

JXHG(35)-2025-012

核技术利用建设项目

莆田学院附属医院

1 台医用直线加速器和 1 台 DSA 机项目

环境影响报告表

(公开版)



莆田学院附属医院

二〇二五年十二月

表 1 项目基本情况

项目名称	莆田学院附属医院 1 台医用直线加速器和 1 台 DSA 机项目				
建设单位	莆田学院附属医院				
法人代表	蔡**	联系人	林**	联系电话	150****9316
注册地址	福建省莆田市荔城区东圳东路 999 号、梅园东路 181 号、紫霄东路 2121 号中 12#106 室，城厢区学园中街 1133 号金荣楼 A406 室、A407 室				
项目建设地点	莆田市荔城区东圳东路 999 号莆田学院附属医院新院区住院部负一层、急重症诊疗中心大楼二层				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）	**	项目环保投资（万元）	**	投资比例（环保投资/总投资）	**%
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积（m ² ）	直线加速器：216 DSA:78.7
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
	其他	/			

1.1 建设单位情况

莆田学院附属医院（莆田市第二医院）是福建省最早的医院之一，创建于 1896 年（清光绪廿二年），前身系英国教会创办的“兴化圣教医院”，1912 年改称“莆田圣路加医院”，并附设“圣路加高级护士助产职业学校”。1953 年改名“莆田医院”，2002 年升格更名为“莆田市第二医院”，2003 年升格易名为“莆田学院附属医院”，2009 年挂牌“南方医科大学附属莆田医院”（非直属）。现为国家爱婴医院、国际紧急救援中心网络医院、全国综合医院中医药工作示范单位、全国改善医疗服务示范单位、福建省道路交通事故伤员救治定点医院，福建省城镇职工医疗保险定点医院，福建省医保联网医院，是一所集医疗、教学、科研、急救、预防、康复、保健为一体的大型综合性三级甲等医

院。

医院科室齐全，实力雄厚。现有职工 2600 多人，设立 74 个临床、医技科室，40 个病区，32 个专科专病门诊。医院分两个院区，分别为梅峰院区（老院区）和延寿院区（新院区）。梅峰院区位于莆田市荔城区梅园东路 181 号，延寿院区位于莆田市荔城区东圳东路 999 号。梅峰院区设急诊科、口腔科、儿童重症医学等科室，拥有 CT、DR、牙片机等设备；延寿院区设核医学科、介入科、放疗科、医学影像科、口腔科等科室，拥有 SPECT 机房、DSA、直线加速器、CT、DR、口腔 CT、胃肠机等设备。

1.2 建设内容与项目由来

1.2.1 建设内容

2013 年，莆田学院附属医院为提升医疗服务能力，在莆田市荔城区东圳东路 999 号建设新院区，委托福建省辐射环境监督站编制了《莆田学院附属医院核技术应用项目环境影响报告表》，并于 2013 年 10 月 21 日取得原福建省环境保护厅环评批复文件（闽环辐评〔2013〕41 号）。由于诊疗需求变化，医院新院区住院部负一层 2 台直线加速器实际仅直线加速器机房 2 完成设备安装使用，直线加速器机房 1 完成机房混凝土墙体建设后闲置至今。除直线加速器机房 1 外，医院其他核技术利用项目均已投入使用并完成了竣工环境保护验收。

为满足日益增长的医疗服务需求，提高服务质量和服务水平，医院拟在新院区住院部负一层直线加速器机房 1 安装使用 1 台 Elekta Harmony Pro 型医用直线加速器，为 II 类射线装置。本次拟安装使用的设备主要技术指标与原环评技术指标对照情况详见表 1-1。

表 1-1 原环评和本次拟建医用直线加速器主要技术指标对照

主要技术指标	原环评设备参数	拟建设备参数
型号	Precise	Elekta Harmony Pro
最高 X 射线能量	未明确	6MV
最高电子线能量	18MeV	12MeV
最大输出剂量率	6Gy/min	14Gy/min

由于本次拟使用的 1 台 Elekta Harmony Pro 型医用直线加速器最大输出剂量率较原环评设备增加 50%以上，现有屏蔽墙体无法满足防护需求，医院拟对直线加速器机房 1 进行改造，主要建设内容为对直线加速器机房 1 的局部混凝土墙体进行加厚，安装防护门和通风系统并完善工作状态指示灯、急停按钮等辐射安全设施。

本项目直线加速器机房 1 改造前后辐射防护屏蔽方案见表 1-2。

表 1-2 直线加速器机房 1 辐射防护措施一览表

机房名称	项目	已建屏蔽方案	改造后屏蔽设计方案	
线加速器 机房 1	东墙	迷路内墙：90~120cm 厚混凝土 迷路外墙：90cm 厚混凝土	迷路内墙：90~140cm 厚混凝土 迷路外墙：90cm~125cm 厚混凝土	
	南 墙	主屏蔽	302cm 厚混凝土，内凸宽度 4.03m	302cm 厚混凝土，内凸宽度 4.03m
		次屏蔽	126cm 厚混凝土	156cm 厚混凝土
	西墙	130cm 厚混凝土	165cm 厚混凝土	
	北墙	800cm 厚混凝土	800cm 厚混凝土	
	顶 棚	主屏蔽	280cm 厚混凝土，外凸宽度 4.03m	280cm 厚混凝土，外凸宽度 4.03m
		次屏蔽	110cm 厚混凝土	110cm 厚混凝土
	地板	110cm 厚混凝土	110cm 厚混凝土	
防护门	未安装	内衬 20mm 厚铅板+11cm 含硼聚乙烯		

注：混凝土密度不低于 2.35g/cm³，铅密度不低于 11.3g/cm³。

同时，医院拟在新院区急重症诊疗中心大楼二层建设 1 间 DSA 机房，并购置 1 台 DSA（管电压≤150kV，管电流≤1250mA），属于 II 类射线装置。

本项目射线装置应用情况详见表 1-3。

表 1-3 本项目射线装置一览表

序号	设备名称	型号	数量 (台)	设备参数	建设位置	类别
1	医用直线加速器	Elekta Harmony Pro	1	X 射线：6MV 和 6MV（FFF 模式）， X 射线等中心处最高输出剂量率： 6MV X 射线，600cGy/min（360Gy/h）； 6MV（FFF 模式）X 射线，1400cGy/min （840Gy/h）； 电子线：6MeV、9MeV、12MeV； 电子线等中心处最高输出剂量率： 600cGy/min（360Gy/h）。 设备自带锥形束计算机断层扫描系统 （CBCT），最大管电压 150kV，最大 管电流 500mA。	新院区住院部 负一层直线加 速器机房 1	II 类
2	DSA	待定	1	管电压：≤150kV，管电流：≤1250mA	新院区急重症 诊疗中心大楼 二层 DSA4 机房	II 类

1.2.2 项目由来

根据“关于发布<射线装置分类>的公告（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号）”可知，本项目医用直线加速器、DSA 机属于 II 类射线装置。

根据《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》《建设项目环境保护管理条例》和《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）等国家环境管理相关法律法规的规定，本项目 1 台医用直线加速器为改建项目，且不属于免于编制环境影响评价文件的核技术利用项目范围，同时本次新建 1 台 DSA 机，应进行

辐射环境影响评价并编制环境影响报告表。

莆田学院附属医院于 2025 年 11 月正式委托江西省地质局实验测试大队进行本项目环境影响评价（委托书详见附件 1）。江西省地质局实验测试大队接受委托后，立即组织人员进行现场踏勘和资料收集等相关工作，并在此基础上编制完成了本项目的环评报告表。

1.3 项目地理位置及周边环境

莆田学院附属医院新院区位于莆田市荔城区东圳东路 999 号，中心坐标为：北纬 25°27'03.27"，东经 119°01'40.20"，莆田学院附属医院新院区东侧为延寿北街，南侧为东圳东路，西侧为延寿溪，北侧为荔城区第一实验小学。

本项目拟改建直线加速器机房 1 位于住院部负一层，住院部东侧为院内道路和停车场，南侧为院内道路、门急诊楼和变配电所，西侧为院内道路、北侧为配电房、院内道路和肺科病房大楼。直线加速器机房 1 东侧为冷却机房、操作室和入口缓冲区，南侧为走廊，西侧为直线加速器机房 2，北侧为土层，上方为配电房，下方为土层。直线加速器机房 1 周围环境见下表 1-4。

表 1-4 直线加速器机房 1 周围环境

名称	东侧	南侧	西侧	北侧	楼上	楼下
住院部	院内道路和停车场	院内道路、门急诊楼和变配电所	院内道路	配电房、院内道路和肺科病房大楼	/	/
直线加速器机房 1	冷却机房、操作室和入口缓冲区	走廊	直线加速器机房 2	土层	配电房	土层

本项目拟建 1 台 DSA 位于急重症诊疗中心大楼二层 DSA4 机房，急重症诊疗中心大楼东侧为院内道路和延寿北街，南侧为院内道路，西侧为肺科病房大楼和停车场，北侧为院内道路和荔城区第一实验小学。DSA4 机房东侧为设备间和病人走廊，西侧为控制室，南侧为 DSA5 机房，北侧为 DSA3 机房，上方为预留用房，下方为抢救大厅、急诊胃镜室、急诊气管镜室和心电室。本项目 DSA 机房四周相邻工作场所周围环境见表 1-5。

表 1-5 DSA4 机房四周相邻工作场所周围环境

位置	东侧	南侧	西侧	北侧	楼上	楼下
急重症诊疗中心大楼	院内道路、延寿北街	院内道路和停车场	肺科病房大楼和停车场	院内道路、荔城区第一实验小学	/	/
DSA4 机房	设备间和病人走廊	DSA5 机房	控制室	DSA3 机房	预留用房	抢救大厅、急诊胃镜室、急诊气管镜室和心电室

本项目医用直线加速器机房 1 和 DSA4 机房位置相对独立，与周边非放射性工作场所隔开，周边人员停留较少，机房大小、屏蔽物质厚度等符合相关标准要求，选址充分考虑了邻室及周围场所的人员防护与安全，避开了人群聚集点。本项目机房辐射屏蔽防护墙体边界外 50m 评价范围内无学校、居民区等环境敏感区，主要为院内建筑及院内道路，且周围辐射环境现状质量良好，项目工作场所选址合理，分别符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的选址要求。

1.4 与“生态环境分区管控”相符性分析

（1）生态保护红线

本项目位于福建省莆田市荔城区东圳东路 999 号新院区，根据《莆田市人民政府关于印发莆田市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（莆政综〔2020〕112 号）可知，项目用地不在莆田市生态保护红线范围内，本项目符合生态保护红线要求。

（2）环境质量底线

根据现场监测，本项目拟建场址及周围环境的辐射本底水平未见异常。根据辐射环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射在采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的。项目无放射性废气、废水和固体废弃物产生，项目运行时产生的少量氮氧化物和臭氧，通过通风设施可满足相关要求，符合环境质量底线要求。

（3）资源利用上线

本项目运营过程中会消耗一定量的水、电资源，主要来自工作人员的日常工作用水和设施用电，但项目规模小，资源消耗量相对区域资源利用总量较少，符合资源利用上线要求。

（4）生态环境准入清单

根据福建省生态环境分区管控数据应用平台综合查询报告可知，本项目位于荔城区重点管控区（ZH35030420004），本项目生态环境准入要求符合性分析见表 1-6。

表 1-6 本项目生态环境准入要求符合性分析一览表

环境管控单元及代码	单元类型	准入要求	本项目情况	符合性
荔城区重点管控区 (ZH35030420004)	空间布局约束	<p>1.严禁在人口聚集区新建涉及化学品和危险废物排放的项目，城市建成区内现有重污染企业环保搬迁项目须实行产能等量或减量置换。2.新建企业原则上均应布局在工业集聚区。引导现有企业向依法合规设立、环保设施齐全、符合规划环评要求的工业集聚区集中。3.禁止在城镇居民区、文化教育科学研究区等人口集中区域建设畜禽养殖场、养殖小区。4.对于区域内基本农田：在永久基本农田集中区域，不得新建可能造成土壤污染的建设项目；已经建成的，应当限期关闭拆除。从严管控非农建设占用永久基本农田。不得随意调整和占用已划定的永久基本农田，特别是城市周边永久基本农田。一般建设项目不得占用永久基本农田；重大建设项目选址确实难以避让永久基本农田面积的，要按照“数量不减、质量不降、布局稳定”的要求，在储备区内选择数量相等、质量相当的地块进行补划。坚持农地农用，禁止任何单位和个人在永久基本农田保护区范围内建窑、建房、挖沙、采石、采矿、取土、堆放固体废弃物或者进行其他破坏永久基本农田的活动。合理引导永久基本农田进行农业结构调整，不得对耕作层造成破坏。</p>	<p>本项目为核技术利用建设项目，主要为放射诊疗，不属于空间布局约束中禁止引入的项目，建设地点位于莆田市荔城区东圳东路 999 号莆田学院附属医院用地红线内，不占用永久基本农田。</p>	符合
	重点管控单元	<p>1.县（市）城市建成区基本实现生活污水全收集全处理。工业企业排水水质要符合国家或地方相关排放标准规定。对已经进入市政污水收集处理设施的工业企业进行排查、评估。经评估认定污染物不能被城镇污水处理厂有效处理或可能影响城镇污水处理厂出水稳定达标的，应限期退出市政管网，向园区工业污水集中处理设施聚集。在退出市政管网之前，应采取预处理等措施，降低对城镇生活污水处理厂的影响。2.新、改、扩建涉二氧化硫、氮氧化物和 VOCs 项目，落实排放总量控制要求。3.排放重点管控新污染物的企事业单位应采取污染控制措施，达到相关污染物排放标准及环境质量目标要求；排放重点管控新污染物的企事业单位和其他生产经营者依法对排放（污）口及其周边环境定期开展环境监测，依法公开新污染物信息，排查整治环境安全隐患，评估环境风险并采取环境风险防范措施。土壤污染重点监管单位应严格控制有毒有害物质排放，建立土壤污染隐患排查制度，防止有毒有害物质渗漏、流失、扬散。对使用有毒有害化学</p>	<p>医院已接入市政污水管网，可实现污水全部收集处理。本项目不属于大气污染型项目，使用过程中产生的氮氧化物极少，不排放重点管控新污染物。</p>	符合

		物质或在生产过程中排放新污染物的企业，全面实施强制性清洁生产审核。		
	环境风险防控	1.对单元内具有潜在土壤污染环境风险的企业，应建立健全环境风险防控体系，制定环境风险应急预案，建设突发事件应急物资储备库，成立应急组织机构。2.强化环境影响评价审批管理，严格涉新污染物建设项目准入管理。对列入国家《重点管控新污染物清单》（2023年版）中的新污染物，持续推动禁止、限制、限排等环境风险管控措施。3.对使用有毒有害化学物质进行生产或者在生产过程中排放有毒有害化学物质的企业依法实施强制性清洁生产审核，全面推进清洁生产改造。	本项目无土壤污染环境风险，不产生《重点管控新污染物清单》（2023年版）中的新污染物，不使用有毒有害化学物质。	符合
	资源开发效率要求	1.高污染燃料禁燃区内，禁止燃用高污染燃料，禁止新建、改建、扩建燃用高污染燃料的设施。2.优化能源结构，持续减少工业煤炭消费，对以煤、石焦油、渣油、重油为燃料的锅炉和工业炉窑，加快使用清洁低碳能源以及工厂余热、电力热力等替代，提高能源利用效率，推进园区集中供热；每小时35蒸吨以下燃煤锅炉通过集中供热、清洁能源替代、深度治理等方式全面实现转型、升级、退出；城市建成区外保留的燃煤、燃油、燃生物质锅炉应达到《锅炉大气污染物排放标准》（GB13271-2014）的特别排放限值要求，鼓励按超低排放要求进一步提升污染治理水平，燃生物质锅炉参照燃煤锅炉执行。	本项目不使用高污染燃料，不使用工业煤炭。	符合

综上，本项目不涉及生态保护红线，不会突破区域环境质量底线、资源利用上线，符合莆田市生态环境分区管控的要求，项目符合“生态环境分区管控”要求。

1.5 与“三区三线”管控方案的相符性

“三区三线”是根据城镇空间、农业空间、生态空间三种类型的空间，分别对应划定的城镇开发边界线、永久基本农田保护红线、生态保护红线三条控制线。根据福建省自然资源厅“统一底图、统一标准、统一规划、统一平台”的原则，结合莆田市已发布的“生态环境分区管控”管控要求，本项目不占用城镇开发边界、永久基本农田保护红线、生态保护红线。本项目位于莆田学院附属医院用地红线内，用地性质属于医疗用地，符合当地的土地利用规划。综上分析，本项目与“三区三线”的管控方案相符合。

1.6 可行性分析

本项目的建设有利于其周边区域医疗卫生服务水平的提升，改善患者的诊疗环境，在保障病人健康的同时也为医院创造了良好的经济效益，符合辐射防护“实践的正当性”原则。本项目考虑了经济和社会因素之后，通过采取机房辐射防护措施以将辐射环境影响

响保持在可合理达到的尽量低的水平，符合辐射防护“最优化”原则。本项目通过对潜在照射所致危险实施控制，使项目所引起的个人照射可满足剂量限值要求，符合辐射防护“剂量限值”原则。项目在加强管理后均满足国家相关法律、法规和标准的要求，不会给所在区域带来环境压力。

根据《产业结构调整指导目录（2024年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第7号，2024年2月1日起施行），本项目属于“十三、医药”中“4. 高端医疗器械创新发展、高性能医学影像设备，高端放射治疗设备”，为鼓励类，因此本项目建设符合国家当前产业政策。

1.7 评价目的

(1) 对本项目核技术利用场所及周边的辐射环境现状进行现场调查和监测，掌握该场址的辐射水平和辐射环境质量现状。

(2) 通过环境影响评价，预测本项目对其周围环境影响的程度和范围，提出环境污染对策，为本项目的辐射环境管理提供科学依据。

(3) 对不利影响和存在的问题提出防治措施，使辐射环境影响满足相关标准要求和减少到“可合理达到的尽量低的水平”。

(4) 提出环境管理和环境监测计划，使该项目满足国家和地方生态环境部门对建设项目环境管理规定的要求，为辐射环境管理提供科学依据。

1.8 评价因子及评价重点

本项目污染因子为医用直线加速器和 DSA 应用过程中产生的电离辐射。本次评价因子包括：周围剂量当量率，有效剂量等，重点评价医用直线加速器和 DSA 使用过程中产生的电离辐射对环境敏感点人群的影响。

1.9 原有核技术利用项目许可情况

医院已取得了辐射安全许可证，证书编号为闽环辐证[00139]，许可的种类和范围为使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所，证书有效期至 2030 年 3 月 6 日。

莆田学院附属医院原有核技术利用项目已履行环保手续，详见表1-7和表1-8。

表 1-7 医院新院区已许可非密封放射性物质一览表

序号	核素名称	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	等级	环评情况	验收情况	使用场所
1	F-18	1.85×10^7	4.63×10^{12}	乙级	闽环辐评(2013)	闽环辐验(2016)	住院部 1 楼核医

2	I-125 (粒子源)	4.1×10^7	4.8×10^{11}	41号	2号	学科
3	C-14	9.5×10^3	2.38×10^6			
4	I-125	1.71×10^5	4.8×10^7			
5	Sr-89	7.4×10^6	1.85×10^{11}			
6	I-131	3.33×10^9	1.67×10^{12}			
7	Tc-99m	4.44×10^7	5.55×10^{12}			

表 1-8 医院已许可射线装置一览表

序号	设备名称	型号	类别	数量	环评情况	验收情况	使用场所
新院区							
1	直线加速器	Precise	II	1台	闽环辐评 (2013)41号	闽环辐验 (2016)2号	住院部地下1楼 直线加速器机房
2	血管造影 X射线装置	AXIOM ArtisdFA	II	1台			住院部1楼介入 导管室机房1
3	血管造影 X射线装置	Artis Q Ceiling	II	1台			住院部介入导管 室机房2
4	血管造影 X射线装置	Artis ZeeIII ceiling	II	1台	闽环辐评 (2024)27号	2024年7月 27日通过竣 工环保自主 验收	住院部介入导管 室机房3
5	移动DR	uDR380i	III	1台	已环评	/	肺科大楼病房
6	X射线计算机 断层摄影设备	IncisiveCT	III	1台			肺科大楼一楼CT 机房
7	方舱CT	uCT710	III	1台			省级区域医疗中 心一期急重症诊 疗大楼项目一期 工程一楼CT室
8	口腔CT	SS- X10010DPI us	III	1台			门诊2楼口腔科 口腔CT1机房
9	口腔颌面锥形 束计算机体层 摄影设备	mDX- 13STTB1A	III	1台			门诊2楼口腔科 口腔CT2机房
10	牙科X射线机	RAY98 (M)	III	1台			门诊2楼口腔科 牙科X射线机 机房
11	CT	GE	III	1台			医技楼1楼医学

		Lightspeed					影像科 CT1 机房
12	CT	SOMATOM Definition Flash	III	1 台			医技楼 1 楼医学 影像科 CT2 机房
13	CT	Somatom sensation16	III	1 台			医技楼 1 楼医学 影像科 CT7 机房
14	数字化 X 射线 摄影系统	VX3733- SYS	III	1 台			医技楼 1 楼医学 影像 DR1 机房
15	数字化 X 线机 摄影机 (DR)	Digital Diagnost	III	1 台			医技楼 1 楼医学 影像 DR2 机房
16	乳腺钼靶机	Siemen MammoMA TInspiration	III	1 台			医技楼 1 楼医学 影像科乳腺钼靶 机机房
17	数字胃肠机	GMM OPERA TSOCS	III	1 台			医技楼 1 楼医学 影像科数字胃肠 机机房
18	车载 CT	uCT528	III	1 台			移动车载 CT 机房
19	SPECT/CT	Infinia Hawkey4	III	1 台			住院部 1 楼核医 学科 SPECT 机房
20	双能 X 射线骨 密度仪	Discovery Wi	III	1 台			住院部 1 楼核医 学科骨密度仪机 房 1
21	移动式 C 型臂机	ARCADIS Orbic	III	1 台			住院部 2 楼骨科 手术室 2
22	移动式 C 型臂机	Ziehm Solo FD	III	1 台			住院部 2 楼骨科 手术室 8
23	移动式 C 型臂机	Ziehm solo	III	1 台			住院部 2 楼骨科 手术室 9
24	移动式数字化 X 射线成像 系统	uDR370i	III	1 台			住院部 2 楼重症 医学科
老院区							
25	X 射线计算机 体层摄影设备	Optima CT670	III	1 台	已环评	/	旧院门诊楼急诊 科旁 CT 机房
26	移动 DR	uDR380i	III	1 台			旧院住院病房 8 楼新生儿科
27	DR1	Digital diagnost systemsVR	III	1 台			旧院综合医技楼 2 楼 DR1 机房
28	胃肠机	Uni-vision	III	1 台			旧院综合医技楼 2 楼胃肠机房
29	小牙片	ORTHOP HOSXG5 DSCeph	III	1 台			梅峰院区门诊四 楼口腔科 X 射线 机机房
30	全景牙科机	ORTHOP	III	1 台			梅峰院区门诊四

		HOSXG					楼口腔科全景牙科机机房
--	--	-------	--	--	--	--	-------------

1.10 辐射安全管理情况

莆田学院附属医院现有辐射工作场所的辐射防护设施运行工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

(1) 医院已成立辐射安全与环境保护管理领导小组全面负责医院辐射安全及应急管理工作。医院已制定《辐射安全管理规定》《辐射工作人员岗位职责》《辐射设备监测维修制度》《辐射工作人员培训制度》《个人剂量监测管理制度》《辐射工作人员档案管理制度》《辐射工作定期自查和监测制度》《辐射防护目标管理值制度》《DSA 设备操作规程》《直线加速器操作规程》等规章制度，并要求工作人员严格按照规章制度要求执行。

(2) 医院每年委托有资质的单位对医院辐射工作场所进行监测，监测结果表明，医院各辐射工作场所周围剂量当量率均符合相关标准要求。

(3) 医院辐射工作场所设置有电离辐射警告标志、工作状态指示灯和门灯联锁装置。

(4) 医院于每年1月31日前提交上一年度年度评估报告，2024年年度评估报告已上传至“全国核技术利用辐射安全申报系统”进行备案。

(5) 医院各辐射工作场所均已配备铅衣、铅帽、铅围脖等必要的个人辐射防护用品。

(6) 医院辐射工作人员培训、个人剂量监测和职业健康监护档案情况：

①辐射工作人员培训：医院现有辐射工作人员137人，II类射线装置工作人员均参加了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>）关于辐射安全与防护知识的学习，并取得了考核合格证书；III类射线装置的使用人员已按照《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部 公告2021年第9号）的有关要求，自行组织了培训考核，考核成绩均合格，持证上岗。

②医院所有工作人员均配有个人剂量计，接受剂量监测，建立个人剂量监测档案并存档，根据医院2024年第一季度至第四季度年度个人剂量监测结果可知，医院辐射工作人员年有效剂量均低于5mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）标准要求。

③医院辐射工作人员均已参加职业健康体检，建立了健康体检档案，根据体检结果对受检者从事放射工作提出适任性意见，对于体检异常人员，暂时脱离辐射工作并进行复查，根据复查结果的处理意见确认人员是否可继续从事原放射工作。

1.11 环保投资

本项目总投资为**万元，其中环保投资为**万元，占总投资的**%。环保投资情况见表1-9。

表 1-9 环保投资情况一览表

环保措施	环保投资金额 (万元)	
直线加速器机房 1 墙体改造、铅门、穿墙管道防护，DSA4 机房墙体铅防护、观察窗等、铅门、穿墙管道防护等。	**	合计: **
直线加速器机房 1、DSA4 机房通风。	**	
铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅橡胶帽，介入防护手套等。	**	
固定式监测仪、便携式辐射剂量率仪和个人剂量报警仪等。	**	
监控装置、对讲装置、门禁系统、紧急停机按钮、工作状态指示灯、电离辐射警告标志、规章制度上墙等。	**	
安排辐射工作人员进行职业健康体检、个人剂量监测等。	**	
环保手续费和年度监测费用等。	**	

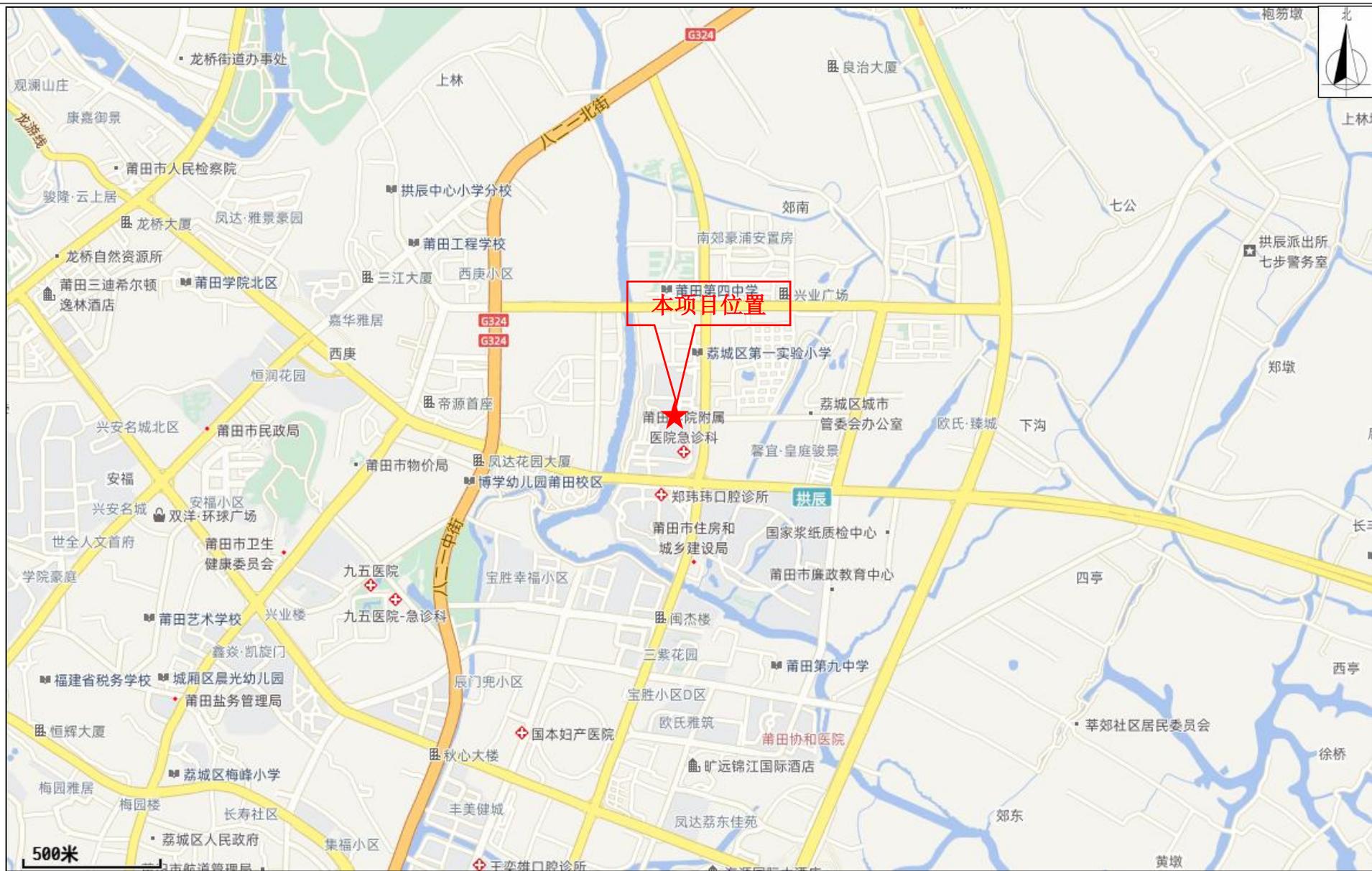


图 1-2 项目地理位置图

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

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

注：日等效最大操作量和操作方式见国家标准《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 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用直线加速器	II类	1	Elekta Harmony Pro	电子	X 射线：6MV； 电子线： 12MeV。	X 射线：6MV、6MV（FFF 模式）， 电子线：6MeV、9MeV、12MeV 等中心处最大输出剂量率： 6MVX 射线，360Gy/h； 6MV（FFF 模式）X 射线，840Gy/h； 电子线为 360Gy/h； CBCT 模块：150kV、500mA	放射 治疗	新院区住院部 负一层直线加 速器机房 1	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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	数字平板减影血管 造影机 (DSA)	II类	1台	待定	150	1250	介入治疗	新院区急重症诊疗中心大楼二 层 DSA4 机房	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 6 评价依据

<p>法律、 法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，（2014年4月24日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订，2015年1月1日起施行）；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（中华人民共和国主席令第二十四号，2018年12月29日起施行）；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（中华人民共和国主席令第六号，2003年10月1日起施行）；</p> <p>(4) 《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》（国务院令682号，2017年10月1日起实施）；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（中华人民共和国国务院令709号，2019年修订）；</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版，生态环境部令第16号）；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定，生态环境部令第20号）；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（国家环境保护部令第18号，2011年5月1日起施行）；</p> <p>(9) 《关于印发辐射安全许可座谈会会议纪要的函》（环办函〔2006〕629号，2006年9月28日印发）；</p> <p>(10) 《关于明确核技术利用辐射安全监督有关事项的通知》（中华人民共和国环境保护部，环办辐射函〔2016〕430号）；</p> <p>(11) 《关于发布射线装置分类办法的公告》（国家环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告2017年第66号，2017年12月6日起实施）；</p> <p>(12) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令7号，2024年2月1日起施行）；</p> <p>(13) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145号，2006年9月26日）；</p> <p>(14) 《关于印发核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲（试行）的通知》（闽环保辐射〔2013〕10号）；</p> <p>(15) 《福建省生态环境保护条例》（福建省第十三届人民代表大会常务委员会第三十二次会议通过，2022年5月1日施行）；</p> <p>(16) 《国家危险废物名录（2025年版）》，2025年1月1日起施行。</p>
--------------------------	---

<p>技术标准</p>	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》 (HJ 10.1-2016) ;</p> <p>(2) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》 (HJ 2.1-2016) ;</p> <p>(3) 《放射诊断放射防护要求》 (GBZ 130-2020) ;</p> <p>(4) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分: 一般原则》 (GBZ/T 201.1-2007);</p> <p>(5) 《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>(6) 《放射治疗放射防护要求》 (GBZ 121-2020) ;</p> <p>(7) 《放射治疗辐射安全与防护要求》 (HJ 1198-2021) ;</p> <p>(8) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》 (HJ 1157-2021) ;</p> <p>(9) 《医用电气设备第 1-3 部分: 基本安全和基本性能的通用要求-并联标准: 诊断 X 射线设备的辐射防护》 (GB9706.103-2020) ;</p> <p>(10) 《医用血管造影 X 射线机专用技术条件》 (YY/T 0740-2022) 及其修改单;</p> <p>(11) 《职业性外照射个人监测规范》 (GBZ128-2019) ;</p> <p>(12) 《辐射环境监测技术规范》 (HJ 61-2021) ;</p> <p>(13) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB 18871-2002) 。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 委托书 (附件 1) ;</p> <p>(2) 《中国环境天然放射性水平》 (中国原子能出版社, 2015年) ;</p> <p>(3) 《Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities》 (NCRP Report No.147);</p> <p>(4) 《辐射防护手册 第一分册 (辐射源与屏蔽)》 (李德平、潘自强主编) ;</p> <p>(5) 《辐射防护导论》 (方杰主编) ;</p> <p>(6) 《医用外照射源的辐射防护》 (国际放射防护委员会第33号出版物) ;</p> <p>(7) 现状监测报告;</p> <p>(8) 其他技术资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目为使用 II 类射线装置，依据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016），放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）。考虑到本项目的实际情况，本次项目评价范围为直线加速器机房 1 和 DSA4 机房屏蔽墙体外 50m 范围。

7.2 保护目标

根据对本项目周围环境的现场踏勘和调查，本项目主要环境保护目标为本项目辐射工作人员和直线加速器机房 1、DSA4 机房 50m 范围内非辐射工作人员、患者、家属及其他公众人员。本项目环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 环境保护目标一览表

环境保护对象		相对方位	距离	规模	剂量限值	
住院部负一层直线加速器机房 1	职业人员	东侧操作室、冷却机房	≥0.3m	2 人	5mSv/a	
	公众人员	南侧走廊	≥0.3m	流动人员		
		西侧直线加速器机房 2	≥0.3m	约 2 人	0.1mSv/a	
		上方配电房	≥1.7m	约 2 人		
		住院部内其他区域	≥0.3m	约 500 人		
		北侧肺科病房大楼	≥27m	约 600 人		
		西北侧气体设备房	≥40m	约 1 人		
	屏蔽墙 50m 范围内流动人员	≤50m	流动人员			
急重症诊疗中心大楼二层 DSA4 机房	职业人员	操作人员	西侧控制室	≥0.3m	2 人	5mSv/a
		介入人员	DSA4 机房内	--	2~3 人	
	公众人员	医院工作人员、病人、陪护人员以及医院院内道路流动人员	东侧设备间	≥0.3m	约 1 人	0.1mSv/a
			东侧病人走廊	≥0.3m	流动人员	
			南侧 DSA5 机房	≥0.3m	约 3 人	
			西侧控制室	≥0.3m	约 4 人	
			北侧 DSA3 机房	≥0.3m	约 3 人	
			上方预留用房	≥0.3m	约 200 人	
			下方抢救大厅、急诊胃镜室、急诊气管镜室和心电室	≥0.3m	约 35 人	
			急重症诊疗中心大楼内其他区域	≥0.3m	约 1000 人	
屏蔽墙 50m 范围内流动人员	≤50m	流动人员				

7.3 评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

第 4.3.2.1 款 应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量当量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

B1 剂量限值

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），
20mSv；

本项目取其四分之一即 5mSv/a 作为剂量约束值。

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众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下述限值：

年有效剂量，1mSv；

本项目取十分之一 0.1mSv/a 作为剂量约束值。

表 7-2 本项目人员年有效剂量约束值

人员类别	标准限值	剂量约束值
职业照射	连续5年的年平均有效剂量小于20mSv	5mSv/a
公众照射	年平均剂量估计值不应超过1mSv	0.1mSv/a

二、《放射治疗辐射防护与安全要求》（HJ1198-2021）

6.1.4 剂量控制应符合以下要求

(a) 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。

(b) 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。使用大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。

(c) 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。

(d) 剂量控制应符合以下要求:

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

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

机房外辐射工作人员: $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$; 机房外非辐射工作人员: $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

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

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

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

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

c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶, 机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100 \mu\text{Sv/h}$ 加以控制(可在相应位置处设置辐射告示牌)。

8.4 气态废物管理要求

8.4.1 放射治疗室内应设置强制排风系统, 采取全排全送的通风方式, 换气次数不少于 4 次/h, 排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。

三、《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)

6.X 射线设备机房防护设施的技术要求

6.1: X 射线设备机房布局

6.1.1: 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置, 应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

6.1.2: X 射线设备机房(照射室)应充分考虑邻室(含楼上和楼下)及周围场所的人员防护和安全。

6.1.3: 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房, 机房应满足使用设备的布局要求。

6.1.5: 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外, 对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房, 其最小有效使用面积、最小

单边长度应符合表 7-3 要求。

表 7-3 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 m ²	机房内最小单边长度 m
单管头 X 射线设备 ^b (含 C 形臂, 乳腺 CBCT)	20	3.5

^b 单管头、双管头或多管头 X 射线机的每个管球各安装在 1 个房间内。

6.2: X 射线设备机房屏蔽

6.2.1: 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 7-4 要求:

表 7-4 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0

6.2.3: 机房的门和窗关闭时应满足表 7-4 的要求。

6.3: X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1: 机房的辐射屏蔽防护, 应满足下列要求:

a) 具有透视功能的 X 射线机在透视条件下检测时, 周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μ Sv/h; 测量时, X 射线机连续出束时间应大于仪器响应时间。

c) 具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25 μ Sv/h, 当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估, 应不大于 0.25 mSv;

6.4: X 射线设备工作场所防护

6.4.1: 机房应设有观察窗或摄影监控装置, 其设置的位置便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。

6.4.2: 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3: 机房应设置动力通风装置, 并保持良好的通风。

6.4.4: 机房门外应有电离辐射警告标志; 机房门上方应有醒目的工作状态指示灯, 灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句; 候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。

6.4.5: 平开机房门应有自动闭门装置; 推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施; 工作状态指示灯能与机房门有效关联。

6.4.6: 电动推拉门应设置防夹装置。

6.4.7: 受检者不应在机房内候诊; 非特殊情况, 检查过程中陪检者不应滞留在机房内。

6.5: X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1: 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4（见下表 7-5）基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

6.5.3: 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb。

6.5.4: 应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb。

表 7-5 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	——

表 8 环境质量与辐射现状

8.1 监测计划

1、项目地理和场所位置

本项目位于莆田市荔城区东圳东路 999 号莆田学院附属医院新院区,直线加速器机房 1 位于住院部负一层,DSA4 机房位于急重症诊疗中心大楼二层,项目地理位置图见图 1-2。

2、监测内容与点位

为了解本项目选址周围辐射环境背景水平,江西省地质局实验测试大队(CMA:161420180567)于 2025 年 11 月 15 日对项目周围环境进行辐射环境现场监测。根据《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)并结合本项目的实际情况进行监测布点,本次监测主要针对拟建辐射工作场所及周边敏感点环境 γ 辐射剂量率进行监测。

3、监测仪器与规范

电离辐射监测仪器的参数与规范见表 8-1。

表 8-1 监测仪器与监测规范表

仪器型号	FH40G 探头: FHZ672 E-10, F119
生产厂家	Thermo SCIENTIFIC
监测规范	《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)
校准单位	上海市计量测试技术研究院(华东国家计量测试中心)
校准证书编号	2025H21-10-5970005002
校准日期	2025 年 6 月 30 日
仪器量程	**nSv/h~** μ Sv/h
能量响应范围	**keV~**MeV
监测单位	江西省地质局实验测试大队
监测日期	2025 年 11 月 15 日

4、质量保证措施

- a 合理布设监测点位,保证各监测点位布设的科学性和可比性,同时满足标准要求。
- b 监测方法采用国家有关部门颁布的标准,监测人员经考核并持有合格证书上岗。
- c 监测仪器每年定期经计量部门校准/检定,校准/检定合格后方可使用。
- d 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。
- e 由专业人员按操作规程操作仪器,并做好记录。
- f 监测报告严格实行三级审核制度,经过校对、校核,最后由技术总负责人审定。

8.2 辐射环境质量现状监测结果

江西省地质局实验测试大队于 2025 年 11 月 15 日对评价项目场址及周边区域的辐射环境现状进行监测，监测条件见表 8-2，监测结果见表 8-3，监测报告见附件 13。

表 8-2 项目监测条件一览表

日期	温度	湿度	天气情况	采样频次
2025年11月15日	**°C	**%	晴	10次

表 8-3 项目周围环境 γ 辐射剂量率监测结果

序号	监测位置	环境 γ 辐射剂量率 (nGy/h)(平均值)	标准差	备注
1	直线加速器机房 1	**	**	室内监测点位
2	直线加速器机房 1 东侧冷却机房	**	**	
3	直线加速器机房 1 东侧操作室	**	**	
4	直线加速器机房 1 东侧入口缓冲区	**	**	
5	直线加速器机房 1 南侧走廊	**	**	
6	直线加速器机房 1 西侧直线加速器机房 2	**	**	
7	直线加速器机房 1 上方配电房门口	**	**	室外监测点位
8	拟建 DSA4 机房	**	**	室内监测点位
9	拟建 DSA4 机房东侧设备间	**	**	
10	拟建 DSA4 机房东侧病人走廊	**	**	
11	拟建 DSA4 机房南侧 DSA5 机房	**	**	
12	拟建 DSA4 机房西侧控制室	**	**	
13	拟建 DSA4 机房北侧 DSA3 机房	**	**	
14	拟建 DSA4 机房上方预留用房	**	**	
15	拟建 DSA4 机房下方抢救大厅	**	**	
16	住院部东侧停车场	**	**	室外监测点位
17	住院部南侧院内道路	**	**	
18	住院部西侧院内道路	**	**	
19	住院部北侧院内道路	**	**	
20	气体设备房南侧	**	**	
21	肺科病房大楼南侧	**	**	
22	急重症诊疗中心大楼东侧院内道路	**	**	
23	急重症诊疗中心大楼南侧院内道路	**	**	
24	急重症诊疗中心大楼西侧停车场	**	**	
25	急重症诊疗中心大楼北侧院内道路	**	**	

注：（1）测值根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）已扣除仪器对宇宙射线的响应值。（2）现场监测时，仪器探头朝下，距地 1m。

本项目表 8-2 所列监测数据已根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）第 5.5 条扣除仪器对宇宙射线的响应值，环境γ辐射剂量率测量结果按下式计算：

$$\dot{D}_\gamma = k_1 \times k_2 \times R_\gamma - k_3 \times \dot{D}_c$$

式中： \dot{D}_γ —测点处环境γ辐射空气吸收剂量率值，Gy/h；

k_1 —仪器检定/校准因子；

k_2 —仪器检验源效率因子；

R_γ —仪器测量读数均值，Gy/h；

k_3 —建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子；

\dot{D}_c —测点处宇宙射线响应值，依据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）

附录 D 节进行修正。

根据表 8-3 可知，本项目拟建场所及周边室内环境的γ辐射剂量率在**~**nGy/h 之间，周边外环境γ辐射剂量率在**~**nGy/h 之间，处于福建省室内、室外辐射环境本底范围值内（注：福建省室内辐射环境本底范围值 70.9~357.1nGy/h，室外辐射环境本底范围值 39.4~399.1nGy/h，来源于《中国环境天然放射性水平》）。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 医用直线加速器

(1) 设备组成

医用直线加速器是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统、控制保护系统和 CBCT。医用直线加速器结构示意图及设备图见图 9-1。

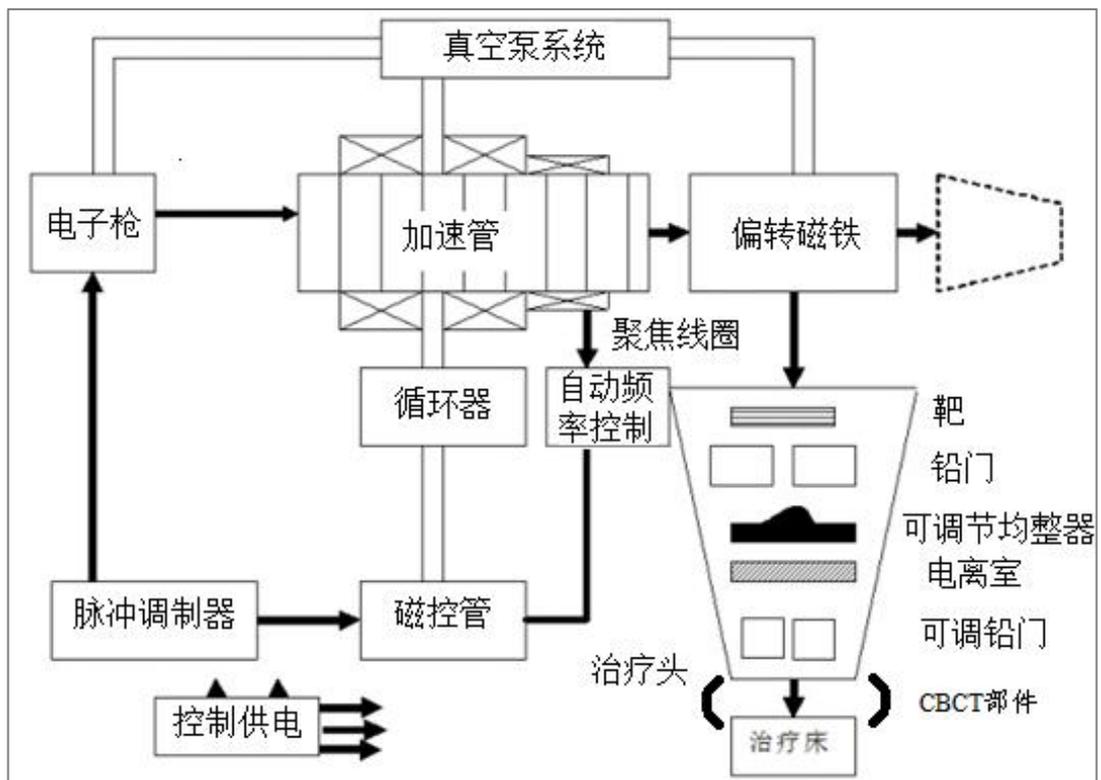


图 9-1 医用直线加速器结构示意图及设备图

(2) 工作原理

医用直线加速器是将电子枪产生的电子经加速管加速后形成高能电子束的装置。它既可以产生高能电子束，也可利用高能电子束与靶物质相互作用时的韧致辐射产生 X 射线束。因此，作为一种体外照射的治疗设备，医用加速器利用产生的高能电子束或 X 射线，对人体恶性肿瘤进行照射，使肿瘤组织受到不可逆损伤。可根据癌症类型及其所在位置、患者的身体状况等，选择不同的输出方式对肿瘤进行照射，同时使肿瘤周围正常组织得到最大限度的保护，达到治疗肿瘤的目的。

CBCT 工作原理为 X 线发生器以较低的剂量围绕投照体做环形 DR（数字式投照），然后将围绕体多次“交集”中所获得的数据在计算机中重组后进而获得三维图像。该系统采用定位床，用负压袋将患者固定，用十字激光灯对患者位置进行初始定位，确定三维立体坐标，将 CT/MRI 图像中病灶的坐标转换到辐射装置的坐标系中，在治疗时，通过基于 CBCT 的图像引导定位装置进行摆位验证，通过三维床各轴的微动来调整患者的姿态，以确保放射治疗前靶区的准确性。治疗过程中，图像引导系统可以随时监测患者靶区的位置偏移，超出许可范围时给出警告并可中止治疗。

(3) 工作流程

使用医用直线加速器进行放射治疗的主要操作流程：

- ①对患者进行诊断、治疗正当性判断，并预约登记。
- ②根据每位患者自身治疗的需求，按照其身体某个部位的轮廓制作体位固定模型
- ③进行定位。通过住院部负一层现有 CT 模拟定位机对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，CT 断层扫描定位。
- ④制订治疗计划。根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。
- ⑤固定患者体位。在利用直线加速器进行治疗时需依靠 CBCT 图像引导系统对患者进行定位验证摆位，通过三维床调整患者姿态，确保放射治疗前靶区的准确性。
- ⑥开机治疗。准备工作就绪后，在控制室通过计算机发出指令，开启直线加速器，对准患者病灶进行精确治疗。
- ⑦医护人员指导患者离开加速器机房，治疗结束。

医用直线加速器工作流程及产污环节见图 9-2。

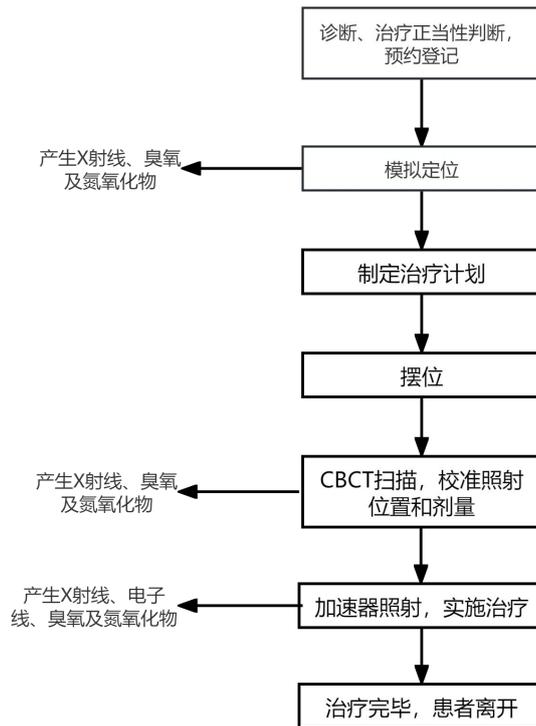


图 9-2 医用直线加速器工作流程及产污环节图

(4) 工作负荷

本项目医用直线加速器共配备**名辐射工作人员，其中技师**人，医师**人，物理师**人，均依托现有辐射工作人员。

根据建设单位提供资料，本项目医用直线加速器预计每天最多治疗**人，每周工作**d，每年工作**周。其中常规放射治疗量约占**，调强放射治疗量约占**。常规放射治疗患者治疗照射时间平均为**min，调强放射治疗患者治疗照射时间平均为**min，按全为调强放射治疗做保守估算，则每台加速器周治疗照射时间为**h，年治疗照射时间为**h。直线加速器设备自带的 CBCT 模块用于图像引导定位，最大出束时间约为**min/人次，最大管电压 150kV，最大管电流 500mA。

9.1.2 DSA

(1) 工作原理

DSA是利用X射线进行放射诊断的设备，产生X射线的装置主要由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，详见图9-3。阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，灯丝通电加热产生电子，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。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。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，这些高速电子到达

靶面为靶所突然阻挡从而产生X射线。

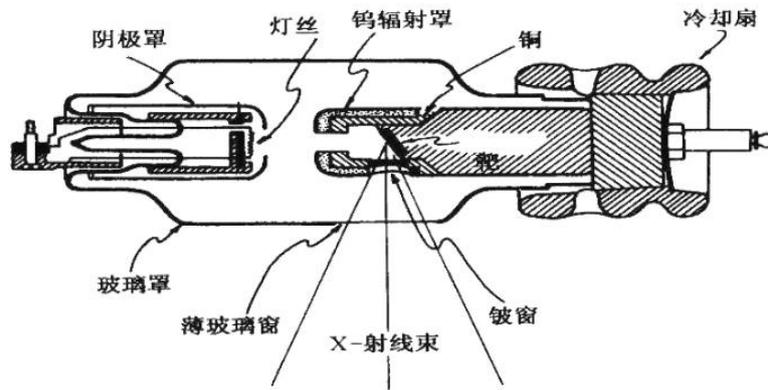


图 9-3 X 射线管结构及原理

数字平板减影血管造影机（DSA）是利用X射线技术和造影剂，清晰显示血管影像，并通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号，两次数字相减，消除相同的信号，得到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。主要用于心脏、脑血管、外周血管的造影诊断及介入治疗，是心血管造影诊断及介入治疗的专用血管造影机。

（2）设备组成

DSA主要由机架、导管床、高压发生器、X线球管、影像增强器、摄像系统、影像数字处理系统、图像显示和外部数据存储等部分组成。

（3）操作流程

介入放射手术的主要工作流程如下：

- ①根据预约接诊患者，医护人员做好手术前洁净准备，并穿戴好防护用品；
- ②根据患者检查部位，选择合适的曝光条件进行影像采集；
- ③医生在透视条件下插入导管，注入造影剂进行检查或进行介入治疗；
- ④注入造影剂后需再次进行影像采集，影像采集或介入治疗完成后由工作人员协助患者离开检查室。

DSA在进行曝光时分为两种情况：第一种情况，操作人员采取隔室操作的方式（即操作医师在控制室内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗观察机房内病人情况，并通过对讲系统与病人交流。

第二种情况，医生需进行手术治疗时，为更清楚地了解病人情况时会有连续曝光，

并采用连续脉冲透视，此时操作医师在曝光室内位于铅橡胶帘后身着铅围裙、铅围脖、介入防护手套等防护用品对病人进行直接的手术操作。

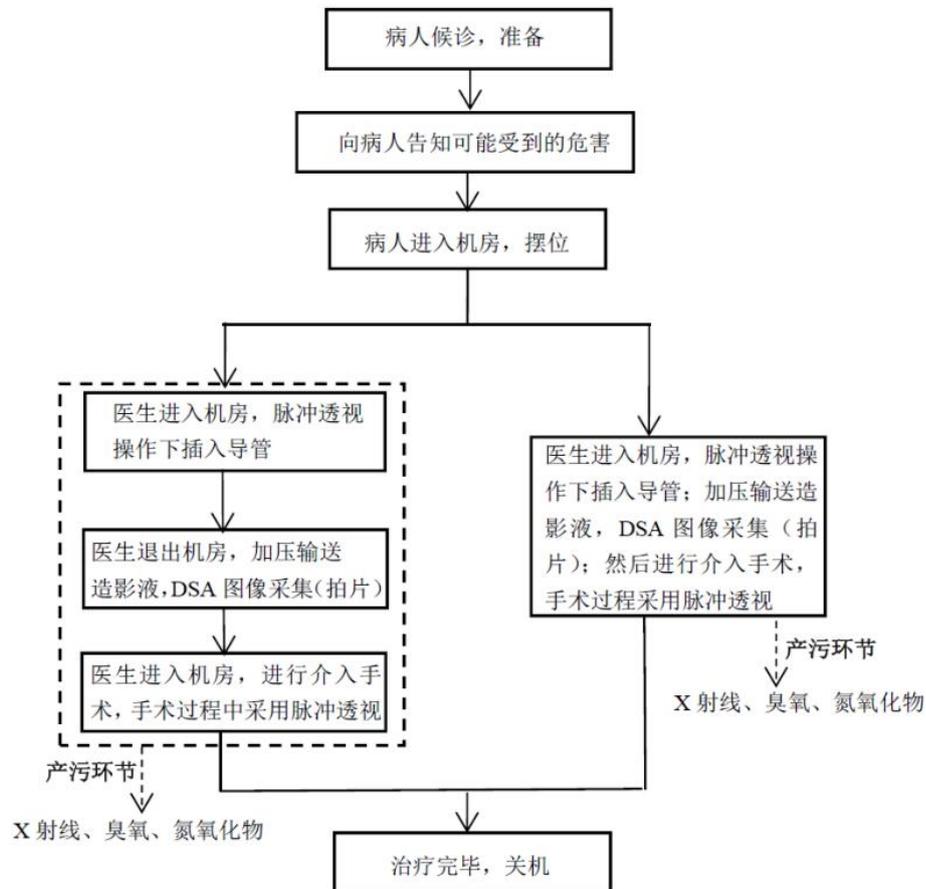


图 9-4 DSA 工作流程及产污环节图

(4) 工作负荷

医院预估项目建成后，DSA4 年手术量约为**台，每台手术摄影时间最大**min，透视时间**min。本项目拟配备辐射工作人员**人，其中影像技师**人，介入医师**人，护士**人，影像技师分**组轮岗操作，介入医师和护士分**组轮岗操作，均依托现有辐射工作人员。

表 9-1 辐射工作人员工作负荷统计表

人员类型	工作状态	每台手术最长曝光时间	年最大手术量	年最大曝光时间	
				**h	**h
每组介入医生、护士	摄影	**min	**台	**h	**h
	透视	**min		**h	
每组技师	摄影	**min	**台	**h	**h
	透视	**min		**h	

9.2 污染源项描述

9.2.1 施工期的污染源项

本项目机房建设阶段不产生放射性废物、放射性废水和放射性气体，主要是拟建机房施工时产生的噪声、扬尘、废水、固体废物等环境影响。

(一) 废气

本项目的环境空气影响主要是扬尘，主要由防护涂料粉刷等施工活动产生。本项目的工程量小，产生的扬尘量很小。

(二) 噪声

本项目产生噪声来源主要是装修电钻作业、设备安装等。噪声值一般在65~105dB（A）之间，施工场地的噪声对周围环境有一定的影响，但随着施工的结束而结束。

(三) 废水

施工期污水主要来自两个方面：一是施工废水，二是施工人员的生活污水。

(四) 固体废物

本项目固体废物主要为：生活垃圾、施工垃圾等。

9.2.2 运行期的污染源项

9.2.2.1 医用直线加速器

本项目医用直线加速器的主要技术参数见表 9-2。

表 9-2 医用直线加速器技术参数一览表

设备名称	各项参数	具体情况
医用直线 加速器	型号	Elekta Harmony Pro
	最高 X 射线能量	6MV
	最高电子线能量	12MeV
	电子线有用线束距靶 1m 的等中心处最高输出剂量率	360Gy/h
	X 射线不同档位有用线束距靶 1m 的等中心处最高输出剂量率	6MV,360Gy/h; 6MV（FFF 模式），840Gy/h;
	配套 CBCT 参数	最大管电压 150kV，最大管电流 500mA
	等中心处最大照射野	40cm×40cm
	源轴距（SAD）	1000mm
	X 射线泄漏率	0.2%
	线束张角	28°
	等中心到地面距离	1.25m
	机架旋转角度	0~360°

（一）正常工况

加速器产生的电子束和 X 射线束，以及在产生这两种辐射的过程中产生的其他 X 射线和中子等次级辐射，一般均可称之为瞬时辐射，它在加速器运行中产生，关机后立即消失，是加速器屏蔽、防护和监测的主要对象。

①X 射线

由医用直线加速器的工作原理可知，电子枪产生的电子经过加速后，高能电子束与靶物质相互作用时将产生高能 X 射线。这种 X 射线是随机器的开、关而产生和消失。

②电子线

医用直线加速器产生高能电子线，随机器的开、关而产生和消失，其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。

③中子

医用直线加速器治疗 X 射线大于 10MV 时，高能光子会与 X 射线靶、一级准直器、X 射线均整器和治疗准直器多种高原子序数的材料如铅、钨等发生 (γ, n) 光核反应，产生中子辐射。根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)和《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198—2021)，高于 10MV X 射线治疗束和质子重离子治疗束的放射治疗，除考虑中子放射防护外，在日常操作中还应考虑感生放射线的放射防护。本项目加速器 X 射线最大能量为 6MV，故无需考虑中子辐射及感生放射性影响。

④放射性固体废物

直线加速器内循环水系统中使用的离子交换树脂，可吸附循环水中的放射性感生核素。另外，靶物质经长期照射后，也可积累一定数量的感生放射性核素，因此退役的靶和废树脂为放射性固体废物。

⑤冷却水

直线加速冷却水循环使用，不外排。冷却水受 X 射线照射被活化而形成的放射性核素主要是 ^{15}O 、 ^{13}N ，半衰期分别为 2.1min、7.3s，只需要放置较短的时间，其活度就可衰减到可忽略的水平。

⑥臭氧、氮氧化物

直线加速器在运行过程中，射线作用于空气以及次级辐射等因素，可产生少量臭氧、氮氧化物，通过排风系统排入大气。

（二）事故工况

直线加速器的电子线束及 X 射线受开机和关机控制，关机时没有射线发出。因此检修方

便，断电状态下也较为安全。在意外情况下，可能出现的辐射事故（事件）如下：

①安全联锁装置发生故障情况下，人员误入正在运行的直线加速器机房而造成 X 射线误照射。

②工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离直线加速器机房，加速器运行会对工作人员或病人家属产生不必要的 X 射线照射。

③工作人员在机房内为患者摆位或其他准备工作，控制台处操作人员误开机出束，发生事故性出束，对工作人员造成辐射伤害。

④直线加速器控制系统出现故障，照射治疗不能停止，病人受到计划外照射。

⑤维修期间的事故，直线加速器维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

9.2.2.2 DSA

（一）正常工况

①外照射源的强度

本项目 DSA 机最大管电压为 150kV、最大管电流为 1250mA，参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）第 5.8.3 节要求，介入放射学、近台同室操作用 X 射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于 20cm 的装置。参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表 E.4 典型成年受检者 X 射线透视的诊断参考水平：“有影像增强器并有自动亮度控制系统的 X 射线设备（介入放射学中使用）入射体表剂量率 100mGy/min”，假设焦皮距为 20cm 情况下，透射模式下距靶 1m 处的空气比释动能率为 $2.4 \times 10^5 \mu\text{Gy/h}$ 。

摄影工况采用脉冲模式：根据《辐射防护导论》（方杰）（第 69 页）可知，距离靶点 1m 处的最大剂量率与射线装置的管电流成正比。根据建设单位提供资料，摄影工况下管电流约为透视工况的 50 倍，因此离靶 1 米处的空气比释动能率为 $1.20 \times 10^7 \mu\text{Gy/h}$ 。

②X 射线

根据 DSA 的工作原理可知，X 射线是随 DSA 的开机、关机而产生和消失。只有在开机并出线的状态时，才会有 X 射线的产生，不产生放射性气体、废水及废物。因此在开机曝光期间，X 射线是该项目的主要污染因子。

③其他非放射性污染源

X 射线与空气作用产生极少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，但由于本项目 DSA 工作时的管电压、管电流较小，因此产生的臭氧和氮氧化物也较少。

（二）事故工况

①当警示灯、门灯联锁损坏时，公众、检查管理人员或检修维护人员在 DSA 开机状态下误入机房，致使人员受到额外的 X 射线照射。

②DSA 在铅玻璃老化和铅门破损未及时维修情况下，给周围活动人员及辐射工作人员造成额外的 X 射线照射。

③因违章操作，控制室操作人员在病人及医护人员未撤离机房时进行曝光，给病人及医护人员造成额外的 X 射线照射。

④进行 DSA 介入手术的医护人员未穿戴铅围裙、铅围脖、介入防护手套等个人防护用品而受到不必要的 X 射线照射；没有为患者穿戴个人防护用品而受到不必要的 X 射线照射。

本次评价项目中使用的 DSA 为数字化显影设备，不会产生废显影水、定影水，因此不存在废水污染的问题。DSA 达到设备使用年限或阴极射线管损坏进行更换时，产生的废旧阴极射线管属于危险废物（代码：900-044-49），将委托有资质单位处置。拆除 X 射线管的 DSA 在任何情况下均不会再产生 X 射线，医院将按照一般设备报废的相关规定进行处置。在进行介入手术过程中会产生纱布、针管、损伤废物、输液器等医疗废物，医疗废物收集后转移至医院医疗垃圾暂存间，由医院统一委托有资质单位处置。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所布局及分区

(1) 工作场所布局

①直线加速器

本项目直线加速器机房 1 位于住院部负一层，直线加速器机房 1 东侧为操作室、冷却机房和入口缓冲区，南侧为走廊，西侧为直线加速器机房 2，北侧为土层，楼上为配电房，楼下为土层。直线加速器机房 1 四周很少有人停留，避开了儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，周边无人员流动性大的商业活动区域。机房的操作室与治疗室分离，设置了“L”形迷路，迷路口设有防护门，其布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中关于布局的要求。

②DSA

本项目 DSA4 机房位于急重症诊疗中心大楼二层，机房东侧为设备间、病人走廊，南侧为 DSA5 机房，西侧为控制室，北侧为 DSA3 机房，正上方为预留用房，正下方为抢救大厅、急诊胃镜室、急诊气管镜室和心电室。本项目 DSA4 机房周边除工作人员外，很少有人停留；机房充分考虑了邻室及周围场所的人员防护与安全，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的选址和布局要求，因此本项目 DSA4 机房选址可行，工作场所布局合理。

(2) 工作场所分区

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，为了便于辐射防护管理和职业照射控制，控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围，将辐射工作场所分为控制区和监督区。

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

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

①直线加速器

将直线加速器机房 1 的治疗室、迷路及西侧直线加速器机房 2 划为控制区，将直线加

速器机房 1 东侧操作室、冷却机房、入口缓冲区，南墙外 30cm 划为监督区。

控制区内不得有人滞留，以视频监控系统及警示装置控制及管理制度保障此区域的辐射安全；在控制区进出口位置处设立醒目的符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 F 规定的电离辐射警告标志。在防护门外地面设立标明监督区的标牌及警示标语，防护门上方设置工作状态指示灯。医院管理上必须严格按区管理，避免人员误闯入或误照射。

② DSA

将 DSA4 机房内划为控制区，将与 DSA 机房相邻的设备间、控制室，病人走廊东墙外 30cm 划为监督区。拟在控制区入口设置电离辐射警告标志及工作状态指示灯，避免人员误闯入或误照射；拟在监督区入口处设置黄色警戒线和醒目的电离辐射警告标志，提醒无关人员进入。

10.1.2 辐射安全与防护措施

10.1.2.1 直线加速器

(1) 辐射防护措施

本项目直线加速器机房 1 采用混凝土浇筑，地下均为土层，辐射防护措施见表 10-1。

表 10-1 直线加速器机房 1 辐射防护措施一览表

机房名称	项目	已建屏蔽方案	改造后屏蔽设计方案	
直线加速器 机房 1	东墙	迷路内墙：90~120cm 厚混凝土 迷路外墙：90cm 厚混凝土	迷路内墙：90~140cm 厚混凝土 迷路外墙：90cm~125cm 厚混凝土	
	南 墙	主屏蔽	302cm 厚混凝土，内凸宽度 4.03m	302cm 厚混凝土，内凸宽度 4.03m
		次屏蔽	126cm 厚混凝土	156cm 厚混凝土
	西墙	130cm 厚混凝土	165cm 厚混凝土	
	北墙	800cm 厚混凝土	800cm 厚混凝土	
	顶 棚	主屏蔽	280cm 厚混凝土，外凸宽度 4.03m	280cm 厚混凝土，外凸宽度 4.03m
		次屏蔽	110cm 厚混凝土	110cm 厚混凝土
	地板	110cm 厚混凝土	110cm 厚混凝土	
防护门	未安装	内衬 20mm 厚铅板 +11cm 含硼聚乙烯		

注：混凝土密度不低于 2.35g/cm³，铅密度不低于 11.3g/cm³。

(2) 辐射安全措施

① 钥匙开关

本项目医用直线加速器设备本身均具有电源的钥匙开关，只有该钥匙就位后才能开启

电源，启动治疗装置。医用直线加速器电源钥匙开关，由专人负责保管。

②电离辐射警告标志及工作状态指示灯

拟在直线加速器机房 1 出入口防护门设置电离辐射警告标志；在防护门上方设置工作状态指示灯，工作状态指示灯与防护门、医用直线加速器联锁，防护门关闭，工作状态指示灯亮（绿色），医用直线加速器出束，工作状态指示灯亮（红色）。

③视频监控及对讲装置

拟在直线加速器机房 1 迷路内设置 1 个 CCTV 摄像头，2 个监控摄像头，在治疗室内设置 2 个 CCTV 摄像头，2 个监控摄像头，在操作室和入口缓冲区分别设置 1 个 CCTV 摄像头；在控制室与直线加速器机房治疗室设置双向对讲装置。

④固定式辐射剂量监测仪

直线加速器机房 1 迷道内墙拟设置固定式辐射剂量监测系统并具有报警功能，其显示单元设置在控制室内，以便工作人员及时了解治疗室内的辐射水平和设备的工作情况。

⑤安全联锁

直线加速器机房 1 入口防护门设计门-机联锁装置，防护门打开或没有关严时，医用直线加速器不能出束照射；医用直线加速器出束状态下开门停止出束。

直线加速器机房 1 迷道口、操作室内分别设置 1 个紧急开门装置。防护门设置红外线感应防夹装置，在门体关闭时如检测到障碍物时，门体自动打开，直至障碍物消除后门体才自动关闭。

⑥急停按钮

直线加速器机房 1 操作室墙面拟设置 1 个急停按钮、治疗室东墙、南墙、北墙及迷路各设置 1 个急停按钮，西墙拟设置 2 个急停按钮。急停按钮处设置醒目标识及文字显示，能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。在紧急情况下按下急停按钮可使医用直线加速器停止出束。

本项目安全联锁系统一旦被触发后，须人工复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过本项目建设单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

⑦通风

本项目直线加速器机房 1 设置强制排风系统，治疗室西北角、北侧和迷道吊顶高度处拟分别设置 1 个进风口，治疗室东南和西南角离地面约 0.3m 处拟分别设置 1 个侧排风口，

加速器机房采取上进风下排风的排风方式，进风口与排风口成对角设置，排风量大于进风量，使机房内保持负压，防止有害气体通过门缝等位置向外泄漏。风管在迷道侧墙穿越墙体，采用 20mm 铅板包覆，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。机房排风机额定总风量为 1800m³/h，直线加速器机房 1 容积约为 399m³，在理论（不考虑功率衰减）的情况下，通过估算，在风机正常运行状况下可计算得通风换气次数约为 4.5 次/小时，排风管道经风井至配电房屋顶排放。正常情况下，屋顶无人可达，排气口四周很少有人停留，避开了门、窗或人流较大的过道等位置。本项目直线加速器机房通风措施符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置”的相关要求。

⑧电缆沟及测试孔

本项目直线加速器机房 1 内电缆沟通过地下电缆沟走线，并采用“U”形方式从地坪下穿越屏蔽墙体到达机房外。通过电缆沟和下沉地面穿越屏蔽墙的设计使射线多次折返，增加泄漏射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。

医用直线加速器在迷路外墙设有物理测试孔，避开了有用线束方向；物理测试孔以水平 45°、上下 32°角斜穿墙体，从迷路外墙由下往上向上斜穿墙体，物理测试孔口迷路外墙内侧处距地 100mm，控制室侧距地 1000mm，能有效减少散射射线的泄漏辐射影响。

⑨辐射监测设备及防护用品

直线加速器辐射工作人员拟配备个人剂量计，并每季度定期送检，建立个人剂量监测档案。直线加速器机房 1 拟配备 2 台个人剂量报警仪，1 台便携式 X-γ辐射剂量率监测仪供本项目使用。医院辐射工作人员进入直线加速器机房前，在控制室内通过控制台、安装在机房内的固定式监测设备等方式确定加速器已停止出束后方能进入直线加速器机房，进入直线加速器机房时佩戴个人剂量报警仪、个人剂量计等。

医院定期对门机联锁、固定式辐射剂量监测仪等辐射安全与防护装置进行定期检查，发现异常时及时维修，确保各辐射安全与防护措施运行正常。

医院医用直线加速器实施治疗期间，配备两名及以上的操作人员协同操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度，密切注视控制台仪器及患者状况，发现异常及时处理，操作人员不得擅自离开岗位。

（3）辐射防护措施符合性分析

医院直线加速器机房辐射安全与防护措施合理性采用《放射治疗辐射安全与防护要

求》(HJ1198-2021)进行分析,直线加速器机房辐射安全与防护措施符合性分析见表 10-2。

表 10-2 直线加速器机房辐射防护措施符合性分析

《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)		本项目方案	评价
选址、布局合理性	5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境辐射影响,不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	本项目直线加速器机房 1 位于住院部负一层,周围 50m 范围内不存在民居、写字楼和商住两用的建筑。	符合
	5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设,或设置在多层建筑物的底层的一端,尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域,或人员流动性大的商业活动区域。	本项目直线加速器机房 1 位于住院部负一层,周围无儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域,无人员流动性大的商业活动区域。	符合
屏蔽要求	6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算,同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。	本项目直线加速器机房 1 已按最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算,同时考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。	符合
	6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能,符合最优化要求。使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于 10MV 的 X 射线放射治疗设备,须考虑中子屏蔽。	本项目直线加速器机房 1 采用混凝土材料,密度为 2.35g/cm ³ 。	符合
	6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式,并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接,确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。	本项目直线加速器机房 1 电缆沟采用 U 形穿越屏蔽墙体。通风管道穿越屏蔽墙体采用 20mmPb 包覆。防护门宽于门洞的部分大于门墙间缝隙 10 倍以上。	符合
安全装置和警示标志要求	6.2.1 放射治疗工作场所,应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯: a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志,贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明; b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯; c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置,并设置双向交流对讲系统。	本项目直线加速器机房 1 入口设置电离辐射警告标志及工作状态指示灯;迷道内设置 1 个 CCTV 摄像头,2 个监控摄像头,在治疗室内设置 2 个 CCTV 摄像头,2 个监控摄像头,操作室和入口缓冲区分别设置 1 个 CCTV 摄像头;在控制室侧设置监控装置显示屏,便于控制室工作人员观察直线加速器机房内情况。在治疗室和操作室各设置 1 套对讲装置,便于工作人员与直线加速器机房内人员交流。	符合
安全装置和警示标志	6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所,应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全连锁措施: a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门-机/源连锁装置,防护门未完全关闭时不能出	本项目直线加速器机房 1 防护门设置门机连锁,防护门未关闭,加速器无法出束,出束状态下开门停止出束。 本项目直线加速器机房 1 设置室	符合

志要求	<p>束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；</p> <p>b) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；</p> <p>c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流运输通道内设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；</p> <p>d) 安全连锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；</p>	<p>内紧急开门装置，防护门具有防夹伤功能。</p> <p>本项目直线加速器机房 1 操作室墙面拟设置 1 个急停按钮、治疗室东墙、南墙、北墙及迷路各设置 1 个急停按钮，西墙拟设置 2 个急停按钮，并设置醒目标识及文字显示，可以使区域内的人员从各个方向观察到并便于触发。</p> <p>本项目直线加速器安全连锁触发后须人工通过控制台操作才能重新进行放射治疗活动；要求安装调试及维修情况下，须通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后现场进行连锁恢复及功能测试。</p>	
操作的辐射安全与防护要求	7.1 医疗机构应对辐射工作场所的安全连锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全连锁的正常有效运行。	辐射工作人员每天开展放射治疗工作前对辐射工作场所的安全连锁系统进行试验自查，保存自查记录，保证安全连锁的正常有效运行。	符合
	7.2 治疗期间，应有两名及以上人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守。	直线加速器治疗期间，两名及以上人员协调操作认真做好当班记录，严格执行交接班制度；直线加速器试用、调试、检修期间，控制室有工作人员值守。	符合
	7.3 任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室，进入含放射源或质子/重离子装置的治疗室前须携带个人剂量报警仪。	任何人员未经授权或允许不得进入控制区，工作人员在确认治疗机房内束流已经终止的情况下方可进入直线加速器机房治疗室内。进入直线加速器机房治疗室前携带个人剂量报警仪。	符合

由表 10-3 可知，本项目直线加速器机房按相关标准要求进行了设计，直线加速器机房辐射安全与防护措施符合《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相关规定要求。

10.1.2.2 DSA

(1) 辐射防护措施

本项目 DSA4 机房控制室墙体设有观察窗，以便观察到受检者状态。机房内 DSA 有用线束不直接照射门、窗和管线口位置。本项目 DSA 机房拟采取的防护措施情况见表 10-3。

表 10-3 本项目 DSA 机房拟采取的防护措施情况

房间名称	屏蔽设计情况	
急重症诊疗中心大楼二层 DSA4 机房	机房尺寸	70m ² (10m×7m)
	四周墙体	轻钢龙骨+4mmPb 铅板
	地板	140mm 厚混凝土+3mmPb 硫酸钡涂料 (约 4.38mm Pb)
	顶棚	140mm 厚混凝土+3mmPb 硫酸钡涂料 (约 4.38mm Pb)
	防护门	4mmPb
	观察窗	4mmPb

注：①上表中混凝土密度不低于 2.35g/cm³，铅密度不低于 11.3g/cm³；②上表中屏蔽物质的铅当量均根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中附录 C 中式 C.1、C.2 计算而来，由于本项目 DSA 最大管电压为 150kV，保守按 150kV 主束进行换算可得：

- a) 混凝土的拟合参数取值分别为：管电压 150kV（有用线束）， $\alpha=0.03243$ ， $\beta=0.08599$ ， $\gamma=1.467$ ；
 - b) 铅的拟合参数取值分别为：管电压 150kV（有用线束）， $\alpha=1.757$ ， $\beta=5.177$ ， $\gamma=0.3156$ 。
- 140mm 混凝土相当于 1.38mmPb。

(2) 辐射安全措施

为保障 DSA 的安全运行，避免在开机期间人员误留或误入 DSA 机房内而发生误照射事故，以及对工作人员和受检者的辐射防护，本项目拟建 DSA4 机房设计有相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

(1) DSA4 机房防护门上方设置工作状态指示灯，并在灯箱处设置“射线有害，灯亮勿入”等警示语句，入口显著位置张贴电离辐射警告标志。工作状态指示灯与防护门联锁，防护门关闭的情况下，工作状态指示灯才亮。

(2) 本项目控制室防护门和病人走廊防护门为电动推拉门，电动推拉门拟设置防夹装置，建设单位已制订操作规程，工作人员应确认防护门是否关闭，当防护门关闭时，才可以进行曝光。

(3) 本项目 DSA4 机房内床旁控制台及控制室内各设置 1 个急停开关按钮，在出现紧急情况下，按下急停按钮，可以切断设备电源，X 射线停止出束。

(4) 本项目 DSA4 机房设置对讲装置，方便工作人员实时关注机房情况并与病人交流。

(5) 本项目 DSA4 机房设置观察窗，在控制室内可以观察到机房内的情况，当发生意外情况（有人误入或滞留）时，控制室内操作人员可以及时发现并采取应急措施。

(6) 为改善 DSA4 机房内空气质量，本项目拟于 DSA4 机房上方设置排气扇作为排风装置，排风管道经吊顶接到室外，管道穿墙处使用 4mmPb 铅进行防护补偿，并用防护涂料补充管道缝隙。

(7) 医院为所有辐射工作人员配备个人剂量计并定期送检，同时建立个人剂量档案；

定期安排人员参加职业健康体检，并建立个人职业健康档案。

(3) 介入医生及护士的管理措施

本项目 DSA 投入使用后，医院将加强介入手术中医生和护士的防护设施佩戴管理，从事介入手术的医生和护士将严格执行穿戴铅围裙、铅围脖和防护眼镜等个人防护用具以降低 X 射线的外照射。另外项目开展后，医院的介入手术操作医护需佩戴两个个人剂量计，一个佩戴在铅围裙里面，另外一个佩戴在铅围裙外面衣领上，以估算人体未被屏蔽部分的剂量。

DSA 介入手术需要工作人员近距离同室操作，其受照剂量大小与设备曝光时间、患者病情状况等均密切相关，同时也与手术操作人员的工作习惯、技术水平有关。因此，医院在 DSA 项目运行过程中还应严格落实以下要求：

A) 介入医生和护士的防护要求

①本项目工作人员均已参加辐射安全与防护培训并通过考核，将定期参加复训。如有新增介入医生和护士应参加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>）关于辐射安全与防护知识的学习，并报名现场考试，取得考核合格证书后方能上岗；

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，以减少受照剂量；

③必须佩戴 2 枚个人剂量计，1 枚佩戴于铅围裙内，1 枚佩戴于铅围裙外衣领上，并且将内、外剂量计做明显标记（如以对比鲜明的颜色进行区分等），防止内、外剂量计反戴的情况发生；

④严格开展介入手术医生的个人剂量监测，发现问题及时调查、整改。

B) 介入治疗时的防护要求

①时间防护：熟悉机器性能和介入操作技术，尽量减少照射和采集时间，特别避免未操作时仍踩脚闸；

②缩小照射野：在满足影像采集质量和诊疗需要的前提下，尽量缩小照射野、调节透视脉冲频率至最低状态；

③缩短物片距：尽量让影像增强器或平板靠近患者，减少散射线；

④充分利用各种防护器材：操作者穿戴铅衣、铅围脖、铅帽、铅眼镜或铅面罩；处于生育年龄者还可加穿铅三角裤；使用床下铅帘及悬吊铅帘。

(4) 辐射防护措施符合性分析

为分析本项目 DSA4 机房的辐射防护性能, 根据医院提供的设计资料, 将 DSA4 机房的主要辐射防护措施列表分析, 并与《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中对 DSA4 机房的辐射防护设施的技术要求对照, 具体见表 10-4。

表 10-4 医院 DSA 机房辐射防护措施符合性分析表

设备名称	《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 要求	本项目方案	符合情况
DSA	6.1.1: 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置, 应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。	本项目 DSA4 机有用线束朝上照射, 避免直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。	符合
	6.1.5: 单管头 X 射线机 (含 C 形臂, 乳腺 CBCT): 机房内最小有效使用面积 20m ² , 机房内最小单边长度 3.5m。	本项目 DSA4 机房有效使用面积为 70m ² (10m×7m), 最小单边长为 7m。	符合
	6.2.1: 不同类型 X 射线设备 (不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备) 机房的屏蔽防护应不低于表 3 的规定 (C 形臂 X 射线设备机房, 有用线束方向铅当量 2mmPb, 非有用线束方向铅当量 2mmPb)。	DSA4 机房四周墙体为轻钢龙骨+4.0mmPb 铅板 (约 4mmPb); 顶棚为 140mm 厚混凝土+3mmPb 硫酸钡涂料 (约 4.38mm Pb); 地板为 140mm 厚混凝土+3mmPb 硫酸钡涂料 (约 4.38mm Pb); 防护门为内衬 4.0mmPb 铅板; 观察窗为 4.0mmPb。	符合
	6.4.1: 机房应设有观察窗或摄像监控装置, 其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。	本项目 DSA4 机房拟设观察窗, 其设置的位置能观察到受检者状态及防护门开闭情况。	符合
	6.4.2: 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	建设单位已制定相关规章制度规定机房内不允许堆放与本项目无关的杂物。	符合
	6.4.3: 机房应设置动力通风装置, 并保持良好的通风。	本项目 DSA4 机房拟设置动力通风装置, 保障机房具备良好的通风。	符合
	6.4.4: 机房门外应有电离辐射警告标志; 机房门上方应有醒目的工作状态指示灯, 灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句; 候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。	本项目 DSA4 机房防护门外拟设置电离辐射警告标志、工作状态指示灯, 灯箱处设置有“射线有害、灯亮勿入”警示语句; 缓冲区墙壁拟张贴放射防护注意事项。	符合
	6.4.5: 平开机房门应有自动闭门装置; 推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施; 工作状态指示灯能与机房门有效关联。	本项目 DSA4 机房控制室和病人走廊防护门与工作状态指示灯能有效关联。	符合
	6.4.6: 电动推拉门宜设置防夹装置。	本项目 DSA4 机房控制室防护门和病人走廊防护门为电动推拉门, 拟设防夹装置。	符合
6.4.7: 受检者不应在机房内候诊; 非特殊情况, 检查过程中陪检者不应滞留在机房内。	本项目手术患者不在 DSA4 机房内候诊; 非特殊情况, 检查过程中陪检者不滞留在机房内。	符合	

由表 10-4 可知，本项目 DSA4 机房按相关标准要求进行了设计，机房辐射防护措施符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的相关要求。

10.2 三废的治理

10.2.1 直线加速器

直线加速器内循环水系统中使用的离子交换树脂，可吸附循环水中的放射性感生核素，直线加速器更换的靶等部件，带有长寿命的放射性核素，退役时，这些部件应作为放射性固废处置，由生产厂家回收。

本项目直线加速器采用水冷却方式，冷却水是在密封的系统中循环利用，不外排，不涉及废水的排放。

本项目直线加速器运行过程中产生的X射线与空气作用可产生少量臭氧和氮氧化物等非放射性气体，加速器机房内拟设置排风系统，有效通风换气次数为4.5次/h，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中对放射治疗机房通风换气次数不小于4次/h的要求。医用直线加速器机房产生的少量臭氧和氮氧化物，经机房排风管道至配电站屋顶排放，对人员影响较小。

10.2.2 DSA

本次评价的数字平板减影血管造影机（DSA）属于利用X射线进行介入诊疗和摄影诊断的医用设备，只有在DSA开机的状态下才产生X射线，本项目无放射性废气、废水和放射性固体废弃物产生。

（一）废气

DSA运行时产生的少量氮氧化物和臭氧，通过DSA机房内设置的通风系统进行通风换气，工作时均开启，防止DSA机房内空气中臭氧和氮氧化物等有害气体累积，故产生的少量氮氧化物和臭氧对周围环境空气质量和辐射工作人员影响极小。

（二）固体废物

①DSA达到设备使用年限或阴极射线管损坏进行更换时，产生的废旧阴极射线管属于危险废物（代码：900-044-49），应委托有资质单位处置。拆除X射线管的DSA在任何情况下均不会再产生X射线，医院可按照一般设备报废的相关规定进行处置。

②在进行介入手术过程中会产生纱布、针管、损伤废物、输液器等医疗废物，医疗废物收集后转移至医院医疗垃圾暂存间，由医院统一委托有资质单位处置。

（三）废水

本项目DSA为数字化显影设备，无洗片废水、废定（显）影液。

本项目DSA正常运行时，如能落实本次环评提出的污染治理措施，即介入手术过程中产生的纱布、针管、损伤废物、输液器等医疗废物和废旧阴极射线管委托有资质单位进行处理，则本项目DSA正常运行时产生的三废对周围环境基本无影响。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目建设地点位于福建省莆田市荔城区东圳东路 999 号莆田学院附属医院新院区住院部负一层和急重症诊疗中心大楼二层，莆田学院附属医院于 2004 年 2 月编制完成了新院区主体工程环境影响报告书，并取得了原莆田市环境保护局的批复文件（莆环保监〔2004〕5 号）。莆田市省级区域医疗中心项目一期（急重症诊疗中心大楼项目）工程已履行环评手续，并取得了莆田市生态环境局的批复文件（莆环审〔2022〕14 号）。

11.1.1 施工噪声环境影响分析

本项目产生噪声影响的主要是施工机械、运输及现场处理等。噪声值一般在 65~80dB（A）之间，施工场地的噪声对周围环境有一定的影响，但随着施工的结束而结束。

为了降低施工噪声对周围环境的影响，满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的要求，本项目应通过文明施工，合理安排施工时间，加快施工进度；选择噪声级尽可能低的施工机械进行施工，对施工机械采取消声降噪措施；施工场所采取消声减震等措施。

11.1.2 施工期扬尘影响分析

本项目在施工过程中会产生少量的扬尘，合理安排施工时间，加快施工进度，通过缩短施工时间、封闭施工、洒水等相关措施，将对外环境扬尘影响降至最低。

11.1.3 施工期废水影响分析

施工废水主要来源于车辆和机械设备清洗废水及施工人员生活污水。施工场地内建设隔油沉淀池，施工生产废水经隔油、沉淀处理后回用于场地洒水抑尘，不外排。项目施工期间施工人员约**人，根据给水排水设计规范，按每人每天用水**L 计算，施工时间按**天计算，则施工期总用水量约为**t（**t/d），污水排放量按用水量的**%计算，则生活污水总排放量约**t。项目施工生活污水依托院内现有污水处理站处理。

11.1.4 施工期固体废物影响分析

本项目工程量较小，项目施工期间固废主要为施工人员生活垃圾、少量建筑垃圾及施工废物料。施工期间，施工人员按**人计，生活垃圾量按**kg/人·d 计算，则施工期内产生生活垃圾约**kg（**kg/d）。生活垃圾分类收集至相应的垃圾箱，后交由环卫部门清运。本项目的装修及设备安装过程将产生少量建筑装修垃圾、包装纸箱、泡沫填充物和废胶桶等。建筑装修垃圾由施工方统一交由有资质的渣土运输公司处置，包装纸箱等可回收利用

的施工废物料应予以回收利用，废胶桶等由厂家回收，其他部分分类收集后交由环卫部门清运。

项目施工期环境影响只是一种短期效应，其影响将随着施工期停止而结束，施工过程中采取抑尘措施、合理安排施工秩序、施工时间等措施，尽量将环境影响降低到最小。因此，总体来说，本项目施工期对周围环境的影响较小。

本项目设备的安装、调试由设备厂家专业人员进行，医院不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在各个机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。由于各设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，医院需及时回收包装材料及其他固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 医用直线加速器

本次评价采用《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）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）标准中的相关计算公式对直线加速器运行时所致周围环境影响进行理论估算。

由于本项目直线加速器 X 射线能量 6MV、6MV（FFF 模式）模式下等中心点最大剂量率分别为**cGy/min（**Gy/h）、**cGy/min（**Gy/h），电子线最大能量为**MV，电子线模式下等中心点最大剂量率为**cGy/min（**Gy/h）。本次评价以最大工况即 X 射线能量**MV（FFF 模式）、等中心点最大剂量**cGy/min（**Gy/h）进行理论估算。

本项目直线加速器机房北侧及楼下均为土层，不设置关注点。

11.2.1.1 有用线束主屏蔽区半宽度核算

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度。

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

式中， Y_p ——机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD——源轴距，m；

θ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

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

将各参数代入式（11-1）得出本项目的设计主屏蔽宽度，结果见表 11-1。

表 11-1 有用线束主屏蔽区宽度核算值

机房	主屏蔽区	南墙主屏蔽区 (a)	顶棚主屏蔽区 (I)
		内凸	外凸
直线加速器 机房 1	$A(m)$	**	**
	$SAD(m)$	**	**
	$\theta(^{\circ})$	**	**
	$Y_p(m)$	**	**
	实际设计宽度 (m)	**	**

从表 11-1 的预测结果可以看出，本项目直线加速器机房 1 主屏蔽区的实际设计宽度均大于理论计算值，有用线束主屏蔽区的宽度设计满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）的相关要求。

11.2.1.2 剂量控制要求

根据《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平：

治疗机房（不包括移动式电子加速器治疗机房）墙和入口门外 30cm 处（关注点）的周围剂量当量率应不大于下述 a）、b）和 c）所确定的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c ：

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，由周剂量参考控制水平求得关注点的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c ，见下式：

$$\dot{H}_c \leq \frac{H_e}{t \times U \times T} \dots\dots\dots \text{式 (11-2)}$$

式中：

\dot{H}_c ——周围剂量当量率参考控制水平，单位为微希沃特每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

H_e ——周剂量参考控制水平，单位为微希沃特每周（ $\mu\text{Sv/周}$ ），其值按如下方式取值：
放射治疗机房外控制区的工作人员： $\leq 100\mu\text{Sv/周}$ ；放射治疗机房外非控制区的人员： $\leq 5\mu\text{Sv/周}$ ；

t ——设备周最大累积照射的小时数，单位为小时每周（h/周）；

U ——治疗设备向关注点位置的方向照射的使用因子；

T——人员在关注点位置的居留因子，取值方法参见附录 A。

b) 按照关注点人员居留因子的不同，分别确定关注点的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ：

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

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

c) 由上述 a) 中的导出周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 和 b) 中的最高周围剂量当量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ，选择其中较小者作为关注点的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 。

治疗机房顶屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平：

在治疗机房上方已建、拟建二层建筑物或在治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点至机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30cm 处，或在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，周围剂量当量率参考控制水平同治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平。

由表 9 源项分析可知，本项目直线加速器周出束时间**h。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）的 6.1.4 条款中对剂量控制的相关要求及《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）第 6.3.1 节计算公式对直线加速器机房屏蔽体外关注点处的周围剂量当量率参考控制水平进行计算，计算参数及结果如下表 11-2。

表 11-2 直线加速器机房 1 屏蔽体外关注点处的周围剂量当量率参考控制水平

参考点位置	He	t	U	T	\dot{H}_c	$\dot{H}_{c,max}$	\dot{H}_c
	$\mu\text{Sv/周}$	h/周	/	/	$\mu\text{Sv/h}$	$\mu\text{Sv/h}$	$\mu\text{Sv/h}$
南墙外 30cm (a, 走廊)	**	**	**	**	**	**	**
南墙外 30cm (d ₁ 、d ₂ , 走廊)	**	**	**	**	**	**	**
顶棚上方 30cm (l, 配电房)	**	**	**	**	**	**	**
西墙外 30cm (e, 直线加速器机房 2)	**	**	**	**	**	**	**
东墙外 30cm (f, 控制室)	**	**	**	**	**	**	**
东墙外 30cm (k, 冷却机房)	**	**	**	**	**	**	**
防护门 (g, 缓冲入口)	**	**	**	**	**	**	**
顶棚上方 30cm (m ₁ 、m ₂ , 配电房)	**	**	**	**	**	**	**

11.2.1.3 屏蔽体外剂量率

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/T 201.2-2011）标准中的相关计算公式进行理论估算。

(1) 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

①有效屏蔽厚度

当 X 射线束以 θ 角斜入射厚度为 X (cm) 的屏蔽物质时，射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度 X_e (cm) 见下式：

$$X = X_e \cdot \cos \theta \text{ 或 } X_e = X \cdot \sec \theta \dots\dots\dots \text{式 (11-3)}$$

其中， θ 为斜射角，即入射射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

②屏蔽物质的厚度与辐射屏蔽透射因子 B 的关系如下：

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \dots\dots\dots \text{式 (11-4)}$$

TVL₁——第一什值层厚度，cm；

TVL——平衡什值层厚度，cm；

X_e——物质的有效屏蔽厚度，cm。

(2) 主屏蔽墙和侧屏蔽墙

有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算：

对于给定的屏蔽物质厚度时，屏蔽体外关注点的剂量率计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f \cdot B}{R^2} \dots\dots\dots \text{式 (11-5)}$$

\dot{H} ——屏蔽体外关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_0 ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \times \text{m}^2/\text{h}$ ，由设备参数可知，X 射线模式下加速器最大输出剂量率为 $**\text{Gy/min}$ ，即 $**\mu\text{Gy/h}$ 。在估算过程中，参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）中 4.8.3 项，“治疗机房辐射屏蔽涉及诸多物理量：治疗装置有用束给予患者受治部位的剂量为吸收剂量（Gy）、周围剂量当量或空气比释动能（Sv 或 Gy）、人员在治疗机房外的受照剂量为有效剂量（Sv）。为了治疗机房屏蔽剂量估算和评价的方便及统一，在辐射屏蔽及其设计范畴内，不进行诸物理量与本标准中的周围剂量当量之间的转换系数修正”。故本项目在辐射屏蔽计算时，不进行诸物理量之间的转换系

数修正；

R——辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f——对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比率；

B——辐射屏蔽透射因子，相应的 TVL₁ 和 TVL 见标准的附录 B 表 B.1。

代入相关参数计算得：

表 11-3 直线加速器机房 1 主屏蔽墙与侧屏蔽墙的剂量率估算结果表

机房	关注点	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	Xe (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	B	R (m)	f	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
直线 加速器 机房 1	南墙主 屏蔽 (a 点)	**	**	**	**	**	**	**	**
	顶棚主 屏蔽 (l 点)	**	**	**	**	**	**	**	**
	西墙侧 屏蔽 (e 点)	**	**	**	**	**	**	**	**
	东墙侧 屏蔽 (f 点)	**	**	**	**	**	**	**	**
	东墙侧 屏蔽 (k 点)	**	**	**	**	**	**	**	**

注：由于加速器机房顶棚外为回填土层及配电房封闭基础，人员不可达，本次顶棚主屏蔽关注点取直线加速器机房顶棚上方人员可达处配电房电缆层为关注点 l，l 点屏蔽厚度取顶棚主屏蔽 280cm 混凝土+电缆沟基础 10cm 混凝土。

(3) 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区

初级辐射束不直接到达该屏蔽墙，屏蔽计算只考虑加速器装置头的泄漏辐射和来自患者体表的散射辐射，二者之和为该点的总剂量率。

①患者体表的散射辐射

利用下列公式对患者体表的散射辐射进行剂量计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400) \cdot B}{R_s^2} \dots\dots\dots \text{式 (11-6)}$$

\dot{H} ——屏蔽体外关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

\dot{H}_0 ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常

用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\times\text{m}^2/\text{h}$ ，由设备参数可知，X 射线模式下加速器最大输出剂量率为 $^{**}\text{Gy}/\text{min}$ ，即 $^{**}\mu\text{Gy}/\text{h}$ ；

R_s ——患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

α_{ph} ——患者 400cm^2 面积上的散射因子，其值见标准的附录 B 表 B.2；

B——辐射屏蔽透射因子，相应的 TVL 见标准的附录 B 表 B.4；

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

表 11-4 直线加速器机房 1 患者体表的散射辐射致关注点处的剂量率

关注点	\dot{H}_o ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	X (cm)	X_e (cm)	TVL_1 (cm)	TVL (cm)	R_s (m)	B	\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
南墙 d_1 、 d_2 点	**	**	**	**	**	**	**	**
顶棚 m_1 、 m_2 点	**	**	**	**	**	**	**	**

注：由于加速器机房顶棚外为回填土层及配电房封闭基础，人员不可达，本次顶棚次屏蔽关注点取直线加速器机房顶棚上方人员可达处配电房电缆层为关注点 m_1 、 m_2 ， m_1 、 m_2 点屏蔽厚度取顶棚次屏蔽 110cm 混凝土+配电房基础 30cm 混凝土+电缆沟基础 10cm 混凝土计算。

② 泄漏辐射

泄漏辐射计算公式见式（11-5），代入相关参数得：

表 11-5 直线加速器机房 1 泄漏辐射致关注点处的剂量率

关注点	$\dot{H}_o \times f$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	X (cm)	Θ ($^\circ$)	X_e (cm)	TVL_1 (cm)	TVL (cm)	R (m)	B	\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
南墙 d_1 、 d_2 点	**	**	**	**	**	**	**	**	**
顶棚 m_1 、 m_2 点	**	**	**	**	**	**	**	**	**

表 11-6 直线加速器机房 1 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区剂量率

机房	关注点	散射辐射 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	泄漏辐射 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	总 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
直线加速 器机房1	南墙 d_1 、 d_2 点	**	**	**
	顶棚 m_1 、 m_2 点	**	**	**

(4) 加速器 ($\leq 10\text{MV}$) 机房的迷路散射辐射屏蔽的剂量估算

① 有用线束不向迷路方向

入口处的散射辐射剂量率 \dot{H}_g 计算公式如下：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \dots \dots \dots \text{式 (11-7)}$$

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

\dot{H}_0 ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \times \text{m}^2/\text{h}$ ；

R_1 ——等中心点至散射墙面的距离，m；

R_2 ——迷路散射墙面至入口处的距离，m；

α_{ph} ——患者 400cm^2 面积上的散射因子，其值见标准的附录 B 表 B.2；

α_2 ——砼墙入射的患者散射辐射的散射因子，其值见标准的附录 B 表 B.6；

A——散射面积， m^2 ；

B——辐射屏蔽透射因子，相应的 TVL 见标准的附录 B 表 B.4；

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 。

在给定防护门的铅屏蔽厚度 X（cm）时，防护门外的辐射剂量率 \dot{H} （ $\mu\text{Sv/h}$ ）计算公式如下：

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/\text{TVL})} + \dot{H}_{og} \dots \dots \dots \text{式 (11-8)}$$

式中 \dot{H}_{og} 为机头泄漏辐射穿过迷路内墙在 g 处的剂量率，计算公式见（11-5），代入相关参数得出 \dot{H}_{og} 见表 11-7。

表 11-7 泄漏辐射在迷路入口处的剂量率

关注点	X (cm)	Xe (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	B	R (m)	\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv/h}$)
直线加速器机房 1 迷 道入口处 g 点	**	**	**	**	**	**	**

由表 11-12 可知，加速器泄漏辐射经迷路内墙屏蔽后在迷路入口防护门处（g）的辐射剂量率最大为** $\mu\text{Sv/h}$ ，满足不超过该点参考剂量率控制水平的 1/4（即** $\mu\text{Sv/h}$ 的四分之一—** $\mu\text{Sv/h}$ ）的要求，迷路内墙厚度设计可行。

本项目直线加速器机房入口处的散射辐射剂量率见表 11-8。

表 11-8 散射辐射在迷路防护门入口处的剂量率

位置	α_{ph}	α_2	F/400	A(m ²)	R ₁ (m)	R ₂ (m)	\dot{H}_g (μSv/h)
直线加速器机房 1 防护门 (g 点)	**	**	**	**	**	**	**

经铅防护门屏蔽后的剂量率 \dot{H} :

表 11-9 防护门外的辐射剂量率

位置	\dot{H}_g (μSv/h)	铅门厚度 (mm)	TVL(mm)	铅门的透射因子 B	\dot{H}_{og} (μSv/h)	剂量率 \dot{H} (μSv/h)
直线加速器机房 1 防护门 (g 点)	**	**	**	**	**	**

由计算结果可知，本项目直线加速器机房屏蔽体外人员可达的四周墙外 30cm 处、顶棚外以及防护门外关注点的剂量率在**~**μSv/h 之间，均符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）、《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）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）等的相关要求，同时均满足剂量率控制水平，故本项目直线加速器机房屏蔽设计方案合理可行。

根据医院提供资料可知，常规放射治疗状态下，本项目直线加速器 CBCT 用于摆位验证，不与直线加速器治疗同时出束，且本项目加速器配备锥形束 CT，锥形束 CT 为 150kV 的最大管电压，加速器能量为兆伏级，直线加速器机房的防护能满足加速器的要求，亦能满足锥形束 CT 的防护，且直线加速器机房的屏蔽体混凝土厚度足以使锥形束 CT 所致机房周围剂量当量率忽略不计，对机房外人员几乎影响，直线加速器有效剂量估算时 CBCT 贡献可忽略。

(5) 有效剂量估算

附加年有效剂量计算公式如下：

$$E = \sum_T w_T \cdot \sum_R w_R \cdot D_{T,R} \dots\dots\dots \text{式 (11-9)}$$

w_R ——辐射 R 的辐射权重因子；由 GB18871-2002 附录 J 可知，光子（所有能量）的辐射权重因子为 1；

w_T ——组织或器官 T 的组织权重因数；由 GB18871-2002 附录 J 可知，人体整体的组

织权重因数为 1；

$D_{T,R}$ ——辐射 R 在器官或组织 T 内产生的平均吸收剂量，Gy；数值上约等于空气比释动能，空气比释动能=空气比释动能率×受照时间。

根据建设单位提供资料，医用直线加速器预计每天最多治疗**人，每周工作**d，每年工作**周。其中常规放射治疗量约占**，调强放射治疗量约占**。常规放射治疗患者治疗照射时间平均为**min，调强放射治疗患者治疗照射时间平均为**min，按全为调强放射治疗做保守估算，则每台加速器周治疗照射时间为**h，年治疗照射时间为**h。代入式（11-9）算得本项目直线加速器所致人员受照剂量见表 11-10。

表 11-10 本项目医用直线加速器所致人员受照剂量

位置		剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年工作时间 t (h)	居留因子 T	年有效剂量 (mSv/a)	
工作 人员	操作室	**	**	**	**	**
	冷却机房	**	**	**	**	**
公众 成员	入口缓冲区	**	**	**	**	
	走廊	**	**	**	**	
	上方配电房	**	**	**	**	

由表 11-10 估算可知，在最大工作负荷的前提下，本项目直线加速器运行时对工作人员职业照射的最大年有效剂量值为**mSv，由于本项目直线加速器辐射工作人员同时从事直线加速器机房 2 辐射工作，根据 2024 年度个人剂量总结报告，直线加速器工作人员年有效剂量最大值为**mSv，叠加后为**mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 5mSv/a。对公众照射的最大年有效剂量值为**mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 0.1mSv/a。

（6）非放射性气体对环境的影响

本项目直线加速器机房 1 拟设置强制排风系统，治疗室西北角、北侧和迷道吊顶高度处拟分别设置 1 个进风口，治疗室东南和西南角离地面约 0.3m 处拟分别设置 1 个侧排风口，加速器机房采取上进风下排风的排风方式，进风口与排风口成对角设置，排风量大于进风量，使机房内保持负压，防止有害气体通过门缝等位置向外泄漏。风管在迷道西侧墙穿越墙体，采用 20mm 铅板包覆，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。机房排风机额定总风量为**m³/h，直线加速器机房 1 容积约为**m³，在理论（不考虑功率衰减）的情况下，通

过估算，在风机正常运行状况下可计算得通风换气次数约为 4.5 次/小时，排风管道经风井至配电房屋顶排放，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“放射治疗室内应设置强制排风系统，采取全排全送的通风方式，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置”的相关要求。本项目直线加速器运行产生的少量臭氧和氮氧化物，采用机械排风装置收集后经专用排气管道送至所在配电房屋顶排气口排放，对环境影响较小。

11.2.2 DSA

本项目 DSA 运行期对环境的影响主要是在介入诊疗和摄影拍片时产生的 X 射线对职业工作人员及公众人员的外照射，为分析本项目 DSA 的辐射环境影响，根据医院提供的相关参数及设计方案，对本项目 DSA 运行后辐射环境影响进行理论计算和类比分析。

11.2.2.1 DSA 机房周围剂量当量率理论计算

（一）关注点的选取

根据建设单位提供的布局设计，DSA 设备出束时球管水平活动范围即为患者所在治疗床的范围。本项目 DSA 理论计算以 DSA 设备球管作为辐射源点。

根据场所布局情况，本次评价选取机房东墙外 30cm 处（A 点，设备间）、机房南墙外 30cm 处（B 点，DSA5 机房）、机房西墙外 30cm 处（C 点，控制室）、机房北墙外 30cm 处（D 点，DSA3 机房）、西侧防护门外 30cm 处（E 点，控制室）、西侧观察窗外 30cm 处（F 点，控制室）、东侧防护门外 30cm 处（G 点）、地板下方距地面 170cm 处（H 点）、顶棚上方距地面 100cm 处（I 点）。DSA 设备球管距地面约 0.3m，治疗床距地 1m。

（二）预测模式

根据典型数字减影血管造影设备工作原理，设备图像增强器对 X 射线主束有防护作用。根据《Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities》（NCRP Report No. 147）第 4.1.6 节指出，DSA 防护设计不需要考虑主束照射。因此，评价考虑**泄漏辐射和散射辐射**造成的辐射影响。

（1）泄漏辐射

泄漏辐射预测模式，参考李德平、潘自强主编《辐射防护手册第一分册 辐射源与屏蔽》（[M]北京：原子能出版社，1987）中给出的公式。透射因子 B 预测模式，参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 中给出的公式。

$$H_L = \frac{H_{ol} \cdot B}{d^2} \dots\dots\dots \text{式 (11-10)}$$

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

式中：

H_L —关注区域泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

H_{0L} —距焦点 1m 处剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

d —关注区域至源点距离，m；

B —透射因子，无量纲；

X —实体防护铅当量，mm；

α 、 β 、 γ —对不同管电压 X 射线辐射衰减拟合参数，无量纲。

参考《医用电气设备第1-3部分：基本安全和基本性能的通用要求-并联标准：诊断X射线设备的辐射防护》（GB9706.103-2020）第12.4节内容，X射线管组件和X射线源组件在加载状态下的泄漏辐射，当其在相当于规定的1h最大输入能量加载条件下以标称X射线管电压运行时，距焦点1m处，1h内在任一**cm²的区域（主要线性尺寸不大于20cm）的空气比释动能不应超过**mGy。即距焦点1m处，任一**m²的区域（主要线性尺寸不大于20cm）的空气比释动能率不应超过**mGy/h。

根据公式（11-10）和（11-11），本项目各关注点泄漏辐射剂量率见表11-11。

表11-11 关注点处泄漏辐射剂量率计算结果

机房	关注点	距焦点1m 处剂量率 H_{0L} ($\mu\text{Gy/h}$)	X	D (m)	α	β	γ	B	\dot{H}_L ($\mu\text{Gy/h}$)
D S A 4 机 房	A点	**	**	**	**	**	**	**	**
	B点		**	**				**	
	C点		**	**				**	
	D点		**	**				**	
	E点		**	**				**	
	F点		**	**				**	
	G点		**	**				**	
	H点		**	**				**	
	I点		**	**				**	

注：① α 、 β 、 γ 取《放射诊断放射防护要求》（GBZ130—2020）表 C.2 中 150kV（主束）。

（2）散射辐射

对于病人体表的散射X射线可以用反照率法估计。散射剂量率采用李德平、潘自强主

编《辐射防护手册第一分册 辐射源与屏蔽》（[M]北京：原子能出版社，1987）中P437页给出的公式计算：

$$H_s = \frac{H_{0s} \cdot \alpha \cdot B \cdot S}{(d_0 \cdot d_s)^2} \dots\dots\dots\text{式 (11-12)}$$

- 式中：H_s—散射剂量率，μSv/h；
 H_{0s}-距焦点 1m 处剂量率，μGy/h；
 α—受照射物体对入射X射线的散射比；
 S—散射面积，cm²；
 d₀—X射线机与受照体的距离，m；
 d_s—受照体与关注点的距离，m。
 其他参数所代表意义同上。

透视模式：参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）第 5.8.3 节要求，介入放射学、近台同室操作用 X 射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于 20cm 的装置。参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表 E.4 典型成年受检者 X 射线透视的诊断参考水平：“有影像增强器并有自动亮度控制系统的 X 射线设备（介入放射学中使用）入射体表剂量率**mGy/min”，假设焦皮距为 20cm 情况下，透射模式下距靶 1m 处的空气比释动能率为**μGy/h。

摄影模式：根据《辐射防护导论》（方杰）（第69页）可知，距离靶点1m处的最大剂量率与射线装置的管电流成正比。根据建设单位提供资料，摄影工况下管电流约为透视工况的50倍，摄影模式下距X射线源1m处的空气比释动能率为**μGy/h。

根据公式（11-11）、（11-12），本项目各关注点散射辐射剂量率见表 11-12。

表 11-12 关注点处散射辐射剂量率计算结果

关注区域	H _{0s} (μGy/h)	S (cm ²)	d ₀ (m)	d _s (m)	α	β	γ	B	H _s (μGy/h)
透视模式	A点	**	**	**	**	**	**	**	**
	B点	**	**	**	**	**	**	**	**
	C点	**	**	**	**	**	**	**	**
	D点	**	**	**	**	**	**	**	**
	E点	**	**	**	**	**	**	**	**
	F点	**	**	**	**	**	**	**	**
	G点	**	**	**	**	**	**	**	**

	H点		**	**	**	**	**	**	**	**
	I点		**	**	**	**	**	**	**	**
摄影模式	A点	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	B点		**	**	**	**	**	**	**	**
	C点		**	**	**	**	**	**	**	**
	D点		**	**	**	**	**	**	**	**
	E点		**	**	**	**	**	**	**	**
	F点		**	**	**	**	**	**	**	**
	G点		**	**	**	**	**	**	**	**
	H点		**	**	**	**	**	**	**	**
	I点		**	**	**	**	**	**	**	**

注：① α 、 β 、 γ 取《放射诊断放射防护要求》（GBZ130—2020）表C.2中150kV（散射）。

（三）本项目DSA机房各关注点总辐射剂量率

根据表11-11和表11-12，本项目DSA机房各关注点总辐射剂量率见表11-13。

表 11-13 本项目 DSA 机房各关注点总辐射剂量率

工作模式	关注区域描述	泄漏剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	散射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	总剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	
透视模式	A点	东墙外30cm（设备间）	**	**	**
	B点	南墙外30cm（DSA5机房）	**	**	**
	C点	西墙外30cm（控制室）	**	**	**
	D点	北墙外30cm（DSA3机房）	**	**	**
	E点	西侧防护门外30cm处（控制室）	**	**	**
	F点	西侧观察窗外30cm处（控制室）	**	**	**
	G点	东侧防护门外30cm处（病人走廊）	**	**	**
	H点	地板下方距地面170cm处	**	**	**
	I点	顶棚上方距地面100cm处	**	**	**
摄影模式	A点	东墙外30cm（设备间）	**	**	**
	B点	南墙外30cm（DSA5机房）	**	**	**
	C点	西墙外30cm（控制室）	**	**	**
	D点	北墙外30cm（DSA3机房）	**	**	**
	E点	西侧防护门外30cm处（控制室）	**	**	**
	F点	西侧观察窗外30cm处（控制室）	**	**	**
	G点	东侧防护门外30cm处（病人走廊）	**	**	**
	H点	地板下方距地面170cm处	**	**	**
	I点	顶棚上方距地面100cm处	**	**	**

根据表11-13，本项目DSA机房在透视模式下机房外各关注点辐射剂量率最大为** $\mu\text{Gy/h}$ （即** $\mu\text{Sv/h}$ ），在摄影模式下机房外各关注点辐射剂量率最大为** $\mu\text{Gy/h}$ （即** $\mu\text{Sv/h}$ ），均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“具有透视功能的X射线设备在透视条件下检测时，机房周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；具有短时、高剂量率曝光的摄影程序，机房外的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ”的标准要求。

11.2.2.2 类比分析

本项目类比对象选择《贵阳医学院第三附属医院 X 射线装置应用项目环境影响报告表》中已投入使用的 1 台 DSA 机运行时的相关监测数据，该项目已取得环评批复，类比监测报告详见附件 14。

①类比可行性分析

本次拟建的 DSA 与类比项目 DSA 技术参数、防护措施及机房周边环境对比一览表见表 11-14 和表 11-15。

表 11-14 DSA 技术参数、防护措施类比条件一览表

项目	本项目	类比项目	备注
型号	待定	**	/
最大管电压、管电流	150kV,1250mA	**	相同
四周屏蔽墙	轻当钢骨+4mmPb 铅板（约 4mmPb）	**	优于类比项目
防护门铅当量	4.0mmPb	**	优于类比项目
顶棚	14cm 混凝土+3mmPb 当量防护涂料层（4.38mmPb）	**	优于类比项目
地板	14cm 混凝土+3mmPb 当量防护涂料层（4.38mmPb）	**	优于类比项目
观察窗铅当量	4.0mmPb	**	优于类比项目
机房有效使用面积	70m ² (10m×7m)	**	优于类比项目

表 11-15 机房周边环境对比表

机房		本项目	类比项目
		DSA 机房	**
机房上方		预留用房	**
机房下方		抢救大厅、急诊胃镜室、急诊气管镜室和心电室	**
机房四周环境	东侧	设备间、病人走廊	**
	南侧	DSA5 机房	**
	西侧	控制室	**
	北侧	DSA5 机房	**

由表 11-14 可知，本项目 DSA 的最大管压和最大管电流与类比项目相同，DSA 机房各屏蔽措施均优于类比项目，机房面积大于类比项目。由表 11-15 可知，本次评价的 DSA 机房周围环境与类比项目相似。综上所述，类比条件充分。

②类比监测结果

根据《贵阳医学院第三附属医院 X 射线装置应用项目监测报告》中有关监测数据，本项目类比监测结果见下表 11-16。

表 11-16 DSA 机房及周边环境辐射水平类比监测结果表

序号	监测位置		周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)			
			开机状态		关机状态	
			范围值	平均值	范围值	平均值
1	大防护门门缝（透视）		**	**	**	**
	大防护门门缝（曝光）		**	**		
2	观察窗（透视）		**	**	**	**
	观察窗（曝光）		**	**		
3	操作位（透视）		**	**	**	**
	操作位（曝光）		**	**		
4	机房北面库房（透视）		**	**	**	**
	机房北面库房（曝光）		**	**		
5	小防护门门缝（透视）		**	**	**	**
	小防护门门缝（曝光）		**	**		
6	机房东面墙外 30cm（透视）		**	**	**	**
	机房东面墙外 30cm（曝光）		**	**		
7	机房南面墙外 30cm（透视）		**	**	**	**
	机房南面墙外 30cm（曝光）		**	**		
8	介入操作位铅 屏风前（透视）	铅衣前	**	**	**	**
		铅衣后	**	**		
9	医院南18m 居民楼（曝光）		**	**	**	**
	医院南18m 居民楼（透视）		**	**		
10	医院东南30m 居民楼（曝光）		**	**	**	**
	医院东南30m 居民楼（透视）		**	**		
11	机房楼上办公室		**	**	**	**

由表11-16类比监测结果可知，类比DSA在正常使用条件下，减影模式下机房周围剂量当量率为** $\mu\text{Sv/h}$ ~** $\mu\text{Sv/h}$ ，透视模式下机房周围剂量当量率为** $\mu\text{Sv/h}$ ~** $\mu\text{Sv/h}$ 。本项目

DSA管电压、电流与类比项目相同，机房的屏蔽措施皆优于类比项目，机房面积大于类比项目，故可预测本项目DSA正常运行后周围各关注点辐射剂量率满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“具有透视功能的X射线设备在透视条件下检测时，机房周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”和“具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.25mSv ”的标准要求。

11.2.2.3 职业工作人员和公众年有效剂量评价

(1) 介入医护人员

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）中“按5.3.3条佩戴铅围裙内、外两个剂量计时，宜采用式（11-13）估算有效剂量”。

$$E=\alpha H_u+\beta H_o\text{.....式（11-13）}$$

式中：

E—有效剂量中的外照射分量，单位为毫希沃特（mSv）；

α —系数，有甲状腺屏蔽时，取**；

H_u —铅围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位为毫希沃特（mSv）；

β —系数，有甲状腺屏蔽时，取**；

H_o —铅围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，单位为毫希沃特（mSv）。

根据医院提供的资料，本项目使用的 DSA 机属于非直接荧光屏透视设备。根据《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76—2020）中“表 B.1X 射线透视设备通用检测项目与技术要求”的要求，非直接荧光屏透视设备在验收检测、状态检测、稳定性检测（六个月一次）等均要求透视防护区检测平面上周围剂量当量率 $\leq 2\mu\text{Sv/h}$ 。该检测条件是：使用 $30\text{cm}\times 30\text{cm}\times 20\text{cm}$ 标准水模模拟人体，设备和配备的防护设施呈正常使用时的摆放状态，照射方式选择自动亮度控制条件。透视防护区检测平面上周围剂量当量率 $\leq 2\mu\text{Sv/h}$ 属于设备性能强制性要求，且检测工况及检测条件与正常使用时一致。因此可保守使用该 $2\mu\text{Sv/h}$ 剂量率值来代表透视状态下室内工作人员操作区域最大剂量率值（未使用铅服屏蔽）。

根据标准要求的防护用品配置方案，工作人员穿戴的个人躯干防护用品（铅橡胶围裙和铅橡胶颈套） 0.5mmPb ，按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 中的方法计算同室操作的术者位剂量，DSA 透视时同室操作的术者位取 150kV 主束时参数， 150kV

主束时，0.5mmPb 透射因子为**。150kV 主束时，**μSv/h 剂量率经 0.5mmPb 铅服屏蔽后降为**μSv/h。介入医生和护士年受照剂量估算及计算参数见表 11-17。

表 11-17 介入医生和护士最大附加年有效剂量估算表

工作人员	项目	剂量率 (μSv/h)	手术台数(台)	单台手术时间 (min)	年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv)		
每组介入医生、护士	同室（铅橡胶防护衣内）	**	**	**	**	**	**	**
	同室（铅橡胶防护衣外）	**		**	**	**		
	隔室（DSA 出束）	**		**	**	**		

注：在摄影模式下介入医生和护士位于操作间内，采用西侧观察窗外 30cm 处剂量率进行计算。

(2) 控制室操作人员

隔室操作人员个人年有效剂量当量计算模式如下：

$$H_{\gamma} = D_{\gamma} \times T \times 10^{-3} \dots \dots \dots \text{式 (11-14)}$$

式中：H_γ—γ辐射外照射人均年有效剂量当量，mSv；

D_γ—X-γ辐射剂量率，μSv/h；

T—年工作时间，h。

DSA4 机房控制室操作人员的附加年有效剂量采用表 11-15 理论计算辐射剂量率进行年有效剂量估算。根据式 11-14，则本项目控制室操作人员最大附加年有效剂量估算结果见表 11-18。

表11-18 控制室操作人员最大附加年有效剂量估算表

项目	工作人员		附加辐射剂量率 (μSv/h)	年停留时间 (h)	最大附加年有效剂量 (mSv)	
DSA4 机房	控制室	摄影	**	**	**	**
	操作人员	透视	**	**	**	

医院现有DSA辐射工作人员辐射工作时均配备个人剂量计并定期送检，根据2024年1月1日—2024年12月31日连续4个季度个人剂量年度监测报告可知，介入辐射工作人员中最大年有效剂量为**mSv。根据表11-17和表11-18职业人员年有效剂量估算结果，可以预测本项目DSA正常运行时对工作人员职业照射的最大附加年有效剂量值为**mSv/a，叠加现有DSA辐射工作人员个人剂量监测结果后为**mSv/a。本项目职业人员受到的年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求，也低于本报告提出的剂量约束值（职业人员5mSv/a）。

(3) 公众人员年有效剂量

DSA4 机房周围公众人员的附加年有效剂量采用表 11-16 理论计算辐射剂量率进行年有效剂量估算。参照《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），东侧设备间居留因子

取 1/16、病人通道居留因子取 1/4；南侧 DSA5 机房居留因子取 1/8；北侧 DSA3 机房居留因子取 1/8；楼上为预留用房居留因子取 1；楼下抢救大厅、急诊胃镜室、急诊气管镜室和心电室居留因子取 1。根据式 11-14，本项目周围公众人员最大附加年有效剂量估算结果见表 11-19。

表11-19 公众人员最大附加年有效剂量估算表

项目	公众人员		$\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$	t(h)	T	H(mSv/a)	
DSA4 机房	设备间人员	透视	**	**	**	**	**
		摄影	**	**		**	
	病人走廊人员	透视	**	**	**	**	**
		摄影	**	**		**	
	DSA5机房人员	透视	**	**	**	**	**
		摄影	**	**		**	
	DSA3机房人员	透视	**	**	**	**	**
		摄影	**	**		**	
	抢救大厅、急诊胃镜室、 急诊气管镜室人员	透视	**	**	**	**	**
		摄影	**	**		**	
	预留用房人员	透视	**	**	**	**	**
		摄影	**	**		**	

根据表11-19公众人员最大附加年有效剂量估算结果，公众年附加有效剂量最大为**mSv。本项目公众人员受到的年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求，也低于本报告提出的剂量约束值（公众人员0.1mSv/a）。

11.3 事故影响分析

按照原《福建省环保厅关于印发〈核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲〉（试行）的通知》（闽环保辐射〔2013〕10号）要求，医院已编制《辐射事故（件）应急预案》。

11.3.1 可能发生的辐射事故

（1）直线加速器可能发生的辐射事故

①安全联锁装置发生故障情况下，人员误入正在运行的直线加速器机房而造成 X 射线误照射。

②工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离直线加速器机房，加速器运行，会对工作人员或病人家属产生不必要的 X 射线照射。

③工作人员在机房内为患者摆位或其他准备工作，控制台处操作人员误开机出束，发

生事故性出束，对工作人员造成辐射伤害。

④直线加速器控制系统出现故障，照射治疗不能停止，病人受到计划外照射。

⑤维修期间的事故，直线加速器维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

(2) DSA 可能发生的辐射事故

①当警示灯、门灯联锁损坏时，公众、检查管理人员或检修维护人员在 DSA 开机状态下误入 DSA 机房，致使人员受到额外的 X 射线照射。

②DSA 在铅玻璃老化和铅门破损未及时维修情况下，给周围活动人员及辐射工作人员造成额外的 X 射线照射。

③因违章操作，控制室操作人员在病人及医护人员未撤离 DSA 机房时进行曝光，给病人及医护人员造成额外的 X 射线照射。

④进行 DSA 介入手术的医护人员未穿戴铅围裙、铅围脖、介入防护手套等个人防护用品而受到不必要的 X 射线照射；没有为患者穿戴个人防护用品而受到不必要的 X 射线照射。

11.3.2 辐射事故后果计算

(1) 直线加速器辐射事故后果计算

①直线加速器对病人开机治疗时，距焦点 1m 处 X 射线的最大吸收剂量率为**cGy/min，假设考虑直线加速器运行时人员误入治疗室，人员在无其他屏蔽的情况下处于加速器机头外 1m 远处的主射束方向。由于治疗室内设置有急停按钮，只要误入人员按下此按钮就可以停机，受照时间取 10s，则事故情况下误入人员距加速器机头 1m 处受到的辐射剂量为**Gy，超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 20mSv/a 剂量限值。

②在维修人员进行检修时，假设触动直线加速器开关，造成维修人员在无其他屏蔽的情况下处于加速器照射头射束 1m 处的直射方向，主射束 1m 处剂量率为最大值**Gy/min，每次误入照射时间为 3~4 秒。若照射时间为 4 秒，则维修人员受到的辐射剂量为**Gy/次，超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 20mSv/a 剂量限值。

(2) DSA 辐射事故后果计算

根据分析，本次评价项目可能严重的辐射事故情景是：DSA 机房内手术人员没有按要求穿戴铅衣、铅帽等个人防护用品，导致工作人员受到不必要的超剂量外照射。

假设某手术人员没有穿戴个人防护用品参与手术，一次手术照射时间约 20 分钟。

根据《医用 X 射线诊断设备质量控制检测规范》（WS76-2020），表 B.1 中第 7 条“非

直接透视荧光屏设备，透视防护区检测平面上周围剂量当量率需小于 $2\mu\text{Sv/h}$ ”，根据表 10 分析，本项目拟按照要求配备床侧防护帘，所以本项目透视防护区周围剂量当量率小于 $2\mu\text{Sv/h}$ 。假设手术工作人员未穿戴防护用品持续时间为 20min，则可以计算出其受照剂量为 2mSv ，未超过辐射工作人员的年有效剂量约束值（ 5mSv/a ）。

参考《实用辐射安全手册第二版》关于急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系，见表 11-20。

表 11-20 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

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

依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条关于辐射事故分级要求，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，见表 11-21。

表 11-21 辐射事故分级

事故等级	事故情形
特别重大辐射事故	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	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	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	射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

因此本项目可能发生的辐射事故为一般辐射事故或较大辐射事故。

11.3.3 事故防范措施

(1) 直线加速器事故防范

①制定有自检制度，且严格进行经常性自查，如发现门机连锁、监视器、工作状态指

示灯、电离辐射警告标志不够完善或失灵，以及防护门出现故障，应立即补充和修复。定期进行门机联锁装置、工作状态指示灯检查，防止人员误入。

②加强人员培训，制定规范的操作规程并落实。

③制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，实施照射前控制台工作人员应先观察监控确保机房内摆位工作人员已撤出。

④做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

⑤医院应联系有维修资质的人员前来对设备进行维护，不得私自拆卸维修直线加速器。

(2) DSA 事故防范

针对本项目 DSA 机房可能发生的辐射事故，本项目采取的预防措施如表 11-22。

表 11-22 本项目采取的预防措施

辐射工作场所	环境风险因子	可能发生的辐射事故	采取的风险防范措施
DSA 机房	X射线	当警示灯、门灯联锁损坏时，公众、检查管理人员或检修维护人员在 DSA 开机状态下误入本项目 DSA 机房。	工作人员将每天检查安全联锁装置，且工作人员必须严格按照 DSA 操作程序进行操作，防止事故的发生。当发生事故时立即按下紧急按钮停止曝光，减少事故的影响。
		DSA 在铅玻璃老化和铅门破损未及时维修情况下，给周围活动人员及辐射工作人员造成额外的照射。	医院将定期对铅玻璃观察窗和铅防护门外周围剂量当量率监测，结果异常应及时进行维修。 DSA 维修保养时，由专业检修人员进行操作，并在操作台处标识“维修中”，待检修完成后，将维修标识取走，工作人员方可进行治疗操作，可有效避免事故的发生。
		因控制室操作人员违章操作，当人员未全部撤离 DSA 机房，DSA 运行给公众、辐射工作人员造成额外的照射。	制订辐射安全管理相关制度，辐射工作人员需经培训后上岗，严格按照操作规程操作，杜绝因违章操作造成额外照射。
		介入医生在 DSA 机房进行介入手术时，未穿戴好个人辐射防护用品。	本项目介入人员均须经培训合格后上岗，且严格按照操作规程进行操作，防止事故的发生。为介入医生配备铅围裙、铅围脖、铅眼镜、介入防护手套等个人防护用品。

引起辐射事故（事件）的原因可分为人为因素、技术因素或其他因素。人为因素如蓄意破坏、偷盗、违反操作规程、操作失误、安全观念淡薄、管理缺失等；技术因素为设计不合理、设备故障等；其他因素如自然原因等。

为加强辐射安全管理工作，医院应从辐射安全管理、辐射安全意识两方面着手，提高辐射安全文化素养，加强辐射防护意识，预防辐射事故发生。为减少事故发生，医院需做好以下工作。

①定期组织辐射安全文化、法律法规培训，开展辐射安全实践活动，提高辐射安全文

化素养，增强工作人员的核安全意识和专业技术知识。

②倡导严谨质疑的工作态度，树立知责任、负责任的责任意识，建立机制鼓励工作人员发现潜在的管理问题和安全隐患，建立有效的经验反馈机制，预防人因失误。

③定期对辐射安全与环境保护措施效果进行检查，核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，预防技术因素引起辐射事故。

④加强辐射分区管理，限制公众在监督区长期滞留。

⑤射线装置发生故障而紧急停机后，在未查明原因或维修结束前，不得重新启动辐射源。

⑥调试和维修时，应保证切断辐射源。

⑦调试和维修必须解除安全联锁时，需经负责人同意并通告有关人员。调试结束后，应及时恢复安全联锁并确认系统正常。

11.3.4 辐射事故处置方案

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条及《建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度》（原国家环境保护总局环发 145 号文件）等相关规定，发生辐射事故时，如人员出现超剂量照射，医院应当立即启动本单位事故应急预案，采取应急措施，并立即向当地生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门报告。

生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门接到辐射事故报告后，应当立即派人赶赴现场，进行现场调查，采取有效措施，控制并消除事故影响，同时将辐射事故信息报告本级人民政府和上级人民政府生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门。

县级以上地方人民政府及其有关部门接到辐射事故报告后，应当按照事故分级报告的规定及时将辐射事故信息报告上级人民政府及其有关部门。

针对本项目直线加速器和 DSA 可能发生的辐射事故，本项目采取的处理原则是：

①立即消除事故源，防止事故继续蔓延和扩大，即第一时间断开电源，停止 X 射线的产生。

②及时检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应及时安置受照人员就医检查；及时处理，出现事故后应尽快集中人力、物力，有组织、有计划地进行处理。这样可以缩小事故影响，减少事故损失。

③事故处理后分析相关资料，及时总结报告。医院对辐射事故进行记录：包括事故发生的的时间和地点、所有涉及的事故责任人和受害者名单、对任何可能受到照射的人员所做的辐射剂量估算结果、所做的任何医学检查及结果、采取的任何纠正措施、事故的可能原

因、为防止类似事件再次发生所采取的措施。

④对可能发生的辐射事故，应及时采取措施，妥善处理，以减少和控制事故的危害影响，并接受监督部门的处理，同时及时上报生态环境主管部门和卫生主管部门。

11.3.5 演练计划

医院目前开展的核技术利用项目为使用射线装置和使用非密封放射性物质，医院需每年至少开展一次辐射应急演练，应急演练前需编制演习计划，包括演练模拟的事故情景，如射线装置失控导致人员误照射、门灯连锁损坏人员误入等，此外演练参与的人员为辐射管理人员及辐射工作人员等。通过辐射事故演练，使辐射工作人员能够更好地应对突发事件的快速响应能力，减轻辐射事故造成的影响。

11.4 退役影响分析

本项目医用直线加速器更换的靶部件，可能带有长寿命的感生放射性核素，退役时，废靶交由设备厂家回收。加速器内循环水系统中使用的离子交换树脂吸附循环水中的感生放射性核素，废树脂交由设备厂家回收。

DSA达到设备使用年限时，产生的废旧X射线阴极管属于危险废物（国家废物危险名录900-044-49），应委托有资质单位处置。拆除X射线管的DSA在任何情况下均不会再产生X射线，医院可按照一般设备报废的相关规定进行处置。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第 20 号）的相关规定：使用射线装置的单位，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构。

莆田学院附属医院根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的有关规定，已成立了以林*为组长，林*、蔡**、林*为秘书，王**、陈**、林**、甘*、翁*等 14 人为成员组成的辐射安全与环境保护管理领导小组，详见附件 5。

其主要职责内容包括：

- 1.负责本单位辐射安全与环境保护日常管理工作。
- 2.负责辐射设备管理，环评、退役环评、环境保护竣工验收以及辐射安全许可证申请、变更、延续等相关工作开展。
- 3.负责辐射工作人员定期培训考核、健康体检和个人剂量监测等。
- 4.负责建立健全辐射安全与环境保护相关制度。
- 5.辐射安全与环境保护管理领导小组兼辐射事故应急处理工作领导小组，全面负责医院的辐射安全管理及相关工作，组织、开展辐射事故的应急救援工作。负责编制审定辐射安全事故/事件应急预案，并组织演练。

12.2 辐射安全管理

（一）规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使用射线装置的单位应有健全的操作规程、岗位职责、放射防护和安全保卫制度、设备维修制度、人员培训计划、监测方案等，有完善的辐射事故应急措施。

莆田学院附属医院已根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的有关要求制订规章制度，医院已制订相关制度见表12-1。

表 12-1 辐射安全管理制度要点

《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求成立的制度	医院已建立的管理制度	
	名称	内容
《操作规程》	《介入放射学、近台同室操作安全操作规程》《DSA设备操作规程》《直线加速器操作规程》	主要规定辐射工作人员操作射线装置的详细流程，能减少辐射事故的发生。
《岗位职责》	《辐射工作人员岗位职责》	主要明确了辐射工作人员和管理人员在辐射工作中各自的责任。

《辐射防护制度》	《辐射安全和安全保卫规定》	对医院辐射工作人员职责、工作程序和个人防护作出要求。
《安全保卫制度》	《辐射安全管理规定》	
《设备检修维护制度》	《辐射设备监测维修制度》	提出了对射线装置的定期检修和维护要求，防止因设备损坏造成辐射事故。
《人员培训制度》	《辐射工作人员培训制度》	主要规定了辐射工作人员培训方式、证书有效期。
《台账管理制度》	《射线装置台账管理制度》 《射线装置使用登记制度》	主要规定了工作人员在日常操作过程中记录射线装置使用时的管电压、管电流、曝光时间、使用人等情况。
《监测方案》	《个人剂量和辐射环境监测方案》	主要规定了委托监测和日常监测的频率和内容，并要求对监测结果存档保留。
		主要规定了辐射工作人员个人剂量监测的频率以及个人剂量计的佩戴要求。

莆田学院附属医院制定的规章制度符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关要求。

（二）辐射工作人员考核

根据《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》的规定，使用射线装置操作人员与辐射防护负责人应进行辐射安全培训，并持证上岗，根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部办公厅2019年12月24日印发），应及时在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台免费学习相关知识、报名并通过考核后方可上岗；已获得辐射安全培训合格证书的工作人员每五年接受一次再培训。本项目依托的辐射工作人员均报名参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台关于辐射安全与防护知识的学习，且考核合格。

（三）辐射工作人员职业健康体检

根据《中华人民共和国职业病防治法》第三十五条：对从事接触职业病危害的作业的劳动者，用人单位应当按照国务院卫生行政部门的规定组织上岗前、在岗期间和离岗时的职业健康检查，并将检查结果书面告知劳动者。建设单位严格遵守相关法律法规的要求，已安排本项目辐射工作人员进行职业病健康体检，结果显示均可从事放射工作。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测目的

开展辐射监测的目的主要是及早发现和获取可能发生污染与危害的征兆，确保项目安全运行；防止对环境产生有害的影响和对工作人员造成不必要的危害；为采取相应的安全措施提供必要的依据；同时监测数据为运行阶段的环境现状提供参考资料；与本底数据进行对照，分析项目运行后对辐射环境的影响。

12.3.2 个人剂量监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第二十九条要求，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理的规定，对直接从事使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

医院拟为所有辐射工作人员配备个人剂量计，开展个人剂量监测。监测工作委托有资质的放射防护技术服务机构承担。个人剂量常规监测周期一般为1个月，最长不应超过3个月。医院已建立完善的辐射工作人员个人剂量档案，个人剂量监测档案包括辐射工作人员个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等内容。个人剂量监测档案终生保存。

12.3.3 工作场所及周围环境监测

为了解项目运行过程中的辐射安全，控制和评价辐射危害，使工作人员和公众所受照射尽可能低，项目计划配备相应的辐射监测设备，定期开展外照射监测等，并定期对工作场所及周围环境进行辐射环境监测，建立监测档案。

①验收监测：项目建设完成后，委托有资质的单位进行竣工环境保护验收监测。

②年度监测：每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行环境监测。

③日常监测：项目运行期间，使用配备的辐射监测设备，对辐射工作场所定期进行环境监测。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）以及《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求，本项目辐射环境监测计划见表12-2。

表12-2 辐射监测计划

监测对象		监测方案	监测项目	监测频率	监测方式
DSA	防护性能	四周屏蔽墙外 30cm 处、操作位、防护门门缝处、观察窗、楼上、楼下、管线孔等	周围剂量当量率	每年 1 次、验收监测 1 次	委托有资质单位监测
			周围剂量当量率	每季度 1 次	自行监测
	安全联锁	实测并检查	安全	每次使用前	自行检测
医用直线加速器	防护性能	屏蔽墙外 30cm 处、操作位、防护门门缝处、楼上、管线孔等	周围剂量当量率	每年 1 次、验收监测 1 次	委托有资质单位监测
			周围剂量当量率	每季度 1 次	自行监测
	安全联锁	实测并检查	安全	每次使用前	自行检测
辐射工作人员		放射治疗工作人员在左胸前佩戴 1 个人剂量计；介入工作人员在铅衣内外	年有效剂量	操作时，每季度送检 1 次	送有资质单位监测

	各佩戴 1 个人剂量计			
外环境（50m 范围内环境保护目标）	实测	周围剂量当量率	每年 1 次	委托有资质单位监测

本项目制定的辐射监测计划符合医院实际情况，包括定期委托监测、自行监测、自行检查以及辐射工作人员个人剂量监测，内容全面，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等标准要求，辐射监测计划整体可行。

12.4 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《福建省环保厅关于印发〈核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲〉（试行）的通知》（闽环保辐射〔2013〕10号）要求，医院已编制《辐射事故（件）应急预案》。

根据《辐射事故（件）应急预案》，医院成立了放射事件防范和处置应急小组，小组成员名单如下：

组长：蔡**、康**

副组长：林*、连**、朱**、蔡**、陈**、翁**、朱**、林**、甘*、谢**、林**、**、翁**、陈**、彭**、许**、陈**、吴*、王**

成员：林**、林*、林**、黄**、林*、陈*、吴**、林**、李*、林*琳、蔡**

主要职责为：

（1）负责组织应急准备工作，调度人员、设备、物资等，指挥有关科室及人员迅速赶赴现场，开展工作；

（2）定期组织对辐射工作场所、设备和人员进行辐射防护情况自查和监测，发现事故隐患及时报告并落实整改措施；发生人员超剂量照射事故，应启动本预案；

（3）对辐射事故的现场进行组织协调，事故发生后立即组织有关部门和人员进行辐射事故应急处理；

（4）负责向生态环境主管部门和卫生行政部门及时报告事故情况；

（5）配合有关主管部门进行辐射事故应急处理具体方案的研究确定和组织实施工作；

（6）负责迅速安置超受照人员就医，组织人员的撤离工作，并及时控制事故影响，防止事故的扩大。

12.5 建设项目竣工环境保护验收一览表

本项目竣工环境保护验收一览表见表 12-3。

表 12-3 竣工环境保护验收一览表

污染源或保护源	主要环保措施	验收标准
直线加速器机房防护措施	<p>本项目直线加速器机房 1 四周墙体、顶棚、门的防护详见表 10-1。</p>	<p>1、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021） 2、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）</p>
	<p>直线加速器机房 1 出入口防护门上设置电离辐射警告标志；在出入口防护门上方设置工作状态指示灯，工作状态指示灯与防护门、医用直线加速器联锁。</p>	
	<p>直线加速器机房 1 迷路内设置 1 个 CCTV 摄像头，2 个监控摄像头，在治疗室内设置 2 个 CCTV 摄像头，2 个监控摄像头，在操作室和入口缓冲区分别设置 1 个 CCTV 摄像头；在控制室与直线加速器机房治疗室设置双向对讲装置。</p>	
	<p>直线加速器机房 1 迷道内墙处设置固定式辐射剂量监测系统并具有报警功能，其显示单元设置在控制室内。</p>	
	<p>直线加速器机房 1 入口防护门设计门-机联锁装置，防护门打开或没有关严时，医用直线加速器不能出束照射；医用直线加速器出束状态下开门停止出束。</p>	
	<p>直线加速器机房 1 机房迷道口、操作室内分别设置 1 个紧急开门装置。防护门设置红外线感应防夹装置，在门体关闭时检测到障碍物时，门体自动打开，直至障碍物消除后门体才自动关闭。</p>	
	<p>直线加速器机房 1 操作室墙面拟设置 1 个急停按钮，治疗室东墙、南墙、北墙及迷路各设置 1 个急停按钮，西墙拟设置 2 个急停按钮。急停按钮处设置醒目标识及文字显示，能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。在紧急情况下按下急停按钮可使医用直线加速器停止出束。</p>	
	<p>本项目安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过本项目建设单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。</p> <p>直线加速器机房 1 设置强制排风系统，换气次数不少于 4 次/h，排气口位置不得设置在有门、窗或人流较大的过道等位置。</p> <p>本项目直线加速器机房送风及排风管均在迷路外墙上方穿墙而出，管道外采用 20mm 铅板包覆，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果，废气经机房排风管道经排风井至配电房屋顶排放。</p> <p>本项目直线加速器机房内电缆沟通过地下电缆沟走线，并采用“U”形方式从地坪下穿越屏蔽墙体到达机房外。通过电缆沟和下沉地面穿越屏蔽墙的设计使射线多次折返，增加泄漏射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。</p> <p>医用直线加速器在迷路外墙设物理测试孔，避开有用线束方向；物理测试孔以水平 45°、上下 32°角斜穿墙体，从迷路外墙由下往上向上斜穿墙体，物理测试孔口迷路外墙内侧处距地 100mm，控制室侧距地 1000mm。</p>	

DSA 机房 防护措施	DSA4 机房四周墙体、顶棚、地板、门、窗的防护详见表 10-3。	《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）
	DSA4 机房防护门外设置电离辐射警告标志；患者出入防护门上方设置醒目的工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句。机房设置门灯联锁装置，防护门关闭的情况下，工作状态指示灯才亮。	
	在 DSA 机表面显眼位置及控制室内均设置急停开关按钮，在出现紧急情况下，按下急停按钮，可以切断设备电源，X 射线停止出束。本项目 DSA4 机房内设置对讲装置，方便工作人员与病人交流。	
	<p>本项目 DSA4 机房将电缆管线在机房地下布置，电缆管线上采用 3mmPb 的铅盖板进行覆盖，并避免主射线直接照射管线口。本项目电缆管线以“U”字形从地坪下方穿越墙体，穿墙口位于控制室侧墙体下方位置。</p> <p>本项目 DSA4 机房采取吸顶式排风扇进行通风，通过排风管道连通室外，每个机房设置独立通风及空调系统。通风管道穿墙方式为直穿，穿墙洞口位于吊顶上方，管道穿墙处使用 4mmPb 铅进行防护补偿，并用防护涂料补充管道缝隙，满足整个机房屏蔽防护要求。</p>	
辐射 管理 措施	工作人员佩戴个人剂量计并建立个人剂量监测档案。	1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002） 2、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》
	制定相应的规章制度和辐射事故应急预案，规章制度应张贴在控制室。	
	新增辐射工作人员参加生态环境部国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的培训和学习，并取得辐射安全与防护考核合格证书，已取得合格证书人员定期参加复训。	
	所有辐射工作人员参加职业病健康体检。	
	每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境监测，并按时报送辐射安全年度评估报告。	
	本项目环评批复后，建设单位应向生态环境主管部门办理辐射安全许可证重新申领手续。	

表 13 结论与建议

13.1 结论

莆田学院附属医院新院区位于莆田市荔城区东圳东路 999 号，为进一步提高医院医疗卫生服务水平，满足当地医疗需求，医院拟对新院区住院部负一层直线加速器机房 1 进行改造，使用 1 台 Elekta Harmony Pro 型医用直线加速器，属于 II 类射线装置；拟在急重症诊疗中心大楼 2 层建设 1 间 DSA 机房及配套用房，使用 1 台 DSA 机，属于 II 类射线装置。

一、辐射安全与防护分析结论

数字平板减影血管造影机（DSA）和医用直线加速器的应用在我国是较为成熟的技术，在疾病诊疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用。本项目建设运行后，将为患者提供一个更优越的诊疗环境，具有明显的社会效益，并能在保障病人健康的同时为医院创造良好的经济效益。在做好辐射管理工作和采取必要的防护措施后，其获得的利益远大于辐射所造成的损害。

二、辐射安全管理符合性分析

医院已成立辐射安全与环境保护管理领导小组，制定《辐射安全管理规定》《辐射工作人员岗位职责》《辐射设备监测维修制度》《辐射工作人员培训制度》《个人剂量监测管理制度》《辐射工作人员档案管理制度》《辐射工作定期自查和监测制度》《辐射防护目标管理值制度》《DSA 设备操作规程》《直线加速器操作规程》《莆田学院附属医院辐射事故（件）应急预案》等规章制度，并按照规章制度执行，医院将定期修订辐射事故应急预案等相关制度。本项目辐射工作人员均已在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加培训，并考核合格，将定期参加复训。本项目医用直线加速器和 DSA 辐射安全防护措施及管理措施满足辐射安全防护与相关标准要求

三、环境影响评价结论

本项目直线加速器机房屏蔽体外人员可达的四周墙外 30cm 处、顶棚外以及防护门外关注点的剂量率在**~** $\mu\text{Sv/h}$ 之间，均符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）、《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）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）等的相关要求，同时均满足剂量率控制水平。

由理论计算及类比分析结果可知，本项目 DSA 正常运行时，在透视和摄影模式下，机房外周围剂量当量率能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“具有

透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，机房周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h；具有短时、高剂量率曝光的摄影程序，机房外的周围剂量当量率应不大于 25 μ Sv/h” 的标准要求。

根据理论计算结果，本项目设备正常运行时，辐射工作人员及公众人员年有效剂量均满足《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（职业人员 20mSv/a，公众人员 1mSv/a），也可满足剂量约束值要求（职业人员 5mSv/a，公众人员 0.1mSv/a）。

四、可行性分析结论

①实践正当性分析

本项目的建设旨在提高诊断治疗水平，更好地解除病人痛苦，挽救病人的生命，提高医疗质量、改善患者就医环境，符合辐射防护“实践的正当性”原则。项目在加强管理后均满足国家相关法律、法规和标准的要求，不会给所在区域带来环境压力。根据《产业结构调整指导目录（2024年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令第7号，2024年2月1日起施行），本项目属于“十三条、医药”中“4.高端医疗器械创新发展、高性能医学影像设备、高端放射治疗设备”，为鼓励类，因此本项目建设符合国家当前产业政策。

②利益代价分析

项目的实施不仅可以为病人提供一个更加优越的诊疗环境，具有明显的社会效益，同时将提高医院档次及服务水平，吸引更多的就诊人员，为医院创造良好的经济效益。

五、总结论

综上所述，莆田学院附属医院 1 台医用直线加速器和 1 台 DSA 机项目在落实本报告表提出的各项污染防治措施和安全管理措施后，将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，项目正常运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护和辐射防护角度论证，该项目建设是可行的。

13.2 建议

（1）对本评价提出的辐射管理和辐射防护措施，建设单位应尽快落实，在项目建设同时，切实做到环保设施和主体工程“同时设计、同时施工、同时投产”。

（2）建设单位如需增加本报告表所涉及之外的放射性同位素、射线装置或对其使用功能进行调整，则应按要求向生态环境主管部门进行申报，并按污染控制目标采取相应的辐射防护措施。

(3) 本项目环评批复后，建设单位应及时向生态环境主管部门办理辐射安全许可证重新申领手续并按要求开展竣工环境保护验收工作。

(4) 建设单位应加强辐射安全与防护管理，及时组织辐射工作人员参加辐射安全与防护培训并通过考核，做到全体辐射工作人员持证上岗；培训证书有效期届满，拟继续从事辐射相关工作的，按规定每五年接受再培训与考核。建设单位应建立健全个人剂量和职业健康档案，所有辐射工作人员均应按要求佩戴个人剂量计并接受剂量监测。

表 14 审批

下一级生态环境主管部门预审意见：	
经办人：	盖 章 年 月 日
审批意见：	
经办人：	盖 章 年 月 日