

编号：BG-GAFB26720006

核技术利用建设项目

嵊州市人民医院（浙江大学医学院附属第一医院
嵊州分院）新增核医学科及DSA迁建项目
生态环境影响报告表
（公示稿）

嵊州市人民医院（浙江大学医学院附属第一医院嵊州分院）

2026年9月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

嵊州市人民医院（浙江大学医学院附属第一医院 嵊州分院）新增核医学科及DSA迁建项目 生态环境影响报告表

建设单位名称：嵊州市人民医院（浙江大学医学院附属第一医院嵊州分院）

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：嵊州市三江街道丹桂路 666 号

邮政编码：

联系人：

电子邮箱：

联系电话：

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	15
表 3 非密封放射性物质	15
表 4 射线装置	16
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	21
表 8 环境质量和辐射现状	33
表 9 项目工程分析与源项	41
表 10 辐射安全与防护	56
表 11 环境影响分析	86
表 12 辐射安全管理	120
表 13 结论与建议	127
表 14 审批	132

表 1 项目基本情况

建设项目名称		嵊州市人民医院（浙江大学医学院附属第一医院嵊州分院）新增核医学科及 DSA 迁建项目			
建设单位		嵊州市人民医院（浙江大学医学院附属第一医院嵊州分院）			
法人代表			联系人		联系电话
注册地址		嵊州市三江街道丹桂路 666 号			
项目建设地点		嵊州市三江街道丹桂路 666 号嵊州市人民医院 16 号楼一层和急诊楼三层			
立项审批部门		嵊州市发展和改革委员会		批准文号	2608-330683-04-01-675711
建设项目总投资（万元）		684.8	项目环保投资（万元）	195.8	投资比例（环保投资/总投资） 28.59%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他			占地面积（m ² ） 不新增
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☒ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☒ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☒ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☒ III 类		
	其他	/			
	1.1 项目概述 1.1.1 建设单位简介 嵊州市人民医院（浙江大学医学院附属第一医院嵊州分院，以下简称医院）创建于 1919 年，前身为芷湘医院，是一家集医疗、教学、科研、预防为一体的三级乙等综合性医院。医院现有职工 1735 人，其中卫技人员 1448 人，在编职工 1174 人，正高职称 129 人，副高职称 205 人，中级职称 734 人，博士 3 人、在读博士 1 人，硕士 144 人，本科 1120 人。设有 44 个临床、医技科室，33 个病区。医院设备先进，种类齐				

全。拥有飞利浦 DSA、MRI、十六排 CT、数字 X 光机等先进医疗仪器。

医院现持有浙江省生态环境厅颁发的辐射安全许可证，证书编号为：浙环辐证[D2093]（见附件 3）；发证日期：2025 年 05 月 20 日，有效期至：2029 年 06 月 19 日；种类和范围：使用 II 类、III 类射线装置。

1.1.2 项目建设目的和任务由来

近年来，随着医疗服务对象的扩大及人民群众对医疗服务质量要求的提高，为促进嵊州市城市建设和经济发展的需要，进一步改善当地医疗环境，提高医院知名度，医院拟对西北侧 16 号楼一层改造为核医学科，同时对医院东南侧急诊楼三层 OR23 手术室实施改造，改造后作为一间 DSA 机房用于介入治疗和影像诊断，配套 DSA 设备将从现有 5 号手术楼二层 DSA 机房搬迁至此。

本项目核医学科拟购置 1 台 PET/CT（型号暂未确定，按医院确认的最大管电压和管电流配置），使用核素 ^{18}F 进行显像诊断（本项目保守按照主流设备中所配备最大活度校准源和数量，1 枚 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}^{68}\text{Ge}$ 校准源和 1 枚 $5.55 \times 10^7 \text{Bq}^{68}\text{Ge}$ 校准源进行评价）；拟购置 1 台 SPECT/CT，使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行显像诊断。根据计算，本项目核医学科场所非密封放射性物质日等效最大操作量为 $4.63 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于 1 个乙级非密封放射性物质工作场所。

医院现已配置 2 台 DSA 设备，分别位于 5 号楼二层手术中心 DSA 室和急诊楼一层 DSA 导管室。为满足实际医疗流程优化需求，医院拟将东南侧急诊楼三层 OR23 手术室改造为 DSA 机房，并将 5 号楼二层手术中心 DSA 室的 DSA 装置搬迁至此，拟搬迁的 DSA 装置型号为 Azurion7M20，最大管电压为 125kV，最大管电流为 1000mA，用于介入治疗和影像诊断。

根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（原环境保护部，国家卫生和计划生育委员会公告，公告 2017 年第 66 号），上述 DSA 属于 II 类射线装置，PET/CT 和 SPECT/CTCT 属于 III 类射线装置；根据《关于发布<放射源分类办法>的公告》（原国家环保总局公告，公告 2005 年第 62 号），PET/CT 拟配置校准源 ^{68}Ge 属于 V 类放射源；根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中附录 C 非密封源工作场所的分级标准，本项目核医学科场所为乙级非密封放射性物质工作场所。根据《中华人民共和国生态环境法典》（自 2026 年 8 月 15 日起施行）等相关法律法规要求，本项目应开展生态环境影响评价。对照生态环境部令第 16 号《建设项目环境影

响评价分类管理名录（2021年版）》，本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目—使用Ⅴ类放射源；使用Ⅲ类射线装置”和“172、核技术利用建设项目—使用Ⅱ类射线装置；乙级非密封放射性物质工作场所”，依据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》第四条“建设内容涉及本名录中两个及以上项目类别的建设项目，其环境影响评价类别按照其中单项等级最高的确定”之规定，本项目应编制生态环境影响报告表。

为此，嵊州市人民医院委托浙江建安检测研究院有限公司开展“嵊州市人民医院（浙江大学医学院附属第一医院嵊州分院）新增核医学科及DSA迁建项目”（简称“本项目”）的环评工作。在接受委托后，评价单位组织相关技术人员进行了现场勘察、资料收集、辐射环境现状监测等工作，并结合项目特点，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）等规定要求编制完成本生态环境影响报告表。

1.1.3 项目建设内容和规模

1、核医学科

医院拟将16号楼一层原神经外科诊室、耳鼻喉科诊室、内科诊室、清创室、B超室、心电室、DR机房、CT室、普外科室、化验室、骨外科诊室、操作兼报告区等区域改造为核医学科场所，本次改造局部拆除原有非承重隔墙、装饰面层及普通水电管线，利旧建筑主体、楼板及顶板，按规范新建PET/CT机房、SPECT/CT机房、高活室、储源室、废物间、留观室、候诊室、运动负荷兼抢救室及辐射防护、放射性废水衰变处理、专用通风等配套设施。原有DR机房内的DR设备已报废处置，原有CT室的1台CT搬迁至急诊楼CT机房使用，备案号：202533068300000013。核医学科改造前后平面对照图见附图8。

拟购置1台PET/CT（PET/CT拟配备1枚 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}^{68}\text{Ge}$ 校准源和1枚 $5.55 \times 10^7 \text{Bq}^{68}\text{Ge}$ 校准源），最大管电压为140kV，最大管电流为1000mA，属于Ⅲ类射线装置，并使用核素 ^{18}F 进行显像诊断；拟购置1台SPECT/CT，最大管电压为140kV，最大管电流为1000mA，属于Ⅲ类射线装置，并使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行显像诊断。根据计算，本项目核医学科场所非密封放射性物质日等效最大操作量为 $4.63 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。本项目核医学科核素使用情况见表1.1-1，放射源使用情况见表1.1-2，本项目核医学科拟配置的射线装置见表1.1-3。

表 1.1-1 本项目核医学科核素使用情况一览表

使用核素	物理状态	日最大诊疗量	年最大诊疗量	单次最大使用量	实际日最大操作量		年最大用量	给药方式	诊断治疗项目
¹⁸ F	液态	10 人	3000 人次	3.70×10 ⁸ Bq (10mCi)	3.70×10 ⁹	1.85×10 ¹⁰	5.55×10 ¹² Bq	静脉注射	PET/CT 显像诊断
					1.48×10 ¹⁰			备药	
^{99m} Tc	液态	30 人	9000 人次	9.25×10 ⁸ Bq (25mCi)	2.78×10 ¹⁰ Bq		8.34×10 ¹² Bq	静脉注射	SPECT/C T 显像诊断
注：考虑到 ¹⁸ F 半衰期较短，本项目 ¹⁸ F 核素拟暂定一天送 1 次药，按照日用药量的 4 倍进行备药，因此， ¹⁸ F 核素实际日最大用量为 3.70×10 ⁹ Bq，按 4 倍进行备药， ¹⁸ F 核素备药量为 1.48×10 ¹⁰ Bq，则 ¹⁸ F 核素实际日最大操作量为 1.85×10 ¹⁰ Bq。									

表 1.1-2 本项目核医学科放射源使用情况

放射源名称	类别	活动种类	单枚源活度	数量	工作场所名称	备注
^{68}Ge	V类	使用	$1.11 \times 10^8 \text{Bq}$	1 枚	16 号楼一层拟建核医学科	新增
^{68}Ge	V类	使用	$5.55 \times 10^7 \text{Bq}$	1 枚		新增

表 1.1-3 核医学科拟配置的射线装置一览表

装置名称	类别	数量	参数	用途	工作场所名称	备注
PET/CT	III类	1 台	最大管电压：140kV 最大管电流：1000mA	显像诊断	16 号楼一层拟建核医学科 PET/CT 机房	新增
SPECT/CT	III类	1 台	最大管电压：140kV 最大管电流：1000mA	显像诊断	16 号楼一层拟建核医学科 SPECT/CT 机房	新增

由于本项目使用 ^{18}F 核素半衰期较短，为保证每批次最后一位患者注射 ^{18}F 药物量为 10mCi，拟采取增加放射性药物量的方式确保活度满足使用要求，即要考虑放射性药物的使用量和备用量。本项目 ^{18}F 核素拟暂定一天送 1 次药，按照日用药量的 4 倍进行备药，因此， ^{18}F 核素实际日最大用量为 $3.70 \times 10^9 \text{Bq}$ ，按 4 倍进行备药， ^{18}F 核素备药量为 $1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，则 ^{18}F 核素实际日最大操作量为 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。

根据表 10.1-4 计算结果可知，本项目核医学科场所非密封放射性物质日等效最大操作量为 $4.63 \times 10^7 \text{Bq}$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的划分标准，属于 $2 \times 10^7 \text{Bq} \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$ 的范围，故核医学科场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。

2、急诊楼三层 DSA 机房

医院现已配置 2 台 DSA 设备，分别位于 5 号楼二层手术中心 DSA 室和急诊楼一层 DSA 导管室。为满足实际医疗流程优化需求，医院拟将东南侧急诊楼三层 OR23 手术室改造为 DSA 机房，并将 5 号楼二层手术中心 DSA 室的 DSA 装置搬迁至此，原有

5 号楼二层手术中心 DSA 室继续作 DSA 机房使用。搬迁 DSA 装置型号为 Azurion7M20，最大管电压为 125kV，最大管电流为 1000mA，用于介入治疗和影像诊断，规划年最大手术量约 1000 台。本项目 DSA 装置参数见表 1.1-4。

表 1.1-4 本项目 DSA 装置参数一览表

名称	型号	数量	拟安装位置	类别	额定参数	备注
DSA	Azurion7M20	1 台	急诊楼三层 DSA 机房	II 类	最大管电压：125kV； 最大管电流：1000mA	搬迁

1.1.4 工作人员及工作制度

本项目辐射工作人员实行 8h 单班工作制度，年工作日为 300 天。

核医学科拟配置辐射工作人员 14 名，DSA 机房拟配置辐射工作人员 24 名，核医学科配置的辐射工作人员为新增辐射工作人员，且仅负责各自辐射工作场所工作内容，不同岗位互不兼岗，DSA 机房辐射工作人员依托原有，具体人员配置情况见表 1.1-5。

表 1.1-5 本项目辐射工作人员配置情况表

工作场所		工作内容	工作岗位	人数
核医学科	办公室、报告室、诊室	办公、读片、报告打印等	医生	4 人
	护士站、高活室、运动负荷兼抢救室	预约登记、药品分装、测活、注射给药、对患者进行抢救	护士	6 人
	PET/CT 机房及控制室	操作 PET/CT、患者摆位	技师	2 人
	SPECT/CT 机房及控制室	操作 SPECT/CT、患者摆位	技师	2 人
DSA 机房	DSA	操作 DSA	技师	4 人
		介入手术	医生	12 人
			护士	8 人

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号），本项目辐射工作人员从事使用 II 类射线装置和非密封放射性物质操作的应在生态环境部国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加相应类别培训学习，考核合格后上岗，并按时接受再培训，建立成绩档案。

1.2 项目选址及周边环境保护目标

1.2.1 项目所在医院地理位置及周边情况

本项目位于嵊州市三江街道丹桂路 666 号嵊州市人民医院，医院东侧为澄昌路，隔路为学仕雅苑和丽湖小区；南侧为杨港路，隔路为观河盛世府小区；西侧为芷湘路，隔路为口袋公园和新昌江；北侧为丹桂路，隔路为丹桂社区。项目地理位置图见附图 1。

1.2.2 项目周边环境关系

本项目拟建核医学科位于 16 号楼一层，拟建 DSA 机房位于急诊楼三层。

1、核医学科

本项目拟建核医学科位于 16 号楼一层，衰变池位于 16 号楼西侧地下。核医学科东侧距离 1-门诊楼约 12m，南侧距离 15 号楼、高压氧舱分别约 9m、41m，西侧距离用地红线约 46m，西北侧距离 18-感染楼约 33m，北侧距 19-商业街约 58m；衰变池西侧边界距离医院用地红线约 43m。

2、急诊楼三层 DSA 机房

本项目 DSA 机房位于急诊楼三层，DSA 机房东侧距离医院用地红线约 45m，南侧距离医院用地红线约 20m。西侧距离 21-综合服务楼约 88m，北侧距离 8-内科住院楼约 103m。

综上所述，本项目 50m 评价范围内主要为医院内部建筑物和道路以及澄昌路、杨港路和芷湘路部分区域。

医院总平面布置图见附图 3，医院周边环境图见附图 2。

1.2.3 项目场所四至环境关系

1、核医学科

16 号楼一层拟建核医学科东侧为室外道路、弱电井、楼梯间、电梯厅、走廊和针灸室，南侧为针灸室、走廊、室外道路和楼梯间，西侧为楼梯间和室外道路，北侧为室外道路，上方为康复医学科病房、空调机房、走廊、卫生间、护士长办公室、值班室、污物间、处置室、物流井、主任办公室、更衣室、医生办公室、治疗室和护士站等，下方为男浴厕、女浴厕、战时排风机房、淋浴间、检查穿衣间、防毒通道和停车区等。见附图 5 至附图 7。

2、急诊楼三层 DSA 机房

急诊楼三层 DSA 机房东侧为走廊，南侧为设备间、控制室和电梯厅，西侧为走廊，北侧为走廊，上方为手术室上方净化设备机房、二氧化碳储瓶间和氮气储瓶间，下方为示教、会议室、净化机房和走廊。见附图 9 至附图 11。

1.2.4 核技术利用项目选址合理性分析

本项目核医学科位于嵊州市人民医院 16 号楼一层，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区。核医学科放射性废气由排风管线引至 16 号楼楼顶高出屋脊排放，排

放口尽量远离了邻近的高层建筑，排风管设置止回阀，防止气流倒灌，手套箱顶壁和排风口均设活性炭吸附装置。衰变池位于 16 号楼西侧，周围活动人员较少，放射性废液收集的管道短捷，便于核医学科放射性废水的收集衰变。因此，核医学科选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于核医学工作场所选址的相关要求。

本项目 DSA 机房位于嵊州市人民医院急诊楼三层，机房楼上为手术室上方净化设备机房、二氧化碳储瓶间和氮气储瓶间，楼下为示教、会议室、净化机房和走廊，机房相邻区域没有产科、儿科病房等敏感人群长时间集中停留的场所，项目严格按照辐射防护相关规范落实机房屏蔽、防护门、观察窗、警示标识等辐射安全防护措施，机房布局、上下层及周边环境条件均满足射线装置工作场所选址相关要求，因此本项目 DSA 机房选址合理。

综上所述，整个核技术利用项目布置在满足医疗流程完整、顺畅运行的前提下，充分考虑了周围环境的影响和辐射类项目尽量集中设置的原则，因此，医院的整体布局及主要辐射工作场所的位置选择较为合理。

1.3 其他符合性分析

1.3.1 嵊州市生态环境分区管控动态更新方案符合性分析

本项目位于嵊州市三江街道丹桂路 666 号嵊州市人民医院，根据《嵊州市人民政府关于印发<嵊州市生态环境分区管控动态更新方案>的通知》（嵊政〔2024〕73 号），本项目所在地属于“浙江省绍兴市嵊州市鹿山-三江-剡湖城镇生活重点管控单元（生态环境管控单元编码：ZH33068320011）”（见附图 16）。生态环境准入清单符合性分析见表 1.3-1。

表 1.3-1 浙江省绍兴市嵊州市鹿山-三江-剡湖城镇生活重点管控单元

生态环境准入清单符合性分析

生态环境准入清单要求		本项目情况	是否符合
空间布局约束	禁止新建、扩建三类工业项目，现有三类工业项目改建不得增加污染物排放总量，鼓励现有三类工业迁出或关闭。禁止新建涉及一类重金属、重点行业重点重金属污染物、持久性有机污染物排放等环境健康风险较大的二类工业项目。除工业功能区（小微园区、工业集聚点）外，原则上禁止新建其他二类工业项目。现有二类工业项目改建、扩建，不得增加管控单元污染物排放总量。严格执行畜禽养殖禁养区规定，城镇建成区内禁止畜禽养殖。推进城镇绿廊建设，协同建设区域生态网络和绿道体系，建立城镇生态空间与区域生态空间的有机联系。推进既有建筑绿色化改造，高质量发展零碳低耗绿色建筑。	本项目属于医院核技术利用项目，不属于工业项目和畜禽养殖项目。	符合
污染物排放管控	管控单元内工业污染物排放总量不得增加。污水收集管网范围内，禁止新建除城镇污水处理设施外的入河排污口，现有的入河排污口应限期纳管。但相关法律法规和标准规定必须单独设置排污口的除外。加快污水处理设施建设与提标改造，加快完善城乡污水管网，加强对现有雨污合流管网的分流改造，深化城镇“污水零直排区”建设。加强噪声和臭气异味防治，强化餐饮油烟和机动车尾气治理，严格施工扬尘监管，依法严禁秸秆、垃圾等露天焚烧。加土壤和地下水污染防治与修复。	本项目为医院核技术利用项目，非工业类项目，放射性废气经活性炭处理后排放，放射性废水经衰变池衰变后排入医院污水处理站处理达标排放，固体放射性废物暂存衰变后清洁解控并作为医疗废物处置，均能做到达标排放或妥善安全处置。	符合
环境风险防控	合理布局工业、商业、居住、科教等功能区块，严格控制噪声、恶臭、油烟等污染排放较大的建设项目布局。	本项目为医院核技术利用项目，不属于噪声、恶臭、油烟等污染排放较大的建设项目。	符合
资源开发效率要求	全面开展节水型社会建设，推进节水产品推广普及，限制高耗水服务业用水，推进生活节水降损，实施城市供水管网优化改造，到 2025 年，全市城市公共供水管网漏损率控制在 8%以内。	本项目所用水源主要为自来水，用水量较小，非高耗水服务业用水。	符合

综上所述，本项目为医院核技术利用项目，非工业项目，对照《嵊州市人民政府关于印发<嵊州市生态环境分区管控动态更新方案>的通知》，本项目的实施符合《嵊州市生态环境分区管控动态更新方案》的要求。

1.3.2 与“三区三线”符合性分析

本项目位于嵊州市三江街道丹桂路 666 号嵊州市人民医院内，在现有用地范围内实施，不新增用地。

根据《自然资源部办公厅关于浙江等省（市）启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》（自然资办函〔2022〕2080号）要求，“三区三线”划定成果作为建设项目用地用海组卷报批的依据。其中“三区”具体指农业空间、生态空间、城镇空间三种类型的国土空间，“三线”分别对应永久基本农田、生态保护红线、城镇开发边界三条控制线。

根据嵊州市“三区三线”划分图（见附图17），本项目所在区域属于城镇开发边界内，不涉及永久基本农田、生态保护红线，因此，项目的建设符合嵊州市“三区三线”要求。

1.3.3 产业政策符合性分析

本项目属于核技术在医学领域内的运用，根据国家发展和改革委员会制订的《产业结构调整指导目录（2024年本）》，项目新增核医学科属于**第一类 鼓励类**中第三十七项“卫生健康”中第一条“医疗服务设施建设：预防保健、卫生应急、卫生监督服务设施建设，**医疗卫生服务设施建设.....**”项目；DSA装置属于**第一类 鼓励类**中第十三项“医药”中第四条“高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，**高性能医学影像设备.....**”项目。因此，本项目的建设符合国家现行产业政策。

1.3.4 实践正当性分析

本项目的建设可以更好地满足患者就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。医院在放射诊断、放射治疗和放射介入过程中，对放射性核素、放射源和射线装置的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对放射性核素、放射源和射线装置的安全管理将建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术利用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

1.3.5 “四性五不批”符合性分析

对照《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第682号）中的第九条“环境保护行政主管部门审批环境影响报告书、环境影响报告表，应当重点审查建设项目的环

境可行性、环境影响分析预测评估的可靠性、环境保护措施的有效性、环境影响评价结论的科学性等”及第十一条“建设项目有下列情形之一的，环境保护行政主管部门应当对环境影响报告书、环境影响报告表作出不予批准的决定”，本项目与“四性五不批”相符性分析见表 1.3-2。

表 1.3-2 本项目与“四性五不批”符合性分析

内容		建设项目情况	符合性
四性	建设项目的环境可行性	本项目符合总体规划、土地利用规划的要求，不触及生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线，不在负面清单内，因此符合建设项目的环境可行性。	符合
	环境影响分析预测评估的可靠性	本项目环境影响分析预测依据国家相关规范及建设项目的设计资料进行影响分析，符合环境影响分析预测评估的可靠性。	符合
	环境保护措施的有效性	本项目运营过程中产生的电离辐射、固废、废气和废液经采取一定的辐射防护和治理措施后，对周围环境与公众健康的辐射影响是可接受的，各污染物可以做到达标排放。本项目采取的环境防护措施有效。	符合
	环境影响评价结论的科学性	本项目选址合理，采取的环境保护措施合理可行，排放的污染物符合国家、省规定的污染物排放标准，因此本项目符合环境影响评价结论的科学性。	符合
五不批准	（一）建设项目类型及其选址、布局、规模等不符合环境保护法律法规和相关法定规划	本项目选址、布局符合国家产业政策，符合《嵊州市生态环境分区管控动态更新方案》的生态管控要求，符合环境保护法律法规和相关法定规划。	不属于不予批准情形
	（二）所在区域环境质量未达到国家或者地方环境质量标准，且建设项目拟采取的措施不能满足区域环境质量改善目标管理要求	根据《浙江省生态环境状况公报（2025年）》，全省环境电离辐射水平处于本底涨落范围内。根据环境质量现状监测结果，本项目工作场所周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率属于当地天然辐射水平范围之内。	不属于不予批准情形
	（三）建设项目采取的污染防治措施无法确保污染物排放达到国家和地方排放标准，或者未采取必要措施预防和控制生态破坏	建设项目采用的辐射安全防护措施和污染防治措施可确保污染物排放达到国家排放标准。	不属于不予批准情形
	（四）改建、扩建和技术改造项目，未针对项目原有环境污染和生态破坏提出有效防治措施	本项目已对项目原有环境辐射影响进行分析（详见 1.4.2），根据年度工作场所和辐射工作人员个人剂量检测报告相关数据，原有辐射项目未出现环境污染或生态破坏的现象。	不属于不予批准情形
	（五）建设项目的环境影响报告书、环境影响报告表的基础资料数据明显不实，内容存在重大缺陷、遗漏，或者环境影响评价结论不明确、不合理	本项目根据建设单位提供的基础资料，按照现行导则进行编制，不存在基础资料数据明显不实，内容存在重大缺陷、遗漏，或者环境影响评价结论不明确、不合理等情况。	不属于不予批准情形

1.5 原有核技术利用项目许可情况

1.5.1 原有核技术利用项目许可情况

嵊州市人民医院现持有绍兴市生态环境局颁发的辐射安全许可证，证书编号：浙环辐证[D2093]（见附件3）；发证日期：2025年05月20日，有效期至：2029年06月19日；种类和范围：使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置。

根据辐射安全许可证，医院已获许可使用的射线装置共 28 台，原有核技术利用项目环保手续履行情况见表 1.4-1，相关环保手续文件见附件 4。

表 1.4-1 医院原有核技术利用项目环保手续履行情况一览表

序号	工作场所	装置名称	射线装置类别	规格型号	环评手续	验收手续
1	5号楼二层 手术中心 DSA室	DSA	II类	Azurion 7M20	嵊环建 (2023) 48号	2024年11月15日 完成自主验收
2	放射科2号 机房	CT	III类	SOMATOM Force	备案号：202533068300000074	
3	放射科3号 机房	CT	III类	Optima CT680 Quantum	绍市环审 (2015) 29号	2020年7月8日 完成自主验收
4	放射科4号 机房	DR	III类	Definium 6000 型		
5	放射科5号 机房	DR	III类	Definium 6000 型		
6	放射科6号 机房	牙科全景 机	III类	New Tom Giano		
7	放射科7号 机房	乳腺机	III类	Senographe Essential		
8	放射科9号 机房	胃肠机	III类	SONIAL VISION G4		
9	急诊楼三层 手术室	C臂机	III类	OEC One CFD		
10		移动DR (C臂 机)	III类	KDC5100	备案号：202133068300000055	
11		G臂机	III类	DigiArc 100AC	绍市环审 (2015) 29号	2020年7月8日 完成自主验收
12		C臂机	III类	BV Libra		
13		C臂机	III类	BV Endura		
14	急诊楼三层 手术室25 号手术间- CT机房	CT	III类	ScintCare Blue 765	备案号：202533068300000013	
15	急诊楼一层 CT1机房	CT	III类	uCT 760	备案号：202533068300000074	
16	急诊楼一层 CT2机房	CT	III类	Brilliance CT 16 Slice	绍市环审 (2015) 29号	2020年7月8日 完成自主验收
17	急诊楼一层 DR机房	DR	III类	新东方 1000FA 型		

18	急诊楼一层 DSA 导管室	DSA	II类	Allura Xper FD20		
19	口腔科牙片 机房	牙片机	III类	CS 2100	备案号: 202133068300000045	
20	模拟定位机 房	模拟定位 CT	III类	SOMATOM Confidence	备案号: 202333068300000029	
21	全院移动使用	移动 DR	III类	MobiEye 700P	绍市环审 (2015) 29 号	2020 年 7 月 8 日 完成自主验收
22		移动 DR	III类	MobiEye 700P	备案号: 202133068300000055	
23	碎石机房	碎石机	III类	HK.ESWL-V	备案号: 202133068300000045	
24	体检车 (浙 D • F9I02)	车载 DR	III类	AKHX-19Z-I	备案号: 202533068300000012	
25	体检中心二 层 CT 机房	CT	III类	SOMATOM go.Now	备案号: 202133068300000046	
26	体检中心二 层骨密度机 房	骨密度仪	III类	DPX-NT	备案号: 202133068300000045	
27	体检中心三 层放射影像 科 (DR)	DR	III类	BTDR8000	备案号: 202633068300000165	
28	直加机房	直线加速 器	II类	Elekta Infinity	嵊环核 (2021) 86 号	2022 年 11 月 22 日完成自主验收

1.4.2 原有核技术利用项目辐射工作场所监测情况

医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测, 根据医院提供的辐射工作场所的检测报告 (附件9) 可知, 医院各辐射工作场所检测结果均满足相关标准要求。医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。现有辐射工作人员均配备了个人剂量计, 个人剂量计定期送检, 并建立了个人剂量档案。由医院2025年6月7日~2026年6月6日个人剂量检测报告统计结果 (见附件8) 可知, 辐射工作人员的年有效剂量均低于工作人员剂量约束值5mSv/a。

1.4.3 原有核技术利用项目运行和相关防护措施情况

医院已获许可使用的射线装置共28台, 其中3台II类射线装置, 25台III类射线装置。医院在运行过程中较好地执行了相关的辐射安全管理制度, 根据上一年辐射安全和防护年度评估报告, 医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。

医院严格遵守《中华人民共和国生态环境法典》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关辐射防护法律法规, 配合各级生态环境部门监督和指导, 成立了辐射安全防护管理小组, 落实安全责任制度, 并明确了相关成员名单及职责, 建立

了完善的辐射安全和防护制度，并有严格的档案管理制度，现有规章制度基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。医院已严格落实各项规章制度，各辐射防护设施运行良好。

现有辐射防护措施和管理制度汇总见表1.4-2。

表 1.4-2 医院原有核技术应用项目环保履行情况一览表

名称	管理情况
辐射防护管理制度	已建立《辐射安全防护和管理制度》《辐射防护和安全保卫制度》《辐射安全防护操作规程》《辐射设备检修维护制度》《台账管理制度》《辐射防护用品管理制度》等辐射防护管理制度。
辐射防护措施	已按《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等相关要求配置了工作场所防护用品及防护设施。
个人剂量监测	现有辐射工作人员均配备了个人剂量计，个人剂量计定期送检，并建立了个人剂量档案，由医院 2025 年 6 月 7 日~2026 年 6 月 6 日个人剂量检测报告统计结果（见附件 8）可知，辐射工作人员的年有效剂量最大结果为 0.38mSv，低于工作人员剂量约束值 5mSv/a。
职业健康体检	医院对现有辐射工作人员开展健康监护，并建有职业健康档案。辐射工作人员于 2025 年 1 月 10 日、2026 年 1 月 9 日至 2026 年 3 月 19 日在浙江大学医学院附属第一医院进行了岗前、在岗期间和离岗前职业健康体检，在岗期间体检周期不超过 2 年。根据医院提供的职业健康体检报告可知，医院每两年对辐射工作人员进行体检以及对需要复查的辐射工作人员进行复检，体检结果为无明显异常。
辐射工作人员培训	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，相关辐射工作人员于 2024 年 12 月参加了绍兴市卫生健康行政执法队组织的绍兴市放射工作人员放射防护培训考核，并考核合格。
辐射工作场所年度监测	医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，根据医院提供的 2025 年度放射诊疗工作场所防护检测报告，医院放射诊断设备满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中相关剂量率控制水平的要求。医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。
辐射应急演练和年度评估	医院已制定有《辐射安全事故应急处置预案》（见附件 6），并定期开展辐射事故应急演练，对演练结果进行总结，及时对辐射事故应急处置预案进行完善和修订。经医院核实，自辐射活动开展以来，未发生过辐射事故；医院已自行编制《2025 年度辐射安全与防护状况评估报告》，对现有放射性同位素与射线装置辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、放射性同位素与射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况等进行年度总结和评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

1.4.4 与原有核技术利用项目依托情况

本项目依托现有辐射安全防护管理领导小组作为辐射安全与环境保护管理机构，依托《辐射安全防护和管理制度》《辐射防护和安全保卫制度》《辐射安全防护操作规程》《辐射设备检修维护制度》《台账管理制度》《辐射防护用品管理制度》等辐射防护管理制度。本项目核医学科辐射工作人员拟新聘，DSA辐射工作人员拟从现有辐射工作人员调剂。本项目DSA机房拟依托现有便携式X-γ射线巡测仪，核医学科新购

1台便携式X- γ 射线巡测仪和1台表面污染监测仪，并为核医学科每名医护人员配备2枚个人剂量计，DSA机房每名手术医护人员配备2枚个人剂量计，DSA每名技师配备1枚个人剂量计，拟新增相关设备操作规程、监测仪器定期检验检定等制度。

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	⁶⁸ Ge	1.11×10 ⁸ Bq/1.11×10 ⁸ Bq×1 枚	V	使用	PET/CT 校准	嵊州市人民医院 16 号楼一层 核医学科 PET/CT 机房	核医学科储源室	新增
2	⁶⁸ Ge	5.55×10 ⁷ Bq/5.55×10 ⁷ Bq×1 枚	V	使用	PET/CT 校准			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/低毒/半衰期109.8min	使用	3.70×10 ⁹	3.70×10 ⁶	5.55×10 ¹²	PET/CT 显像诊断	很简单操作	16 号楼一层核医学科场所	根据实际使用量向有资质单位购买（现买现用），购买后的放射性药物连同铅罐包装放置于核医学科储源室，设双人双锁管理
				1.48×10 ¹⁰	1.48×10 ⁷		备药	很简单操作		
2	^{99m} Tc	液态/低毒/半衰期6.02h	使用	2.78×10 ¹⁰	2.78×10 ⁷	8.34×10 ¹²	SPECT/CT 显像诊断	很简单操作		

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（MeV）	额定电流（mA）/剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
	以下空白									新增

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 （kV）	最大管电流 （mA）	用途	工作场所	备注
1	DSA	II类	1 台	Azurion7M20	125	1000	影像诊断和介入治疗	急诊楼三层 DSA 机房	搬迁
2	PET/CT	III类	1 台	待定	140	1000	显像诊断	16 号楼一层建设核医学科 PET/CT 机房	新增
3	SPECT/CT	III类	1 台	待定	140	1000	显像诊断	16 号楼一层建设核医学科 SPECT/CT 机房	新增

（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	
	以下空白												

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
核医学科 放射性废气	气态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	极少量	/	/	8 套排风管道最终在排风井内合并（1 号管道通过排风井 1，2 号~8 号管道合并为 1 根通过排风井 2）分别引至 16 号楼（排放高度约 22m）楼顶高出屋脊排放，手套箱顶壁和排风口均设活性炭吸附装置。
核医学科 放射性废水	液态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	132m ³	总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ 总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$	暂存于 3 个并 联衰变池中	暂存衰变超过 30 天后可直接解控排放，纳入医院污水处理站。
玻璃药瓶、一次性注射器、 针头、手套、药棉、纱布、 破损杯皿、塑料薄膜、废乳 胶手套、移液管、废 ^{32}P 敷贴 器、擦拭污染地面的物品等	固态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	240kg/a	/	分类收集后集 中在污物间中 暂存	含核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的固体放射性废物暂存时间超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。
废活性炭	固态		/	/	160kg/a	/		
废旧放射源	固态	^{68}Ge	/	/	^{68}Ge 4 年更 换一次	/	不暂存	送交有相应资质的单位收贮，如医院与生产厂家或原出口方签订废旧放射源返回合同，可将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方。
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	/	/	/	通过排风系统排入大气	

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

法规文件	(1) 《中华人民共和国生态环境法典》（2026 年 3 月 12 日第十四届全国人民代表大会第四次会议通过），中华人民共和国主席令第 70 号，自 2026 年 8 月 15 日起施行； (2) 《建设项目环境保护管理条例》（1998 年 11 月 29 日中华人民共和国国务院令第 253 号发布施行；2017 年 7 月 16 日中华人民共和国国务院第 682 号令修订），自 2017 年 10 月 1 日起施行修订版； (3) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（中华人民共和国生态环境部令第 16 号），自 2021 年 1 月 1 日起施行； (4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2005 年 9 月 14 日经中华人民共和国国务院令第 449 号公布，2014 年 7 月 29 日经中华人民共和国国务院令第 653 号修订，2019 年 3 月 2 日经中华人民共和国国务院令第 709 号修订），自 2019 年 3 月 2 日起施行修订版； (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（2011 年 4 月 18 日原环境保护部令第 18 号），自 2011 年 5 月 1 日起施行； (6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年 1 月 18 日原国家环境保护总局令第 31 号公布，2008 年 12 月 6 日经原环境保护部令第 3 号修正，2017 年 12 月 20 日经原环境保护部令第 47 号修正，2019 年 8 月 22 日经生态环境部令第 7 号修改，2020 年 12 月 25 日经生态环境部令第 20 号修改），2021 年 1 月 4 日施行修改版； (7) 《关于发布<放射源分类办法>的公告》（原国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号），自 2005 年 12 月 23 日起施行； (8) 《关于发布<射线装置分类>的公告》（环境保护部国家卫生计生委公告 2017 年第 66 号，2017 年），自 2017 年 12 月 5 日起施行； (9) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》（环境保护部 工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号，2017 年），2018 年 1 月 1 日起施行； (10) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》2023 年 12 月 27 日中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号公布，自 2024 年 2 月 1 日起施行；
------	--

法规文件	(11) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部公告 2019 年第 57 号), 自 2020 年 1 月 1 日起施行; (12) 《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), 自 2021 年 3 月 15 日起施行; (13) 《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》(国环规环评〔2017〕4 号), 自 2017 年 11 月 20 日起施行; (14) 《国家危险废物名录(2025 年版)》(2024 年 11 月 8 日由生态环境部 2024 年第 5 次部务会议审议通过, 并经国家发展改革委、公安部、交通运输部、国家卫生健康委同意), 2025 年 1 月 1 日起施行; (15) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》, 中华人民共和国原环境保护部办公厅, 环办辐射函〔2016〕430 号, 2016 年 3 月 7 日发布; (16) 《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》(浙江省生态环境厅浙江省卫生健康委员会, 浙环函〔2019〕248 号), 自 2019 年 7 月 18 日起施行; (17) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》(2011 年 10 月 25 日浙江省人民政府令第 288 号公布, 2014 年 3 月 13 日浙江省人民政府令第 321 号第一次修正, 2018 年 1 月 22 日浙江省人民政府令第 364 号公布第二次修正, 2021 年 2 月 10 日浙江省人民政府令第 388 号公布第三次修正), 自 2021 年 2 月 10 日起施行修正版; (18) 《浙江省辐射环境管理办法》(2011 年 12 月 18 日浙江省人民政府令第 289 号公布, 根据 2021 年 2 月 10 日浙江省人民政府令第 388 号公布的《浙江省人民政府关于修改〈浙江省价格监测预警办法〉等 9 件规章的决定》修正); (19) 《浙江省生态环境厅关于发布<省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单(2024 年本)>的通知》(浙环发[2024]67 号), 自 2025 年 2 月 2 日起施行; (20) 《浙江省生态环境保护条例》(2022 年 8 月 1 日起施行)。 (21) 《关于印发<核技术利用建设项目重大变动清单(试行)>的通知》,
------	--

	(环办辐射函〔2025〕313号)，自2025年08月29日起实行；
技术标准	(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)； (2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)； (3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)； (4) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)； (5) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)； (6) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)； (7) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021)及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(辐射函〔2023〕20号)； (8) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)； (9) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)； (10) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)； (11) 《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》(HJ1326—2023)。
其他	(1) 辐射安全许可证，证书编号“浙环辐证[D2093]”； (2) 《辐射防护手册》，李德平、潘自强主编； (3) 《放射防护实用手册》，赵兰才、张丹枫主编； (4) 《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》； (5) 《辐射防护导论》，方杰主编； (6) 医院提供的与本项目有关的资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中评价范围规定：“乙级非密封放射性物质工作场所项目的评价范围取半径 50m 的范围，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”，结合本项目的特点，本项目取拟建核医学科非密封放射性物质工作场所和 DSA 机房实体屏蔽物边界外 50m 范围作为本项目评价范围。评价范围示意图详见附图 3。

7.2 保护目标

根据现场踏勘情况和附图 3 可知，本项目拟建辐射工作场所 50m 评价范围内主要为医院内部建筑物和道路以及澄昌路、杨港路和芷湘路部分区域，不涉及其他环境敏感区域。

本项目环境保护目标为从事本项目辐射工作的职业人员、评价范围内其他医护人员、患者等其他公众成员，根据电离辐射影响程度在屏蔽措施相同的情况下与关注点和辐射源的距离成反比的规律，本次评价报告中列举出辐射工作场所内及相邻区域受影响较大的保护目标情况，具体保护目标见表 7.2-1。

表 7.2-1 本项目评价范围内环境保护目标一览表

环境保护目标			方位	规模	人员类别	与本项目场所边界的最近距离（m）		剂量约束值
						水平	垂直	
核医学科	辐射工作人员		内部	14 人	职业	/	/	5mSv/a
	核医学科内公众	东侧患者通道、库房、卫生通过间、缓冲间公众	内部	100 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
		南侧护士站公众	内部	500 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
		北侧设备间公众	内部	10 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
	室外道路、弱电井、楼梯间、电梯厅、走廊公众		东侧	流动人员	公众	相邻	/	0.1mSv/a
	针灸室、走廊、室外道路、楼梯间公众		南侧	流动人员	公众	相邻	/	0.1mSv/a
	室外道路公众		西侧	流动人员	公众	相邻	/	0.1mSv/a
	室外道路公众		北侧	流动人员	公众	相邻	/	0.1mSv/a
	康复医学科病房、空调机房、走廊、卫生间、护士长办公室、值班室、污物间、处置室、物流井道、主任办		正上方	1000 人/天	公众	/	相邻	0.1mSv/a

D S A 机 房	公室、更衣室、医生办公室、治疗室和护士站公众							
	男浴厕、女浴厕、战时排风机房、淋浴间、检查穿衣间和防毒通道公众		正下方	100 人/天	公众	/	相邻	0.1mSv/a
	衰 变 池	16 号楼	东侧	2000 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
		核医学科出口	南侧	1000 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
		医院内部绿化	西侧	流动人员	公众	相邻	/	0.1mSv/a
		医院内部绿化道路	北侧	流动人员	公众	相邻	/	0.1mSv/a
		负一层石膏室、女浴厕、男浴厕	正下方	100 人/天	公众	/	相邻	0.1mSv/a
	DSA 机房内工作人员		内部	20 人	职业	相邻	/	5mSv/a
	控制室工作人员		南侧	4 人	职业	相邻	/	
	走廊公众		东侧	50 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
	设备间、电梯厅公众		南侧	500 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
	走廊公众		西侧	50 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
	走廊公众		北侧	50 人/天	公众	相邻	/	0.1mSv/a
	手术室上方净化设备机房、二氧化碳储瓶间和氮气储瓶间公众		正上方	3 人/天	公众	/	相邻	0.1mSv/a
	示教、会议室、走廊和净化机房公众		正下方	流动人员	公众	/	相邻	0.1mSv/a
	杨港路公众		南侧	流动人员	公众	20	/	0.1mSv/a
	澄昌路公众		东侧	流动人员	公众	45	/	0.1mSv/a
50m 范围内其他区域公众		四周	约 2000 人	公众	0~50		0.1mSv/a	

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值

剂量限值执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关规定，工作人员的**职业照射**和**公众照射**的剂量限值如下：

（1）职业照射

应对任何工作人员职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

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

2）任何一年中的有效剂量，50mSv；

（2）公众照射

实践使公众中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：

1）年有效剂量，1mSv；

2）特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

7.3.2 剂量约束值

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关要求，本项目取 5mSv 作为职业人员的年剂量约束值，取 0.1mSv 作为公众人员的年剂量约束值。

7.3.3 核医学科工作场所评价标准

1、辐射防护分区

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）：

4.3 辐射工作场所分区

4.3.1 应按照 GB18871-2001 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。

4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。

4.3.3 核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。

4.3.4 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

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

6.4.2 监督区

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

2、工作场所分级、分类

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C，应按表

7.3-1 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7.3-1 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 A，核医学放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 7.3-2。

表 7.3-2 核医学常用放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	常用核素名称	毒性组别修正因子
高毒	^{90}Sr	1
中毒	^{22}Na 、 ^{32}P 、 ^{63}Ni 、 ^{67}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{90}Y 、 ^{99}Mo 、 ^{111}In 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{153}Sm	0.1
低毒	^3H 、 ^{14}C 、 ^{11}CO 、 $^{11}\text{CO}_2$ 、 ^{14}CO 、 $^{14}\text{CO}_2$ 、 ^{18}F 、 ^{51}Cr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{111\text{m}}\text{In}$ 、 ^{123}I 、 ^{127}Xe 、 ^{133}Xe 、 ^{201}Tl	0.01

根据《核医学放射防护标准》（GBZ 120-2020）对临床核医学工作场所具体分类，临床核医学工作场所属于非密封源工作场所，依据计划操作最大量放射性核素的加权活度，将工作场所分为I、II、III等三类，见表 7.3-3。

表 7.3-3 临床核医学工作场所分类

分类	操作最大量放射性核素的加权活度（MBq）
I	>50000
II	$50 \sim 50000$
III	<50

注：加权活度=（计划的日操作最大活度×核素的毒性权重因子）/操作性质修正因子

计算操作最大量放射性核素的加权活度用的核医学常用放射性核素毒性权重因子和不同操作性质的修正因子分别见表 7.3-4 和表 7.3-5。

表 7.3-4 核医学常用放射性核素的毒性权重因子

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
A	^{75}Se 、 ^{89}Sr 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{90}Y 、 ^{99}Mo 、 ^{153}Sm	100
B	^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F 、 ^{51}Cr 、 ^{67}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 、 ^{111}In 、 $^{113\text{m}}\text{In}$ 、 ^{201}Tl	1
C	^{14}C 、 ^3H 、 $^{81\text{m}}\text{Kr}$ 、 ^{127}Xe 、 ^{133}Xe	0.01

表 7.3-5 不同操作性质的修正因子

操作方式和地区	操作性质修正因子
贮存	100
废物处理 闪烁法计数和显像 候诊区及诊断病床区	10
配药、分装及施给药 简单放射性药物制备 治疗病床区	1
复杂放射性药物制备	0.1

工作场所室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表 7.3-6。

表 7.3-6 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^a	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b

3、核医学场所辐射工作场所屏蔽体外剂量率水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）中相关规定，本项目核医学科辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平详见表 7.3-7。

表 7.3-7 核医学科辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平

场所	位置		剂量率控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)
核医学工作场所	控制区外人员可到达处，距屏蔽体外 30cm 处		2.5
	控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处	控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）	2.5
		控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子 $< 1/2$ ）	10
	放射性药物分装的箱体、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位		2.5
	放射性药物合成和分装的箱体等设备外表面 30cm 处非正对人员操作位		25
	固体放射性废物收集桶、暴露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道外表面 30cm 处		2.5

4、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）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）相关规定，核医学科辐射工作场所的放射性表面污染控制水平详见表 7.3-8。

表 7.3-8 核医学科工作场所放射性表面污染控制水平（单位：Bq/cm²）

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ^a	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 ⁻¹	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4×10 ⁻¹	4×10 ⁻¹	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻²	4×10 ⁻²	4×10 ⁻¹
^a 该区内的高污染子区除外				

5、放射性废液排放控制

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关规定，结合本项目核素使用情况、衰变池设计情况，放射性废水排放满足以下要求：

a)所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；

医院应做好相关排放记录。

6、放射性固废排放控制要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关规定，固体放射性废物暂存和处理应满足以下要求：

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm²的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应小于 4Bq/cm²、其他 α 发射体应小于 0.4Bq/cm²。

7.2.3.3 固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时

间和监测结果等信息。

7、放射性废气

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），核医学工作场所放射性废气处理要求如下：

6.3.1核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

6.3.4放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。设有手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。

7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）中三、关于独立通风要求：

核医学标准第6.3.4节规定，手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统。单独的排风系统意为手套箱、通风橱等设备的排风管在汇入“主排风管道前”的部分，应独立设置，防止发生气体回流和交叉污染。经过滤后的气体汇入到一个主管道中排放不违反标准要求。

7.3.4 放射诊断工作场所评价标准

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）：

6X 射线设备机房防护设施的技术要求

6.1X 射线设备机房布局

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 2 的规定，详见表 7.3-10。

表7.3-9 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 ^b (m ²)	机房内最小单边长度 ^c (m)
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5
单管头 X 射线设备 ^a （含 C 形臂，乳腺 CBCT）	20	3.5
^a 单管头、双管头或多管头 X 射线设备的每个管球各安装在 1 个房间内。 ^b 机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。 ^c 机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。		

6.2X 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 3 的规定，详见表 7.3-11。

表7.3-10 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	有用线束方向铅当量 (mmPb)	非有用线束方向铅当量 (mmPb)
标称 125kV 及以下的摄影机房	2.0	1.0
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
CT 机房（不含头颅移动 CT）CT 模拟定位机房	2.5	

6.3X 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 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5 μSv/h；测量时，X 射线设备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 25μSv/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。

6.5X 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 7.3-11 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，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 0.25 mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于

2 mmPb。

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。

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

6.5.6 对于移动式 X 射线设备使用频繁的場所（如：重症监护、危重病人救治、骨科复位等场所），应配备足够数量的移动铅防护屏风。

表7.3-11 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		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
放射诊断学用 X 射线设备隔室透视、摄影 ^a	—	—	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	可调节防护窗口的立位防护屏；选配：固定特殊受检者体位的各种设备
放射诊断学用 X 射线设备同室透视、摄影 ^a	铅橡胶围裙 选配：铅橡胶帽子、铅橡胶颈套、铅橡胶手套、铅防护眼镜	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	可调节防护窗口的立位防护屏； 选配：固定特殊受检者体位的各种设备
CT 体层扫描（隔室）	—	—	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	—
床旁摄影	铅橡胶围裙 选配：铅橡胶帽子、铅橡胶颈套	—	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	移动铅防护屏风 ^b
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	—

注 1：“—”表示不做要求。

注 2：各类个人防护用品和辅助防护设施，指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品，特别是非铅介入防护手套。

a 工作人员、受检者的个人防护用品和辅助防护设施任选其一即可。

b 床旁摄影时的移动铅防护屏风主要用于保护周围病床不易移动的受检者。

7.3.5 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128—2019）

5.3 佩戴

5.3.1 对于比较均匀的辐射场，当辐射主要来自前方时，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位位置，一般在左胸前或锁骨对应的领口位置；当辐射主要来自人体背面时，剂量计应佩戴在背部中间。

5.3.2 对于如介入放射学、核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计。

5.3.3 对于 5.3.2 所述工作情况，建议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)。

8.2 档案

8.2.1 个人剂量档案除了包括放射工作人员平时正常工作期间的个人剂量记录外，还包括其在异常情况（事故或应急）下受到的过量照射记录，调查登记参见附录 C 的 C.4。

8.2.2 职业照射个人剂量档案终生保存。

7.3.6 本次核技术利用项目控制要求汇总

本项目职业人员的剂量约束值不超过 5mSv/a，公众人员的剂量约束值不超过 0.1mSv/a，其余标准要求汇总见表 7.3-12 至表 7.3-14。

表 7.3-12 核医学科控制要求

工作场所	控制区屏蔽体外	工作场所的放射性表面污染			放射性废水	放射性废气	固体放射性废物
		位置	控制区	监督区			
16 号楼一层核医学科	控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h；放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等屏蔽结构外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h	工作台、设备、墙壁、地面	β放射性物质不大于 4×10Bq/cm²	β放射性物质不大于 4Bq/cm²	所含核素 ¹⁸ F、 ^{99m} Tc、放射性废水在衰变池暂存超过 30 天后，衰变池废水可以直接排放。放射性废水总排放口总α不大于 1Bq/L、总β不大于 10Bq/L。	产生气态放射性废物的核医学科场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境	含核素 ¹⁸ F 和 ^{99m} Tc 的固体放射性废物暂存时间超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理
		工作服、手套、工作鞋	β放射性物质不大于 4Bq/cm²				
		手、皮肤、内衣、工作袜	β放射性物质不大于 4×10 ⁻¹ Bq/cm²				
标准依据	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）			《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20 号）		

表 7.3-13 核医学科 PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房控制要求

工作场所	机房要求	控制区外 30cm 处
核医学科 PET/CT 机房	机房有用线束及非有用线束方向铅当量均不小于 2.5mmPb；最小有效使用面积不小于 30m ² ，最小单边长度不小于 4.5m	CT 机机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h
核医学科 SPECT/CT 机房	机房有用线束及非有用线束方向铅当量均不小于 2.5mmPb；最小有效使用面积不小于 30m ² ，最小单边长度不小于 4.5m	
标准依据	《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）	

表 7.3-14 DSA 机房控制要求

工作场所	机房要求	控制区外 30cm 处
急诊楼三层 DSA 机房	机房有用线束方向铅当量及非有用线束方向铅当量均不小于 2.0mmPb；最小有效使用面积不小于 20m ² ，最小单边长度不小于 3.5m	具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h；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 25μSv/h
标准依据	《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）	《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

表 8 环境质量和辐射现状

8.1项目地理和场所位置

医院位于嵊州市三江街道丹桂路 666 号，东临澄昌路，隔路为学仕雅苑和丽湖小区；南侧为杨港路，隔路为观河盛世府小区；西侧为芷湘路，隔路为口袋公园和新昌江；北侧为丹桂路，隔路为丹桂社区。医院地理位置图见附图 1。

本项目核医学科和 DSA 机房均位于嵊州市人民医院内，核医学科位于 16 号楼一层，衰变池位于 16 号楼西侧；DSA 机房位于急诊楼三层。辐射工作场所具体位置详见附图 3。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

①环境现状评价的对象：本项目拟建核医学科、DSA 机房及周围环境辐射现状水平。

②监测因子： γ 辐射空气吸收剂量率、 α 表面污染、 β 表面污染。

③监测点位：

根据项目的平面布置及项目情况，在拟建场所和相邻关注区域布设监测点，所布点位能反映本项目评价范围内拟建场所的辐射环境现状水平。因此，监测点位布设是合理的。为直观标明监测点位所在位置，本项目在医院平面布置图中标注监测点位，具体监测点位布置情况详见图 8.4-1~图 8.4-5。

8.3 监测方案、质量保证措施及监测结果

8.3.1 监测方案

①监测单位：浙江建安检测研究院有限公司。

②监测时间：2026 年 8 月 12 日。

③监测方式：现场监测。

④监测依据：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《表面污染测定第 1 部分： β 发射体($E_{\beta\max}>0.15\text{MeV}$)和 α 发射体》（GB/T14056.1-2008）；

⑤监测频次：依据标准予以确定。

⑥监测工况：辐射环境本底。

⑦天气环境条件：温度 30.5℃，相对湿度 73.6%，晴。

⑧监测设备：

表 8.3-1 便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪相关信息

仪器型号	X、 γ 辐射剂量当量率仪
仪器名称	FH40G-L10+FHZ672E-10
生产厂家	Thermo SCIENTITIC
仪器编号	05035404
能量范围	30keV~4.4MeV
量 程	主机：10nSv/h~100mSv/h；探头：1nSv/h~100 μ Sv/h
检定单位	浙江省质量科学研究院
检定证书	NJYF-20260350242
检定有效期	2026 年 03 月 09 日~2027 年 03 月 08 日

表 8.3-2 α 、 β 表面污染仪相关信息

仪器型号	CoMo 170
仪器名称	α 、 β 表面污染仪
生产厂家	NUVIA
仪器编号	05038153
探测器灵敏窗面积	170cm ²
探测器本底	α :0.1CPS； β :15~25CPS
检定单位	浙江省质量科学研究院
检定证书	NJYF-20260250052
检定有效期	2026 年 02 月 06 日~2027 年 02 月 05 日

8.3.2 质量保证措施

①本项目辐射环境监测单位为浙江建安检测研究院有限公司，具有浙江省市场监督管理局颁发的资质认定证书，并在允许范围内开展工作和出具有效的监测报告，保证了监测工作的合法性和有效性。

②采用国家有关部门颁布的监测标准方法，每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

③监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。

④每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

⑤监测实行全过程的质量控制，严格按照浙江建安检测研究院有限公司《质量手册》《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行，监测人员经培训、考核合格后上岗。

⑥报告严格实行三级审核制度，经校核、审核，最后由授权签字人审定。

8.3.3 监测结果

本项目辐射环境现状监测结果详见表 8.3-3 和表 8.3-4。

表 8.3-3 拟建场所及周围 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果一览表

监测点 编号	监测点位置	监测结果 (nGy/h)		备注
		测量值	标准差	
1#	神经外科诊室	120	5	室内
2#	内科诊室 1	111	3	室内
3#	儿科诊室	132	4	室内
4#	妇科诊室	135	4	室内
5#	更衣室	160	5	室内
6#	走廊	134	4	室内
7#	走廊	175	6	室内
8#	清创室	164	5	室内
9#	B 超室	134	4	室内
10#	心电室	133	4	室内
11#	CT 室	130	6	室内
12#	普外科室	162	5	室内
13#	化验室	134	5	室内
14#	操作兼报告区	130	5	室内
15#	清创室	159	5	室内
16#	走廊	128	5	室内
17#	化验室	146	4	室内
18#	CT 室	132	4	室内
19#	骨外科诊室	161	3	室内
20#	急诊检验	130	5	室内
21#	登记、取片、叫号	127	4	室内
22#	候诊区	130	5	室内
23#	拟建衰变池区域	160	4	道路
24#	核医学科东侧出口	152	5	道路
25#	核医学科西侧患者出口	154	4	道路
26#	康复医学科病房	125	5	室内
27#	康复医学科病房	152	2	室内
28#	康复医学科病房	160	3	室内
29#	走廊	148	3	室内
30#	护士站	136	4	室内
31#	走廊	155	5	室内
32#	康复医学科病房	152	5	室内
33#	男浴厕	163	4	室内
34#	检查穿衣间	149	6	室内
35#	第一防毒通道	126	5	室内
36#	拟建衰变池正下方区域	152	4	室内

37#	空地	138	4	室内
38#	拟建 DSA 机房内	151	5	室内
39#	拟建 DSA 机房东侧走廊	139	4	室内
40#	拟建 DSA 机房南侧设备间	128	6	室内
41#	拟建 DSA 机房南侧操作间	154	6	室内
42#	拟建 DSA 机房西侧走廊	138	4	室内
43#	拟建 DSA 机房北侧走廊	105	4	室内
44#	拟建 DSA 机房正上方区域	132	4	室内
45#	拟建 DSA 机房正下方区域	141	4	室内
46#	18-感染楼东南侧	127	5	道路
47#	医院西 2 门出入口	111	5	道路
48#	高压氧舱北侧	137	5	道路
49#	16 号楼南侧	132	4	道路
50#	16 号楼东侧	129	5	道路
51#	9-急诊楼东侧澄昌路	138	6	道路
52#	9-急诊楼南侧杨港路	145	5	道路

注：1、测量时探头距离地面约 1m；

2、每个监测点测量 10 个数据取平均值，以上监测结果均已扣除仪器对湖面宇宙射线的响应值；

3、环境 γ 辐射空气吸收剂量率=仪器读数平均值 $\times$ 仪器校准因子 $k_1 \times$ 仪器检验源效率因子 $k_2 \div$ 空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子 $k_3 \times$ 测量点宇宙射线响应值 D_c ，校准因子 k_1 为 1.12，仪器使用 ^{137}Cs 进行校准，效率因子 k_2 取 1，换算系数为 1.20Sv/Gy， k_3 楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1，测量点宇宙射线的响应值为 9.3nGy/h。

表 8.3-4 拟建场所及周围 α 、 β 表面污染检测结果

监测点编号	监测点位置	α 表面污染监测结果 (Bq/cm ²)	β 表面污染监测结果 (Bq/cm ²)
1#	神经外科诊室	<0.01	<0.07
2#	内科诊室 1	<0.01	<0.07
6#	走廊	<0.01	<0.07
8#	清创室	<0.01	<0.07
9#	B 超室	<0.01	<0.07
10#	心电室	<0.01	<0.07
12#	普外科室	<0.01	<0.07
13#	化验室	<0.01	<0.07
15#	清创室	<0.01	<0.07
16#	走廊	<0.01	<0.07
17#	化验室	<0.01	<0.07
19#	骨外科诊室	<0.01	<0.07
20#	急诊检验	<0.01	<0.07
23#	拟建衰变池区域	<0.01	<0.07

注：1、上述检测结果均已扣除本底，每个检测点测量 10 个数据取平均值；

2、CoMo 170 型 α 、 β 表面污染仪/05038153 的 α 表面污染探测下限为 0.01Bq/cm²， β 表面污染探测下限为 0.07Bq/cm。

8.4 结论

根据表8.3-3的监测结果可知，本项目拟建场址及周围各监测点位的室内 γ 辐射空气吸收剂量率范围为105nGy/h~175nGy/h，即 10.5×10^{-8} Gy/h~ 17.5×10^{-8} Gy/h；道路 γ 辐射空气吸收剂量率范围为111nGy/h~145nGy/h，即 11.1×10^{-8} Gy/h~ 14.5×10^{-8} Gy/h。根据《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，绍兴市室内 γ 辐射剂量率在 6.1×10^{-8} Gy/h~ 33.5×10^{-8} Gy/h之间；嵊州市道路 γ 辐射剂量率在 5.30×10^{-8} Gy/h~ 14.8×10^{-8} Gy/h之间，可见项目所在地的 γ 辐射剂量率处于辐射本底水平，未见异常。

由表8.3-4的监测结果可知，本项目拟建场址及周围各监测点 α 表面污染、 β 表面污染监测值均小于检测下限，未见异常。



图8.4-1 本项目拟建核医学科监测点位示意图（1F）

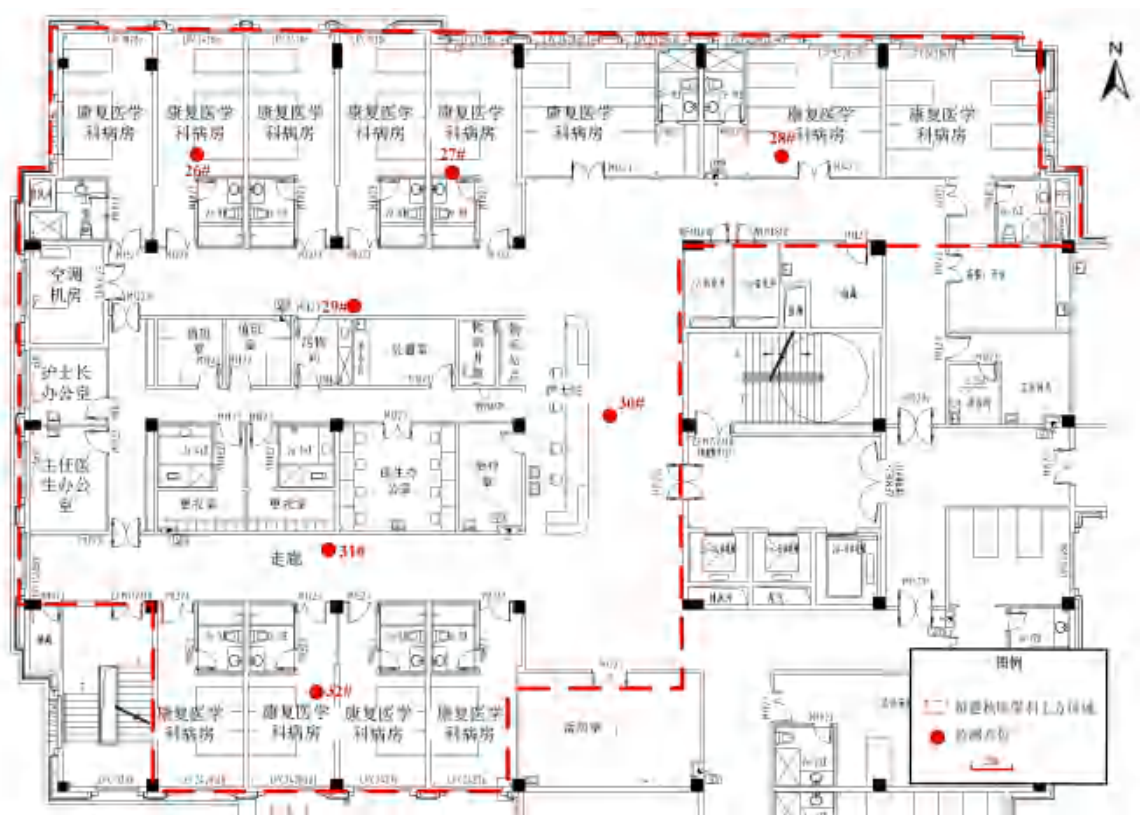


图8.4-2 本项目拟建核医学科楼上监测点位示意图（2F）

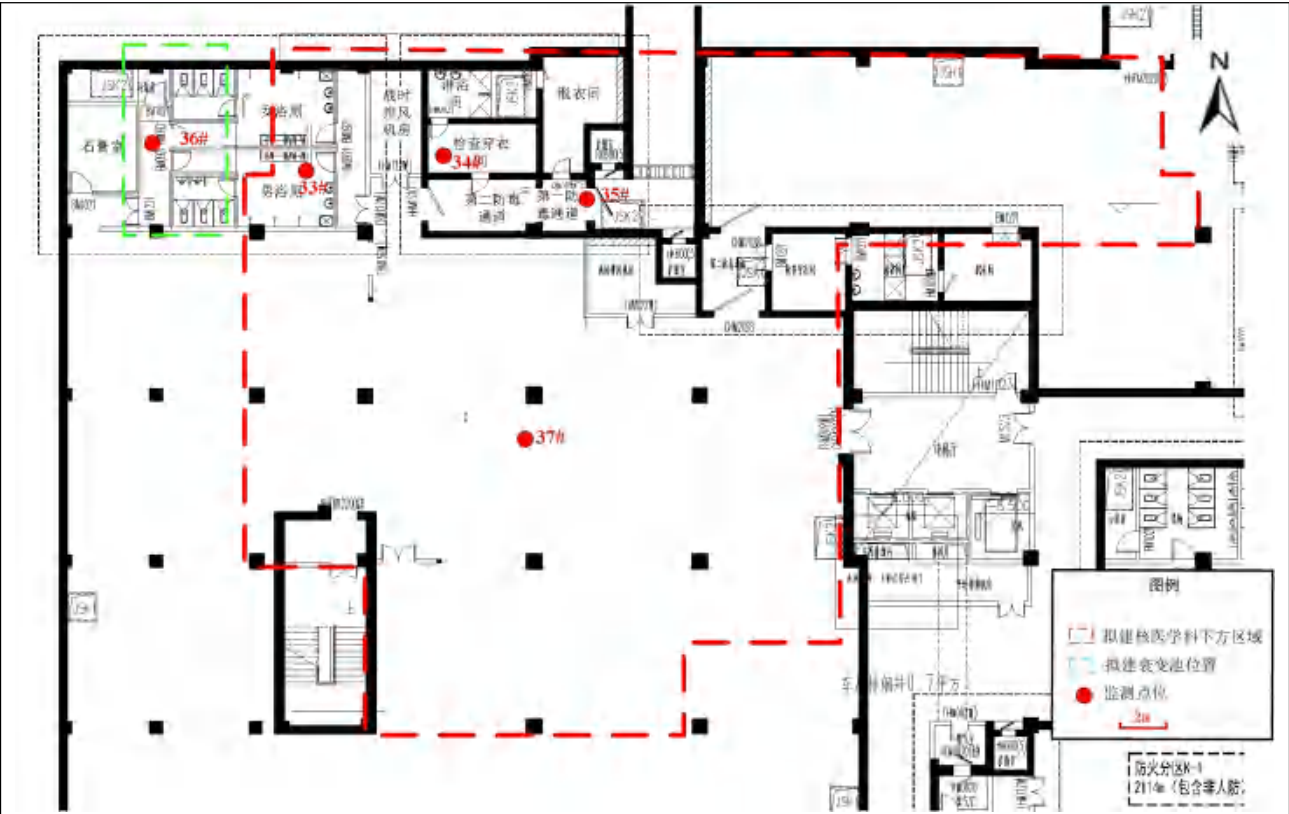


图8.4-3 本项目拟建核医学科楼下监测点位示意图（-1F）

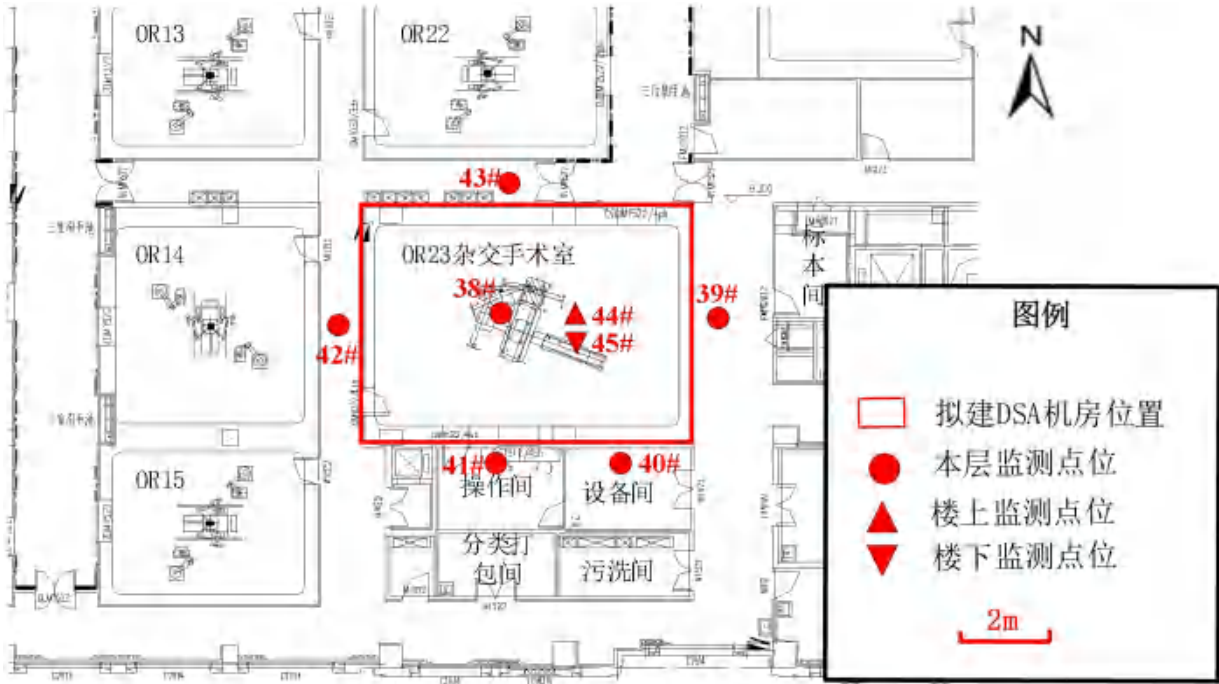


图 8.4-4 拟建 DSA 机房监测点位示意图

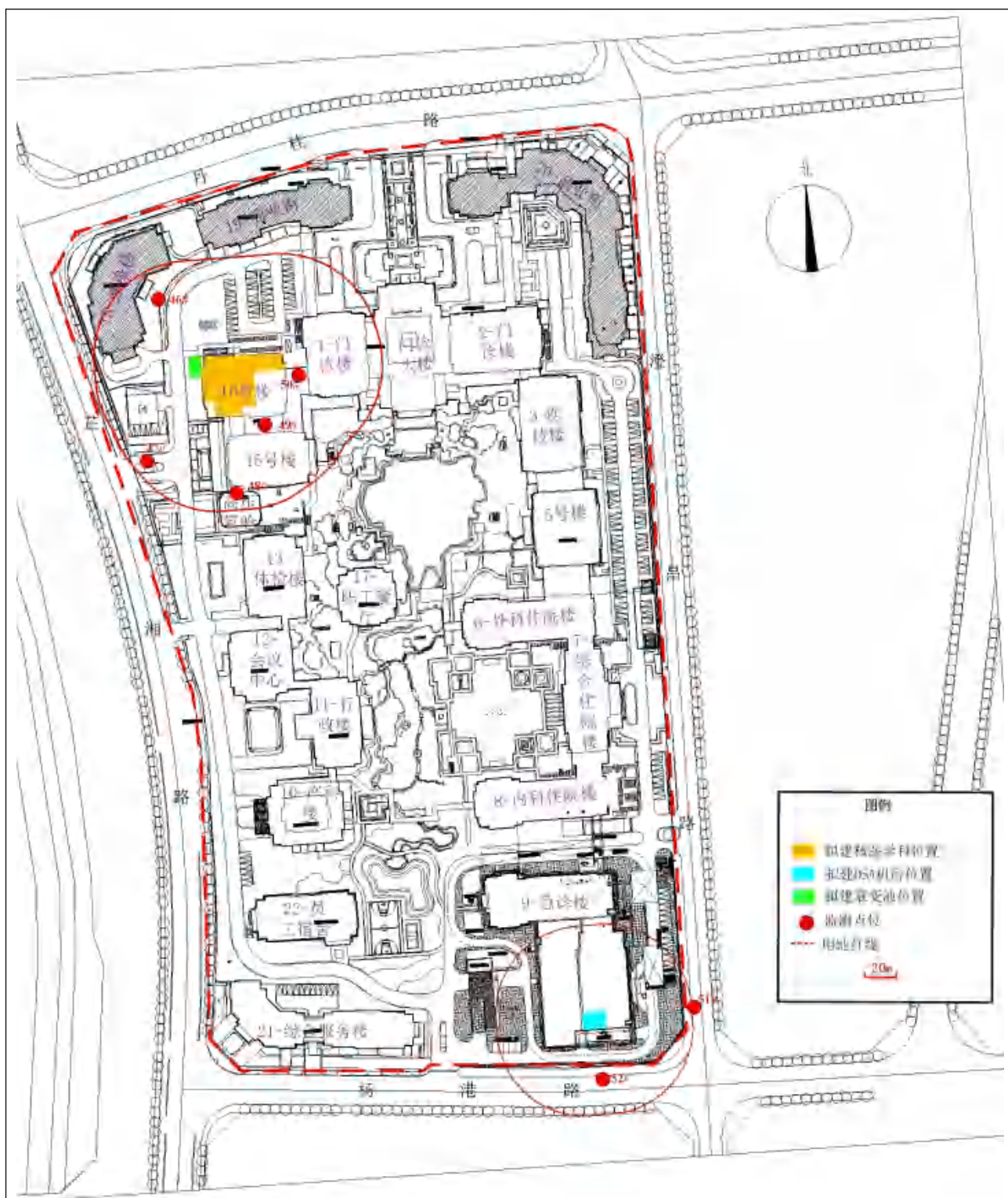


图8.4-5 医院总平面监测点位示意图

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工程分析

本项目辐射工作场所位于 16 号楼一层及急诊楼三层。本项目施工建设涉及到墙体拆除、新墙体的砌筑、建筑装修（包括屏蔽材料施工）、设备安装等，工程量较少，施工期主要的污染因子为：扬尘、施工人员生活污水、噪声及固体废物，施工过程不会产生辐射影响，各射线装置在安装调试时，会产生 X 射线、臭氧和氮氧化物。安装调试阶段是在辐射防护施工完成后进行，在此过程中各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立辐射警告标志，禁止无关人员靠近。因安装调试时间短，各污染物产生量很少，且调试结束关机后，X 射线将立即消除，因此，本项目设备安装调试造成的环境辐射影响很小。本项目射线装置安装及调试由设备供货方专业人员进行，医院方不得自行安装及调试设备。

9.2 工程设备和工艺分析

9.2.1 核医学科

1、PET/CT 显像诊断项目

（1）PET/CT 设备组成及工作原理

PET 正电子发射断层扫描（Positron Emission Tomography，PET）的工作原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，借此诊断疾病，又称为生化显像或功能因子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术。PET 的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。探测系统是整个正电子发射显像系统中的主要部分，它采用的块状探测结构有利于消除散射、提高计数率。许多块结构组成一个环，再由数十个环构成整个探测器。

PET/CT 是将 PET 和 X 线计算机断层扫描（Computer Tomography，CT）组合而成的多模式成像系统，是目前全球最高端的医学影像设备，同时也是一种可以在分子水平成像的影像技术。PET/CT 将 PET 与 CT 融为一体，使两种成像技术优势互补，PET 图像提供功能和代谢等分子信息，CT 提供精细的解剖和病理信息，通过融合技术，一次诊断即可获得疾病的病理生理变化和形态学改变。CT 主要由扫描部分、计算机系

统、图像显示和存储系统组成，其中扫描部分由 X 线管、探测器和扫描架组成。PET 本身不产生射线，仅作为光子接收和成像设备，服药后的病人作为辐射源项；CT 扫描过程中，CT 设备发射的 X 射线作为辐射源项。

(2) 工作方式

PET/CT 只能响应正电子放射性药物湮灭辐射产生的 $0.511\text{MeV}\gamma$ 光子，注射了 ^{18}F 的受检者待药物代谢至脏器，经技师在控制室语音指导患者在 PET/CT 诊断床上摆位、扫描，并出具诊断报告。

(3) 工作流程及产污环节

①诊断规划

PET/CT 显像诊断项目正式开展后，使用 1 台 PET/CT 开展工作，每年工作 300 天，每周工作 6 天，每天工作 8h，规划使用 ^{18}F 放射性核素进行显像诊断。 ^{18}F 显像诊断每日最多 10 人次，接受显像诊断的每名患者最大用药量为 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ 。

②工作流程

接收患者：接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害，医生根据患者病情记录使用核素剂量。

预订药物：PET/CT 显像诊断项目使用放射性核素 ^{18}F 进行显像诊断，工作人员根据预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，药物规格为铅罐罐装，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物送至核医学科，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室。本项目使用核素 ^{18}F 时可能采用人工或自动分装仪进行分装（本项目保守按人工分装进行考虑）。护士开展放射性药品分装、测活操作，单次操作 30s，日累计操作时间约 0.08h。

分装注射：本项目使用的 ^{18}F 采用静脉注射的方式给药。注射前由护士为患者打好留置针，患者根据叫号进入核医学科注射窗进行注射；药物待使用时由护士做好领取使用登记后将药物转移至手套箱，正常情况药物在注射室手套箱内分装至带有铅防护套的注射器中，并暂存于手套箱内，待测活度与规划用药活度确认一致后进行注射。医务人员使用时直接从手套箱中取出注射器，并在注射室铅屏蔽窗的屏蔽下为病人静脉注射。给患者注射放射性药物单次操作 30s，日累计操作时间约 0.08h。

扫描诊断、留观：患者注射后在等候室内候诊，注射 ^{18}F 药物候诊时间按照平均每人 1h 考虑，待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 PET/CT 机房，经医生进行

语音提示摆位，单次 1min，日累计操作时间约 0.17h，必要时进入机房指导，随后离开机房进入控制室，隔室操作对患者进行 PET 扫描诊断，按照 PET/CT 平均每人次扫描 15min，日累计工作时间约 2.5h。扫描完成后，根据患者情况安排是否留观，如有患者异常则进入留观室内留观约 10min，留观结束后患者将从核医学科西北侧的患者专用出口离开核医学科。

PET/CT 校准：从储源室保险柜中取出校准源，置于专用铅盒中，运送至机房，将 ^{68}Ge 校准源放置在病床上；做放射源透射的质量控制；将源卸下，置于专用铅盒中放入源库保险柜保存。

③产污环节

工作人员注射完毕后的一次性注射器、棉签等放入专用放射性废物铅桶内。患者候诊时产生的尿液、粪便、呕吐物均冲入专用卫生间，纳入衰变池内衰变。PET/CT 显像诊断项目工作流程与产污环节分析见图 9.2-1。

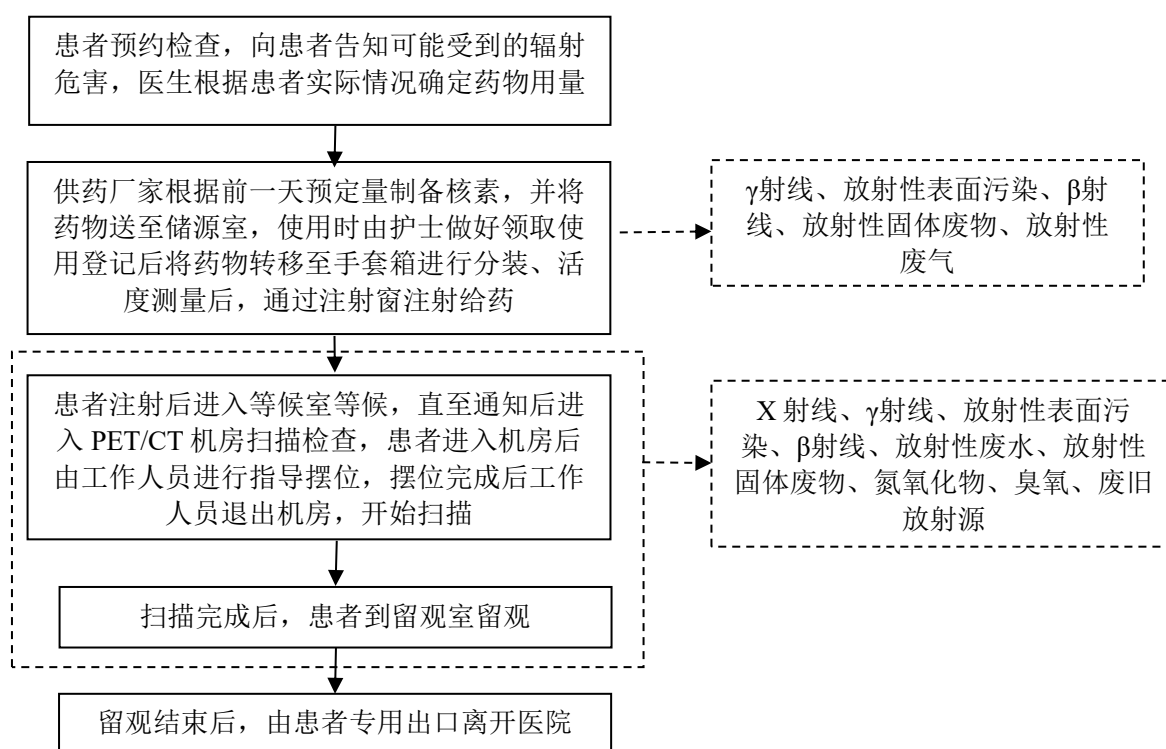


图 9.2-1 PET/CT 显像诊断工作流程及产污环节分析示意图

本项目 PET/CT 拟配置 2 枚 ^{68}Ge 校准源，1 枚 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ ^{68}Ge 校准源和 1 枚 $5.55 \times 10^7 \text{Bq}$ ^{68}Ge 校准源，均为 V 类放射源。 ^{68}Ge 半衰期为 288d，衰变模式为电子俘获（EC），产生 γ 射线。

因此，PET/CT 显像诊断项目污染因子是：X 射线、γ 射线、放射性表面污染、β

射线、放射性废水、放射性废气、氮氧化物、臭氧、废旧放射源和放射性固体废物。

2、SPECT/CT 显像诊断项目

(1) SPECT/CT 设备组成及工作原理

SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography, 单光子发射型计算机体层显像), 是一种利用放射性核素的检查方法, 其使用放射性核素进行诊断的基本原理是: 受检者注射含放射性核素的药物, 放射性核素在特定的器官或组织发射出能量 γ 射线, 穿过组织器官后到达 SPECT 探测器。SPECT 使用低能准直器对 γ 射线进行准直, 通过闪烁体将 γ 射线能力转换为光信号, 再通过光电倍增管将光信号转化为电信号并进行放大, 得到的测量值代表在该投影线上的放射性大小, 再利用计算机从投影求解断层图形。其主要的功能特点是: 除了显示脏器形态结构外, 更重要的是可观察到脏器血流灌注、功能和代谢的变化。临床主要应用于骨骼显像、心脏灌注断层显像、甲状腺显像、肺显像、肾动态显像等。

SPECT/CT 主要由三部分组成, 即探头、旋转运动机架、计算机及其辅助设备。探头部分主要由准直器、晶体、光导、光电倍增管、模拟定位计算电路组成。SPECT/CT 自身带有一个 CT 球管, 在 SPECT 核素扫描的基础上, 可以同时获得 CT 解剖图像, 从而更有利于对疾病作出全面、准确的判断。SPECT/CT 是将 SPECT 和多排螺旋 CT 结合成一体化的设备, 不仅提供 SPECT 功能信息, 而且提供诊断 CT 的解剖信息。SPECT 本身不产生射线, 仅作为光子接收和成像设备, 服药后的病人作为辐射源项; CT 扫描过程中, CT 设备发射的 X 射线作为辐射源项。

(2) 工作方式

受检者注射放射性显像剂后, SPECT/CT 探测体内核素发出的 γ 射线生成功能代谢断层影像, 同步通过 CT 获取解剖结构图像, 经融合技术叠加功能与解剖信息, 实现病变功能与形态的综合显像, 辅助疾病诊断与评估。

(3) 工作流程及产污环节

①诊断规划

SPECT/CT 显像诊断项目正式开展后, 使用 1 台 SPECT/CT 开展工作, 每年工作 300 天, 每周工作 6 天, 每天工作 8h。规划使用放射性核素 ^{99m}Tc 进行显像诊断。 ^{99m}Tc 核素 (静脉注射) 显像诊断每日最多 30 人次, 每名患者最大注射量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

②工作流程

接收患者：接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害，医生根据患者病情记录使用核素剂量。

预订药物：SPECT/CT 显像诊断项目使用放射性核素 ^{99m}Tc 进行显像诊断，工作人员根据预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，药物包装形式一般为单只注射器形式，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物送至核医学科，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室。

A、核素静脉注射、显像诊断和留观：注射前由护士在候诊区的留置针室为患者打好留置针，患者根据叫号进入核医学科注射窗进行注射；药物待使用时由护士做好领取使用登记后从储源室转移至手套箱测活，注射室护士开展放射性药品分装、测活操作，单次操作 30s，日累计操作时间约 0.25h。待测活活度与规划用药活度确认后一致后进行注射，医务人员使用时直接从注射室手套箱取出，在注射窗口铅注射屏、注射器防护套屏蔽下为患者注射，给患者注射放射性药物单次操作 30s，日累计操作时间约 0.25h。患者注射放射性药物后在 SPECT/CT 候诊室内候诊，患者候诊时间按照平均每人 1.0h 考虑，待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 SPECT/CT 机房。SPECT/CT 机房医生在控制室内进行语音提示摆位，必要时进入机房指导，单次 1min，日累计操作时间约 0.5h。摆位完成后离开机房返回控制室，隔室操作 SPECT/CT 对患者实施扫描诊断，每次扫描约 15min，日累计工作时间约 7.5h。扫描完成后患者进入留观室短暂留观，最后从核医学科西北侧的核医学科专用出口离开核医学科工作场所。

B、 ^{99m}Tc 心肌灌注、显像诊断和留观：注射前由护士为患者打好留置针，患者根据叫号进入运动负荷兼抢救室进行运动，以使心率达到一定水平后注射促使药物代谢至靶器官，单次抢救 30min，年累计操作时间约 5h。部分需要动态显像检查的患者则采用机房床旁注射模式，患者进入 SPECT/CT 机房体位就位后，由护士进入机房在设备床旁注射放射性药物，同步配合设备实时采集药物在体内代谢分布的动态影像数据。患者注射放射性药物后在 SPECT/CT 候诊室内候诊，通过语音呼叫，进入 SPECT/CT 机房。SPECT/CT 机房医生在控制室内进行语音提示摆位，必要时进入机房指导，摆位完成后离开机房返回控制室，隔室操作 SPECT/CT 对患者实施扫描诊断，每次扫描约 15min。扫描完成后患者进入留观室短暂留观，最后从核医学科西北侧的

核医学科专用出口离开核医学科工作场所。

③产污环节

工作人员注射完毕后的一次性注射器、棉签等放入专用放射性废物铅桶内。患者候诊时产生的尿液、粪便、呕吐物均冲入专用卫生间，纳入衰变池内衰变。SPECT/CT 显像诊断项目工作流程与产污环节分析见图 9.2-2。

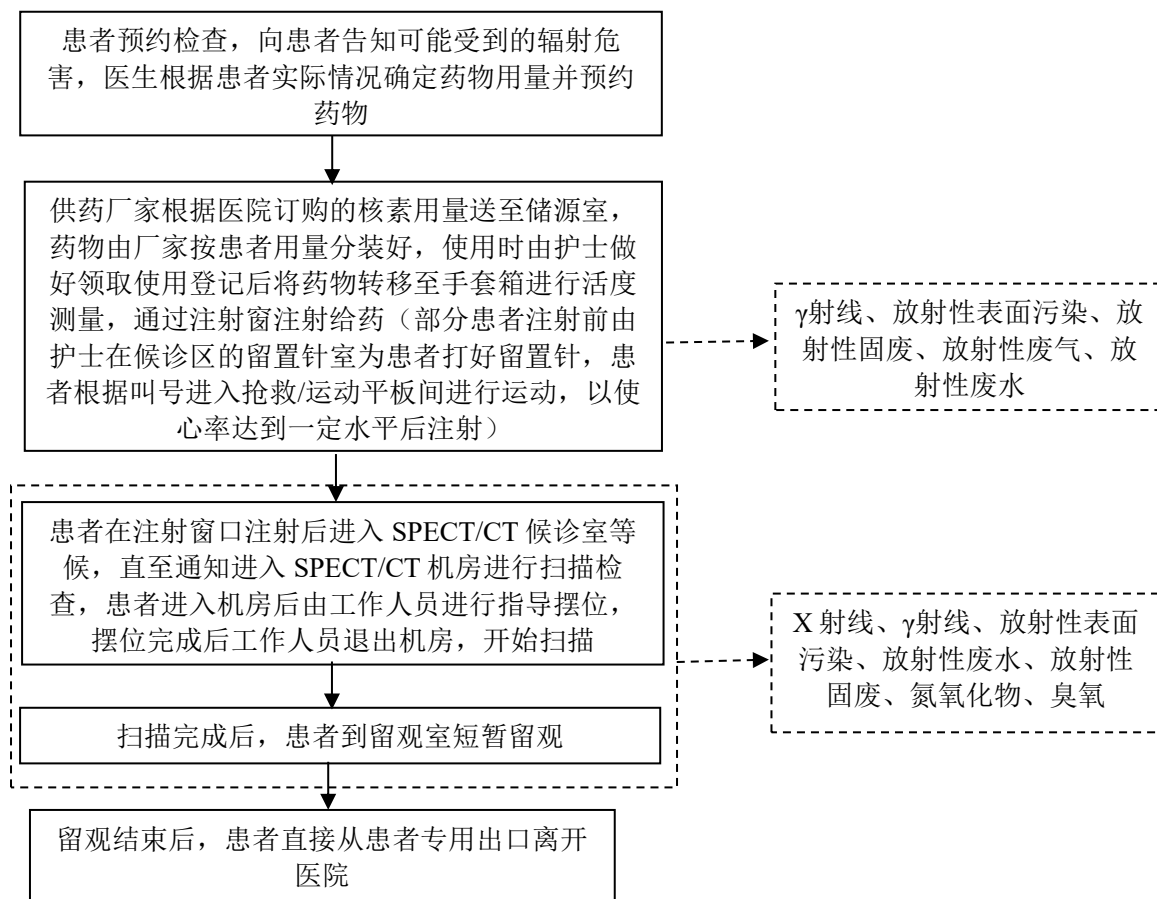


图 9.2-2 SPECT/CT 显像诊断工作流程及产污环节分析示意图

因此，SPECT/CT 显像诊断项目污染因子是：X 射线、γ射线、放射性表面污染、放射性废水、放射性废气、氮氧化物、臭氧和放射性固废。

3、人员、物流路径规划

(1) 工作人员路径

①PET/CT、SPECT/CT 显像诊断医护路径：PET/CT、SPECT/CT 显像诊断医护人员从核医学科东侧核医学科办公区经护士办和卫生通过间后进入高活室，在高活室给患者进行注射。工作结束后，监测确认无表面污染后（如监测有污染则进行去污至监测达标后）原路返回。

②PET/CT、SPECT/CT 显像诊断技师路径：PET/CT、SPECT/CT 显像诊断技师从

东侧核医学科办公区进入控制走廊操作和相应机房进行摆位等，本区域所有工作人员完成工作后均原路返回。

(2) 患者路径

①显像诊断患者路径：根据预约时间患者在核医学科南侧候诊区等候，在护士站登记信息后，根据工作人员指导、语音呼叫系统提示在相应的注射窗口接受药物注射。注射完成后，根据工作人员语音指导及路线指示进入相应的候诊室等候。候诊完成后，进入相应的机房进行扫描检查。扫描完成后，PET/CT 和 SPECT/CT 显像诊断患者进入留观室短暂留观，留观结束后通过核医学科西北侧的患者专用出口离开核医学科。

(3) 放射性药物路径

本项目核医学科使用放射性核素均为外购成品药物。医院通过分时分管措施，安排供药公司工作人员每天早上在开展诊疗工作前到达核医学科场所，避开候诊病人，在摄像头监控下与医院工作人员核对放射性药物信息，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室，所有药物在使用前均存放在储源室，待使用时由护士做好领取使用登记后将药物从储源室转移至手套箱进行分装测活。

(4) 污物路径

核医学科产生的放射性废物集中收集至废物间衰变，衰变时间满足要求且经监测符合清洁解控水平后，选择在下班后无病人时段，由废物间经高活室、污物清运通道运送至污洗间，打包好后从核医学科西南侧出入口，统一送至医院医疗废物暂存间收集后按照医疗废物处置。

核医学科设立有相对独立的工作人员、患者、放射性药物和污物路径。工作人员通道与给药后患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道尽可能短捷，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求。本项目核医学科人员、物流路径规划详见附图 12。

5、核医学科工作负荷

(1) 放射性核素相关放射性属性

本项目拟使用的非密封放射性物质的相关放射性属性见表 9.2-2。

表 9.2-2 非密封放射性物质的相关放射性属性

核素名称	状态	半衰期	毒性级别	衰变方式	主要射线和能量 (MeV)	用途
PET/CT 显像诊断						
^{18}F	液态	109.8min	低毒	β^+ 、EC	$\gamma 0.511$	显像诊断
SPECT/CT 显像诊断						
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液态	6.02h	低毒	I.T.	$\gamma 0.140$	显像诊断

注：衰变方式栏中 I.T.表示同质异能跃迁。

(2) 工作人员配备和工作负荷

根据医院提供的资料，项目正式开展后，每年工作 300 天，每周工作 6 天，每天工作 8h，核医学科各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见表 9.2-3。

表 9.2-3 各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

工作场所	操作内容	操作时间	人员数量
办公室	办公、读片、报告打印等	8h/天	4 人
注射室	药品分装、测活	30s/次，约 0.34h/天	共 6 名护士， 3 人一组轮岗，共 2 组
	给患者注射药物	30s/次，约 0.34h/天	
运动负荷兼抢救室	对患者进行抢救	30min/次，约 5h/年	
诊室、护士站	预约登记、门诊接诊	8h/天	
PET/CT 机房	指导患者躺至正确的位置	1min/次，约 0.17h/天	共 2 名技师， 1 人一组轮岗，共 2 组
PET/CT 控制室	技师在控制走廊操纵设备进行扫描	平均 15min/次，约 2.5h/天	
SPECT/CT 机房	指导患者躺至正确的位置	1min/次，约 0.5h/天	共 2 名技师， 1 人一组轮岗，共 2 组
SPECT/CT 控制室	技师在控制走廊操纵设备进行扫描	平均 15min/次，约 7.5h/天	

9.2.2 急诊楼三层 DSA 机房

本项目拟在急诊楼三层建设 1 间 DSA 机房，在机房内安装使用 1 台 DSA 装置，DSA 装置型号为 Azurion7M20，最大管电压为 125kV，最大管电流为 1000mA，用于介入治疗和影像诊断。

(1) 设备组成

DSA 是计算机与常规血管造影相结合的一种检查方法，是集电视技术、影像增强、数字电子学、计算机技术、图像处理技术等多种科技手段于一体的系统。DSA 射线装置主要由 X 射线发生系统、接收器、导管床、图像显示器等部分组成。X 射线发

生系统位于接收器对面方向；操作台集合控制系统和设备状态显示等功能，位于控制室内；机房内控制装置一般为脚闸控制，通过设备电缆引出、位于地面。本项目 DSA 射线装置整体外观示意图如图 9.2-3 所示。



图9.2-3 本项目DSA射线装置整体外观示意图

(2) 工作原理

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，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。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。典型 X 射线管结构详见图 9.2-4。

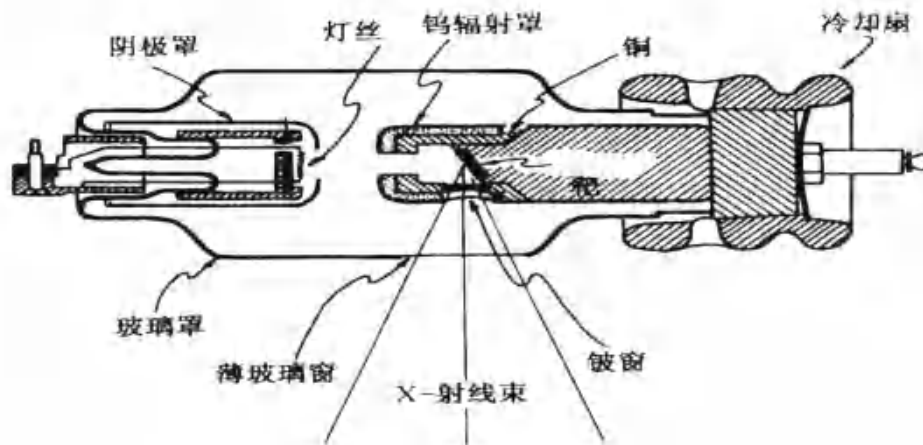


图9.2-4 典型X射线管结构图

虽然不同用途的 X 射线机因诊疗目的不同有较大的差别，但其基本结构都是由产生 X 射线的 X 射线管、供给 X 射线管灯丝电压及管电压的高压发生器、控制 X 射线的“量”和“质”及曝光时间的控制装置，以及为满足诊断需要而装配的各种机械装置和辅助装置组成。

DSA 成像的基本原理是将受检部位注入造影剂之前和注入造影剂后的血管造影 X 射线荧光图像，分别经影像增强器增益后，再用高分辨率的电视摄像管扫描，将图像分割成许多的小方格，做成矩阵化，形成由小方格中的像素所组成的视频图像，经对数增幅和模/数转换为不同数值的数字，形成数字图像并分别储存起来，然后输入电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，获得的不同数值的差值信号，再经对比度增强和数/模转换为普通的模拟信号，获得去除骨骼、肌肉和其他软组织，只留下单纯血管影像的减影图像，通过显示器显示出来。

（3）工作方式

在医学影像系统监视引导下，经皮针穿刺或引入导管做抽吸注射、引流或对管腔、血管等做成型、灌注、栓塞等。本项目 DSA 机架、X 射线管组合体可在水平和垂直两个方向上转动，介入手术过程中，介入手术医生须在手术床旁并在 X 射线导视下进行操作。

（4）工作流程及产污环节

医生在接诊患者后根据其病情确认诊疗方法，告知患者及家属采用 DSA 治疗的辐射危害。患者进入机房后，技师或护士协助摆位后离开机房（患者留下）。开启 DSA 设备，技师在控制室内首次拍片初步确认病灶部位后，手术医生穿戴好防护用品进入

机房，在透视操作下插入导管，输入造影剂，之后离开机房，技师在控制室内再次拍片，当确诊病灶部位后，手术医生穿戴好防护用品后再次进入机房进行介入治疗直到治疗结束，关机。

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况，透视。进行介入手术治疗时，为更清楚的了解患者情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医生位于铅帘后身着铅服、铅眼镜在曝光室内对患者进行直接的介入手术操作。该情况在实际运行中占绝大多数，是本次评价的重点。

第二种情况，摄影。操作人员采取隔室操作的方式（即技师在控制室内对患者进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内患者情况。

DSA 工艺流程及产污环节示意图见图 9.2-5。

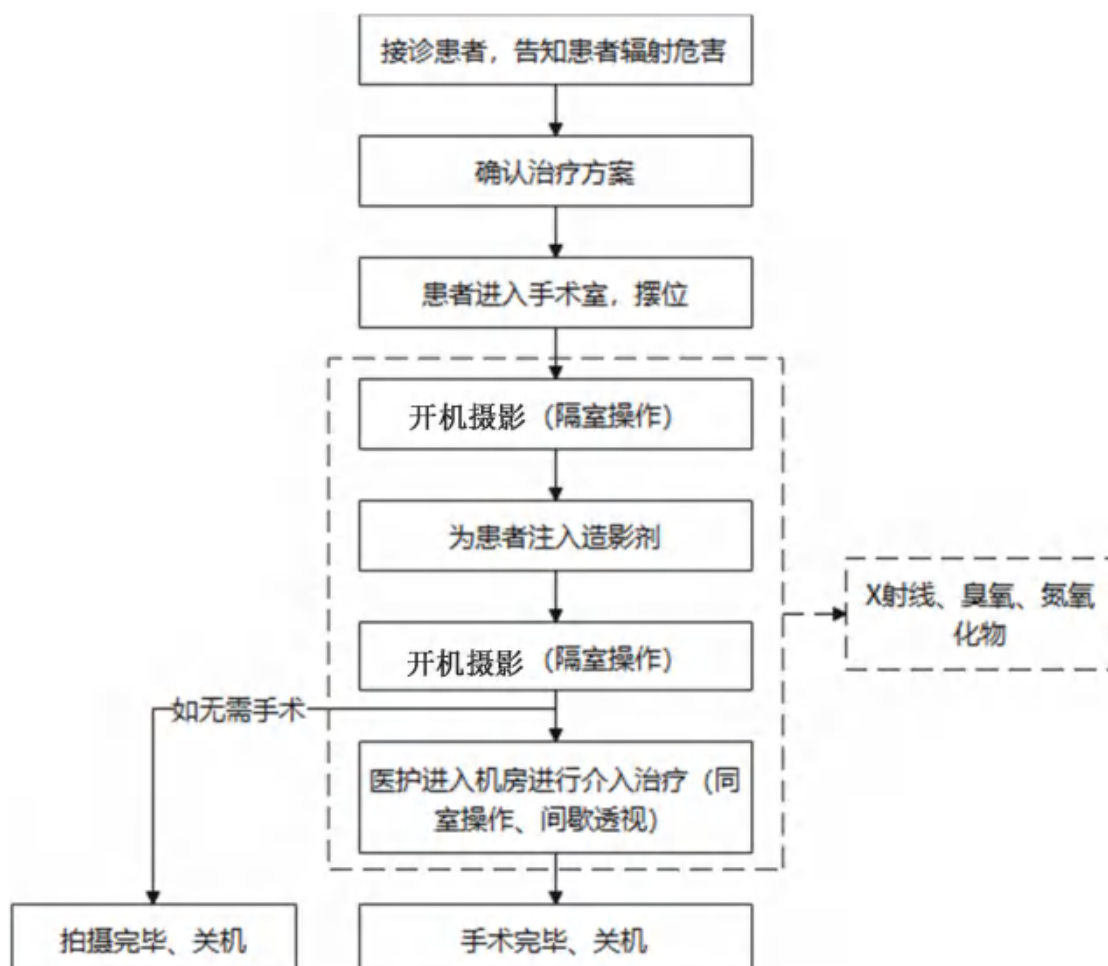


图 9.2-5 DSA 操作流程及产污环节示意图

（5）工作负荷

根据医院提供资料，本项目 DSA 年最大手术量约 1000 台。DSA 主要开展心脏血

管、神经介入、外周和综合介入等手术。因每台手术患者和手术要求不同，1台手术中DSA的摄影时间和透视时间也不大相同。本项目按照每台介入手术摄影时间最长为1min，透视时间最长为20min，则DSA摄影模式年出束时间为16.67h，透视模式年出束时间为333.33h，合计年出束时间为350h。

本项目DSA拟配置辐射工作人员24人，包括手术医生12人，护士8人，技师4人，介入手术一般有1~2名医生在机房内，按2名医生同时在机房考虑，则平均每名医生DSA介入手术量为166.67台，单名医生年最大手术台数保守按照170台考虑。护士在手术过程中承担记录手术情况、传递医疗器械及辅助医生手术的工作，一般情况下1间机房内2名护士同时在岗，保守按2名护士同时在机房考虑，则单名护士年最大手术量保守按250台考虑。在手术过程中，一般2名技师同时位于控制室隔室操作，单名技师年最大手术量保守按500台考虑。本项目DSA最大运行工况和曝光时间详见表9.2-4。

表 9.2-4 本项目 DSA 最大运行工况和工作负荷一览表

工作场所	规划手术量/台	岗位	拟配置人员数量/人	出束模式	操作方式	平均每台手术曝光时间(min)	每名人员年手术最大量(台)	年受照时间(h)
DSA 机房	1000	医生	12	摄影	隔室操作	1	170	2.83
				透视	同室操作	20		56.67
		护士	8	摄影	隔室操作	1	250	4.17
				透视	同室操作	20		83.33
		技师	4	摄影	隔室操作	1	500	8.33
				透视	隔室操作	20		166.67

(6) 人员、物流路径规划

①工作人员路径

医护路径：医护工作人员由DSA机房北侧走廊经DSA机房北门进入DSA机房，治疗结束后按原路离开。

技师路径：医护工作人员由DSA机房北侧走廊经DSA机房北门进入DSA机房和控制室，治疗结束后按原路离开。

②患者路径

患者沿机房西侧走廊由北向南经机房东北侧防护门进入DSA机房内进行治疗，治疗结束后，患者可按原路离开。

③污物路径

本项目介入手术会产生药棉、纱布和手套等医疗废物，这些医疗废物采用专用容器收集后，待手术结束从DSA机房西侧防护门由机房东侧污梯运至医院总医疗废物暂存间。

本项目DSA机房人员、物流路径规划详见附图 9。

9.3 污染源项描述

9.3.1 正常工况下污染源项描述

1、核医学科污染源项分析

(1) X 射线、 γ 射线、 β 射线

^{99m}Tc 核素在衰变过程中释放 γ 射线， γ 射线穿透能力很强，会对周围环境造成一定的辐射影响； ^{18}F 核素发射的正电子与负电子相结合，能产生湮没 γ 光子辐射，同时释放少量 β 射线。因此 γ 射线是核素使用过程中的主要污染因子。

因此，PET/CT、SPECT/CT 扫描时产生 X 射线、氮氧化物、臭氧；在放射性药物操作，患者注射后候诊、扫描及留观等过程中产生 γ 射线。

(2) 放射性表面污染

医生在对放射性药物的操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的放射性表面污染。

(3) 放射性废气

放射性药物在活度测量和给药过程中不需要加热、振荡等步骤，药物挥发产生放射性废气极少，因此，不进行定量分析。

(4) 放射性废水

放射性废水主要为患者注射放射性药物后产生的排泄物及冲洗水等含有放射性核素，核医学科工作人员完成放射性药物操作后清洗去污的废水，核医学科工作场所清洁及应急洗消产生的可能含放射性物质的废水。

本项目核医学科使用核素 ^{18}F 用于 PET/CT 显像诊断；使用核素 ^{99m}Tc 用于 SPETCT/CT 显像诊断。因此，本评价考虑 ^{18}F 、 ^{99m}Tc 显像诊断过程产生的废水。

由表 1.1-1 可知，核医学科使用 ^{18}F 、 ^{99m}Tc 显像诊断合计日最大门诊量为 40 人次，年门诊量为 12000 人次。用水定额参考《综合医院建筑设计标准》（GB51039-2014 局部修订条文），门、急诊患者最高日用水量为 10~15L/（人·次），本项目核医学科仅开展 PET/CT、SPECT/CT 显像诊断，不开展核素治疗，无患者留观床位，患

者就诊以影像检查为主，院内停留时间较短，因此本次评价取 10L/人·次，显像诊断患者每日最多 40 人，产污系数取 0.85，显像诊断患者产生的放射性废水量为 0.34m³/d、102m³/a。工作人员在完成一天的分装、注射工作后需进行污染监测，并进行去污清洗而产生放射性废水，同时工作场所需进行场所清洗，本项目核医学科仅进行诊断，保守估算核医学科每天清洗废水产生量约为 0.1m³，每年工作 300 天，则清洗废水年排放量为 30m³。因此，本项目核医学科工作场所合计放射性废水产生量为 0.44m³/d、132m³/a。

(5) 放射性固废

开展核素诊断治疗项目时，放射性废物主要是工作人员操作过程产生的废一次性注射器、废针头、废手套、废药棉、废纱布、破损杯皿、擦拭污染地面的物品等，按照每人每天 0.02kg 产生量进行估算，核医学科年门诊量总计为 12000 人次，正常情况下，产生放射性固体废物为 240kg/a。

核医学科废气处理设施更换下来的废活性炭含有放射性核素，也属于放射性固体废物。项目核医学科共设有 8 根排风管道，放射性废气排放口位于 16 号楼楼顶，排放口和手套箱顶部均设有活性炭吸附装置，活性炭装置填装量共 80kg，平均每半年由厂家更换一次，产生量为 160kg/a。

PET/CT 校准源 ⁶⁸Ge 其活度无法满足校准需要时，将更换校准源，从而产生废旧放射源，平均 4 年更换一次，每次更换产生废旧放射源 2 枚，废旧放射源剩余活度最大不超过源出厂初始活度。

2、DSA 项目污染源项分析

(1) X射线

本项目 DSA 曝光时会产生 X 射线。X 射线在开机时产生，关机时消失。X 射线防护所考虑的是 X 射线的直射、散射和泄漏辐射。

①采取隔室操作，并且在设备安全和防护硬件及措施到位的正常情况下，射线装置机房外的工作人员及公众基本上不会受到 X 射线的照射。

②手术治疗时，机房内进行手术操作的医生会受到一定程度的 X 射线外照射。

(2) 臭氧和氮氧化物

本项目射线装置运行时，无放射性废气、废液及固体废物产生，且设备运行时，诊断结果可通过显示屏观察或采用数字技术进行打印，不使用胶片冲洗显影，不产生

废显影液、废定影液和废胶片。本项目射线装置在曝光过程中，由于 X 射线与空气电离作用，会有少量臭氧和氮氧化物产生。因射线装置每次曝光时间短，臭氧和氮氧化物产生量很少。

综上，本项目 DSA 污染因子为 X 射线、少量臭氧和氮氧化物。

9.3.2 非正常工况污染源项描述

1、核医学科

主要考虑电离辐射损伤、放射性药物失控对环境及公众的影响。

①PET/CT 机房或 SPECT/CT 机房门灯联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房，对人员造成误照射。

②由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因致使放射性药物撒漏，造成意外照射和辐射污染。

③由于未锁好核医学科进出口的大门或取用药物后未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射性药剂、放射源丢失或给药后患者擅自离开控制区，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

④医院未管理好给药后患者，患者给药后随意进出核医学科，对周边候诊公众及家属造成辐射影响；患者家属误入核医学科注射后候诊区等高活区，造成意外照射。

2、DSA 机房

①装置在运行时，由于门灯联锁系统失效，人员误入或滞留在机房内，造成误照射；

②工作人员或患者家属还未全部撤离治疗机房，控制室人员启动设备，造成滞留人员误照射；

③X 射线装置工作状态下，没有关闭防护门对人员造成误照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 核医学科

1、辐射工作场所布局分析

本项目核医学科位于 16 号楼一层，核医学科四周相邻环境情况见表 10.1-1。

表 10.1-1 非密封放射性物质工作场所相邻环境状况

位置	东面	南面	西面	北面	上一层	下一层
核医学科场所	室外道路、弱电井、楼梯间、电梯厅、走廊和针灸室	针灸室、走廊、室外道路和楼梯间	楼梯间和室外道路	室外道路	康复医学科病房、空调机房、走廊、卫生间、护士长办公室、值班室、污物间、处置室、物流井、主任办公室、更衣室、医生办公室、治疗室和护士站	男浴厕、女浴厕、战时排风机房、淋浴间、检查穿衣间、防毒通道和停车区

核医学科放射性废水经埋地耐腐蚀和防护屏蔽的管道接入到衰变池，本项目拟建衰变池为成品衰变池，设置在 16 号楼西侧。核医学科放射性废气由风机抽排至 16 号楼楼顶高出屋脊排放，排放口尽量远离了邻近的高层建筑，排风管内设置止回阀，防止气流倒灌，手套箱顶壁和排风口均设置活性炭吸附装置，废气经活性炭吸附处理后排放。

本项目核医学科工作场所位于 16 号楼一层，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区。核医学科出口位于 16 号楼西北侧，出口周边为院内道路，不设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。核医学科非密封放射性工作场所出入口处设有卫生通过间，卫生通过间包含更衣、淋浴、去污工具，并配备表面污染监测仪；设置有独立的储源室、废物间和高活室，且储源室与高活室较近，降低了药物操作和转移过程中可能会出现洒落等情况。核医学科设置有单独的 PET/CT 注射后等候室和 SPECT/CT 注射后等候室，且均设有专用卫生间，患者产生的放射性废水均通至衰变池衰变；医护人员通道与给药后患者通道完全分离，不交叉，患者单向流动，避免了患者之间交叉影响；各辐射工作场所均采取了辐射防护措施；所有出入口均设有单向门禁系统，没有工作人员的引导不能进入，且出口避开了人流密集区域，设置合理。综上所述，本项目核医学科工作场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于核医学工作场所对于布局的要求以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）中关于安全操作的要求，核医学科工作场所布局合理。

2、放射性废水衰变池选址合理性分析

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“源的选址与定位”的规定：

9.3.2.1为具有大量放射性物质和可能造成这些放射性物质大量释放的源选择场址时，应考虑可能影响该源的辐射安全的各种场址特征和可能受到该源影响的场址特征，并应考虑实施场外干预（包括实施应急计划和防护行动）的可行性。

9.3.2.2在确定装置和设施（例如医院和制造厂）内的小型源的位置时，应考虑：

a）可能影响该源的安全和保安的因素；

b）可能影响该源引起职业照射和公众照射的因素，包括诸如通风、屏蔽、距人员活动区的距离等；

c）考虑了上述因素后工程设计上的可行性。

据此，国家只对“具有大量放射性物质和可能造成这些放射性物质大量释放的源”应考虑场址特征的规定，对其它源的选址未作明文规定，而医院内的小型源更关注辐射安全防护和工程设计的可行性。本项目在正常运行和事故工况下，均不会造成大量放射性物质释放。因此，本次环评仅针对衰变池的选址在辐射安全防护、工程设计及日常管理分析其选址可行性。

根据医院提供的由设计单位出具的图纸资料，项目核医学科设置的衰变池均为成品不锈钢衰变池，设置在16号楼西侧。衰变池组由1个降解池+3个并联衰变池组成，单个衰变池有效容积为7m³，总容积为21m³。衰变池间平面布置图见附图4。

衰变池间四侧墙体为400mm混凝土+6mmPb防护铅板，衰变池间中间墙体为240实心砖，顶部均为200mm混凝土+6mmPb防护铅板，底部为6mmPb硫酸钡防护涂料；衰变池为底板、侧板2.5mm壁厚和顶板2.0mm组合式304不锈钢成品池体，池体各部位满焊密封，焊缝、管线接口做防腐密封处理，并进行渗漏检测，实现防腐蚀、防泄漏，可确保辐射防护安全。

衰变池组设有人员检修出入口，便于衰变池自动控制系统、衰变池池体、水泵、管道维修及监督检查。衰变池设有极限液位计、超声波液位传感器和PLC系统控制柜，自动切换废水收集和排放，并设有远程可视控制终端，同时设置有自动取样测量系统，便于取样监测。放射性废水经贮存超过30天后，可直接解控排入医院污水处理站，并做好排放记录。衰变池监控系统拟设置在核医学科护士站或办公室，可实现远

程操控和远程监控。放射性废水管道裸露部分拟采用 8mmPb 铅皮包裹进行屏蔽防护并做上标记，衰变池与核医学科工作场所距离较近，可以最大程度上缩短放射性废水收集管线距离，有利于辐射防护与安全。

综上所述，本项目核医学衰变池组设置在 16 号楼西侧，在辐射安全防护、工程设计及日常管理等方面是可行的。

3、非密封放射性物质工作场所分级、分类

(1) 工作场所分级

本项目核医学科使用的放射性同位素有 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）非密封源工作场所的分级原则及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），放射性核素的日等效最大操作量计算公式见式 10.1-1。修正因子见表 10.1-2、表 10.1-3，计算见表 10.1-5。

$$\text{放射性核素的日等效最大操作量} = \frac{\text{放射性核素的实际操作量} \times \text{毒性组别修正因子}}{\text{操作方式修正因子}} \dots\dots (\text{式 } 10.1-1)$$

表 10.1-2 放射性核素毒性组别修正因子

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 10.1-3 操作方式与放射源状态修正因子

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
很简单操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

表 10.1-4 本项目工作场所分级计算表

工作场 所	核素 名称	实际日最大 操作量 (Bq)	毒性组别修正 因子	操作方式修正因子	日等效最大操 作量 (Bq)	分级
16 号 楼一层 建设核 医学科	^{18}F	3.70×10^9	0.01 (低毒)	10 (很简单操作)	1.85×10^7	乙级
		1.48×10^{10}	0.01 (低毒)	10 (很简单操作)		
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.78×10^{10}	0.01 (低毒)	10 (很简单操作)	2.78×10^7	
	合计				4.63×10^7	

经计算本项目核医学科非密封放射性物质日等效最大操作量为 $4.63 \times 10^7 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量属于 $2 \times 10^7 \text{Bq} \sim 4 \times 10^9 \text{Bq}$ 的范围，因此，本项目核医学科属于乙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 G 核医学的工作场所分类，根据日操作最大量放射性核素的加权活度将场所分为三类，见表 10.1-5。

表 10.1-5 核医学工作场所分类一览表

分类	日操作最大量放射性核素发的加权活度，MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50

注：加权活度=（计划的日最大操作活度×核素毒性权重因子）/操作性质修正因子

本项目放射性核素毒性权重因子和操作性质修正因子见表 10.1-2 和表 10.1-3，项目核医学科核素权重活度计算结果见表 10.1-6。

表 10.1-6 本项目核医学科非密封放射性物质加权活度计算结果

工作场所	核素	毒性权重因子	操作性质修正因子	日操作最大活度（Bq）	放射性核素加权活度 ^① （Bq）	总加权活度（Bq）	场所分类
储源室	^{18}F	1	100	$1.48\text{E}+10$ （备药量）	$1.48\text{E}+08$	$4.26\text{E}+08$	II类
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	100	$2.78\text{E}+10$	$2.78\text{E}+08$		
高活室	^{18}F	1	1	$1.85\text{E}+10$	$1.85\text{E}+10$	$4.63\text{E}+10$	II类
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	1	$2.78\text{E}+10$	$2.78\text{E}+10$		
运动负荷兼抢救室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	1	$2.78\text{E}+10$	$2.78\text{E}+10$	$2.78\text{E}+10$	II类
废物间 ^②	^{18}F	1	10	$1.85\text{E}+08$	$1.85\text{E}+07$	$4.63\text{E}+07$	III类
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	$2.78\text{E}+08$	$2.78\text{E}+07$		
PET/CT 机房、PET/CT 等候室	^{18}F	1	10	$3.70\text{E}+09$	$3.70\text{E}+08$	$3.70\text{E}+08$	II类
留观室	^{18}F	1	10	$3.70\text{E}+09$	$3.70\text{E}+08$	$3.15\text{E}+09$	II类
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	$2.78\text{E}+10$	$2.78\text{E}+09$		
SPECT/CT 机房、SPECT/CT 等候室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1	10	$2.78\text{E}+10$	$2.78\text{E}+09$	$2.78\text{E}+09$	II类

注：①加权活度=（计划最大日操作量×核素的毒性权重因子）/操作性质修正因子；
②保守按日最大用量 1%转移至废物衰变桶中考虑。

对照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中关于“不同核医学工作场所用

房室内表面及装备结构的基本放射防护要求”，各类工作场所要求见表 10.1-7。

表 10.1-7 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接触无缝隙	与墙壁接触无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^a	普通管道	普通管道
盥洗及去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b
a: 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测； b: 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。			

医院应按表 10.1-7 的要求，II类核医学工作场所用房均设置结构屏蔽，地面与墙壁接触应采用无缝隙设计；工作台表面采用易清洗的材料，如不锈钢；注射室设置手套箱；卫生通过间内配备洗手盆和去污设备。III类工作场所用房地面和工作台表面采用易清洗的材料，如不锈钢；另外核医学工作场所用房设置特殊的强通风装置（通风系统独立设置，保持核医学工作场所用房负压以防止放射性气体交叉污染，操作放射性药物所用的手套箱设置专用的排风装置）；核医学工作场所含放射性废水的排水管道应为特殊管道，在满足需要的情况下，尽量缩短管道长度，如有裸露部分应采用 8mmPb 铅皮包裹进行屏蔽防护，并做上标记。

4、分区原则及区域划分

(1) 分区原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（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，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的电离辐射警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平指示。

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，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。在监督区入口处的合适位置设立表明监督区的标牌。

(2) 区域划分

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）对控制区和监督区的定义，结合核医学科工作场所辐射防护和环境情况特点，本项目核医学科控制区、监督区的划分如表 10.1-8 和附图 12 所示。

表 10.1-8 本项目核医学科控制区和监督区划分情况

场所	控制区	监督区
核医学科	PET/CT机房、SPECT/CT机房、储源室、废物间、留观室、PET/CT候检室（VIP）、PET/CT候诊室、高活室、运动负荷兼抢救室、SPECT/CT候诊室、污洗间、衰变池组等	设备间、控制走廊、示教室、医生办公室、更衣室、主任办公室、值班室、卫生间、医护过道、库房、护士办、诊室、卫生通过间、缓冲间、患者通道、准备间、护士站、候诊区、衰变池组外 30cm 区域等

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，医院应做到：

1) 控制区防护手段与安全措施

- ①控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志；
- ②制定职业防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；
- ③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障限制进出控制区；
- ④定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

2) 监督区防护手段与安全措施

- ①以黄线警示监督区的边界；
- ②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；
- ③定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界；
- ④在卫生通过间备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜，设有清洗及去污设施。

5、辐射屏蔽设计

本项目核医学科各工作场所屏蔽设计情况如表 10.1-9 所示。

表 10.1-9 核医学科辐射防护屏蔽设计方案

工作场所	屏蔽体	设计厚度
储源室	四侧墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料

	顶棚	120mm 混凝土楼板+6mm 铅板吊顶
	地坪	500mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡防护涂料
	防护门（1 扇）	内衬 8mm 铅板
高活室	四侧墙体	240mm 实心砖+80mm 硫酸钡防护涂料
	PET/CT 注射窗	40mmPb 铅玻璃
	SPECT/CT 注射窗	20mmPb 铅玻璃
	顶棚	120mm 混凝土楼板+8mm 铅板吊顶
	地坪	500mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡防护涂料
	防护门（1 扇）	内衬 8mm 铅板
废物间	四侧墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料
	顶棚	120mm 混凝土楼板+6mm 铅板吊顶
	地坪	500mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡防护涂料
	防护门（1 扇）	内衬 8mm 铅板
运动负荷兼抢救室	四侧墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料
	顶棚	120mm 混凝土楼板+15mm 铅板吊顶
	地坪	500mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡防护涂料
	防护门（患者）	内衬 6mm 铅板
	防护门（工作人员）	内衬 8mm 铅板
SPECT/CT 候诊室	四侧墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料
	顶棚	120mm 混凝土楼板+6mm 铅板吊顶
	地坪	500mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
SPECT/CT 机房	四侧墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料
	顶棚	270mm 混凝土楼板
	地坪	500mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡防护涂料
	防护门（患者）	内衬 6mm 铅板
	防护门（工作人员）	内衬 6mm 铅板
	观察窗	6mmPb 铅玻璃
PET/CT 候诊室	四侧墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料
	顶棚	120mm 混凝土楼板+11mm 铅板吊顶
	地坪	500mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
PET/CT 候检室（VIP）	四侧墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料
	顶棚	120mm 混凝土楼板+20mm 铅板吊顶
	地坪	500mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
留观室	四侧墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料
	顶棚	120mm 混凝土楼板+23mm 铅板吊顶
	地坪	500mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡防护涂料

	防护门（1扇）	内衬 8mm 铅板
PET/CT 机房	四侧墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料
	顶棚	270mm 混凝土楼板+30mm 硫酸钡防护涂料
	地坪	500mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡防护涂料
	防护门（患者）	内衬 6mm 铅板
	防护门（工作人员）	内衬 8mm 铅板
	观察窗	8mmPb 铅玻璃
患者通道	四侧墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料
	顶棚	120mm 混凝土楼板+6mm 铅板吊顶
	地坪	500mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡防护涂料
	防护门（3扇）	内衬 10mm 铅板
注：铅密度不低于 11.3g/cm ³ ，混凝土密度不低于 2.35g/cm ³ ，硫酸钡防护涂料密度不低于 3.8g/cm ³ ，实心砖密度不低于 1.65g/cm ³ 。		

PET/CT 和 SPECT/CT 中的 CT 部分属Ⅲ类射线装置，其屏蔽设计及有效使用面积、最小单边长度与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）符合性如表 10.1-10 和表 10.1-11 所示。

表 10.1-10 PET/CT 和 SPECT/CT 机房有效使用面积和最小单边长度一览表

机房	拟设置情况		GB130-2020 要求		是否符合要求
	最小单边长度（m）	有效使用面积（m ² ）	最小单边长度（m）	最小有效使用面积（m ² ）	
PET/CT 机房	5.0	38.5（7.7×5.0）	4.5	30	符合
SPECT/CT 机房	5.0	39.0（7.8×5.0）	4.5	30	符合

表 10.1-11 PET/CT 和 SPECT/CT 机房屏蔽防护设计评价表

机房名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度	折算后铅当量（mm）	要求铅当量（mm）	是否符合要求
PET/CT 机房	四侧墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	8.0	有用线束及非有用线束方向铅当量均为 2.5mmPb	符合
	顶棚	270mm 混凝土楼板+30mm 硫酸钡防护涂料	6.3		
	地坪	500mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡防护涂料	9.0		
	工作人员防护门	内衬 8mm 铅板	8.0		
	患者防护门	内衬 6mm 铅板	6.0		
	观察窗	8mmPb 铅玻璃	8.0		
SPECT/CT 机房	四侧墙体	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	8.0		
	顶棚	270mm 混凝土楼板	3.3		
	地坪	500mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡防护涂料	9.0		
	防护门	内衬 6mm 铅板	6.0		

	观察窗	6mmPb 铅玻璃	6.0		
注：①混凝土密度取2.35g/cm^3核算等效屏蔽厚度，折算铅当量参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中附录C中式（C.1）、式（C.2）及表C.2，在140kV电压下，120mm混凝土折算为1.1mmPb，270mm混凝土折算为3.3mmPb，500mm混凝土折算为7mmPb。 ②由于《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C中未提供实心砖在140kV电压的拟合参数，无法进行等效铅当量厚度的计算，故参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表6.14，实心砖密度取1.65g/cm^3核算等效屏蔽厚度，240mm实心砖折算为2mmPb。 ③参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表6.14，硫酸钡防护涂料密度不低于3.8g/cm^3，140kV电压下10mm厚度等效为1mmPb。					
6、辐射安全防护措施 ①医院拟在新建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；实行两区管理，入口处设置明显的监督区和控制区标识。 ②在 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房受检者防护门与工作人员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。在控制台上、诊断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、SPECT/CT 停止运行。 ③注射室与等候区之间设置叫号系统；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、工作场所进出/口情况；PET/CT、SPECT/CT 机房和控制室之间、PET/CT 等候室、SPECT/CT 等候室、留观室应拟安装对讲装置和视频监控，便于工作人员通过视频监控观察患者，通过对讲装置与受检者联系。 ④储源室设置视频监控，实行双人双锁管理，并做好防火、防盗措施。台账上记录核素种类、生产单位、活度及出入库使用情况等，严格登记建档。出入口安装摄像头、红外报警装置，并入医院安保监控系统。 ⑤患者进出设置专用通道，防护门均为单向门禁，并在工作场所内设置路线指引。 ⑥本项目核医学科拟建机房设置了动力通风装置，并保持良好的通风。					

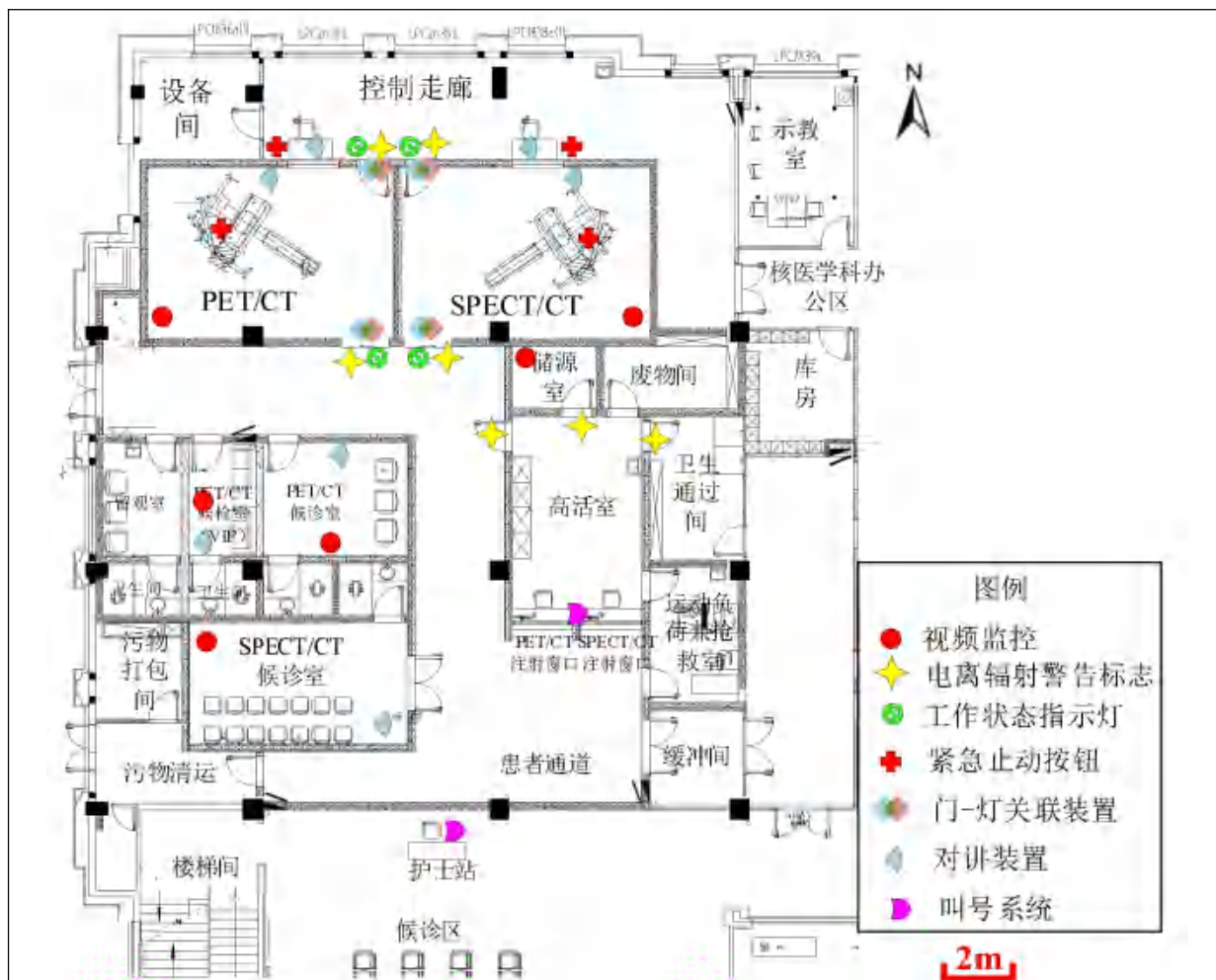


图 10.1-1 PET/CT 和 SPECT/CT 机房安全设施分布示意图

7、辐射防护用品

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）以及《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中个人防护用品的配置要求，结合本项目的情况，医院拟配置的防护用品和设备见表 10.1-12。

表 10.1-12 核医学科工作场所拟配置的防护用品和设备表

序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
1	铅罐	储源室	2 个	^{18}F 为 50mmPb, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为 20mmPb
2	高活室手套箱	高活室	2 个	PET 手套箱：正面 40mmPb，侧面 20mmPb SPECT 手套箱：正面 20mmPb，侧面 10mmPb
3	活度计	高活室	2 台	/
4	PET 注射窗	高活室	1 个	40mmPb
5	SPECT 注射窗	高活室	1 个	20mmPb
6	注射器防护套	高活室	2 个	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为 4mmPb 防护套、 ^{18}F 为 10mmPb 防护套

7	注射器防护提盒	高活室	2 个	10mmPb
8	脚踏式铅桶	高活室、PET/CT 等候室	2 个	^{18}F 为 20mmPb
		高活室、SPECT/CT 等候室	2 个	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为 5mmPb
9	废物衰变箱	废物间	2 个	20mmPb
10	铅橡胶衣、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、注射室	5 套	0.5mmPb
11	铅橡胶围裙	高活室	2 套	0.5mmPb
12	去污工具组*	卫生通过间	1 套	/
13	放射性污染防护服	卫生通过间	若干	/
14	铅防护屏风	PET/CT 机房、PET/CT 候诊室	3 个	10mmPb
15	铅防护屏风	SPECT/CT 机房、SPECT/CT 等候室	13 个	4mmPb
16	表面污染监测仪	卫生通过间	1 台	/
17	便携式 X- γ 射线巡测仪	卫生通过间	1 台	/
18	个人剂量报警仪	人员随身携带	6 台	/
19	个人剂量计	人员随身携带	2 个/人	/

*注：去污工具组主要包括一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂 and 硫代硫酸钠的水）、小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。

本项目拟配备的个人防护用品数量和防护铅当量均满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求，可以满足医院拟开展核技术利用项目运行的要求。除此以外，通过制度规范辐射工作人员的操作，包括放射性核素的管理、使用，放射性污染的处理和患者的活动限制等。

8、放射性药物的存放控制措施

核医学科提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物送至核医学科，核医学科安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室。

储源室门锁和保险柜实行双人双锁管理，并做好防火、防盗措施，且不得将放射性药物与易燃易爆及其他危险物品放在一起。储源室房间内设置视频监控并入科室监控系统、门口设置电离辐射警告标志。

如出现患者临时变动，导致购买的放射性药物用不完的情况，未用完的少量放射性药物将安全的储存在原容器中，放在储源室，由供药单位回收。

医院必须配备专（兼）职人员负责放射性药物的管理，并建立健全放射性物质的

保管、领用、注销登记和定期检查制度。要求设置专门的台账（如交收账、库存账、消耗账），加强对放射性药物的管理，严防丢失。放置放射性物质的容器，必须容易开启和关闭，容器外必须有明显的标签（注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起止时间、存放负责人等）。

9、表面污染控制措施

（1）工作场所分区管理和工作人员的防护措施

本项目按照开展临床核医学非密封性放射性同位素的种类及用量，对工作场所进行了划分，从非活性区进出活性工作区需经卫生通过间（含淋浴和去污功能），并在卫生通过间内设置更衣、检测区和消洗设施，检测区内配备表面污染监测仪等检测设备。

工作人员进入放射工作场所均更换服装，穿戴工作衣、裤、帽、鞋、防护口罩、胶质手套及相应个人防护用品。工作人员离开放射工作场所，均进行清洗、更衣、并对手部等体表部位进行表面污染测定，确认未受表面污染后离开。

（2）工作场所表面污染防治

涉及放射性药物操作的工作场所拟按要求采用易清洗且不易渗透材料（如PVC板等），拐角使用弧线处理；地面要求平整光滑，易于清洗，可铺设塑料地坪或涂刷塑料油漆；墙面要求平整光滑，1m以下部位拟采用浅色无光耐酸油漆或其他易于清洗的涂料，瓷质面砖等；工作台面要求平整、光滑、易于清洗。可以铺砌磨光花岗岩板材或不锈钢面板等。墙面与地面、墙面与顶棚、墙面连接转角处，以及工作台边沿宜采取弧形，以尽可能减少表面污染。

放射性药物的操作均在分装注射室手套箱内进行，手套箱内操作台面要求光滑、平整、易于清洗去污。所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。

（3）管理措施

α 和 β 表面沾污的影响主要来源于医生操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对职业人员和公众造成辐射影响，因此，为了使本项目非密封放射性物质工作场所的 α 和 β 表面污染水平达到《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的要求，医院要做到以下防护措施：

1) 制定完善的操作规范，使用、操作放射性同位素的人员应经过培训，具备相应

的技能与防护知识；

2) 开瓶、转移等易产生放射性物质逸出或飞散的操作，其操作须在手套箱内进行；

3) 操作液体放射性物质应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料；

4) 吸取液体的操作必须用合适的器具，严禁用口吸取，避免造成皮肤直接接触和吸入、食入等情况；

5) 不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；

6) 放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查清洗、去污，工作人员应进行淋浴；

7) 放射性药品用后应及时存放在专用柜内，需防盗、防水、防火、柜外应有电离辐射标志；

8) 做好就诊患者的管理，特别是已服药和注射放射性药品的患者管理工作，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动；

9) 如 α 和 β 表面污染水平超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定值，医院应暂停开展核医学科相关业务，去污染经监测符合标准后方可重新开展业务。

10) 修订《辐射安全事故应急处置预案》，制定非密封放射性物质意外污染的应急处理程序，利用非放射性物质开展放射性药物取用、转移操作练习，及意外洒落时采取去污及监测操作的模拟。定期开展应急预案的培训学习和演练。

10、人员防护措施

(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辐射危害；为核素操作人员配备铅橡胶衣、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品，PET/CT 机房、SPECT/CT 机房设置铅防护屏风，注射器配备注射防护套和注射器防护提盒。

②时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少放射性药物操作和射线装置扫

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、其他人员的防护

本项目核医学科场所中相应位置配备明确的患者或受检者导向标识或导向提示。为减少受检者、其他人员的照射剂量，主要采取屏蔽防护、时间防护和距离防护措施。

①屏蔽防护：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；为受检者配备铅橡胶衣、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品，注射器配备注射器防护套。PET 注射后等候室床位之间设置铅防护屏风、SPECT 注射后等候室椅位之间设置铅防护屏风，以减少患者间相互照射。

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。

④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。工作场所周围设置明显的警示、隔离措施，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，增大人员与辐射场所之间的防护距离。

⑤应注意做好患者分类、有批次进入，避免患者交叉影响。

⑥患者离院医院应给出书面指导，限制与儿童或孕妇密切接触，避免与他人长时间接触，近期避免到公共场所活动。

⑦为防止无关人员进入控制区，核医学科场所出入口设置为带门禁系统的单向门，实现“入口受检者只入不出、出口受检者只出不入”，保证控制区内受检者的单向流动，避免无关人员进入控制区。

⑧在核医学工作场所控制区设置场所标识及导向系统。控制区除按照规范设置电离辐射警告标志、分区界限标识外，增设清晰的图文导向标识与地面导向标线，导向标识及地面箭头标线沿受检者通行路线连续布设，明确指引注射窗、受检者候诊室、PET/CT 检查室等行进方向，使受检者可无需工作人员引导，沿导向标识、地面标线自主找到注射窗、候诊室及检查室等。

11、操作过程中的防护措施

辐射工作人员在进行放射性药品分装、测活、注射操作时首先做好个人防护，包括穿戴铅橡胶围裙、戴铅防护眼镜、铅橡胶颈套、介入防护手套等防护用品，均具备0.5mmPb当量。注射时，将定量的药物移至带防护套的注射器内，将其置于注射器防护提盒内后，经测量核定药物活度后转移给患者注射。分药时药品、铅罐均放置在垫有滤纸的瓷盘内进行，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染。手套箱底部设有脚踏式铅桶，用于暂时收集放射性废物。注射时注射器外还配有注射器铅防护套，注射操作台拟采用铅玻璃防护，并在注射位设置铅挡板。注射操作时，工作人员（采取相应防护措施）与患者及药物分别位于铅玻璃的两侧，患者注射后进入注射后候诊室候诊。

12、对服药和注射后患者防护措施

首先告知患者及家属辐射可能带来的危害性，患者要与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在等候室内驻留，医院需要划定专门的陪护人员等候区，并尽量远离非密封源工作场所，同时要求患者注射后在候诊室静候，禁止随意走动，观察期间的呕吐物和排泄物要排入注射后候诊室内专用厕所，最终排入衰变池组。患者进入机房受检前，工作人员需确保病人走廊没有其他患者，再安排患者进入机房，以避免交叉影响。

10.1.2 DSA 手术项目

1、场所选址与布局

本项目拟在急诊楼三层建设1间DSA机房，在机房内安装使用1台DSA装置，用于介入治疗和影像诊断。DSA机房所在位置及四周布局见表10.1-13。

表 10.1-13 本项目 DSA 机房位置及四周布局一览表

位置	东	南	西	北	上	下
急诊楼三层 DSA 机房	走廊	设备间、控制室和电梯厅	走廊	走廊	术室上方净化设备机房、二氧化碳储瓶间和氮气储瓶间	示教、会议室、净化机房和走廊

本项目 DSA 机房布局与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）对照分析见表 10.1-14。

表 10.1-14 本项目 DSA 机房布局符合性分析

项目	《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求	本项目情况	是否满足要求
机房	每台固定使用的 X 射线设备应	本项目 DSA 设置有单独的机房，机房有	满足

布局	设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求	效使用面积及最小单边长满足设备的布局要求	
	X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全	本项目各机房采取了相应的屏蔽防护措施，考虑了邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。	满足
	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	本项目各机房的有用线束直接照向患者，并为设备的影像接收器及其支撑结构所阻挡，不会直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位	满足
受检者候诊区	受检者不应在机房内候诊	本项目机房受检者在机房外候诊，不在机房内候诊	满足
机房尺寸	DSA 机房最小有效使用面积不小于 20m ² ，最小单边长不小于 3.5m；复合手术室最小有效使用面积不小于 30m ² ，最小单边长不小于 4.5m	本项目机房尺寸符合最小有效使用面积和最小单边长的要求，具体见表 10.1-16	满足

经分析可知：

①本项目各机房相邻区域没有产科、儿科病房等敏感人群长时间集中停留的场所。

②本项目各机房设有患者通道、工作人员通道，相互不交叉，患者通道的宽度满足患者手推车辆的通行，方便治疗。

③本项目的建设不影响消防通道，且不占用消防设施等任何公共安全设施。

综上所述，本项目各机房满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）平面布局的要求，采取了防辐射的屏蔽措施，能够满足放射诊疗需求，并且充分考虑了相邻场所的防护安全，因此，介入手术项目各机房工作场所布局合理。

2、辐射工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）等相关标准中对控制区和监督区的定义，DSA 机房两区划分情况详见表 10.1-15。控制区和监督区的划分如附图 9 所示。

表 10.1-15 DSA 机房位置及四周布局一览表

位置	工作场所	控制区	监督区
急诊楼三层	DSA 机房	机房内部	控制室、设备间、电梯厅等区域以及机房实体屏蔽体外 30cm 处

3、工作场所防护屏蔽设计

本项目 DSA 机房设计使用面积及最小单边长详见表 10.1-16，实体屏蔽设计详见表 10.1-17。

表 10.1-16 DSA 机房设计使用面积与评价一览表

位置	机房名称	最小有效使用面积 (机房尺寸)	标准要求		是否符合 要求
			最小有效使 用面积	最小 单边长	
急诊楼三层	DSA 机房	86.25m ² (11.5m×7.5m)	20m ²	3.5m	符合

表 10.1-17 DSA 机房屏蔽防护参数

机房名称	屏蔽体	材料及规格 (铅当量: mmPb)	标准要求	是否符 合要求
DSA 机 房	四周墙体	方钢龙骨+4mm 铅板 (4.0)	有用线束 及非有用 线束方向 铅当量均 为 2.0mmPb	符合
	顶棚	220mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护涂料 (5.9)		
	地坪	220mm 混凝土+40mm 硫酸钡防护涂料 (5.9)		
	防护门	内衬 4mm 铅板 (4.0)		
	观察窗	4mmPb 铅玻璃 (4.0)		

注：①混凝土密度取 2.35g/cm³ 核算等效屏蔽厚度，折算铅当量参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中附录 C 中式（C.1）、式（C.2）及表 C.2，在 125kV 电压下，220mm 混凝土折算为 2.9mmPb。

②由于《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中未提供硫酸钡水泥的拟合参数，本次评价参考《放射防护实用手册》（主编：赵兰才、张丹枫）表 6.14 中钡水泥（密度为 2.79g/cm³），管电压为 120kV 时，有用线束方向 31mm 的钡水泥的屏蔽效果等效为 3mmPb，管电压为 150kV 时，有用线束方向 65mm 的钡水泥的屏蔽效果等效为 3mmPb，由内插法可得，管电压为 125kV 时，有用线束方向 36mm 的钡水泥的屏蔽效果等效为 3mmPb。本项目 DSA 最大管电压为 125kV，则本次评价 40mm 硫酸钡水泥涂料保守折算为 3mmPb。

综上，本项目各射线装置机房面积、最小单边长度均大于标准要求，其四面墙体、顶棚、地坪、防护门以及观察窗均采取了辐射屏蔽措施，充分考虑了邻室（含楼上及楼下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本项目 DSA 机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关防护设施的技术要求。

4、安全防护措施

本项目 DSA 射线装置污染因子主要为 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。

（1）设备固有安全性

本项目 DSA 射线装置已确定于正规厂家购买，采用目前较先进的技术，设备各项安全措施齐备，仪器本身具备多种安全防护措施。

①具有可调限束装置，使装置发射的线束宽度尽量减小，以减少泄漏辐射；

②采取栅控技术：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和余辉，起到消除软 X 射线，提高有用射线品质并减少脉冲宽度；

③采取光谱过滤技术：在 X 射线管头或影像增强器的窗口处放置合适的过滤板，以此消除软 X 射线以及减少二次散射，优化有用 X 射线谱；

④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，改善图像清晰度，可减少透视剂量；

⑤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在监视器上显示，即称之为图像冻结，此技术可缩短总透视时间，达到减少不必要的照射；

⑥透视开关为常断式，并配有透视限时装置；机房内具有工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键。

⑦配备相应的表征剂量的指示装置：配备有相应的表征剂量的指示装置，当机房内出现超剂量照射时会出现报警提醒。

⑧急停按钮：介入手术床旁设置急停按钮（各开关串联并与 X 射线系统连接）。X 射线系统出束过程中，一旦出现异常，按动急停按钮，可停止 X 射线系统出束，并在急停按钮旁设置醒目的中文提示。

（2）距离防护

医院将严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，且在 DSA 机房人员防护门的醒目位置张贴固定的电离辐射警告标志，并安装工作状态指示灯。限制无关人员进入，以免受到不必要的照射。

（3）时间防护

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

（4）其他辐射安全防护措施

①本项目 DSA 机房设有观察窗和双向交流对讲系统各 1 套，观察窗位置能够观察到受检者状态及防护门开闭情况，控制室的工作人员可以实时通过对讲机与机房内的手术人员联系。

②机房内不堆放与本项目诊断无关的杂物。

③机房拟设置动力通风装置，进、排风口均位于机房吊顶处，可以保持机房内良好的通风。

④机房入口处设电离辐射警告标志；防护门上方设有醒目的工作状态指示灯，灯箱设有“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；在监督区墙体合适位置设立表明监督区的标志，在控制区其他合适位置设置电离辐射警告标志。

⑤机房患者进出防护门为电动推拉式门，工作人员进出防护门和污物运出机房防护门为平开式门，机房门墙间均进行了有效搭接，防止射线的泄漏；平开式机房门设有自动闭门装置；电动推拉式机房门设有防夹装置，同时设置有曝光时关闭机房门的管理措施，防止无关照射；设有门-灯联锁装置，工作状态指示灯能与机房门有效关联。

⑥受检者不在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不滞留在机房内。

⑦控制室墙上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等。

⑧机房患者进出防护门外应设置黄色警戒线，警告无关人员请勿靠近。

⑨拟为本项目所有辐射工作人员配备个人剂量计，手术医护人员每人配备 2 枚个人剂量计，技师每人配备 1 枚个人剂量计。新增 1 台 X-γ辐射剂量巡检仪可对机房周围辐射水平进行自行监测。

⑩射线装置机房控制室内应具备工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换摄影和透视功能的控制键。

本项目 DSA 机房其他辐射防护措施与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）符合性分析见表 10.1-18。

表 10.1-18 本项目 DSA 机房其他辐射安全和防护措施符合性分析

《放射诊断放射防护要求》 （GBZ 130-2020）要求	本项目拟配置情况	符合情况
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。	本项目机房设有观察窗及摄像监控装置，能方便地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。	机房内不堆放与本项目诊断无关的杂物。	符合
6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	本项目射线装置机房拟设置动力通风装置进行通排风，进、排风口均位于机房吊顶处，可以保持机房内良好的通风。	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	本项目机房入口处设电离辐射警告标志；防护门上方设有醒目的工作状态指示灯，灯箱设有“射线有害，灯亮勿入”的可视警示语句；候	符合

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。	诊区应设置放射防护注意事项告知栏；在监督区墙体合适位置设立表明监督区的标志，在控制区其他合适位置设置电离辐射警告标志。	
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 电动推拉门宜设置防夹装置。	机房患者进出防护门为电动推拉式门，电动推拉门设置了防夹装置，工作人员进出防护门和污物运出机房防护门为平开式门，机房门墙间均进行了有效搭接，防止射线的泄漏；平开式机房门设有自动闭门装置，同时设置有曝光时关闭机房门的管理措施，防止无关照射；设有有效关联装置，工作状态指示灯能与机房门有效关联。	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。	本项目受检者不在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不滞留在机房内。	符合

(5) 个人防护用品和辅助防护用品

本项目 DSA 机房应配置相应的个人防护用品与辅助防护设施，其配置需按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求，具体见表 10.1-19。

表 10.1-19 本项目 DSA 机房个人防护用品和辅助防护设施与标准对照表

机房名称	人员类型	《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）要求		DSA 机房拟配置情况		符合情况
		个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施	
DSA 机房	工作人员	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	防护铅当量为 0.5mmPb 的铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜 2 套，防护铅当量不低于 0.025mmPb 的介入防护手套 2 套	防护铅当量为 0.5mmPb 的铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘各 1 件	符合
	受检者	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	—	防护铅当量为 0.5mmPb 的方巾 1 套，防护铅当量为 0.5mmPb 的铅橡胶颈套、铅橡胶帽子 含儿童、成人尺寸各 1 套	—	符合

注：1. “—”表示不做要求；

2. 个人防护用品和辅助防护设施为本项目每间射线装置机房的配置情况。

综上，本项 DSA 机房拟配置的个人防护用品和辅助防护设施符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

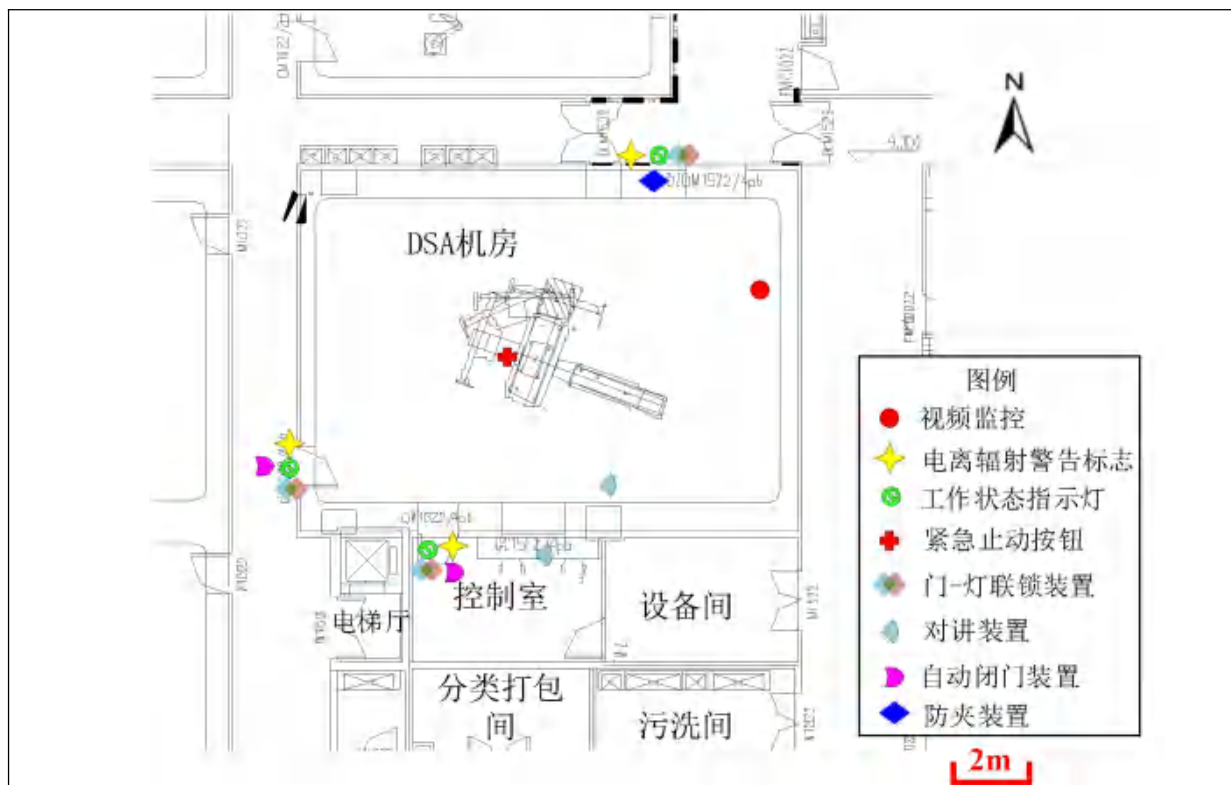


图 10.1-7 DSA 机房安全设施分布示意图

（6）管线穿墙设计及屏蔽补偿

①风管穿墙设计及屏蔽补偿

本项目 DSA 机房拟采用洁净通风系统进行机械通风，进风口及排放口均设置于机房吊顶，排风管线穿墙部分均采用与各机房穿越墙体屏蔽等效的铅板覆盖管道表面，防止射线泄漏，满足机房屏蔽要求。

②电缆管线穿墙设计及屏蔽补偿

本项目电缆管线在地面下布设，避免主射线直接照射，穿墙洞口位置采用与所在墙体相同铅当量的铅盖板进行覆盖，确保管线穿墙口位置与所在墙体具有相同的屏蔽厚度，满足整个机房屏蔽防护要求。

电缆沟穿墙示意图见图 10.1-8，排风管线穿墙示意图见图 10.1-9。

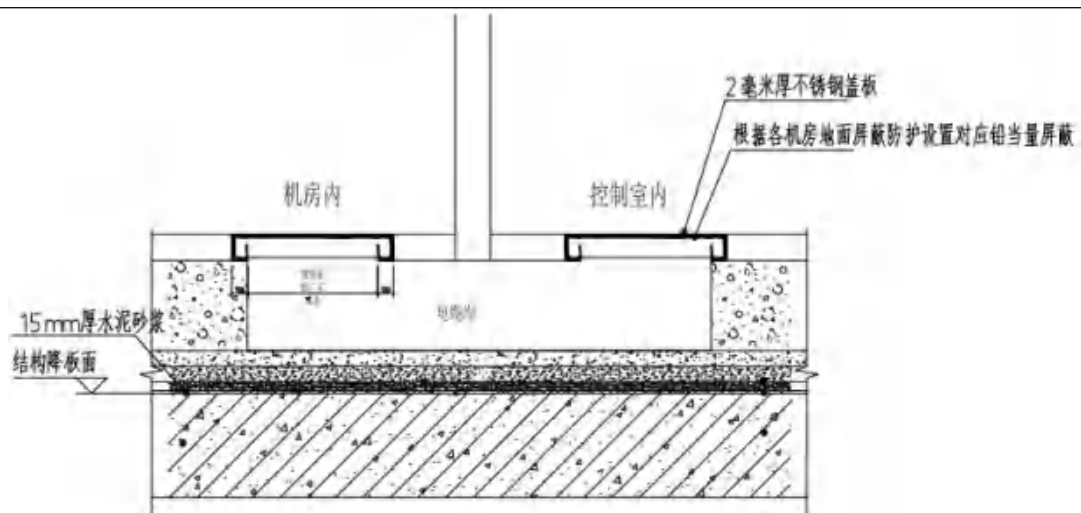


图 10.1-8 DSA 机房电缆沟穿墙示意图

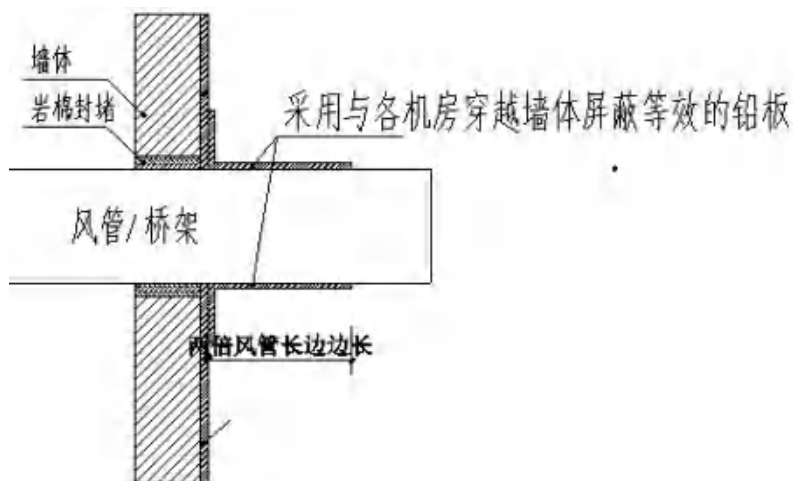


图 10.1-9 排风管线穿过屏蔽墙示意图

(7) 辐射工作场所安防措施

为确保本项目辐射工作场所的使用安全，本项目采取的安全保卫措施见表 10.1-20。

表 10.1-20 本项目采取的安全保卫措施

工作场所	措施类别	对应措施
DSA 机房	防盗、防抢和防破坏	①本项目 DSA 机房将纳入医院日常安保巡逻的重点工作范围，加强巡视管理以防遭到破坏； ②工作场所安装监控系统实行 24h 实时监控； ③DSA 射线装置将安排有专人进行管理和维护，并进行台账记录，一旦发生盗抢事件，立即关闭设备和防护门，并立即向公安机关报案； ④射线装置机房和邻近房间禁止存放易燃、易爆、腐蚀性物品等物品。
	防泄漏	①本项目拟使用 1 台 DSA，设备各项安全措施齐备；设置有不同的联锁装置确保运行过程中的辐射泄漏； ②本项目所有射线装置工作场所均将按照有关规范要求进行了辐射防护设计，只要按照设计和环评要求进行落实，机房不存在辐射泄漏的情况。

10.2 “三废”治理

10.2.1 核医学科

本项目核医学科工作场所“三废”治理遵循以下原则：

(1)根据核医学科产生废物的形态及放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求进行分类收集和分别处理。

(2)按照废物最小化的原则区分放射性废物与解控废物，不能混同处理，尽量控制和减少放射性废物产生量。

(3)核医学科产生的短寿命放射性废物，尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。

(4)建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。

1、放射性废水

放射性废水主要为患者注射放射性药物后产生的排泄物及冲洗水等含有放射性核素，核医学科工作人员完成放射性药物操作后清洗去污的废水，核医学科工作场所清洁及应急洗消产生的可能含放射性物质的废水

本项目核医学科产生的放射废水包括：工作人员清洗去污的废水、工作场所清洁和应急洗消产生的可能含放射性物质的废水，以及患者等候、留观时产生的废水。核医学科放射性废水经埋地耐腐蚀和防护屏蔽的管道统一接入衰变池组中衰变后排入医院污水处理站，核医学科设置的衰变池为成品不锈钢衰变池，设置在16号楼西侧，衰变池组位置见附图3，衰变池区域平面布置图见附图4。

(1) 核医学放射性废水收集管线

核医学科患者产生的废水主要在候诊和留观时产生，工作台面、地面去污时产生的放射性废水以及工作人员操作过程中手部受到微量污染的清洁废水主要在卫生间产生，上述区域产生的放射性废水涉及核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，废水经管道引至16号楼西侧衰变池中。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）以及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20号）要求，经衰变池暂存超过30天后可以直接解控排入医院污水处理站处理。核医学科放射性废水管线走向见附图15。

放射性废水排放时在台账上详细记录放射性废水所含的核素名称、排放废水量、废水暂存起始日期，处置人员和监测结果等信息。

核医学科放射性废水管道均要求抗酸碱、耐腐蚀，并有一定防辐射功能。本项目的放射性废水管道裸露部分拟采用 8mmPb 铅皮包裹进行屏蔽防护并做上标记。

(2) 衰变池设计

本项目核医学科设有 1 套衰变池组，设置在 16 号楼西侧。衰变池组由 1 个降解池+3 个并联衰变池组成，单个衰变池尺寸为 2.0m×2.0m×2.5m，单个衰变池总容积 10m³，有效容积不小于 7m³，3 个衰变池并联设置，交替使用。项目衰变池均为成品不锈钢衰变池，材质均为底板、侧板 2.5mm 壁厚，顶板 2.0mm 组合式 304 不锈钢。衰变池安装前做防渗和压力试验，确保池体不渗漏。

衰变池采用轮流收集贮存，轮流排放的形式。放射性废水在污泥池初步沉淀生化处理后，先排入第一个衰变池，待满后关闭，启用第二个，让第一池废水自行衰变；待第二个满后，再启用第三个；当第三个液面达到设定液位时，开启第一个排水阀，排水泵工作。当液位传感器感知到第一个液位排空后，关闭三号池进水阀，同时打开第一个进水阀；依次轮回。系统通过自动控制切换并联依次循环运行，如运行中出现停电，来电后接停电前顺序运行。检修后也能自动按设定程序接前序运行。当最后一个衰变池将要住满时，第一个衰变池中的污水储存时间不少于 30 天。

衰变池系统全自动运行，实时显示监测运行状态、实时读取数据、设置参数，达标后自动排放，支持超水量排放应急选择、启用或停用特定池体，自动记录排放各项数据；配置多传感器热备份的液位监测系统、水泵热备份，传感器或水泵故障时会自动启用备用设备并发送故障报警信息，可联动环境区域辐射监测系统与自动取样测量系统，监测阈值可设定、监测记录可调阅；配套废气排放系统，开展废气无害化排放监测并对活性炭更换周期进行监测提醒，同时实现池体漏水、衰变池进水前端水量异常监测；系统发生停电、设备运行故障、超设计水量情况时会自动报警，可通过短信、APP 推送、语音等多种方式告警；支持一键切换手自动模式、采用分级管理模式，搭载远程终端监测系统，可通过手机端、电脑端远程完成巡检维护、升级、记录查阅及紧急手动处理操作，还能自动生成规范要求的各项排放记录，在本地及云端保存 2 年内记录，排放记录可导出及打印。衰变池的管理应做到以下几个方面：

①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，应有防水、防渗和防漏的措施。

②规定患者诊断期间使用专用厕所，不得使用其他厕所。

③专用厕所应具备使患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衰变池末端设置标准取样检测口，以方便取样检测。

⑤衰变池上方地面设置电离辐射警告标志和中文警示说明。

⑥设置专人管理放射性废水的暂存和处理，并建立放射性废水暂存和处理台账，详细记录放射性废水所含的核素名称、体积、废水产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

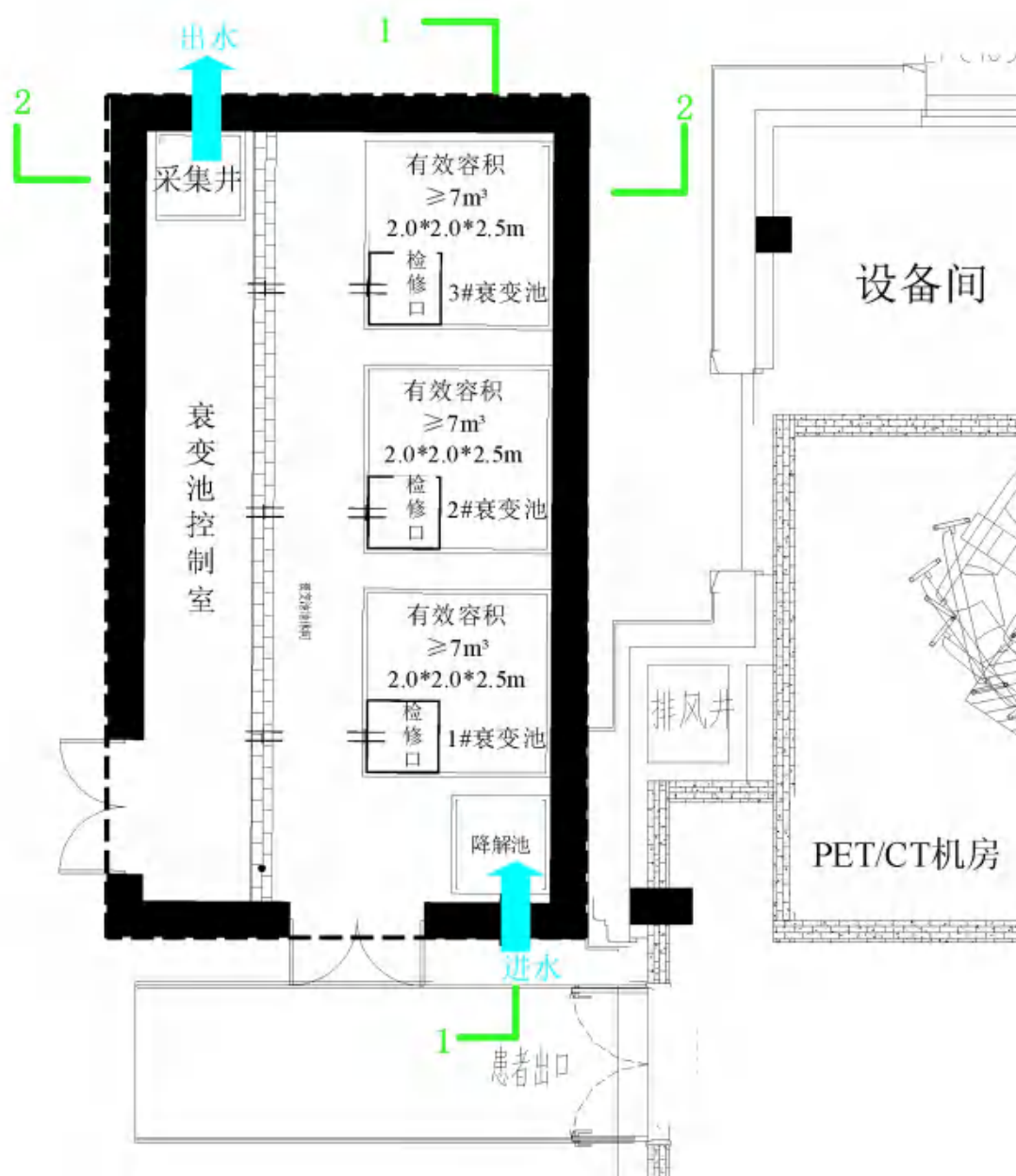


图 10.2-1 衰变池组平面布置及处理系统示意图

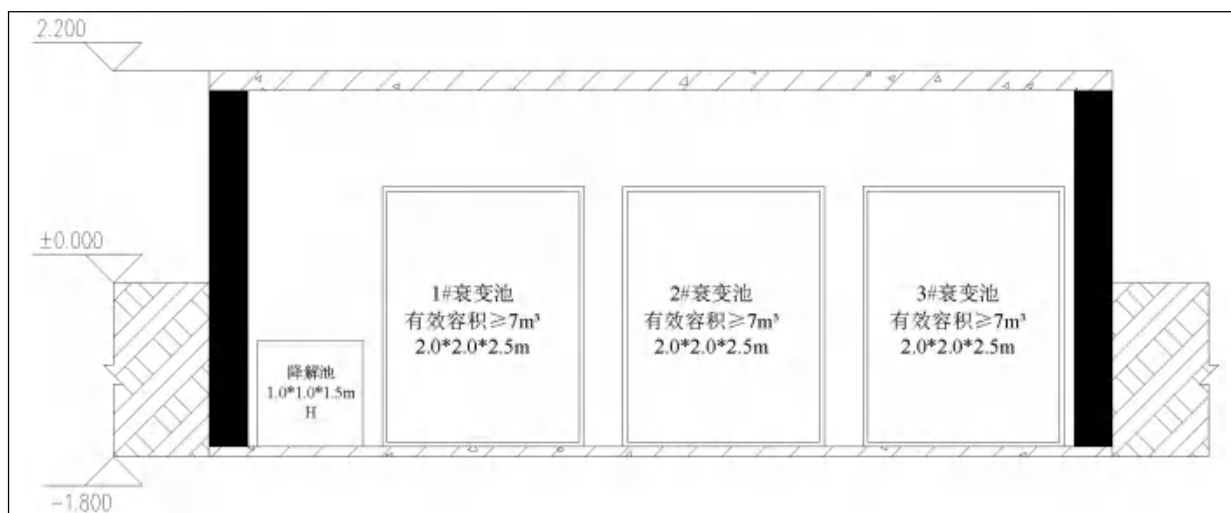


图 10.2-2 衰变池组剖面图（1-1）

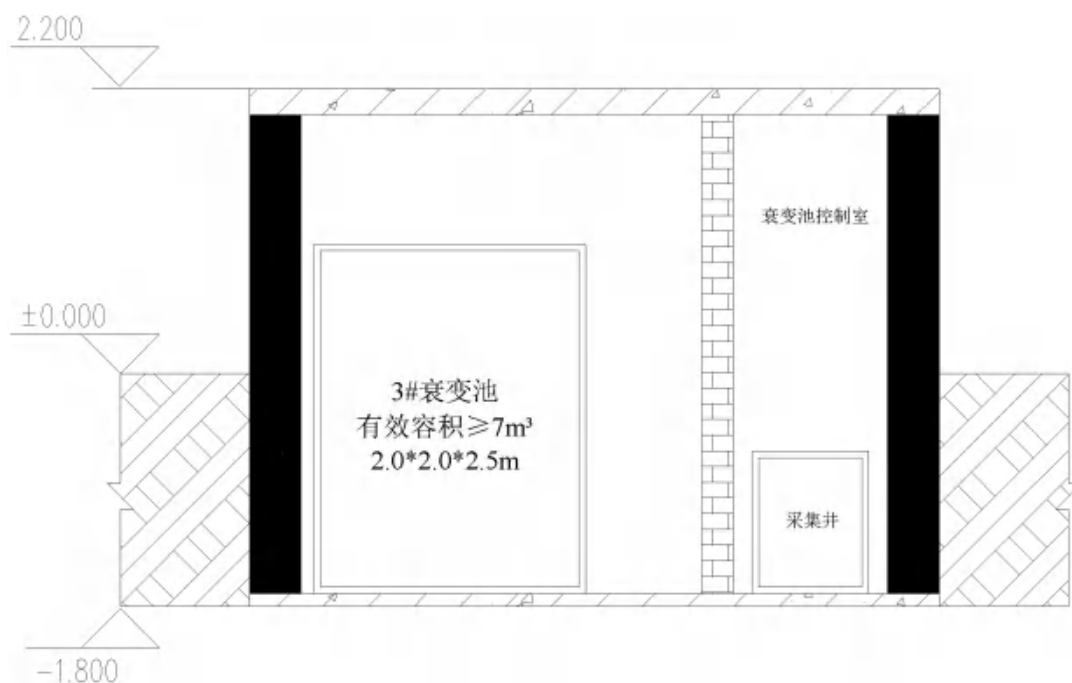


图 10.2-2 衰变池组剖面图（2-2）

（3）衰变池容量可行性分析

本项目核医学科放射性废液主要为含有工作人员清洗去污的废水、工作场所清洁和应急洗消产生的可能含放射性物质的废水，以及患者等候、留观时产生的废水。根据 9.3.1 核医学科污染源项分析可知，核医学科场所产生的放射性废水量为 $0.44\text{m}^3/\text{d}$ 、 $132\text{m}^3/\text{a}$ 。

核医学科放射性废水涉及核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）以及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）要求，经衰变池暂存超过 30 天后可以直接解控排入医院污水处理站处理。

核医学科衰变池组由 3 个并联衰变池组成，交替使用，单个衰变池有效容积为 7m^3 ，则第 1 个衰变池最后进入的废水存储时间为： $7\text{m}^3 \times 2 \div 2.64\text{m}^3/\text{周} \approx 5.3$ 周（核医学科每周工作 6d，5.3 周约为 37d，即为第 3 个衰变池注满的时间），放射性废水可以在衰变池组内暂存约 37 天，可满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）放射性废水暂存要求。因此，衰变池内放射性废水暂存超过 30 天后可直接解控排入医院污水处理系统进一步处理。

2、放射性废气

本项目核医学科共设有 8 条排风管线，1 号排风管线连接诊室、准备间和护士办；2 号排风管线连接 SPECT/CT 候诊室、注射窗口、运动负荷兼抢救室和卫生通过间；3 号排风管线连接污洗间、PET/CT 候诊室、PET/CT 候检室（VIP）和留观室；4 号排风管线连接高活室；5 号、8 号排风管线分别连接手套箱；6 号排风管线连接废物间和储源室；7 号排风管线连接 SPECT/CT 和 PET/CT 机房。放射性废气经各单独密闭管线连接至核医学科排风井，引至 16 号楼楼顶并高出屋脊排放。排风井由混凝土浇筑，能有效屏蔽放射性废气对其余楼层公众的辐射影响。各排风管线内保持负压，设置止回阀，防止气流倒灌，手套箱顶部和排风口均设活性炭吸附装置，风速 $\geq 0.5\text{m/s}$ ，活性炭过滤效率 $\geq 90\%$ ，活性炭平均每半年更换一次。核医学科排风管线示意图见附图 13。

对照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）6.3 密闭和通风要求，本项目核医学科密闭和通风要求符合性分析如表 10.2-1 所示。

表 10.2-1 核医学科密闭和通风要求符合性分析表

序号	标准要求	本项目分析	符合性
1	核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。	本项目核医学科工作场所通风进行专门设计，通过管线设计及压差控制，保证工作场所的气流自清洁区向监督区再向控制区的方向流动，并保持工作场所的负压和各区之间的压差，防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染，场所内共设有 8 根排风管线，8 根排风管线均连接至核医学科排风井，引至 16 号楼楼顶，并高出屋脊排放。	符合
2	放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。	本项目核医学科 5 号和 8 号管线分别单独连接高活室手套箱，各排风管线内保持负压，设置止回阀，防止气流倒灌，手套箱顶部和排风口设置专用活性炭高效过滤装置。	符合

3	通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。	本项目不涉及碘-131 治疗病房。核医学科 8 根排风管线均连接至核医学科放排风井，排至 16 号楼楼顶高出屋脊排放，并远离邻近的高层建筑排放。	符合
---	--	--	----

3、放射性固体废物

本项目核医学科各工作场所放射性固体废物产生及治理情况详见表 10.2-2。

表 10.2-2 本项目核医学工作场所放射性固体废物产生及治理情况一览表

固体废物种类	废物状态及核素名称	产生量	辐射防护设施及措施	
			辐射防护设施及暂存情况	辐射防护措施及最终去向
废一次性注射器、废针头、废手套、废药棉、废纱布、破损杯皿、擦拭污染地面的物品等	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.24t/a	1) 暂存于各用房脚踏式铅桶内，脚踏式铅桶内放置专用塑料袋，直接收纳废物，装满后的废物袋密封，不破漏，及时转送废物间，放入废物衰变箱中暂存； 2) 对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋； 3) 每袋废物的表面剂量率不超过 0.1mSv/h，质量不超过 20kg； 4) 废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.8\text{Bq/cm}^2$ ； 5) 每日选择下班后无人时段将废物集中转移至废物间暂存	1) 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明； 2) 固体放射性废物的贮存和处理应安排专人负责，并建立放射性废物贮存和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息； 3) 暂存衰变时间满足要求（含核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的固体放射性废物暂存时间超过 30 天），经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后对废物清洁解控并作为医疗废物处理， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 后对废物清洁解控并作为医疗废物处理
废活性炭	^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.16t/a	由厂家进行更换，更换产生的废活性炭暂存于所在工作场所放废物暂存间暂存	
废旧放射源	^{68}Ge	4 年更换一次	不暂存	送交有相应资质的单位收贮，如医院与生产厂家或原出口方签订废旧放射源返回合同，可将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方

本项目核医学各场所放射性固体废物在遵循表 10.2-2 中辐射防护措施外，还应满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求：

①根据放射性废物的形态及其中的放射性核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按照《放射性废物分类》和放射性废物的可燃与不可燃、可压实与不可压实、有无病原体毒性进行分类收集和分别处理。

②各场所脚踏式铅桶外防护层采用铅屏蔽，并张贴电离辐射警告标志。放射性废物收集桶放置点应避开工作人员工作和经常走动的区域。

③放射性废物收集桶内放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后应密封，应无破漏，并及时转送至放射性废物暂存场所贮存。

④放射性废物暂存场所的建造结构应符合辐射安全与防护要求，且安装有单独排风管线的通风换气装置，出入口设置电离辐射警告标志，并采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

⑤废物间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别的废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。放射性废物暂存场所内不得存放易燃、易爆、易腐蚀物品。

10.2.3DSA 手术项目

本项目 DSA 装置在使用过程中无放射性废水、放射性废气及放射性固体废物产生。仅在曝光过程产生微量的臭氧和氮氧化物，医院拟根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）标准要求，机房内设置动力排风装置，并保持良好的通风。DSA 手术过程产生少量废药棉、废纱布、废手套、废试剂瓶等医疗废物，器械清洗废水、医护手部清洗废水以及医护人员产生的生活污水。

1、废气

本项目 DSA 机房设有动力通风装置，进风口和排风口均位于机房吊顶处，管道布设于机房吊顶处，臭氧和氮氧化物最终经排风管道引至室外，能够保证机房内有效地通风换气，设置情况满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中第 6.4.3 款“机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风”的要求，对周围环境影响较小。

2、废水

本项目 DSA 采用数字成像，无废显影液、定影液产生。手术产生的器械清洗废水、医护手部清洗废水以及医护人员产生的生活污水依托医院污水处理站处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 预处理排放标准要求后，纳入市政污水管网集中处理。

3、固体废物

介入手术产生的医疗废物待手术结束后收集至污洗间暂存，定期移至医院医疗废物暂存间，并委托医疗废物处置单位进行处置；医护人员产生的生活垃圾分类收集后委托当地环卫部门定期清运处理。

4、核医学科场所退役和射线装置报废要求

根据《浙江省辐射环境管理办法》要求，终结运行后产生放射性污染的非密封放射性物质使用场所和射线装置，需要终止或者部分终止相关活动的，应当编制退役环境影响评价文件，报原颁发辐射安全许可证的生态环境主管部门审批，并按照审批要求落实污染治理、场所修复和保护等各项退役措施。完成退役并经原颁发辐射安全许可证的生态环境主管部门终态验收后，依法注销或者重新申领辐射安全许可证。

按照《浙江省辐射环境管理办法》要求：本项目 DSA、PET/CT 和 SPECT/CT 射线装置报废时，建设单位应对射线装置内的高压射线管进行拆卸，并报颁发辐射安全许可证的生态环境部门核销。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目施工期主要为核医学科施工改造及装修、屏蔽材料施工及设备安装、调试以及 DSA 设备的搬迁、安装与调试。

11.1.1 施工期间的环境影响

本项目施工期主要的污染因子为：噪声、扬尘、施工人员生活污水及固体废物，建设单位应采取污染防治措施，减轻对周边环境的影响。

①施工建设阶段的噪声主要来自场地土建施工、相关设施的安装等阶段，大型施工设备和高噪声设备，对周围环境的影响随着施工结束而消除，因此，在合理安排施工时间的情况下，对周围环境的影响不大。

②施工扬尘主要产生于施工过程中粉状物料运输、暂存，属无组织排放，在施工过程中应对施工现场实行合理化管理，使砂石料、水泥统一堆放，用苫布遮盖，并尽量减少搬运环节，搬运时做到轻举轻放，防止包装袋破裂。

③施工人员产生的少量生活污水托院内污水处理设施。

④固体废物主要为施工人员的生活垃圾和建筑垃圾。生活垃圾应置于垃圾收集箱内，定期由环卫工人送至附近的垃圾中转站。施工建筑垃圾委托有资质的渣土运输公司处置，运输垃圾的专用车应采取遮盖或其它封闭措施，避免途中遗洒和运输过程中造成扬尘，可以使工程建设产生的固体废物处于可控制状态。

11.1.2 设备安装调试期间的环境影响分析

本项目设备安装调试过程中会产生 X 射线、臭氧和氮氧化物，因安装调试时间短，各污染物产生量很少，且调试结束关机后，X 射线将即时消除，因此，本项目设备安装调试造成的环境影响很小。

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

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 核医学科

1、β表面污染环境影响分析

β表面污染的影响主要来源于辐射工作人员操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面产生放射性沾污，造成小面积的β表面污染。因此，辐射工作人员在执行和落实本报告提出的相关表面污染防治和管理措施后，可将β表面污染水平降至《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中相关规定要求，对周围环境影响较小。

2、γ射线辐射环境影响分析

本项目PET/CT显像诊断项目使用¹⁸F进行显像诊断；SPECT/CT显像诊断项目使用的放射性核^{99m}Tc进行显像诊断。上述核素衰变过程中，会产生γ射线。

辐射工作人员在放射性药物操作区进行相关放射性药物的操作和给患者注射放射性核素，这个过程主要是放射性核素产生的γ射线引起的辐射照射。当患者注射了放射性药物之后，患者又成为一个活动的辐射体，其所在的工作场所则要考虑来自患者身体的射线辐射。

(1)工作场所屏蔽体外剂量率计算公式

参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 进行转换，辐射剂量率估算见式 11.2-1。

$$H=10^{-X/TVL} \cdot A \cdot \Gamma / R^2 \quad (\text{式 11.2-1})$$

式中：

H ——屏蔽体外关注点剂量率，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ；

X ——屏蔽厚度，单位为 mm；

TVL ——γ射线的十分之一值层厚度，单位为 mm，见表 11.2-1；

A ——单个患者或受检者所用放射源的最大活度，单位为 MBq；

Γ ——距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；

R ——参考点与放射源间的距离，m。

表 11.2-1 本项目涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	¹⁸ F	^{99m} Tc
铅半值层厚度 TVL mm ($\rho=11.3\text{g/cm}^3$)	16.6	1
混凝土半值层厚度 TVL mm ($\rho=2.35\text{g/cm}^3$)	176	110

砖什值层厚度 TVL mm ($\rho=1.65\text{g/cm}^3$)	263	160
周围剂量当量率常数 (裸源) $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	0.143	0.0303
患者体外 1m 处的周围剂量当量率 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	0.092	0.0207
注: ① ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ TVL 来源于《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)表 L.1; ② ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 周围剂量当量率常数来源于《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)表 H.1; ③ ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 患者体外 1m 处的周围剂量当量率常数来源于《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)表 L.1。		

居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)附录A选取, 具体数值见表 11.2-6。

表 11.2-2 本项目涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表

场所	居留因子 (T)		停留位置
	典型值	范围	
全停留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分停留	1/4	1/2-1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然停留	1/16	1/8-1/40	1/8: 各治疗门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场, 车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

(2) 工作场所 γ 射线辐射水平分析及预测

1) 储源室

医院根据与患者预约情况向药物供应商订货, 由药物供应商将药物放置于铅罐, 放射性药物置于铅罐内送至储源室。其中 ^{18}F 使用 50mmPb 铅罐、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 使用 20mmPb 铅罐, 核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{18}F 储存源强分别为 $2.78\times 10^{10}\text{Bq}$ 和 $1.85\times 10^{10}\text{Bq}$ 。

2) 废物间

废物间设有 2 个铅当量为 20mmPb 的废物衰变箱分别用于暂存含核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的放射性固体废物, 源强保守按日最大用量 1%转移至废物衰变箱中考虑, 即核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{18}F 源强分别为 $2.78\times 10^8\text{Bq}$ 和 $1.85\times 10^8\text{Bq}$ 。

3) 高活室

医护人员给药前, 将放射性药物从放射源室连同铅罐拿到分装室, 放置于手套箱内, 给药前的相关操作均在手套箱内进行。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 不开展分装, ^{18}F 根据病人的需要采用分装仪分装, 高活室在分装操作时源强以实际日最大操作量计, 即核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 测活、 ^{18}F 分装操作时源强分别为 $2.78\times 10^{10}\text{Bq}$ 、 $1.85\times 10^{10}\text{Bq}$; $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 测活、 ^{18}F 分装测活后放入注

射器防护套内，在PET/SPECT注射窗为患者注射，给药过程源强以单次给药最大量计，即核素 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 给药操作时源强分别为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ 、 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

PET/CT诊断患者 (^{18}F) 注射时，药物置于 10mmPb注射器防护套内，工作人员在 40mmPb铅玻璃注射窗后进行，并穿戴有 0.5mmPb铅橡胶围裙。

SPECT/CT诊断患者 (^{99m}Tc) 注射时，药物置于 4mmPb注射器防护套内，工作人员在 20mmPb铅玻璃注射窗后进行，并穿戴有 0.5mmPb铅橡胶围裙。

高活室设置 20mmPb的铅桶用于暂存含核素 ^{18}F 的固体放射性废物，设置 5mmPb 的铅桶用于暂存含核素 ^{99m}Tc 的固体放射性废物，每日工作结束后转移至废物间的废物衰变箱进行衰变，单个脚踏式铅桶源强保守按日最大用量 1%转移至废物衰变桶中考虑，即单个铅桶源强分别为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ (^{18}F) 和 $2.78 \times 10^8 \text{Bq}$ (^{99m}Tc)。

4) 运动负荷兼抢救室

作为运动负荷室时，存在使用 ^{99m}Tc 的患者；作为抢救室时，患者在显像诊断和治疗过程中遇到抢救的情况，需及时进入抢救室实施抢救。因此，运动负荷兼抢救室可能存在使用各个核素的患者，以照射量常数及什值层厚度最大的核素 ^{18}F 进行估算，故按单个患者 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ 点源计算。抢救过程工作人员穿着 0.5mmPb当量的铅橡胶围裙，按身体距离患者约 0.5m进行估算。

5) 注射后候诊室、PET/CT机房、SPECT/CT机房和留观室

PET/CT、SPECT/CT显像诊断患者注射完放射性药物后，经患者通道进入相关注射后等候室，等候时间一般为 1.5h，随后进入相应机房进行显像和诊断；诊断患者结束检查后，PET/CT显像诊断患者经患者通道进入留观室，留观时间一般为 10min，无特殊情况发生则由患者通道离开核医学科。实际工况下，患者注射或服用放射性药物后在候诊室等候期间，体内放射性核素随时间发生衰变，核素活度逐步衰减，其对候诊室周边区域产生的辐射影响亦随之逐步降低。

本项目核医学科拟设置 1 间PET/CT候诊室和 1 间PET/CT候检室 (VIP)，PET/CT候诊室设置 3 张候诊座位，座位均匀分布，PET/CT候诊室设置有 10mmPb的铅防护屏风 2 个，PET/CT候检室 (VIP) 设置 2 张候诊座位，设置有 10mmPb的铅防护屏风 1 个。PET/CT每次仅能扫描一个患者，患者注射 ^{18}F 药物后经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，偏保守的角度仍按单个患者 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi) 的点源计算。PET/CT候诊室按 3 个 ^{18}F 扫描患者同时等待计，单个患者注射 ^{18}F 为

$3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ，则PET/CT等候室源强总活度为 $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ （30mCi）；PET/CT候检室（VIP）按2个 ^{18}F 扫描患者等待计，单个患者注射 ^{18}F 为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ ，则PET/CT候检室（VIP）源强总活度为 $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ （20mCi）。

本项目核医学科拟设置1间SPECT/CT候诊室，SPECT/CT候诊室设置14张候诊座位，座位均匀分布。SPECT/CT每次仅能扫描一个患者， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 扫描患者注射药物经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ （25mCi），偏保守的角度仍按单个患者 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ （25mCi） $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的点源计算。SPECT/CT候诊室按14个 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 扫描患者同时等待计，单个患者注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ ，则SPECT/CT候诊室源强总活度为 $1.30 \times 10^{10} \text{Bq}$ （350mCi）。

本项目核医学科拟设置1间留观室，为3人留观室，患者扫描后如有需要在留观室进行观察。因此，留观室可能存在各个核素的患者留观，以照射量常数及什值层厚度最大的核素 ^{18}F 进行估算，故按单个患者 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ 点源计算，则留观室源强总活度为 $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

摆位过程工作人员穿着0.5mmPb当量的铅橡胶围裙，在防护屏风（PET/CT机房为10mm铅当量，SPECT/CT机房4mm铅当量）后进行摆位工作，按身体距离患者约1m进行估算。

根据式11.2-1，拟建核医学科关注点位置见图11.2-1，辐射剂量率计算结果见表11.2-7。



表 11.2-7 核医学科工作场所关注点 γ 辐射剂量率预测结果

序号	关注点		预测条件			屏蔽措施	距离 (m)	预测结果 (μSv/h)		备注
			核素	源强 (Bq)	Γ					
1-1	储源室 (裸源)	南侧防护门外 30cm	^{99m} Tc	2.78×10 ¹⁰	0.0303	20mmPb 铅防护罐+内衬 8mm 铅板	1.3	4.98E-26	5.02E-01	源强取日 实际最大 操作量
			¹⁸ F	1.85×10 ¹⁰	0.143	50mmPb 铅防护罐+内衬 8mm 铅板		5.02E-01		
1-2		南侧墙体外 30cm	^{99m} Tc	2.78×10 ¹⁰	0.0303	20mmPb 铅防护罐+240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡防护涂料	1.3	2.07E-20	5.23E-02	
			¹⁸ F	1.85×10 ¹⁰	0.143	50mmPb 铅防护罐+240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡防护涂料		5.23E-02		
1-3		西侧墙体外 30cm	^{99m} Tc	2.78×10 ¹⁰	0.0303	20mmPb 铅防护罐+240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡防护涂料	1.6	1.37E-20	3.45E-02	
			¹⁸ F	1.85×10 ¹⁰	0.143	50mmPb 铅防护罐+240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡防护涂料		3.45E-02		
1-4		顶棚正上方 30cm	^{99m} Tc	2.78×10 ¹⁰	0.0303	20mmPb 铅防护罐+120mm 混凝土 楼板+6mm 铅板吊顶	4.9	2.85E-26	9.70E-03	
			¹⁸ F	1.85×10 ¹⁰	0.143	50mmPb 铅防护罐+120mm 混凝土 楼板+6mm 铅板吊顶		9.70E-03		
1-5		楼下距地面 1.7m	^{99m} Tc	2.78×10 ¹⁰	0.0303	20mmPb 铅防护罐+500mm 混凝土 楼板+20mm 硫酸钡防护涂料	5.5	4.07E-24	8.07E-05	
			¹⁸ F	1.85×10 ¹⁰	0.143	50mmPb 铅防护罐+500mm 混凝土 楼板+20mm 硫酸钡防护涂料		8.07E-05		
2-1	废物间 (裸源)	东侧墙体外 30cm	^{99m} Tc	2.78×10 ⁸	0.0303	20mmPb 衰变箱+240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡防护涂料	2.2	7.22E-23	2.35E-03	
			¹⁸ F	3.70×10 ⁷	0.143	20mmPb 衰变箱+240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡防护涂料		2.35E-03		
2-2		南侧防护门外 30cm	^{99m} Tc	2.78×10 ⁸	0.0303	20mmPb 衰变箱+内衬 8mm 铅板	1.6	3.29E-28	4.26E-02	
			¹⁸ F	3.70×10 ⁷	0.143	20mmPb 衰变箱+内衬 8mm 铅板		4.26E-02		
2-3		北侧墙体外 30cm	^{99m} Tc	2.78×10 ⁸	0.0303	20mmPb 衰变箱+240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡防护涂料	1.3	2.07E-22	6.73E-03	
			¹⁸ F	3.70×10 ⁷	0.143	20mmPb 衰变箱+240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡防护涂料		4.26E-02		

			¹⁸ F	3.70×10 ⁷	0.143	20mmPb 衰变箱+240mm 实心砖 +60mm 硫酸钡防护涂料		6.73E-03		
2-4		废物衰变箱（ ¹⁸ F、 ^{99m} Tc）表面 30cm 处	^{99m} Tc	2.78×10 ⁸	0.0303	20mmPb 衰变箱	0.6	2.34E-19		
			¹⁸ F	3.70×10 ⁷	0.143			9.17E-01		
2-5		顶棚正上方 30cm	^{99m} Tc	2.78×10 ⁸	0.0303	20mmPb 衰变箱+120mm 混凝土楼 板+6mm 铅板吊顶	4.9	2.85E-28	1.25E-03	
			¹⁸ F	3.70×10 ⁷	0.143	20mmPb 衰变箱+120mm 混凝土楼 板+6mm 铅板吊顶		1.25E-03		
2-6		楼下距地面 1.7m	^{99m} Tc	2.78×10 ⁸	0.0303	20mmPb 衰变箱+500mm 混凝土楼 板+20mm 硫酸钡防护涂料	5.5	4.07E-26	1.04E-05	
			¹⁸ F	3.70×10 ⁷	0.143	20mmPb 衰变箱+500mm 混凝土楼 板+20mm 硫酸钡防护涂料		1.04E-05		
3-1	高活室 （裸源）	高活室手套箱取药 位	^{99m} Tc	2.78×10 ¹⁰	0.0303	20mmPb 铅罐+手套箱 20mmPb	0.5	3.37E-37		源强取日 实际最大 操作量
¹⁸ F			1.85×10 ¹⁰	0.143	50mmPb 铅罐+手套箱 40mmPb	4.01E-02				
3-2		高活室手套箱侧面	^{99m} Tc	2.78×10 ¹⁰	0.0303	20mmPb 铅罐+手套箱 10mmPb	0.5	3.37E-27		
			¹⁸ F	1.85×10 ¹⁰	0.143	50mmPb 铅罐+手套箱 20mmPb		6.42E-01		
3-3		^{99m} Tc 注射位	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0303	注射窗 20mmPb+4mmPb 防护套 +0.5mmPb 铅衣	0.5	3.54E-23		源强取单 次给药最 大量
3-4		¹⁸ F 注射位	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.143	注射窗 40mmPb+10mmPb 防护套 +0.5mmPb 铅衣	0.5	1.92E-01		
3-5		东侧防护门外 30cm	^{99m} Tc	2.78×10 ¹⁰	0.0303	4mmPb 防护套+内衬 8mm 铅板	3.0	3.11E-12		源强取日 实际最大 操作量
			¹⁸ F	1.85×10 ¹⁰	0.143	10mmPb 防护套+内衬 8mm 铅板		4.84E-01		
3-6		西侧墙体外 30cm	^{99m} Tc	2.78×10 ¹⁰	0.0303	4mmPb 防护套+240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡防护涂料	2.3	1.12E-06		
			¹⁸ F	1.85×10 ¹⁰	0.143	10mmPb 防护套+240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡防护涂料		5.65E-02		
3-7	北侧墙体外 30cm	^{99m} Tc	2.78×10 ¹⁰	0.0303	4mmPb 防护套+240mm 实心砖 +80mm 硫酸钡防护涂料	3.3	5.46E-07			

			^{18}F	1.85×10^{10}	0.143	10mmPb 防护套+240mm 实心砖+80mm 硫酸钡防护涂料		2.75E-02	
3-8		北侧防护门外 30cm	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.78×10^{10}	0.0303	4mmPb 防护套+内衬 8mm 铅板	3.3	2.57E-12	
			^{18}F	1.85×10^{10}	0.143	10mmPb 防护套+内衬 8mm 铅板		4.00E-01	
3-9		顶棚正上方 30cm	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.78×10^{10}	0.0303	4mmPb 防护套+120mm 混凝土楼板+8mm 铅板吊顶	4.9	9.47E-12	
			^{18}F	1.85×10^{10}	0.143	10mmPb 防护套+120mm 混凝土楼板+8mm 铅板吊顶		3.77E-02	
3-10		楼下距地面 1.7m	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.78×10^{10}	0.0303	4mmPb 防护套+500mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡防护涂料	5.5	1.35E-09	
			^{18}F	1.85×10^{10}	0.143	10mmPb 防护套+500mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡防护涂料		4.15E-04	
3-11		脚踏式铅桶 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 表面 30cm 处	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.78×10^8	0.0303	5mmPb 脚踏式铅桶	0.5	3.37E-04	源强取日实际最大操作量的 1%
3-2		脚踏式铅桶 (^{18}F) 表面 30cm 处	^{18}F	1.85×10^8	0.143	20mmPb 脚踏式铅桶	0.5	1.32	
4-1		东侧墙体外 30cm	^{18}F	3.70×10^8	0.092	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	1.9	3.24E-01	
4-2		南侧墙体外 30cm	^{18}F	3.70×10^8	0.092	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	2.4	2.03E-01	
4-3	运动负荷兼抢救室 (患者)	西侧防护门外 30cm	^{18}F	3.70×10^8	0.092	内衬 6mmPb 铅板	2.1	3.36	源强取单次给药最大量
4-4		医护位	^{18}F	3.70×10^8	0.092	0.5mmPb 铅橡胶围裙	0.5	1.27E+02	
4-5		顶棚正上方 30cm	^{18}F	3.70×10^8	0.092	120mm 混凝土楼板+15mm 铅板吊顶	4.9	3.69E-02	
4-6		楼下距地面 1.7m	^{18}F	3.70×10^8	0.092	500mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡防护涂料	5.5	1.07E-03	
5-1	SPECT/C T 候诊室 (患者)	东侧防护门外 30cm	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1.30×10^{10}	0.0207	内衬 6mm 铅板	4.0	1.68E-05	源强取单次注射最大量, 按
5-2		南侧墙体外 30cm	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1.30×10^{10}	0.0207	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	2.5	1.79E-01	

5-3		西侧墙体外 30cm	^{99m} Tc	1.30×10 ¹⁰	0.0207	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	3.8	7.73E-02	14 个患者同时等待取值
5-4		顶棚正上方 30cm	^{99m} Tc	1.30×10 ¹⁰	0.0207	120mm 混凝土楼板+6mm 铅板吊顶	4.9	9.09E-07	
5-4		楼下距地面 1.7m	^{99m} Tc	1.30×10 ¹⁰	0.0207	500mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡防护涂料	5.5	1.30E-04	
6-1	PET/CT 候诊室 (患者)	东侧墙体外 30cm	¹⁸ F	1.11×10 ⁹	0.092	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	2.8	4.48E-01	源强取单次注射最大量, 按 3 个患者同时等待取值
6-2		北侧防护门外 30cm	¹⁸ F	1.11×10 ⁹	0.092	内衬 8mm 铅板	2.4	5.85	
6-3		北侧墙体外 30cm	¹⁸ F	1.11×10 ⁹	0.092	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	2.3	6.64E-01	
6-4		顶棚正上方 30cm	¹⁸ F	1.11×10 ⁹	0.092	120mm 混凝土楼板+21mm 铅板吊顶	4.9	1.92E-01	
6-5		楼下距地面 1.7m	¹⁸ F	1.11×10 ⁹	0.092	500mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡防护涂料	5.5	3.20E-03	
7-1	PET/CT 候检室 (VIP) (患者)	西侧墙体外 30cm	¹⁸ F	7.40×10 ⁸	0.092	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	1.6	9.15E-01	源强取单次注射最大量, 按 2 个患者同时等待取值
7-2		北侧防护门外 30cm	¹⁸ F	7.40×10 ⁸	0.092	内衬 8mm 铅板	2.0	5.62	
7-3		北侧墙体外 30cm	¹⁸ F	7.40×10 ⁸	0.092	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	2.0	5.85E-01	
7-4		顶棚正上方 30cm	¹⁸ F	7.40×10 ⁸	0.092	120mm 混凝土楼板+20mm 铅板吊顶	4.9	3.69E-02	
7-5		楼下距地面 1.7m	¹⁸ F	7.40×10 ⁸	0.092	500mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡防护涂料	5.5	2.14E-03	
8-1	留观室 (患者体内)	西侧墙体外 30cm	¹⁸ F	1.11×10 ⁹	0.092	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	1.8	7.97E-01	源强取单次注射最大量, 按 3 个患者同时等待取值
8-2		北侧墙体外 30cm	¹⁸ F	1.11×10 ⁹	0.092	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂料	2.3	6.64E-01	
8-3		北侧防护门外 30cm	¹⁸ F	1.11×10 ⁹	0.092	内衬 8mm 铅板	2.1	7.64	
8-4		顶棚正上方 30cm	¹⁸ F	1.11×10 ⁹	0.092	120mm 混凝土楼板+23mm 铅板吊顶	4.9	3.64E-02	
8-5		楼下距地面 1.7m	¹⁸ F	1.11×10 ⁹	0.092	500mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡防护涂料	5.5	3.20E-03	
9-1	PET/CT	南侧防护门外 30cm	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.092	内衬 6mm 铅板	4.0	9.25E-01	

9-2	机房 (患者)	南侧墙体外 30cm	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.092	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂 料	3.2	1.14E-01	
9-3		西侧墙体外 30cm	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.092	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂 料	4.4	6.05E-02	
9-4		北侧观察窗外 30cm	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.092	8mmPb 铅玻璃	3.3	1.03	
9-5		北侧防护门外 30cm	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.092	内衬 6mm 铅板	4.2	2.21E-02	
9-6		顶棚正上方 30cm	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.092	270mm 混凝土楼板+30mm 硫酸钡防 护涂料	4.9	3.27E-02	
9-7		楼下距地面 1.7m	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.092	500mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡防 护涂料	5.5	1.07E-03	
9-8		PET/CT 摆位处	¹⁸ F	3.70×10 ⁸	0.092	铅防护衣 0.5mmPb+10mm 铅屏风	0.5	3.17E+01	
10-1		SPECT/C T 机房 (患者)	东侧墙体外 30cm	^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0207	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂 料	4.5	
10-2	南侧防护门外 30cm		^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0207	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂 料	3.2	7.76E-03	
10-3	北侧观察窗外 30cm		^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0207	6mmPb 铅玻璃	3.2	1.87E-06	
10-4	北侧墙体外 30cm		^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0207	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡防护涂 料	3.2	7.76E-03	
10-5	顶棚正上方 30cm		^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0207	270mm 混凝土楼板	4.9	2.80E-03	
10-6	楼下距地面 1.7m		^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0207	500mm 混凝土楼板+20mm 硫酸钡防 护涂料	5.5	9.24E-06	
10-7	SPECT/CT 摆位处		^{99m} Tc	9.25×10 ⁸	0.0207	铅防护衣 0.5mmPb+4mm 铅屏风	0.5	2.42E-03	
注：由于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 I 中无硫酸钡水泥的什值层参数，因此硫酸钡水泥防护效果根据混凝土按密度进行折算，折算公式为 d ₁ /d ₂ =ρ ₂ /ρ ₁ ，混凝土密度为 2.35g/cm ³ ，硫酸钡水泥密度不低于 3.80g/cm ³ ，即 80mm 硫酸钡水泥折算为 129mm 混凝土、60mm 硫酸钡水泥折算为 97mm 混凝土、20mm 硫酸钡水泥折算为 32mm 混凝土。									

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）中相关规定，由表 11.2-7 可知，本项目核医学科控制区内实体屏蔽体外 30cm 处（人员居留因子 $\geq 1/2$ ）周围剂量当量率最大值为 1.03 $\mu\text{Sv/h}$ ，小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ；核医学科控制区内实体屏蔽体外 30cm 处（人员居留因子 $< 1/2$ ）周围剂量当量率最大值为 7.64 $\mu\text{Sv/h}$ ，小于 10 $\mu\text{Sv/h}$ ；手套箱和注射窗人员操作位周围剂量当量率最大值分别为 $6.42 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ 和 $1.92 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ ，均小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ，脚踏式铅桶、废物衰变箱表面 30cm 处周围剂量当量率最大值为 1.32 $\mu\text{Sv/h}$ ，小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ；控制区外人员可到达距屏蔽体外 30cm 处，处周围剂量当量率最大值为 1.03 $\mu\text{Sv/h}$ ，小于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。因此，本项目核医学科辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平均符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）标准要求，对周围辐射环境影响较小。

实际上，患者在注射或服用药物后的候诊室等待过程中，由于衰变作用导致患者体内核素的活度不断减少，因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

（3）机房估算 γ 射线、X 射线叠加剂量率情况

由于本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 在开机过程会产生 X 射线，需要考虑其泄漏辐射和散射辐射。本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 型号未定，保守按照市面上同类型射线装置最大工况拟定，CT 最大工况为管电压 140kV、管电流 200mA。

根据《辐射防护手册（第一分册）》给出的 X 射线机散射射线在关注点的空气比释动能计算公式进行推导，得到散射射线计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1）：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot B \cdot (s/400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \quad (\text{式 11.2-2})$$

式中：

H_s ---预测点处的散射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

H_0 ---X 射线机发射率常数（当管电流为 1mA 时，距离阳极靶 1m 处由主束产生的比释动能率）， $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 正常使用的最大管电压为均 140kV，过滤片取 2.5mmAl（根据《辐射防护手册（第一分册）》P₂₃₂ 可知，对于医用 X 射线机来说，为了减少低能光子对皮肤的照射，机头窗口处安装有符合要求的永久性过滤片，其中 100kV 以上用 2.5mm 铝片）。根据《辐射防护导论》附

图 3 查得本项目取 $10\text{mGy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$;

I---管电流, mA; 本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 使用的最大管电流为 200mA;

a---人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比, 查《辐射防护手册(第一分册)》表 10.1, 对于本项目最大工况下电压为 140kV, 保守取 150kV 电压下 90° 时的值为 0.0016;

s---主束在受照人体上的散射面积, 本项目取 100cm^2 ;

d_0 ---源至受照点的距离, 根据设备参数确定, 本项目 d_0 最小值取 0.45m;

d_s ---受照体至关注点的距离。

B---屏蔽透射因子, 按照《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 附录 C 中公式和参数计算, 公式计算见式 11.2-3。

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (\text{式 11.2-3})$$

式中:

α 、 β 、 γ ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数, 根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 表 C.2 可知, 本项目 PET-CT 和 SPECT-CT 正常工作使用电压 140kV 下, 铅的 α 、 β 、 γ 数值分别为 2.009、3.990、0.342。

泄漏辐射剂量率可用式 11.2-4 进行计算。

$$H_L = \frac{H_0 \cdot B}{d^2} \quad (\text{式 11.2-4})$$

式中:

H_L —预测点处的泄漏辐射剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

H_0 —距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率, mGy/h ; 根据《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 并列标准: 诊断 X 射线设备的辐射防护》(GB9706.103-2020), 本项目取 1mGy/h 。

d—靶点距关注点的距离, m;

B—屏蔽透射因子, 按照《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 附录 C 中公式和参数计算, 公式计算同式 11.2-3。

利用上述公式对 PET/CT 和 SPECT/CT 机房的散射及漏射辐射剂量率进行计算, 叠加放射性同位素的影响分别见表 11.2-9。

表11.2-8 PET/CT和SPECT/CT机房屏蔽计算结果

屏蔽体		等效铅当量 (mmPb)	B	d _s	H _s (μSv/h)	H _L (μSv/h)	H _总 (μSv/h)
PET/CT 机房	四侧墙体	8.0	4.31E-09	3.2	9.98E-05	4.21E-07	1.00E-04
	顶棚	6.3	1.33E-07	4.9	1.31E-03	5.54E-06	1.32E-03
	地坪	9	5.76E-10	5.5	4.51E-06	1.90E-08	4.53E-06
	工作人员 防护门外	8.0	4.31E-09	4.0	6.39E-05	2.69E-07	6.42E-05
	患者防护 门外	6.0	2.45E-07	4.2	3.29E-03	1.39E-05	3.30E-03
	观察窗外	8.0	4.31E-09	3.3	9.38E-05	3.96E-07	9.42E-05
SPECT/CT 机房	四侧墙体	8.0	4.31E-09	3.2	9.98E-05	4.21E-07	1.00E-04
	顶棚	3.3	6.64E-05	4.9	6.56E-01	2.77E-03	6.59E-01
	地坪	9	5.76E-10	5.5	4.51E-06	1.90E-08	4.53E-06
	防护门外	6.0	2.45E-07	3.2	5.67E-03	2.39E-05	5.69E-03
	观察窗外	6.0	2.45E-07	3.2	5.67E-03	2.39E-05	5.69E-03

估算 PET/CT 和 SPECT/CT 在扫描过程对机房外关注点的最大剂量率叠加预测结果见表 11.2-9。

表 11.2-9 PET/CT 和 SPECT/CT 机房剂量率叠加预测结果

机房	关注点	γ射线最大剂量 率μSv/h	X 射线剂量率 μSv/h	叠加剂量率 μSv/h
PET/CT机房	观察窗外 30cm 处	1.03E+00	9.42E-05	1.03
	北侧防护门外 30cm 处	6.37E-01	6.42E-05	6.37E-01
	南侧防护门外 30cm 处	9.25E-01	3.30E-03	9.28E-01
	墙体外 30cm 处	1.14E-01	1.00E-04	1.14E-01
	顶棚正上方 30cm 处	2.21E-02	1.32E-03	2.34E-02
	楼下距地面 1.7m	1.07E-03	4.53E-06	1.07E-03
SPECT/CT机 房	墙体外 30cm 处	7.76E-03	1.00E-04	7.86E-03
	防护门外 30cm 处	7.76E-03	5.69E-03	1.35E-02
	观察窗外 30cm 处	1.87E-06	5.69E-03	5.69E-03
	顶棚正上方 30cm 处	2.80E-03	6.59E-01	6.62E-01
	楼下距地面 1.7m	9.24E-06	4.53E-06	1.38E-05

根据上述预测结果可见，PET/CT 和 SPECT/CT 设备 X 射线与放射性药物γ射线影响叠加后，防护门、观察窗、四侧墙体、顶棚外关注点叠加剂量率均不超过 2.5μSv/h，摆位指导时 CT 球管不出束，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）标准要求。

（4）PET/CT配套校准源辐射影响分析

本项目 PET/CT 拟配置 1 枚 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}^{68}\text{Ge}$ 校准源和 1 枚 $5.55 \times 10^7 \text{Bq}^{68}\text{Ge}$ 校准

源，均为 V 类放射源，贮存在储源室保险柜中。

^{68}Ge 校准时放置于 PET/CT 扫描床，PET/CT 机房均采取足够的辐射屏蔽。职业人员能在较短的时间内完成校准准备操作，因此 ^{68}Ge 校准源对周围环境的影响和对辐射工作人员造成的年有效剂量可忽略不计。

(5) 工作人员年有效剂量估算

①工作人员受照剂量

根据医院提供的资料，项目正式开展后，每年工作 300 天，每周工作 6 天，每天工作 8h。核医学科工作场所各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见表 9.2-3。

根据表 11.2-3 预测的各关注点处辐射剂量率，结合医院预估工作量，关注点处人员居留因子（见表 11.2-2）等参数，由式 11.2-5 计算即可得到辐射工作人员的年有效剂量，计算结果见表 11.2-10。关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算，计算公式如下：

$$D_{\text{Eff}} = D_r \times t \times T \quad (\text{式 11.2-5})$$

式中：

D_{Eff} ——辐射外照射人均年有效剂量，Sv；

D_r ——辐射剂量率，Sv/h；

t ——年工作时间，h；

T ——居留因子。

表 11.2-10 核医学科工作人员个人年有效剂量估算

工作场所	人员	排班情况	操作	关注点位	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	单人年受照时间	年有效剂量 (mSv)	
注射室	护士	2 组轮岗	^{18}F 分装	3-1 高活室手套箱取药位 (^{18}F)	4.01E-02	12.5h (30s/次×3000 人次/2 组)	5.01E-04	4.35
			^{18}F 注射	3-3 ^{18}F 注射位	1.92E-01	12.5h (30s/次×3000 人次/2 组)	2.40E-03	
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 测活	3-1 高活室手套箱取药位 (^{18}F)	3.37E-37	37.5h (30s/次×9000 次/2 组)	1.26E-38	
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射	3-2 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射位	3.54E-23	37.5h (30s/次×9000 次/2 组)	1.33E-24	
运动负荷兼抢救室			抢救	4-4 医护位	1.27E+02	2.5h (每次抢救按 30 分钟)	3.18E-01	

						计，一年不超过 10 次， 2 组轮岗)		
护士站			导诊	4-3 运动负荷 兼抢救室西 侧防护门外 30cm	3.36	1200h（8h× 300 天/2 组）	4.03	
诊室	医生	4 人	接诊	4-1 运动负荷 兼抢救室东 侧墙体外 30cm	3.24E-01	2400h（8h× 300 天）	7.78E-01	7.94E-01
更衣室、 休息室、 办公室			办公、 休息	2-3 废物间北 侧墙体外 30cm	6.73E-03	2400h（8h× 300 天）	1.62E-02	
SPECT/CT 机房摆位	技师	2 人 轮班	摆位	10-8 SPECT/CT 摆 位处	2.42E-03	7.5h(1min/次 ×900 次/2 组)	1.82E-05	3.92E-01
SPECT/CT 操作位			扫描	10-3 SPECT/CT 机 房北侧观察 窗外 30cm	5.69E-03	1125h(15min/ 次×9000 次 /2 组)	6.40E-03	
PET/CT 机房摆位	技师	2 人 轮班	摆位	9-8 PET/CT 摆位处	3.17E+01	2.5h(1min/次 ×300 次/2 组)	7.93E-02	4.72E-01
PET/CT 操作位			扫描	9-4 PET/CT 机房南侧观 察窗外 30cm	1.03	375h(15min/ 次×3000 次 /2 组)	3.86E-01	
注：①摆位人员主要以语音指导摆位为主，根据医院估算约 1/10 的患者需要辅助摆位，因此本项目摆位人次均按总人次 1/10 考虑；②控制走廊技师的年有效剂量率保守考虑同时受到 PET/CT 运行时 X 射线辐射剂量率（1.82E-05μSv/h）和 SPECT/CT 运行时 X 射线辐射剂量率（3.86E-015μSv/h）的叠加值，即 SPECT/CT 机房技师的年有效剂量率为 1.82E-05μSv/h+6.40E-03μSv/h+3.86E-01μSv/h=3.92E-01μSv/h，PET/CT 机房技师的年有效剂量率为 7.93E-02μSv/h+3.86E-01μSv/h+6.40E-03μSv/h=4.72E-01μSv/h。								

由表 11.2-10 可知，核医学科辐射工作人员的年有效剂量最大为 4.35mSv，满足辐射工作人员年有效年剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

（6）公众年有效剂量估算

对于非紧邻的关注场所，其剂量率在典型预测点计算结果基础上，依据辐射剂量率随距离平方反比衰减规律，并结合各区域与辐射源之间的距离关系进行推算，剂量率计算结果见表11.2-11。根据表11.2-3预测的各关注点处辐射剂量率，结合核医学科周围公众情况、关注点处人员居留因子、关注点与预测点的距离等参数，由式11.2-5计算即可得到核医学科周围公众的年有效剂量，计算结果见表11.2-12。

表 11.2-11 非紧邻的关注场所剂量率计算结果

目标预测点				参考预测点				预测结果 (μSv/h)
位置			与预测 源点距 离（m）	参考预测点位置		剂量率 (μSv/h)	距离预 测源点 距离 (m)	
核医学科	东 侧	走廊	24.0	运动负荷兼抢救 室东墙外 30cm	4-1	3.24E-01	1.9	1.74E-03
		室外道路、弱 电井、楼梯 间、电梯厅	6.5					1.66E-02
	南 侧	针灸室	7.1	运动负荷兼抢救 室南墙外 30cm	4-2	2.03E-01	2.4	1.30E-02
		走廊	9.7	SPECT/CT 候诊 室南侧墙体外 30cm	5-2	1.79E-01	2.5	7.52E-03
	北 侧	室外道路	3.5	PET/CT 机房北 侧观察窗外 30cm	9-4	1.03	3.3	2.43E-01

表 11.2-12 核医学科公众人员年有效剂量估算

关注场所	方位	距离 (m)	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留 因子	受照时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
走廊等公众	东侧	24.0	1.74E-03	1/5	2400	4.49E-06
室外道路、弱电井、楼梯间、电梯厅	东侧	6.5	1.66E-02	1/40	2400	6.11E-05
针灸室等公众	南侧	7.1	1.30E-02	1	2400	1.99E-03
走廊等公众	南侧	9.7	7.52E-03	1/5	2400	1.52E-04
楼梯间、室外道路等公众	南侧	紧邻	1.79E-01 (5-2)	1/40	2400	1.29E-02
室外道路等公众	西侧	紧邻	7.97E-01 (8-1)	1/40	2400	5.74E-02
室外道路等公众	北侧	3.5	2.43E-01	1/40	2400	4.12E-03
护士长办公室	上方	紧邻	3.64E-02 (8-4)	1	2400	8.74E-02
治疗室	上方	紧邻	3.69E-02 (4-5)	1/2	2400	4.43E-02
值班室	上方	紧邻	1.92E-01 (6-4)	1/16	2400	2.88E-02
护士站	上方	紧邻	3.69E-02 (4-5)	1	2400	8.86E-02
医生办公室	上方	紧邻	3.77E-02 (3-8)	1	2400	9.05E-02
康复医学科病房	上方	紧邻	2.34E-02 (PET/CT 机房顶棚 上方 30cm 处)	1	2400	5.62E-02
走廊、更衣室	上方	紧邻	1.92E-02 (6-4)	1/5	2400	9.22E-02
空调机房、卫生间、污物间、处置室、物	上方	紧邻	1.92E-02 (6-4)	1/16	2400	2.76E-02

流井道						
男浴厕、女浴厕、战时排风机房、淋浴间、检查穿衣间、防毒通道和停车区公众等公众	下方	紧邻	3.20E-03 (6-5)	1/16	2400	4.61E-04
注：①本项目公众人员关注场所仅选择具有代表性场所，其他场所较之更远，故本次评价不一列举； ②本项目关注场所剂量率保守选取所在区域内剂量率较大的点位进行计算； ③公众受照时间保守按每日 8h，年工作 300 天工作时长计算。 ④上方值班室为夜间值班人员使用，人员仅在核医学科非工作时间在此停留，因此居留因子按 1/16 取值。						
由表 11.2-11 可知，核医学科公众年有效剂量最大为 $9.22 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，满足本项目公众成员年有效年剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。						
综上，核医学科辐射工作人员和周围的公众所受外照射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“限值”的要求和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于剂量约束值的要求，也低于本环评提出的年剂量约束值即工作人员 5mSv 和公众 0.1mSv。						
3、核医学科“三废”影响分析						
（1）放射性废水影响分析						
本项目核医学科设有 1 套衰变池组，核医学科产生的放射性废水通过专门的管道进行统一收集，并经管道排入北病房楼北侧地下的衰变池组进行衰变，衰变时间满足相应要求后排入医院污水处理系统。本项目核医学科放射性废水管线走向见附图 15。						
放射性废水主要为含有工作人员清洗去污的废水、工作场所清洁和应急洗消产生的可能含放射性物质的废水，以及患者等候、留观时产生的废水。根据 9.3.1 核医学科污染源项分析可知，本项目核医学科放射性废水产生量共计 $0.44 \text{m}^3/\text{d}$ ， $132 \text{m}^3/\text{a}$ ，进入衰变池组。						
根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“对于槽式衰变池，所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废水暂存时间超过 30 天后可直接解控排放，监测结果满足要求后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废水总排放口总 α 不大于 1Bq/L ，总 β 不大于 10Bq/L ”。						
衰变池组由 1 个降解池+3 个并联衰变池组成，单个衰变池有效容积不小于 7m^3 ，3 个衰变池并联设置，交替使用，则第 1 个衰变池最后进入的废水存储时间为： $7 \text{m}^3 \times 2 \div 0.44 \text{m}^3/\text{d} \approx 31.8$ 个工作日（保守按照单个衰变池容积为 7m^3 ，储存时间按照 5 周考						

虑，即 35 天，为第 3 个衰变池注满的时间），显像诊断患者放射性废水可以在衰变池组内暂存 35 天，涉及核素半衰期均小于 24h，因此衰变池组内放射性废水可直接解控排入医院污水处理系统。

放射性废水管道拟采用地埋设置，管道用 8mmPb 铅板进行屏蔽防护。本项目衰变池组位于 16 号楼西侧，衰变池组设有围栏，围栏上设置警告标志，防止无关人员靠近，且衰变池四侧墙体和顶棚采取混凝土+铅板屏蔽防护措施，因此放射性废水收集管道和衰变池对周围辐射环境影响很小。

（2）放射性废气影响分析

本项目核医学科场所产生的放射性废气均设有独立的排风系统，经由专用放射性废气排风井排至16号楼楼顶，并高出屋脊排放。排风井由混凝土浇筑，能有效屏蔽放射性废气对其余楼层公众的辐射影响。各排风管道内保持负压，拟安装防回流装置，排风口均设活性炭吸附装置，活性炭吸附装置对放射性废气吸附效率不小于90%。能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）关于通风的要求。

（3）放射性固废影响分析

本项目可能沾染放射性核素的固体废物主要为工作人员操作过程产生的废一次性注射器、废针头、废手套、废药棉、废纱布、破损杯皿、擦拭污染地面的物品、废活性炭等。

本项目 PET/CT 校准源 ^{68}Ge 其活度无法满足校准需要时，将更换校准源，从而产生废旧放射源。

放射性药物均根据诊断计划按需制备和订购，一般不会产生剩余放射性药物，如出现放射性药物购买过量用不完的情况，可将药物连同铅罐放置于废物间，剩余放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{18}F 暂存超过 30 天后作为医疗废物处理。

根据9.3.1核医学科污染源项分析，核医学科放射性固废产生量共计400kg/a，核医学科工作场所设置脚踏式铅桶，废物间设有废物衰变箱，收集的固废放置于衰变箱中，废物衰变箱采用20mmPb进行屏蔽防护，以保证其外表面30cm处的周围剂量当量率小于2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于0.08Bq/cm²， β 表面污染小于0.8Bq/cm²，可对废物清洁解控并作为医疗废物进行处理。

放射性废物清洁解控后，运至医院总医疗废物暂存间内贮存，对产生的固体废弃

物进行分类收集、贮存、消毒、无害化处理处置，不会对周围环境带来不利影响，医疗废物暂存间对周围环境的影响小。

医院应做到：

①严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，应力求控制和减少放射性废物产生量。

②对所有放射性固体废物采用先收集在各自相关工作场所的铅污物桶内，再将铅污物桶内的固体废弃物连同专用塑料包装袋，存放到废物间的衰变暂存容器内，集中收储一段时间后（视不同的核素，控制不同的收贮时间，以减少放射性废物的收贮量）再分类处理。受不同核素污染的固体废物分开收储，每次收集时专用塑料包装袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间，内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如硬牛皮纸外套）。

③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。

11.2.3 DSA 手术项目

1、DSA 运行时环境影响分析

DSA 设备在手术中分透视和摄影两种模式。DSA 摄影模式是指 DSA 的 X 射线系统曝光时，工作人员位于操作间，即为隔室操作方式。DSA 透视模式是指在透视条件下，医护人员近台同室进行介入操作。本次评价分别对摄影、透视两种工况下机房周围的辐射水平进行了预测。

(1) DSA 技术参数及机房设计情况

本项目拟搬迁 1 台 DSA 装置，型号为 Azurion7M20，最大管电压为 125kV，最大管电流为 1000mA，参考参数与工况表见表 11.2-13。

表11.2-13 本项目DSA设备参数与工况及防护情况

设备型号		Azurion7M20		
技术参数		最大管电压 125kV/最大管电流 1000mA		
过滤材料		不小于 2.5mmAl		
最大照射野		100cm ²		
工况模式	摄影	正常工况下 最大常用电压 100kV 最大常用电流 500mA	距靶 1m 处 发射率常数	0.162mGy/mA·s
	透视	正常工况下 最大常用电压 90kV 最大常用电流 15mA		0.135mGy/mA·s

泄漏辐射源强	离靶点 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率不超过 1mGy/h
注：1.根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），介入设备等总滤过不小于 2.5mmAl，本项目 DSA 过滤材料保守取 2.5mmAl； 2.参考《辐射防护手册》（第三分册）P58 图 3.1，当 2.5mmAl 作为过滤材料时，得 100kV 电压下，发射率常数为 0.162mGy/mA·s，90kV 电压下，发射率常数为 0.135mGy/mA·s； 3.根据《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 并列标准：诊断 X 射线设备辐射防护》（GB9706.103-2020）中“12.4 加载状态下的泄漏辐射”，本项目 DSA 距靶 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率为 1.0mGy/h。	

根据《辐射防护导论》射线装置距靶 1m 处的空气比释动能率，按公式 11.2-6 计算：

$$\dot{K}_x = \frac{\delta_x I}{r^2} \quad \text{..... (式 11.2-6)}$$

式中：

$\dot{K}_x$ ——离靶 r（m）处由 X 射线机产生的初级 X 射线束造成的空气比释动能率，mGy/min；

I——管电流（mA）；

δ_x ——管电流为 1mA，距靶 1m 处的发射率常数，mGy/(mA·s)；

$r_0=1\text{m}$ ；

r——源至关注点的距离，m。

表 11.2-14 DSA 不同运行模式下距靶 1m 处空气比释动能率一览表

设备	运行模式	过滤材料厚度	距靶 1m 处的空气比释动能 (mGy/mA·s)	最大常用电压 (kV)	最大常用电流 (mA)	距靶 1m 处的空气比释动能率 (μGy/h)
DSA	摄影	2.5mmAl	0.162	100	500	2.92×10^8
	透视	2.5mmAl	0.135	90	15	7.29×10^6

（2）工作负荷

本项目 DSA 工作负荷见表 9.2-4。

（3）关注点选取

取医生手术位、控制室操作位、防护墙外 30cm 处、铅防护门外 30cm 等处为预测点位，具体预测点位见图 11.2-3 和表 11.2-15。

表 11.2-15 本项目 DSA 样本机房关注点位情况表

关注点位描述		方位	泄漏情况距辐射源点（靶点）最近距离（m）	散射情况距辐射散射点（患者体表）最近距离（m）
1#机房术者位	第一术者位（身体铅衣内）	机房内	0.6	0.5
	第一术者位（身体铅衣外）	机房内	0.6	0.5

	第二术者位（身体铅衣内）	机房内	1.0	0.9
	第二术者位（身体铅衣外）	机房内	1.0	0.9
2#机房顶棚上方距顶棚地面 100cm 处		上方	4.8	4.1
3#机房地坪下方距楼下地面 170cm 处		下方	2.9	3.6
4#机房东侧墙体外 30cm 处		东侧	6.4	6.4
5#机房南侧墙体外 30cm 处		南侧	4.9	4.9
6#机房南侧防护窗外 30cm 处		南侧	4.9	4.9
7#机房南侧防护门外 30cm 处		南侧	5.4	5.4
8#机房西侧防护门外 30cm 处		西侧	7.0	7.0
9#机房西侧墙体外 30cm 处		西侧	6.5	6.5
10#机房北侧墙体外 30cm 处		北侧	4.9	4.9
11#机房北侧防护门外 30cm 处		北侧	6.0	6.0



图 11.2-3 DSA 机房关注点位示意图

（4）DSA 机房周围辐射剂量率估算

DSA 设备的辐射场由三种射线组成：主射线、散射线、漏射线。本项目 DSA 拟配备单管头设备，图像增强器对 X 射线主束有屏蔽作用，NCRP147 号报告“Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities”4.1.6 节（Primary Barriers，P41~P45）及 5.1 节（Cardiac Angiography，P72）指出，DSA 等射线装置屏蔽估算时不需要考虑主束照射。因此，DSA 设备运行主要是泄漏和散射辐射对周围环境的影响。

依据《辐射防护导论》，在 X 射线辐射场中，同一点处以 Gy 为单位的比释动能

与以 Sv 为单位的剂量当量，数值上几乎相等，因此，报告在屏蔽计算章节，将 Gy 等同于 Sv。

①患者体表散射屏蔽估算

$$H_s = \frac{H_0 \cdot a \cdot B \cdot (s/400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \quad (\text{式 11.2-7})$$

式中：

H_s ----关注点位处的散射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

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

α ----患者对 X 射线的散射比；根据《辐射防护手册》（第一分册）表 10.1 查表取 0.0013；

s ----散射面积， cm^2 ，取 100cm^2 ；

d_0 ----源与患者的距离，m，取 0.7m；

d_s ----患者与关注点位的距离，m；

②泄漏辐射剂量率估算

泄漏辐射剂量率利用点源辐射进行计算，各关注点位的泄漏辐射剂量率可用式 11.2-8 进行计算。

$$H_L = \frac{H_0 \cdot B}{R^2} \quad (\text{式 11.2-8})$$

式中：

H_L —关注点位处的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

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

R —靶点距关注点的距离，m；

B —屏蔽透射因子，按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中公式和参数计算。

③屏蔽透射因子

B ----屏蔽透射因子，按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录 C 中公式和参数计算，公式计算见式 11.2-9。

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (\text{式 11.2-9})$$

式中：

α 、 β 、 γ ——铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，具体见表 11.2-16。

表 11.2-16 铅对 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压 (kV)	铅		
	α	β	γ
90	3.067	18.83	0.7726
100 (主束)	2.500	15.28	0.7557
100 (散射)	2.507	15.33	0.9124

注：拟合参数均取自《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。

本项目 DSA 机房各预测点屏蔽透射因子计算结果见表 11.2-17。

表 11.2-17 DSA 机房各预测点屏蔽透射因子计算结果

预测点位	防护情况	屏蔽厚度	屏蔽透射因子 B			
			100kV 摄影工况下 散射	90kV 透视工况下 散射	100kV 摄影工况下 泄漏	90kV 透视工况下 泄漏
医生手术位 (身体铅衣内)	0.5mmPb 铅衣 +0.5mmPb 铅屏风	1.0mmPb	/	4.08E-03	/	4.08E-03
医生手术位 (身体铅衣外)	0.5mmPb 铅屏风	0.5mmPb	/	2.52E-02	/	2.52E-02
护士协助位 (身体铅衣内)	0.5mm 铅衣 +0.5mmPb 铅屏风	1.0mmPb	/	4.08E-03	/	4.08E-03
护士协助位 (身体铅衣外)	0.5mmPb 铅屏风	0.5mmPb	/	2.52E-02	/	2.52E-02
墙体外 30cm 处	方钢龙骨+4mm 铅板	4.0mmPb	5.14E-06	3.69E-07	3.39E-06	3.69E-07
防护门外 30cm 处	内衬 4mm 铅板	4.0mmPb	5.14E-06	3.69E-07	3.39E-06	3.69E-07
观察窗外 30cm 处	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	5.14E-06	3.69E-07	3.39E-06	3.69E-07
上方距地面 1m 处	220mm 混凝土 +40mm 硫酸钡防 护涂料	5.9mmPb	4.39E-08	1.09E-09	2.93E-08	1.09E-09
下方距地面 1.7m 处	220mm 混凝土 +40mm 硫酸钡防 护涂料	5.9mmPb	4.39E-08	1.09E-09	2.93E-08	1.09E-09

注：DSA 机房 100kV 摄影工况下散射辐射拟合参数 α 取 2.507， β 取 15.33， γ 取 0.9124；
DSA 机房 90kV 透视工况下散射辐射拟合参数 α 取 3.067， β 取 18.83， γ 取 0.7726；
DSA 机房 100kV 摄影工况下泄漏辐射拟合参数 α 取 2.500， β 取 15.28， γ 取 0.7557；
DSA 机房 90kV 透视工况下泄漏辐射拟合参数 α 取 3.067， β 取 18.83， γ 取 0.7726。

DSA 机房各关注点位辐射剂量率估算见表 11.2-18。

表 11.2-18 DSA 机房各预测点辐射剂量率计算参数及结果

工作模式	关注点位		散射辐射计算参数			泄漏辐射计算参数			散射辐射剂量率 H_s ($\mu\text{Sv/h}$)	泄漏辐射剂量率 H_L ($\mu\text{Sv/h}$)	总辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
			H_0 散射 ($\mu\text{Sv/h}$)	ds (m)	B	H_0 泄漏 ($\mu\text{Sv/h}$)	R (m)	B			
摄影	2#	DSA 机房上方 距地面 1m 处	2.92E+08	4.1	4.39E-08	1.00E+03	4.8	2.93E-08	5.06E-04	1.27E-06	5.07E-04
	3#	DSA 机房下方 距地面 1.7m 处	2.92E+08	3.6	4.39E-08	1.00E+03	2.9	2.93E-08	6.56E-04	3.48E-06	6.59E-04
	4#	东侧墙体外 30cm 处	2.92E+08	6.4	5.14E-06	1.00E+03	6.4	3.39E-06	2.43E-02	8.27E-05	2.44E-02
	5#	南侧墙体外 30cm 处	2.92E+08	4.9	5.14E-06	1.00E+03	4.9	3.39E-06	4.15E-02	1.41E-04	4.16E-02
	6#	南侧防护窗外 30cm 处	2.92E+08	4.9	5.14E-06	1.00E+03	4.9	3.39E-06	4.15E-02	1.41E-04	4.16E-02
	7#	南侧防护门外 30cm 处	2.92E+08	5.4	5.14E-06	1.00E+03	5.4	3.39E-06	3.41E-02	1.16E-04	3.43E-02
	8#	西侧防护门外 30cm 处	2.92E+08	7	5.14E-06	1.00E+03	7	3.39E-06	2.03E-02	6.91E-05	2.04E-02
	9#	西侧墙体外 30cm 处	2.92E+08	6.5	5.14E-06	1.00E+03	6.5	3.39E-06	2.36E-02	8.02E-05	2.36E-02
	10#	北侧墙体外 30cm 处	2.92E+08	4.9	5.14E-06	1.00E+03	4.9	3.39E-06	4.15E-02	1.41E-04	4.16E-02
	11#	北侧防护门外 30cm 处	2.92E+08	6	5.14E-06	1.00E+03	6	3.39E-06	2.77E-02	9.41E-05	2.77E-02
透视	1#	第一术者位 (身体铅衣内)	7.29E+06	0.6	4.08E-03	1.00E+03	0.7	4.08E-03	5.47E+01	8.32E+00	6.31E+01
		第一术者位 (身体铅衣外)	7.29E+06	0.6	2.52E-02	1.00E+03	0.7	2.52E-02	3.38E+02	5.13E+01	3.89E+02
		第二术者位 (身体铅衣内)	7.29E+06	0.9	4.08E-03	1.00E+03	1	4.08E-03	2.43E+01	4.08E+00	2.84E+01
		第二术者位 (身体铅衣外)	7.29E+06	0.9	2.52E-02	1.00E+03	1	2.52E-02	1.50E+02	2.52E+01	1.75E+02
	2#	DSA 机房上方 距地面 1m 处	7.29E+06	4.1	1.09E-09	1.00E+03	4.8	1.09E-09	3.13E-07	4.72E-08	3.60E-07
	3#	DSA 机房下方 距地面 1.7m 处	7.29E+06	3.6	1.09E-09	1.00E+03	2.9	1.09E-09	4.06E-07	1.29E-07	5.35E-07
	4#	东侧墙体外 30cm 处	7.29E+06	6.4	3.69E-07	1.00E+03	6.4	3.69E-07	4.36E-05	9.01E-06	5.26E-05

5#	南侧墙体外 30cm 处	7.29E+06	4.9	3.69E-07	1.00E+03	4.9	3.69E-07	7.43E-05	1.54E-05	8.97E-05
6#	南侧防护窗外 30cm 处	7.29E+06	4.9	3.69E-07	1.00E+03	4.9	3.69E-07	7.43E-05	1.54E-05	8.97E-05
7#	南侧防护门外 30cm 处	7.29E+06	5.4	3.69E-07	1.00E+03	5.4	3.69E-07	6.12E-05	1.27E-05	7.39E-05
8#	西侧防护门外 30cm 处	7.29E+06	7	3.69E-07	1.00E+03	7	3.69E-07	3.64E-05	7.53E-06	4.40E-05
9#	西侧墙体外 30cm 处	7.29E+06	6.5	3.69E-07	1.00E+03	6.5	3.69E-07	4.22E-05	8.74E-06	5.10E-05
10#	北侧墙体外 30cm 处	7.29E+06	4.9	3.69E-07	1.00E+03	4.9	3.69E-07	7.43E-05	1.54E-05	8.97E-05
11#	北侧防护门外 30cm 处	7.29E+06	6	3.69E-07	1.00E+03	6	3.69E-07	4.96E-05	1.03E-05	5.98E-05

由上表可知：当本项目 DSA 在摄影模式时，机房外关注点的辐射剂量率最大为 $4.16\text{E-}02\mu\text{Sv/h}$ ，在透视模式时，机房外关注点的辐射剂量率最大为 $8.97\text{E-}05\mu\text{Sv/h}$ 。满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对“具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；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 $25\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

(5) 人员剂量估算

① DSA 职业人员年有效剂量估算

DSA 摄影曝光时，除存在临床不可接受的情况外工作人员均回到控制室进行操作，DSA 透视曝光时，由主治医生及辅助医生（或护士）在手术间内近台操作，技师通常不在手术间内。各点位处公众及职业人员的年有效剂量计算公式同式 11.2-5。

本项目各机房人员配置及辐射工作人员年最大工作负荷见表 9.2-4。根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）对于介入放射学、核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，工作人员穿戴铅橡胶围裙时受到的有效剂量按照以下公式进行估算：

$$E_{\text{外}} = \alpha H_U + \beta H_O \quad (\text{式 11.2-10})$$

$E_{\text{外}}$ --有效剂量 E 中的外照射分量，单位为 mSv；

H_U --铅橡胶围裙内佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，本项目取理论计算的医生铅橡胶围裙内的年剂量，单位为 mSv；

α --系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.79，无屏蔽时，取 0.81，本项目 DSA 使用时采用铅围脖对医护人员进行甲状腺屏蔽，因此 α 取 0.79；

β --系数，有甲状腺屏蔽时，取 0.051，无屏蔽时，取 0.1，本项目 DSA 使用时采用铅围脖对医护人员进行甲状腺屏蔽，因此 β 取 0.051；

H_O --铅橡胶围裙外锁骨对应的衣领位置佩戴的个人剂量计测得的 $H_p(10)$ ，本项目取理论计算的医生铅衣外的年剂量，单位为 mSv。

职业人员居留因子均取 1，本项目辐射工作人员受照时间见表 11.2-19。

表 11.2-19 辐射工作人员年有效剂量估算表

工作人员	操作方式	工作时间（h）	剂量率（μSv/h）		居留因子	年有效剂量（mSv）	剂量约束值（mSv）
医生	同室	56.67	第一术者位（铅衣外）	3.89E+02	1	3.95	5
			第一术者位（铅衣内）	6.31E+01			
	隔室	2.83	DSA 机房观察窗外30cm 处	4.16E-02			
技师	隔室	166.7	DSA 机房观察窗外30cm 处	8.97E-05		3.60E-04	
		8.3		4.16E-02			
护士	同室	83.33	第二术者位（铅衣外）	1.75E+02		2.62	
			第二术者位（铅衣内）	2.84E+01			

	隔室	4.17	DSA 机房观察窗外 30cm 处	4.16E-02			
--	----	------	----------------------	----------	--	--	--

本项目 DSA 机房辐射工作人员拟从现有辐射工作人员调岗，人员存在兼岗情况，因此工作人员年有效剂量应考虑叠加。由医院 2025 年 6 月 7 日~2026 年 6 月 6 日个人剂量检测报告统计结果（见附件 8）可知，现有辐射工作人员的年有效剂量最大结果为 0.38mSv，由上述计算可知：在正常运行时，DSA 机房辐射工作人员年有效剂量最大为 4.33mSv，叠加现有辐射工作人员年有效剂量最大值之后，本项目辐射工作人员年有效剂量最大为 4.33mSv，满足本项目职业人员受照的年有效剂量不超过 5mSv 的年剂量约束值要求。

本项目设备运行时的 X 射线辐射剂量率保守按最小固有滤过 2.5mmAl 进行计算，未考虑附加滤过材料的影响，因此估算结果是偏保守的。DSA 射线装置在固有滤过材料的基础上，均配备有 Al、Cu 等附加滤过材料，实际运行过程中，辐射工作人员只要严格按照操作规程规范使用设备、正确使用防护用品和设施，正常情况下辐射工作人员实际年有效剂量值将小于上述保守预测结果。

②公众剂量估算

根据项目机房周围公众的可到达性及停留时间对公众的年受照剂量进行分析。本项目的居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）附录 A 选取，具体数值见表 11.2-20。

表 11.2-20 居留因子的选取

场所	居留因子（T）		停留位置
	典型值	范围	
全停留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分停留	1/4	1/2-1/5	1/2：相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5：走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然停留	1/16	1/8-1/40	1/8：各治疗室房门 1/20：公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40：仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场，车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

机房周围公众年有效剂量保守选取摄影模式和透视模式下，机房外关注点剂量率最大值预测结果为源强进行分析，即 DSA 在摄影模式下辐射剂量率为 4.16E-02Sv/h，在透视模式下辐射剂量率为 8.97E-05μSv/h。本项目 DSA 摄影模式年出束时间为 16.67h，透视模式年出束时间为 333.33h。预测分析时，保守不再考虑距离衰减和其他

功能用房的墙体屏蔽效果，根据式 11-5 计算。公众年有效剂量同式 11.2-5，公众年有效剂量计算结果见表 11.2-21。

表11.2-21 公众年有效剂量估算结果

场所	位置描述	方位	透视模式 DSA辐射 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年出 束时 间 (h)	摄影模式 DSA辐射 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年出束 时间 (h)	居留 因子	年有效剂 量 (mSv)
D S A 机 房	走廊	东侧	8.97E-05	333.33	4.16E-02	16.67	1/5	1.45E-04
	设备间、电梯厅	南侧	8.97E-05	333.33	4.16E-02	16.67	1/16	4.52E-05
	走廊	西侧	8.97E-05	333.33	4.16E-02	16.67	1/5	1.45E-04
	走廊	北侧	8.97E-05	333.33	4.16E-02	16.67	1/5	1.45E-04
	手术室上方净化设备 机房、二氧化碳储瓶 间和氮气储瓶间	上方	8.97E-05	333.33	4.16E-02	16.67	1/16	4.52E-05
	走廊	下方	8.97E-05	333.33	4.16E-02	16.67	1/5	1.45E-04
	示教、会议室和净化 机房	下方	8.97E-05	333.33	4.16E-02	16.67	1/16	4.52E-05
	杨港路公众	南侧	8.97E-05	333.33	4.16E-02	16.67	1/5	1.45E-04
	澄昌路	东侧	8.97E-05	333.33	4.16E-02	16.67	1/5	1.45E-04

综上所述，本项目 DSA 辐射工作人员年有效剂量最大值为 4.33mSv，公众年有效剂量最大为 $1.45 \times 10^{-4} \text{mSv}$ ，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于职业照射剂量限值的要求，同时满足本项目提出的辐射工作人员剂量约束值（不高于 5mSv/a）和公众剂量约束值的要求（不高于 0.1mSv/a）的要求。

对于 DSA 机房屏蔽物边界外 50m 范围内的其他公众，由于剂量率与距离平方成反比以及评价范围内固有建筑物的屏蔽，随着距离的增加，周围 50m 范围内公众所受年有效剂量更小，能够满足本项目 DSA 机房周围公众受照的年有效剂量不超过 0.1mSv 的年剂量约束值要求。

由此说明，本项目 DSA 机房的防护设计满足要求，其正常运行后产生的辐射影响在国家允许的范围以内。上述估算仅是理论推算，实际应用时，工作人员的受照剂量应以佩戴的个人剂量检测结果为准。

2、DSA 手术项目“三废”影响分析

（1）废气

本项目 DSA 在曝光过程中，由于 X 射线与空气电离作用，会有少量臭氧和氮氧化物产生。因射线装置每次曝光时间短，臭氧和氮氧化物产生量很少。本项目 DSA 机房拟设置动力通风装置进行通排风，进风口及排风口拟设置于机房吊顶，保证机房内有

良好的通风，产生的少量臭氧和氮氧化物经通排风系统收集后最终排放至大气外环境中，臭氧可在 50 分钟后自然分解，氮氧化物只有臭氧产生额的 1/3，因此本项目射线装置产生的废气排出机房后对周围环境影响很小。

(2) 废水

项目DSA手术产生的器械清洗废水、医护手部清洗废水以及医护人员产生的生活污水依托医院污水处理设施预处理，达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 2 预处理排放标准要求后，纳入市政污水管网进行集中处理。项目废水不直接排放，对地表水环境影响较小。

(3) 固体废物

DSA 手术产生的医疗废物待手术结束后收集至污洗间暂存，定期移至医院医疗废物暂存间，并委托医疗废物处置单位进行处置；医护人员产生的生活垃圾分类收集后委托当地环卫部门定期清运处理。经上述“资源化、减量化、无害化”处置后，项目产生的固体废物不会对周围环境产生明显影响。

11.3 事故影响分析

11.3.1 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。

11.3.2 事故等级分析

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，辐射事故从重到轻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 11.3-1。

根据《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》（环发[2006]145 号）附件 4“射事故分级”规定：“一般辐射事故：是指IV类、V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人员受到超过年剂量限值的照射。”如管理不当本项目可能会发生以上两种事故，事故等级为一般辐射事故。

表 11.3-1 辐射事故等级划分表

事故等级	危害结果
特别重大辐射事故	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	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	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	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。

11.3.3 核医学科工作场所

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《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）等相关规定，发生辐射事故时，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位应当立即启动本单位的应急方案，采取应急措施，并立即向当地生态环境主管部门、应急管理部门、卫生主管部门、公安部门等报告。针对本项目核医学科可能发生的辐射事故，医院拟采取的预防措施和应急处理措施见表 11.3-2。

表 11.3-2 本项目核医学辐射事故及防范措施一览表

序号	可能发生的辐射事故	拟采取的防范措施
1	PET-CT 或 SPECT-CT 机房门灯联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房，对人员造成误照射	①医务人员必须严格按照 X 射线装置操作程序进行诊断，确定机房内工作人员及患者家属均离开机房后方可开机，以避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射。 ②制定经常性自检制度，对门-灯联锁、监视器、工作状态指示灯、电离辐射警告标志灯等防护设施进行经常性检查，如发现这些防护设施不够完善或失灵，立即维护、修复。项目应严格遵循所用辐射设备的安全使用年限，避免机械故障造成辐射事故，严禁超期使用。 ③严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如验收监测及年度监测结果表明外墙、防护门缝隙、观察窗、孔洞等处辐射水平偏高时，应立即停机，查明原因，并优化屏蔽设计和施工，未整改到位前，设备不得开机。 ④完善事故应急预案，并每年定期进行一次演练；发现问题，及时进行整改。 ⑤维修人员进入机房前，必须确认射线装置未出束，同时需断开电源，并应携带个人剂量报警仪，调试和维修时须在控制室外设置醒目的警示牌。设备维修应由有维修资格的人员操作，并按其操作规范进行操作。
2	由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因致使放射性药物撒漏，造成意外照射和辐射污染	①制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物撒漏事故的发生。若少量放射性物质洒漏，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。若大量放射性物质洒漏，医院应立即封锁相关场所，并向上级有关部门报告，等待专业人员前来处理。事故处理结束后，使用表面污染检测仪对洒漏放射性液体的区域进行表面污染监测，符合国家相关标准后，结束应急状态。事后及时总结经验，形成纸质报告并存档。

		②辐射工作人员操作时采取相应的防护措施，包括穿戴铅衣、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套盒先留置注射器留置针等。 ③核医学科个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，以及铅橡胶围裙、铅防护眼镜等附加防护用品。工作人员进入监督区必须穿戴放射防护用品，个人剂量仪佩戴于铅橡胶围裙内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅橡胶围裙、戴口罩、手套，必要时戴防护眼镜。尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。为患者注射放射性药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应使用注射器屏蔽装置。科主任负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。
3	由于未锁好核医学科进出口的大门或取用药物后未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射性药剂、放射源丢失或给药后患者擅自离开控制区，可能对公众和周围环境造成辐射污染	①制定和完善放射性核素、放射源安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。专用贮存间设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。 ②加强对给药患者的管理，对出院的患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公众场所活动，并避免与家人近距离密切接触。
4	医院未管理好给药后患者，患者给药后随意进出核医学科区域，对周边候诊公众及家属造成辐射影响；患者家属误入核医学科注射后候诊区等高活区，造成意外照射	①加强对给药患者的管理，在不影响诊断和治疗的情况下，限制其服药量，限制患者出院时的放射性药物携带量，并对出院的患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公众场所活动，并避免与家人近距离密切接触。 ②为防止无关人员进入控制区，诊断场所控制区走廊入口的防护门、检查出口门设置为带门禁系统的单向门，实现“入口受检者只入不出、出口受检者只出不入”，保证控制区内受检者的单向流动，避免无关人员进入控制区；并且在控制区走廊出入口的防护门处设置固定式辐射监测报警仪，当有给药后人员从该门进入非活性区时，报警仪会发出警示提示音。

11.3.5DSA手术项目工作场所辐射事故影响分析

本项目介入手术项目射线装置的安装、检修由设备厂家负责，医院只负责日常安全使用及管理。由于设备自身的屏蔽措施以及设备固有的安全联锁装置，设备在正常使用的情况下发生事故的极小，可能发生的辐射事故及防范措施见表 11.3-3。

表 11.3-4 本项目 DSA 手术项目辐射事故及防范措施一览表

序号	可能发生的辐射事故	拟采取的防范措施
1	装置在运行时，由于门灯连锁系统失效，人员误入或滞留在机房内，造成误照射	①成立放射（辐射）防护安全管理委员会，并制定放射诊疗管理相关制度与预案，拟定工作计划组织实施；对全院辐射安全管理工作进行监督、检查，定期对放射诊疗安全事件进行演练，针对演练不足进行持续改进。 ②制定经常性自检制度，对门-灯关联、监视器、工作状态指示灯、电离辐射警告标志灯等防护设施进行经常性检查，如发现这些防护设施不够完善或失灵，立即维护、修复。 ③制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少意外照射事故的发生。 ④医务人员必须严格按照 X 射线装置操作程序进行诊断，确定机房内工作人员及患者家属均离开机房后方可开机，以避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射。 ⑤医护人员进行介入手术前，一定要穿好铅橡胶围裙，戴铅眼镜，佩戴个人剂量计后方可进行手术作业。
2	工作人员或患者家属还未全部撤离治疗机房，控制室人员启动设备，造成滞留人员误照射。	⑥项目应严格遵循所用辐射设备的安全使用年限，避免机械故障造成辐射事故，严禁超期使用。 ⑦严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如验收监测及年度监测结果表明外墙、防护门缝隙、观察窗、孔洞等处辐射水平偏高时，应立即停机，查明原因，并优化屏蔽设计和施工，未整改到位前，设备不得开机。
3	X 射线装置工作状态下，没有关闭防护门对人员造成误照射	⑧完善事故应急预案，并每年定期进行一次演练；发现问题，及时进行整改。 ⑨维修人员进入机房前，必须确认射线装置未出束，同时需断开电源，并应携带个人剂量报警仪，调试和维修时须在控制室外设置醒目的警示牌。设备维修应由有维修资格的人员操作，并按其操作规范进行操作。

11.3.6 事故应急

发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取应急措施，并在两小时内填写初始报告，向生态环境主管部门报告。若造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。一旦发生辐射事故，应第一时间断开电源，停止 X 射线的产生，如为核素泄漏事故，应立即停止核素操作；及时检查、估算受照人员的受照剂量，根据估算结果，必要时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、有计划的进行处理，可缩小事故影响，减少事故损失；事故处理后应整理资料，及时总结报告。医院对于辐射事故进行记录：包括事故发生的时间和地点，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。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条及《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关规定，医院应制定辐射事故应急预案，应针对本

项目建设内容对放射（辐射）事故应急预案进行更新修订，并在以后辐射工作开展过程中定期进行演练，及时整改。

结合本项目核医学科放射性药物洒落、人员体表污染等潜在事故类型，依据《核医学科放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 K 配置必要的应急装备、器材，主要包括下列物品：主要包括下列物品：一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂 and 硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。

医院在落实本次环评提出的环境事故风险防范措施，并落实辐射事故应急预案中提出的各项应急措施和设施的前提下，本项目辐射事故影响可控制在可接受水平内。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境管理机构的设置

12.1.1 机构设置

本项目涉及使用乙级非密封放射性物质工作场所（参照Ⅱ类放射源管理）、Ⅴ类放射源、Ⅱ类和Ⅲ类射线装置，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条第一款：使用Ⅱ类放射源，使用Ⅱ类射线装置的应当设有专门的辐射防护管理委员会，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；其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。

医院已成立辐射安全管理领导小组（见附件 5），全面负责医院的辐射安全管理工作及相关工作，并明确了小组成员组成及相关职责。该管理机构的组成基本涵盖了射线装置的管理与使用部门，针对本项目新增核医学科，领导小组需将核医学科放射性药物、储源室安保、放射性废物、核素操作台账等相关管理纳入领导小组管理职责范畴，落实核医学各岗位的监督检查工作。故医院修改后的辐射安全与环境保护管理机构的配备能够满足本项目环境保护管理工作的要求，若辐射工作管理领导小组成员发生变动，医院应及时更新、调整管理机构的人员组成。

12.1.2 辐射人员管理

1、职业健康检查

辐射工作人员上岗前，应当进行上岗前的职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作。上岗后辐射工作人员应定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不超过 2 年，必要时可增加临时性检查。辐射工作人员脱离放射工作岗位时，放射工作单位应当对其进行离岗前的职业健康检查。

医院原有辐射工作人员均已定期进行职业健康检查，已建立职业健康档案，符合要求，医院应建立本项目新增的辐射工作人员职业健康档案，新增辐射工作人员应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，每一年或两年委托有相关资质的单位对现有辐射工作人员进行职业健康检查。

2、辐射工作人员培训

根据生态环境部《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（2019 年，第 57 号）自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的

辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核。

另根据《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》（浙环函〔2019〕248号），各单位对辐射工作人员的辐射安全与防护培训或放射诊疗培训互相认可。

本项目辐射工作人员拟从现有放射科辐射工作人员调岗或新聘，医院应按相关要求组织其参加相应类别的核技术利用辐射安全与防护考核，培训合格后上岗，按时接受再培训，建立成绩档案。

3、个人剂量检测

本项目辐射工作人员均应配备个人剂量计，并按期（一般为1个月，最长不超过3个月）委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案。

本项目辐射工作人员的职业健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量监测档案三个文件上的人员信息应统一；个人剂量档案应当终生保存。医院应设专人进行环保档案的整理、存档，项目环保档案应包括：项目环境影响评价资料、相关环保会议纪要、辐射安全许可证申请资料、项目竣工环境保护验收资料、日常监测资料（或台账）、辐射工作人员培训资料、体检报告、个人剂量检测报告及相关调查资料。以上资料按年度进行整理、规范化保存，发现问题及时上报、解决，以满足生态环境主管部门档案检查的要求。

12.1.3年度评估报告

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用放射性同位素的单位，应当对本单位放射性同位素和射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前上传至核技术利用平台上一年度的评估报告。医院年度评估报告包括：放射性同位素与射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容。

医院已按要求进行了辐射安全与防护状况评估，编制了《辐射安全和防护状况年度评估报告》，并上传至核技术利用平台。本项目运行后，医院应将本项目纳入原有评估体系。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置

安全许可管理办法》等法律法规要求，使用放射性同位素、射线装置的单位，应有“健全的操作规程、岗位职责、辐射防护与安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，还应有完善的辐射应急措施”。

为了保护辐射工作人员、公众及环境的安全，促进辐射实践的正当性和辐射防护的最优化，规范工作人员的操作规程，根据相关法律、法规、规范的要求，医院已制定了辐射安全与防护管理制度、操作规程、岗位职责、设备检修维护制度、辐射防护和安全保卫制度、突发辐射事故应急预案等管理规章制度，本项目为新建核医学科，新增乙级非密封放射性物质工作场所，辐射活动种类发生增加，需重新申领辐射安全许可证。医院应认真落实各项规章制度，并根据本项目特点，对已制定的相关规章制度进行更新和完善，建议根据项目运行的具体情况完善修订辐射防护和安全保卫制度，补充核医学专项管理要求。

医院在完善原有辐射防护管理制度后，应将制定的所有规章制度中关于操作规程、辐射工作人员岗位职责和应急响应程序等内容张贴上墙，各辐射工作场所日常工作中严格按照各种制度执行，防止辐射事故的发生。

医院应对相关资料进行分类归档，根据环境影响评价文件、竣工环境保护验收文件、单位辐射工作文件、辐射安全许可证、年度评估报告、辐射安全和防护管理制度、工作人员辐射防护等文件要求建立不同类别的档案，并安排专人对核技术利用项目环保相关文件及档案进行管理。

12.3 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，项目单位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。

12.3.1 监测仪器和防护设备

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使用放射性同位素、射线装置的单位应该配置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、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪。根据以上要求，建议本项目辐射工作场所辐射仪器配置情况详见表 12.3-1。

表 12.3-1 本项目辐射工作场所辐射监测仪器拟配置情况

工作场所	监测仪器	配置情况说明
核医学科	表面污染监测仪	配置 1 台
	个人剂量报警仪	配置 6 台
	便携式 X- γ 射线巡测仪	配置 1 台
DSA 机房	便携式 X- γ 射线巡测仪	依托原有

本项目运行期间主要污染物为 X- γ 射线、 β 表面污染等，根据项目特点，医院拟配置的监测仪器符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对监测仪器的配置要求。

12.3.2 监测计划

1、年度监测

继续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《辐射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、日常自行监测

医院应定期自行开展辐射监测，制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案。日常工作中，每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测），需使用表面污染监测仪对本项目辐射工作场所放射性污染情况进行监测，工作人员离开辐射工作场所时，需监测手、皮肤暴露部分以及工作服、手套、鞋、帽等的污染水平，这部分日常监测工作由本项目辐射工作人员自行完成。此外，本项目辐射工作场所应采用辐射监测仪进行定期监测，频次不少于 1 次/月，以确保屏蔽防护性能的良好。

3、验收监测

本项目建成、设备调试正常后，医院需委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，厨具验收监测报告。

4、监测内容和要求

监测依据：《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）。

监测内容：X- γ 辐射周围剂量当量率、 β 表面污染、放射性废水、放射性固废、个人剂量当量。

监测布点及数据管理：监测布点应参考环评提出的监测计划或验收监测布点方

案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

监测范围：控制区和监督区域及周围环境。

表 12.3-2 辐射工作场所监测计划建议

工作场所	监测内容	监测点位	监测周期	
			自行监测	委托监测
核医学科	β 表面放射性污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	1 次/年
	X- γ 辐射周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	1 次/月	1 次/年
	放射性废水总 β^*	衰变池排放口	/	排放前（首次排放委托有资质的单位监测，后续排放做好记录，每年根据排放计划委托一次年度监测）
	放射性固废	废弃物间（建议每袋废物表面剂量率处于本底水平）	每次排放前	1 次/年
DSA 机房	X- γ 辐射周围剂量当量率	防护门外、门缝、观察窗、控制室操作位、各侧屏蔽墙外 30cm 处、顶棚 100cm 处、楼下 170cm 处及周围需要关注的监督区	1 次/季度	1 次/年
个人剂量监测	个人剂量当量	每个辐射工作人员配备的个人剂量计	/	至少 1 次/3 个月
*注： ^{99m}Tc 和 ^{18}F 半衰期短，监测内容用放射性废水总 β 、总 α 替代。				

5、放射性废水排放

本项目核医学科产生放射性废水的核素最大半衰期均小于 24 小时，因此核医学科衰变池组内放射性废水需暂存超过 30 天后可排入医院污水处理系统，进一步处理后排入市政污水管网。

医院应建立放射性废水排放台账，排放时在台账上详细记录废水监测结果、排放废水量、废水暂存起始日期，处置人员和处置日期等信息，并存档备查。

6、放射性废物处置

放射性废物应分类收集在废物桶专用的塑料袋，每袋废物表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。废物袋必须标有废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等说明，废物包装体外表面的污染控制水平满足 $\alpha < 0.08\text{Bq/cm}^2$ ， $\beta < 0.8\text{Bq/cm}^2$ 。装满后及时转送至废物暂存间的衰变箱内贮存，含核素 ^{18}F 和 ^{99m}Tc 的固体

放射性废物暂存时间超过 30 天。经监测符合清洁解控水平后，作为一般医疗废物委托有资质单位处置。

医院应建立固废排放台账，每次固废排放应详细记录固废排放量、固废种类、核素种类、监测数据、贮存时间等参数，并存档备查。

12.3.3 竣工环境保护验收

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号）及《建设项目竣工环境保护设施验收技术规范 核技术利用》（HJ1326-2023），建设单位是建设项目环境保护验收的责任主体，本项目竣工后，建设单位应按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，验收报告分为验收监测（调查）报告、验收意见和其他需要说明的事项等三项内容。

建设单位应如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收监测（调查）报告。建设单位不具备编制验收监测（调查）报告能力的，可以委托有能力的技术机构编制。验收监测（调查）报告编制完成后，建设单位应当根据验收监测（调查）报告结论，逐一检查是否存在验收不合格的情形，提出验收意见。存在问题的，建设单位应当进行整改，整改完成后方可提出验收意见。为提高验收的有效性，在提出验收意见的过程中，建设单位可以组织成立验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式，协助开展验收工作。验收工作组可以由设计单位、施工单位、环境影响报告书（表）编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等组成，代表范围和人数自定。环保设施的验收期限一般不超过 3 个月；需要对环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限最长不超过 12 个月。

12.4 辐射事故应急

12.4.1 辐射事故应急预案

根据国务院令 第 449 号《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条对辐射事故应急预案内容的要求，辐射事故应急预案应当包括下列内容：

- 1、应急机构和职责分工；
- 2、应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- 3、辐射事故分级与应急响应措施；

4、辐射事故的调查、报告和处理程序。

医院已制定有《放射（辐射）事故应急预案》（见附件6），成立了辐射事故应急工作领导小组。结合本项目为新建核医学场所、使用非密封放射性物质的实际情况，现有应急预案缺少核医学特有事故场景处置内容，需补充应急培训计划、应急装备与物资清单，完善放射性药物洒落、场所及人员表面污染、误给药等核医学突发事件的处置流程。医院应当在今后预案实施过程中，根据国家新发布的相关法规内容，结合医院实际及时对预案进行补充修改，使之更能符合实际需要。

12.4.2 辐射事故上报的要求

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况的，应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》等要求，向生态环境主管部门报告。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并根据要求在2h内填写《辐射事故初始报告表》，向生态环境主管部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生部门报告。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

嵊州市人民医院（浙江大学医学院附属第一医院嵊州分院）新增核医学科及 DSA 迁建项目拟在嵊州市人民医院 16 号楼一层建设核医学科，拟购置 1 台 PET/CT（配置 1 枚 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ 的 ^{68}Ge 校准源和 1 枚 $5.55 \times 10^7 \text{Bq}$ 的 ^{68}Ge 校准源；最大管电压为 140kV，最大管电流为 1000mA），并使用核素 ^{18}F 进行显像诊断；拟购置 1 台 SPECT/CT（最大管电压为 140kV，最大管电流为 1000mA），并使用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行显像诊断，本项目建成后，核医学科场所非密封放射性物质日等效最大操作量为 $4.63 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。同时拟将东南侧急诊楼三层 OR23 手术室改造为 DSA 机房，在机房内安装使用 1 台 DSA 装置，用于介入治疗和影像诊断，设备为搬迁，型号为 Azurion7M20，属于 II 类射线装置。

13.1.2 辐射安全与防护分析结论

1、辐射安全防护措施结论

本项目核医学科辐射工作场所设计了满足防护要求的实体屏蔽，能够有效屏蔽 X 射线和 γ 射线等的辐射影响。核医学科注射室拟配备手套箱、放射药物专用注射窗，放射性核素操作人员拟配备铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品；核医学科工作场所拟设置电离辐射警告标识、工作状态指示灯、对讲及监控设施，配有表面污染仪、个人剂量报警仪等监测设备；设置有满足要求的并联衰变池组、放射性固废收集铅桶、放射性废气专用排风管线及活性炭吸附装置。本项目核医学科各工作场所拟采取屏蔽防护设计、室内表面及装备结构设计均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的相关要求。

DSA 机房四侧墙体采用方钢龙骨+铅板进行屏蔽，顶棚及地坪采用混凝土+硫酸钡防护涂料进行屏蔽，各防护门均采用铅防护门，观察窗为铅玻璃，并配有个人防护用品，其屏蔽要求及个人防护用品配置均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

在满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护，减少不必要的照射，根据理论估算分析结果，本项目拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防

护要求。

2、辐射安全管理结论

医院已成立辐射安全与环境防护管理小组，全面负责医院的辐射安全管理工作及相关工作；本项目实施后，医院应将本项目核医学科和 DSA 机房的负责人纳入现有放射防护安排领导小组中。若辐射安全与环境防护管理小组成员发生变动，医院应及时更新、调整管理机构的人员组成。医院已对辐射工作人员进行了职业健康监护和个人剂量监测，并建立了个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

13.1.3 环境影响分析结论

1、辐射影响分析结论

根据本报告表 11 章节对本次核技术利用项目运行过程中，对周边环境及人员的辐射影响分析可知，在正常工况下，本项目核医学科场所和 DSA 机房周围辐射剂量率水平满足相关标准的要求。在运行过程中对辐射工作人员和周围环境中的公众辐射影响均能满足本报告提出的剂量约束值的要求，即工作人员受照剂量不超过 5mSv/a，公众受照剂量不超过 0.1mSv/a，同时满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关标准要求。

2、核医学科“三废”影响分析

本项目核医学科设置有衰变池组，在衰变池暂存时间满足要求后（放射性废水经贮存超过 30 天）排放至医院污水处理站，处理达标后纳入市政污水管网，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中对放射性废水的处理要求，不会对周围环境产生污染。

本项目核医学科废气排放口产生的废活性炭以及核医学科产生的其他受放射性污染的废物作为放射性固体废物。放射性固体废物采用专门的脚踏式铅桶收集后在废物间暂存，在废物间储存时间满足要求后（含核素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的固体放射性废物暂存时间超过 30 天），经监测满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求后，作为医疗废物处置，不会对周围环境产生污染。

本项目核医学科工作场所产生的放射性废气经各单独密闭管道引至 16 号楼楼顶，并高出屋脊排放，排风井由混凝土浇筑。能有效屏蔽放射性废气对其余楼层公众的辐射影响。各排风管道内保持负压，拟安装防回流装置，排风口均设活性炭吸附装置，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）的相关要求，对周围

环境影响较小。

4、DSA 机房“三废”影响分析

DSA 在曝光过程中产生的少量臭氧和氮氧化物经动力通风装置排入大气环境后，经自然分解，对周围环境影响较小。

13.1.4 可行性分析结论

1、产业政策符合性分析结论

本项目属于核技术在医学领域内的运用，根据国家发展和改革委员会制订的《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，项目新增核医学科、放疗科属于**第一类鼓励类**中第三十七项“卫生健康”中第一条“医疗服务设施建设：预防保健、卫生应急、卫生监督服务设施建设，**医疗卫生服务设施建设.....**”项目；新增 DSA 装置属于**第一类 鼓励类**中第十三项“医药”中第四条“高端医疗器械创新发展：新型基因、蛋白和细胞诊断设备，新型医用诊断设备和试剂，**高性能医学影像设备.....**”项目。因此，本项目的建设符合国家现行产业政策。

2、实践正当性分析结论

本项目建设的根本目的在于开展放射诊疗工作、治病救人，实践过程中采取了可能的辐射防护措施，经预测分析，本项目运行后，在给患者带来利益的同时，引起的对工作人员和公众人员的照射剂量满足国家辐射防护安全标准的要求，同时满足根据最优化原则设置的项目管理约束值的要求，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践的正当性”要求。

3、选址合理性分析结论

本项目核医学科位于嵊州市人民医院 16 号楼一层，DSA 机房位于嵊州市人民医院急诊楼三层拟建 DSA 机房内，项目所在地属于医院用地。本项目核医学工作场所不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，经现场调查，核医学科正上方为康复医学科病房，核医学科已对顶棚实施有效辐射屏蔽，保障楼上康复病房辐射水平满足公众剂量约束；衰变池东侧为项目自身核医学内部工作场所；核医学出口仅为本项目受检者短时通行；各点位不存在产科、儿科、食堂，其余流动人员均为短时过路，无无关公众长期聚集。综上，本项目核医学科选址可满足标准相关要求。

本项目核医学科选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）关于核医学工作场所选址的相关要求，

本项目核医学科和 DSA 机房实体屏蔽边界外 50m 评价范围包括医院内部建筑物和道路以及澄昌路、杨港路和芷湘路部分区域，不涉及其他环境敏感区域。项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众的辐射影响是可接受的，因此项目选址合理。

4、嵊州市生态环境分区管控动态更新方案符合性分析结论

根据《嵊州市人民政府关于印发<嵊州市生态环境分区管控动态更新方案>的通知》（嵊政〔2024〕73 号），本项目所在地属于“浙江省绍兴市嵊州市鹿山-三江-剡湖城镇生活重点管控单元（生态环境管控单元编码：ZH33068320011）”。本项目为医院核技术利用项目，不涉及生态保护红线、不会突破环境质量底线和资源利用上线、符合准入清单内管控措施要求。因此，本项目符合嵊州市生态环境分区管控动态更新方案的要求。

6、项目可行性

综上所述，嵊州市人民医院（浙江大学医学院附属第一医院嵊州分院）新增核医学科及 DSA 迁建项目的选址符合国家相关法律法规，总平面布局合理可行。医院在落实本报告提出的各项污染防治措施后，其辐射工作场所辐射安全防护措施及安全管理措施满足从事相应辐射活动的要求，辐射工作人员和公众年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，营运期对周围环境产生的辐射影响在可接受范围内，因此本项目运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射安全和环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.2 建议与承诺

13.2.1 建议

医院应加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施自觉性，杜绝放射性事故的发生。

13.2.2 承诺

①医院承诺严格按照本次报批核技术利用项目类型和范围进行建设，若发生变动，将按要求办理相关环保手续。

②医院承诺严格按照本报告的屏蔽防护设计方案、辐射安全措施、辐射安全设施及装置、“三废”治理装置及措施等辐射环保内容进行建设。

③医院承诺加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用具的使用。严格按照本报告提出的要求进行辐射工作人员的培训、个人剂量监测、健康检查，并按要求建立保管辐射工作人员档案。

④医院承诺制定完善各项辐射安全管理制度和辐射事故应急预案，并监督执行各项制度。按照应急预案处理和上报辐射事故。

⑤医院承诺严格执行辐射监测计划，发现问题及时整改。

⑥医院承诺在本次环评报告取得批复后及时申领辐射安全许可证；及时组织开展项目工程竣工环境保护验收，编制验收报告，经验收合格后方可正式投入运行。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：	
公章	
经办人	年 月 日

审批意见：	
公章	
经办人	年 月 日