项目主要原辅材料及能耗情况见表 1-2。

表 1-2 主要原辅材料及能耗情况表

类别	名称	使用量	来源	主要化学成分
主要原辅材料	造影剂	180L	-	碘制剂
	¹⁸ F	年使用量为 5.55×10^{12} Bq	-	
能源	煤 (t)	-	-	-
	电(度)	50000	市政电网	-
	气 (Nm ³)	-	-	-
水量	地表水 (m ³)	1000	-	-
	地下水	-	-	-

(四) 本项目所涉及的射线装置

本项目涉及的设备参数见下表：

表 1-3 本项目射线装置清单

序号	装置名称	数量	型号	设备参数	管理类别	年出束时间	使用场所	备注
1	医用电子直线加速器	1 台	待定	X 射线：10MV，1m 处最高剂量率：6Gy/min 电子射线：22MeV，1m 处最高剂量率：6Gy/min	II 类	300h	综合楼负二层直线加速器机房	拟购
2	模拟定位机	1 台	待定	额定管电压 140kV、额定管电流 800mA	III类	4h	综合楼负二层模拟定位机房	拟购
3	PET-CT	1 台	待定	额定管电压 140kV，额定管电流 800mA	III类	125h	综合楼负一层 PET-CT 扫描室	拟购
4	DSA	1 台	待定	额定管电压 150kV，额定管电流 1000mA	II 类	75h	综合楼一层 DSA 机房	拟购
5	ERCP	1 台	待定	额定管电压 150kV，额定管电流 1000mA	II 类	75h	综合楼二层 ERCP 机房	拟购
6	DSA	1 台	待定	额定管电压 150kV，额定管电流 1000mA	II 类	75h	综合楼三层数字化杂交手术室	拟购

(五) 本项目医用核素及使用情况一览表

表 1-4 本项目涉及核素特性

使用核素	半衰期	毒性分组	衰变方式	主要射线及能量 (MeV)	医学应用
¹⁸ F	1.83h	低毒	β ⁺ 衰变	γ/0.511	显像检查

表 1-5 本项目使用核素诊疗用药情况

使用核素	物理状态	年诊疗人数	日最大诊疗人数	年用量	最大日使用量	给药方式
¹⁸ F	液体	15000	60	5.55×10 ¹²	2.22×10 ¹⁰	静脉注射

表 1-6 放射源基本参数情况

放射源种类	装源活度	放射源类别	放射源数量	半衰期	辐射类型	辐射最大能量
⁶⁸ Ge	4.625×10 ⁷ ×2 枚, 9.25×10 ⁷ ×1 枚	V类	3 枚	29.1a	β射线	E _β =0.546MeV

(六) 本项目医用核素及工作场所分级

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

表 1-7 非密封放射性物质工作场所分级表

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	>4×10 ⁹
乙	2×10 ⁷ ~4×10 ⁹
丙	豁免活度值以上~2×10 ⁷

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

表 1-8 放射性核素毒性组别修正因子表

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

表 1-9 放射性核素毒性组别修正因子表

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较低的固体	液体、溶液、悬浮液	表面有污染的固体	气体、蒸汽、粉末、压力很高的液体、固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单的操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），非密封放射性物质工作场所应按放射性核素日等效最大操作量的大小分为甲、乙、丙三级，日等效操作量计算公式为：

$$\text{日等效操作量} = \text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子} \div \text{操作方式的修正因子}$$

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

表 1-10 本项目核医学科非密封放射性物质工作场所分级表

所在位置	工作场所	使用核素名称	日实际最大操作量(Bq)	毒性组别及其修正因子	操作方式及其修正因子	日等效最大操作量(Bq)	工作场所级别
核医学科工作场所	注射操作室	¹⁸ F	2.22×10 ¹⁰	低毒	很简单操作	2.22×10 ⁷	乙级非密封放射性物质工作场所
				0.01	10		
	PET-CT注射区	¹⁸ F	2.22×10 ¹⁰	低毒	很简单操作	2.22×10 ⁷	
				0.01	10		
	储源室	¹⁸ F	2.22×10 ¹⁰	低毒	源的贮存	2.22×10 ⁶	
				0.01	100		
	放射性废物暂存室	¹⁸ F	2.22×10 ¹⁰	低毒	源的贮存	2.22×10 ⁷	
				0.01	10		

根据表 1-10 计算，本项目核医学科总的日等效最大操作量为 2.22×10⁷Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

（四）项目选址和平面布局的合理性

1、选址的合理性

本项目所在医院已在“都江堰华瑞医院项目建设工程”进行环境影响评价并取得批复（成环评审【2020】4号，附件3），医院选址合理性已在相关环评报告书中进行了论述，本项目仅为其配套建设项目，不新增用地，且拟建的各辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对辐射工作人员和公众的照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求，并满足报告表确定的剂量管理约束值的要求，从辐射安全防护的角度分析，本项目选址是合理的。

本项目地理位置图见附图 1。

2、医院外环境关系

东面：紧邻灌温路，道路以东为堰孚国际公馆（商住区，6/11F）和山川小区（居民区，6/13F），距医院边界约 56m。堰孚国际公馆以东为愿景·青城雪（居民区，8/13F），距医院约 150m。愿景·青城雪东面为枫尚云锦（居民区，在建，6/13F），东北面为康欣苑（居民区，6/13F），距医院边界约 200m。

东南面：约170m为商住区（6~13F）。

南面：紧邻规划绿地，约50m为彩虹大道南段，道路宽50m，道路以南为商户，距医院边界约120m。

西南面：约450m为万达城（商业区）。

西面：紧邻规划道路，道路宽16m，道路以西为金马河堤，河堤以西为金马河。

西北面：约1.1km为都江堰市玉堂小学（文教区）。

北面：紧邻规划道路，道路宽12m，道路以北为空地（规划商服区）。

东北面：紧邻四川师范大学附属田童幼儿园（操场），医院边界距幼儿园建筑楼约65m，约190m为枫尚领域（居民区，6~13F）。

医院外环境关系图见附图 2。

3、总平布局合理性

本项目放射性同位素及医用射线装置均位于医院综合楼(-2/15F)，其中肿瘤科位于地下负二层东北侧，核医学科位于地下负一层东侧，放射科位于地上一层东侧，内窥镜科位于地上二层东侧，手术部位于地上三层东侧。

各层平面布置如下：

(1) 地下负 2 层

在综合楼地下负 2 层东北侧为肿瘤科，东侧、南侧为地下土体，西南侧、西侧、西北侧为地下车库，北侧为地下土体。

本项目在地下负 2 层使用直线加速器、模拟定位（CT）机各 1 台，均位于肿瘤科内。在肿瘤科内直线加速器机房、模拟定位（CT）室机房在肿瘤科内自北向南一字排开。机房西北侧、西侧为地下车库，北侧为地下土体，东侧为电梯井、排烟机房，南侧为过道、制模间、模具暂存室，西南侧为控制室、水冷机房，模拟定位（CT）室。直线加速器机房和模拟定位机房的正上方为负一层地下车库，地下负 2 层下方无地下室。

(2) 地下负 1 层

在综合楼地下负 1 层东侧核医学科区域，西南侧为污物清洗区，西侧、西北侧为地下车库，北侧为中药库、西药库，东北侧为急诊科。

核医学科区域位于综合楼地下负 1 层东侧，以 PET-CT 机房为中心，机房东侧依次为操作室、注射室、储源室，南侧为过道，过道南侧为衣物清洗区，西侧为设备间、电梯井、地下车库，北侧为地下车库。核医学科正下方为地下土体，上方为功能检查科。

(3) 地上 1 层

在综合楼地上 1 层东侧为放射科，东南侧为院区道路，西南侧为透析中心、中心供应室、住院药房，西侧为院区中庭，西北侧为儿科、内科，北侧为体检中心。

放射科区域西侧自北向南依次为钼靶机房及控制室，CT-1 室及控制室，CT-2 室，排烟室，数字胃肠机房及控制室，CT-3 室及控制室，DR-3 室及控制室；中间为过道；东侧自北向南依次为 DR-1 室及控制室，MRI-1.5T 室，准备室，设备间，DR-2 室及控制室，病人准备室，MRI-3.0T 室及控制室，MR 设备间、DSA 机房及控制室；放射科正上方为内窥镜科，妇科区域；正下方为急诊科。

(4) 地上 2 层

在综合楼地上 2 层东侧为内窥镜科，南侧为检验科、输血科，西南侧为静配中心、中医理疗区，西侧为院区中庭上空，西北侧为美容科、外科，北侧为产科，东北侧为妇科。

ERCP 机房位于内窥镜科。机房东侧、东南侧为过道和综合楼墙体；南侧为预留房间；西南侧为过道，污洗间；西侧为镜库，污物存放间，洗镜室，肠镜检查室；西北侧为更衣间，胆道洗镜室，胆道镜室；北侧为 ERCP 控制室，主任办，护士长办。ERCP 机房正上方为手术部，正下方为放射科。

(5) 地上 3 层

在综合楼地上 3 层东侧为手术部，南侧为 ICU 区域，西南侧为病房，西侧为院区中庭上空，西北侧为耳鼻喉科、眼科，北侧为口腔科，东北侧为病房。

数字化杂交手术室位于手术部。机房东侧为机房、控制室；南侧为过道，第 9、10、12 手术室；西侧为第 11 手术室（床旁 C 臂）；北侧为污物走廊，标本间，洁具间，污物清洗间、护工间；数字化杂交手术室上方为屋顶，正下方为内窥镜科。

牙科 CT 室和牙片机室位于口腔科。机房东侧为口腔美容室；南侧为过道，技工室，更衣室；西侧为过道，电梯井；北侧为控制室；口腔科上方为医院行政办公区，下方为儿保诊断室。

（五）劳动定员及工作制度

劳动定员：本项目共配置辐射工作人员 29 人，均为新增辐射工作人员，具体如表 1-11 所示。

工作制度：实行 8 小时工作制，年工作日以 250 天计。

表 1-11 本项目工作人员构成表

/	设备/项目	配备人数	人员构成
肿瘤科	10MV 直线加速器	7	医师 2 人、技师 2 人、物理师 1 人、护士 2 人
	模拟定位机	1	技师 1 人
核医学科	PET/CT	6	医师 2 人、技师 2 人、护士 2 人
放射科	DSA	5	医师 2 人、技师 1 人、护士 2 人
内窥镜科	ERCP	5	医师 2 人、技师 1 人、护士 2 人
手术部	DSA-2	5	医师 2 人、技师 1 人、护士 2 人

（六）本项目依托的环保工程设施

都江堰华瑞医院已取得成都市生态环境局关于《都江堰首嘉医院有限公司都江堰华瑞医院项目建设工程环境影响报告书的审查批复》成环评审[2020]4 号，附件 3）。本项目依托的主要环保设施有：

- （1）项目运营期间产生的污水依托都江堰华瑞医院的污水处理站处理；
- （2）产生的生活垃圾收集后由市政环卫部门统一清运；产生的医疗废物依托院区危废暂存间暂存。

四、原有核技术利用情况

（一）医院原有项目辐射安全许可证情况

本项目属于新建项目，医院此前未开展过核技术利用项目，医院之前未申领过辐射安全许可证，不存在与本项目有关的原有辐射污染源的问题。

（二）辐射工作人员培训情况

都江堰华瑞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。医院本次拟配置 29 名辐射工作人员，医院应加强管理，尽快安排新增辐射工作人员

在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习辐射安全和防护知识并进行考核，考核通过后方可上岗。

五、环境影响评价报告信息公开

为进一步保障公众对环境保护的参与权、知情权和监督权，加强环境影响评价工作的公开、透明，方便公众和其他组织机构获取生态环境主管部门环境影响评价信息，加大环境影响评价公众参与公开力度，依据原国家环境保护部颁布的《建设项目环境影响评价政府信息公开指南》的规定，结合四川省生态环境厅要求，建设单位在向生态环境主管部门提交建设项目环境影响报告表前，应依法主动公开建设项目环境影响报告表全本信息。

根据以上要求，建设单位都江堰首嘉医院有限公司在环保之家论坛网站上对该项目进行公示。公示网址为：
(<http://www.ep-home.com/forum.php?mod=viewthread&tid=394258&extra=page%3D1%26filter%3Dtypeid%26typeid%3D260>)。公示网站截图如下：



公示后，未收到单位和个人有关项目情况的反馈意见。

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	Ge	$4.625 \times 10^7 \times 2 + 9.25 \times 10^7 \times 1$	V	使用	作为 PET-CT 校正源	负一层核医学科 PET-CT 扫描室	负一层核医学科储源室	本次 新增

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大 操作量（Bq）	日等效最大 操作量（Bq）	年最大用 量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与 地点
1	^{18}F	液态针剂、半衰 期 1.83h	使用	2.22×10^{10}	2.22×10^7	5.55×10^{12}	影像检查	很简单操作	注射操作室	当日购买 当日使用

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

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量	最大电流 (mA) /剂量率 (Gy/min)	用途	工作场所	备注
1	10MV 医用电子直线加速器	II	1	待定	电子	最大 X 射线能量 10MV、最大电子束能量 22MeV	X 射线 1m 处剂量率为 6Gy/min 电子线 1m 处剂量率为 6Gy/min	肿瘤治疗	医院综合楼负二层直线加速器机房内	本次拟购

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	模拟定位机 (CT)	III	1	待定	140	800	放射治疗前定位	医院综合楼负二层模拟定位机房内	本次拟购
2	PET-CT	III	1	待定	140	800	影像检查与诊断	医院综合楼负一层 PET-CT 机房内	本次拟购
3	DSA	II	1	待定	150	1000	介入治疗	医院综合楼一层 DSA 机房内	本次拟购
4	ERCPC(C 形臂)	II	1	待定	150	1000	介入治疗	医院综合楼二层 ERCP 机房内	本次拟购
5	DSA	II	1	待定	150	1000	介入治疗	医院综合楼三层数字化杂交手术室内	本次拟购

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
核医学科：放射性废水	液态	^{18}F	182.5m ³ /a	总 $\alpha < 1\text{Bq/L}$ 总 $\beta < 10\text{Bq/L}$	放射性废水衰变池暂存	贮存 10 个半衰期后排入医院污水处理站
核医学科：放射性固废	固态	/	/	/	放射性废物暂存间暂存	暂存 10 个半衰期，清洁解控后作为普通医疗废物处置；病号服，被褥重复清洗使用
核医学科：退役 ^{68}Ge 放射源	固态	^{68}Ge	/	/	/	放射源生产厂家回收处置
核医学科：放射性废气	气态		少量	/	经专用通排风系统过滤后排放	排向大气环境
废弃活性炭	固态	/	/	/	放射性废物暂存间暂存	暂存，清洁解控后作为普通医疗废物处置
加速器产生的臭氧	气态	/	少量	/	经过专用通排风系统排放	直接排向大气环境
DSA、ERCP 等产生的臭氧	气态	/	少量	/	经过通排风系统排放	直接排向大气环境

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

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

表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（2014 年 4 月 24 日修订）；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月 29 日修订）；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日实施）；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第 682 号，2017 年 7 月 16 日修订）；</p> <p>(5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（原环境保护部令第 44 号）和《关于修改<建设项目环境影响评价分类管理名录>部分内容的决定》（生态环境部令第 1 号 2018 年 4 月 28 日实施）；</p> <p>(6) 《四川省辐射污染防治条例》（四川省十二届人大常委会第二十四次会议第二次全体会议审议通过，2016 年 6 月 1 日起实施）；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第 449 号令，2019 年 3 月 2 日第二次修订）；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部第 18 号令，2011 年 5 月 1 日实施）；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019 年 8 月 22 日修订）；</p> <p>(10) 《射线装置分类办法》（原环境保护部公告 2017 年第 66 号）；</p> <p>(11) 《放射源分类办法》（原国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号）；</p> <p>(12) 《建设项目环境影响评价信息公开机制方案》（环发[2015]162 号）；</p> <p>(13) 《关于建设放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号，原国家环境保护总局、公安部、卫生部文件，2006 年 9 月 26 日）；</p> <p>(14) 《关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知》（环发[2012]77 号，原环境保护部文件，2012 年 7 月 3 日）；</p> <p>(15) 《关于做好 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训和考核工作有关事项的通知》（环办辐射函[2019]853 号）；</p> <p>(16) 《关于贯彻落实 2020 年核技术利用辐射安全与防护培训和考核</p>
-------------	---

	工作有关事项的通知》（川环办函[2019]）507号。
技术标准	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容与格式》（HJ10.1-2016）；</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(3) 《环境地表γ辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）；</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）；</p> <p>(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）；</p> <p>(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）；</p> <p>(7) 《电子直线加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）；</p> <p>(8) 《医用X射线CT机房的辐射屏蔽规范》（GBZ/T180-2006）；</p> <p>(9) 《X射线计算机断层摄影放射防护要求》（GBZ165-2012）；</p> <p>(10) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>(11) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；</p> <p>(12) 《电子辐射工程技术规范》（GB50752-2012）；</p> <p>(13) 《医用X射线治疗卫生防护标准》（GBZ131-2017）；</p> <p>(14) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GBZ11930-2010）；</p> <p>(15) 《医疗照射防护基本要求》（GBZ179-2006）；</p> <p>(16) 《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）；</p> <p>(17) 《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WST613-2018）；</p> <p>(18) 《医用放射性固废的卫生防护管理》（GBZ133-2009）；</p> <p>(19) 《辐射防护规定》（GB8703-88）。</p>
其他	<p>(1) 环评委托书；</p> <p>(2) 《辐射安全与防护监督检查技术程序》（原环保部，2012年3月）；</p> <p>(3) 《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400号）；</p> <p>(4) 都江堰首嘉医院有限公司提供的工程设计图纸及相关技术参数资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

本项目产生的电离辐射经实体防护屏蔽和距离衰减后，对公众的影响较小。根据《辐射环境保护管理导则·核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）要求，确定本项目辐射评价范围取以机房实体屏蔽物边界外50m 以内的区域。

保护目标

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

表 7-1 本项目环境保护目标

项目	相对位置	保护目标	照射类型	与辐射源最近距离(m)	人数 人/d	剂量约束值 (mSv/a)
肿瘤科	控制室、水冷机房、模拟定位机房（西南侧）	职业人员	职业	8.7	8	5.0
	电梯井、洁具间、排烟机房（东侧）	公众人员	公众	8.5	流动	0.1
	走廊、制模间、模具暂存室、抢救室、诊室、候诊厅等（南侧）	公众人员	公众	10.0	流动	0.1
	负二层地下车库（西侧、西北侧）	公众人员	公众	13.3	流动	0.1
	负一层地下车库（正上方）	公众人员	公众	5.0	流动	0.1
核医学科	核医学科工作区	职业人员	职业	0.3	4	5.0
	控制室（东侧）	职业人员	职业	5.2	2	5.0
	过道、衣物清洗区、医疗垃圾暂存间、地下车库（西南侧）	公众人员	公众	4.3	流动	0.1
	设备间、电梯井、地下车库（西侧）	公众人员	公众	4.3	流动	0.1
	病案库、设备房、耗材库、地下车库（北侧）	公众人员	公众	7.9	流动	0.1
	功能检查科（正上方）	公众人员	公众	4.6	流动	0.1
放射科	DSA 机房内	职业人员	职业	0.5	4	5.0
	控制室（DSA 机房北侧）	职业人员	职业	3.7	1	5.0
	设备间、污物通道、电梯井等（南侧）	公众人员	公众	4.5	流动	0.1
	过道、功能检查科等（机房西侧）	公众人员	公众	3.1	流动	0.1

	医院内道路（机房东侧）	公众人员	公众	3.5	流动	0.1
	内窥镜科（机房上方）	公众人员	公众	3.9	流动	0.1
	急诊科（机房下方）	公众人员	公众	3.9	流动	0.1
内窥镜科（ERCP）	ERCP 机房内	职业人员	职业	0.5	4	5.0
	控制室（北侧）	职业人员	职业	4.4	1	5.0
	主任办、护士长办、妇科等（北侧）	公众人员	公众	6.9	流动	0.1
	预留房间、电梯井（南侧）	公众人员	公众	4.3	流动	0.1
	过道、污洗间、病理科等（西南侧）	公众人员	公众	8.4	流动	0.1
	镜库、污物存放间、洗镜室、肠镜检查室等（西侧）	公众人员	公众	4.8	流动	0.1
	更衣间、胆道镜洗镜室、麻醉恢复室等（西北侧）	公众人员	公众	7.0	流动	0.1
	手术部（正上方）	公众人员	公众	3.9	4	0.1
	放射科（正下方）	公众人员	公众	3.9	4	0.1
手术部	数字化杂交手术室内	职业人员	职业	0.5	4	5.0
	控制室（东侧）	职业人员	职业	4.4	1	5.0
	机房、过道（东侧）	公众人员	公众	4.4	流动	0.1
	过道、第 4-10、12 手术室等（南侧）	公众人员	公众	4.5	5	0.1
	第 11 手术室、无菌库等（西侧）	公众人员	公众	3.8	2	0.1
	污物走廊、标本间、洁具间、护工间、病房区等（北侧）	公众人员	公众	4.0	流动	0.1
	屋顶（正上方）	公众人员	公众	3.9	流动	0.1
	内窥镜科（正下方）	公众人员	公众	3.9	4	0.1

评价标准

一、环境质量标准

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

二、污染物排放标准

(1) 大气污染物排放执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)二级标准;

(2) 水污染物: 本项目污水排入院区设置有污水处理站处理后达到执行《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)中表2(综合医疗机构和其他医疗机构)的预处理排放标准;

(3) 噪声: ①施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)中标准限值; ②运营期执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)2类标准。

(4) 固废: 一般固废执行《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB18599-2001)及其2013修改单中的相关规定, 危险废物贮存执行《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2001)及其2013修改单中的相关规定。

三、电离辐射剂量

1、职业人员和公众

职业照射: 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)第4.3.3.1条的规定, 对任何工作人员, 由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯平均)20mSv。四肢(手和足)或皮肤的年当量剂量不超过500mSv。本项目环评取上述标准中规定的职业照射年有效剂量限值的1/4(即5mSv/a)作为职业人员年剂量约束值; 取四肢(手和足)或皮肤年当量剂量的1/4(即125mSv/a)作为职业人员四肢(手和足)或皮肤年当量剂量约束值。

公众照射: 第B1.2.1条的规定, 实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过年有效剂量1mSv。本项目环评取上述标准中规定的公众年有效剂量限值的1/10(即0.1mSv/a)作为公众的年剂量约束值。

2、接受核素治疗患者的陪护及探视人员

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定, 对于明知会受到照射却自愿帮助护理、支持和探视、慰问正在接受医学诊断或治疗的患者的人员, 其在治疗期间的受照剂量应不超过5mSv/a。探视患者的儿童所受剂量应限制于1mSv/a以下。

四、放射工作场所边界周围剂量率控制水平

1、放射治疗机房

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

2、X 射线诊断装置机房

参照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）有关规定，本项目 DSA、CERCP、III 类医用射线装置使用场所在距离机房屏蔽体外表面 30cm 外，周围辐射剂量率应满足：控制目标值不大于 2.5 μ Sv/h。

3、操作非密封放射性物质工作场所

核医学科诊断场所屏蔽结构外 30cm 处的辐射剂量率应不大于 2.5 μ Sv/h。

五、放射性表面污染控制水平

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

表7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平

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

六、放射性废水排放标准

《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）适用于医疗机构污水排放的控制，放射性废水衰变池排放口总 β 满足 10Bq/L。

七、放射性固废排放标准

本项目使用的非密封放射性物质，半衰期较短，可以将放射性废物收集暂存，待衰变时间超过所含半衰期最长核素的 10 个半衰期后，委托有资质单位进行监测，如果符合清洁解控水平（比活度小于或等于 1×10^4 Bq/kg），按医疗废物环境管理要求进行无害化处理，并报生态环境主管部门备案。

八、放射性废气排放管理

参照《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）第 4.5 款，操作放

射性药物所用的通风橱，工作中应有足够风速（一般不小于 1m/s），排气口应高于本建筑，并设有活性炭过滤或其他专用过滤装置。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

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

一、监测方法及仪器

为掌握项目所在地的辐射环境现状,评价过程中,四川省中栎环保科技有限公司委托四川省永坤环境监测有限公司对项目拟建场所进行了现场监测,监测报告见附件 4,其监测项目、分析方法及来源见表 8-1。

表 8-1 监测项目、方法及方法来源表

监测项目	监测方法	方法来源
X-γ辐射剂量率	《环境地表γ辐射剂量率测定规范》	GB/T14583-93
	《辐射环境监测技术规范》	HJ/T61-2001

监测使用仪器及环境条件见表 8-2。

表 8-2 监测使用仪器表

监测项目	监测设备			使用环境
	名称及编号	测量范围	检定/校准情况	
环境 X-γ 辐射剂量率	FD-3013B 型 X-γ 辐射剂量当量率仪 编号: YKJC/YQ-02	0.01μSv/h~200μSv/h 60keV~3.0MeV	检定/校准单位: 中国测试技术研究院 检定/校准有效期: 2019.08.29~2020.08.28	天气:晴 温度: 33.8℃ 湿度: 61.2%

二、质量保证

四川省永坤环境监测有限公司,通过了计量认证,具备完整、有效的质量控制体系。

(1) 计量认证

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

(2) 仪器设备管理

①管理与标准化;②计量器具的标准化;③计量器具、仪器设备的检定。

(3) 记录与报告

①数据记录制度；②报告质量控制。

三、环境现状监测与评价

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

具体监测结果如下所述：

表 8-3 拟建辐射工作场所及周围环境 γ 辐射剂量率单位： $\mu\text{Sv/h}$

编号	γ 辐射剂量率		监测位置
	测量值	标准差	
1	0.09	0.008	拟建直线加速器区域东侧
2	0.09	0.008	拟建直线加速器区域南侧
3	0.09	0.011	拟建直线加速器区域西侧
4	0.08	0.011	拟建直线加速器区域北侧
5	0.10	0.011	拟建核医学科区域北侧
6	0.10	0.008	拟建核医学科区域南侧
7	0.11	0.008	拟建放射科区域
8	0.12	0.012	院区东北侧边界（紧邻田童幼儿园操场）

由监测报告可知，项目所在区域的 X- γ 辐射空气吸收剂量率背景值为 0.08~0.12 $\mu\text{Sv/h}$ ，在普通生活环境状态下，辐射环境权重因子按 1 进行考虑，则拟建场所内 γ 辐射剂量率背景值为 80~120nGy/h。根据四川省生态环境厅发布《2019 年四川省生态环境状况公报》（2020 年 6 月），本项目拟建区域内空气吸收剂量率水平与全省 29 个电离辐射环境监测自动站测得的 γ 辐射空气吸收剂量率范围（76.8~163nGy/h）基本一致，属于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

本项目辐射工作场所土建工程属于“都江堰首嘉医院有限公司-都江堰华瑞医院项目建设工程”建设内容之一，其施工期环境影响包含在《都江堰首嘉医院有限公司-都江堰华瑞医院项目建设工程环境影响报告书》中，批复文号为成环评审【2020】4号（附件3）。

本项目机房还需进行设备安装、管线敷设、铅玻璃窗、铅防护门及其他环境保护设施的安装，DSA机房、ERCPC机房、注射操作室、注射室、储源室、注射后观察室、留观室、PET-CT扫描室、操作室等还将进行硫酸钡抹面，施工期将产生少量扬尘、噪声、生活污水及固体废物。施工期工艺流程及污染物产生环节见图9-1。

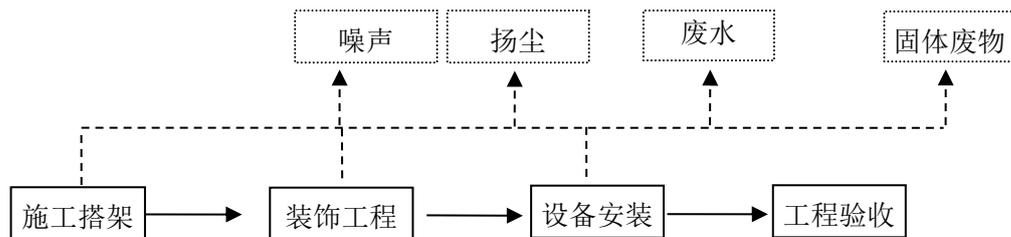


图 9-1 施工期工艺流程及污染物产生环节图

1、扬尘

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

2、噪声

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

3、固体废物

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

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

4、废水

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

二、运营期

（一）直线加速器工艺分析

1、设备组成及工作原理

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

医用直线加速器的核心部位由电子枪、加速管和束流控制三个主要部分组成，由于直线加速器结构简单、造价低、不使用放射源，目前已成为医院放射治疗的主要手段。本项目医院拟购买 10MV 直线加速器 1 台，属 II 类射线装置，其结构图见图 9-2，具体参数见表 9-1；

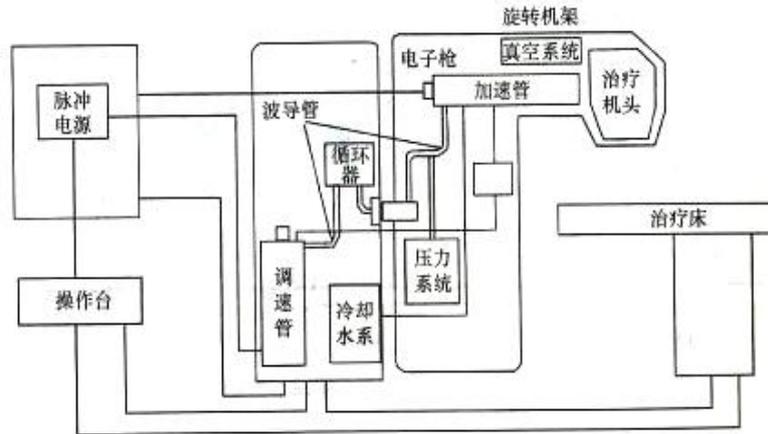


图 9-2 医用直线加速器结构示意图

表 9-1 10MV 医用直线加速器参数

厂家、型号	待定
最大 X 射线能量	10MV
最大电子线能量	22MeV
X 射线泄漏率	≤0.01%
X 射线 1m 处最大剂量率	6Gy/min
电子束 1m 处最大剂量率	6Gy/min
治疗角	0-360°
正常治疗距离	100cm
主射线最大出束角度	28°
最大照射野 (SSD=1 米)	40cm×40cm

2、项目流程及产污染环节

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

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

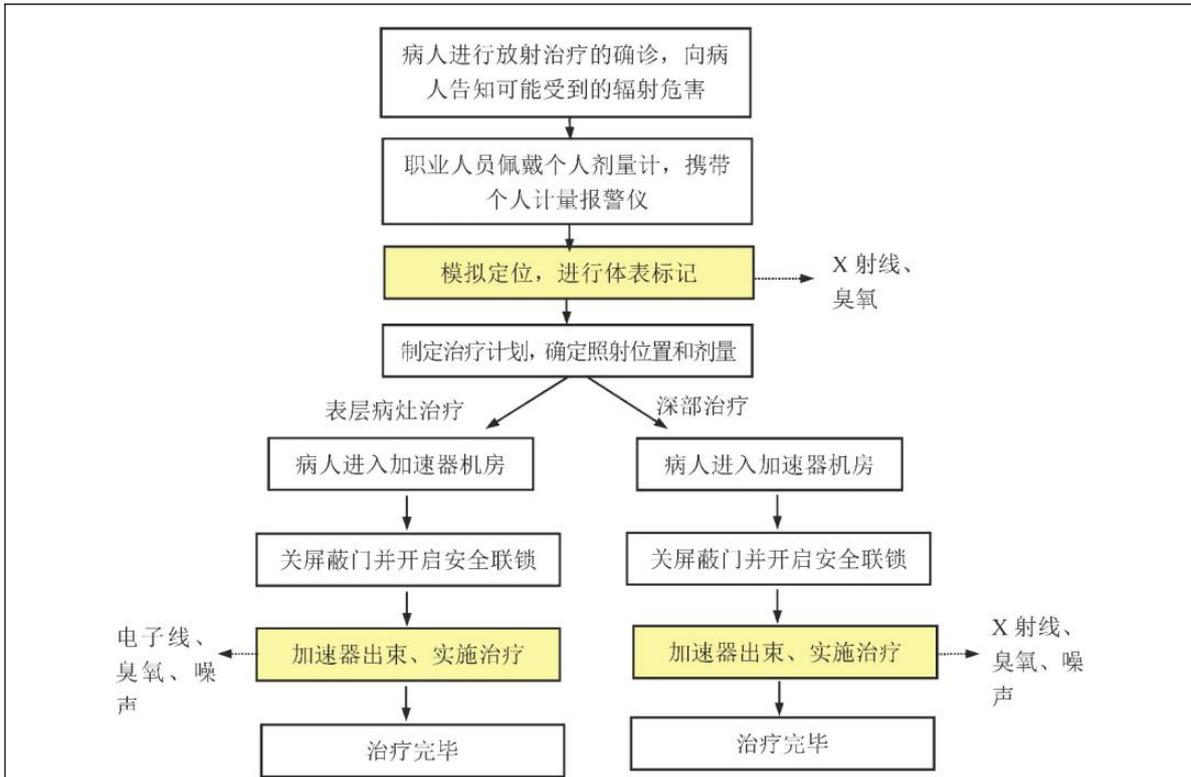


图 9-3 医用电子直线加速器治疗流程及产污环节图

(二) 核医学科

都江堰华瑞医院核医学科诊断场所操作使用 ^{18}F 用于肿瘤显像。其中 ^{18}F 年用量为 $5.55 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，日最大使用量为 $2.22 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $2.22 \times 10^7\text{Bq}$ 。（属乙级非密封放射性物质工作场所）。

在 PET-CT 扫描室拟使用 1 台 PET-CT，配套使用 3 枚 ^{68}Ge 校正源，活度为 $4.625 \times 10^7\text{Bq} \times 2$ 枚 + $9.25 \times 10^7\text{Bq} \times 1$ 枚，均属于 V 类放射源。本项目核医学科诊断场所拟开展的项目工艺及诊治流程分别简述于后。

(1) 原理

PET 即正电子扫描仪为分子像设备，由于在核成像中要求能发射 γ 射线，其原理是是通过标记参与人体代谢的某些化合物的元素，例如把碳、氟、氧和氮 (^{11}C 、 ^{18}F 、 ^{15}O 、 ^{13}N) 的同位素一种或两种，注入人体后成为稳定的化合物，在活体内参与细胞代谢。用这种正电子发射体取代正常和稳定元素，即形成了此类元素的化合物，此类化合物也是半衰期适合的天然化合物，当此类化合物的正电子与人体内的电子结合时，发生湮灭效应，产生两个能量为 0.511MeV 彼此运动相反的 γ 射线。根据人体不同部位吸收标记化合物能力的不同，同位素在人体内各部位的浓聚程度不同，湮灭

反应产生光子的强度也不同。采用闪烁计数器，经过符合计数技术，即可判定这一对 γ 光子辐射的轨迹线，该线经过湮灭源确定了这种多次蜕变作用的路径，按照一定规律被计算机采集下来，其成像概念和计算机断层成像法很类似。

PET-CT 的工作原理是把 PET 和 CT 放在一起，通过 PET 扫描和 CT 扫描重边，联合扫描，使两者的硬件和软件有机的结合在一起。工作时，其 CT 球管发射 X 射线，穿透人体组织，其探测器获得的数据不仅用于重建 CT 图像，同时提供给 PET 作为衰减校正的参数，在此基础上再进行 PET 图像的重建。所显示的图像为两者图像融合的结果，即细胞的代谢显像和所处的解剖位置。

(2) PET-CT 诊疗流程与产污环节

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

接受扫描检查的患者，均在注射室接受静脉注射。本项目 ^{18}F 给药量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ /每人次，每日最大治疗人数为 60 人，注射时间约为 1min 每人次。注射时，医生穿戴铅衣、带防护手套，医生与患者分别位于铅玻璃两侧，医生距患者约 30cm。注射完成后，接受注射的患者在注射后等待室观察 5-30min。待药物在身体内有一定程度的代谢后，再到扫描室进行扫描检查，检查时间为 15-20min，在病员休息室经观察无不良反应即可离开。检查流程及污染物产生环节见图 9-4。

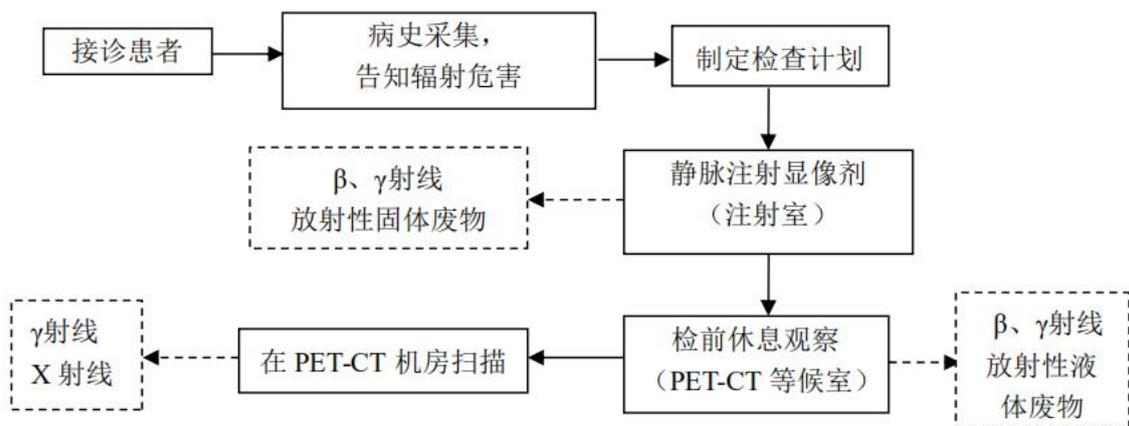


图 9-4 PET/CT 治疗流程及产污环节图

在核素显像检查过程中，主要的环境影响为注射、检前休息观察过程对工作人员

产生外照射；注射过程对工作台面、地面等造成的表面污染；操作过程产生的放射性固体废物，如使用放射性药物的注射器、注射针头、可能沾染放射性药物的棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物；操作过程产生的放射性液体废物，如洗涤废水、使用放射性药物患者的排泄物。

(3) 核医学科人流、物流的路径规划

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

①工作人员路径：注射室的辐射工作人员先进入医护更衣室，然后进入注射操作室，设备操作人员从员工通道左转进入控制室，从控制室进入 PET-CT 机房，工作结束后原路返回。

②患者路径：患者根据预约安排的时间由大门进入注射前等候区进行登记，然后通过单向门禁后直走到注射室进行注射，注射结束后进入注射室对面注射后等待室休息观察 5~30min，然后向西行进左转进入 PET-CT 机房扫描，扫描完成后按计划进入病人留观室休息，观察无异常后通过走廊离开核医学科。

该区域人流大致遵从了由辐射较低活度级别区域到高活度级别区域，基本实现了药物、工作人员和患者通道的分离。

物流路径:

核素进入工作场所的路径：根据提前用药预约安排，在上班之前，核素由药物供应商负责运送，从大门进入，向西行进然后左转进入注射操作室，根据需要可储存在储源室。有病人需要治疗时，在注射室注射。在注射室内放置 1 个放射性废物桶收集放射性固体废物。收集的放射性固体废物在存储废弃库储存，达到处理要求后，固体废物经污物走道送出核医学科。从功能分区来看，接诊等候、核素诊断治疗、扫描检查、工作人员办公区域划分明确，相对隔离，可以尽量避免公众和医护人员不必要的照射。医院将加强对核医学科场所的管理，人员或语音广播引导患者就诊，地面粘贴引导标志，告诫注射药物的待检者在规定区域候诊，提醒陪护者和无关人员避免进入候诊走廊和注射药物候诊区域。核医学科人流、物流的路径规划如附图 7-2 所示。

(三) 数字减影血管造影系统 (DSA)

(1) 设备组成

DSA 主要由带有影像增强器电视系统的 X 射线诊断机、高压注射器、电子计算机图象处理系统、治疗床、操作台、磁盘或磁带机和多幅照相机组成。

(2) 工作原理

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

DSA 是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法, 它是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前, 首先进行第一次成像, 并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后, 再次成像并转换成数字信号。两次数字相减, 消除相同的信号, 得知一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观, 一些精细的血管结构亦能显示出来, 且对比度分辨率高, 减去了血管以外的背景, 尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示。

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

(3) 治疗流程

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

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

辅助开展治疗。

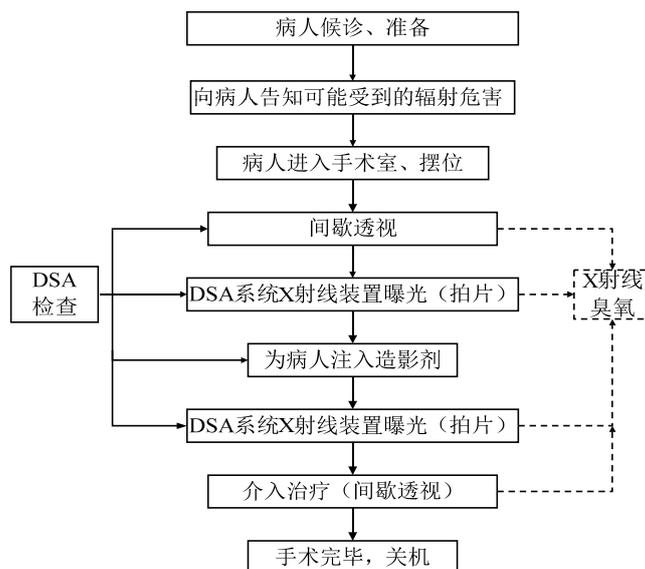


图 9-5 DSA 治疗流程及产污环节图

（四）经内镜逆行胰胆管造影（ERCP）

（1）设备组成

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

（2）ERCP 工作原理

X 射线装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成。阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中。当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。

ERCP 是指将十二指肠镜插至十二指肠，找到十二指肠乳头，由活检管道内插入造影导管至乳头开口部，注入造影剂后 X 线摄片，以显示胰胆管的技术。

（3）ERCP 工作流程及产污节点分析

①接诊病人后，向病人告知可能受到的辐射危害；

②病人准备完毕进入机房摆位、固定，然后进入机房内对病人进行局部消毒处理和局部防护处理；

③医生进行插镜（十二指肠镜经口依次通过食管、胃、进入十二指肠降段，找到十二指肠乳头）、插管（将导管插入乳头），配合透视注入造影剂；

④完成造影剂注入后，医生退出机房，通过控制室操作台对病人进行拍片，得到病人病灶部位清晰影像资料；

⑤根据拍片结果，医生再次进入机房内配合内镜对病人病灶部位进行相应治疗。

污染源项描述

（一）建设期

1、污染源项

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

2、非放环境影响因子

施工期非放环境影响因子主要是：废气、废水、噪声和固体废物。

（二）运行期

1、医用电子直线加速器

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

X 射线及高能电子束：本项目拟使用的医用电子直线加速器既可利用电子束，也可利用 X 射线对患者病灶部位进行照射。X 射线和电子束均随加速器的开、关而产生和消失。因此，加速器开机期间内，X 射线及高能电子束为主要辐射环境污染因素，辐射途径为外照射。

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

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

2、核医学科

X 射线、β 射线、γ 射线：根据使用的核素，运行过程中会产生 X 射线、γ 射线、β 射线。

放射性废气：¹⁸F 分装过程中会产生少量的放射性废气。

放射性废水：主要来自人员的排泄和清洗，产生少量的废水。

放射性固体废物：产生的固体废物包括废的一次性医用器具、废药棉、纱布、手套等医疗废物。

废放射源：PET-CT 产生的废放射源。

3、数字减影血管造影系统（DSA）

本项目 DSA 注入的造影剂不含放射性，设备采用先进的数字成像技术，不使用显影液、定影液和胶片，因此不会产生废显影液、废定影液和废胶片。

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

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

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

4、经内镜逆行胰胆管造影（ERCP）

本项目 ERCP 注入的造影剂不含放射性，设备采用先进的数字成像技术，不使用显影液、定影液和胶片，因此不会产生废显影液、废定影液和废胶片。

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

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

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

综上所述，本项目营运期主要污染源项见表 9-3。

表 9-3 本项目营运期主要污染源项

污染源	使用场所	主要污染因子
10MV 医用电子直线加速器	综合楼负二层直线加速器机房	X 射线、电子束、臭氧、通风机组噪声

模拟定位机 (CT)	综合楼负二层模拟定位机机房	X射线
核医学科	综合楼负一层核医学科区域	X射线、β射线、γ射线、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物、废放射源
DSA	综合楼一层DSA机房	X射线、臭氧、固体废物（废一次性医用器具、废药棉、手套等医疗废物）
ERCP	综合楼二层ERCP机房	X射线、臭氧、固体废物（废一次性医用器具、废药棉、手套等医疗废物）
DSA	综合楼三层数字化杂交手术室	X射线、臭氧、固体废物（废一次性医用器具、废药棉、手套等医疗废物）

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、辐射工作场所两区划分

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

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

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

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

表 10-1 项目控制区和监督区划分情况

项目	控制区	监督区
肿瘤科	直线加速器机房（含迷道）、模拟定位机机房	控制室、网络室、办公室、污物清洗/暂存间、水冷机房及相邻走道
核医学科	PET-CT 扫描间、注射室、注射操作室、储源室、注射后等待室、留观室、病人通道、放射性废物暂存间	核医学科诊断场所除控制区以外的员工过道、工作人员办公室、设备间、控制室、缓冲室、等待区、诊室
放射科	DSA 机房	控制室及相邻走道、设备间、污物间、更淋卫生间
内窥镜科	ERCP 机房	控制室、过道、预留房间
手术部	数字化杂交手术室	控制室、机房、第 11 手术室、走廊

医院需重视控制区和监督区的管理，进行分区管理。

二、辐射防护设施及措施

本项目直线加速器、DSA、ERCPC 与其他III类射线装置主要辐射为 X 射线，对 X 射线的基本防护原则是减少照射时间、远离射线源及加以必要的屏蔽。本项目对 X 射线外照射的防护措施主要有以下几方面。

(一) 场所辐射防护屏蔽设计

1、医用电子直线加速器

(1) X 射线的屏蔽防护

医用电子直线加速器采用混凝土防护，具体屏蔽防护设计见表 10-2。

表 10-2 加速器机房屏蔽防护设计

场所	机房面积	墙体		防护门	顶部
		结构及厚度		结构及厚度	结构及厚度
直线加速器机房	61.6m ² (不含迷道)	东北侧	主屏蔽墙 2700mm 混凝土 宽 4000mm 混凝土 次屏蔽墙 1500mm 混凝土	19mm 铅当量 +120mm 含硼 石蜡单扇电动 推拉门	主屏蔽区： 2700mm 宽：4000mm 次屏蔽区： 1500mm
		西南侧迷道	内墙主屏蔽墙 2000mm 混凝土 宽 4300mm 混凝土 外墙 1200mm 混凝土		
		西北侧	1500mm 厚混凝土		
		东南侧	1500mm 厚混凝土		
《电子直线加速器放射治疗放射防护要求》 GBZ126-2011)	≥45m ²	/			

注：机房地下为无楼层设计，为地下土壤层，人员无法进入，故不考虑辐射防护设计。

(2) 对电子线的屏蔽防护

本项目 10MV 医用直线加速器在按电子模式工作时，最大电子线能量为 22MeV，根据《辐射防护导论》，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，对电子线能产生完全屏蔽，可不再作特殊防护要求，不再考虑对电子模式产生的 X 射线的屏蔽。

当电子束照射到人体时，由于带电粒子的速度远小于光速，加之人体密度较低，产生的韧致辐射较低，主要以电离辐射为主，故本项目可不考虑。

2、核医学科

表 10-3 核医学科场所屏蔽防护设计

名称	主要屏蔽材料及厚度	面积
PET-CT 扫描间	扫描室四周墙体采用 370mm 实心砖墙+10mm 硫酸钡水泥，屋顶为 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥，底部为 120mm 混凝土，防护门为 8mm 铅当量，观察窗为 8mm 铅当量。	62.8m ²
注射操作室、注射室、储源室、放射性废物暂存室	注射操作室、注射室、储源室、放射性废物暂存室四周墙体均为 370mm 实心砖墙+10mm 硫酸钡水泥，屋顶均为 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥，底部均为 120mm 混凝土。注射操作室防护门为 9mm 铅当量，观察窗为 40mm 铅当量；注射室防护门为 6mm 铅当量；储源室和放射性废物暂存室防护门均为 9mm 铅当量。	注射操作室：22.9m ² 注射室：15.0m ² 储源室：11.8m ² 放射性废物暂存室：10.0m ²
注射后等待室	注射后等待室四周墙体采用 370mm 实心砖墙+10mm 硫酸钡水泥，屋顶为 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥，底部为 120mm 混凝土，防护门为 6mm 铅当量。	2×20.3m ²
留观室	留观室四周墙体采用 370mm 实心砖墙+10mm 硫酸钡水泥，屋顶为 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥，底部为 120mm 混凝土，防护门为 6mm 铅当量。	18.2m ²

3、DSA 和 ERCP

DSA、ERCP 主要针对 X 射线采取屏蔽防护，具体屏蔽防护设计见表 10-4。

表 10-4 DSA 机房屏蔽防护设计

名称	面积 (m ²)	四周墙体	屏蔽门	观察窗	屋顶	地板
DSA 机房 (放射科)	43.2m ² (最小单边长度 5.7m)	370mm 实心砖墙+10mm 硫酸钡水泥 (>4mm 铅当量)	4mm 铅当量铅门	4mm 铅当量铅玻璃	200mm 混凝土+10mm 硫酸钡水泥 (>3mm 铅当量)	120mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥 (>3mm 铅当量)
数字化杂交手术室 (手术部)	51.6m ² (最小单边长度 6.6m)	铅板防护 (4mm 铅当量)	4mm 铅当量铅门	4mm 铅当量铅玻璃	200mm 混凝土+10mm 硫酸钡水泥 (>3mm 铅当量)	120mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥 (>3mm 铅当量)
ERCP 机房 (内窥镜科)	47.7m ² (最小单边长度 5.9m)	370mm 实心砖墙+10mm 硫酸钡水泥 (>4mm 铅当量)	4mm 铅当量铅门	4mm 铅当量铅玻璃	200mm 混凝土+10mm 硫酸钡水泥 (>3mm 铅当量)	200mm 混凝土+10mm 硫酸钡水泥 (>3mm 铅当量)
放射诊断放射防护要求	最小有效使用面积 20m ² ，最小边长度 3.5m	有用线束 2mm 铅当量，非有用线束 2mm 铅当量				
是否满足	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求

4、III类医用射线装置

机房屏蔽设计见下表。

表 10-5 III类医用射线装置机房屏蔽防护设计

机房	面积 (m ²)	四周墙体	屏蔽门	观察窗	楼顶	地面
		结构及厚度			结构及厚度	
模拟定位 机房	45.8m ² (最 小单边长度 6.0m)	370mm 实心砖 墙+10mm 硫酸 钡水泥 (>4mm 铅当量)	4mm铅当 量铅门	4mm铅当 量铅玻璃	120mm 混凝土 +30mm 硫酸钡 水泥 (>3mm 铅 当量)	机房地下为无 楼层设计,不考 虑辐射防护设 计
放射诊断 放射防护 要求	最小有效使 用面积30m ² , 最小单边长 度4.5m	较大工作量2.5mm铅当量, 一般工作量2mm铅当量				
是否满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

(二) 辐射防护措施

1、医用电子直线加速器

(1) 安全防护措施

①视频监控系統、对讲系統。治疗室和控制室之间安装有监视、对讲装置，控制室内能通过电视监视治疗室内患者的治疗情况，并通过对讲系统与室内人员联系，以便于医师在操作室观察患者在治疗室的状况、及时处理意外情况。

②控制台上的显示装置可显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数，操作人员可以随时了解设备运行情况。

③运动使能开关。为防止工作人员误操作造成事故，在手控盒两侧设置了运动使能开关，只有当左右两侧的开关同时按下时才有可能对机器运动部件进行起动和控制。

④红色紧急开关。当发现异常后，按下操作盒上此开关，机器将自动切断加速器主电源。

⑤剂量测试系统。在控制系统主菜单中有“剂量系统测试”部分，可以随时了解病人剂量情况。

⑥密码设置。加速器设置有密码，操作密码只有具体操作人员掌握，只有输入正确的密码后才可能进行操作和参数的修改等。

⑦系统操作联锁。加速器设置了三个硬件联锁，在非正常操作或在异常情况下，可以停止机器运行或切断电源，以备特殊情况下应急之用。

⑧病人剂量监测与治疗控制的安全联锁。为保证病人治疗剂量准确，不致出现超剂量照射，系统设置了治疗剂量联锁、治疗时间联锁和治疗中旋转机架角度联锁。当治疗剂量、时间及治疗机头旋转角度其中之一到达设定值时，联锁装置会自动停止照

射。

⑨门机安全联锁和门灯联锁，机房门关闭后装置才能启动，装置启动时警示灯亮起。

(2) 其他防护措施

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

②控制室上张贴相应的放射工作制度、操作规程、岗位职责等；

③机房受检者出入口门外 1m 处应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

④直线加速器机房安装了通排风系统，产生废气通过专用排风管道（800×320mm 镀锌铁皮管道）引出后至综合楼楼顶排放。

本项目直线加速器的防护措施、设备的配备符合《环保部辐射安全与防护监督检查技术程序》的相关要求和国家其他相关标准的要求。

2、核医学科

(1) 安全防护措施

1) 警告设施

本项目计划在核医学科控制区各房间防护门外设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。在 PET-CT 扫描间防护门上方设置工作状态指示灯，并与防护门联锁，防护门关闭时指示灯为红色，防护门打开时，指示灯灭。

2) 紧急止动装置

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

3) 操作警示装置

PET-CT 扫描时，控制台上的指示灯变亮，警示装置发出警示声音。

4) 视频监控和对讲装置

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

5) 门禁系统

在核医学科受检者入口处设置专用门禁系统，对受检者的出入进行控制。

(2) 放射性药物的存放

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

(3) 表面污染控制措施

为保证非密封源工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，环评提出以下管理措施和要求：

- 1) 放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏；
- 2) 操作放射性药物时，须在有负压的分装柜内进行，防止放射性物质飞散；
- 3) 放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品。
- 4) 操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

(4) 人员防护措施

人员主要指本项目辐射工作人员、受检者及本次评价范围内其他人员。

1) 辐射工作人员的防护

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

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

②时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

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

2) 受检者的防护

为减少受检者的照射剂量，主要采取屏蔽防护、时间防护和距离防护措施。

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

②时间防护：在满足检查要求的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

③距离防护：尽可能增加受检者与射线源的距离，减少受检者的受照剂量。

3) 其他人员防护

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

②时间防护：设置明显的警示措施，提示其他人员尽可能减少在辐射工作场所周围的停留时间。

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

(5) 其它防护措施

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

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

3) 核医学科工作场所产生的含 ^{18}F 废水均排入废水衰变池内，注射后等待室及留观室设有专用卫生间，专用卫生间下水道通往废水衰变池；

4) 核医学科工作人员及时检查分装柜的通风效果，定期检查通风设施工作的有效性和稳定性。定期更换活性炭，不得随意丢弃；

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

6) 核医学科控制区受检者活动场所设置监控装置和对讲装置，便于指导受检者就诊；

7) 注射放射性药物的受检者在 PET-CT 待检室内等待扫描，期间不得随意“串门”；

8) 衰变池四周设置隔离，并设置电离辐射警示标志及中文说明，以提醒无关人员不要靠近和停留；

9) PET-CT 扫描间的电缆穿墙后，采用软铅皮进行辐射防护，防止射线泄露。

3、DSA、ERCP

(1) 安全防护措施

①采用栅控技术：在每次脉冲曝光间隔向旋转阳极加一负电压，抵消曝光脉冲的启辉与余辉，起到消除软 X 射线、提高有用射线品质并减小脉冲宽度作用。

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

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

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

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

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

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

⑧紧急止动装置：控制台上、介入手术床旁设置紧急止动按钮（各按钮分别与 X 射线系统连接）。DSA、ERCP 系统的 X 射线系统出束过程中，一旦出现异常，按动任一个紧急止动按钮，均可停止 X 射线系统出束，并在紧急止动装置旁设置醒目的中文提示。

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

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

(2) 其他防护措施

①机房操作室上张贴相应的岗位规章制度、操作规程。

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

③本项目 DSA、ERCP 机房内应配置 0.5mm 厚的铅当量的铅衣、铅围脖、铅眼镜等防护用品，对病人病灶进行照射时，应将病人病灶以外的部位用铅橡胶布进行遮盖或穿着铅服，以避免病人受到不必要的照射。

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

⑤辐射工作人员必须配备个人剂量计。

⑥本项目 DSA、ERCP 机房安装了中央空调通排风系统。

4、其他III类射线装置

(1) 安全防护措施

①具有安全设备，当设备出现错误或故障时，能中断照射，并有相应故障显示。

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

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

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

⑤警告标志：机房的防护门外的醒目位置，设置明显的电离辐射警告标志。

(2) 其他防护措施

①机房操作室上张贴相应的岗位规章制度、操作规程。

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

③机房受检者出入口门外应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

④辐射工作人员必须配备个人剂量计。

三、辐射安全防护设施对照分析

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	备注
10MV 医用电子直线加速器			
实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	本次新增	/
	铅防护门	本次新增	/
控制台及安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	仪器自带	/
	加速器治疗床、加速器主机上以及控制台上应具备紧急停机按钮	仪器自带	/
	条件显示连锁、控制超剂量的联锁装置、时间控制连锁	仪器自带	/
	门机连锁、门灯连锁	本次新增	/
警示装置	入口电离辐射警示标志	本次新增	/
	入口加速器工作状态显示	本次新增	/
	机房内准备出束音响提示	仪器自带	/
	控制台上蜂鸣器	仪器自带	/
紧急设施	紧急开门按钮	本次新增	迷道出口处的铅门内侧墙上，按钮高 1.2~1.5m
	监控、对讲装置	本次新增	保证机房全覆盖
	紧急停机按钮	本次新增	机房内非主射面墙上、迷道口有按钮，高 1.2~1.5m
监测设备	机房内固定式剂量报警仪	本次新增	探头朝向迷道内
	便携式辐射监测仪器仪表	本次新增	/
	个人剂量报警仪	本次新增	/
	个人剂量计	本次新增	/
防护器材	灭火器材	本次新增	/
	通风系统	本次新增	/
	火灾报警仪	本次新增	/
核医学科			
场所设施	场所分区布局是否合理及有无相应措施/标识	分区较合理	/
	墙体、观察窗、机房防护门	本次新增	/
	场所门外电离辐射警示标志、通道标志	本次新增	/
	独立的通风设施（流向）	本次新增	/
	有负压和过滤的工作箱/通风柜（乙级以上场所）	本次新增	/
	注射用屏蔽设施	本次新增	/
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料	本次新增	/
	移动放射性液体时容器不易破裂或有不易破裂套	本次新增	/
	病人专用卫生间	本次新增	/
	放射性同位素暂存库或设施	本次新增	/
	放射性固体废物收集容器和放射性标识	本次新增	/
	安全保卫设施（贮存场所必须）	本次新增	/
人员出口配备污染监测仪	本次新增	/	

	发生器辐射屏蔽	本次新增	/
	操作位屏蔽防护措施	本次新增	/
	放射性废液暂存设施	本次新增	/
监测设备	便携式辐射监测仪（污染、辐射水平等）	本次新增	/
	个人剂量计	本次新增	/
	个人剂量报警仪	本次新增	/
	放射性活度计	本次新增	/
放射性废物和废液	放射性下水系统（衰变池）及标识	本次新增	/
	放射性固体废物暂存间（设施）	本次新增	/
	废物暂存间屏蔽措施	本次新增	/
	废物暂存间通风系统	本次新增	/
防护器材	通道铅隔板、门禁、监控装置	本次新增	/
	场所门外电离辐射警示及禁止串门的标志	本次新增	/
	个人防护用品	本次新增	/
	放射性表面去污用品和试剂	本次新增	/
	火灾报警仪	本次新增	/
	灭火器材	本次新增	/
DSA			
场所设施	墙体、机房防护门	本次新增	/
	操作位局部屏蔽防护设施	本次新增	/
	观察窗屏蔽	本次新增	/
	通风设施	本次新增	/
	紧急停机按钮	本次新增	/
	门机、门灯连锁	本次新增	/
	对讲系统	本次新增	/
警示装置	入口处电离辐射警告标志	本次新增	/
	入口处机器工作状态显示	本次新增	/
	操作警示装置	本次新增	/
监测设备	便携式辐射监测仪	本次新增	与肿瘤科共用
	个人剂量计	本次新增	/
	个人剂量报警仪	本次新增	/
防护设施	医护人员个人防护	本次新增	/
	患者防护	本次新增	/
防护器材	灭火器材	本次新增	/
	通风系统	本次新增	/
	火灾报警仪	本次新增	/
ERCP			
场所设施	墙体、机房防护门	本次新增	/
	操作位局部屏蔽防护设施	本次新增	/
	观察窗屏蔽	本次新增	/
	通风设施	本次新增	/
	紧急停机按钮	本次新增	/

	门机、门灯连锁	本次新增	/
	对讲系统	本次新增	/
警示装置	入口处电离辐射警告标志	本次新增	/
	入口处机器工作状态显示	本次新增	/
	操作警示装置	本次新增	/
监测设备	便携式辐射监测仪	本次新增	与肿瘤科共用
	个人剂量计	本次新增	/
	个人剂量报警仪	本次新增	/
防护设施	医护人员个人防护	本次新增	/
	患者防护	本次新增	/
防护器材	灭火器材	本次新增	/
	通风系统	本次新增	/
	火灾报警仪	本次新增	/
III类医用射线装置			
实体防护	墙体、铅防护门、观察窗	本次新增	/
警示装置	工作状态指示灯	本次新增	/
	电离辐射警告标志	本次新增	/
紧急设施	门机连锁、门灯连锁装置	本次新增	/
	室内安装紧急制动装置	本次新增	/
	对讲装置	本次新增	/
监测设备	个人剂量计	本次新增	/
	个人剂量报警仪	本次新增	/
防护设施	病人、陪护人员防护	本次新增	/
防护器材	通风系统	本次新增	/
	火灾报警仪	本次新增	/
	灭火器材	本次新增	/

四、环保投资

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

表 10-7 环保设施及投资估算一览表

辐射安全防护设施		数量（套/个）	投资金额（万元）
10MV 直线加速器			
实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	***	***
	铅防护门	***	***
控制台及安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	***	***
	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	***	***
	条件显示连锁、控制超剂量的连锁装置、时间控制连锁	***	***
	门机连锁、门灯连锁	***	***

警示装置	入口电离辐射警示标志	***	***
	入口加速器工作状态显示	***	***
	机房内准备出束音响提示	***	***
	控制台上蜂鸣器	***	***
紧急设施	紧急开门按钮	***	***
	监控、对讲装置	***	***
	紧急停机按钮	***	***
监测设备	机房内固定式剂量报警仪	***	***
	便携式辐射监测仪	***	***
	个人剂量报警仪	***	***
	个人剂量计	***	***
防护器材	通风系统	***	***
核医学科			
工作场所	防护墙体	***	***
	铅防护门	***	***
	观察窗	***	***
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料、 铅桶、废物桶	***	***
	活度计	***	***
	注射防护套	***	***
	给药窗口	***	***
	通风柜	***	***
	核素暂存保险柜、防盗门	***	***
	病人专用卫生间	***	***
	对讲和视频监控系统	***	***
	通道门禁	***	***
	场所门外电离辐射警示标志	***	***
监测设备	个人剂量计	***	***
	个人剂量报警仪	***	***
	表面污染监测仪	***	***
	γ辐射监测仪	***	***
放射性废物 和废液	放射性废水衰变池	***	***
	放射性表面去污用品和试剂	***	***
	防护手套、口罩等防护用品	***	***
防护器材	通风系统	***	***
DSA			
场所设施	防护墙体	***	***
	机房防护门	***	***
	操作位局部屏蔽防护设施	***	***
	观察窗	***	***
	紧急停机按钮	***	***
	门灯连锁	***	***

	监控、对讲系统	***	***
警示装置	入口处电离辐射警告标志	***	***
	入口处机器工作状态显示	***	***
	操作警示装置	***	***
监测设备	便携式辐射监测仪	***	***
	个人剂量计	***	***
	个人剂量报警仪	***	***
防护设施	医护人员个人防护	***	***
	患者防护	***	***
防护器材	通风系统	***	***
ERCp			
场所设施	防护墙体	***	***
	机房防护门	***	***
	操作位局部屏蔽防护设施	***	***
	观察窗	***	***
	紧急停机按钮	***	***
	门灯连锁	***	***
	监控、对讲系统	***	***
警示装置	入口处电离辐射警告标志	***	***
	入口处机器工作状态显示	***	***
	操作警示装置	***	***
监测设备	便携式辐射监测仪	***	***
	个人剂量计	***	***
	个人剂量报警仪	***	***
防护设施	医护人员个人防护	***	***
	患者防护	***	***
防护器材	通风系统	***	***
其他III类医用射线装置			
实体防护	墙体、铅防护门、观察窗	***	***
警示装置	工作状态指示灯	***	***
	电离辐射警告标志	***	***
紧急设施	门机连锁、门灯连锁装置	***	***
	室内安装紧急制动装置	***	***
	对讲装置	***	***
监测设备	个人剂量计	***	***
防护设施	病人、陪护人员防护	***	***
防护器材	通风系统	***	***
合计			373.14
<p>今后医院在项目实践中，应根据国家发布的法规内容，结合医院实际情况对环保设施做补充，使之更能满足实际需要。同时医院应定期对环保设施、监测仪器等进行检查、维护。</p>			

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目辐射工作场所土建工程属于“都江堰首嘉医院有限公司-都江堰华瑞医院项目建设工程”建设内容之一，其施工期环境影响包含在《都江堰首嘉医院有限公司-都江堰华瑞医院项目建设工程环境影响报告书》中，批复文号为成环评审【2020】4号。施工期主要防护措施有：

1、大气污染防治措施

①施工场地扬尘可用洒水和清扫措施予以抑止。

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

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

2、噪声防治措施

①施工单位通过文明施工、加强有效管理，材料堆放必须轻拿轻放；

②加强现场运输车辆出入的管理，车辆进入现场禁止鸣笛；

③选用低噪声设备，按操作规范操作机械设备；

④对工人进行环保方面的教育，合理安排施工时间午间和夜间休息时间、合理布局、确保施工期间等措施。

3、固废防治措施

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

②在工程竣工以后，施工单位应同时拆除各种临时施工设施，做到“工完、料尽、场地清”。建设单位应负责督促施工单位的固体废物处置清理工作。

4、水环境污染防治措施

施工期机械冲洗废水循环使用，不外排；施工人员生活污水产量较小，进入医院的污水处理站进行处理，处理后的废水排入市政污水管网。

医院强化施工期环境管理，严格落实施工期各项环保措施，采取有效措施，

尽可能减缓施工期对环境产生的影响。

运行阶段对环境的影响

一、电子直线加速器环境影响分析

(一) 加速器 X 射线环境影响分析

1、加速器机房主屏蔽区宽度校核

本项目 10MV 直线加速器机房，主屏蔽区包括屋顶及墙体部分位置，主射线的最大出束角度为 28° 。主屏蔽区示意图如图 11-1，宽度校核结果见表 11-1。

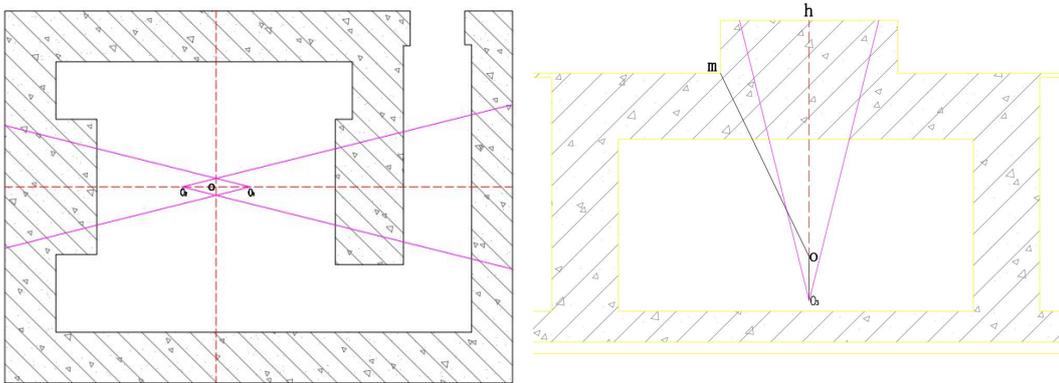


图 11-1 本项目加速器机房主射屏蔽范围计算示意图

表 11-1 本项目加速器机房主屏蔽区宽度校核表

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
距东北侧主屏蔽墙体 5.7	$2 \times (5.7 \text{tg} 14^\circ + 0.3) = 3.44$	4.0	满足要求
距西南侧主屏蔽墙体 5.0	$2 \times (5.0 \text{tg} 14^\circ + 0.3) = 3.10$	4.3	满足要求
距顶部主屏蔽墙体 6.3	$2 \times (6.3 \text{tg} 14^\circ + 0.3) = 3.74$	4.0	满足要求

设备厂家和建设单位在进行直线加速器安装时，必须严格按照既定的摆位方式进行安装，杜绝安装后主射方向超出主屏蔽范围的情况出现。

2、加速器机房关注点设立及剂量率参考水平

(1) 加速器机房关注点设立

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分:电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)，本项目加速器机房拟建在综合楼负二层，下方没有地下室。

本项目加速器机房关注点设立及主要照射路径图见图 11-2、11-3。

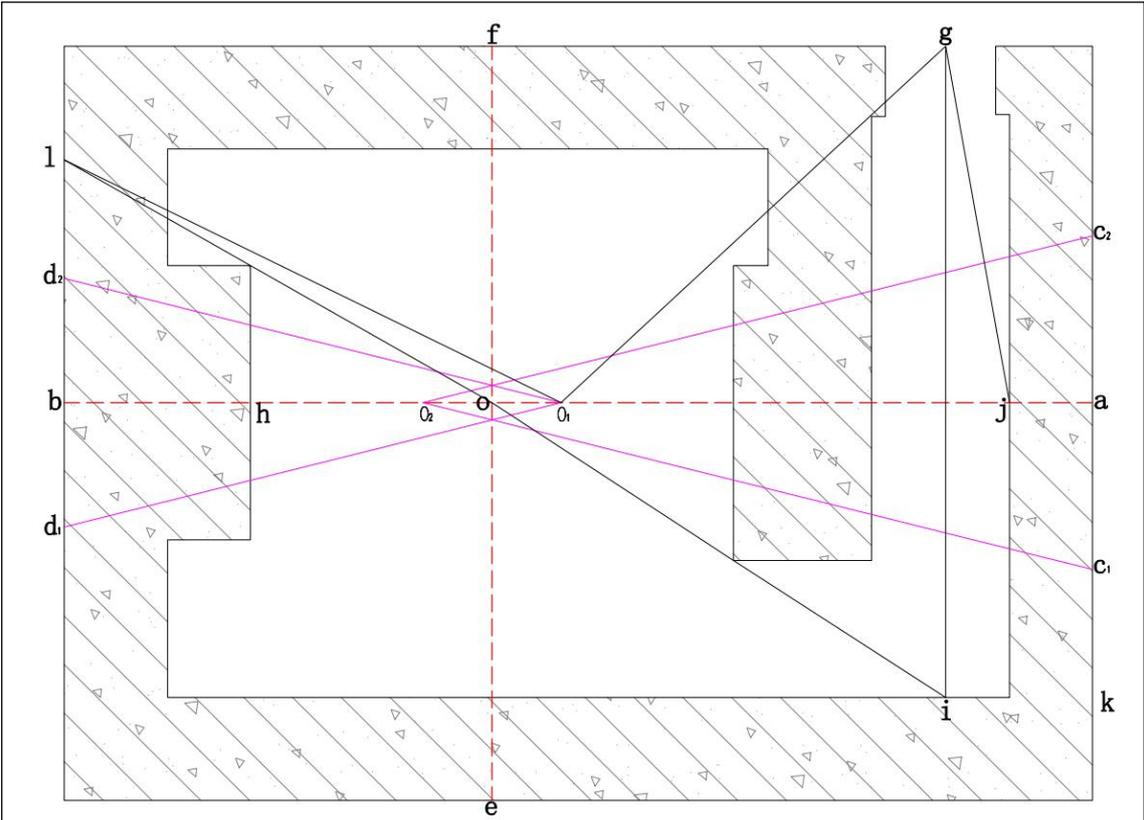


图 11-2 本项目加速器机房关注点及主要照射路径示意图（平面）

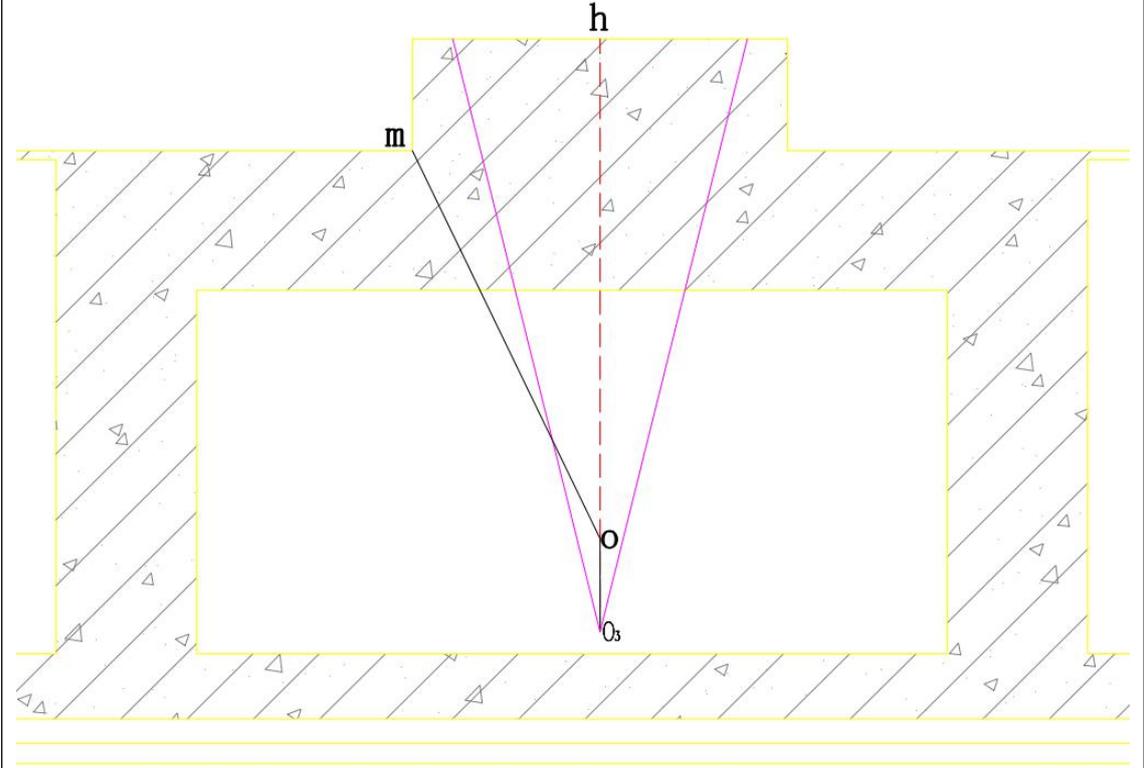


图 11-3 本项目加速器机房关注点及主要照射路径示意图（剖面）

(2) 剂量率参考水平

根据《电子直线加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011), 加速器迷道门处、控制室和加速器机房墙体外 30cm 处, 周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h, 故本次 10MV 加速器机房外各关注点的剂量率参考控制水平均为 2.5 μ Sv/h。

3、加速器机房屏蔽体厚度校核

(1) 主屏蔽区、迷道内墙和外墙厚度校核

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

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

$$X_e = TVL \times \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \dots\dots\dots(\text{式 11-2})$$

$$X_1 = X_e \cos \theta \dots\dots\dots(\text{式 11-3})$$

式中:

B—屏蔽透射因子;

H_e —剂量率参考控制水平, μ Sv/h;

H_0 —加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率, μ Sv.m²/h; 本项目为 3.6 $\times 10^8$ μ Sv.m²/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;

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

X_e —墙体有效屏蔽厚度, cm;

X_1 —墙体屏蔽厚度, cm。

表 11-2 加速器机房主屏蔽区、迷道内墙和外墙厚度校核

参数	主屏蔽区 (墙体 a 点)	主屏蔽区 (墙体 b 点)	主屏蔽区 (屋顶 h 点)	迷道外墙 (k 点)	迷道内墙 (g 点)
$H_e(\mu\text{Sv/h})$	2.5	2.5	2.5	2.5	0.625
R (m)	9.0	6.5	5.6	9.1	7.9
$H_0(\mu\text{Sv.m}^2/\text{h})$	3.6 $\times 10^8$				
f	1	1	1	10 ⁻³	10 ⁻³

B	5.63×10^{-7}	2.93×10^{-7}	2.18×10^{-7}	5.75×10^{-4}	1.08×10^{-4}
TVL ₁ (cm)	41	41	41	35	35
TVL (cm)	37	37	37	31	31
Xe (cm)	236	246	251	105	127
斜射角θ	0	0	0	29°	43°
X ₁ (cm)	236	246	251	92	93
设计厚度 (cm)	270	320	270	120	150
是否满足要求	满足	满足	满足	满足	满足

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

(2) 与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽厚度核算

根据 GBZ/201.2-2011，对于与主屏蔽区相连的次屏蔽区应考虑泄漏辐射和患者的一次散射辐射的复合作用，分别计算其所需屏蔽厚度，取较厚者。泄漏辐射所需厚度按照式 11-1、11-2、11-3 进行计算，散射辐射的透射因子按式 11-1、11-3、11-4 进行计算，TVL₁ (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度。

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

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

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²；

表 11-3 与主屏蔽区相连的次屏蔽区、侧屏蔽墙漏射辐射屏蔽厚度核算

参数	墙体 l 点	屋顶 m 点	侧墙 e 点
He(μSv/h)	1.25	1.25	1.25
R (m)	7.4	4.9	6.1
H ₀ (μSv.m ² /h)	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8
f	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³
透射因子 B	1.90×10^{-4}	8.34×10^{-5}	1.29×10^{-4}
TVL ₁ (cm)	35	35	35
TVL (cm)	31	31	31
Xe (cm)	120	131	125
斜射角θ	30°	26°	0
X ₁ (cm)	104	118	125
设计屏蔽厚度 (cm)	150	150	150
设计是否满足要求	满足	满足	满足

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

表 11-4 与主屏蔽区相连的次屏蔽区散射辐射屏蔽厚度核算

参数	墙体 l 点	屋顶 m 点
He($\mu\text{Sv/h}$)	1.25	1.25
R (m)	7.4	4.9
$H_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	3.6×10^8	3.6×10^8
α_{ph}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}
F(cm^2)	40×40	40×40
透射因子 B_1	1.49×10^{-5}	6.55×10^{-6}
TVL (cm)	28	28
有效屏蔽厚度 Xe (cm)	136	146
斜射角 θ	30°	26°
散射所需屏蔽厚 (cm)	117	130
设计厚度 (cm)	150	150
设计是否满足要求	满足	满足

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

(3) 防护门铅厚度 (X) 校核

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

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

$$B = (H - H_0) / H_c \dots\dots\dots (\text{式 11-6})$$

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

式中：

X—防护门铅当量厚度，mm；

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

B=辐射屏蔽透射因子。

H_c —关注点处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 — O_1 位置穿过迷道内墙的泄漏辐射在 g 处的控制剂量率；

H—机房入口关注点处的散射辐射剂量率；

α_{ph} —400 cm^2 面积上的散射因子，取 45° 散射角的值 1.35×10^{-3} ；

α_2 —墙入射的患者散射辐射因子，患者一次散射角为 45° ，墙入射角为 45° ，墙散射角近似按 0° 计算，查得混凝土墙 45° 入射、 0° 散射、 1m^2 的散射因子 $\alpha_2=5.1\times 10^{-3}$ （查附录 B 表 B.6）；

A—散射面积， m^2 ；经计算本项目约为 6m^2 ；

R_1 —第一次散射路径； $R_1=7.8\text{m}$ ；

R_2 —第二次散射路径； $R_2=9.5\text{m}$ ；

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

经计算： $H_c=10.83\mu\text{Sv/h}$ ， $B=0.06$

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

由理论计算可知，机房入口铅防护门屏蔽厚度为 6.2mm ，实际设计为 19mm ，可满足屏蔽要求。

小结：经过对机房主屏蔽体宽度校核，主屏蔽区、侧屏蔽墙、迷道内墙和外墙厚度校核，与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽厚度校核和防护门铅厚度校核显示，本项目四周墙体厚度、迷道厚度、顶部厚度和防护门厚度均满足要求。

4、电子直线加速器对关注点产生的剂量估算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011），本项目医用电子直线加速器在运行过程中对关注点（图 11-2 和 11-3）处人员产生的最大剂量可根据以下公式进行计算：

主射线束和泄露辐射剂量估算（式中各符号含义同前文）：

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

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

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

患者一次散射辐射剂量估算

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

机房迷道入口处 X 射线散射辐射剂量率 H_c

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

$$H = Hc \cdot 10^{-(X/TVL)} + H_{0g} \dots\dots\dots \text{(式 11-13)}$$

由式 11-14 估算各关注点的年剂量:

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

式中:

H—关注点的剂量当量 (($\mu\text{Sv/h}$));

E—关注点的年剂量 (mSv/a);

h—工作负荷 (h/a);

q—居留因子;

W_T —组织权重因数, 全身为 1。

由此估算的主射线束和泄露辐射对各关注点产生的剂量见表 11-5, 由患者一次散射对各关注点产生的剂量见表 11-6, 机房迷道入口处由散射辐射产生的剂量见表 11-7。

表 11-5 加速器主射线束和泄露辐射对关注点的剂量估算表

计算参数	主屏蔽区 (a 点)	主屏蔽区 (b 点)	主屏蔽区 (l 点)	迷道外墙 (k 点)	迷道内墙 (g 点)	墙体 (l 点)	顶部 (m 点)	墙体 (e 点)
设计屏蔽体厚度 X (cm)	270	270	270	120	150	150	150	150
斜射角 θ	0	0	0	29°	43°	30°	26°	0
Xe (cm)	270	270	270	138	206	174	167	150
TVL1 (cm)	41	41	41	35	35	35	35	35
TVL (cm)	37	37	37	31	31	31	31	31
透射因子 B	6.47×10^{-8}	6.47×10^{-8}	6.47×10^{-8}	5.05×10^{-5}	3.26×10^{-7}	3.48×10^{-6}	5.57×10^{-6}	1.95×10^{-5}
H_0 ($\mu\text{Sv.m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8							
f	1	1	1	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}
R (m)	9.0	6.5	5.6	9.1	7.9	7.4	4.9	6.1
剂量当量 H($\mu\text{Sv/h}$)	0.40	0.40	0.49	0.19	1.32×10^{-3}	2.17×10^{-2}	6.87×10^{-2}	0.22
工作负荷 (h)	300	300	300	300	300	300	300	300
居留因子 (q)	1/4	1/4	1/4	1	1/4	1/4	1/4	1/4
年剂量 E(mSv/a)	3.02×10^{-2}	3.02×10^{-2}	3.67×10^{-2}	5.68×10^{-2}	9.95×10^{-5}	1.63×10^{-3}	5.15×10^{-3}	1.62×10^{-2}
受照类型	公众	公众	公众	职业人员	公众	公众	公众	公众

表 11-6 加速器机房患者一次散射对关注点的剂量估算表

计算参数	与主屏蔽区相连的次屏蔽区	
	墙体 l 点	顶部 m 点
屏蔽厚度 X (cm)	150	150
斜射角 θ	30°	26°
Xe (cm)	174	167
TVL (cm)	28	28
透射因子 B	6.11×10^{-7}	1.09×10^{-6}
$H_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	3.6×10^8	3.6×10^8
α_{ph}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}
F(cm ²)	40×40	40×40
R (m)	7.4	4.9
剂量当量 H($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	4.84×10^{-2}	0.17
工作负荷 (h)	300	300
居留因子 (q)	1/4	1/4
年剂量 E(mSv/a)	3.63×10^{-3}	1.28×10^{-2}
受照类型	公众	公众

表 11-7 加速器机房迷道入口处由散射辐射产生的剂量估算表

计算参数	机房迷道入口处 (防护门外、关注点 g)
机房入口处的散射辐射剂量率 H_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	10.83
屏蔽厚度 X (mm)	19
剂量当量 H($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.72×10^{-3}
TVL (mm)	5
工作负荷 (h)	300
居留因子 (m)	1/4
关注点年剂量(mSv/a)	1.29×10^{-4}

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

表 11-8g、l、m 关注点剂量叠加结果

计算参数	迷道口	与主屏蔽区相连的次屏蔽区	
	g 点	墙体 l 点	顶部 m 点
漏射影响(mSv/a)	9.95×10^{-5}	1.63×10^{-3}	5.15×10^{-3}
散射影响(mSv/a)	1.29×10^{-4}	3.63×10^{-3}	1.28×10^{-2}
年剂量(mSv/a)	1.39×10^{-4}	5.26×10^{-3}	1.80×10^{-2}
受照类型	公众	公众	公众

通过表 11-5 和 11-8 可知, 照射类型为职业人员的年剂量最大为 $5.68 \times 10^{-2}\text{mSv}$, 照射类型为公众的年剂量最大为 $3.67 \times 10^{-2}\text{mSv}$, 分别低于 5.0mSv 和 0.1mSv 的剂量约束值。

(二) 加速器臭氧环境影响分析

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

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

式中：

Q_o —臭氧产率 mg/h；

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

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

R —射束径迹长度 m，取 1m；

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

经计算，臭氧产率为 3.74mg/h。

室内臭氧饱和浓度由下式计算：

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

式中：

C —室内臭氧浓度，mg/m³；

Q_o —臭氧产额 mg/h；

T_v —臭气有效清除时间，h；

V —机房空间体积，328m³；

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

t_v —每次换气时间，0.17h；

t_a —臭氧分解时间，取值为 0.83h。

加速器机房每小时换气 6 次，每次换气时间均为 10min，则加速器机房内臭氧浓度为 1.61×10⁻³mg/m³。

直线加速器机房配置有通排风系统，排风管道在机房上方穿墙进入加速器机房，在机房吊顶上采用新风系统排风，通过专用排风管道（800×320mm 镀锌铁皮管道）引至综合楼顶排放。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（ $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ ）的要求。

（三）噪声环境影响分析

10MV直线加速器风机工作时将产生一定的噪声，噪声源位于机房内，且源强不高于60dB(A)，通过机房实体防护和距离衰减后，厂界噪声可满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2类标准限值要求。

（四）水环境影响分析

本项目运行后，废水主要为辐射工作人员和患者产生的生活污水和水冷机房废水。处理措施：生活污水进入医院的医疗污水处理站，经污水处理站处理后的废水进入市政污水管网；水冷机房废水循环利用，不外排。

（五）固体废物环境影响分析

本项目运营期主要固体废物为辐射工作人员生活垃圾及办公垃圾，均由市政环卫统一清运。

二、核医学科环境影响分析

本项目 PET-CT 检查拟使用核素 ^{18}F 作为显像剂。根据医院提供的资料，医院核医学科日等效最大操作量为 $2.22 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，应参照 II 类密封型放射源工作场所的相关要求实施辐射安全管理。

根据项目工程分析，非密封放射性物质工作场所的污染特点是放射性核素可能释入环境，既有电离辐射污染，又可使仪器设备、环境等受到放射性污染，还可能产生放射性废气、放射性废水及放射性固体废物。

（一）核医学科工作场所周围辐射水平估算

1、屏蔽核算参数

核医学科订购的放射性药物对医务人员、公众、受检者亲属和陪护有潜在辐射，应对其采取屏蔽防护措施。放射性药物被受检者注射后，使受检者成为移动放射源，因此，受检者活动区域也是屏蔽防护重点。根据辐射源项分析可知，PET-CT 显像使用 ^{18}F 进行影像诊断，屏蔽核算结果选取较大屏蔽厚度作为屏蔽厚度。根据医院提供的资料，本项目采用核素最大使用量进行墙体屏蔽核算，核

算参数见下表。

表 11-9 核医学科工作场所屏蔽核算参数表

工作场所	核素	屏蔽计算采用核素活度 (MBq)	其余相关参数
注射操作室	^{18}F	370MBq (10mCi×1 人)	$f_{\text{F-18}}=0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 1 人注射
PET-CT 注射区	^{18}F	370MBq (10mCi×1 人)	$f_{\text{F-18}}=0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 1 人注射
PET-CT 扫描室	^{18}F	370MBq (10mCi×1 人)	$f_{\text{F-18}}=0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 1 人注射
PET-CT 注射后等待室	^{18}F	740MBq (10mCi×2 人)	$f_{\text{F-18}}=0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 2 人候诊
PET/CT 留观室	^{18}F	740MBq (10mCi×2 人)	$f_{\text{F-18}}=0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 2 人留观
储源室	^{18}F	22.2MBq	放射性核素均存储在铅罐内, 取日实际最大使用量的 0.1%
放射性废物暂存室	^{18}F	2.22MBq	放射性废物存放于铅废物桶内, 活度取日实际最大使用量的 0.01%
核医学科工作场所	—	^{18}F : TVL(铅)=16.6mm, TVL(混凝土)=176mm, TVL(砖)=263mm, 混凝土密度取 2.35g/cm ³ ; 铅密度取 11.3g/cm ³ ; 砖密度: 1.9 g/cm ³	核医学科楼层高度为 5.1m; 居留因子 T 小于 1 时均按照周围剂量当量率为 2.5μSv/h 控制; T=1 时, 公众成员限值按照 0.1mSv/a 进行控制或放射工作人员限值按照 1mSv/a 进行控制; 对于控制年剂量限值后推算出关注点剂量率大于 2.5μSv/h 的情况, 按 2.5μSv/h 控制

2、屏蔽核算公式

本项目核医学科工作场所的屏蔽考虑受检者体内放射性核素所产生的γ射线。本次屏蔽核算把注射后的受检者当作一个整体的放射源（点源）进行考虑，参考《放射防护实用手册》（赵兰才，张丹枫）中对γ剂量估算的经验公式。

$$H_R = A \times f \times R^{-2} \times 10^{-X/\text{TVL}} \quad \text{式 (11-18)}$$

H_R —经屏蔽材料屏蔽后, 关注点的剂量率, μSv/h;

A —药物的放射性活度, MBq;

f —剂量率常数, μSv·m²/(h·MBq);

R —关注点到辐射源的距离, m;

X—拟采用的屏蔽厚度，cm；

TVL— γ 射线在相应屏蔽材料中的十值层，cm；

3、屏蔽核算结果

本项目核医学工作场所屏蔽核算值、设计值和建议值见表 11-10 所示。

表 11-10 工作场所屏蔽防护核算结果表

场所名称	屏蔽名称	计算参数	屏蔽设计值	核算值	墙外剂量率值 ($\mu\text{Sv/h}$)
注射操作室	西墙	$R \approx 2.3\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (砖墙) = 26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	159mm 砖墙	0.392
	南墙	$R \approx 4.3\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (砖墙) = 26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	15.4mm 砖墙	0.112
	东墙	$R \approx 3.4\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (砖墙) = 26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	70mm 砖墙	0.179
	顶部	$R \approx 5.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 16.7cm	120mm 混凝土 +30mm 硫酸钡水泥	—	0.062
	北侧防护门	$R \approx 3.5\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.66cm	9mm 铅当量铅门	3.9mm 铅当量	1.239
	西侧防护门	$R \approx 3.7\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.66cm	9mm 铅当量铅门	3.2mm 铅当量	1.109
	东侧防护门	$R \approx 4.5\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.66cm	9mm 铅当量铅门	0.3mm 铅当量	0.749
	注射窗口	$R \approx 1.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.66cm	40mm 铅当量铅窗	22mm 铅当量	0.206
注射室	西墙	$R \approx 2.3\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (砖墙) = 26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	159mm 砖墙	0.391
	北墙	$R \approx 2.8\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (砖墙) = 26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	114mm 砖墙	0.264
	东墙	$R \approx 3.4\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (砖墙) = 26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	70mm 砖墙	0.179
	顶部	$R \approx 5.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 16.7cm	120mm 混凝土 +30mm 硫酸钡水泥	—	0.062
	北侧防护门	$R \approx 3.7\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.66cm	6mm 铅当量铅门	3.2mm 铅当量	1.681
注射后等待室	西墙	$R \approx 2.2\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (砖墙) = 26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	248mm 砖墙	0.856
	北墙	$R \approx 3.4\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (砖墙) = 26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	149mm 砖墙	0.358

	东墙	$R \approx 2.2\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (砖墙) = 26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	248mm 砖墙	0.856
	南墙	$R \approx 3.4\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (砖墙) = 26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	149mm 砖墙	0.358
	顶部	$R \approx 5.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 16.7cm	120mm 混凝土 +30mm 硫酸钡水泥	41mm 混凝土	0.123
PET-CT 扫描室	西墙	$R \approx 6.5\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 17.6cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	—	0.049
	北墙	$R \approx 4.2\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (砖墙) = 26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	209mm 砖墙	0.117
	东墙	$R \approx 2.7\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (砖墙) = 26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	122mm 砖墙	0.284
	南墙	$R \approx 4.2\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (砖墙) = 26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	209mm 砖墙	0.117
	顶部	$R \approx 5.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 16.7cm	120mm 混凝土 +30mm 硫酸钡水泥	—	0.062
	北侧防护门	$R \approx 3.9\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.66cm	8mm 铅当量铅门	2.4mm 铅当量	1.146
	东侧防护门	$R \approx 2.7\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.66cm	8mm 铅当量铅门	7.7mm 铅当量	2.392
	东侧观察窗	$R \approx 2.7\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (铅) = 1.66cm	8mm 铅当量铅窗	7.7mm 铅当量	2.392
留 观 室	西墙	$R \approx 2.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (砖墙) = 26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	270mm 砖墙	1.036
	北墙	$R \approx 3.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (砖墙) = 26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	177mm 砖墙	0.461
	东墙	$R \approx 2.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (砖墙) = 26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	270mm 砖墙	1.036
	南墙	$R \approx 3.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (砖墙) = 26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	177mm 砖墙	0.461
	顶部	$R \approx 5.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 16.7cm	120mm 混凝土 +30mm 硫酸钡水泥	—	0.123
储 源 室	西墙	$R \approx 1.6\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (混凝土) = 17.6cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	—	0.048
	北墙	$R \approx 2.6\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (砖墙) = 26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	—	0.018
	东墙	$R \approx 1.6\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (砖墙) = 26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	—	0.048
	南墙	$R \approx 2.6\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL (砖墙) = 26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	—	0.018

	顶部	$R \approx 5.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL(混凝土)=16.7cm	120mm 混凝土 +30mm 硫酸钡水泥	—	0.004
	西侧防护门	$R \approx 1.6\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL(铅)=1.66cm	9mm 铅当量铅门	—	0.355
	北侧防护门	$R \approx 2.6\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL(铅)=1.66cm	9mm 铅当量铅门	—	0.134
放射性废物暂存室	西墙	$R \approx 2.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL(砖墙)=26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	—	0.003
	北墙	$R \approx 1.8\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL(砖墙)=26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	—	0.003
	东墙	$R \approx 2.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL(砖墙)=26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	—	0.003
	南墙	$R \approx 1.8\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL(砖墙)=26.3cm	370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥	—	0.003
	顶部	$R \approx 5.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL(混凝土)=16.7cm	120mm 混凝土 +30mm 硫酸钡水泥	—	0.0003
	东侧防护门	$R \approx 2.0\text{m}$, $H_R = 2.5\mu\text{Sv/h}$, TVL(铅)=1.66cm	9mm 铅当量铅门	—	0.022

备注：核医学科区域正下方为地下土体，不考虑辐射剂量计算。

从表 11-10 可以看出，核医学科工作场所四周的辐射剂量率小于 $2.5\mu\text{Gy/h}$ ，屏蔽设计满足要求。实际受检者在注射后等待室、留观室等待过程中，因 ^{18}F 的半衰期较短，由于衰变的作用，受检者体内核素的活度不断减小，因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

(二) CT 扫描的辐射影响

PET-CT 系统 CT 部分为 III 类医用射线装置，机房墙体、门、窗、顶棚的防护厚度均能满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》（GBZ180-2006）中要求，以上标准中机房屏蔽厚度参数是以机房外人员受照剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

（GB18871-2002）中剂量要求而设定的，而本项目机房设计方案各项防护参数均大于标准要求，由此偏保守推测，设备正常运行时对机房外环境的影响可满足本项目评价标准要求。

射线装置在报废前，应采取去功能化的措施（如拆除电源或拆除加高压零部件），确保装置无法再次通电使用。

(三) 校准用密封源的环境影响

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

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

(四) 辐射剂量估算

本项目拟配置辐射工作人员6人，均为新增人员。核医学科分装和注射均由护士负责，设备操作和摆位由技师负责，分为2组，轮班上岗。

工作负荷：最大检查负荷60人次/天，300人次/周，15000人次/年，每人使用的核素平均活度为370MBq（10mCi）。

根据上述估算的瞬时剂量率以及医院提供的资料，在严格按照设计提供的屏蔽防护方案建设后，辐射工作人员和周边公众年有效剂量计算结果如下：

1、分装取药时的剂量估算

根据式 11-18 估算，分装取药过程中工作人员的受照剂量为 $4.613\mu\text{Sv/h}$ 。

本项目 PET-CT 显像检查中， ^{18}F 每天的使用量为 $2.22\times 10^{10}\text{Bq}$ ，单次分装时间约 2min，每天分装时间约 2h，一年工作 250d，科内有 2 人护士轮流负责分装工作，计算可得，分装放射性药物时，每名护士所受的年有效剂量为 1.153mSv/a 。

2、注射放射性药物时的影响分析

根据式 11-18 估算，注射药物过程中工作人员的受照剂量为 $0.769\mu\text{Sv/h}$ 。

本项目中 ^{18}F 在注射室采用静脉注射的方式给药。PET-CT 显像检查的使用量最大为 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ /人次，年就诊人数按 15000 人计，每次注射时间按 30s 计，科内有 2 人护士轮流负责注射工作。计算可得，注射放射性药物时，每名护士所受的年有效剂量为 0.048mSv 。

3、操作 PET-CT 时的影响分析

根据式 11-18 估算，操作间工作人员的受照剂量为 $0.602\mu\text{Sv/h}$ 。

PET-CT显像检查的使用量最大为 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ /人次，年就诊人数按15000人

计，每次检查时间按15min计，科内有2名操作人员轮流负责操作工作。计算可得，操作设备时，每名技师所受的年有效剂量为1.129mSv。

4、摆位时的影响分析

根据式11-18估算，摆位过程中工作人员身体受照剂量为16.274 μ Gy/h。

摆位人员在扫描间内指导受检者正确摆放姿势，偏安全考虑，不考虑注射后药物的衰减，按摆位一个受检者大约需要1min。按15000人计，摆位过程中受照射的总时间为250h，科内有2人技师轮流负责摆位工作。计算可得，操作设备时，每名技师所受的年有效剂量为2.034mSv。

综上所述，各个岗位工作人员年受照射剂量预测结果如表11-11示。

表11-11 核医学科工作人员年受照射剂量预测结果表

岗位	人均年有效剂量 (mSv)	合计 (mSv)
分装放射性药物	1.153	1.201
注射放射性药物	0.048	
操作PET-CT	1.129	3.163
摆位	2.034	

根据以上估算，核医学科工作场所辐射工作人员年受照射最大年有效剂量为3.163mSv，低于职业人员5.0mSv的评价标准要求。

(五) 核医学科的“三废”及其他污染防治措施

1、放射性药物的存放

本项目核医学科使用的¹⁸F均存放在核医学科注射操作室分装柜的铅罐内，校准源存放在核医学科储源室的保险柜内。注射操作室和储源室四周墙体均采用370mm砖墙+10mm硫酸钡水泥，屋顶采用120mm混凝土+30mm硫酸钡水泥，地面120mm混凝土，门采用9mmPb当量防护门。

注射操作室和储源室均设有红外报警仪，对其进行24小时监控，并且实施双人双锁专管制度。储存的放射性药物，有良好的外包装和专门的材料，其屏蔽体外的辐射水平可符合国家相关标准，再经距离衰减和墙体屏蔽后，其所致室外环境和公众剂量，可低于国家标准规定的限值。分装室和储源室的墙体可满足防护要求，积极采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的“六防”安全措施。

①放射性药物的存储容器要有合适的屏蔽，放置在易于取放的地方；

②分装室和储源室要有专人进行管理，并定期进行辐射剂量的监测，无关人

员不准许进入；

③储存放射性药物要有进出登记，包括生产单位、生产日期、到货时间、核素种类、理化性质、活度和使用情况等详细记录，建立放射性药物台帐制度；

④医院应建立完善的放射源贮存、领取、使用、归还登记和检查制度，做到交接账目清楚、账物相符，记录资料完整。

2、含 ^{18}F 废水

核医学科含 ^{18}F 废水主要来源是工作台面、地面去污时产生的废水，工作人员操作过程中手部受到微量污染的清洁废水，受检者冲洗排便废水。

受检者产生的废水量：根据医院提供的资料，核医学科含 ^{18}F 废水来源于注射 ^{18}F 进行核素显像的受检者使用卫生间后的冲厕废水和洗手废水，则产生含 ^{18}F 废水的受检者以 60 人计，每个受检者废水产生量以 10L 计，所以进行核医学科的受检者就诊期间产生废水量为 $0.6\text{m}^3/\text{d}$ 。

工作人员产生的清洗废水量：核医学科共配备工作人员 6 人，由于操作过程中手部受到微量污染，工作人员清洗废水产生量以 5L/d 计，则工作人员产生废水量约 $0.03\text{m}^3/\text{d}$ 。

工作台面、地面清洁时产生的废水量：本项目运行时，工作台面、地面清洗时产生的废水量为 $0.1\text{m}^3/\text{d}$ 。

综上所述，核医学科产生的含 ^{18}F 废水总量为 $0.73\text{m}^3/\text{d}$ ，则核医学科工作场所每年产生的废水约 $182.5\text{m}^3/\text{a}$ 。

医院核医学科工作场所产生的放射性废水通过专门的管道进行统一收集，排入放射性废水衰变池。放射性废水衰变池分为 3 格，采用并联工作模式，每格容量为 4.29m^3 ，总容积为 12.89m^3 ，根据放射性废水的产生量，则注满一池放射性废水需要 4.72d。本项目使用的核素为 ^{18}F ，其半衰期为 1.83h，10 个半衰期为 18.3h（0.7625d），小于注满一池水需要的时间，含 ^{18}F 废水在衰变池衰变完全可以满足含 ^{18}F 废水在衰变池贮存 10 个半衰期的要求，经衰变池后废水中总 β 浓度远小于 10Bq/L 的要求。

核医学科放射性废水衰变池设有废水取样口，首次排放时对放射性废水进行监测，监测结果应满足总 $\beta < 10\text{Bq/L}$ 的要求。后续产生的放射性废水应按首次排放的规律进行排放，并每次记录好收集、排放时间，保证放射性废水在放射性废水衰变池内贮存 10 个半衰期。核医学科放射性废水衰变池的结构、废水排放方

式及监测方式应满足《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）的相关要求。

①放射性衰变池池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，放射性衰变池应加以密封，应有防雨、防渗和防漏的措施，含 ^{18}F 废水衰变池池壁应高于周围水平面10cm；

②规定受检者治疗期间使用专用厕所，不得使用其他厕所；

③专用厕所应具备使受检者排泄物迅速全部冲洗入池的条件，而且随时保持便池周围清洁；

④医院所修建放射性废水衰变池应保证放射性废水储存10个半衰期以上，并委托有资质的单位对含 ^{18}F 废水进行首次监测，当总 β 放射性小于10Bq/L时，方可排入医院污水处理系统。后续废水应按首次排放的规律进行排放，并每次记录好收集、排放时间，保证放射性废水在放射性废水衰变池内贮存10个半衰期。医院应制定排水方案，在方案中明确停留时间。

3、含 ^{18}F 的固体废物

核医学科产生的含 ^{18}F 固体废物主要有沾染放射性药物的注射器、注射针头及可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物、废活性炭等固体废物。

核医学科每年共计产生的含 ^{18}F 固体废物重量约为100kg。含 ^{18}F 的固体废物分类收集在具有防护外层的固体废物桶中，固体废物桶中放置专用塑料袋收纳废物，待废物袋装满后，转到放射性废物暂存室内集中存放，在放射性废物暂存室内存放至十个半衰期后，使用表面污染监测仪进行监测，如果符合清洁解控水平（比活度小于或等于 10^4Bq/kg ），按医疗废物环境管理要求进行无害化处理。医院核医学科专门设有1间放射性废物暂存室，能够满足含 ^{18}F 固体废物存放要求。

PET-CT设备使用3枚 ^{68}Ge 校准源。 ^{68}Ge 放射源的有效使用寿命约2年，在使用过程中无废物产生，只有在 ^{68}Ge 放射源服务期满或设备退役时，产生 ^{68}Ge 废旧放射源。 ^{68}Ge 废旧放射源由生产单位回收处理或送有资质的单位进行处置。

要求：a.含 ^{18}F 固体废物应收集在具有防护外层和电离辐射标志的固体废物桶中，固体废物桶应避免辐射工作人员和经常走动的地方，装满后的废物袋应密

封，不破漏，并及时转至放射性废物暂存室，并放入专用容器中贮存。

b. 在放射性废物暂存室出入口设电离辐射标志，存放废物的容器必须安全可靠，并在废物桶的显著位置处标有废物类型、比活度范围和存放的日期等说明。

c. 应加强放射性废物暂存室的通风及安保工作。

d. 放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令 第 612 号）的相关规定。

4、废气

核医学科使用的 ^{18}F 由专业供应商放置在铅罐内密封保存，核素分装操作在负压的分装柜中进行，底部衬托吸水滤纸。PET-CT 显像使用的 ^{18}F 核素药物为 2-氟-2-脱氧-D-葡萄糖溶液（FDG），为非挥发性液态物质，因此 ^{18}F 挥发量极少，取日最大操作量的 1/1000。本项目 ^{18}F 日最大操作量为 $2.22 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，每天分装时间为 2h，活性炭吸附效率不低于 99%，核医学科设计使用总排风量为 $4420 \text{ m}^3/\text{h}$ 的排风机，则核医学科气溶胶排放浓度为 $50.2\text{Bq}/\text{m}^3$ ，本项目核医学科全年分装工作 500h，假设人呼吸量为 $1.2\text{m}^3/\text{h}$ ，则公众年吸入量为 $3.01 \times 10^4\text{Bq}$ ，远小于《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WS/T613-2018）规定的公众成员吸入含 ^{18}F 气溶胶摄入量限值 $1.6 \times 10^7\text{Bq}$ 。因此，本项目产生的含 ^{18}F 气溶胶废气经活性炭吸附处理后排放对周围环境影响是可接受的，不会对周围公众造成不利影响。

5、表面污染控制措施

为保证非密封工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，环评提出以下管理措施和要求：

①放射性药物应当有良好的外包装，放射性药物要妥善储存及转移，防止意外撒漏。

②操作放射性药物时，须在有负压和过滤的分装柜中进行，防止放射性物质飞散。

③放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品。

④操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用公司自购的表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护源

安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

三、DSA、ERCP 环境影响分析

1、DSA、ERCP 运行辐射安全影响分析

本项目涉及使用 2 台 DSA，分别拟安装于综合楼一层放射科 DSA 机房和综合楼三层手术部数字化杂交手术室；涉及使用 1 台 ERCP 拟安装于综合内二层内窥镜科 ERCP 机房。每台医用射线装置年工作量为 450 例，单台手术最长出束时间 10min，出束方向由下而上。年曝光时间最大为 75h（拍片 9h、透视 66h）。

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

医用射线装置在进行曝光时分为两种情况：

①造影拍片过程：操作人员采取隔室操作的方式，医生通过控制室铅玻璃观察窗机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。在拍片过程中，医生位于控制室内，经机房各屏蔽体屏蔽后，对机房外（包括机房楼上、楼下区域）的公众和工作人员基本没有影响。

②脉冲透视过程

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

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

（1）手术室外关注点辐射环境影响

本项目放射科 DSA 机房四面墙体均为 370mm 实心砖墙+10mm 硫酸钡水泥，屋顶为 200mm 混凝土+10mm 硫酸钡水泥，地面为 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥，防护门为 4mm 铅当量，观察窗为 4mm 铅当量。

本项目手术部数字化杂交手术室（DSA）四面墙体采用 4mm 铅当量铅板防护，屋顶为 200mm 混凝土+10mm 硫酸钡水泥，地面为 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥，防护门为 4mm 铅当量，观察窗为 4mm 铅当量。

本项目 ERCP 机房四面墙体均为 370mm 实心砖墙+10mm 硫酸钡水泥，屋顶

和地面为 200mm 混凝土+10mm 硫酸钡水泥，防护门为 4mm 铅当量，观察窗为 4mm 铅当量。

1) 计算模式

主射束的屏蔽防护采用《辐射防护手册》（第一分册）中计算公式如下：

$$D_r = D_1 \cdot \mu \cdot \eta \cdot f \cdot T / r^2 \dots \dots \dots \text{ (式 11-19)}$$

式中：D_r—预测点处辐射空气吸收剂量，mGy/a；

D₁—X 射线在 1m 处的辐射空气吸收剂量率，mGy/min；

T—每年工作时间，4500min（包括透视和拍片的时间）；

μ—利用因子，各监测点位的占用因子均取 1；

η—对防护区的占用因子（居留因子）；

f—屏蔽材料对初级 X 射线束的减弱因子；

r—预测点距 X 射线源的距离，m。

2) 预测结果分析

保守考虑，在 X 射线过滤材料为 2.0mmAl 的情况下，距射线装置 1m 处，由单位管电流(1mA)造成的照射量率为 1.09R·mA⁻¹·min⁻¹，经计算，DSA 和 ERCP 距靶 1m 处的辐射空气吸收剂量率为 9.515mGy/min(X 射线过滤材料 2.0mmAl)。查《辐射防护手册》（第一分册）图 10.5e，可得铅对 X 射线的减弱因子。实心页岩砖密度 1.65g/cm³，钢筋混凝土密度 2.35g/cm³，硫酸钡涂料密度 4.3g/cm³。机房的屏蔽厚度根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的有关要求，医用射线装置使用场所在距离机房屏蔽体外表面 30cm 外，周围辐射剂量率不大于 2.5μSv/h 和辐射工作人员年剂量约束值为 5.0mSv，公众的年剂量约束值为 0.1mSv 的规定，将相关参数带入（式 11-19）中，进行各关注点年有效剂量预测，预测点年剂量预测结果见表 11-12：

表 11-12 DSA 和 ERCP 机房外预测点年有效剂量预测

综合楼一层放射科 DSA								
预测点	与射线装置最近距离 (m)	屏蔽材料与厚度 (mm)	减弱因子 (f)	占用因子 (η)	年工作时间 (min)	照射类型	年有效剂量 (mSv)	校核结果
控制室	3.7	铅窗 4mm 铅当量	6.0×10 ⁻⁶	1	4500	职业	1.8×10 ⁻²	满足

DSA 设备间	4.5	铅门 4mm 铅当量	6.0×10^{-6}	1/4	4500	公众	3.0×10^{-3}	满足
污物通道	5.0	铅门 4mm 铅当量	6.0×10^{-6}	1/4	4500	公众	2.5×10^{-3}	满足
过道	3.1	370mm 实心砖墙 +10mm 硫酸钡水泥 (4mm 铅当量)	6.0×10^{-6}	1/4	4500	公众	6.4×10^{-3}	满足
医院内道路	3.5	370mm 实心砖墙 +10mm 硫酸钡水泥 (4mm 铅当量)	6.0×10^{-6}	1/4	4500	公众	5.0×10^{-3}	满足
内窥镜科 (正上方)	3.9	200mm 混凝土 +10mm 硫酸钡水泥 (3mm 铅当量)	6.5×10^{-5}	1/4	4500	公众	4.4×10^{-2}	满足
急诊科 (正 下方)	3.9	120mm 混凝土 +30mm 硫酸钡水泥 (4mm 铅当量)	6.0×10^{-6}	1/4	4500	公众	4.0×10^{-3}	满足

综合楼 3 层数字化杂交手术室 (DSA)

预测点	与射线装置最近距离 (m)	屏蔽材料与厚度 (mm)	减弱因子 (f)	占用因子 (η)	年工作时间 (min)	照射类型	年有效剂量 (mSv)	校核结果
控制室	4.4	铅窗 4mm 铅当量	6.0×10^{-6}	1	4500	职业	1.3×10^{-2}	满足
机房、过道	4.4	4mm 厚铅板	6.0×10^{-6}	1/4	4500	公众	3.2×10^{-3}	满足
过道、第 9、 10、12 手术 室	4.5	4mm 厚铅板	6.0×10^{-6}	1/4	4500	公众	3.0×10^{-3}	满足
第 11 手术室	3.8	4mm 厚铅板	6.0×10^{-6}	1/4	4500	公众	4.3×10^{-3}	满足
污物走廊、 洁具间、污 物清洗间、 护工间	4.0	4mm 厚铅板	6.0×10^{-6}	1/4	4500	公众	3.8×10^{-3}	满足
机房正上方	3.9	200mm 混凝土 +10mm 硫酸钡水泥 (3mm 铅当量)	6.5×10^{-5}	1/4	4500	公众	4.4×10^{-2}	满足
机房正下方	3.9	120mm 混凝土 +30mm 硫酸钡水泥 (4mm 铅当量)	6.0×10^{-6}	1/4	4500	公众	4.0×10^{-3}	满足

综合楼 2 层内窥镜科 ERCP

预测点	与射线装置最近距离 (m)	屏蔽材料与厚度 (mm)	减弱因子 (f)	占用因子 (η)	年工作时间 (min)	照射类型	年有效剂量 (mSv)	校核结果
-----	---------------	--------------	----------	-----------------	-------------	------	-------------	------

控制室	3.0	铅窗 4mm 铅当量	6.0×10^{-6}	1	4500	职业	2.7×10^2	满足
主任办、护士长办	6.9	370mm 实心砖墙 +10mm 硫酸钡水泥 (4mm 铅当量)	6.0×10^{-6}	1/4	4500	公众	1.3×10^3	满足
过道	3.4	370mm 实心砖墙 +10mm 硫酸钡水泥 砂浆(4mm 铅当量)	6.0×10^{-6}	1/4	4500	公众	5.3×10^3	满足
预留房间	4.3	370mm 实心砖墙 +10mm 硫酸钡水泥 砂(4mm 铅当量)	6.0×10^{-6}	1/4	4500	公众	3.3×10^3	满足
过道、污洗间	8.4	370mm 实心砖墙 +10mm 硫酸钡水泥 (4mm 铅当量)	6.0×10^{-6}	1/4	4500	公众	8.7×10^4	满足
镜库、污物存放间、洗镜室、肠镜检查室	4.8	370mm 实心砖墙 +10mm 硫酸钡水泥 (4mm 铅当量)	6.0×10^{-6}	1/4	4500	公众	2.7×10^3	满足
更衣间、胆道洗镜室、胆道镜室	7.0	铅门 4mm 铅当量	6.0×10^{-6}	1/4	4500	公众	1.3×10^3	满足
机房正上方	3.9	200mm 混凝土 +10mm 硫酸钡水泥 (3mm 铅当量)	6.5×10^{-5}	1/4	4500	公众	4.4×10^2	满足
机房正下方	3.9	200mm 混凝土 +10mm 硫酸钡水泥 (3mm 铅当量)	6.5×10^{-5}	1/4	4500	公众	4.4×10^2	满足

从表 11-12 可看出, 预测点年有效剂量预测结果满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中辐射工作人员年剂量约束值为 5.0mSv, 公众的年剂量约束值为 0.1mSv 的规定。

(2) 对机房内医生的影响

医院在每间医用射线装置机房拟配备 5 名辐射工作人员, 其中医生 2 名、护士 2 名、技师 1 名。医院拟将辐射工作人员分为 2 组, 1 名医生和 1 名护士为一组, 不存在交叉工作情况, 在使用 DSA 进行介入手术时, 有 1 名医生和 1 名护士在手术室内对患者进行手术, 1 名技师在操作间进行操作。医生和护士在进行介入手术时将穿戴铅衣等防护用品。进行介入手术治疗过程中有时会连续曝光, 此时采用脉冲透视, 医师距主射束的最近距离约 0.5m, 护士的距离约 1m。

本项目所用 2 台 DSA 和 1 台 ERCP 的额定管电压和额定管电流均相同, 人

员配置相同，工作时间相同，因此对机房内医护人员的影响相同，可只计算 1 台 DSA 机房内医护人员的年有效剂量。本项目对于机房内医生和护士的影响采用模式计算进行评价分析。计算模式参考李士骏编著的《电离辐射剂量学》，介入手术对机房内的工作人员所造成的辐射剂量可按下式估算：

$$X=I \cdot t \cdot v_{r0} \cdot (r_0/r)^2 \cdot f \dots\dots\dots \text{(式 11-20)}$$

$$D=8.73 \times 10^{-3} \cdot X \dots\dots\dots \text{(式 11-21)}$$

$$E=D \cdot W_R \cdot W_T \dots\dots\dots \text{(式 11-22)}$$

上式中：X—离射线装置 r 米处产生的照射量，R；

D—离射线装置 rm 处产生的空气吸收剂量，Gy；

E—参考点的有效剂量，Sv；

I—管电流（mA），取最大管电流为 1000mA；

v_{r0} —在给定的管电压和射线过滤情况下，距射线装置 r_0 m ($r_0=1$ m)

处，由单位管电流（1mA）造成的照射量率， $\text{mGy} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；

f—防护材料对 X 射线的减弱因子，无量纲；

t—介入性血管造影的累计出束时间，75h（包括透视和拍片的时间）；

W_R —辐射权重因数，X 射线为 1；

W_T —组织权重因数，全身为 1。

本项目设备过滤板采用 2mmAl，根据《辐射防护手册》（第一分册）中图 4.4c，查得 $v_{r0}=1.09R \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。医生在手术室内操作时须穿联体铅衣、戴铅手套、铅眼镜、铅围脖，设定这些防护用品的有效铅当量厚度为 0.5mmPb，查《辐射防护手册》（第一分册）图 10.5g，0.5mmPb 对 X 射线的减弱因子取值 $f=4.2 \times 10^{-2}$ 。由于医生和护士位于 X 射线的漏射方向，因此照射量取主射束方向的 1‰ 计算。

将上述参数带入上(式 11-20、11-21、11-22)，则手术室内医生受照年有效剂量最大为 7.20mSv/a，护士的年有效剂量最大为 1.80mSv/a，医院拟将每台医用射线装置配备的辐射工作人员分为 2 组，则手术医生最大有效剂量为 3.60mSv/a，护士最大有效剂量为 0.90mSv/a。

综上所述，手术室运行后，操作间内职业人员受到的附加有效剂量最大为 $2.7 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，手术室内职业人员受到的附加有效剂量最大为 3.60mSv/a，公众受到的附加有效剂量最大为 $4.4 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，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，且均满足职业人员5mSv/a，公众0.1mSv/a的管理约束值。

医院须严格按照《职业性外照射个人监测规范》(GB128-2019)的相关要求，为每一名辐射工作人员配置个人剂量计，所有辐射工作人员按照规范的要求正确配戴个人剂量计，将个人剂量计定期送有资质的单位检测并建立个人剂量档案。对辐射工作人员进行合理分工分组，杜绝个人剂量检测数据超标。医护人员在手术室内手术时须穿铅衣、戴铅手套、铅眼镜、铅围脖等防护用品。

（3）医生腕部皮肤受照剂量

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

$$D_s = C_{ks} (\dot{k} \cdot t) \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots \text{（式 11-23）}$$

$$\dot{k} = \frac{\dot{H}^*_{(10)}}{C_{KH}} \dots\dots\dots \text{（式 11-24）}$$

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）。

医生操作时腕部距主射束的距离取 0.3m，且不考虑任何防护，根据式（20）、式（21）、式（22）可计算出，手术时腕部位置处的空气吸收剂量换算为剂量当量为 $7.93 \times 10^4 \mu\text{Gy/h}$ 。本项目 DSA、ERCP 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 $C_{KH}^*=1.49\text{Sv/Gy}$ ，由（式 24）计算出辐射场的空气比释动能为 $5.32\times 10^5\mu\text{Gy/h}$ 。从表 A.4 可查出空气比释动能到皮肤吸收剂量的转换系数 $C_{KS}=1.080\text{mGy/mGy}$ 。手术医生手术位腕部皮肤受到年有效剂量最大为 57.5mSv ，医院为每台医用射线装置拟配 2 名手术医生，则平均每名手术医生腕部皮肤受到最大有效剂量为 28.8mSv/a ，能够满足职业人员皮肤的当量剂量为 125mSv/a 的约束值。

（4）介入治疗对医生和患者的辐射防护要求

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

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

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

（5）射线装置报废

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

2、大气环境影响分析

医用射线装置内空气中的氧受 X 射线电离而产生臭氧，其产率和浓度可用下面两个公式分别计算。

$$Q_o = 6.5 \times 10^{-3} \cdot G \cdot S_o \cdot R \cdot g \dots\dots\dots \text{(公式 11-25)}$$

式中:

Q_o —臭氧产率 mg/h;

G —射束在距离源点 1m 处的剂量率 $Gy \cdot m^2/h$, 本项目取 0.419;

S_o —射束在距离源点 1m 处的照射面积 m^2 , 取(最大射野 $40 \times 40 cm^2$) $0.16 m^2$;

R —射束径迹长度 m, 取 1m;

g —空气每吸收 100eV 辐射能量产生 O_3 的分子数, 本项目取 10。

经计算, 臭氧产率为 0.004mg/h。

室内臭氧饱和浓度由下式计算:

$$C = Q_o \cdot T_v / V \dots\dots\dots \text{(公式 11-26)}$$

式中:

C —室内臭氧浓度, mg/m^3 ;

Q_o —臭氧产额 mg/h;

T_v —臭气有效清除时间, h;

V —机房空间体积, 放射科 DSA 机房体积为 $181 m^3$, 手术部数字化杂交手术室 (DSA) 体积为 $216 m^3$, 内窥镜科 ERCP 室体积为 $200 m^3$ 。

$$T_v = \frac{t_v \cdot t_a}{t_v + t_a} \dots\dots\dots \text{(公式 11-27)}$$

t_v —每次换气时间, 0.17h;

t_a —臭氧分解时间, 取值为 0.83h。

机房每小时换气 6 次, 每次换气时间均为 10min, 则放射科 DSA 机房、手术部数字化杂交手术室 (DSA)、内窥镜科 ERCP 室内臭气平衡浓度分别为 $3.12 \times 10^{-6} mg/m^3$ 、 $2.82 \times 10^{-6} mg/m^3$ 、 $2.61 \times 10^{-6} mg/m^3$ 。产生的 O_3 通过排风管道抽至屋顶排风口排入大气环境后, 经自然分解和稀释, 对机房周围的环境影响远低于《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 的二级标准 ($0.2 mg/m^3$) 的要求。

3、水环境影响分析

本项目 DSA 专用 X 线数字成像系统运行后, 本项目产生废水主要为地面清洁废水、手术医护人员产生的清洗废水和少量生活污水。废水进入医院生活污水

处理站处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表2中预处理标准后，经市政污水管网进入市政污水处理厂处理，本项目的下水道应进行地面硬化处理等防渗措施，防止污染地下水。

4、声环境影响分析

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

5、固废影响分析

本项目一台手术约产生医疗废物药棉 0.1kg，纱布 0.1kg，手套 0.2kg，一年最多 1350 台手术，则一年约产生医疗废物药棉 135kg，纱布 135kg，手套 270kg，总共每年约产生医疗废物 540kg，采用专门的收集容积集中回收后，转移至医疗废物暂存库，按照医疗废物执行转移联单制度，由当地医疗废物处理机构定期统一回收处理。

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

五、III类医用 X 射线诊断机运行环境影响分析

都江堰华瑞医院除 1 台 PET-CT 外，还涉及的III类医用射线装置为 1 台模拟定位机（CT）。本项目所用射线装置均为数字成像，无废显定影液及废胶片产生，其主要危害为设备工作时产生 X 射线。

根据医院提供资料，模拟定位机(CT)机房四周墙体均为 370mm 砖墙+10mm 硫酸钡水泥，机房顶部为 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡水泥，防护门为 4mm 铅当量，观察窗为 4mm 铅当量。

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

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

六、保护目标环境影响分析

本项目的保护目标预测结果见 11-13。

表 11-13 肿瘤科保护目标的影响分析

位置	保护目标	居留因子	与射线束最近距离 (m)	照射类型	项目	年剂量 (mSv/a)
控制室、水冷机房、模拟定位机房 (西南侧)	职业人员	1	8.7	职业照射	评价价值	5.68×10^{-2}
电梯井、洁具间、排烟机房 (东侧)	公众人员	1/4	8.5	公众照射	评价价值	7.47×10^{-3}
走廊、制模间、模具暂存室、抢救室、诊室、候诊厅等 (南侧)	公众人员	1/4	10.0	公众照射	评价价值	5.40×10^{-3}
负二层地下车库 (西侧、西北侧)	公众人员	1/4	13.3	公众照射	评价价值	3.05×10^{-3}
负一层地下车库 (正上方)	公众人员	1/4	5.0	公众照射	评价价值	7.02×10^{-2}

由表 11-13 可知，医院内部保护目标为职业人员的所受最大剂量为 $9.27 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，保护目标为公众的所受最大剂量为 $7.02 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，分别低于 5mSv/a 和 0.1mSv/a 的评价约束值。

表 11-14 核医学科保护目标的影响分析

位置	保护目标	居留因子	与射线束最近距离 (m)	照射类型	项目	年剂量 (mSv/a)	
核医学科工作区	分装工作人员	职业人员	1	0.5	职业照射	评价价值	1.153
	注射工作人员	职业人员	1	0.5	职业照射	评价价值	0.048
	摆位工作人员	职业人员	1	1.0	职业照射	评价价值	2.034
	扫描工作人员	职业人员	1	5.2	职业照射	评价价值	1.129
过道、衣物清洗区、医疗垃圾暂存间、地下车库 (西南侧)	公众人员	1/4	4.3	公众照射	评价价值	5.6×10^{-2}	
病案库、设备房、耗材库、地下车库 (北侧)	公众人员	1/4	4.3	公众照射	评价价值	5.6×10^{-2}	
设备间、电梯井、地下车库 (西侧)	公众人员	1/4	7.9	公众照射	评价价值	7.6×10^{-3}	
功能检查科 (正上方)	公众人员	1/4	4.6	公众照射	评价价值	4.9×10^{-2}	

由表 11-14 可知，医院内部保护目标为职业人员的所受最大剂量为 2.034mSv/a ，保护目标为公众的所受最大剂量为 $5.6 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，分别低于 5mSv/a 和 0.1mSv/a 的评价约束值。

表 11-15 DSA 保护目标的影响分析

位置	保护目标	居留因子	与射线束最近距离 (m)	照射类型	项目	年剂量 (mSv/a)
----	------	------	--------------	------	----	-------------

一层放射科 DSA						
DSA 机房内	职业人员	1	0.5	职业照射	评价值	3.60
控制室（机房北侧）	职业人员	1	3.7	职业照射	评价值	1.8×10^{-2}
设备间、污物通道、电梯井等（南侧）	公众人员	1/4	4.5	公众照射	评价值	3.0×10^{-3}
过道（机房西侧）	公众人员	1/4	3.1	公众照射	评价值	6.4×10^{-3}
医院内道路（机房东侧）	公众人员	1/4	3.5	公众照射	评价值	5.0×10^{-3}
内窥镜科（正上方）	公众人员	1/4	3.9	公众照射	评价值	4.4×10^{-2}
急诊科（正下方）	公众人员	1/4	3.9	公众照射	评价值	4.0×10^{-3}
三层手术部 DSA						
数字化杂交手术室内	职业人员	1	0.5	职业照射	评价值	3.60
控制室（机房东侧）	职业人员	1	4.4	职业照射	评价值	1.3×10^{-2}
过道、第 4-10、12 手术室等（南侧）	公众人员	1/4	4.5	公众照射	评价值	3.0×10^{-3}
第 11 手术室、无菌库等（西侧）	公众人员	1/4	3.8	公众照射	评价值	4.3×10^{-3}
污物走廊、标本间、洁具间、护工间、病房区等（北侧）	公众人员	1/4	4.0	公众照射	评价值	3.8×10^{-3}
屋顶（正上方）	公众人员	1/4	3.9	公众照射	评价值	4.4×10^{-2}
内窥镜科（正下方）	公众人员	1/4	3.9	公众照射	评价值	4.0×10^{-3}

由表 11-15 可知，医院内部保护目标为职业人员的所受最大剂量为 3.60mSv/a，保护目标为公众的所受最大剂量为 4.4×10^{-2} mSv/a，分别低于 5mSv/a 和 0.1mSv/a 的评价约束值。

表 11-16 ERCP 保护目标的影响分析

位置	保护目标	居留因子	与射线束最近距离 (m)	照射类型	项目	年剂量 (mSv/a)
ERCP 机房内	职业人员	1	0.5	职业照射	评价值	3.60
控制室（北侧）	职业人员	1	3.0	职业照射	评价值	2.7×10^{-2}
主任办、护士长办、妇科等（北侧）	公众人员	1/4	6.9	公众照射	评价值	1.3×10^{-3}
预留房间、电梯井（南侧）	公众人员	1/4	4.3	公众照射	评价值	3.3×10^{-3}
过道、污洗间、病理科等（西南侧）	公众人员	1/4	8.4	公众照射	评价值	8.7×10^{-4}
镜库、污物存放间、洗镜室、肠镜检查室等（西侧）	公众人员	1/4	4.8	公众照射	评价值	2.7×10^{-3}
更衣间、胆道镜洗镜室、麻醉恢复室等（西北侧）	公众人员	1/4	7.0	公众照射	评价值	1.3×10^{-3}
手术部（正上方）	公众人员	1/4	3.9	公众照射	评价值	4.4×10^{-2}
放射科（正下方）	公众人员	1/4	3.9	公众照射	评价值	4.4×10^{-2}

由表 11-16 可知，医院内部保护目标为职业人员的所受最大剂量为 3.60mSv/a，保护目标为公众的所受最大剂量为 4.4×10^{-2} mSv/a，分别低于 5mSv/a

和 0.1mSv/a 的评价约束值。

事故影响分析

一、环境风险评价的目的

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

二、风险识别

（一）非密封放射性物质工作场所

①放射性药物丢失、被盗或工作场所失火，均可能使放射性药物释放到环境中，从而形成环境介质的放射性污染；

②在放射性药品的分装和注射操作，会产生撒漏的可能性，这样就会使室内的设备、地面等受到放射性污染；

③校准源丢失、被盗、失控。

（二）直线加速器可能发生的事故

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

①医用直线加速器运行时其它无关人员误入或滞留于加速器机房；

②检修时，检修人员触动直线加速器开关，造成检修人员发生急性重度放射病、局部器官残疾。

（三）DSA、ERCPC 可能发生的事故

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

①在介入手术操作中，DSA、ERCP 控制系统失灵；

②DSA、ERCPX 射线源处于“曝光”状态，介入手术人员在距 X 射线管非主射束方向进行介入手术操作。

（四）Ⅲ类医用射线装置可能发生的辐射事故

本项目共涉及Ⅲ类医用射线装置 2 台，分别为 1 台模拟定位机（CT）、1 台 PET/CT 本项目所用射线装置均为数字成像，无废显定影液及废胶片产生，其主要危害为设备工作时产生 X 射线。其可能发生的辐射事故如下：

①设备运行时其它无关人员误入或滞留于机房；

②医务人员误操作，导致病人受超剂量照射或受其它的额外照射。

三、源项分析及事故等级分析

核医学科所用的核素，产生 α 、 β 和 γ 射线。由 α 、 β 辐射在空气中射程较短，易于防护，故核医学诊治可能发生的风险事件中，其风险因子为 γ 射线。

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。

DSA、ERCP 及Ⅲ类医用射线装置操作过程中，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 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 11-17 中。

表 11-17 项目的风险因子辐射伤害程度与事故分级

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

根据《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系（表 11-18）：

表 11-18 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

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

四、后果计算

（一）核医学科事故的后果计算

1、放射性药物意外泄漏或丢失事故

（1）事故情景假设

①显像剂（¹⁸F）瓶在分装室丢失，丢失时内装 ¹⁸F 活度最大为 100mCi；

②假设丢失后在整个事故持续时间瓶内 ¹⁸F 未发生洒漏，事故持续过程中按点源考虑；

③保守假设事故持续时间内，丢失的药物被同一人随身携带，距离按 20cm 考虑；

④携带人员无任何屏蔽措施；

⑤事故持续时间为 2h。

（2）剂量估算

在假设事故情景下，计算携带人员在事故持续时间内的受照剂量，计算结果见表 11-19。

表 11-19 显像剂（¹⁸F-FDG）丢失后不同时间内个人受照剂量表

距源距离（m）	事故持续时段内 γ 射线所致辐射剂量（mSv）			
	0.5h	1h	1.5h	2h
0.2	4.63	9.26	13.89	18.52

(3) 事故后果

在上述事故情景假设条件下，携带显像剂 (^{18}F) 人员 (或近距离公众在事故持续时间内已受到超过年剂量限值的照射 (计算过程未考虑 ^{18}F 衰变，计算结果偏保守))。

(4) 事故等级

根据表 11-20，假如本项目发生此种事故，事故等级为一般辐射事故。

2、显像剂 (^{18}F) 意外洒漏

(1) 事故情景假设

① ^{18}F -FDG 试剂瓶打翻或破碎，导致 ^{18}F 洒漏于操作台，假设发生事故时试剂瓶盛装 ^{18}F 溶液 5mL，活度为 100mCi；

② 工作人员在用滤纸吸干、擦拭、清污过程中，距离洒漏点约 0.5m；

③ 工作人员穿铅橡胶围裙，假设事故处理时间需要持续 30min。

(2) 剂量估算

在假设事故情境下，工作人员在事故持续时间内的受照剂量为 0.74mSv/次，未超过职业外照射年剂量限值 (计算过程未考虑铅橡胶围裙的屏蔽，假设事故情景为显像剂全部洒漏，计算结果偏保守)。

3、若校准源丢失、被盗、失控

(1) 事故情景假设

① ^{68}Ge 校准源丢失、被盗、失控，活度最大为 5mCi ($1.85 \times 10^8 \text{Bq}$)；

② 距离最近的人员为 0.2m；

③ 从丢失、被盗、失控至找到放射源的时间为 4h。

(2) 剂量估算

在假设事故情境下，人员在事故持续时间内的受照剂量为 0.6mSv/次，超过公众外照射年剂量限值。

(3) 事故等级

根据表 11-17、11-18，假如本项目发生此种事故，事故等级为一般辐射事故。

(二) 10MV 直线加速器事故的后果计算

1、人员误入机房，人员受到意外照射

(1) 事故情景假设

在对病人进行治疗时，10MV直线加速器主射束1m处剂量率为最大值6Gy/min，假设考虑安全联锁失效，有人员误入机房，人员在无其它屏蔽的情况下处于加速器照射头射束1m处的散射方向，X射线散射束的空气比释动能率取主射束方向的1%，每次误入照射时间为30秒。

(2) 计量估算

在假设事故情境下，人员在事故持续时间内的受照剂量为30.0mSv/次，超过公众外照射年剂量限值。

(3) 事故等级

根据根据表 11-19，假如本项目发生此种事故，事故等级为一般辐射事故。

2、维修射线装置时，人员受意外照射

(1) 事故情景假设

在维修人员进行检修时，假设触动直线加速器开关，造成维修人员在无其它屏蔽的情况下处于加速器照射头射束1m处的直射方向，10MV直线加速器主射束1m处剂量率为最大值6Gy/min，每次误入照射时间为7~8秒。

(2) 剂量估算

在假设事故情境下，人员在事故持续时间内的受照剂量为800.0mSv/次，超过公众外照射年剂量限值。

(3) 事故等级

根据根据表 11-17、11-18，假如本项目发生此种事故，事故等级为较大辐射事故。

(三) DSA、ERCPC 事故后果计算

1、介入手术过程中，发生介入手术人员超剂量照射

(1) 事故假设

①在介入手术操作中，控制系统失灵；

②X射线源处于“曝光”状态，介入手术人员在距X射线管主射束方向0.5m处进行介入手术操作；

③假定该名手术人员在此停留时间为6min，未穿戴铅衣、配套铅手套和铅防护眼镜等个人防护用品（防护厚度均为0.5mm铅当量）。

(2) 剂量估算

在上述条件下，将以上参数带入式(20)、(21)、(22)计算可得手术中误照人员受照剂量约为 167.6mGy/次。

(3) 事故后果

在上述事故情景假设条件下，受 X 射线源误照人员年剂量已超过约束值，根据表 11-17、11-18，假如本项目发生此种事故，属于一般辐射事故。

2、维修射线装置时，人员受意外照射

(1) 事故情景假设

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

②假若维护时，射线装置以透视模式运行，距靶 1m 处的照射量率 $0.8R \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$ ；

③射线装置上的指示灯和声音装置均失效；

④维护人员位于 X 射线主射束方向，距靶 1m 的地方，停留时间 2min，无任何屏蔽措施。

(2) 剂量估算

根据上述条件，计算得出维护人员受照剂量为 55.9mGy/人·次。

(3) 事故后果

在上述事故情景下，维护人员已受到超过年剂量限值的照射，根据表 11-17、11-18，假如本项目发生此种事故，为一般辐射事故。

(四) III类医用射线装置的后果计算

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

五、事故防范措施

(一) 核医学科可能发生的事故及应对措施

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

见的事故有：

①放射源和放射性药物丢失、被盗或工作场所失火，均可能使放射性药物释放到环境中，从而形成环境介质的放射性污染。

应对措施：医院应当在放射源和放射性药物的签收、储存和发放等环节有详细的程序和记录，实行专人专锁专管，切实做好防火防盗，以此避免此类事故的发生。

②射性药品的给药、注射等操作，会产生撒漏的可能性，这样就会使工作室、治疗室内的设备、地面等受到放射性污染。

应对措施：对大剂量的治疗用量必须格外小心，要严格按照操作规程进行，尽量避免污染事故的发生，操作台面应有防治污染用的塑料覆面，在操作放射性核素和药物后应进行表面污染监测；在核医学工作中，遇到放射性药品抛洒的意外情况时尽快进行处理，争取在最短的时间内将事故排除，事故处理时应穿戴防护用品，以避免不必要的污染。

③在放射性药物的给药过程中，因为多种原因导致工作人员获得高剂量照射。

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

（二）直线加速器事故防范措施

①直线加速器运行时其它无关人员误入或滞留于加速器机房。

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

②医务人员误操作，导致病人受超剂量照射或受其它的额外照射；

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

（三）DSA、ERCP 的事故与应对措施

DSA、ERCP 属于II类射线装置，为中危险射线装置，事故时可使受照人员产生较严重的放射损伤，但由于 DSA、ERCP 的特殊性，事故时使受照人员受大剂量照射甚至导致死亡的几率很小。DSA、ERCP 开机时，医生与病人同处一室，

且距 X 射线机的管头组装体约 1m 左右，距病人很近，介入机主要事故是因曝光时间较长，防护条件欠佳对医生和病人引起的超剂量照射，其级别最高为较大辐射事故。

为了防止事故的发生，应做好以下工作：

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

（四）Ⅲ类医用射线装置事故分析与防范应对措施

本项目共涉及Ⅲ类医用射线装置 13 台，为低危险射线装置，发生事故时一般不会对受照者造成辐射损伤，事故等级属一般辐射事故。

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

（五）事故综合防范应对措施

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

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

- ①建立安全管理领导小组，组织管理医院的安全工作。
- ②加强人员的培训，考试（核）合格、持证上岗。
- ③建立岗位的安全操作规程和安全规章制度，注意检查考核，认真贯彻实施。
- ④制定医院重大事故处理预案、完善组织、落实经费、准备物资、加强演练、

时刻准备应对可能发生的各种事故和突发事件。

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

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

一、辐射防护与安全管理机构

医院已成立了辐射防护领导小组（见附件 2），其职责如下：①全面负责医院辐射安全管理工作；②认真学习贯彻国家相关法规、标准，结合本单位实际制定安全规章制度并检查监督实施；③负责医院辐射工作人员的法规教育和安全环保知识培训；④实施辐射工作人员的个人剂量检测并做好个人剂量的档案管理工作；⑤编制辐射事故应急预案，并妥善处理有可能发生的辐射事故；⑥定期向生态环境主管部门报告安全工作，接受环保监督、监测部门检查指导。

二、辐射工作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

医院辐射工作人员配置情况：医院拟配备辐射工作人员29人，医院可根据设备数量，承担诊疗、科研任务，开展的项目和工作量等实际情况适当增减人员编制；

②射线操作人员均需取得射线装置操作证书，熟悉专业技术；

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

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

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建设单位应严格按照生态环境部 2019 年第 57 号公告的要求，组织本项目拟配置的所有辐射工作人员，到生态环境部网上学习考核平台（<http://fushe.mee.gov.cn>）中辐射安全与防护专业知识的学习，考核通过后方能上岗。

②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。

③正确佩戴个人剂量计，采用双剂量计监测方法（在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计），且宜在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部剂量计（如头箍

剂量计、腕部剂量计、指环剂量计等)。铅衣外剂量计一般佩戴在左胸前或衣领前面,并将有标签的一面朝外,穿戴铅围裙时,应戴在铅围裙里面。

三、射线装置处理报废

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

辐射安全档案资料管理和规章制度

一、档案管理分类

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

二、辐射安全管理规章制度

根据医院实际情况,医院辐射安全管理规章制度落实情况见下表 12-1:

表 12-1 本项目辐射管理制度汇总对照分析表

序号	制度名称	备注
1	辐射安全与环境保护管理机构文件	需制定,应包含但不限于“三废”管理制度、X 线诊断中受检者、陪护人员的防护规定
2	辐射工作设备操作规程	需制定,内容挂于辐射工作场所墙上,应分别对应每种射线装置的操作规程
3	辐射工作人员岗位职责	需制定,明确辐射工作人员的责任和义务,包括正确佩戴个人剂量计
4	医院剂量监测规章制度	需制定
5	辐射安全和防护设施维护维修制度	需制定
6	辐射工作人员个人剂量管理制度	需制定,包含“个人剂量档案终生保存”的内容
7	场所分区管理规定	需制定,应包含但不限于人流、物流图,患者管理规定
8	放射性药物管理规定(购买、领用、保管和盘存)	需制定,明确放射性药物进出登记(包括生产单位、生产日期、到货时间、核素种类、理化性质、活度和使用情况的详细记录等),做到交接账目清楚、账物相符,记录资料完整
9	放射源管理规定	需制定,明确放射源贮存、领取、使用、归还登记和检查,做到交接账目清楚、账物相符,记录资料完整
10	辐射事故处理、应急处置预案	需制定,预案中“辐射事故应急响应程序”应悬挂于辐射工作场所墙上

11	监测仪表使用与校验管理制度	需制定，保证表面污染监测仪、γ辐射监测仪监测数据的准确性
12	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	需制定，明确辐射工作场所的监测因子、监测内容、监测频次及布点方案
13	辐射工作人员岗位职责	需制定，明确辐射工作人员的岗位分工及职责
14	射线装置台账管理制度	需制定，明确装置名称、型号、生产厂家、设备参数、管理类别、使用场所
15	辐射工作人员培训制度	需制定，明确辐射工作人员参加培训学习的时间
16	质量保证大纲和质量控制检测计划	需制定，内容应至少包括受检者非照射部位所采取的辐射防护措施

根据原四川省环境保护厅关于印发《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》要求，《辐射工作场所安全管理要求》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作设备操作规程》和《辐射事故应急响应程序》应悬挂于辐射工作场所。医院对于各项制度在日常工作中要加强检查督促，认真组织实施。上墙制度的内容应体现现场操作性和实用性，字体醒目，尺寸大小应不小于400mm×600mm。

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

三、《辐射安全许可证》发放条件对照分析

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

表 12-2 《辐射安全许可证》发放条件与本项目评价结果

序号	环保部第3号令要求	项目实际情况	评价结果
1	设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	按照要求成立辐射安全与环境保护管理领导小组。	按照要求设立后满足要求。
2	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核	组织辐射工作人员通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核	人员通过考核后，满足要求
3	射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施	需配置电离辐射警告标志和工作状态指示灯等	配置后满足要求
4	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警仪、	需增加辐射工作人员需配备个人剂量计和	配备后满足要求

	辐射测量仪器等。	便携式辐射监测仪	
5	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案	需制定《监测方案》和《辐射工作人员个人剂量管理制度》	制定后满足要求
6	有完善的辐射事故应急措施	需制定《辐射事故应急预案》	完善后满足要求
7	产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案	设计中已具备	按照本报告提出的要求落实后可满足要求
8	使用射线装置开展诊断和治疗的单位，还应当配备质量控制检测设备，制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划，至少有1名医用物理人员负责质量保证与质量控制检测工作	需制定《放射治疗质量保证大纲和质量控制计划》，并由专业人员负责质量保证与质量控制检测工作	制定后满足要求

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

辐射监测

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

1、工作场所监测

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

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(如放射科操作)的情况，通常应根据佩带在铅衣里面躯干上的剂量计估算工作人员的实际有效剂量，当受照剂量可能超过调查水平时(如介入操作)，则还需要在铅衣外面衣领上另外佩带一个剂量计，以估算人体未被屏蔽部分的剂量；

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

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射线、 γ 射线、放射性废水(总 α 、总 β)、表面沾污。

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

表 12-3 本项目监测布点方案表

场所或设备	监测内容	监测布点位置
10MV 直线加速器	X 射线	墙体四周外侧、操作人员操作位、防护门外、迷道内墙外、机房正上方
核医学科	γ 射线	注射操作室、注射室、储源室、注射后等待室、扫描室、操作室、扫描后观察室、放射性废物暂存室
	X 射线	PET-CT 操作位、防护门、与机房相邻的房间或过道、机房正上方
	β 表面放射性污染	注射操作室、注射室、储源室、注射后等待室、PET-CT 扫描间、留观室、检后通道、放射性废物暂存间、卫生间、更衣室的墙壁、地面，辐射工作人员工作服、手套、工作鞋、手、皮肤
	放射性废水	放射性废水衰变池排放口
DSA	X 射线	铅窗、操作位、铅防护门、与机房相邻的房间或过道、机房正上方、正下方
ERCp	X 射线	铅窗、操作位、防护门、与机房相邻的房间或过道、机房正上方、正下方

III类医用射线装置	X 射线	铅窗、操作位、防护门、与机房相邻的房间或过道
<p>(3) 监测范围：控制区和监督区域及周围环境</p> <p>(4) 监测质量保证</p> <p>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；</p> <p>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；</p> <p>c、制定辐射环境监测管理制度。</p> <p>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。</p> <p>5、年度评估报告情况</p> <p>医院应于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，近一年（四个季度）个人剂量检测报告和辐射工作场所年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。医院应按照《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400 号）规定的格式编写《安全和防护状况年度评估报告》。医院必须在“全国核技术利用辐射安全申报系统”(网址 http://rr.mee.gov.cn)中实施申报登记。延续、变更许可证，新增或注销射线装置以及单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。</p>		
<p>辐射事故应急</p>		
<p>1、事故应急预案内容</p>		
<p>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：</p> <p>(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；</p>		

- (2) 应急组织体系和职责、应急处理程序、上报电话；
- (3) 应急人员的培训；
- (4) 环境风险因子、潜在危害、事故等级等内容；
- (5) 辐射事故调查、报告和处理程序中相关负责人员及联系电话；
- (6) 发生辐射事故时，应当立即启动应急预案，采取应急措施，并按规定向所在地县级地方人民政府及其生态环境、公安、卫健等部门报告。

2、应急措施

若本项目发生了辐射事故，医院应迅速、有效采取以下应急措施：

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

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

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

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

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

(6) 最后查清事故原因，分清责任，消除事故隐患。

3、其他要求

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

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

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

项目名称：新建放射性同位素和医用射线装置应用项目

建设单位：都江堰首嘉医院有限公司

建设性质：新建

建设地点：都江堰市灌温路 88 号都江堰华瑞医院院区内

本项目建设内容与规模为：医院拟在综合楼负二层肿瘤科使用 1 台 10MV 医用电子直线加速器（II类射线装置），使用 1 台模拟定位机（III类射线装置）；在综合楼负一层核医学科使用 ^{18}F 进行 PET-CT 影像诊断，并引进 PET-CT 设备 1 台（III类射线装置），核医学科工作场所属于乙级非密封放射性物质工作场所，使用 3 枚锞-68 对 PET-CT 进行校准，活度为 $4.625 \times 10^7 \times 2 + 9.25 \times 10^7 \times 1 \text{Bq}$ ，均属于 V 类放射源；在综合楼一层放射科使用 1 台 DSA（II类射线装置）；在综合楼二层内窥镜科使用 1 台 ERCP（II类射线装置）；在综合楼三层手术部使用 1 台 DSA（II类射线装置）。

二、本项目产业政策符合性分析

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

三、本项目选址合理性分析

本项目位于都江堰华瑞医院内，项目运营对环境基本无影响。本评价认为其选址是合理的。

四、所在地区环境质量现状

根据四川省永坤环境监测有限公司的监测报告，项目所在地的 γ 辐射空气吸收剂量率背景值属于正常天然本底辐射水平。

五、环境影响评价分析结论

（一）施工期环境影响分析

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

（二）营运期环境影响分析

1、辐射环境影响分析

（1）肿瘤科环境影响分析

当 10MV 直线加速器机房工作时，所致职业人员的年剂量最大为 $5.68 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，所致公众的年剂量最大为 $3.67 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，分别低于 5.0mSv 和 0.1mSv 的剂量约束值。

（2）核医学科环境影响分析

核医学科所致医师所受年有效剂量为 1.201mSv/a，技师所受年有效剂量为 3.163mSv/a，公众所受年有效剂量为 $5.6 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ 。

PET-CT 投入运行后，产生的 X 射线经机房墙体、门屏蔽防护后，对机房外公众和职业人员影响较小。

（3）DSA、ERCP 环境影响分析

DSA、ERCP 投入运行后，每名手术医师的年有效剂量最大为 1.89mSv/a，每名护士的年有效剂量最大为 0.47mSv/a，操作设备的技师年有效剂量最大为 $1.2 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，所致公众的年有效剂量最大为 $4.4 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ 。

（4）其他类射线装置环境影响分析

III类射线装置保护目标所受年剂量满足职业人员 5.0mSv/a，公众人员 0.1mSv/a 的评价约束值。

2、大气的环境影响分析

加速器机房每小时换气 6 次，每次换气时间均为 10min，则加速器机房内臭氧浓度为 $1.61 \times 10^{-3} \text{mg/m}^3$ 。直线加速器机房配置有通排风系统，排风管道在机房上方穿墙进入加速器机房，在机房吊顶上采用新风系统排风，通过专用排风管道（800×320mm 镀锌铁皮管道）引至综合楼顶排放，经自然分解和稀释，符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准（ 0.20mg/m^3 ）的要求。

核医学科产生的含 ^{18}F 气溶胶废气经活性炭吸附处理后排放对周围环境影响是可接受的，不会对周围公众造成不利影响。

DSA、ERCP 在曝光过程中臭氧产生量很小，经排风管道抽至屋顶排风口，高于楼顶排入大气环境后，经自然分解和稀释符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准（ $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ ）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《工业企业厂界噪声标准》（GB12348-2008）2 类标准要求。

4、水环境影响分析

本项目运行后，废水主要为辐射工作人员和患者产生的生活污水及医疗废水。产生的废水经过院内的污水处理站处理达预处理标准后进入市政污水管网。

5、固体废物影响分析

介入手术产生一定量的医用器具和药棉、纱布、手套、废造影剂、废造影剂瓶等医用辅料及手术垃圾，按照危废管理相关要求，进行分类收集；核医学科产生的放射性废物暂存于放射性废物暂存间，待暂存 10 个半衰期，清洁解控后作为普通医疗废物处置；最终与医院医疗废物统一交由有危废处理资质的单位处理；辐射工作人员会产生少量的生活垃圾及办公垃圾由环卫部门统一定期清运。

六、环保设施与保护目标

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

七、事故风险与防范

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

八、辐射安全管理的综合能力

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

九、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，建设单位环保之家论坛网站上进行了公示，截至报告送审前，未收到单位和个人有关项目情况的反馈意见。

十、项目环保可行性结论

在坚持“三同时”的原则，采取切实可行的环保措施，落实本报告提出的各项污染防治措施，本评价认为从环境保护和辐射防护角度看，本项目在都江堰市灌温路 88 号都江堰华瑞医院内的建设是可行的。

十一、项目环保竣工验收检查内容

表 13-1 项目环保竣工验收检查一览表

项目	辐射安全防护设施	数量（套/个）
直线加速器		
实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	***
	铅防护门	***
控制台及安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	***
	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	***
	条件显示连锁、控制超剂量的连锁装置、时间控制连锁	***
	门机连锁、门灯连锁	***
警示装置	入口电离辐射警示标志	***
	入口加速器工作状态显示	***
	机房内准备出束音响提示	***
	控制台上蜂鸣器	***
紧急设施	紧急开门按钮	***
	监控、对讲装置	***
	紧急停机按钮	***
监测设备	机房内固定式剂量报警仪	***
	便携式辐射监测仪	***
	个人剂量报警仪	***
	个人剂量计	***
防护器材	通风系统	***
核医学科		
工作场所	防护墙体	***
	铅防护门	***
	观察窗	***
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料、铅桶、废物桶	***
	活度计	***
	注射防护套	***
	给药窗口	***
	通风橱	***
	核素暂存保险柜、防盗门	***

	病人专用卫生间	***
	对讲和视频监控系统	***
	通道门禁	***
	场所门外电离辐射警示标志	***
监测设备	个人剂量计	***
	个人剂量报警仪	***
	表面污染监测仪	***
	γ辐射监测仪	***
放射性废物和废液	放射性废水衰变池	***
	放射性表面去污用品和试剂	***
	防护手套、口罩等防护用品	***
防护器材	通风系统	***
DSA		
场所设施	四周墙体+硫酸钡涂层	***
	机房防护门	***
	操作位局部屏蔽防护设施	***
	观察窗	***
	紧急停机按钮	***
	门灯连锁	***
	监控、对讲系统	***
警示装置	入口处电离辐射警告标志	***
	入口处机器工作状态显示	***
	操作警示装置	***
监测设备	便携式辐射监测仪	***
	个人剂量计	***
	个人剂量报警仪	***
防护设施	医护人员个人防护	***
	患者防护	***
防护器材	通风系统	***
ERCP		
场所设施	四周墙体+硫酸钡涂层	***
	机房防护门	***
	操作位局部屏蔽防护设施	***
	观察窗	***
	紧急停机按钮	***
	门灯连锁	***
	监控、对讲系统	***
警示装置	入口处电离辐射警告标志	***
	入口处机器工作状态显示	***
	操作警示装置	***
监测设备	便携式辐射监测仪	***
	个人剂量计	***

	个人剂量报警仪	***
防护设施	医护人员个人防护	***
	患者防护	***
防护器材	通风系统	***
	灭火器材	***
	火灾报警仪	***
III类射线装置		
实体防护	墙体、铅防护门、观察窗	***
警示装置	工作状态指示灯	***
	电离辐射警告标志	***
紧急设施	门机连锁、门灯连锁装置	***
	室内安装紧急制动装置	***
	对讲装置	***
监测设备	个人剂量计	***
防护设施	病人、陪护人员防护	***
防护器材	通风系统	***
管理制度	详见表12-1	/

建议和要求

- 1、建设单位应加强与周边公众的沟通，做好解释协调工作。
- 2、落实本报告中的各项辐射防护措施和安全管理制度的。
- 3、定期组织辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的学习与考核，成绩合格单到期，应再次考核。
- 4、每年要对射线装置使用情况进行年度评估，每年1月31日前将评估结果报送省生态环境厅和当地生态环境部门，安全和防护状况年度评估报告要按照《四川省核技术利用单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》固定的格式进行编制；并且年度评估报告的电子档还应上传至全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn>）。
- 5、经常检查辐射工作场所的电离辐射标志和电离辐射警告标志，工作状态指示灯，若出现松动、脱落或损坏，应及时修复或更换。
- 6、医院须重视控制区和监督区的管理。
- 7、射线装置在报废处置时，应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化。
- 8、医院在更换辐射安全许可证之前，需登录全国核技术利用辐射安全申报系统（网址：<http://rr.mee.gov.cn>），对相关信息进行修改。

9、本次环评仅涉及核医学科及工作场所，射线装置及其工作场所，日后如有变化，应另作环境影响评价。

10、若今后该核医学科不再使用，医院必须经生态环境主管部门监测并进行乙级非密封放射性工作场所退役环评后，方可再行使用。

11、加速器退役时，应对加速器部件的感生放射性进行一次调查，测定辐射水平，高于豁免值的部件应作为放射性固体废物进行处理。

12、根据原环保部《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4号）规定：

（1）建设单位可登陆生态环境部网站查询建设项目竣工环境保护验收相关技术规范（<http://www.mee.gov.cn/>）。

（2）项目竣工后，建设单位应当如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收（调查）报告。

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

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

①本项目配套建设的环境保护设施竣工后，公开竣工日期；

②对项目配套建设的环境保护设施进行调试前，公开调试的起止日期；

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

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