

核技术利用建设项目  
福建医科大学附属第二医院东海院区  
核技术利用改扩建项目  
环境影响报告表  
(公示稿)

福建医科大学附属第二医院  
二〇二六年五月



核技术利用建设项目

福建医科大学附属第二医院东海院区

核技术利用改扩建项目

环境影响报告表

建设单位名称：福建医科大学附属第二医院

通讯地址：福建省泉州市中山北路 34 号

# 目录

表 1	项目基本情况 .....	1
表 2	放射源 .....	26
表 3	非密封放射性物质 .....	26
表 4	射线装置 .....	27
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物） .....	28
表 6	评价依据 .....	30
表 7	保护目标与评价标准 .....	33
表 8	环境质量和辐射现状 .....	66
表 9	项目工程分析与源项 .....	76
表 10	辐射安全与防护 .....	103
表 11	环境影响分析 .....	141
表 12	辐射安全管理 .....	184
表 13	结论与建议 .....	194
表 14	审批 .....	199

## 表 1 项目基本情况

建设项目名称	福建医科大学附属第二医院东海院区核技术利用改扩建项目				
建设单位	福建医科大学附属第二医院				
联系人	****	联系电话	*****		
注册地址	福建省泉州市中山北路 34 号				
项目建设地点	福建医科大学附属第二医院东海院区门诊楼三层				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)	1500	项目环保投资 (万元)	300	投资比例	20%
项目性质	<input type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积 (平方米)	1075
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input checked="" type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类		
	其他				

### 1.1 建设单位情况

福建医科大学附属第二医院始建于 1881 年，原名“惠世医院”，为英国教会医院。1973 年隶属福建医科大学，成为附属第二医院。医院作为福建省首批三级甲等综合医院之一，不仅是福建省主要的医疗、教学、科研、毕业后教育基地之一，而且为博士、硕士研究生学位授权点单位、国家级博士后科研工作站。医院现为福建省南部区域医疗中心领衔医院、福建省呼吸医学中心建设依托医院，在全国三级公立医院绩效考核评价中连续两年进入全国前 10%，等级 A+。医院于 2020 年荣获第六届“全国

文明单位”荣誉称号。

福建医科大学附属第二医院（后文简称“医院”）设鲤城和东海两个院区，鲤城院区位于鲤城区中山北路 34 号，占地 24.57 亩；东海院区位于泉州市丰泽区东海大街 950 号，占地 322.6 亩。医院编制床位 2000 张，年门急诊量 150 万人次，住院量 8.5 万人次，年手术量近 7 万台次，其中年住院手术近 5 万台次。医院现有职工近 3000 人，其中正、副高职称 450 余人，博、硕士 600 余人，医师中具有博士、硕士研究生学历的占总数 70%左右，博士生导师 13 人，硕士生导师 119 人，教授、副教授 124 人。医院是海峡两岸医药卫生交流协会海西介入呼吸病学专业委员会、中国残疾人康复协会康复工程与辅助技术专业委员会视障辅助技术专业学组挂靠单位。

## 1.2 项目由来与建设内容

### 1.2.1 项目由来

福建医科大学附属第二医院东海院区（后文简称“东海院区”）于 2009 年启动建设，2013 年 4 月医院委托福建省辐射环境监督站编制完成《福建医科大学附属第二医院东海分院核技术利用项目环境影响报告表》，同年 7 月 23 日取得原福建省环境保护厅批复该项目环境影响报告表的函（闽环辐评〔2013〕25 号），批复建设内容包含：

（1）使用 1 台后装治疗机（Ir-192 密封源 1 枚，为Ⅲ类放射源）和 3 台直线加速器（最高加速电压为 18MV，输出剂量率 6Gy/min，为Ⅱ类射线装置）；

（2）在医院医技楼一层新建核医学科，为乙级非密封放射性物质工作场所，使用 1 台 PET/CT 和 1 台 SPECT/CT（均为Ⅲ类射线装置），核医学科使用核素 Tc-99m、I-131、F-18、Sr-89、I-125、Sm-153、P-32；

（3）在医院医技楼二层使用 2 台 DSA（为Ⅱ类射线装置）；

（4）在医院内使用 20 台 X 光机（为Ⅲ类射线装置）。

东海院区自 2015 年建成后全面开展核技术利用活动，陆续开展介入、放疗、放射诊断等诊疗活动，批复的建设内容中实际建设后装治疗室使用 1 台后装治疗机（Ir-192 密封源 1 枚，为Ⅲ类放射源）；加速器机房①使用 1 台直线加速器（最高加速电压为 10MV，为Ⅱ类射线装置）；在医院医技楼三层使用 1 台 DSA（为Ⅱ类射线装置）；9 台 X 光机（为Ⅲ类射线装置）。上述已建核技术利用项目于 2021 年 5 月

完成竣工环境保护验收工作，在“全国建设项目竣工环境保护验收信息系统”上备案后，使用至今。其余加速器②③室完成机房混凝土墙体建设，加速器②室进入装修阶段，核医学科整体未建设，DSA（2）完成机房建设及设备安装。

2021年为分担鲤城院区的诊疗工作，医院在东海院区门诊楼三层新建核医学科，设置1台PET/CT（为III类射线装置），配套使用非密封放射性物质F-18（日等效最大操作量 $1.11E+07Bq$ ）用于放射诊断工作，属于丙级工作场所，该项目于2022年1月6日取得福建省生态环境厅的批复（闽环辐评〔2022〕1号），2023年6月完成竣工环境保护验收工作，在“全国建设项目竣工环境保护验收信息系统”上备案后，使用至今。

随着医疗需求的不断增长，为保障泉州市及其周边地区的医疗服务，提高医院服务质量及服务水平，医院拟在东海院区改扩建核医学科、新增1台DSA和1台医用直线加速器。

由于本次拟使用的1台联影uLinac EternaTx型医用直线加速器，较原环评加速器②室批复的医科达Synergy VMAT三光子影像引导旋转弧度调强加速器输出剂量率增加50%以上，对照《核技术利用建设项目重大变动清单》属于重大变动，因此纳入本次环评重新评价，本次环评工作内容情况见表1.2.1。

## 1.2.2 建设内容

本项目具体建设内容如下：

（1）在门诊楼三层扩建核医学科，新增1台SPECT/CT（为III类射线装置），配套使用核素Tc-99m、Ga-68、P-32、Sr-89、Ac-225、Ra-223、I-131和Lu-177；利用Sr-90/Y-90放射源进行敷贴治疗，扩建后该核医学科提升为乙级非密封放射性物质工作场所。

（2）在门诊楼三层新建导管室DSA（3），新增1台DSA（为II类射线装置），最大管电压125kV，最大管电流1000mA。

（3）在门诊楼三层建设加速器②室，新增1台联影uLinac EternaTx型医用直线加速器（为II类射线装置），最高加速电压为6MV，输出剂量率14Gy/min。

主要对各工作场所增加防护涂料或铅板、加装铅防护门、铅观察窗等防护措施，使之满足辐射工作场所的屏蔽防护需求。本项目新增放射源、非密封放射性物质和射线装置使用情况见表1.2.2~表1.2.4。

表 1.2.2 本项目环评内容一览表

序号	年份	环评批复建设内容	实际建设内容	竣工环境保护验收内容	本次环评内容	判断依据	备注
1		使用 1 台后装治疗机（包含 Ir-192 密封源 1 枚，为 III 类放射源）	后装治疗室使用 1 台后装治疗机（包含 Ir-192 密封源 1 枚，为 III 类放射源）	后装治疗室使用 1 台后装治疗机（包含 Ir-192 密封源 1 枚，为 III 类放射源）	/	/	/
2	2013 年报告表	加速器①室使用 1 台直线加速器，最高加速电压为 18MV，输出剂量率 6Gy/min	加速器①室使用 1 台直线加速器，最高加速电压为 10MV，为 II 类射线装置	加速器①室使用 1 台直线加速器，最高加速电压为 10MV，为 II 类射线装置	/	/	/
		加速器②室使用 1 台直线加速器，最高加速电压为 18MV，输出剂量率 6Gy/min	加速器②室 2013 年已动工，现尚未建设完成	/	加速器②室使用 1 台直线加速器，最高加速电压为 6MV，输出剂量率 14Gy/min，为 II 类射线装置	加速器②室射线装置输出剂量率增大 50% 以上，属于重大变动	/
		加速器③室使用 1 台直线加速器，最高加速电压为 18MV，输出剂量率 6Gy/min	加速器③室 2013 年已动工，现尚未建设完成，计划暂缓建设	/	/	/	/
3	2013 年报告表	在医院医技楼一层新建核医学科，为乙级非密封放射性物质工作场所，使用 1 台 PET/CT 和 1 台 SPECT/CT（均为 III 类射线装置），核医学科使用核素 Tc-99m、I-131、F-18、Sr-89、I-125、Sm-153、P-32。	未建设	/	/	/	/
4		在医院医技楼二层使用 2 台 DSA（为 II 类射线装置）	在医院医技楼三层导管室 DSA（1）使用 1 台 DSA，最大管电压 120kV，最大管电流 1000mA，为 II 类射线装置	在医院医技楼三层导管室 DSA（1）使用 1 台 DSA，最大管电压 120kV，最大管电流 1000mA，为 II 类射线装置	/	/	由于东海院区建成后楼层命名方式调整，环评阶段“医技楼二层”实为建设验收阶段“医技楼三层”
			在医院医技楼三层导管室 DSA（2）已建成，正在安装 1 台 DSA，最大管电压 120kV，最大管电流 1000mA，为 II 类射线装置	待建成后验收	/	导管室 DSA（2）射线装置参数变化，但额定功率不变，不属于重大变动	
5		在医院内使用 20 台 X 光机（为 III 类射线装置）	在医院内使用 9 台 X 光机（为 III 类射线装置）	在医院内使用 9 台 X 光机（为 III 类射线装置）	/	/	/
6	2021 年报告表	在门诊医技楼三层建设核医学科，设置 1 台 PET/CT（为 III 类射线装置），配套使用非密封放射性物质 F-18，属于丙级工作场所。	在门诊医技楼三层建设核医学科，设置 1 台 PET/CT（为 III 类射线装置），配套使用非密封放射性物质 F-18，属于丙级工作场所。	在门诊医技楼三层建设核医学科，设置 1 台 PET/CT（为 III 类射线装置），配套使用非密封放射性物质 F-18，属于丙级工作场所。	在门诊楼三层扩建核医学科，新增 1 台 SPECT/CT（为 III 类射线装置）；配套使用核 Tc-99m、Ga-68、P-32、Sr-89、Ac-225、Ra-223、I-131 和 Lu-177；利用 Sr-90/Y-90 放射源进行敷贴治疗	扩建	/
7	2025 年登记表	在医院门诊楼三层介入科手术室（3）使用移动式 C 型臂（为 III 类射线装置）	2025 年 9 月已完成装修改造，未安装移动 C 臂机	/	在医院门诊楼三层导管室 DSA（3）（原介入科手术室 3）新增 1 台 DSA，最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA，为 II 类射线装置	改建	/

注：各阶段环保手续文件中“医技楼”“门诊医技楼”，按现行命名方式，统一为“门诊楼”

**表 1.2.2 本项目放射源利用情况一览表**

序号	核素名称	单枚活度 (Bq)	数量 (枚)	类别	用途	使用场所	贮存方式与地点
1	Sr-90/Y-90	7.40E+08Bq	1	V	敷贴器	门诊楼三层核医学科 Sr-90 敷贴室	存放于 Sr-90 敷贴室储源间

**表 1.2.3 本项目非密封放射性物质利用情况**

序号	核素名称	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	使用场所	贮存方式与地点
1	Tc-99m	1.67E+10	1.67E+07	4.16E+12	放射性药物诊断	核医学科	暂存于分装室1的手套箱内
2	Ga-68	9.25E+08	9.25E+05	2.33E+11	放射性药物诊断		
3	P-32	1.85E+09	1.85E+08	3.70E+11	放射性药物治疗		
4	Sr-89	1.48E+08	1.48E+07	2.96E+10	放射性药物治疗		
5	Ac-225	4.51E+07	4.51E+08	9.03E+09	放射性药物治疗		
6	Ra-223	4.07E+06	4.07E+07	8.14E+08	放射性药物治疗		
7	I-131	3.70E+08	3.70E+07	7.40E+10	放射性药物诊断(甲功)		暂存于分装室2的手套箱内
8	I-131	1.48E+09	1.48E+08	3.70E+11	放射性药物治疗(甲亢)		
9	I-131	2.22E+10	2.22E+09	4.44E+12	放射性药物治疗(甲癌)		
10	Lu-177	7.40E+09	7.40E+08	1.48E+12	放射性药物治疗		

注：合计日等效最大操作量 3.87E+09 包含 F-18 用量 1.11E+7。

**表 1.2.4 本项目新增射线装置情况一览表**

序号	设备名称	数(台)	型号	主要参数	类别	设备位置
1	SPECT/CT	1	Symbia T	最大管电压 130kV 最大管电流 345mA	III类	核医学科 SPECT/CT 机房
2	DSA	1	待定	最大管电压 125kV 最大管电流 1000mA	II类	导管室 DSA 机房 3
3	直线加速器	1	联影 uLinac EternaTx 型	X 射线 ≤6MV FFF 调强模式, 最大剂量率 ≤1400MU/min	II类	放疗科 加速器②室

本项目对现有核医学科、导管室和放疗科进行改造, 新增的 Sr-90/Y-90 属于 V 类放射源、扩建后核医学科提升为乙级非密封放射性物质工作场所、SPECT/CT 属于 III 类射线装置、DSA 和直线加速器属于 II 类射线装置。根据《放射性同位素与射线装置

安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》等国家环境管理相关法律法规的要求，本项目应依法编制环境影响报告表。2025年8月医院委托福建省金皇环保科技有限公司（于2025年12月29日公司名称变更为“福建省金皇环保科技股份有限公司”，详见附件12，以下简称“我公司”）对东海院区核技术利用改扩建项目进行环境影响评价工作。

我公司接受委托后，派技术人员到现场进行调查和资料收集，在完成污染源分析等工作的基础上，结合本项目的特点，依照《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》（HJ 10.1—2016）的相关要求编制完成了《福建医科大学附属第二医院东海院区核技术利用改扩建项目环境影响报告表》。本次环境影响评价重点是对项目在施工和运营过程中可能产生的环境影响进行分析，并在此基础上提出相应的环境保护措施，为生态环境主管部门和建设单位提供环境保护管理的依据。

### 1.3 原有核技术应用项目许可情况

福建医科大学附属第二医院现有辐射安全许可证内容为“使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所”，证书编号为“闽环辐证[00130]”（见附件3）。

医院共有2个院区，共计许可使用4枚放射源，3处非密封放射性物质工作场所，60台射线装置，其中：

（1）鲤城院区：1处乙级非密封放射性物质工作场所，使用27台射线装置（2台Ⅱ类射线装置、25台Ⅲ类射线装置）；

（2）东海院区：使用4枚放射源（1枚Ⅲ类放射源、3枚Ⅴ类放射源），2处非密封放射性物质工作场所（乙级和丙级各1处，其中乙级非密工作场所未建设，后续将结合本次核医学科改扩建调整），使用33台射线装置（3台Ⅱ类射线装置、30台Ⅲ类射线装置）。

医院现有核技术利用项目均已履行环评及竣工环保验收手续，相关情况见表1.3.1~表1.3.3。

**表 1.3.1 医院已许可密封源一览表**

序号	核素名称	类别	总活度(贝可)/活度(贝可)×枚数	使用场所	环评/验收手续
1	Ge-68	V	4.625E+7×2 枚	东海院区核医学	2020年4月24日

2	Ge-68	V	9.25E+7×1 枚	科（三层）	备案号： 202035050300000057
3	Ir-192	III	3.7E+11×1 枚	东海院区门诊三层加速器①室	闽环辐评〔2013〕25号 2021年5月20日 自助验收

**表 1.3.2 医院已许可非密封放射性物质一览表**

序号	核素名称	日等效最大操作量 Bq	年最大用量 Bq	等级	使用场所	环评/验收手续
1	F-18	1.11E+7	2.00E+12	丙级	东海院区核医学科（三层）	闽环辐评〔2022〕1号 2023年6月30日 自助验收
2	F-18	3.50E+8	1.11E+12	乙级	东海院区核医学科（一层）	闽环辐评〔2013〕25号 未建设
3	I-125（粒籽源）	2.50E+6	8.88E+10			
4	I-131	9.85E+8	2.22E+11			
5	P-32	3.00E+5	8.88E+8			
6	Sm-153	1.85E+7	4.60E+10			
7	Sr-89	1.48E+7	1.78E+10			
8	Tc-99m	3.70E+7	1.78E+12			
9	I-131	1.48E+9	3.70E+12			
10	P-32	4.40E+5	1.10E+9			
11	Sr-89	2.96E+6	7.40E+9			
12	Tc-99m	2.22E+7	5.55E+12			

## 1.4 原有核技术应用项目辐射安全管理及防护情况

### （1）辐射防护管理制度

医院成立了以院长为主任的辐射安全与防护管理委员会，制定了《辐射事故应急预案》《辐射安全管理规定》《辐射防护安全管理制度》《辐射防护和安全保卫制度》《射线装置使用登记制度》《辐射工作人员个人剂量管理制度》《辐射工作人员安全与防护培训管理制度》《“三废”处理措施方案》《辐射防护自主监测方案》和《放射诊疗设备使用、检测、维护保养、维修制度》等辐射安全管理制度，严格遵守执行。

### （2）辐射工作人员培训、个人剂量监测和职业健康监护档案情况

截至2026年5月，医院现有辐射工作人员254名，其中122人已取得辐射安全培训成绩合格单，132人通过院内组织的自主培训考核。人员考核情况清单及部分培训成绩报告单见附件6。

表 1.3.3 医院已许可射线装置一览表

序号	装置名称	规格型号	类别	辐射活动场所名称	环评/验收手续	
1	CT	Incisive CT Pwower	III类	东海急诊科 CT 室	2022 年 4 月 18 日 备案号：202235050300000008	
2	移动式 C 形臂 X 射线机	PLX7100A		东海门诊 3 楼消化内镜中心 ERCP 机房	2024 年 6 月 7 日 备案号：202435050300000048	
3	CT	Optima CT620		东海门诊楼二楼 CT 室 1	闽环辐评（2013）25 号 2021 年 5 月 20 日自助验收	
4	CT	Brilliance iCT		东海门诊楼二楼 CT 室 2		
5	数字 X 射线摄影系统	RADspeed Pro 80		东海门诊楼二楼放射科第二拍片室		
6	数字化 X 线摄影系统	DRX-Evolution		东海门诊楼二楼放射科第一拍片室		
7	口腔 CT	i-CAT		东海门诊楼二楼放射科口腔 CBCT 机房	2021 年 4 月 28 日 备案号：202135050300000020	
8	乳腺机	Selenia Dimension s		东海门诊楼二楼放射科乳腺摄片机房	闽环辐评（2013）25 号 2021 年 5 月 20 日自助验收	
9	移动 DR	M40-1A		东海门诊楼四楼急诊	2021 年 4 月 14 日 备案号：202135050300000014	
10	移动式 C 形臂 X 射线机	BV Endura		东海院区 8 号楼住院部三楼杂交手术间 18、手术室 12、手术室 13、手术室 14、 手术室 15、手术室 17	2021 年 2 月 8 日 备案号：202135050300000006	
11	移动式 C 形臂 X 射线机	ARCADIS Orbic			东海院区 8 号住院楼 2 楼呼吸疾病介入诊 疗中心手术室第一间	2021 年 5 月 27 日 备案号：202135050300000026
12	移动式 C 形臂 X 射线机	Cios Fusion				2023 年 5 月 23 日 备案号：202335050300000026
13	移动 C 臂	Brivo OEC 715	III类	东海院区核心病房楼三层 13#手术室	2023 年 8 月 8 日 备案号：202335050300000044	
14	移动式 C 形臂 X 射线机	ARCADIS ORBIC		东海院区核心病房楼三层 15#手术室	2022 年 5 月 30 日 备案号：202235050300000014	
15	移动 C 臂	Ziehm 8000				

序号	装置名称	规格型号	类别	辐射活动场所名称	环评/验收手续
16	数字化血管造影系统	Azurion 7M20	II类	东海院区核心病房楼三层 18#手术室	闽环辐评(2022)32号 2023年6月30日自助验收
17	移动 DR	M32	III类	东海院区核心病房楼十层 65区心血管内科 动使用	2023年5月23日 备案号: 202335050300000026
18	PET/CT	Biographm CT.S		东海院区核医学科(三层)	闽环辐评(2022)1号 2023年6月30日自助验收
19	冲击波治疗机	X5		东海院区门诊大楼三楼超声科碎石机房	2023年5月23日 备案号: 202335050300000026
20	数字化医用 X 线摄影系统 (DR)	DRX-compassX		东海院区门诊二楼放射科 X 光摄片机室 1	2021年7月9日 备案号: 202135050300000041
21	CT	Optima CT 520Pro		东海院区门诊楼二楼发热门诊 CT 机房	2021年8月19日 备案号: 202135050300000058
22	X 摄像影像采集系统	EOS		东海院区门诊楼二楼放射科第八拍片室	2023年8月8日 备案号: 202335050300000045
23	双能 X 射线骨密度仪	Horizon-A		东海院区门诊楼二楼放射科骨密度摄影室	闽环辐评(2013)25号 2021年5月20日自助验收
24	数字化 X 线透视摄影系统	SONIALVISION G4		东海院区门诊楼二楼胃肠造影室	
25	CT 模拟定位机	Brilliance CT Big Bore		东海院区门诊三楼 CT 模拟定位机室	
26	数字化血管造影系统	Innova IGS 540		东海院区门诊三楼 DSA1 室	
27	医用电子直线加速器	Elekta Synergy	II类	东海院区门诊三楼加速器 1 室	
28	移动式摄影 X 射线机	DRX-Revolutio n	III类	东海大街放射科	2021年2月8日 备案号: 202135050300000006
29	移动 DR	DRXR-1		东海大街门诊五楼口腔科	闽环辐评(2013)25号 2021年5月20日自助验收
30	口内 X 射线机	FOCUS		鲤城院区 8#楼一楼发热门诊	2022年4月18日 备案号: 202235050200000008
31	CT	Optima CT 520Pro			

序号	装置名称	规格型号	类别	辐射活动场所名称	环评/验收手续	
32	口腔牙内 X 光机	PLANMECA INTRA	II类	鲤城院区门诊五楼口腔科	2009 年环评审批意见 2012 年 1 月环保验收意见	
33	体外冲击波碎石机	HK ESWL- Vi		鲤城院区心血管一楼碎石机室		
34	SPECT/CT	Symbia T		鲤城院区核医学科	2020 年 9 月 9 日 备案号：202035050200000210	
35	移动 DR	MUX-100DJ		鲤城院区儿科		
36	移动式 C 形臂 X 射线系统	Brivo OEC 850		鲤城院区高维珊楼五楼手术室 4	2009 年环评审批意见 2012 年 1 月环保验收意见	
37	移动式 C 形臂 X 射线机	Ziehm 8000			2024 年 6 月 7 日 备案号：202435050200000016	
38	移动式 C 形臂 X 射线机	SIREMOBIL Compact L		鲤城院区高维珊楼五楼手术室第二间	2009 年环评审批意见 2012 年 1 月环保验收意见	
39	移动式 C 形臂 X 射线机	Cios Select Plus		鲤城院区高维珊五楼手术室 1	2023 年 5 月 23 日 备案号：202335050200000009	
40	高频移动 X 射线摄影机	PLX101D	III类	鲤城院区呼吸与重症医学科	2020 年 9 月 9 日 备案号：202035050200000210	
41	移动 DR	M32		鲤城院区呼吸与重症医学科	2023 年 5 月 23 日 备案号：202335050200000009	
42	高频移动 X 射线摄影机	PLX101D		鲤城院区急诊科	2020 年 9 月 9 日 备案号：202035050200000210	
43	数字化 X 线摄影机	DRX NOVA		鲤城院区体检中心一楼放射科		
44	双能 X 射线骨密度仪	EXA-3000		鲤城院区体检中心一楼局部骨密度机房	2021 年 10 月 11 日 备案号：202135050200000024	
45	高频移动 X 射线摄影机	PLX101D		鲤城院区心血管楼	2020 年 9 月 9 日 备案号：202035050200000210	
46	数字化血管造影系统	Allura Xper FD20		II类	鲤城院区医技楼二楼 1 导管室	2009 年环评审批意见 2012 年 1 月环保验收意见
47	数字化血管造影系统	Innova 3100-IQ			鲤城院区医技楼二楼 2 导管室	闽环辐评（2020）43 号 2021 年 4 月 13 日自助验收

序号	装置名称	规格型号	类别	辐射活动场所名称	环评/验收手续
48	胃肠机	HF51-7	III类	鲤城院区医技楼二楼造影（10）室	2009年环评审批意见 2012年1月环保验收意见
49	数字化平板胃肠摄影机	SONIA VISION Safire Plus		鲤城院区医技楼三楼1室	
50	DR	RAD SPEED.M		鲤城院区医技楼三楼2室拍片检查室	2009年环评审批意见 2012年1月环保验收意见
51	数字化X线摄影机	Digital Diagnost		鲤城院区医技楼三楼3室拍片检查室	
52	DR	DRX-Evolution		鲤城院区医技楼三楼4室拍片检查室	
53	双能骨密度仪	Discovery A		鲤城院区医技楼四楼7室	
54	数字化乳腺平板摄影机	Selenia Dimension s		鲤城院区医技楼四楼8室	2020年9月9日 备案号：202035050200000210
55	双源CT	SOMATOM		鲤城院区医技楼一楼CT1（双源CT）	2009年环评审批意见 2012年1月环保验收意见
56	CT	Ingenuity CT		鲤城院区医技楼一楼CT2机房	
57	CT	AlphaCT 968		鲤城院区医技楼一楼CT3室	2025年8月20日 备案号：202535050200000030
58	移动DR	MUX-200D		鲤城院区重症医学科	2020年9月9日 备案号：202035050200000210
59	CT	NeuViz Prime		门诊楼2层CT/MR室CT3室	2025年7月31日 备案号：202535050300000032
60	CT	NeuViz Prime		门诊楼2层放射科CT室	

医院已为辐射工作人员配备了个人剂量计，由专人负责收集个人剂量计，并委托有资质单位承担个人剂量监测工作，监测频度为1次/季度，每季度、年度个人剂量监测报告均已存入档案。根据2025年度福建省一准医学检测科技发展有限公司出具的《外照射个人剂量监测年度报告》显示，放疗科年度有效剂量最大为1.23mSv，亦是全院最高；核医学科年度有效剂量最大为0.73mSv；导管室年度有效剂量最大为0.10mSv，整体来看个人剂量监测年统计结果均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871—2002）中规定的辐射工作人员剂量管理值要求（5mSv/a）。

医院为现有辐射工作人员建立职业健康监护档案，间隔不超过两年组织辐射工作人员进行职业健康体检，根据体检结果对受检者从事放射工作提出适任性意见，个人职业健康报告均存档备案。根据职业健康档案记录，已体检人员均未检出异常，可继续从事放射工作。

### （3）辐射工作场所监测情况

在设备正常运行状态下，每年委托有监测资质的单位对工作场所及周围辐射环境剂量率进行监测，监测频次为1次/年，并将监测数据记录存档。根据医院已提交的2025年度辐射工作场所检测报告，该院辐射场所监测未出现超标情况。

### （4）辐射监测仪器和防护用品配备情况

医院为医护人员和受检者配备了必要的个人防护用品，具体放射防护用品清单见表1.4.5。

**表 1.4.5 医院放射防护用品一览表**

序号	放射防护用品名称	规格	鲤城院区核医学科	鲤城院区导管室	东海院区核医学科	东海院区导管室	东海院区放疗科
1	铅衣	0.5mmPb	10	15	4	7	2
2	铅围裙	0.5mmPb	11	16	-	8	2
3	铅背心	0.5mmPb	3	7		3	-
4	铅帽	0.25mmPb	12	16	4	7	2
5	铅围脖	0.5mmPb	11	18	4	8	3
6	铅眼镜	0.5mmPb	2	5	4	3	-
7	铅防护帘	0.5mmPb	-	2	-	1	-

### （5）辐射工作管理情况

医院日常按照制定的一系列规章制度开展辐射工作管理，已提交2025年度评估报告；定期委托有资质的单位开展个人剂量检测、组织辐射工作人员进行职业健康体检，

已建立个人剂量档案和职业健康体检档案，并指定专人管理；医院安排责任科室日常定时巡查、检测设备性能，据调查，截至目前，福建医科大学附属第二医院核医学科和各放射源、射线装置均正常工作，未发生辐射事故；院方已制定本年度辐射应急演练计划，并适时开展。

## 1.5 项目地理位置和周边概况

### 1.5.1 项目地理位置

本项目位于福建省泉州市丰泽区东海大街 950 号福建医科大学附属第二医院东海院区门诊楼三层，医院整体依山而建，东南面为翡翠园别墅区，南面临东海大界，西面为培英路，和东海湾太古广场二期、泊悦酒店、泉州东海湾实验学校一路之隔，北侧为泉州幼儿师范高等专科学校。医院地理位置及其周边环境现状分布图见图 1.5-1 和图 1.5-2 所示。

### 1.5.2 辐射工作场所及周边关系

东海院区门诊楼位于院区中部，门诊楼为南北向的长条状主体建筑，所处地势由西南至东北逐渐抬升，退台式布置，其北侧为院内通道、停车场和栋梁楼，东北侧为住院部，东侧、南侧和西侧均为院内道路。

本项目核医学科、导管室、放疗科位于门诊楼三层北侧区域，三者呈由南至北的递进式排布，功能联系紧密且分区清晰；导管室位于门诊楼北侧区域的最南端，紧邻核医学科；放疗科位于门诊楼北侧区域的最北端。

其中加速器②室东侧为加速器①室、后装治疗室和候诊区，南侧是放疗科办公区域、CT 模拟定位机房等，西侧为加速器③室（预留），北侧为山体，上方为无上人屋顶，下方为土壤层；

核医学科和导管室 DSA（3）相邻，东侧为患者候梯厅、休息平台和通道走廊，南侧为 DSA（1）和 DSA（2），西侧为医生办公室、导管室机房器械室等，北侧为放疗科办公区域、CT 模拟定位机房，上方为院内停车场，下方为衰变池、待建机房、冷冻机房、交配电所以及土壤层。

本项目评价范围见图 1.5-2，核医学科、导管室和放疗科及上下楼层平面图见图 1.5-3~1.5-5，医院剖面图见图 1.5-6，现场照片见图 1.5-7。

## 1.6 项目选址及合理性分析

本项目核医学科、导管室 DSA（3）、加速器②室集中设置于门诊楼三层北侧区域，形成位置相对独立的医技功能集群，不毗邻产科、儿科、食堂等敏感部门，与门诊楼常规诊疗区及其他非放射性工作场所的患者流线不交叉，可有效减少放射性诊疗活动对普通患者的影响；导管室 DSA（3）和加速器②室，工作场所设有独立固定机房，与周边非放射性工作场所通过墙体物理隔开，机房周边人员停留时间较短，机房大小、屏蔽物质厚度等符合相关标准要求。

本项目 50m 评价范围内，东北侧涉及极小部分的翡翠园别墅区、西侧涉及院外道路培英路，其余部分均位于医院内。核医学科、导管室 DSA（3）、加速器②室工作场所均已通过建筑结构及屏蔽设计满足相关辐射防护标准要求。经防护设施、距离及楼内隔室墙体的共同衰减，项目运行期间对门诊楼内其他区域及周边环境的辐射影响可控。

综上所述，本项目辐射工作场所选址已充分考虑周边场所、上下楼层及人员分布情况，避开人群聚集区，诊疗流线清晰，防护条件、选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）等相关规范。

根据《福建省人民政府关于实施“三线一单”生态环境分区管控的通知》（闽政〔2020〕12号）和《泉州市人民政府关于实施“三线一单”生态环境分区管控的通知》（泉政文〔2021〕50号），并结合本项目在福建省生态环境分区管控数据应用平台导出的“福建省生态环境分区管控综合查询报告”（附件 12），本项目涉及 1 个生态环境管控单元——丰泽区重点管控单元 2（ZH35050320002）（见图 1.5-5），项目本身为医疗卫生服务设施建设，不属于危险化学品生产企业符合空间布局约束要求，项目建成后，仅在诊疗过程中产生辐射影响，且在辐射安全防护屏蔽措施和管理措施到位的情况下，影响可以接受。因此，项目选址是合理的。

因此，项目选址是合理的。

## 1.7 实践正当性

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871—2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补可能引起的辐射危害时，该实践是

正当的。

核素诊断及治疗、介入治疗及放射治疗的应用在我国均已是成熟的技术，其中注射核素后的患者经 PET/CT 或 SPECT/CT 扫描，能使医生在了解生物代谢信息的同时获得精准的定位，从而对疾病做出全面、准确的判断；核素治疗精准靶向，高效杀伤病灶，对正常组织损伤小，疗效显著且副作用相对较低。介入治疗技术具有准确、安全、高效、创伤小、并发症少等优点；直线加速器放疗精准高、适应广，能保护正常组织，疗效好且副作用相对较低。这些技术的应用在医学诊断及治疗方面有着其他技术无法替代的作用，有效地保障了民众健康。东海院区核医学科扩建、增设 DSA 和直线加速器后，进一步提高医院整体医疗水平，可为当地病人提供更加优越的诊疗环境，具有明显的社会效益。

本项目核医学科、导管室 DSA 机房和直线加速器机房整体布局较为合理，各工作场所均按相关要求进行了设计，防护措施满足标准要求。项目对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，因此，本项目建设符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871—2002）中辐射防护“实践正当性”原则。

## 1.8 国家产业政策符合性分析

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目直线加速器、DSA、SPECT/CT 等射线装置使用属于“鼓励类”中“十三、医药”中的“4、……高端放射治疗设备……”“5、……数字化医学影像设备……”，核医学科的改扩建属于“三十七、卫生健康”中的“5、医疗卫生服务设施建设”项目，因此东海院区核技术利用改扩建项目符合国家产业政策。

丰泽区地图

基本要素版



审图号：闽S（2025）299号

福建省制图院 编制 福建省自然资源厅 监制

图 1.5-1 福建医科大学附属第二医院地理位置图



图 1.5-2 东海院区核医学科项目评价范围及周边环境现状分布图

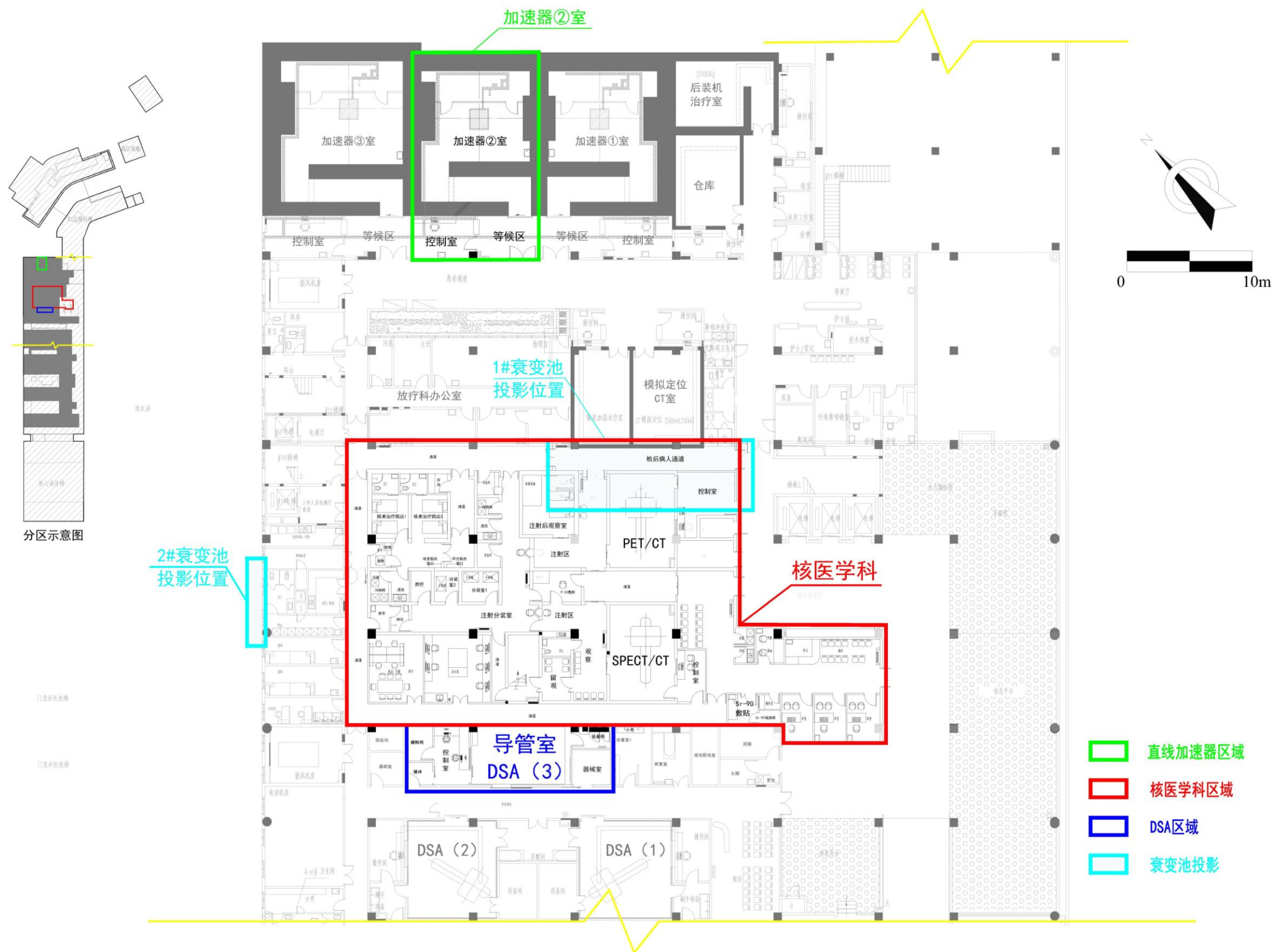


图 1.5-3 东海院区门诊楼三层局部平面图

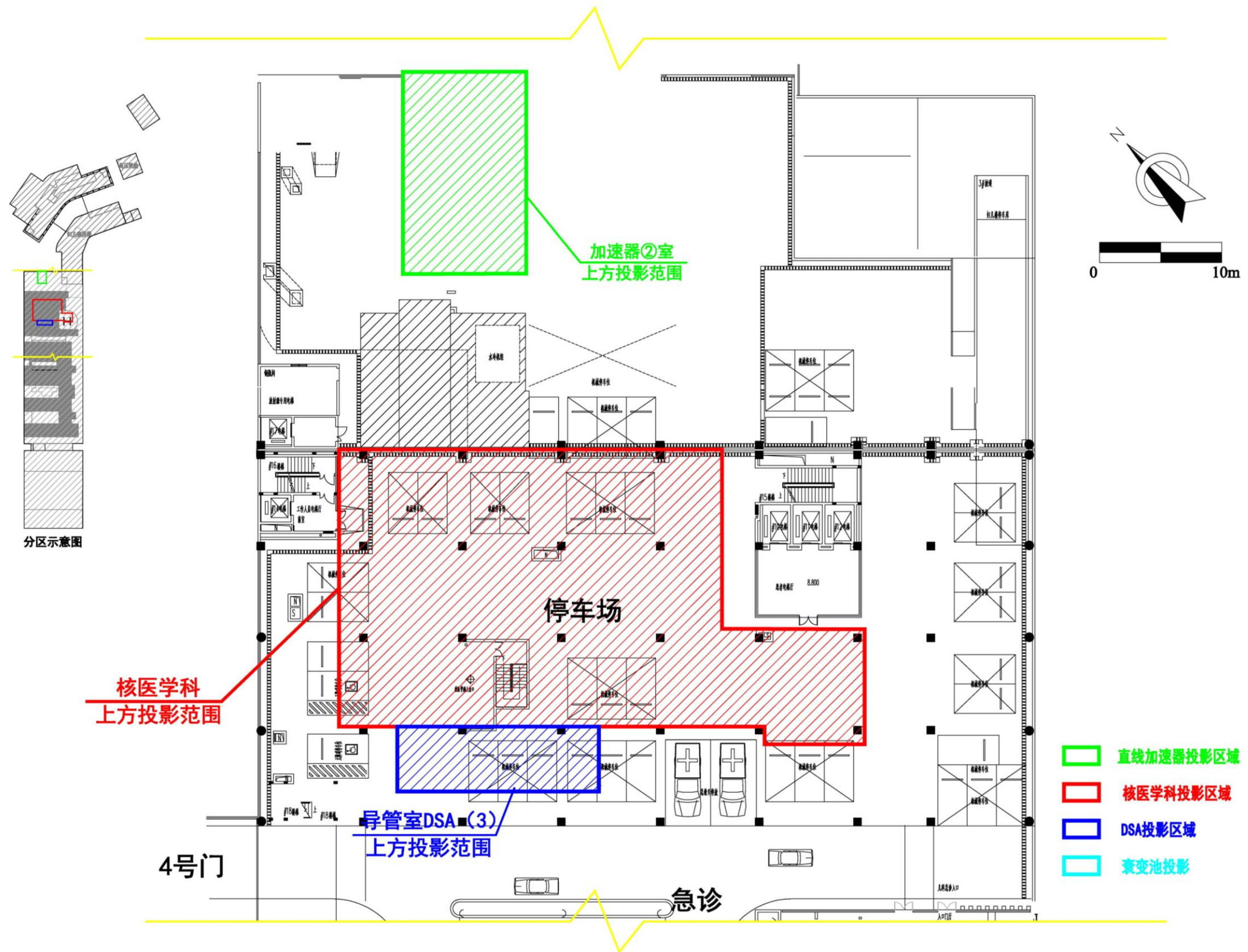


图 1.5-4 东海院区门诊楼四层局部平面图

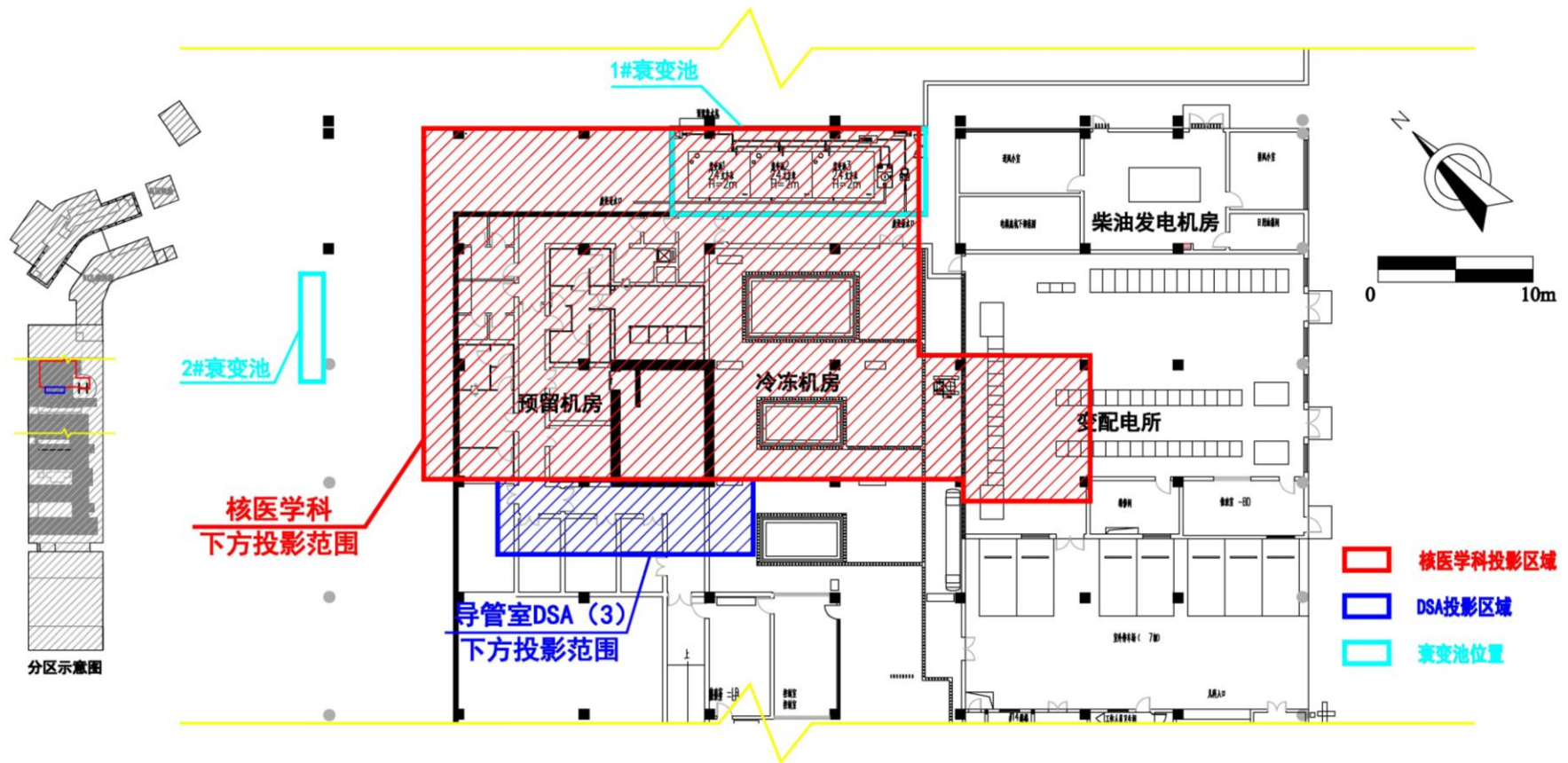


图 1.5-5 东海院区门诊楼二层局部平面图

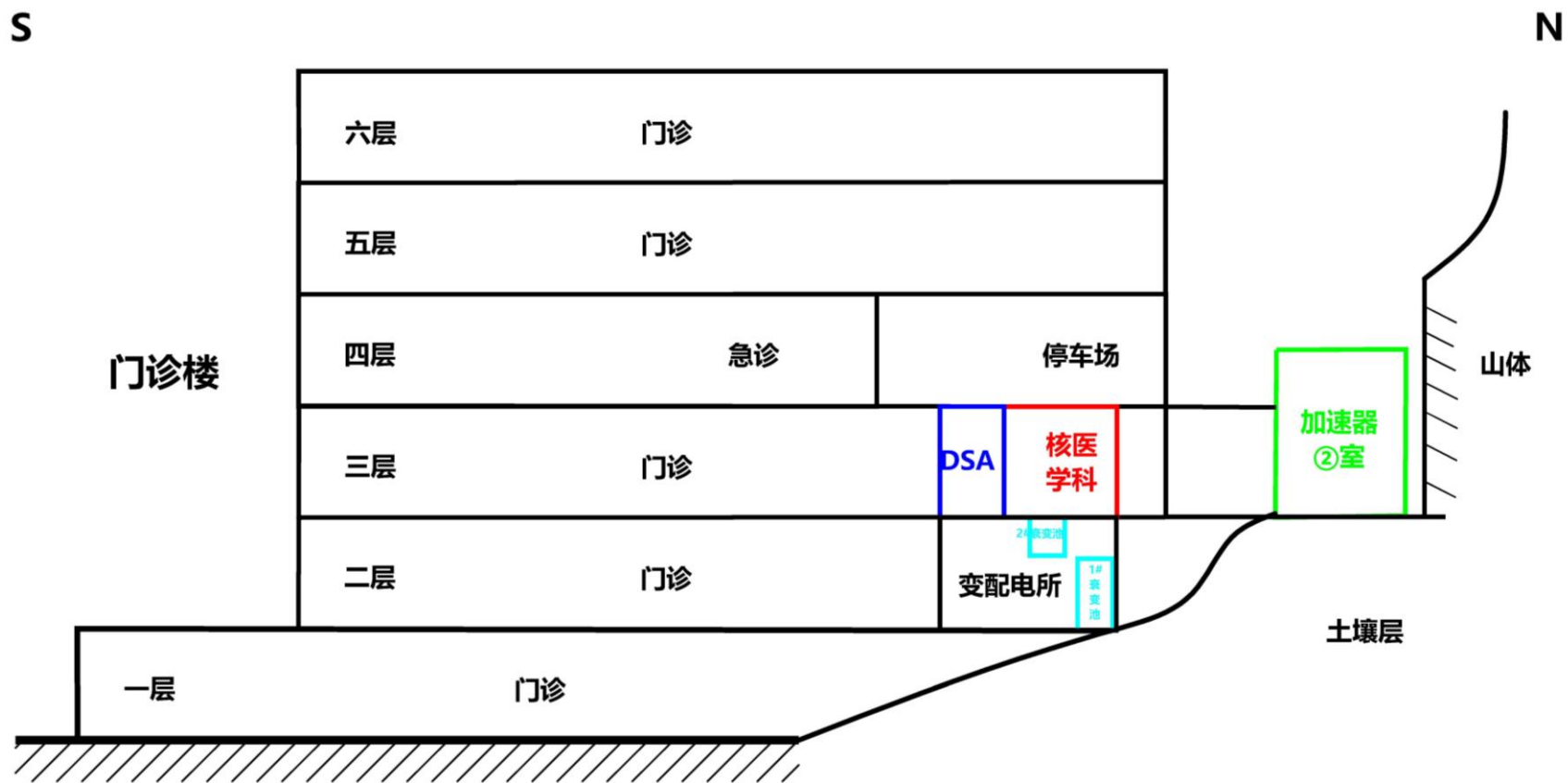


图 1.5-6 东海院区门诊楼区域剖面图（依山而建退台式建筑）



核医学科北侧医院放疗科办公区域



核医学科北侧医院放疗科



核医学科东侧



核医学科南侧导管室



核医学科西侧



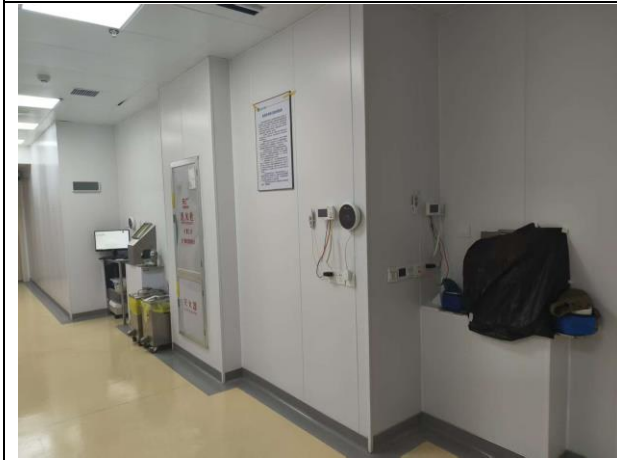
核医学科上方院内停车场



预留 SPECT 注射窗



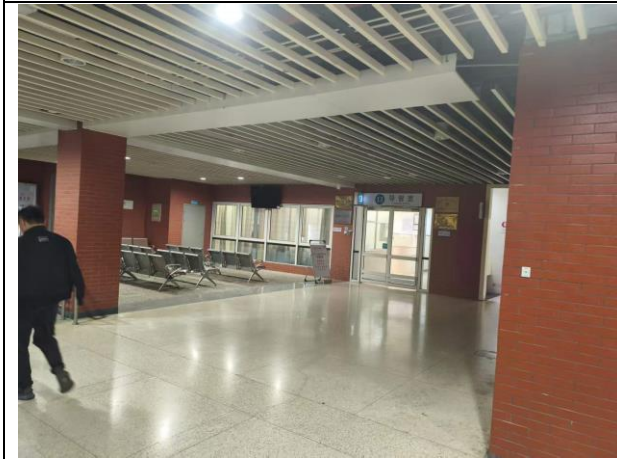
现状 PET 中心注射窗



现有分装室内部



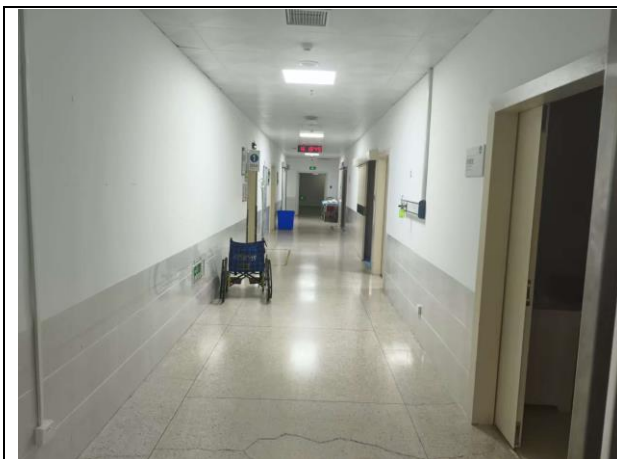
现有 SPECT 机房内部



导管室大门



导管室候诊室大厅



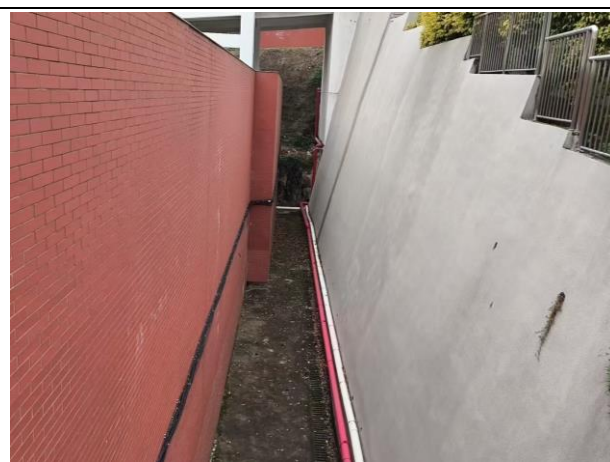
导管室 3 南侧走廊



导管室 3



放疗科上方



放疗科北侧山体



直线加速器②上方停车场



直线加速器②南侧走廊



图 1.5-7 东海院区现状照片

## 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	Sr-90/Y-90	7.40E+08×1 枚	V	使用	敷贴器	门诊楼三层核医学科 Sr-90 敷贴室	存放于 Sr-90 敷贴室 储源间	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	Tc-99m	液态/低毒	使用	1.67E+10	1.67E+07	4.16E+12	放射性药物诊断	很简单的操作	门诊楼三层核医学科	暂存于分装室 1 手套箱内
2	Ga-68	液态/低毒	使用	9.25E+08	9.25E+05	2.33E+11	放射性药物诊断	很简单的操作		
3	P-32	液态/中毒	使用	1.85E+09	1.85E+08	3.70E+11	放射性药物治疗	简单操作		
4	Sr-89	液态/中毒	使用	1.48E+08	1.48E+07	2.96E+10	放射性药物治疗	简单操作		
5	Ac-225	液态/极毒	使用	4.51E+07	4.51E+08	9.03E+09	放射性药物治疗	简单操作		
6	Ra-223	液态/极毒	使用	4.07E+06	4.07E+07	8.14E+08	放射性药物治疗	简单操作		
7	I-131	液态/中毒	使用	3.70E+08	3.70E+07	7.40E+10	放射性药物诊断	简单操作		暂存于分装室 2 手套箱内
8	I-131	液态/中毒	使用	1.48E+09	1.48E+08	3.70E+11	放射性药物治疗	简单操作		
9	I-131	液态/中毒	使用	2.22E+10	2.22E+09	4.44E+12	放射性药物治疗	简单操作		
10	Lu-177	液态/中毒	使用	7.40E+09	7.40E+08	1.48E+12	放射性药物治疗	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》(GB 18871—2002)。

## 表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II类	1	联影 uLinac EternaTx 型	/	X 射线≤6MV	FFF 调强模式，最大剂量率≤1400MU/min	放射治疗	放疗科加速器②室	/

(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	SPECT/CT	III	1	Symbia T	130	345	医用 X 射线计算机断层扫描 (CT) 装置	门诊楼三层核医学科 SPECT/CT 机房	/
2	DSA	II	1	待定	125	1000	血管造影用 X 射线装置	门诊楼三层导管室 DSA (3)	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

**表 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
放射性废气 分装室手套箱内含微量放射性核素的气溶胶 核素诊断区域和核素治疗区域辐射工作场所的气流	气态	主要为 Tc-99m、Sr-89、P-32、Ga-68、I-131、Lu-177、Ac-225、Ra-223	/	微量	微量	/	不暂存	经活性炭过滤后，由排风管道引至门诊楼顶高空排放
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	通过直线加速器、DSA、SPECT/CT 机房排风系统排入大气	排入大气，臭氧在 20~30 分钟左右可自动分解
放射性废液（非密封放射性物质使用过程中产生的放射性废液）	液态	I-131、Lu-177、Ac-225、Ra-223 Sr-89	/	约 4.62m <sup>3</sup>	约 55.44m <sup>3</sup>	总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$	1#衰变池	经槽式放射性废液衰变池衰变 180 天，或暂存不满 180 天但监测结果表明 I-131 活度浓度已降至不高于 10 贝可/升水平后排入医院废水处理系统
		Tc-99m、Ga-68	/	约 4.62m <sup>3</sup>	约 55.44m <sup>3</sup>		2#衰变池	经槽式放射性废液衰变池衰变 30 天，符合排放标准后排入医院废水处理系统
放射性固体废物（注射器、棉签、棉球、擦拭废纸、一次性手套、一次性纸杯、废弃 P-32 敷贴器及废活性炭等）	固态	Sr-89、P-32	/	3.5kg	34.0kg	清洁解控水平： $\leq 1\text{E}+03\text{Bq/g}$	转存于药物准备区和 I-131 治疗区域的污物间内	经衰变达到清洁解控水平后作为普通医疗废物处理，废弃交由有资质的单位处理
		Tc-99m、I-131、Lu-177、Ac-225、Ra-223	/	29.5kg	342.0kg	清洁解控水平： $\leq 1\text{E}+02\text{Bq/g}$		
		Ga-68	/	15.4kg	184.8kg	清洁解控水平： $\leq 1\text{E}+01\text{Bq/g}$		
通风系统中更换下来的废活性炭过滤吸附材料	固态	I-131、Lu-177、Ac-225、Ra-223	/	微量	微量	辐射剂量率满足所处环境本底水	暂存在核素治疗区域医废间内	暂存 180 天，经检测达到清洁解控水平后，作为普通医疗废

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
		Tc-99m、Ga-68、Sr-89、P-32	/	微量	微量	平, $\beta$ 表面污染 <0.8Bq/cm <sup>2</sup>	暂存核素诊断区域医废间内	物处理 暂存 30 天, 经检测达到清洁解控水平后, 作为普通医疗废物处理
剩余放射性药物	液态	主要为 Tc-99m、Sr-89、P-32、Ga-68、I-131、Lu-177、Ac-225、Ra-223	/	/	/	/	暂存于分装室的手套箱内	厂家回收
废弃 Sr-90/Y-90 放射源	固态	Sr-90/Y-90	/	/	/	/	暂存于 Sr-90 敷贴室储源间	厂家回收
直线加速器退役期(含加速器废靶等感生放射性部件)	固态	/	/	/	/	/	加速器②室	经衰变低于清洁解控水平后, 作为一般固体废物交由有资质的单位处置

注: 1. 常规废弃物排放浓度, 对于液态单位为 mg/L, 固体为 mg/kg, 气态为 mg/m<sup>3</sup>; 年排放总量用 kg。

2. 含有放射性的废物要注明, 其排放浓度、年排放总量分别用比活度 (Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m<sup>3</sup>) 和活度 (Bq)。

## 表 6 评价依据

法 规 文 件	<p>(1) 《中华人民共和国生态环境法典》，2026年8月15日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国原子能法》，2026年1月15日起施行；</p> <p>(3) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订版），2019年3月18日起施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（2017年修订），2017年7月16日起施行；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第18号，2011年5月1日起施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正版），生态环境部令第20号，自2021年1月4日起施行；</p> <p>(7) 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，环境保护部国家卫生和计划生育委员会，公告2017年第66号，2017年12月5日；</p> <p>(8) 《关于发布放射源分类办法的公告》，原国家环保总局，公告2005年第62号；</p> <p>(9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，生态环境部令第16号，2021年1月1日起施行；</p> <p>(10) 《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、国防科工部公告2017年第65号，2018年1月1日实施；</p> <p>(11) 《放射性废物安全管理条例》，2012年3月1日实施；</p> <p>(12) 《放射工作人员职业健康管理暂行办法》，2007年11月1日；</p> <p>(13) 《关于印发辐射安全许可座谈会会议纪要的函》，环办函〔2006〕629号，2006年9月27日；</p> <p>(14) 《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》，环发〔2006〕145号，2006年9月26日；</p> <p>(15) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，环境保护部办公厅，环办辐射函〔2016〕430号，2016年3月7日；</p> <p>(16) 《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，2019年12月23日；</p>
------------------	--

	<p>(17) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，生态环境部，辐射函〔2023〕20号。</p> <p>(18) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》，2024年2月1日起施行；</p> <p>(19) 《福建省环保厅关于印发〈核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲〉（试行）的通知》（闽环保辐射〔2013〕10号）；</p> <p>(20) 《福建省环保厅关于加强放射源废物（源）收贮管理工作的通知》，2017年5月；</p> <p>(21) 《福建省生态环境厅关于印发福建省辐射事故应急预案的函》，闽环函〔2020〕22号，2020年9月23日发布；</p> <p>(22) 《泉州市生态环境局关于印发〈泉州市辐射事故应急预案〉的函》，泉环保函〔2021〕6号，2021年4月28日发布。</p>
技 术 标 准	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1—2016）；</p> <p>(2) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1—2016）；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871—2002）；</p> <p>(4) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）；</p> <p>(5) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）；</p> <p>(6) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61—2021）；</p> <p>(7) 《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157—2021）；</p> <p>(8) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930—2010）；</p> <p>(9) 《放射性物质安全运输规程》（GB 11806—2019）；</p> <p>(10) 《密封放射源及密封<math>\gamma</math>放射源容器的辐射卫生防护标准》（GBZ 114—2006）；</p> <p>(11) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》（GBZ/T 201.1—2007）；</p> <p>(12) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2—2011）；</p> <p>(13) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130—2020）；</p> <p>(14) 《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）；</p>

	<p>(15) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121—2020)；</p> <p>(16) 《医用血管造影 X 射线机专用技术条件》(YYT 0740—2022)；</p> <p>(17) 《放射性废物管理规定》(GB 14500—2002)；</p> <p>(18) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128—2019)；</p> <p>(19) 《危险废物贮存污染控制标准》(GB 18597—2023)；</p> <p>(20) 《医疗废物专用包装袋、容器和警示标志标准》(HJ 421—2008)；</p> <p>(21) 《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》(GBZ 2.1—2019)；</p> <p>(22) 《室内空气质量标准》(GB/T 18883—2022)；</p> <p>(23) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466—2005)；</p> <p>(24) 《大气污染物综合排放标准》(GB 16297—1996)；</p> <p>(25) 《建筑施工噪声排放标准》(GB 12523—2025)。</p>
其他	<p>(1) 委托书；</p> <p>(2) 医院放射诊疗操作规程、辐射安全管理制度、个人剂量监测报告等相关资料；</p> <p>(3) 福建医科大学附属第二医院提供的核医学科、导管室、直线加速器机房建筑结构设计图以及与建设项目相关的技术资料；</p> <p>(4) 福建医科大学附属第二医院辐射安全许可证；</p> <p>(5) 辐射工作人员辐射安全防护培训和考核记录；</p> <p>(6) 厦门亿科特检测技术有限公司出具的检测报告（含检测单位资质认证证书、检测仪器检定证书、宇宙射线报告）。</p>

## 表 7 保护目标与评价标准

### 7.1 评价范围

本项目为核医学科扩建项目，运行过程中主要为放射源、非密封放射性物质以及 DSA 和 SPECT/CT 产生的电离辐射对周围环境的影响，根据《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1—2016）中，“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 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（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）……”，根据本项目特点，本项目评价范围确定为：核医学科（含衰变池）、DSA 机房、直线加速器机房工作场所边界外 50m 范围内，见图 1.5-2。

### 7.2 保护目标

本项目评价范围及保护目标见图 1.5-2~1.5-5，本项目辐射环境评价范围内主要环境保护目标主要为辐射工作人员、医护人员、患者和家属及周边翡翠园别墅区（2 户）、泉州东海湾实验学校、泊悦酒店等公众。

核医学科、导管室、放疗科所在楼层平面图见图 1.5-3，上、下楼层平面图见图 1.5-4~1.5-5，各场所周边环境保护目标情况见表 7.2.1~表 7.2.3 和图 1.5-2。

### 7.3 评价标准

#### 7.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871—2002）

##### 4.2.5 解控

4.2.5.2 除非审管部门另有规定，否则清洁解控水平的确定应考虑表 7.3.1 所规定的豁免准则，并且所定出的清洁解控水平不应高于表 7.3.1 中规定的或审管部门根据该规定的准则所建立的豁免水平。

表 7.2.1 本项目周边环境保护目标一览表

序号	保护目标名称		方位	最近距离 (m)	单位时间 最大规模	保护要求 (mSv/a)		
1	辐射工作人员		核医学科	内部 (PET 区域、SPECT 区域、核素治疗区域、敷贴区域和注射分装区域)	-	约 15 人	5 <sup>①</sup>	
			DSA	DSA (3) 扫描间内部	-	约 5 人	5 <sup>②</sup>	
				DSA (3) 控制室				
			直线加速器	控制室	-	约 3 人	5 <sup>③</sup>	
2	公众成员	其他医护人员、其他工作人员、病人及病人家属	核医学科	北侧放疗科办公区域、走廊	紧邻	流动人群	0.1 <sup>①</sup>	
				东侧患者候梯厅、休息平台和通道走廊		流动人群		
				上方停车场		流动人群		
				下方待建机房、冷冻机房、交配电所		约 1~2 人		
			DSA	东侧设备间、器械室	紧邻	约 1~2 人	0.1 <sup>②</sup>	
				南侧患者通道		约 2~3 人		
				上方停车场		流动人群		
				下方待建机房、冷冻机房、交配电所		约 1~2 人		
		直线加速器	南侧放疗科办公区域、走廊	紧邻	流动人群	0.1 <sup>③</sup>		
		评价范围内院内各诊疗区域 (门诊楼、栋梁楼、核心住院楼、通道、停车场等)				5	约 200 人	0.1
		医院外部人员		东侧翡翠园别墅区 (2 户)		40	约 8 人	
				西侧泉州东海湾实验学校 (停车场)		46	流动人群	
西侧泊悦酒店 (停车场)				40	流动人群			

注：①根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188—2021)

②根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198—2021) 及本评价要求

③根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002)

**表 7.3.1 以核素活度浓度表示的清洁解控水平推荐值**

解控水平 (Bq/g)	核素
1E+03	Sr-89、P-32、Lu-177
1E+02	Tc-99m、I-131、Ra-223、Ac-225
1E+01	Ga-68

注：鉴于核素豁免活动浓度是来源于其造成的年剂量约束值而推导出来的，主要与核素的辐射类型及射线能量、半衰期有关，Ga-68 与 F-18 均属于发射正电子从而产生 0.511MeV 的  $\gamma$  射线且半衰期非常短的核素，故本评价 Ga-18 的清洁解控水平推荐值可参考  $^{18}\text{F}$ ，Ac-225 的清洁解控水平推荐值可参考 Ra-223。

#### 4.3.2 剂量限制和潜在照射危险限值

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

##### B1.1 职业照射

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

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

##### B1.2 公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：年有效剂量，1mSv；

#### 6.2.3 表面放射性污染的控制

工作人员体表、内衣、工作服以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B（标准的附录 B）B2 所规定的限制要求。

##### B2 表面污染控制水平

B2.1 工作场所的表面污染控制水平如表 7.3.2 所列。

**表 7.3.2 工作场所的放射性表面污染控制水平（单位：Bq/cm<sup>2</sup>）**

表面类型		$\alpha$ 放射性物质		$\beta$ 放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、 墙壁、地面	控制区 <sup>1)</sup>	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 <sup>-1</sup>	4	4
工作服、手套、 工作鞋	控制区、监督区	4×10 <sup>-1</sup>	4×10 <sup>-1</sup>	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 <sup>-2</sup>	4×10 <sup>-2</sup>	4×10 <sup>-1</sup>

1) 该区内的高污染子区除外。

## 6.4 辐射工作场所的分区

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。

6.4.1.2 确定控制区的边界时，应考虑预计的正常照射的水平、潜在照射的可能性和大小，以及所需要的防护手段与安全防护措施的性质和范围。

6.4.1.3 对于范围比较大的控制区，如果其中的照射或污染水平在不同的局部变化较大，需要实施不同的专门防护手段或安全措施，则可根据需要再划分出不同的子区，以方便管理。

### 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。

### 6.4.3 非密封放射性物质工作场所的分级

非密封放射性物质工作场所的分级应按附录 C（标准的附录 C）的规定进行。

C1 应按表 7.3.3 将非密封放射性物质工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

**表 7.3.3 非密封放射性物质工作场所的分级**

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 $\sim 2 \times 10^7$

C2 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）与核素毒性组别修正因子的乘积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。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 7.3.4 和表 7.3.6。

**表 7.3.4 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
极毒	Ac-225、Ra-223	10
中毒	Sr-89、P-32、I-131、Lu-177	0.1
低毒	Tc-99m、Ga-68	0.01

## 8.6 放射性物质向环境排放的控制

8.6.2 不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放注量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

a) 每月排放的总活度不超过  $10ALI_{\min}$  ( $ALI_{\min}$  是相应于职业照射的食入和吸入  $ALI$  值中的较小者)。

b) 每一次的排放的活度不超过  $1ALI_{\min}$ ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

根据附录 B1.3.4 和 B1.3.5 条款规定，对于职业照射，在一定的假设下可将  $I_{j,L}$  用作  $ALI$ 。由相应的单位摄入量的待积有效剂量的值得到放射性核素  $j$  的年摄入量  $I_{j,L}$  限值计算公式：

$$I_{j,L} = \frac{DL}{e_j}$$

式中： $DL$ ——相应的有效剂量的年剂量限值，取 5mSv/a；

$e_j$ ——标准中表 B3 和 B6、B7 中给出的放射性核素  $j$  的单位摄入量所致的待积有效剂量的相应值。

本项目放射性核素排放导出限值见表 7.3.5。

**表 7.3.5 放射性核素排放导出限值**

放射性核素	职业照射待积有效剂量 (Sv/Bq)		$ALI_{\min}$ 一次排放 限值 (Bq)	$10ALI_{\min}$ 月排放 限值 (Bq)
	吸入 $e$ (g) $j$ , inh	食入 $e$ (g) $j$ , ing		
Tc-99m	2.00E-11	2.20E-11	2.27E+11	2.27E+12
Sr-89	1.40E-09	2.60E-09	1.92E+09	1.92E+10
P-32	1.10E-09	2.40E-09	2.08E+09	2.08E+10
Ga-68	4.90E-11	1.00E-10	5.00E+10	5.00E+11
I-131	1.10E-08	2.20E-10	4.55E+08	4.55E+09
Lu-177	1.00E-09	5.30E-10	5.00E+09	5.00E+10
Ac-225	1.00E-06	2.40E-08	5.00E+06	5.00E+07
Ra-223	5.70E-06	1.00E-07	8.77E+05	8.77E+06

## 7.3.2 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）

### 4.2 辐射工作场所分级

应按照 GB 18871 的规定，将辐射工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小

分为甲级、乙级和丙级。核医学常用放射性核素的毒性与操作方式修正因子可参考附录 A（表 7.3.6）。

**表 7.3.6 操作方式与放射源状态修正因子**

活动类型	核素及状态	操作方式界定	操作方式修正因子
发生器淋洗	母体（液态）	贮存	100
	子体（液态）	简单操作	1
医疗机构使用	<sup>18</sup> F、 <sup>99m</sup> Tc（液态）	很简单操作	10
放射性药品生产	分装、标记（液体）	简单操作	1
核素治疗	<sup>131</sup> I	简单操作	1

#### 4.3 辐射工作场所分区

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。

#### 4.4 剂量限值与剂量约束值

##### 4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

#### 4.5 服药患者出院要求

4.5.1 为确保放射性核素治疗患者出院后，不至于使接触患者的家庭成员及公众超过相关的剂量约束或剂量限值，出院患者体内放射性核素活度应符合附录 B（表 7.3.7）的相关规定。

**表 7.3.7 放射治疗患者出院时体内放射性核素活度的要求**

放射性核素	主要发射（keV）			半衰期（d）	患者出院时体内放射性活度要求（MBq）
	$\beta_{\max}$	$\beta_{\text{ave}}$	$\gamma$ 及 X		
<sup>89</sup> Sr	1492	583	—	50.53	≤200
<sup>131</sup> I	606	—	364	8.0207	≤400

4.5.2 接受碘-131 治疗的患者，应在其体内的放射性活度降至 400MBq 以下或距离

患者体表 1 米处的周围剂量当量率不大于  $25\mu\text{Sv/h}$  方可出院。

## 5 选址和布局

### 5.1 选址

5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。

5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

### 5.2 布局

5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。

5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，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应尽可能短捷。

5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。

## 6 工作场所的辐射安全与防护

### 6.1 屏蔽要求

6.1.1 核医学场所屏蔽层设计应适当保守，按照可能使用的最大放射性活度、最长时间和最短距离进行计算。

6.1.2 设计核医学工作场所墙壁、地板及顶面的屏蔽层时，除应考虑室内的辐射源外，还要考虑相邻区域存在的辐射源影响以及散射辐射带来的照射。

6.1.5 距核医学工作场所各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  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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  $10\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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  $25\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.7 固体放射性废物收集桶、曝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应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

## 6.2 场所安全措施要求

6.2.1 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。

6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。

6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。

6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。

6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。

6.2.7 敷贴器治疗场所应设置专门的治疗室，治疗时严禁将敷贴源带出治疗室外。敷贴治疗中，医务人员应采取有效的个人防护措施，对病人的正常组织应采用合适的屏蔽措施。敷贴器使用中应避免锐器损坏源窗面，不得将敷贴器浸入水、酒精等溶剂中，使用后应存放于干燥的贮源箱内。

6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

## 6.3 密闭和通风要求

6.3.1 核医学工作场所应保持有良好的通风，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。

6.3.3 碘-131 治疗病房应设有单独的通风系统，病房的门窗应有封闭措施，保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气应经单独的排气管道有组织排放。

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。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。

## 7 放射性废物的管理

### 7.2 固体放射性废物的管理

#### 7.2.1 固体放射性废物收集

7.2.1.1 固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。

7.2.1.2 含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。

7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过 20kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

#### 7.2.2 固体放射性废物贮存

7.2.2.1 产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。

7.2.2.2 放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

7.2.2.3 废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。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。

7.2.2.5 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

#### 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  $\alpha$  表面污染小于  $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 $\beta$  表面污染小于  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$  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；

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；

c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 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  $0.1\text{mSv}/\text{h}$ ，表面污染水平对  $\beta$  和  $\gamma$  发射体以及低毒性  $\alpha$  发射体应小于  $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、其他  $\alpha$  发射体应小于  $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

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。

### 7.3 液态放射性废物的管理

#### 7.3.1 放射性废液收集

7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。

7.3.1.2 核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。

7.3.1.3 控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

7.3.1.4 放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。

#### 7.3.2 放射性废液贮存

7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、

无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。

7.3.2.2 含碘-131 治疗病房的核医学工作场所应设置槽式废液衰变池。槽式废液衰变池应由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为 2 组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上预设取样口。有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。

7.3.2.3 核医学诊断和门诊碘-131 治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为 3-5 级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。

### 7.3.3 放射性废液排放

#### 7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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；

b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总  $\alpha$  不大于 1Bq/L、总  $\beta$  不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

7.3.3.2 对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB 18871 附录 A 表 A1 的要求。

7.3.3.3 放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

### 7.4 气态放射性废物的管理

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。

### 7.3.3 《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）

#### 5 工作场所的放射防护要求

##### 5.1 工作场所平面布局和分区

5.1.1 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。

5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：

a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；  
b) 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰；  
c) 在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射；

d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。

5.1.3 核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。其功能设置要求如下：

a) 对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室（可含质控室）、给药后患者或受检者候诊室（根据放射性核素防护特性分别设置）、质控（样品测量）室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房；

b) 对于单一的治疗工作场所应设置放射性药物贮存室、分装及药物准备室、给药室、病房（使用非密封源治疗患者）或给药后留观区、给药后患者专用卫生间、值班室和放置急救设施的区域等功能用房；

c) 诊断工作场所和治疗工作场所都需要设置清洁用品储存场所、员工休息室、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房；

d) 对于综合性的核医学工作场所，部分功能用房和辅助用房可以共同利用；

5.1.7 应通过工作场所平面布局的设计和屏蔽手段，避免附近的辐射源（核医学周边场所内的辐射装置、给药后患者或受检者）对诊断区设备成像、功能检测的影响。

5.1.8 药物制备室及分装区域的设置应便于放射性核素及药物的传输，并便于放射

性药物从分装热室至注射室间的运送。

## 5.2 放射防护措施要求

5.2.1 核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应防护措施。

5.2.2 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为 I、II、III 三类。不同类别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见表 7.3.8，核医学工作场所分类的加权活度计算方法见表 7.3.9~7.3.11。

**表 7.3.8 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 <sup>a</sup>	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备	洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备	洗手盆 <sup>b</sup>

*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。

**表 7.3.9 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的加权活度 MBq
I	> 50000
II	50~50000
III	< 50

注：1) 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；

**表 7.3.10 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	<sup>75</sup> Se、 <sup>89</sup> Sr、 <sup>125</sup> I、 <sup>131</sup> I、 <sup>32</sup> P、 <sup>90</sup> Y、 <sup>99</sup> Mo、 <sup>153</sup> Sm	100
B	<sup>11</sup> C、 <sup>13</sup> N、 <sup>15</sup> O、 <sup>18</sup> F、 <sup>51</sup> Cr、 <sup>67</sup> Ga、 <sup>99m</sup> Tc、 <sup>123</sup> I、 <sup>111</sup> In、 <sup>113m</sup> In、 <sup>201</sup> Tl	1
C	<sup>14</sup> C、 <sup>3</sup> H、 <sup>81m</sup> Kr、 <sup>127</sup> Xe、 <sup>133</sup> Xe	0.01

**表 7.3.11 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	10

候诊区及诊断病床区	
配药、分装以及施给药 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

5.2.3 核医学工作场所的通风按表 7.3.8 要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

5.2.4 分装药物操作宜采用自动分装方式，<sup>131</sup>I 给药操作宜采用隔室或遥控给药方式。

5.2.5 放射性废液衰变池的设置按环境主管部门规定执行。暴露的污水管道应做好防护设计。

5.2.7 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。

5.2.8 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。

5.2.11 药物制备室应安装固定式剂量率报警仪。

### 5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h，宜不大于 2.5μSv/h；核医学工作场所的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。

## 6 操作中的放射防护要求

### 6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备

#### 6.1.1 个人防护用品及去污用品

开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品（见表 7.3.12），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。当使用的  $^{99m}\text{Tc}$  活度大于 800MBq 时，防护用品的铅当量应不小于 0.5mmPb，个人防护用品及去污具体配置见表 7.3.12；对操作  $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{18}\text{F}$  等正电子放射性药物的场所，此时应考虑其他的防护措施，如：穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和先留置注射器留置针等措施。

**表 7.3.12 个人防护用品、应急及去污用品**

类别	场所类型	工作人员		患者或受检者
		必备	选备	
个人防护用品	普通核医学和 SPECT 场所	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖	铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	-
	正电子放射性药物和 $^{131}\text{I}$ 场所	放射性污染防护服	-	-
	敷贴治疗	宜使用远距离操作工具	有机玻璃眼镜或面罩	不小于 3mm 厚的橡皮泥或橡胶板等
应急及去污用品	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和硫代硫酸钠的水）；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。			
注：“-”表示不要求，宜使用非铅防护用品。				

### 6.1.2 辅助用品

根据工作内容及实际需要，合理选择使用移动铅屏风、注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、长柄镊子、分装柜或生物安全柜、屏蔽运输容器/放射性废物桶等辅助用品。

## 6.2 放射性药物操作的放射防护要求

6.2.1 操作放射性药物应有专门场所，如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。

6.2.2 装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。

6.2.3 操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。

6.2.4 操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体应在通风柜内进行。通风柜保持良好通风，并按操作情况必要时进行气体或气溶胶放射性浓度的监测；操作放射性碘化物等挥发性或放射性气体的工作人员宜使用过滤式口罩。

6.2.5 控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。

6.2.6 操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过表 7.3.2 规定值，应采取相应去污措施。

6.2.7 从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过表 7.3.2 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

6.2.9 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。

6.2.10 放射性物质贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。

6.2.11 贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的固定措施。

6.2.12 贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。

6.2.13 所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。

6.2.14 当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，参照使用 6.1.2 和表 7.3.12 所列用品，及时控制、消除放射性污染；当人员皮肤、伤口被污染时，应迅速去污并给予医学处理。

## 8 医用放射性废物的放射防护管理要求

8.4 开展放射性药物治疗的医疗机构，应为住院治疗患者或受检者提供有防护标志的专用厕所，专用厕所应具备使患者或受检者排泄物迅速全部冲入放射性废液衰变池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

8.5 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。在注射室、注射后病人候诊室、给药室等位置放置污物桶。

8.11 废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4 \text{Bq/cm}^2$ 。

## 10 $^{131}\text{I}$ 治疗患者住院期间的放射防护要求

### 10.1 场所放射防护要求

10.1.1  $^{131}\text{I}$  治疗病房区应为相对独立的场所，病房区入口处应设缓冲区。患者住院后，只能在治疗区活动。

10.1.2  $^{131}\text{I}$  治疗病房区应有独立的通风系统，通风管道应有过滤装置，并定期更换，更换的过滤装置按放射性固体废物处理。

10.1.3  $^{131}\text{I}$  治疗住院患者的排泄物不应直接排到医院的公共污水管道，应先经过衰变池的衰变。下水管道宜短，露出地面的部分应进行防护和标记。

10.1.4 病房内应设置患者专用厕所和淋浴间，厕所内应有患者冲厕所和洗手的提示。

10.1.5 病房可设置采光窗，采光窗应进行必要的防护，使其符合 5.3.1 要求。

10.1.6 分装室与给药室之间药物传递应便捷，分装好的  $^{131}\text{I}$  宜采用机械或自动、半自动的方式传递到给药室，给药过程应有监控。分装室应设置工作人员通过间，通过间应配备表面污染检测及剂量率检测仪表及清洗设施。

10.1.7 施用了  $^{131}\text{I}$  治疗药物的患者如需住院应使用专用病房。专用病房宜为单人房，如不能实现，每间病房最多不应超过 2 人，并且 2 人之间应设置适当的防护屏蔽。

10.1.8 病房中应配备对讲、监控等设施。

10.1.9 患者使用过的被服应先进行存放衰变，衰变至少一个半衰期再进行清洗。

10.1.10 在  $^{131}\text{I}$  病房场所应使用专用的保洁用品，不能和其他场所（包括核医学其他放射性场所）混用，病房区域内应有存放及清洗保洁用品的场所。

## 10.2 治疗期间的放射防护要求

10.2.1 宜订购按照患者人份分装的  $^{131}\text{I}$  药物，如果需要分装，则应配备分装防护通风橱，宜采用自动分装、机械手分装或半自动分装。

10.2.2 治疗前应和患者签署知情同意书。

10.2.3 除医护人员之外的人员不应进入病房。

10.2.4 向病房内传递生活必需品，应通过病房外的缓冲区传递。

10.2.5 2 名及以上患者不宜近距离接触或者集聚。

10.2.6 给药过程中应提供防污染措施。

10.2.7 医护人员宜通过视频及对讲进行查房等医疗活动。当医护人员必须进入专用病房对患者进行救治时，应穿戴个人防污染用品。

10.2.8 病房区域内应配备测量患者体内活度的设备或可测量周围剂量当量率的仪器，按照 7.2 的要求进行出院管理。

10.2.9 应减少放射性废物的产生量。患者食物宜选用产生废物少的食材。

## 12 放射性核素敷贴治疗放射防护要求

### 12.1 放射性核素敷贴治疗器的放射防护要求

12.1.1 放射性核素应选用半衰期较长、 $\beta$  射线能量较高，不伴生  $\gamma$  辐射或仅伴生低能  $\gamma$  辐射的放射性核素，例如  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  和  $^{32}\text{P}$  敷贴器。

12.1.2 外购放射性核素敷贴器应具有生产厂家或制作者的说明书及检验合格证

书，并应有生产批号和检验证书号。说明书应载明敷贴器编号、核素名称及化学符号、辐射类型及能量、放射性活度、源面空气吸收剂量率、表面放射性污染与泄漏检测、检测日期、使用须知和生产单位名称。

12.1.3 商品敷贴器除具有源箔、源壳、源面保护膜、铝合金保护环框和源盖外，尚应有防护屏和手柄或其它固定装置，敷贴器的安全分级应符合 GB 4075 的要求。

12.1.4 商品敷贴源应封装严密，并规定推荐使用期限。超过使用期限或表面污染超过标准或疑有泄漏者应送回制作单位经检修后，再确定能否继续使用。

12.1.5 敷贴源投入临床使用前，除自制敷贴器（如  $^{32}\text{P}$  敷贴器）外应有法定计量机构认可的源面照射均匀度和源面空气吸收剂量率或参考点空气吸收剂量率的测量数据，其不确定度不大于  $\pm 5\%$ ，并附带有剂量检定证书。

12.1.6 自制敷贴器的处方剂量应根据病变性质和病变部位确定，根据处方剂量和面积大小确定所用放射性核素活度。

12.1.7 眼科用敷贴器可根据病变需要做成不同形状（如圆形、船形、半圆形）或开有上述不同形状的窗的防护套来适应治疗不同角膜、结膜病变的需要。

12.1.8 废弃商品敷贴器应按放射性废源管理，自制敷贴器可根据核素的性质按放射性废物管理。

## 12.2 自制 $^{32}\text{P}$ 敷贴器的特殊防护要求

12.2.1  $^{32}\text{P}$  敷贴器的制作单位应配备活度计及  $\beta$  污染检查仪，并具有制作  $^{32}\text{P}$  敷贴器的专用工具。

12.2.2  $^{32}\text{P}$  敷贴器的制作间，其墙壁、地面及工作台面应铺易去除污染的铺料。

12.2.3  $^{32}\text{P}$  敷贴器制作时应在通风橱内操作，制作者应戴乳胶手套。

12.2.4 自制  $^{32}\text{P}$  敷贴器应保证不直接接触患者皮肤。

12.2.5 实施治疗时，应由医护人员操作，在不接触患者或受检者皮肤的一面用不小于 3mm 厚的橡皮覆盖屏蔽。

12.2.6 自制的  $^{32}\text{P}$  敷贴器，应对其数量、活度、使用情况等进行登记。

## 12.3 敷贴器贮源箱的放射防护要求

12.3.1 贮源箱的外表面应标有放射性核素名称、最大容许装载放射性活度和牢固、醒目的电离辐射标志（见 GB 2894）。

12.3.2 贮源箱的屏蔽层结构应分内外两层。内层为铝或有机玻璃等低原子序数材料，其厚度应大于  $\beta$  辐射在相应材料中的最大射程。外层为适当厚度的铅、铸铁等重

金属材料，并具有防火、防盗的性能。

12.3.3 距离贮源箱表面 5cm 和 100cm 处因泄漏辐射所致的周围剂量当量率分别不应超过 10 $\mu$ Sv/h 和 1 $\mu$ Sv/h。

#### 12.4 敷贴治疗设施的放射防护要求

12.4.1 敷贴治疗应设置专用治疗室，该治疗室应与诊断室、登记值班室和候诊室分开设置。治疗室内使用面积应满足治疗要求。

12.4.2 治疗室内高 1.5m 以下的墙面应有易去污的保护涂层。地面，尤其在治疗患者位置，应铺有可更换的质地较软又容易去污染的铺料。

12.4.3 治疗室内患者座位之间应保持 1.2m 的距离或设置适当材料与厚度的防护屏蔽。

12.4.4 治疗室内应制定敷贴治疗操作规程及卫生管理制度，并配有  $\beta$  污染检查仪等检测仪器。

#### 12.5 敷贴治疗中的放射防护要求

12.5.1 实施敷贴治疗前，应详细登记治疗日期、使用敷贴源的编号、辐射类型、活度、照射部位与面积，并发给具有患者姓名、性别、年龄、住址、诊断和照射次数等项目的治疗卡。

12.5.2 每次治疗前，先收回患者的治疗卡，再给予实施敷贴治疗。治疗完毕，先如数收回敷贴器再发给治疗卡。由工作人员收回敷贴器放回贮源箱内保存。

12.5.4 实施治疗时，应用不小于 3mm 厚的橡皮泥或橡胶板等屏蔽周围的正常组织。对颜面部部位的病变，屏蔽其周围正常皮肤；对其他部位的病变，则在病变周围露出正常皮肤不大于 0.5cm。并在周围已屏蔽的皮肤上覆盖一张玻璃纸或塑料薄膜后，将敷贴器紧密贴在病变部位。

12.5.5 敷贴治疗时，照射时间长的可用胶布等固定，请患者或陪同人员协助按压敷贴器，照射时间短的可由治疗人员亲自按压固定敷贴器，有条件者可利用特制装置进行远距离操作。

12.5.6 敷贴器应定期进行衰变校正，以调整照射时间。每次治疗时应有专人使用能报警的计时器控制照射时间。治疗过程中应密切观察治疗反应和病变治疗情况，及时调整照射剂量，防止产生并发症。

12.5.7 敷贴治疗中，医务人员应采取有效的个人防护措施，如戴有机玻璃眼镜或面罩和尽量使用远距离操作工具。

### 7.3.4 《密封放射源及密封 $\gamma$ 放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ 114—2006）

#### 5 密封 $\gamma$ 放射源容器的放射防护要求

5.2 活度小于  $3.7 \times 10^{12} \text{Bq}$  和能量在  $0.5 \text{MeV}$  以下的密封  $\gamma$  放射源容器应用铅、铁作为屏蔽防护材料。

5.8 距离装有活度为  $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$  以下的密封  $\gamma$  放射源容器外表面  $100 \text{cm}$  处任一点的空气比释动能率不得超过  $0.05 \text{mGy/h}$ 。

5.9 密封  $\gamma$  放射源容器外表面的非固定性放射性污染， $\beta$  不得超过  $4 \text{Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$ ， $\alpha$  不得超过  $0.4 \text{Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。

#### 6 工作容器的专用要求

6.1 密封  $\gamma$  放射源容器作为工作容器时，应满足各类  $\gamma$  辐射应用装置对工作容器的辐射水平限制要求。工作容器应标明编号、型号、核素名称、活度、辐射类型、制造厂家、出厂日期及电离辐射警告标志。

6.2 当密封源处于贮存位置时，应根据不同使用条件和环境，确定工作容器附件相应的剂量当量率限值，保证周围工作人员和公众的受照射剂量不超过相应的年剂量限值要求。

6.3 工作容器应具备源位指示器，明确显示密封源处于贮存位置或工作位置。

6.4 工作容器应设有防止密封源脱落或被无关人员打开的特殊结构。

#### 7 密封源贮存的放射防护要求

7.1 使用单位应有密封源的账目，设立领存登记，状态检查，定期清点，钥匙管理等防护措施。

7.2 根据密封源类型、数量及总活度，应分别设计安全可靠的贮源室、贮源柜、贮源箱等相应的专用贮源设备。

7.3 贮存室应符合防护屏蔽设计要求，确保周围环境安全，贮存室应有专人管理。

7.5 贮源室应设置醒目的电离辐射警示标志，严禁无关人员进入。

7.6 贮源室应有足够的使用面积，便于密封源存取；并应保持良好的通风和照明。

7.7 贮源室以及贮源柜、箱等均应有防火、防水、防爆、防腐蚀与防盗等安全设施。

7.8 无使用价值或不继续使用的退役密封源应退回生产厂家。

#### 8 密封源操作的放射防护要求

8.5 使用密封源装置进行作业时（包括野外作业），应把放射工作场所划分为控制区和监督区，并采取相应的防护管理措施。

8.6 作为主要责任方，密封源使用单位对可能发生的密封源事故应有预防和应急救援措施。

8.7 作为主要责任方，密封源使用单位应至少每年进行一次密封源设备防护性能及安全设施检验，如发现污染或泄漏应立即采取措施，详细记录检验结果，妥善保管归档。

### **7.3.5 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930—2010）**

#### 7.1 一般要求

7.1.2 应从源头控制，减少放射性废物的产生，防止污染扩散。

7.1.3 应分类收储废物，采取有效方法尽可能进行减容或再利用，努力实现废物最小化。

7.1.4 应做好废物产生、处理、处置（包括排放）的记录，建档保存。

#### 7.2 放射性废液

7.2.1 操作非密封源的单位，一般应建立放射性废液处理系统，确保产生的废液得到妥善处理。不得将放射性废液排入普通下水道，相关控制应遵循 GB 18871—2002 的要求；不允许利用生活污水下水系统洗涤被放射性污染的物品；不允许用渗井排放废液。

7.2.2 废液应妥善地收集在密闭的容器内。盛装废液的容器，除了其材质应不易吸附放射性物质外，还应采取适当措施保证在容器万一破损时其中的废液仍能收集处理。遇有强外照射时，废液收集地点应有外照射防护措施。

7.2.3 经过处理的废液在向环境排放前，应先送往监测槽逐槽分析，符合排放标准后方可排放。

7.2.4 使用少量或短寿命放射性核素的单位，可设立采取衰变方法进行放射性废液处理处置系统，该系统应有足够的防渗漏能力。

#### 7.3 放射性固体废物

7.3.3 对于半衰期短的废物可用放置衰变的办法，待放射性物质衰变到清洁解控水平后作普通废物处理，以尽可能减少放射性废物的数量。

### **7.3.6 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）**

#### **4 一般要求**

4.8 辐射工作人员和公众成员的辐射照射应符合 GB 18871—2002 中剂量限值相关规定。

4.9 从事放射治疗的工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求：

- a) 一般情况下，从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为 5mSv/a。
- b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

#### **5 选址、布局与分区要求**

##### **5.1 选址与布局**

5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。

5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。

##### **5.2 分区原则**

5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如……直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。

5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

#### **6 放射治疗场所辐射安全与防护要求**

##### **6.1 屏蔽要求**

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

6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求，……。

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

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 6.2 安全防护设施和措施要求

6.2.1 放射治疗工作场所,应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等:

a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志,贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明;

b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯;

c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置,并设置双向交流对讲系统。

6.2.2 ……医用电子直线加速器治疗室(一般在迷道的内入口处)应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能,其显示单元设置在控制室内或机房门附近。

6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所,应设置防止误操作、防止工作人员和公众受

到意外照射的安全联锁措施：

a) 放射治疗室……应设置门—机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施；

b) 放射治疗室和……应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能；

c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、……设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；

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

6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

## **8 放射性废物管理要求**

### **8.1 总体要求**

医疗机构应尽量减少放射性废物的产生；对产生的放射性废物按核素的种类、活度、半衰期、理化性质等分类收集处理。

### **8.2 固体废物管理要求**

#### **8.2.1 废旧放射源管理要求**

废旧放射源应按法律法规要求返回放射源生产厂家或原出口方。确定无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的单位收贮，并承担相关费用。

#### **8.2.2 其他固体废物管理要求**

8.2.2.1 ……直线加速器等治疗装置在调试及运行过程中，如……加速器靶等组成部分，在更换或退役时，应作为放射性固体废物处理，拆卸后先放进屏蔽容器或固体废物暂存间衰变暂存，最终送交有资质的单位收贮。

8.2.2.3 建立放射性固体废物台账，存放及处置前进行监测，记录部件名称、质量、辐射类别、监测设备、监测结果（剂量当量率）、监测日期、去向等相关信息，低于清洁解控水平的可作为一般固体废物处置，并做好存档记录。

### **8.4 气态废物管理要求**

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

## 9 辐射监测要求

### 9.1 监测管理

9.1.1 开展放射治疗活动的医疗机构应制定辐射监测计划，并按照计划落实监测工作。不具备辐射监测能力的单位，可以委托有能力的单位进行监测。

9.1.2 所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括但不限于测量对象、条件、方法、仪器、时间和人员等信息。

9.1.3 应定期对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常情况应及时查找原因并报告，同时进行整改。

### 9.2 放射治疗工作场所监测

9.2.1 应根据使用放射治疗设备种类、能量和使用方式配备相应的辐射监测设备，对辐射工作场所的辐射水平（X- $\gamma$  辐射周围剂量当量率、中子辐射周围剂量当量率等）进行监测。

9.2.2 应对放射治疗工作场所机房四周屏蔽墙外 30cm 处、顶棚、操作位、观察窗、防护门，以及其他关注处点开展 X- $\gamma$  辐射周围剂量当量率监测。

9.2.3 放射治疗设备安装调试阶段，应在最大工况下，由辐射工作人员进行全面的辐射监测，评估辐射安全状况，确保辐射水平达标。

9.2.4 含放射源的放射治疗设备进行放射源倒装时应根据倒装源实施方案开展外照射剂量率监测。

### 9.3 环境监测

9.3.1 开展放射治疗相关活动的机构应自行或委托有能力的监测机构对工作场所运行工况下周围环境的辐射水平进行监测，监测频次应不少于 1 次/年。

### 9.4 个人剂量监测

9.4.1 放射治疗工作场所的工作人员应佩戴个人剂量计，对个人外照射剂量进行监测。同时应根据射线类型选择合适的个人剂量计。临时工作人员、实习人员应纳入个人剂量监测范围。

9.4.2 个人剂量档案应妥善保存，监测数据异常时，应及时查明原因并报告生态环境主管部门。

## 7.3.7 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121—2020）

### 6 工作场所放射防护要求

## 6.1 布局要求

6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。

6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。

6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室，尽可能避开被有用线束直接照射。

6.1.6 X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； $\gamma$  刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。

## 6.2 空间、通风要求

6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。

6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于 4 次/h。

## 6.3 屏蔽要求

### 6.3.3 屏蔽材料

屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能和经济因素，符合最优化要求，新建机房一般选用普通混凝土。

## 6.4 安全装置和警示标志要求

### 6.4.1 监测报警装置

含放射源的放射治疗机房内应安装固定式剂量监测报警装置，应确保其报警功能正常。

### 6.4.2 联锁装置

放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。

#### 6.4.3 标志

医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：

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

#### 6.4.4 急停开关

6.4.4.1 放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。

#### 6.4.6 视频监控、对讲交流系统

控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。

### 7.3.8 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范》

#### (1) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T 201.1—2007)

关于治疗机房一般屏蔽要求，医院电子直线加速器机房设计应满足如下要求：

- 1) 治疗机房一般设于单独的建筑或建筑物底层的一端。治疗机房的坐落位置应考虑周围环境与场所的人员驻留条件及其可能的改变，并根据相应条件确定所需要的屏蔽；
- 2) 治疗装置控制室与治疗机房分离；
- 3) 直接与治疗机房相连的宽束治疗装置的控制室和其他居留因子较大的用室，应尽可能避开有用束可直接照射到的区域；
- 4) 治疗机房以混凝土为屏蔽体时，应一次整体浇筑并有充分的震捣，以防出现裂缝和过大的气孔；
- 5) 穿过治疗机房墙的管线孔（包括通风、电器、水管等）应避开控制台等人员高驻留区，并采用多折曲路，有效控制管线孔的辐射泄漏。

#### (2) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机》(GBZ/T 201.2—2011)

#### 4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的周围剂量当量率参考控制水平：

治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量参考控制水平应不大于下述 a)、b) 和 c) 所确定的剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$ ：

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，可以依照附录 A（标准中的附录），由下列周剂量参考控制水平  $H_c$  求得关注点的导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

1) 放射治疗机房外控制区工作人员： $H_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$ ；

2) 放射治疗机房外非控制区人员： $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

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

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

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

c) 由上述 a) 中的导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,d}$  和 b) 中的最高剂量率参考水平  $\dot{H}_{c,max}$ ，选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）。

#### 4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b) 两种情况控制：

a) 在治疗机房正上方有建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自放射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30cm 处和（或）在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，可以根据机房外周剂量参考控制水平  $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$  和最高剂量率  $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，按照 4.1.1 求得关注点的剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）加以控制。

b) 除 4.1.2 中 a) 的条件外，应考虑下列情况：

1) 天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿透机房墙壁辐射在相应处的剂量率的总和，应按 4.1.2 中的 a) 确定关注点的剂量率参考控制水平  $\dot{H}_c$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）加以控制；

2) 穿透治疗机房屋顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量  $250 \mu\text{Sv}$  加以控制；

3) 对无人员停留并只有借助工具才能进入的机房顶，考虑上述 1) 和 2) 之后，机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按  $100 \mu\text{Sv/h}$  加以控制（可在相应处设置辐射告示牌）。

### 附录 A.2.1 单一辐射

单一有用线束与单一泄漏辐射按如下方法导出剂量率参考控制水平：

#### a) 有用线束

有用线束在关注点的周剂量参考控制水平为  $H_c$  时，该关注点的导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,d}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 见下式：

$$\dot{H}_{c,d}=H_c/(t \cdot U \cdot T)$$

式中： $t$ ——治疗装置周治疗照射时间，h；

$U$ ——有用线束向关注点位置的方向照射的使用因子；

$T$ ——人员在相应关注点驻留的居留因子。

#### b) 单一泄漏辐射

泄漏辐射在关注点的周剂量参考控制水平为  $H_c$  时，该关注点的导出剂量率参考控制水平  $\dot{H}_{c,d}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 见下式：

$$\dot{H}_{c,d}=H_c/(N \cdot t \cdot T)$$

式中： $N$ ——调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常  $N=5$ ；

$t$ ——治疗装置周治疗照射时间，h；

$T$ ——人员在相应关注点驻留的居留因子。

## 7.3.9 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130—2020）

### 6 X 射线设备机房防护设施的技术要求

#### 6.1 X 射线设备机房布局

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

6.1.2 X 射线设备机房（照射室）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。

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

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 7.3.13 的规定。

**表 7.3.13 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度**

设备类型	机房内最小有效使用面积 (m <sup>2</sup> )	机房内最小单边长度 (m) *
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5
单管头 X 射线设备 <sup>b</sup> （含 C 形臂，乳腺 CBCT）	20	3.5

注：\*机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。

## 6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 7.3.14 的规定。

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表 7.3.14 的要求。

**表 7.3.14 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求**

设备类型	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 型臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
透视机房……	1.0	1.0
CT 机房（不含头颅移动 CT） CI 模拟定位机房	2.5	

## 6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a) 具有透视功能的 X 射线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；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

b) CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。

## 6.4 X 射线设备工作场所防护

6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置，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。

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

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

6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；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。

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

6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。

6.4.10 机房出入口宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7.3.15 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 0.25mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb。

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

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。

**表 7.3.15 个人防护用品和辅助防护设施配置要求**

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏、辐射剂量率仪 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	—
放射诊断学用 X 射线设备隔室透视、摄影	—	—	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	或可调节防护窗口的立位防护屏；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、铅橡胶帽子	—

### 7.3.10 《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466—2005）

4.1 污水排放要求

4.1.2 县级及县级以上或 20 张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表 7.3.16 的规定。直接排放或间接排入地表水体和海域的污水执行排放标准，

排入终端已建有正常运行城镇二级污水处理厂的下水道的污水，执行预处理标准。

**表 7.3.16 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值（日均值）**

序号	控制项目	排放标准	预处理标准
1	粪大肠菌群数（MPN/L）	500	5000
2	pH	6~9	
3	化学需氧量（COD）浓度（mg/L）	60	250
	最高允许排放负荷（g/床位）	60	250
4	氨氮（mg/L）	15	-
5	动植物油（mg/L）	5	20
6	总 $\alpha$ /（Bq/L）	1	1
7	总 $\beta$ /（Bq/L）	10	10

### 7.3.11 其他相关环保标准

(1) 《大气污染物综合排放标准》（GB 16297—1996）

施工期大气污染物执行《大气污染物综合排放标准》（GB 16297—1996）表 2 中的标准，标准限值见表 7.3.17。

**表 7.3.17 大气污染物排放限值（摘录）**

序号	污染物	无组织排放浓度限值	
		监控点	浓度（mg/m <sup>3</sup> ）
1	颗粒物	周界外浓度最高点	1.0

(2) 《建筑施工噪声排放标准》（GB 12523—2025）

项目施工期场界噪声执行《建筑施工噪声排放标准》（GB 12523—2025），标准限值见表 7.3.18。

**表 7.3.18 建筑施工场界环境噪声排放限值 单位：dB（A）**

昼间	夜间
70	55

(3) 运营期各机房内执行《室内空气质量标准》（GB/T 18883—2022）和《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ 2.1—2019）中标准，具体标准限值见表 7.3.19。

**表 7.3.19 运营期各机房空气质量限值**

污染物	浓度限值	标准
臭氧	0.16mg/m <sup>3</sup> （1 小时平均值）	《室内空气质量标准》（GB/T 18883—2022）中标准
二氧化氮	0.20mg/m <sup>3</sup> （1 小时平均值）	

氮氧化物	最高容许浓度 (PC-TWA) 5mg/m <sup>3</sup> 最高容许浓度 (PC-STEL) 10mg/m <sup>3</sup>	《工作场所有害因素职业接触限值 第一部分化学因素》(GBZ 2.1— 2019)
------	--	--

### 7.3.12 本项目评价标准

本项目辐射环境评价标准详见表 7.3.20。

**表 7.3.20 本项目辐射环境评价标准**

序号	项目	评价标准	
		辐射工作人员	5mSv/a
1	剂量约束值	公众成员	0.1mSv/a
2	周围剂量当量率	核医学科	1.控制区内工作人员经常性停留的场所(人员居留因子 $\geq 1/2$ ), 周围剂量当量率应小于 2.5 $\mu$ Sv/h。 2.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 $< 1/2$ ), 如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置, 周围剂量当量率应小于 10 $\mu$ Sv/h。
		DSA	应不大于 2.5 $\mu$ Sv/h
		直线加速器	根据放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子确定为: 机房北侧、南侧、上方均应不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。
3	放射性废水	核医学科	1.PET 区域和 SPECT 区域废水经槽式放射性废液衰变池衰变 30 天后排入医院废水处理系统 2.核素治疗区域废水经槽式放射性废液衰变池衰变 180 天后排入医院废水处理系统
4	放射性固体废物	核医学科	1.核素治疗区域废物暂存 180 天, 经检测达到清洁解控水平后, 作为普通医疗废物处理。 2.PET 区域和 SPECT 区域放射性固废暂存 30 天, 经检测达到清洁解控水平后, 作为普通医疗废物处理。

## 表 8 环境质量和辐射现状

为掌握项目所在地的辐射环境质量现状，本评价委托厦门亿科特检测技术有限公司于 2026 年 1 月 17 日对本项目核医学科、DSA 工作场所及其周围环境进行  $\gamma$  辐射剂量率背景水平调查；同时搜集福建省一准医学检测科技发展有限公司于 2025 年 12 月 20 日对本项目直线加速器机房周边场所进行的辐射场所检测结果。

### 8.1 项目的地理和场所位置

福建医科大学附属第二医院东海院区位于福建省泉州市丰泽区东海大街 950 号，医院东南面为翡翠园别墅区，南面临东海大街，西面为培英路，和东海湾太古广场二期、泊悦酒店、泉州东海湾实验学校一路之隔，北侧为泉州幼儿师范高等专科学校。

本项目核医学科、导管室、放疗科位于门诊楼三层北侧区域，三者呈由南至北的递进式排布，功能联系紧密且分区清晰；导管室位于门诊楼北侧区域的最南端，紧邻核医学科；放疗科位于门诊楼北侧区域的最北端。

其中加速器②室东侧为加速器①室、后装治疗室和候诊区，南侧是放疗科办公区域、CT 模拟定位机房等，西侧为加速器③室（预留），北侧为山体，上方为无上人屋顶，下方为土壤层；

核医学科和导管室 DSA（3）相邻，东侧为患者候梯厅、休息平台和通道走廊，南侧为 DSA（1）和 DSA（2），西侧为医生办公室、导管室机房器械室等，北侧为放疗科办公区域、CT 模拟定位机房，上方为院内停车场，下方为待建机房、冷冻机房、交配电所以及土壤层。

项目地理位置见图 1.5-1，周边环境情况见图 1.5-2，机房所在楼层情况见图 1.5-3 和图 7.2-1。

### 8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

（1）现状评价的对象：本项目工作场所及周围环境辐射水平。

（2）监测因子： $\gamma$  辐射空气吸收剂量率。

（3）监测点位：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61—2001）和《环境  $\gamma$  辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157—2021）中有关布点原则和监测方法，并结合本项目的实际情况，在核医学科、DSA 辐射工作场所周围布置 20 个剂量率监测点位和 9 个表面污染点位，监测点位见表 8.2.1、表 8.2.2 和图 8.2-1~8.2-4；直线加速器机房周

边布置了 40 个监测点位，监测点位见表 8.2.3。

**表 8.2.1  $\gamma$  辐射剂量率背景水平调查点位及检测结果一览表**

点位	位置	检测均值 (nGy/h)
1#	核医学科东侧入口	91.796±1.059
2#	核医学科东侧患者入口	99.475±1.180
3#	核医学科候诊大厅	107.391±1.238
4#	核医学科拟建 ECT 机房	113.250±1.132
5#	核医学科患者通道	107.787±1.135
6#	核医学科分装注射室	112.854±0.871
7#	核医学科北侧患者通道	114.358±1.042
8#	核医学科拟建甲癌病房	126.471±0.871
9#	核医学科北侧入口	100.583±0.765
10#	核医学科西侧通道	104.937±1.085
11#	核医学科医生办公室	115.466±0.728
12#	介入科导管手术室 (3) 西侧	91.400±1.226
13#	介入科导管手术室 (3) 南侧	106.521±0.948
14#	介入科导管手术室 (3) 东侧	100.900±0.973
15#	核医学科上方停车场	100.831±1.059
16#	介入科导管手术室 (3) 上方停车场	110.568±0.765
17#	核医学科下方冷冻机房	115.308±0.914
18#	介入科导管手术室 (3) 下方冷冻机房	114.991±1.132
19#	医院西侧泉州东海湾实验学校	85.156±1.457
20#	医院东南侧翡翠园别墅区	81.435±0.818

注：(1) 监测时间：2026 年 1 月 17 日，监测环境条件：22.1℃/56.5%RH；

(2) 测量时探头距离地面约 1m，监测方式为每个测量点测量十次，取平均值，监测结果均扣除宇宙射线响应值；

(3) 根据 HJ 1157—2021，X- $\gamma$  辐射空气吸收剂量率=仪器测量读数均值×校准因子  $k_1$ ×仪器检验源效率因子  $k_2$ ÷空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-屏蔽修正因子  $k_3$ ×测量点宇宙射线响应值  $D_c$ ，其中校准因子  $k_1$  为 0.95 (1  $\mu$ Sv/h)，仪器使用 Cs-137 进行校准，源效率因子  $k_2$  取 1，换算系数为 1.20Sv/Gy，屏蔽修正因子  $k_3$  取 0.8 (楼房)、1 (原野、道路)，宇宙射线响应值  $D_c$  为 33.99nGy/h。

**表 8.2.2 拟建核医学科场所及周围环境  $\beta$  表面污染水平监测结果**

监测点		监测结果 (Bq/cm <sup>2</sup> )
核医学科拟建 ECT 机房		<0.10
核医学科患者通道		<0.10
核医学科分装注射室	地面	<0.10
	墙面	<0.10
	注射台面	<0.10
核医学科北侧患者通道		<0.10
核医学科拟建甲癌病房	地面	<0.10

	墙面	<0.10
	洗手台	<0.10

**表 8.2.3 拟建核医学科场所及周围环境  $\beta$  表面污染水平监测结果**

序号	检测点位置	检测结果
1	机头偏转 90°，南墙外 30cm (1 点)	<MDL
2	机头偏转 90°，南墙外 30cm (2 点)	<MDL
3	机头偏转 90°，南墙外 30cm (3 点)	<MDL
4	机头偏转 90°，南墙外 30cm (4 点)	<MDL
5	机头偏转 90°，南墙外 30cm (5 点)	<MDL
6	机头偏转 90°，南墙外 30cm (6 点)	<MDL
7	机头偏转 90°，南墙外 30cm (7 点)	<MDL
8	机头偏转 90°，南墙外 30cm (8 点)	<MDL
9	机头偏转 270°，防护门外 30cm (a 点: 上)	<MDL
10	机头偏转 270°，防护门外 30cm (b 点: 下)	<MDL
11	机头偏转 270°，防护门外 30cm (c 点: 中)	<MDL
12	机头偏转 270°，防护门外 30cm (d 点: 左)	<MDL
13	机头偏转 270°，防护门外 30cm (e 点: 右)	<MDL
14	机头偏转 90°，工作人员操作位 1	<MDL
15	机头偏转 90°，工作人员操作位 2	<MDL
16	机头偏转 90°，工作人员操作位 3	<MDL
17	机头偏转 90°，西墙外 30cm (1 点)	<MDL
18	机头偏转 90°，西墙外 30cm (2 点)	<MDL
19	机头偏转 90°，西墙外 30cm (3 点)	<MDL
20	机头偏转 90°，西墙外 30cm (4 点)	<MDL
21	机头偏转 90°，西墙外 30cm (5 点)	<MDL
22	机头偏转 90°，西墙外 30cm (6 点)	<MDL
23	机头偏转 90°，西墙外 30cm (7 点)	<MDL
24	机头偏转 90°，西墙外 30cm (8 点)	<MDL
25	机头偏转 180°，顶盖上方 30cm (1 点)	<MDL
26	机头偏转 180°，顶盖上方 30cm (2 点)	<MDL
27	机头偏转 180°，顶盖上方 30cm (3 点)	<MDL
28	机头偏转 180°，顶盖上方 30cm (4 点)	<MDL
29	机头偏转 180°，顶盖上方 30cm (5 点)	<MDL
30	机头偏转 180°，顶盖上方 30cm (6 点)	<MDL
31	机头偏转 180°，顶盖上方 30cm (7 点)	<MDL
32	机头偏转 180°，顶盖上方 30cm (8 点)	<MDL
33	机头偏转 270°，东墙外 30cm (1 点)	<MDL
34	机头偏转 270°，东墙外 30cm (2 点)	<MDL

35	机头偏转 270°，东墙外 30cm（3 点）	<MDL
36	机头偏转 270°，东墙外 30cm（4 点）	<MDL
37	机头偏转 270°，东墙外 30cm（5 点）	<MDL
38	机头偏转 270°，东墙外 30cm（6 点）	<MDL
39	机头偏转 270°，东墙外 30cm（7 点）	<MDL
40	机头偏转 270°，东墙外 30cm（8 点）	<MDL

注：（1）表中周围剂量当量率检测结果均已扣除本底值：0.151 $\mu$ Sv/h；

（2）AT1123 型辐射检测仪探测下限（MDL）：0.04 $\mu$ Sv/h；检定有效期至 2026.2.18；

（3）检测工况，剂量率 600MU/min 条件下检测。

#### （4）检测方法、检测仪器及检测条件

本次核医学科、DSA 辐射现状检测方法依据《环境地表  $\gamma$  辐射剂量率测定规范》（GB/T 14583-93）。

检测仪器为 BG9512P 型便携式多功能射线检测仪，仪器参数见表 8.2.3。

**表 8.2.3 检测使用的仪器、参数及检测条件**

仪器名称	便捷式多功能射线检测仪
仪器型号	BG9512P 型（BG7030 塑料闪烁体）
生产厂家	中广核贝谷科技股份有限公司
量程	主机：剂量当量率：0.01 $\mu$ Sv/h~30mSv/h BG7030 塑料闪烁体：吸收剂量率（0.001 $\mu$ Gy/h~200 $\mu$ Gy/h）；剂量当量率（0.001 $\mu$ Sv/h~100 $\mu$ Sv/h）
能量范围	25keV~7MeV
相对基本误差	不超过 $\pm$ 15%
能量响应误差	不超过 $\pm$ 30%
工作温度	-10~50 $^{\circ}$ C
工作湿度	$\leq$ 90%RH（40 $^{\circ}$ C）
检定单位	上海市计量测试技术研究院
检测条件	天气情况：晴；温度：26.9~33.1 $^{\circ}$ C；湿度：65.2%~78.9%RH

## 8.3 质量保证

监测时质量保证措施如下：

（1）监测单位：厦门亿科特检测技术有限公司（CMA：211303100262），福建省一准医学检测科技发展有限公司（CMA：22130310A002），均已通过资质认定，具备相应的检测资质和检测能力；

（2）监测单位制定有质量体系文件，所有监测行为均按照质量体系文件要求进行，实施全过程质量控制；

（3）监测布点质量保证：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61—2021）和《环

境  $\gamma$  辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157—2021）有关布点原则进行布点；

（4）监测仪器通过上海市计量测试技术研究院检定，检定有效期一年，监测期间监测仪器均处于有效期内；

（4）测量前、后均检查仪器的工作状态是否良好，并用检验源对仪器进行校验；

（5）监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗；

（6）监测现场由专业人员按照操作规程操作监测仪器，并认真做好记录；

（7）检测报告严格实行三级审核制度，经报告编制人、审核人、签发人审核签字后报出。

## 8.4 监测结果及评价

监测结果详见表 8.2.1~表 8.2.3，监测报告见附件 9。

根据表 8.2.1 可知，本项目位于室内的点位（1#~18#） $\gamma$  辐射剂量率在 91.400~126.471nGy/h 之间，位于室外的点位（19#、20#） $\gamma$  辐射剂量率在 81.435~86.156nGy/h 之间。

参照《中国环境天然放射性水平》（2015 年 7 月第 1 版），泉州市室内扣除宇宙射线响应值后的辐射环境本底范围值 96.6~193.4nGy/h，室外（含原野及道路）扣除宇宙射线响应值后的辐射环境本底范围值 40.2~102.3nGy/h。福建省室外辐射环境本底范围值 25.9~399.1nGy/h，室内辐射环境本底范围值 70.9~351.7nGy/h。对比结果显示，核医学科和 DSA 工作场所的  $\gamma$  辐射剂量率处于正常环境本底水平。

此外，根据表 8.2.2 和表 8.2.3 可知，拟建核医学科区域表面污染未检出，直线加速器工作场所周围剂量当量率均低于检出限，亦满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）等规范标准要求。总体来说，本项目所在区域及工作场所辐射环境质量良好。

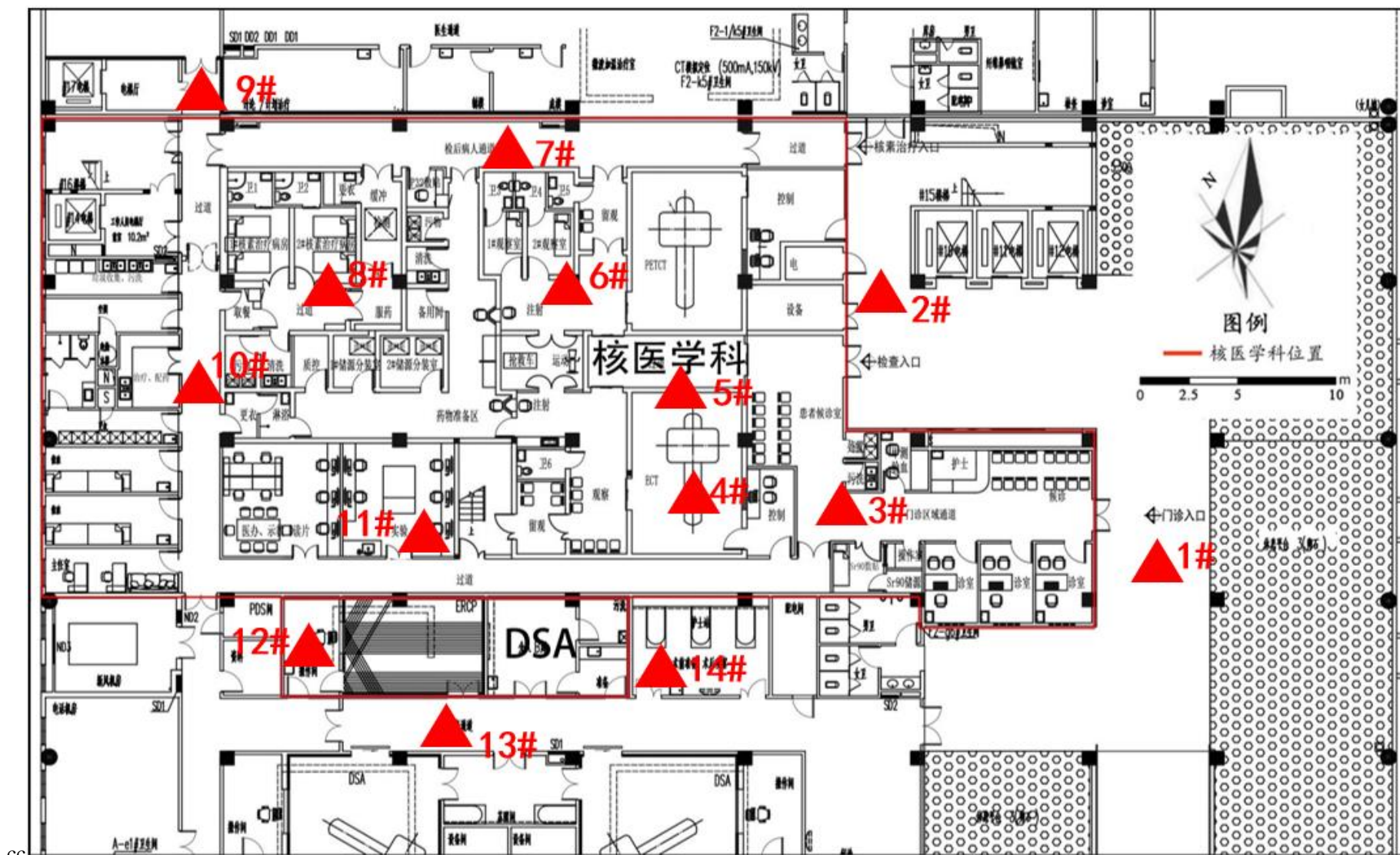


图 8.2-1  $\gamma$  辐射剂量率背景水平调查点位分布图 (门诊楼三层局部)

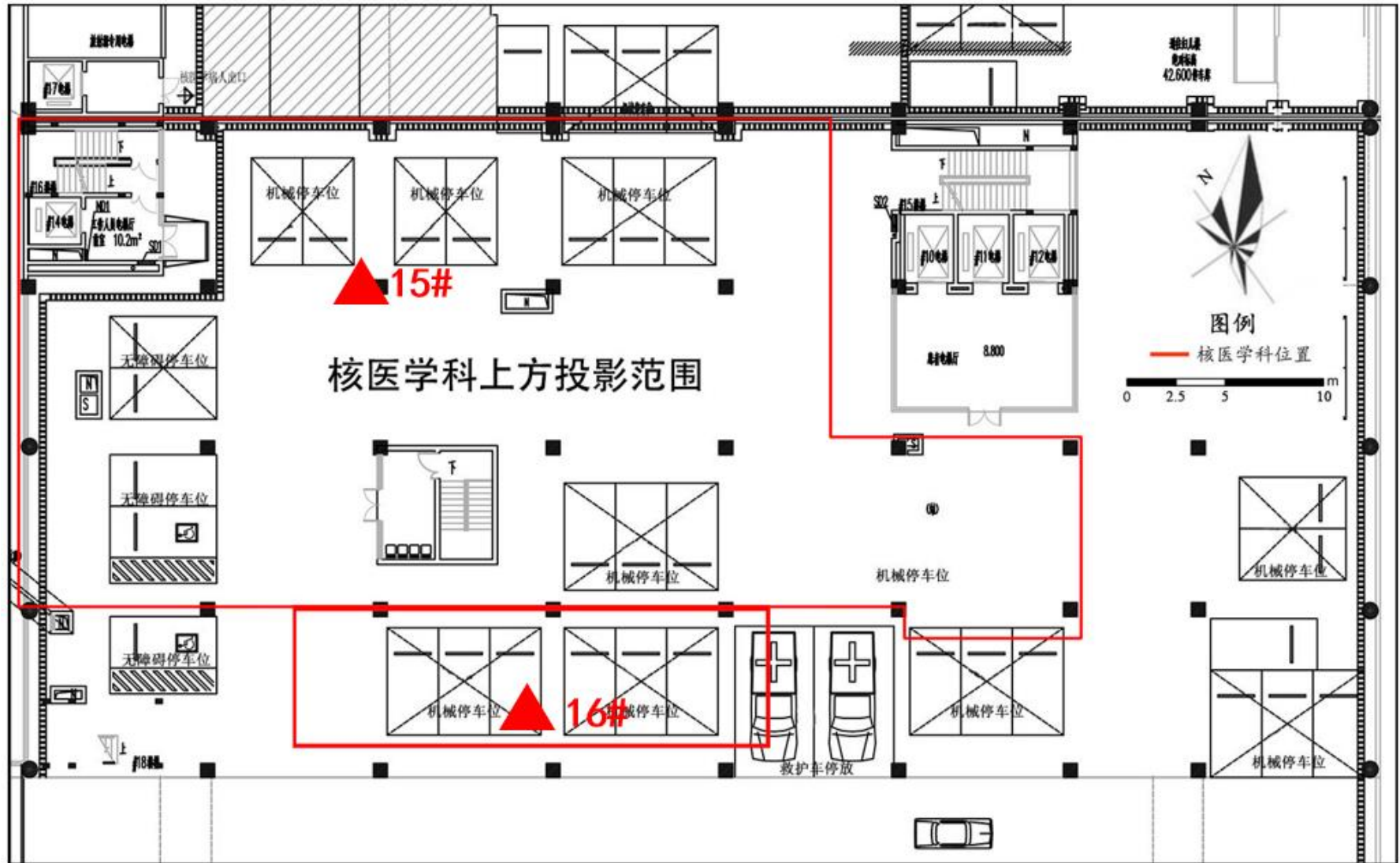


图 8.2-2  $\gamma$  辐射剂量率背景水平调查点位分布图（门诊楼四层局部）

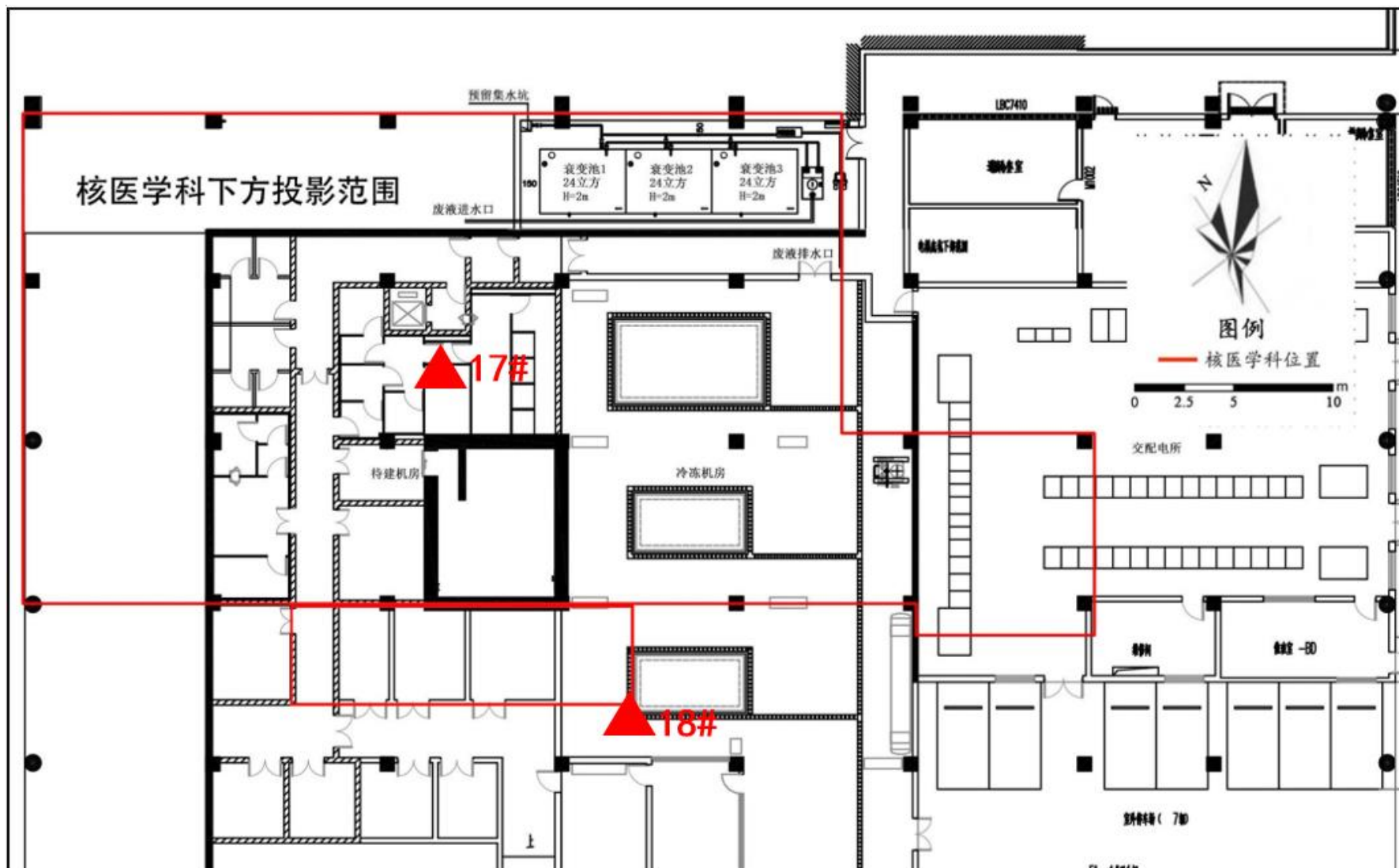


图 8.2-3  $\gamma$  辐射剂量率背景水平调查点位分布图（门诊楼二层局部）



图 8.2-4  $\gamma$  辐射剂量率背景水平调查点位分布图（医院外环境）

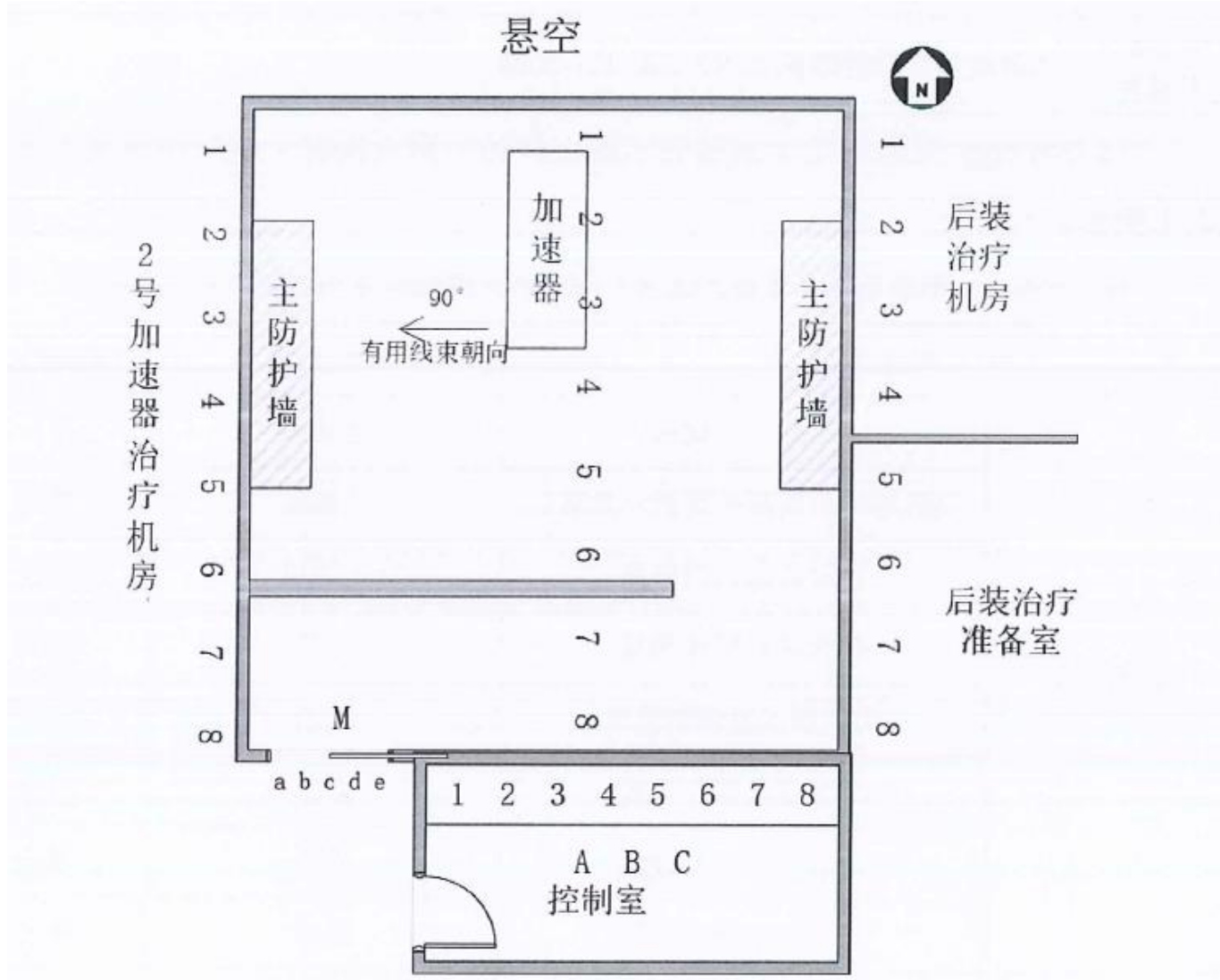


图 8.2-5 直线加速器机房工作场所辐射环境监测布点图

## 表 9 项目工程分析与源项

### 9.1 工程设备和工艺分析

#### 9.1.1 核医学科

##### 9.1.1.1 SPECT/CT 诊断 (Tc-99m)

###### (1) 工作原理

SPECT 是单光子发射计算机断层成像技术的英文缩写 (Single-Photon Emission Computed Tomography), 是一种进行功能代谢显像的分子影像学设备, 其工作原理是利用仪器探测人体内同位素的动态分布而成像, 特点是可做功能、代谢方面的影像观察。SPECT 不仅能显示二维平面图像, 更主要的还能给出脏器的断层图像。它实际上就是一个探头可以围绕病人某一脏器进行 360° 旋转的  $\gamma$  相机, 在旋转时每隔一定角度 (3° 或 6°) 采集一幅图片, 然后经电子计算机自动处理, 将图像叠加, 并重建为该脏器的横断面、冠状面、矢状面或不同方位的断层和切面图像, 利用专用的核医学应用软件, 对断层图像和数据做进一步的分析处理, 为核医学医生提供更多更精确的信息和定量分析的数据, 从而极大地提高了诊断的灵敏度和准确性。

SPECT/CT 是将 SPECT 和 CT 这两种设备安装在同一个机架上, 两种显像技术的定位坐标系统相互校准, 在两次扫描期间患者处于同一个检查床上且保持体位不变, 可防止因患者移位产生的误差, 在一定程度上也解决了时间配准的问题。通过 SPECT/CT 图像融合技术, 可以将 SPECT 灵敏反映体内组织器官生理、生化和功能的变化与 CT 提供的精确的解剖结构信息相结合, 真正实现了功能、代谢、生化影像与解剖结构影像的实时融合, 为临床提供了更加全面、客观、准确的诊断依据。不仅如此, CT 提供的图像数据还可用于 SPECT 的衰减校正, 有效提高 SPECT 的图像质量。

本项目拟购置的 SPECT/CT 型号为西门子 Symbia T, 其使用的 CT 最大管电压为 130kV, 最大管电流为 345mA。该型号 SPECT/CT 设备照片见图 9.1-1。

本项目 SPECT/CT 装置采用单光子核 Tc-99m 进行显像。

###### (2) 工艺流程分析

- ① 根据需要, 医院对接受显像检查的患者进行预约登记, 确定用量。
- ② 向有资质的供货商订购已分装的 Tc-99m 药物针剂 (储存在 20mmPb 的铅罐内)

送至医院分装室 1。



图 9.1-1 西门子 Symbia T 型号 SPECT/CT 设备照片

③根据患者用药量，在分装室 1 的手套箱内进行药物分装。患者按约定时间在患者候诊室准备和等候；准备好的患者在 SPECT/CT 注射室的注射窗口接受注射，辐射工作人员佩戴个人剂量计、穿戴好个人防护用品从贮药罐内取出患者的药物针剂，用一次性注射器通过注射台为受检者注射药物。

④患者进入 SPECT/CT 观察室候诊。

⑤患者进入 SPECT/CT 机房接受检查。

⑥检查完成，患者在 SPECT/CT 留观区休息一段时间后，从专用通道离开。

SPECT/CT 项目整体工艺及操作流程见图 9.1-2。

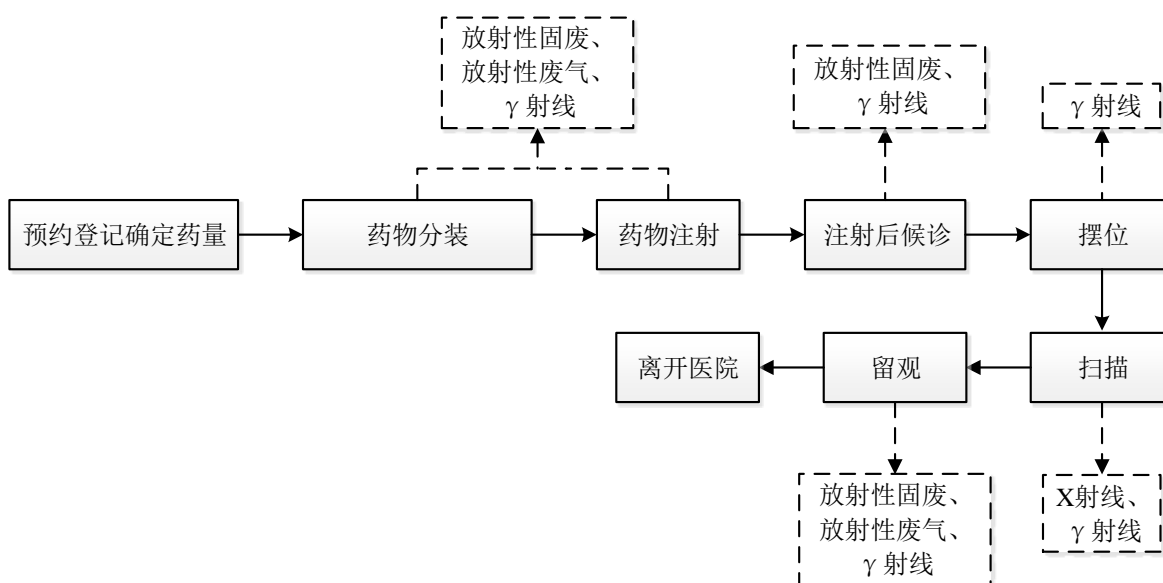


图 9.1-2 SPECT/CT 项目诊断操作流程示意及产污环节图

### 9.1.1.2 Ga-68 显像诊断

#### (1) 工作原理

本次核医学科扩建，在 PET/CT 区域增加使用 Ga-68 进行显像检查，Ga-68 正电子核素作为示踪剂，可示踪人体内特定生物物质的生物活动，该药物显像依托现有核医学科 PET/CT 开展。

#### (2) 工作流程及产污环节

①根据医生指导意见，需要接受全身或脏器显像检查的人员提前预约登记，确定用药量。医院通过向有资质的供货商订购已分装的 Ga-68 药物针剂（储存在 20mmPb 的铅罐内）送至医院分装室 1。

②受检者按约定时间在预约登记处进行登记、准备。

③Ga-68 药物通过注射器转运盒运至注射区备用。

④准备好的受检者进入注射区，注射医护人员穿戴好个人防护用品从注射器转运盒内取用相应病人的标记药物，通过注射窗口为受检者注射药物，注射时间平均约 3min/人。

⑤注射了放射性药物的受检者进入注射后观察室等候（Ga-68 半衰期较短，应尽快进行显像，候诊时间一般为 5~10min），等待对讲系统中的医生指示。

⑥注射药物的受检者从注射后候诊室直接进入 PET/CT 机房检查，医护人员配合受检患者摆好位后进入操作间进行隔室操作，摆位时间平均约 0.5min/人·次，CT 最少需曝光 2 次（一次定位曝光，一次诊断级曝光），如出现定位不准或扫描结果不清晰等情况，可能需增加曝光次数，曝光次数一般在 5 次/人·次以下，每次曝光平均时间约 10~15s/次。

⑦检查完成后，受检者在留观室（留观室未设卫生间）留观 5~10min，然后从 PET/CT 区域检后患者通道向东侧出口离开。

Ga-68 患者诊断流程及产污环节见图 9.1-3。

### 9.1.1.3 I-131 核素诊疗

#### (1) 工作原理

##### ①甲功测定

甲状腺具有选择性摄取和浓聚碘的功能，其摄取碘的速度和数量与甲状腺的功能状态有关，口服 I-131 后可被甲状腺滤泡上皮细胞摄取、浓聚。在体外，利用甲状腺

功能仪探测甲状腺 I-131 发射的  $\gamma$  射线，获得不同时间甲状腺部位的放射性计数率，

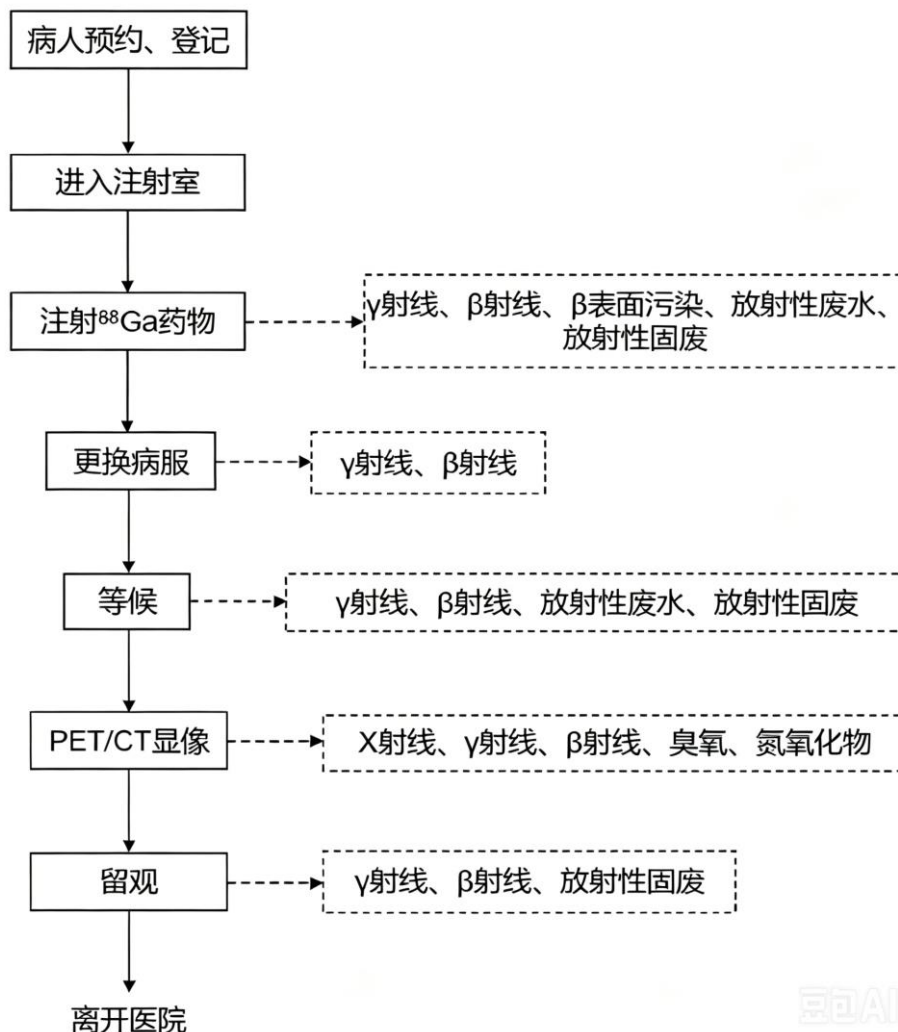


图 9.1-3 Ga-68 诊断操作流程示意及产污环节图

根据甲状腺摄取 I-131 的数量和速度、释放的速率来判定甲状腺功能状态。

### ② 甲亢、甲癌测定工作原理

I 是合成甲状腺激素的物质之一，甲状腺细胞通过 Na/I 共转因子克服电化学梯度从血循环中浓聚 I-131。因此，甲状腺疾病患者口服的 I-131 药剂大都聚集在甲状腺内；I-131 衰变发射的  $\beta$  射线在组织内平均射程仅为 1mm，因此  $\beta$  粒子的能量几乎全部释放在甲状腺组织内，对甲状腺周围的组织和器官影响较小。甲亢患者，如给予适当剂量的 I-131，则可利用其放射性“切除”部分甲状腺组织而又保留一定量的甲状腺组织，达到治疗目的，使甲状腺功能恢复正常。对于甲癌患者，给予大剂量 I-131，能够消除手术残留的甲状腺组织，减少复发和转移；I-131 治疗后，随访变得十分容易

和灵敏可靠，测量血里的甲状腺球蛋白（Tg）及 B 超、X 线检查就可以监测有无复发和转移；I-131 治疗甲状腺癌转移灶具有高度的靶向性，副作用小，效果好。

## （2）工作流程

本项目甲功测定、甲亢和甲癌治疗所用 I-131 放射性药物采购自有资质的放射性药物供货商。I-131 放射性药物整瓶装入铅罐（40mmPb）内，由专用放射性药物运输车辆送至医院核医学科分装室 2。医护人员将铅罐装入自动分装仪中，通过电脑控制完成单个患者的药物分装及活度测量，患者在服药区取出装有药物的一次性纸杯服药。

### （1）甲功测定工作流程

①根据需要，医院对接受甲功测定的患者进行预约登记，确定用药量。

②医务人员通过电脑设置自动分装仪给药量，仪器自动给药。患者在服药区空腹口服 I-131，经检查无异常后，从专用通道离开。

③患者服药后于第 2h、4h、24h 进入甲功室，医务人员用甲功能仪测定患者颈部甲状腺部位的放射性计数，并同标准源比较，计算甲状腺吸 I-131 率，绘制甲状腺吸 I-131 率曲线。

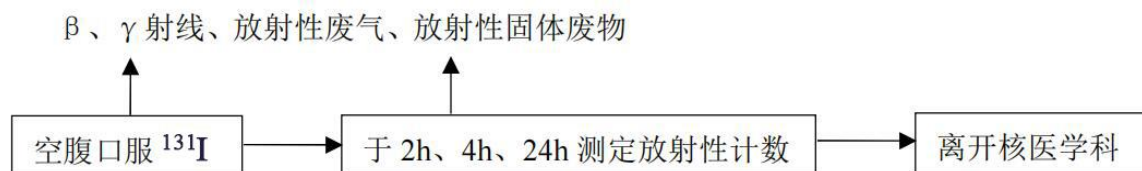


图 9.1-4 甲功测定操作流程示意及产污环节图

### （2）甲亢治疗工作流程

①根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前登记预约，并进行治疗前准备：停用抗甲状腺药物及低碘饮食 1~2 周。

②医院的工作人员测定患者的甲状腺 I-131 摄取率、甲状腺重量等。

③根据患者甲状腺的相关情况等制定治疗剂量方案。

④医务人员通过电脑设置自动分装仪给药量，仪器自动给药。患者在服药区空腹口服 I-131，经检查无异常，从专用通道离开。

### （3）甲癌治疗工作流程

①根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前登记预约，并进行治疗前准备：

停用抗甲状腺药物 2 周以上，低碘饮食 4 周等。

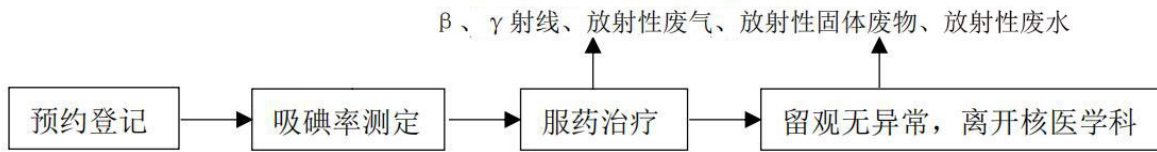


图 9.1-5 甲亢治疗操作流程示意及产污环节图

②医院的工作人员对患者进行相关检查和甲状腺 I-131 摄取率测定。

③根据患者甲状腺的相关情况等制定治疗剂量方案。

④医务人员通过电脑设置自动分装仪给药量，仪器自动给药。患者在服药区空腹口服 I-131，治疗甲癌的 I-131 药物剂量较大，必须住院治疗，直到体内 I-131 活度降低到 400MBq 以下，方可出院。

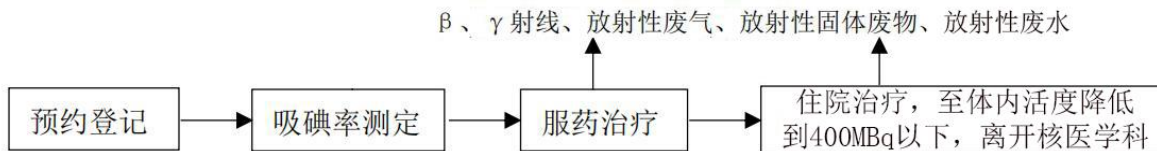


图 9.1-6 甲癌治疗操作流程示意及产污环节图

#### 9.1.1.4 Sr-89、Lu-177、Ac-225、Ra-223 核素治疗

##### (1) 工作原理

一些放射性核素在衰变过程中，可以释放出  $\alpha$  射线或  $\beta$  射线等，具有较强的电离辐射效应，对于肿瘤细胞或异常增殖组织等具有较强的杀灭作用。放射性核素治疗就是指利用具有治疗作用的放射性核素，近距离精准杀伤病变细胞和组织，达到治疗的目的。放射性核素治疗主要有内照射、粒子或玻璃微球治疗、体外敷贴和硼中子俘获治疗等方法。

内照射治疗主要是摄入或注射具有治疗作用的核素或核素标记分子，这些分子将在病变靶细胞和组织高度聚集，利用放射性核素释放出来的  $\alpha$  射线或  $\beta$  射线等，近距离精准杀伤病变细胞和组织，达到治疗目的。

##### 1) Lu-177 治疗前列腺癌

Lu-177 是一种治疗性核素，性质优良，可以标记较小肽类，靶向性较高，半衰期为 6.73d，有充分时间结合受体，适合运输。Lu-177 同时发射  $\beta$  及  $\gamma$  射线， $\beta$  射线能量为 0.2058MeV，在组织中的平均射程为 2mm，在对病灶发生辐射作用时对骨髓抑制

较轻，比其他治疗核素更安全。同时其较低能量的  $\gamma$  射线，可减少对医护人员的辐射。

### 2) Ac-225 治疗前列腺癌

Ac-225 ( $\alpha$  放射性核素) 在内照射时具有极强的细胞毒性，对肿瘤细胞具有较强的杀灭作用，而其短射程对正常组织影响较小 ( $\alpha$  粒子的射程仅  $47\mu\text{m}$ )，半衰期 10d，衰变时产生 5.73MeV 的  $\alpha$  射线，此外，也有较低几率产生 0.0997MeV 的  $\gamma$  射线。

### 3) Ra-223、Sr-89 治疗骨转移瘤

Ra-223 是一种放射性核素，物理半衰期为 11.44d，能发射  $\alpha$  射线，同时还能发射  $\beta$  射线和  $\gamma$  射线。其中  $\alpha$  射线占 95.3% (最大能量 5.8713MeV)， $\alpha$  粒子在组织中射程仅  $43\mu\text{m}$ 。Ra-223 在内照射时具有极强的细胞毒性，对肿瘤细胞具有较强的杀灭作用，而其短射程对正常组织影响较小，并能够模拟钙的作用，并与羟基磷灰石形成复合物以加快一些部位骨质更新，例如骨转移灶部位。这种强有力的药物的  $\alpha$  粒子的穿透范围短，不会伤害附近的健康组织和关键的骨髓。对医护人员和患者周围公众外照射影响轻。Sr-89 治疗原理与之接近，均具有趋骨性、在骨组织代谢活跃的部分浓聚更多，静脉注射后骨转移肿瘤病灶呈明显的浓聚，利用这些趋骨性放射性药物发射的  $\beta$  射线对肿瘤进行内照射，达到止痛、抑制或破坏骨转移肿瘤病灶。

### (2) 核素治疗工作流程

本项目拟利用放射性核素 Lu-177、Ac-225 开展前列腺癌治疗，利用放射性核素 Ra-223、Sr-89 开展骨转移瘤治疗，均属于注射治疗。

具体工作流程如下：

①患者在门诊经过诊断后，医生临床诊断确定患者所需药物的使用量，并告知患者可能受到的辐射。

②医院根据病人门诊情况预定采购放射性药物，在约定的时间内由放射性药物供应单位负责将放射性药物运送至核医学科分装室 2，核医学科安排专人接收，经确认无误完成相关交接手续，暂存在储源室内。本项目注射用药物均已由供应单位按所需药量分装至各储存容器中，不需医院进行分装。

③患者通过患者走廊进入 SPECT/CT 注射区接受放射性药物注射，医护人员从分装室 1 取出含已分装放射性药物的容器，使用注射器从容器中抽取药液，抽药过程均在分装室 1 的手套箱内进行。

④医护人员在服药间为患者进行静脉注射，注射时间约 0.5min/人·次。

⑤注射 Ac-225/Ra-223/Sr-89 药物的患者向南至 SPECT/CT 区域留观室，直接从留

观室西侧出口离开医院，不需留观。

注射 Lu-177 药物的患者需至核素病房住院观察。住院期间，护士每日通过病房内的人机可视化对讲系统查看患者情况，不需进入病房巡视。住院期间患者禁止外出，患者仅允许在病房内部自由活动。医护人员通过安装在病房的摄像头和对讲装置进行查房，患者通过呼叫系统按照医护人员的呼叫，按顺序在取餐窗口取餐。

⑥注射 Lu-177 药物的患者住院满 3 天后，到达核素治疗区西侧测量/配餐区处，需经过在测量/配餐区内一侧墙体上设置的固定式辐射剂量率监测仪检测，医生语音指导患者站在指定地标进行测量，参考甲癌患者出院标准，Lu-177 药物注射患者出院时体表 1m 处的周围剂量当量率低于  $25\mu\text{Sv/h}$  或体内放射性活度低于  $400\text{MBq}$  后，医生方会通过控制面板确认打开测量/配餐区与缓冲区之间的门禁。患者从缓冲区西侧出口离开。

骨转移瘤、前列腺癌治疗工作流程及产污环节见图 9.1-7 和图 9.1-8。

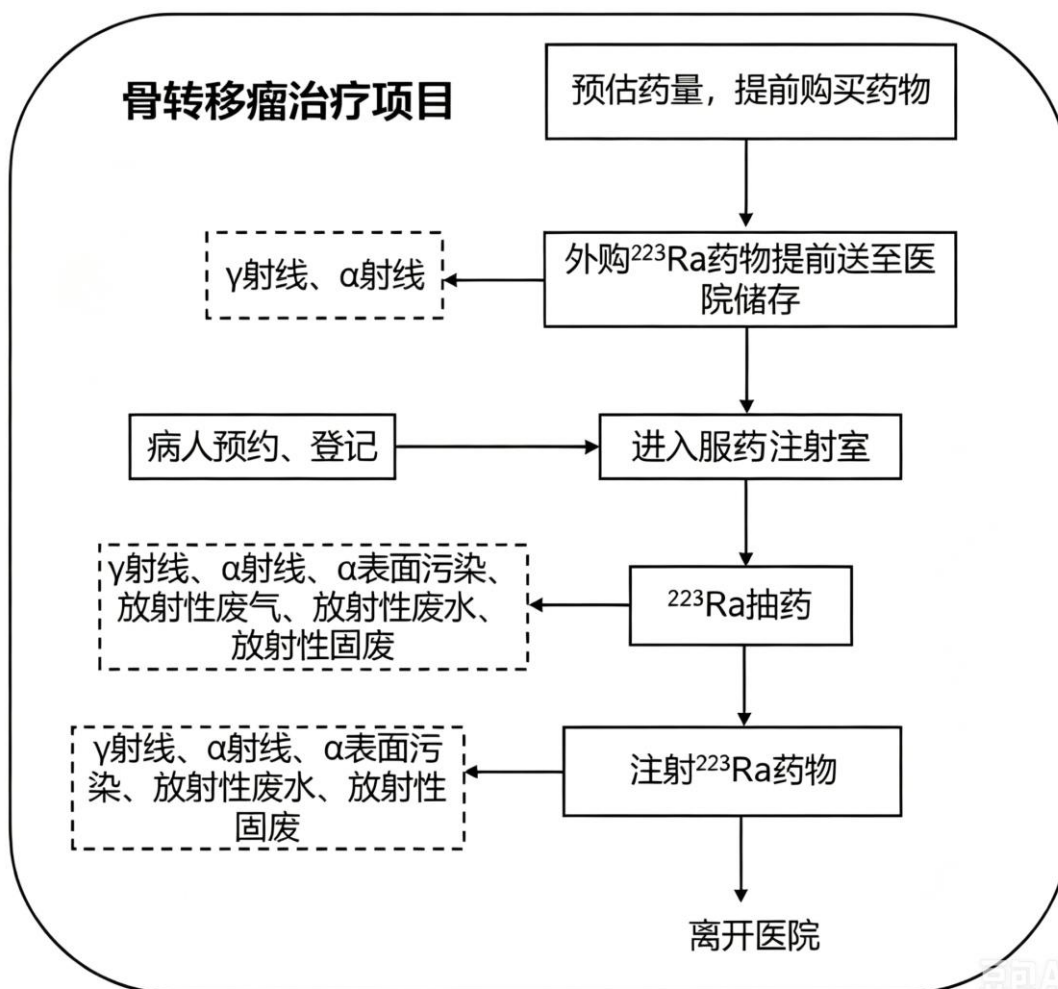


图 9.1-7 骨转移瘤治疗工作流程示意及产污环节图

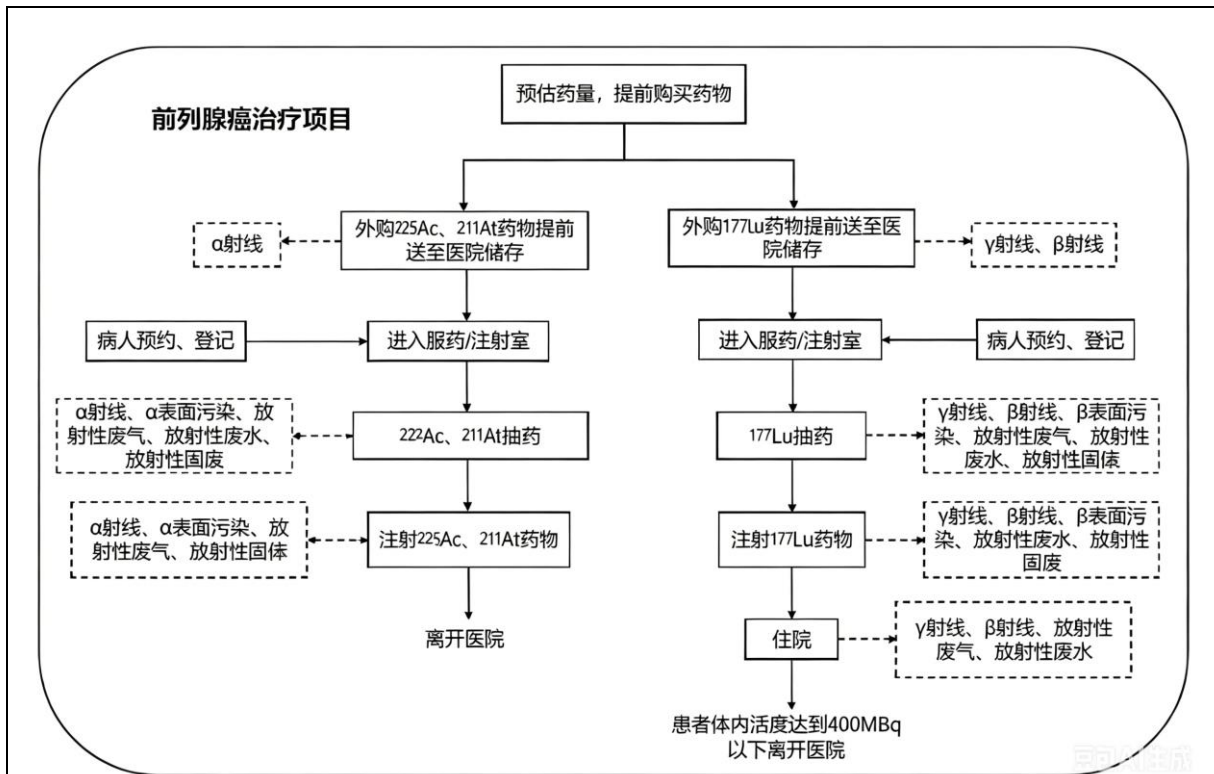


图 9.1-8 前列腺癌治疗工作流程示意及产污环节图

### 9.1.1.5 敷贴治疗 (P-32、Sr-90/Y-90)

#### (1) 工作原理

体外敷贴治疗一般使用发射  $\beta$  射线的放射性核素，本项目使用 P-32 药物、Sr-90/Y-90 放射源进行体外敷贴。

当患者患有血管瘤、痣、疤痕、疙瘩、酒渣鼻、毛细血管扩张、神经性皮炎、局限性慢性湿疹、局限性皮肤瘙痒和某些皮肤癌等症状时，通过 P-32 药物、Sr-90/Y-90 放射源敷贴照射，让敷贴器充分接近病变皮肤，核素在衰变过程中释放的纯  $\beta$  射线作用于增生组织细胞，可以降低细胞分裂速度，延长核分裂周期，闭塞毛细血管及止痒和镇痛等作用而达到诊疗目的。本项目使用的 P-32 由医院自行制备，药物均匀吸附于滤纸或银箔上，按病变大小和形状制成专用的敷贴器；Sr-90/Y-90 敷贴源为外购成品密封源，属于使用 V 类放射源。

#### (2) 治疗工作流程

##### 1) P-32 敷贴

- ① 根据需要，医院对接受治疗的患者进行预约登记，确定用药量。
- ② 有资质的药物供货商按照医院要求，在规定时间内将分装好的 P-32 药物（储

存在 20mmPb 的铅罐内) 送到核医学科分装室 1 的手套箱内。

③工作人员拟根据患者病变形状的不同, 在分装室 1 的手套箱内制作好 P-32 敷贴器。患者按约定时间在 P-32 敷贴室内准备和等候。医务人员佩戴个人剂量计、穿戴好个人防护用品从敷贴器贮源箱内取出患者的 P-32 敷贴器, 对患者进行敷贴。

④整个敷贴治疗过程用时短, 单名患者用药活度小, 敷贴后病人直接离院, 敷贴器作为放射性废物暂存于衰变桶。

## 2) Sr-90/Y-90 敷贴

①医院拟根据皮肤患病的位置, 用定位橡皮将皮肤完好部分覆盖包扎, 将皮肤患病的部位露出, 定位结束。

②患者到 Sr-90 敷贴室, 由辐射工作人员从贮源箱内取出放射源, 将放射源敷贴在定好的位置上。

③工作人员进入操作室, 并开始对患者进行敷贴治疗。

④治疗结束后, 敷贴后病人直接离院, 工作人员将放射源放回贮源箱内。

根据放射源特性, Sr-90/Y-90 敷贴治疗主要污染物为放射源在使用和存放过程中持续产生的  $\beta$  射线;  $\beta$  粒子穿过周围物质时产生韧致辐射(本质为 X 射线)。Sr-90/Y-90 敷贴器经过一段时间的使用后, 其活度会降低至不适宜用于治疗, 此时将产生废旧放射源。

敷贴治疗工作流程及产污环节见图 9.1-9。

## 9.1.2 DSA 项目

### 9.1.2.1 设备组成

DSA 机设备因其整体结构像大写的“C”, 因此也称作 C 型臂 X 光机, DSA 机成像系统按功能和结构划分, 主要由五部分构成: X 线发生装置、影像检测和显示系统、影像处理和系统控制部分、机架系统和检查床、影像存储和传输系统。

#### (1) X 线发生装置

X 线发生装置主要包括 X 线球管、高压发生器和 X 线遮光器。其中 X 线球管可以连续发射 X 射线; 高压发生器能产生高千伏、短脉冲, 并保证恒定输出; X 线遮光器用来限制 X 线照射视野, 避免患者接受不必要的辐射。

#### (2) 影像检测和显示系统

影像检测和显示系统用于将 X 线信息影像转换成可见影像。

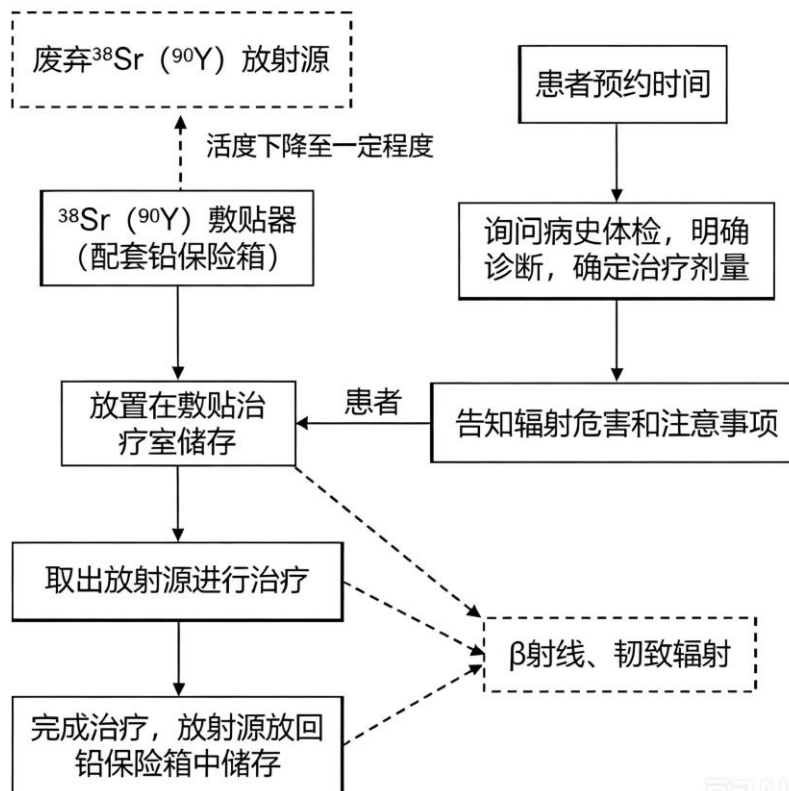


图 9.1-9 敷贴治疗工作流程示意及产污环节图

### (3) 影像处理和系统控制部分

DSA 机影像被数字化后, 则需进行各种算术逻辑运算, 并对减影的图像进行各种后处理。系统控制部分具有多种接口, 用于协调 X 线机、机架、计算机处理器和外设联动等。

### (4) 机械系统

机械系统包括机架和检查床。

### (5) 影像存储和传输系统

影像存储和传输系统充分利用网络技术实现影像资料的共享, 方便随时调阅、交流和管理。

DSA 机在工作时, 能够实现曝光采集及透视功能。目前主流的 DSA 机多采用脉冲透视功能, 能够实现短时间、低电压、大电流连续脉冲式动态采集。同时还能自动根据成像区衰减状态调整 kV、mA 等参数, 使 X 射线管保持最佳负荷状态, 在安全辐射剂量范围内获取最佳图像质量。本项目拟配备的 DSA 机, X 射线球管及平板探

测器分别在 C 型臂的两端，球管出束口恒定朝向平板探测器照射，出束主射线在平板探测器成像范围（照射野范围）内。本项目拟配备的 DSA 机外观见图 9.1-10。

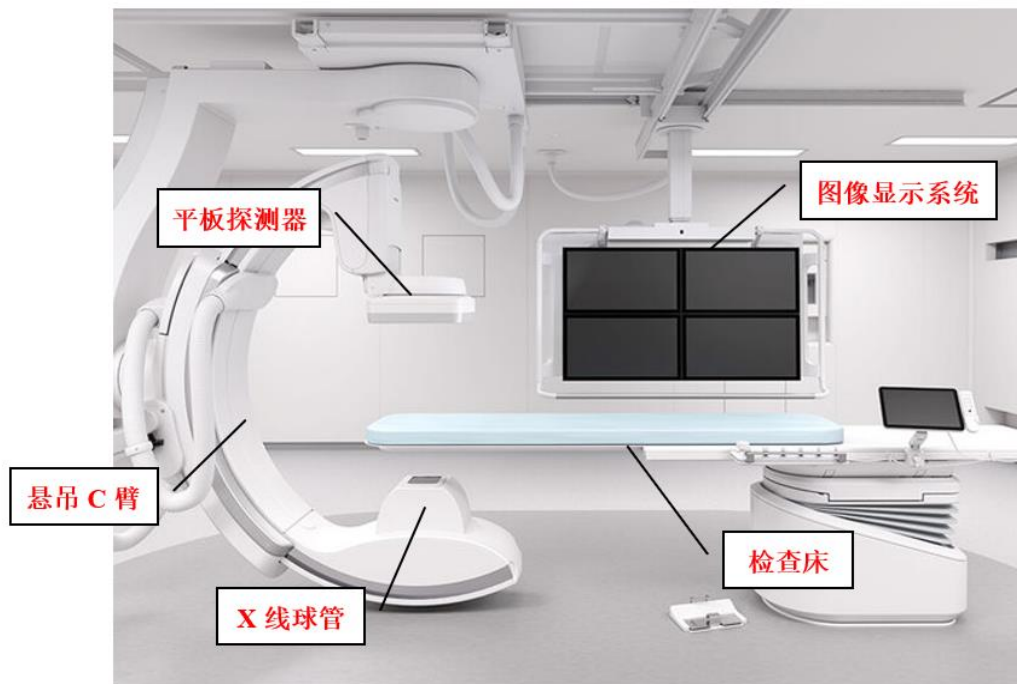
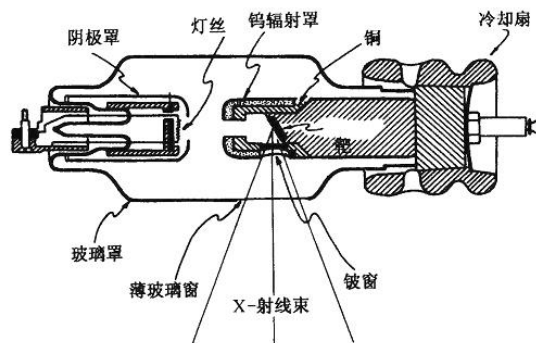


图 9.1-10 本项目 DSA 机的外观示意图

### 9.1.2.2 工作原理

数字平板减影血管造影机（DSA）是利用X射线技术和造影剂，清晰显示血管影像，是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法。它是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，先进行第一次成像，用计算机将图像转换成数字信号储存起来；注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同的信号，得到一个只有造影剂的血管图像。通过DSA处理的图像，使血管的影像更为清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来。主要用于心脏、脑血管、外周血管的造影诊断及介入治疗，是心血管造影诊断及介入治疗的专用血管造影机。



**图 9.1-11 X 射线管结构原理图**

### **9.1.2.3 工艺流程分析**

DSA 诊疗时患者仰卧并进行经皮静脉穿刺，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达检查治疗部位施行探查、治疗，并留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。

(1) 医生根据患者预约安排手术，并在手术前告知患者在手术过程中可能受到一定的辐射照射。

(2) 病人由专职人员通过受检者防护门接入 DSA 机房，在医生指导下进行摆位，在确认手术室内没有无关人员滞留后，关闭防护门。

(3) 对患者进行无菌消毒、麻醉后，经穿刺静脉，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，经鞘插入导管。医生利用脚踏板开关启动 X 射线系统进行透视。进行过程中医生穿戴铅衣、铅围脖、佩戴铅眼镜等个人防护用品进行防护。

(4) 导管到位后，对患者注射造影剂，开启设备，摄影采集图像。进行过程中，根据诊疗需要，医生或在操作室进行隔室摄影，或在床旁进行摄影。每台介入手术的摄影时间为 1~2 分钟。

(5) 介入手术完成后，拔管按压穿刺部位后包扎，关闭射线装置。

DSA 装置工作流程及产污环节如图 9.1-12 所示

## **9.1.3 直线加速器**

### **9.1.3.1 设备结构及组成**

医用电子直线加速器是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器。它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。医用电子直线加速器示意图见图 9.1-13。

### **9.1.3.2 直线加速器工作原理**

放射疗法是 X 射线、 $\gamma$  射线或高能电子束等放射线照射癌组织，由于放射线的生物学作用，能大量的杀伤癌细胞，破坏癌组织，使其缩小。其原理是依据大量的放射线所带的能量可破坏细胞的染色体，使细胞停止生长，所以可用于对抗快速生长分裂的癌细胞。放射治疗最常作为直接或辅助治疗癌症的方式。由于细胞对放射线的敏感性，是在分裂期最高，在 DNA 合成期其敏感性最低，因此放射疗法可以减少损伤

周围正常组织，仅对异常增殖的癌肿给予大量的杀伤，使其缩小，同时机体又再次尽可能发挥最大的调节功能。

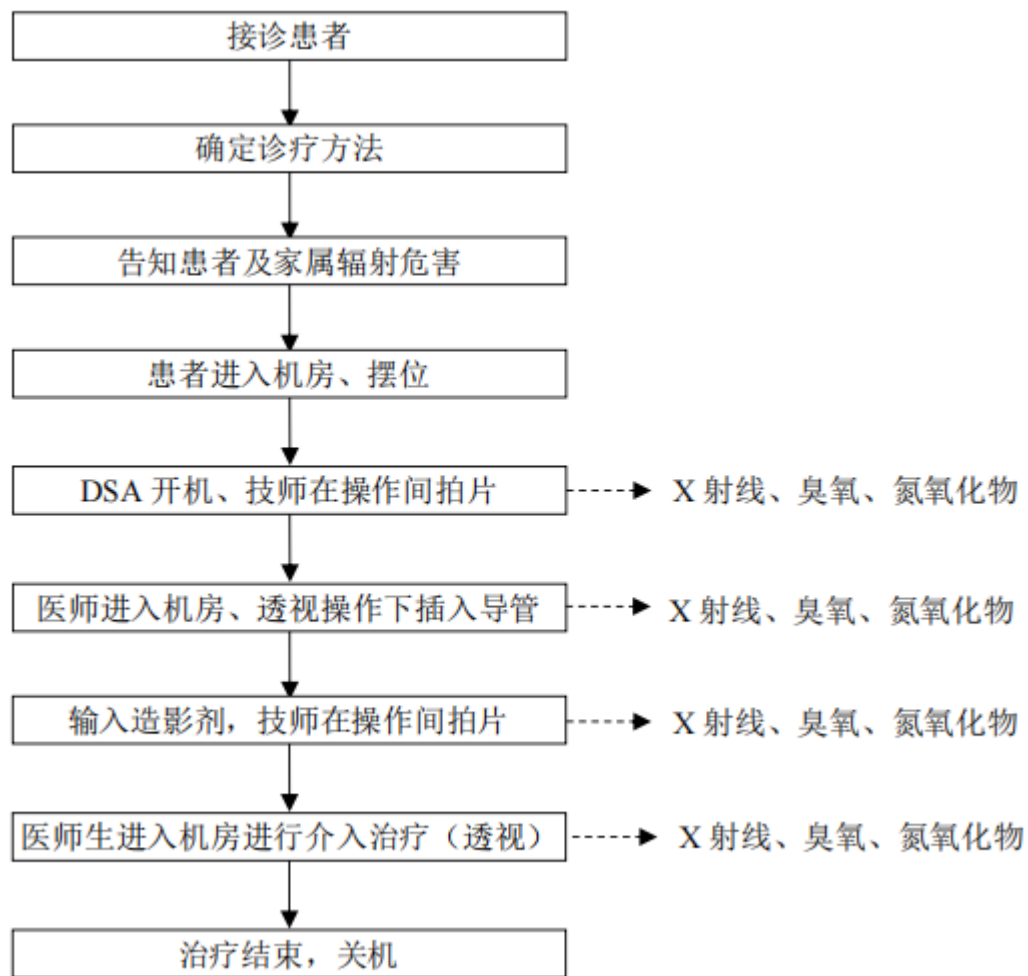


图 9.1-12 DSA 机工作流程及产污环节示意图

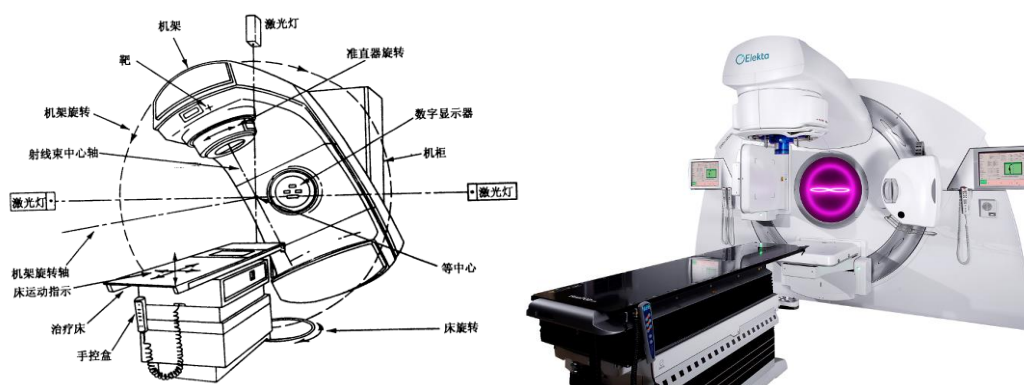


图 9.1-13 医用电子直线加速器物理结构图

医用直线加速器是现实放疗的最常见的设备之一，是产生高能电子束的装置，为远距离放射性治疗机。其工作原理为电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，经调制、准直后射向患者病灶，或者通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，其最大能量为电子束的最大能量，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。

因此，医用电子直线加速器既可利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞。

加速器机头可围绕等中心（肿瘤）作 360° 旋转，等中心与加速器靶（即辐射源）距离 100cm，由光阑控制照射野大小。最大照射野 40cm×40cm，实际照射野根据肿瘤大小和形状而定，一般小于 20cm×20cm。医用电子直线加速器具有最佳输出能量、开关方便、大照射野可调、均匀性好、半影区小、对病人产生的副作用小和疗效显著等特点，是目前对肿瘤进行放射治疗的主要技术手段之一。

项目直线加速器主要技术参数详见表 9.1.1。

**表 9.1.1 本项目直线加速器主要技术参数**

参数名称	参数值
型号	联影 uLinac EternaTx 型
能量	6MV、FFF MV
射线最大出射角	28 度
源轴距 SAD	100cm
距靶 1m 处最高剂量率	1400MU/min
最大照射野尺寸	40cm×40cm
机架旋转角度	±180 度
等中心点离地高度	1280mm
X 射线泄漏率	≤0.1%

### 9.1.3.3 工作流程及产污环节

#### (1) 工作流程

①进行定位：先通过 CT 模拟定位机（已备案）对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位；

②制订治疗计划：根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间；

③固定患者体位：在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野；

④启动治疗：确认各类按钮工作正常后，工作人员退出治疗室，关闭防护门，按照医疗方案调好出束时间、角度、剂量，开机治疗。

⑤治疗完毕后，工作人员协助病人离开机房。

## (2) 产污环节

电子直线加速器电子枪产生的电子经过加速后，受到金属靶的阻止而产生高能 X 射线，贯穿能力极强，运行时产生的电子束和 X 射线随加速器的开、关而产生和消失。本次电子直线加速器 X 射线最大能量为 6MV，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1—2001），X 射线能量未超过 10MV 的加速器，无需考虑中子辐射及中子俘获  $\gamma$  射线。因此，在开机期间，主要污染因子是 X 射线、臭氧和氮氧化合物。工作流程及产污环节见图 9.1-14。

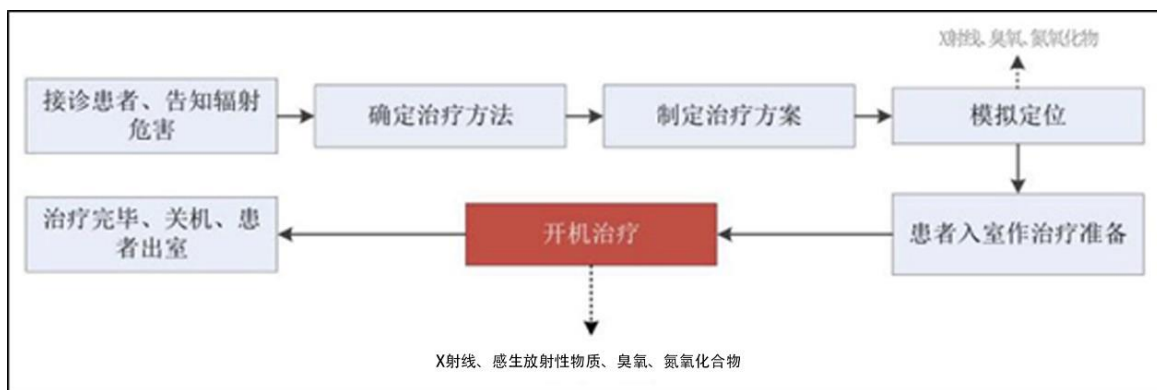


图 9.1-14 医用电子直线加速器工作流程及产污环节示意图

## 9.1.4 人员配备及工作负荷

### 9.1.4.1 核医学科项目

#### (1) 人员配备情况

本项目核医学科拟安排辐射工作人员 10 人：其中 SPECT/CT 场所工作人员共 6 人，负责分装、注射的核素操作人员 2 人，负责扫描、摆位的 SPECT/CT 操作人员 4 人；I-131 核素操作人员 2 人；P-32 核素操作人员 1 人；Sr-90/Y-90 敷贴操作人员 1 人。本项目 SPECT/CT 场所的工作人员工作制度为两班制，工作时间为年诊疗时间的 1/2。

#### (2) 诊疗规模

由医院提供资料可知，本项目核医学科各核素预计诊疗规模（最大服药量对应人数）详见表 9.1.2 所示。

**表 9.1.2 本项目核医学科各核素预计治疗规模**

序号	核素名称	诊疗规模（人）			备注
		单日最大诊疗人数	单人最大药量（mCi）	年最大诊疗人数	
1	Tc-99m	18	25	4500	每年诊疗 250 天
2	Sr-89	1	4	200	每年治疗 200 天
3	P-32	50	1	2600	每周治疗 1 天，每年治疗 52 天
4	I-131（诊断）	2	5	500	每年诊疗 250 天
5	I-131（甲亢）	4	10	1000	每年诊疗 250 天
6	I-131（甲癌）	3	200	312	每周集中治疗 2 批次，每批次治疗时间为 4 天，每年治疗 104 批次（按 52 周计）。
7	Ga-68	5	5	1250	每年诊疗 250 天
8	Lu-177	1	200	156	每周接受患者 3 批次（每周一、三，五），每批次治疗时间为 1 天，每年治疗 156 批次（按 52 周计）
9	Ac-225	1	1.22	104	每周接受患者 2 批次（每周二、四），每批次治疗时间为 1 天（按 52 周计）
10	Ra-223	1	0.11	200	每年诊疗 200 天

#### 9.1.4.2 DSA 项目

##### （1）人员配备情况

本项目拟安排的辐射工作人员 10 人，其中 6 名为介入室医生、护士，拟采取轮岗的形式在 DSA 进行检查和手术；4 名为控制室工作人员，为固定人员，实行轮岗；10 名辐射工作人员均为新增人员。

##### （2）工作负荷

根据院方提供的资料，预计本项目 DSA 机年手术约 1000 台，保守估计，每台手术透视 15min，摄影 3min。即年透视工作时间 250h，摄影时间 50h。

#### 9.1.4.3 直线加速器项目

##### （1）人员配备情况

本项目 1 台直线加速器位于院西附属楼直线加速器机房，拟安排辐射工作人员 6 人，均为医院现有辐射工作人员，工作制度为两班制。

## (2) 工作负荷

根据建设单位提供的资料，项目直线加速器的工作量为 40 人/d，每周工作 5d，每年工作 50 周。放射治疗患者的出束治疗时间平均为 3min/人·次，则加速器日治疗出束时间 120min (2h)，周治疗出束时间为 600min (10h)，年治疗出束时间约 500h。

### 9.1.5 人流和物流路径规划

核医学科内具体流线见图 9.1-15。

#### 1) 人流

##### ①医护人员

SPECT/CT 操作人员穿过办公区域通道后，由 SPECT/CT 控制室南门进入 SPECT/CT 控制室进行设备操作，由控制室西侧防护门进入 SPECT/CT 机房进行摆位指导，工作结束后按原路返回。

所有的核素操作人员由西侧通道依次进入更衣室、淋浴室、注射分装室。I-131、Lu-177 核素操作人员进入分装室 2，通过电脑控制完成药物在自动分装仪中分装。其余核素操作人员进入分装室 1，在手套箱内进行药物分装操作及 P-32 敷贴器制作，取药后通过注射窗口完成药品注射或通过 P-32 敷贴室的窗口完成敷贴，工作结束后按原路返回。

Sr-90/Y-90 敷贴操作人员穿过办公区域通道后，直接进入 Sr-90 敷贴室，从储源间拿出贮源箱，将放射源敷贴在患者定好的位置上，然后进入操作室进行对患者的敷贴治疗，工作结束后将贮源箱暂存于 Sr-90 储源间，并按原路返回。

##### ②患者

Ga-68 患者：通过患者检查入口，在患者候诊室候诊，叫号后，穿过核医学科东侧过道，右拐进入 PET/CT 注射室，注射后进入 PET/CT 观察室候诊，随后根据工作人员叫号，由 PET/CT 机房西门进入进行检查，检查后进入 PET/CT 留观区，在留观区留观无异常，由留观区北门进入检后病人通道向东出核医学科。

Tc-99m 患者：通过患者检查入口，在患者候诊室候诊，叫号后，穿过核医学科东侧过道，左拐进入 SPECT/CT 注射室，注射后进入 SPECT/CT 观察室候诊，随后根据工作人员叫号，由 SPECT/CT 机房西门进入进行检查，检查后进入 SPECT/CT 留观区，在留观区留观无异常，由留观室西门处的楼梯间出核医学科。

Sr-89、Ac-225、Ra-223 患者：通过患者检查入口，在患者候诊室候诊，叫号后，

穿过核医学科东侧过道，左拐进入 SPECT/CT 注射室，注射后由 SPECT/CT 留观室西门处的楼梯间出核医学科。

I-131、Lu-177 患者：由核医学科西侧入口进入，穿过病人通道至核素治疗区域，并依次通过缓冲区、服药区。核素治疗患者在服药区服药后，直接进入核素治疗病房接受住院治疗，经检查直到体内 I-131 活度降低到 400MBq 以下，按原路返回，由病人通道向西出核医学科。甲功和甲亢患者在服药区服药后（甲功患者单人最大服药量 185MBq，甲亢单人患者最大服药量 370MBq），经检查无异常，按原路返回，由检后病人通道向西出核医学科。

P-32 敷贴治疗患者：由核医学科东侧入口进入，穿过病人通道进入 P-32 敷贴室，敷贴治疗结束后，按原路返回。

Sr-90/Y-90 敷贴治疗患者：由门诊区域入口进入，在门诊区域候诊，叫号后，穿过门诊区域通道进入 Sr-90 敷贴室，完成治疗后，按原路返回。

从上述路径看，Ga-68 患者（PET/CT 区域）、Tc-99m、Sr-89、Ac-225、Ra-223 患者（SPECT/CT 区域）及 I-131、Lu-177 患者（核素治疗住院患者）路线均为单向路径，甲功、甲亢患者（核素治疗门诊患者）路径通过设置物理隔断，亦形成单向路径，整体来看，各区域患者路径相对独立，互不交叉。此外，医院在检后病人通道处安装监控设备、语音对讲装置，出、入口均设置门禁系统、电离辐射警示牌，实现“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线，防止患者诊疗后从入口离开核医学科及无关人员进入。另外，为了进一步杜绝诊疗后患者因行走路线错误对医务人员或者其他患者造成辐射影响，医院在走廊等处醒目标识路线及禁止路线，并告知患者行进路线。通过上述措施加强各患者的管理，防止患者之间直接的交叉辐射影响。

## 2) 物流

### ①药流

所有药物均通过核医学科南侧通道进入药物准备区，最后进入分装室 1、2 的手套箱内暂存。I-131、Lu-177 药物进入分装室 2 的手套箱内暂存，其余药物暂存于分装室 1 的手套箱内。

### ②放射性废物

核素治疗病房、I-131 服药区、P-32 敷贴室以及注射分装室、SPECT/CT 区域观察室、注射室和 PET/CT 区域观察室、注射室等均设置衰变桶，各场所产生的放射性固体废物先暂存于各场所衰变桶内，在当日工作结束后，I-131 服药区和核素治疗病房

内的放射性固体废物收集至核素治疗区域的污物间内贮存衰变，其余场所内的放射性固体废物收集至药物准备区的污物间内贮存衰变。

核素治疗区域和分装室 2 的放射性废气排放管道更换下来的活性炭，直接收集至衰变桶中，并送至核素治疗区域的污物间内贮存衰变。P-32 敷贴室、Sr-90 敷贴室、药物准备区以及 SPECT/CT 区域、PET/CT 区域的放射性废气排放管道更换下来的活性炭，直接收集至衰变桶中，并送至注射分装室的污物间内贮存衰变。这些放射性固体废物在污物间内贮存衰变至少 10 个半衰期（含 I-131 的需暂存超过 180 天），达到核素清洁解控推荐水平后，通过 PET/CT 区域检后病人通道向西运出核医学科。当日剩余的放射性药物收集至铅罐中，并暂存于各分装室的手套箱内，由厂家进行回收。

废弃 Sr-90/Y-90 放射源暂存于 Sr-90 敷贴室储源间，由厂家进行回收。

综上，本项目路径规划符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）以及《核医学科放射防护要求》（GBZ 120—2020）中的相关路径要求。

## 9.2 污染源项描述

### 9.2.1 建设阶段的污染源项

本项目辐射工作场所在建设阶段不产生放射性废物、放射性废水和放射性气体，项目主要是在门诊楼主体建筑上进行内部建设、装修以及设备安装，产生的环境影响主要是施工时产生的噪声、扬尘、废水、固体废物等。本项目工程量较小，没有大型机械设备进入施工场地，施工场地安排有序，施工人员较少，采取抑尘措施，施工期短，合理安排施工秩序，施工时间，本项目对周围敏感点的影响在可接受的范围内。随着施工期的结束，这些影响也随即结束。

#### （1）废气

本项目的环境空气影响主要是扬尘，由散装水泥和建筑材料运输等施工活动产生。本项目的工程量小，产生的扬尘量很小。

#### （2）噪声

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

#### （3）废水

施工期用水主要为混凝土搅拌及养护，这类生产废水量小，一般通过蒸发，不外排。其次，施工期会产生少量施工人员生活污水，本项目 3 个施工区域，约有施工人员 20 人，按每人产生生活污水 0.12t/d 计，日产生污水量约 2.4t/d，与医院职工、病人等产生的污水一并进入医院污水处理站处理后排入市政管网。

#### (4) 固体废弃物

本项目施工期间产生的固体废物主要有施工人员的生活垃圾，设备废包装和建筑垃圾等。施工人员生活垃圾按人均每天产生量 1kg 计，施工期间日产生生活垃圾 20kg，这部分垃圾收集后与医院非医疗生活垃圾一道由环卫部门清运处理。设备包装主要为纸箱、泡沫等，这些固体废物可回收部分应予以回收，其余部分应进入垃圾填埋场处理。工程施工期间会产生砖头、钢筋等建筑垃圾，这部分垃圾可利用部分应予以回收利用，不可利用部分可进入填埋场处理。

## 9.2.2 运行阶段污染源项

### 9.2.2.1 非密封放射性物质污染源项及途径

本项目拟使用放射性核素衰变方式、主要射线和能量见表 9.2.1。

**表 9.2.1 放射性核素特性一览表**

名称	状态	毒性	半衰期	衰变方式	$\alpha/\beta$ 最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)
Tc-99m	液态	低毒	6.02h	$\gamma$	/	0.140
Ga-68	液态	低毒	68min	$\beta^+$ 、EC	1.9 (+)	0.511
P-32	液态	中毒	14.3d	$\beta^-$	1.71	/
Sr-89	液态	中毒	50.5d	$\beta^-$	1.492	/
Ac-225	液态	极毒	10.0d	$\alpha$ 、 $\gamma$	5.73	0.0997
Ra-223	液态	极毒	11.44d	$\alpha$ 、 $\gamma$	5.8713 ( $\alpha$ )、 0.4270 ( $\beta$ )	0.0117、 0.0838、0.2695
I-131	液态	中毒	8.02d	$\beta^-$ 、 $\gamma$	0.606	0.284、0.365、 0.637
Lu-177	液态	中毒	6.73d	$\beta^-$ 、 $\gamma$	0.2058	0.2084

#### (1) 正常工况

##### 1) Ga-68、Tc-99m、Lu-177、Ac-225、Ra-223

本项目 Ga-68 药物每针最大剂量为 5mCi，Tc-99m 药物每针最大剂量为 25mCi，Lu-177 药物每针最大剂量为 200mCi、Ac-225 药物每针最大剂量为 1.22mCi、Ra-223 药物每针最大剂量为 0.11mCi。主要污染途径如下：

①放射性药品 Ga-68、Tc-99m 发射的  $\beta$ 、 $\gamma$  射线。

②放射性药品使用过程中产生的  $\beta$  表面污染。

③放射性废气：Ga-68、Tc-99m 药物在分装和注射过程中产生微量的放射性气溶胶，分装过程均在分装室 1 的手套箱内进行，对医务人员和公众呼吸入体内造成的内照射影响可以忽略。

④放射性废水：在医院观察期间 Ga-68、Tc-99m 的患者排泄物、呕吐物和放射性药品操作过程的去污洗涤液。

⑤放射性固体废物：剩余放射性药物、注射器、棉签、棉球、一次性手套、工作场所通风系统过滤装置更换下来的废活性炭等放射性固体废物。

## 2) I-131

本项目甲功测定每次最大剂量为 5mCi 的药物；甲亢治疗每次最大剂量 10mCi 的药物；甲癌治疗每次最大剂量 200mCi 的药物，主要污染途径如下：

①I-131 放射性药物操作过程中，操作人员将受到 I-131 核素发射的  $\beta$  射线、 $\gamma$  射线的外照射影响。

②I-131 诊断或治疗患者服药后，短时间内本身便是一个辐射体（源），对周围的环境可能造成外照射影响，主要为  $\gamma$  射线。

③放射性药品使用过程、甲亢患者留观期间以及甲癌患者住院期间产生的  $\beta$  表面污染。

④放射性废气：I-131 为挥发性核素，空气中挥发的微量核素会造成吸入性内照射。

⑤放射性废水：甲癌患者在住院期间生活废水和放射性药品操作过程的去污洗涤液。

⑥放射性固体废物：剩余放射性药物、口服 I-131 时产生的一次性纸杯、一次性手套、工作场所通风系统过滤装置更换下来的废活性炭等放射性固体废物。

## 3) Sr-89

本项目 Sr-89 药物每针最大剂量为 4mCi，主要污染途径如下：

①放射性药品 Sr-89 发射的  $\beta$  射线及与物质相互作用产生的韧致辐射。

②放射性药品使用过程中产生的  $\beta$  表面污染。

③放射性废气：Sr-89 药物在分装和注射过程中产生微量的放射性气溶胶，分装过程在分装室 2 的手套箱内进行，对医务人员和公众呼吸入体内造成的内照射影响可

以忽略。

④放射性固体废物：剩余放射性药物、注射器、棉签、棉球、一次性手套、工作场所通风系统过滤装置更换下来的废活性炭等放射性固体废物。

#### 4) P-32

本项目 P-32 敷贴最大剂量为 1mCi，整个敷贴治疗过程用时短，污染途径如下：

①放射性药品 P-32 发射的  $\beta$  射线及与物质相互作用产生的韧致辐射。

②放射性药品使用过程中产生的  $\beta$  表面污染。

③放射性废气：本项目使用的 P-32 在分装、制备敷贴器和敷贴过程中产生微量的放射性气溶胶，分装和制备过程均在分装室 1 的手套箱内进行，其对医务人员和公众呼吸入体内造成的内照射影响可以忽略。

④放射性固体废物：剩余放射性药物、P-32 敷贴器、棉签、棉球、一次性手套、工作场所通风系统过滤装置更换下来的废活性炭等放射性固体废物。

#### (2) 事故工况

本项目核医学科使用非密封放射性物质事故状态下主要发生的放射性污染有：

①操作人员违反操作规程或误操作导致操作台面、地面或仪器设备受到表面沾污。

②注射器有损漏以及注射针头未安装牢固，造成射线泄漏及放射性核素泼洒或散逸挥发，操作台面或仪器设备受到放射性沾污。

③放射性药物被盗、丢失等，流失到社会，对局部环境产生污染，并可能使部分公众受到照射。

④放射性固体废物未衰变到低水平擅自处理造成环境污染和人员伤害。

#### 9.2.2.2 DSA、SPECT/CT 污染源项及途径

X 射线在辐射场中可分为三种射线：由 X 射线管窗口出射的用于诊断检查的有用射线，由 X 射线管防护套泄漏出来的漏射线，以及由上述两种射线在诊断床、受检者身体上产生的散射线。其主要放射性污染因子为 X 射线对公众及放射性工作人员的外照射。项目运行期没有放射性的废气、废水和固体废弃物产生。

#### (1) 正常工况

机房内，在隔室操作、设备安全和防护硬件及措施到位的正常情况下进行出束操作，当电子轰击与靶物质发生作用产生辐射 X 射线，X 射线主束、泄漏辐射或散射辐射对手术职业人员、病患产生照射，以及上述辐射产生的贯穿辐射对周围环境和人员

产生外照射影响，这种 X 射线随机器地开、关而产生和消失。

X 射线装置产生 X 线的照射量率与管电压和管电流有关，一般管电流增加照射量率也将增加。当采用较大管电流时，开机时间将缩短至零点几秒，因此，总照射量不会有明显的增加。X 射线装置受开机和关机控制，关机时没有射线发出。

除此之外，X 射线与空气作用会产生微量的臭氧、氮氧化物等有害气体，但由于该项目血管造影仪工作时的管电压、管电流较小，产生的臭氧和氮氧化物也较少，可忽略其影响。

## (2) 事故工况

### 1) 事故性出束：

①当警示灯、门灯连锁损坏时，公众、检查管理人员或检修维护人员在射线装置开机状态下误入机房。防护门连锁失效未关闭造成机房外剂量超标，造成人员在不知情的情况下在机房周围活动，致使人员所受剂量超标。

②射线装置在不停机和铅门破损未及时维修情况下，给周围活动人员及辐射工作人员造成额外的照射。

### 2) 控制室人员操作失误情况：

控制室操作人员在病人及医护人员完成手术未离开时，失误操作出束给病人及医护人员造成额外的照射。

### 3) 人体受超剂量照射事故：

进行介入手术的医护人员未穿戴铅衣等个人防护用品而受到不必要的照射，没有为患者穿戴个人防护用品而受到不必要的照射。

### 4) 照射不能停止

在手术结束后，治疗设备不能正常停止曝光，给病人及医护人员造成额外的照射。

### 5) 紧急停止开关失灵

在发生事故时，紧急停止开关失灵，给病人及医护人员造成额外的照射。

本项目中使用的 DSA 为数字化显影设备，不会产生废显影水、定影水，因此不存在污水污染的问题。

## 9.2.2.3 放射源污染源项及途径

### (1) 正常工况

Sr-90 为纯  $\beta$  衰变核素，发射最大能量为 0.546MeV 的  $\beta$  射线，Sr-90 的衰变子体是 Y-90，发射最大能量为 2.28MeV 的  $\beta$  射线。0.546MeV 和 2.28MeV 的  $\beta$  射线在皮

肤中的最大射程为 2.46mm 和 14.3mm, 在诊疗过程中病人的身体完全能阻挡这两种能量的  $\beta$  射线; 因此, 本评价不考虑 Sr-90/Y-90 放射源  $\beta$  射线影响。

但当  $\beta$  粒子被源周围物质阻挡时会产生韧致辐射, 即产生 X 射线, X 射线的贯穿能力较强, 需采用一定的防护措施。因此, Sr-90/Y-90 放射源诊疗过程中的污染因子主要是韧致辐射, 而无放射性废水和放射性废气排放。

Sr-90/Y-90 放射源使用到一定年限后会产生退役、报废的放射源, 废弃 Sr-90/Y-90 放射源交由放射源生产厂家回收。

#### (2) 事故工况

- ①外力撞击放射源脱落, 使工作人员或公众受到外照射;
- ②放射源丢失造成公众受到照射影响。

#### 9.2.2.4 直线加速器污染源项及途径

直线加速器项目运行过程中不产生放射性废气和放射性废水, 主要污染源和污染途径如下:

#### (1) 电离辐射

根据直线加速器的工作原理可知, 只有在开机并出线的状态时, 才会有 X 射线的产生, X 射线是本项目主要污染因子。

1) 主射线辐射: 当加速器中光阑完全打开时, 从辐射头靶射出的 X 射线为一个半角为  $14^\circ$  的锥形线束, 其能量最大为 6MV、最大剂量率为 1400MU/min。主射线是唯一用于治疗目的的射线, 又称有用线束。

2) 漏射线辐射: 由靶向外从各个方向上穿过辐射头泄漏出来的射线为漏射线。漏射线遍布机架各处, 因此漏射线辐射源到任一点的距离会因机架角度不同而异。

3) 散射线辐射: 当主射线射入治疗台上的人体时, 会产生散布于各个方向上的次级散射辐射, 这种散射线只有比主射线低得多的能量和剂量率, 此剂量率决定于被照区域, 初级射线能量和散射角度。

#### (2) 感生放射性物质

直线加速器在运行过程中产生的 X 射线或电子线与加速器的结构材料以及周边环境介质作用中, 会活化形成感生放射性物质, 其将在直线加速器停止运行后继续存在一段时间。

#### (3) 放射性固体废物

直线加速器项目运行过程中产生的放射性固体废物为直线加速器在退役时产生

的加速器废靶等部件等。放射性固体废物先置于固体废物暂存间（为本项目机房）内，经衰变低于清洁解控水平后，作为一般固体废物交由有资质的单位处置。

#### （4）事故工况

直线加速器项目辐射工作场所可能发生的辐射事故为：

1) 工作人员或病人家属在防护门关闭前未撤离治疗室，加速器运行可能产生误照射。

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

3) 安全联锁装置或报警系统发生故障状况下，人员误入正在运行的加速器治疗室，造成额外的照射。

4) 加速器控制系统出现故障，照射不能停止，病人受到额外照射。

5) 加速器维修期间，设备维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

通过对可能发生的辐射事故分析，在事故工况下 X 射线及电子束是直线加速器项目主要污染因子。

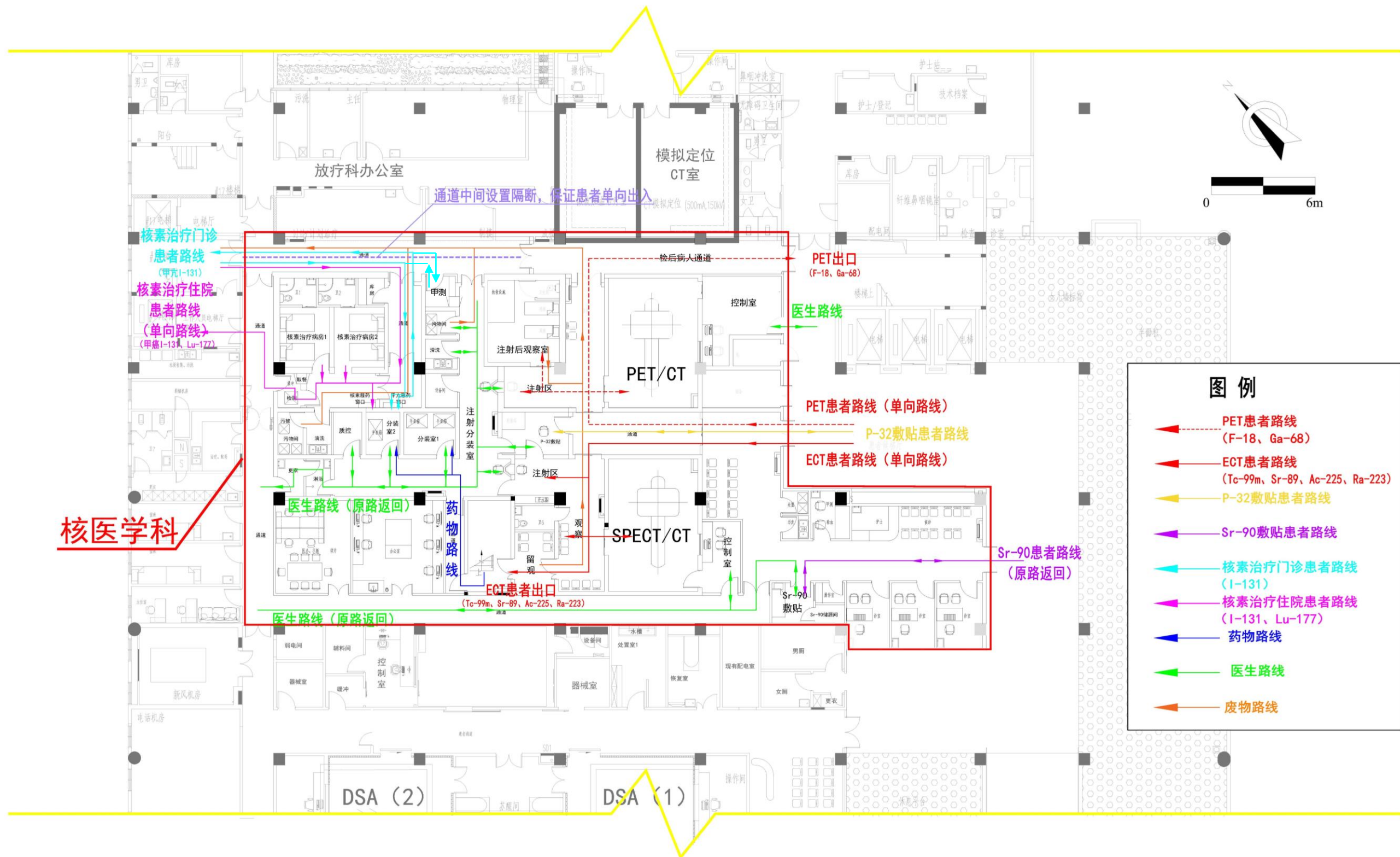


图 9.1-15 本项目人流、物流通道示意图

## 表 10 辐射安全与防护

### 10.1 工作场所布局和分区

#### 10.1.1 场所布局

##### 10.1.1.1 核医学科区域

根据本项目核医学科平面布局设计方案，详见图 10.1-1。

本项目工作场所位于门诊楼三层东北侧，充分考虑周围场所的安全，不毗邻产科、儿科、食堂等部门，尽可能做到相对独立布置和集中设置，有单独出、入口，出口不设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。本项目为综合性的核医学工作场所，从功能上主要设置为 SPECT/CT 区域、PET/CT 区域、核素治疗区域、注射分装区域、门诊区域和办公区域。其中，SPECT/CT 工作场所位于检查入口的南侧，含有患者候诊室（共用）、注射室、观察室、留观室、运动/急救室（共用）、控制室、机房以及给药后患者专用卫生间；治疗区域分布于核医学科的西北处，含有服药区、核素治疗过道、核素治疗病房、给药后患者专用淋浴卫生间、污物间、清洗间和检测缓冲区等；注射分装区域作为共同利用区域设置于核医学科的中部，包含更衣室、淋浴室、储源分装室、质控室、污物间和清洗间等，便于放射性核素及药物从分装室到各个治疗区域的运送；门诊区域和办公区域等较为敏感的区域之间，采用放射性影响相对较小的 Sr-90 敷贴室、实验室和医办/示教室进行划分，办公区域设有值班室和放置急救设施的治疗/配药室。根据 GB 18871 的有关规定，结合核医学科的具体情况，将本项目工作场所划分为控制区和监督区，对控制区和监督区采取相应管理措施。

本项目核医学工作场所的布局有助于开展工作，避免无关人员通过，SPECT/CT 工作场所、治疗区域相对分开布置。项目根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定其放射防护要求，并通过工作场所平面布局的设计和屏蔽手段，避免附近的辐射源（核医学周边场所内的辐射装置、给药后患者或受检者）对诊断区设备成像、功能检测的影响。此外，本项目设计了合适的时间、空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，尽量减少放射性药物和给药后患者或受检者通过非放射性区

域。项目通过合理设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理，便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。

综上所述，本项目核医学工作场所的平面布局设计方案满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）对核医学场所的相关布局及设计要求。

### 10.1.2 DSA 区域

本项目 DSA 设备设有单独的机房，控制室位于机房外，机房内最小有效使用面积 37.04m<sup>2</sup>，最小单边长度 7.1m，机房内空间设计情况见表 10.2.1 和图 10.2-1。

**表 10.2.1 照射室空间符合性表**

设备类型	标准要求		机房设计情况		是否符合
	最小有效使用面积 (m <sup>2</sup> )	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m <sup>2</sup> )	最小单边长度 (m)	
DSA	20	3.5	37.04	4.6	符合

由表 10.1.1 可知，本项目 DSA 机房有效使用面积和最小单边长度均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130—2020）规定的相关要求。

### 10.1.3 直线加速器区域

本项目直线加速器设有单独的机房，控制室位于机房南侧。治疗机房（不含迷路）南北内径长 8.19m，东西内径宽 7m（主防护墙之间的距离），使用面积 57.33m<sup>2</sup>，高 4.5m（顶部主防护墙位置），含迷路面积 77.25m<sup>2</sup>，容积约为 347.63m<sup>3</sup>，有足够的有效使用空间。

机房南侧入口处设置防护门和迷路，主线束方向为东西方向，有用线束不直接照射与治疗机房相连的控制室和其他居留因子较大的用室，有用线束照射方向的防护屏蔽能满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽也能满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

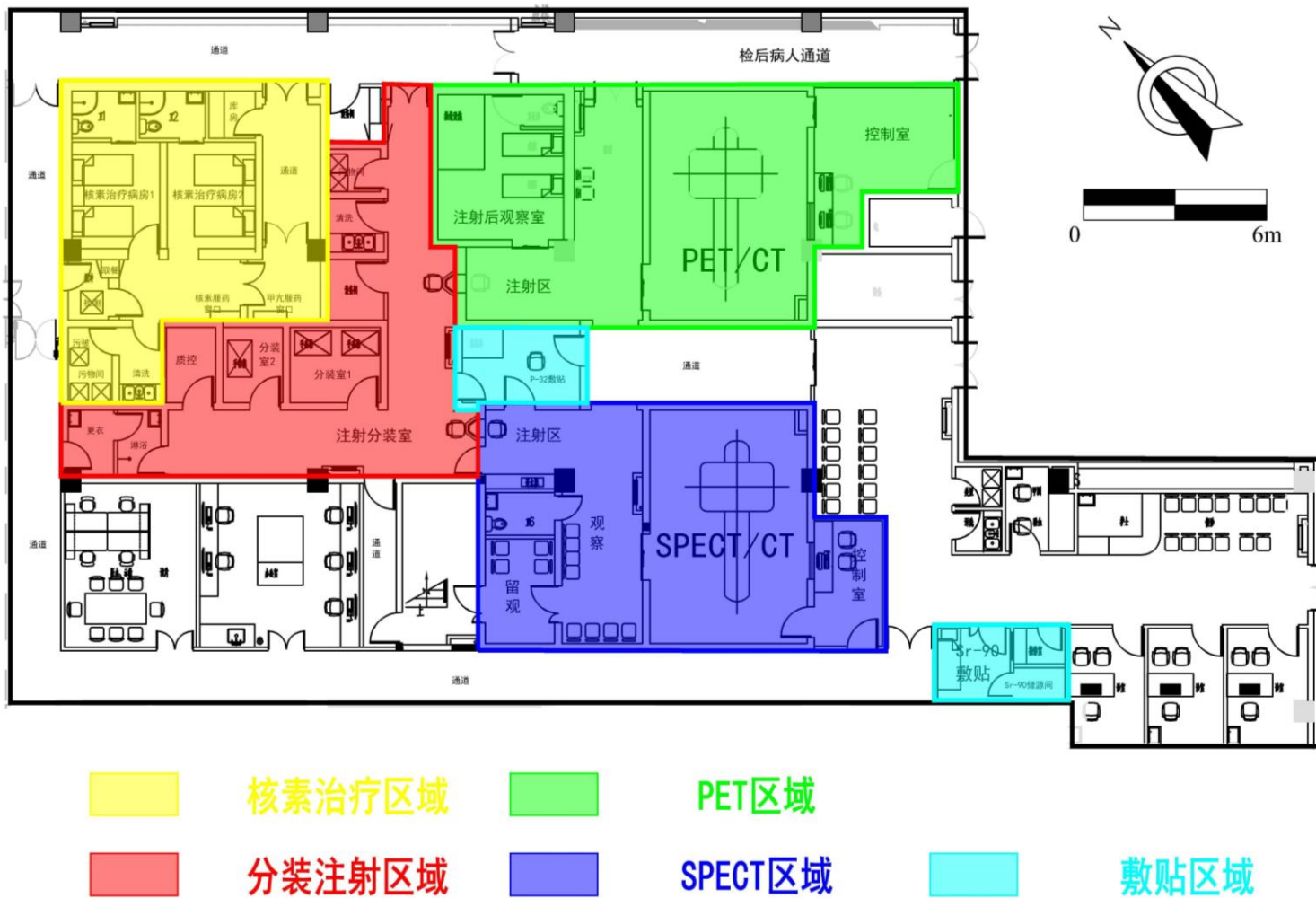


图 10.1-1 本项目核医学科平面布局图

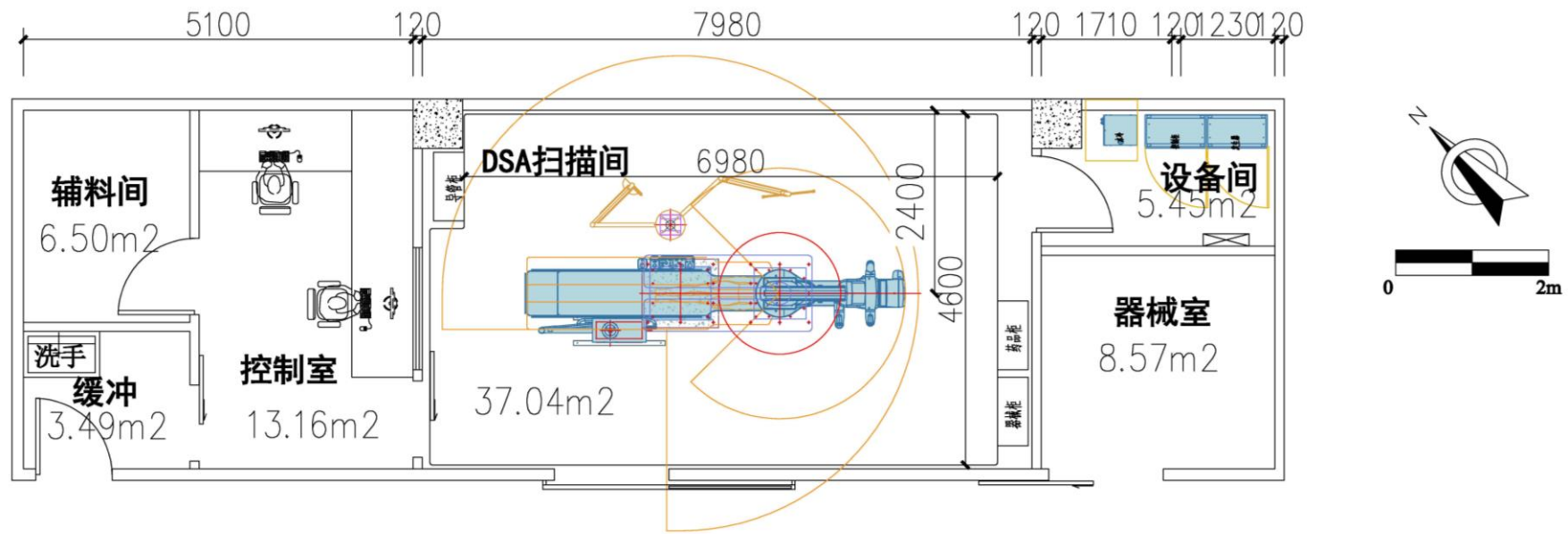


图 10.1-2 本项目 DSA 机房平面布局图

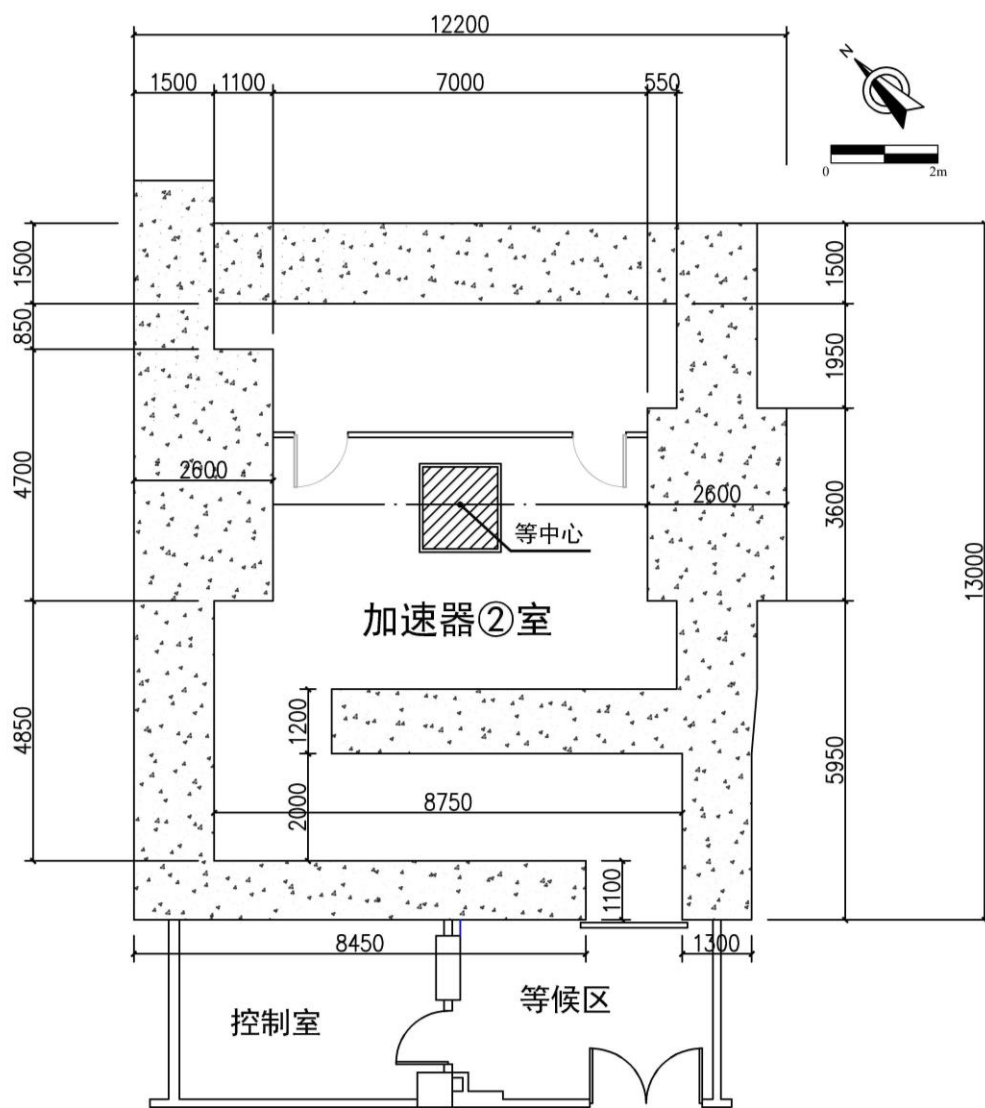
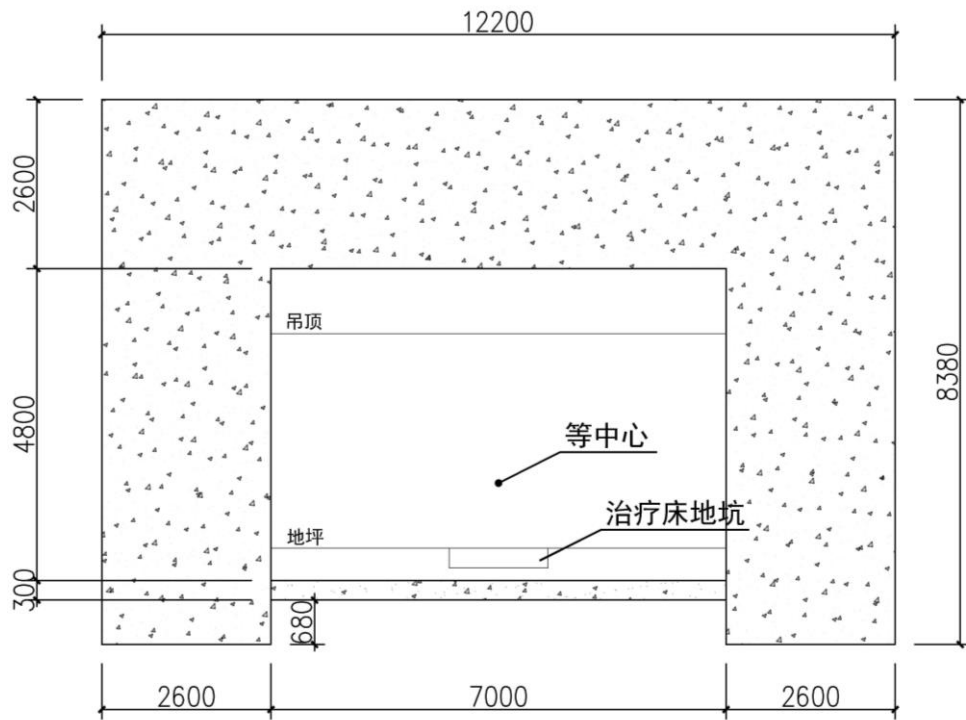
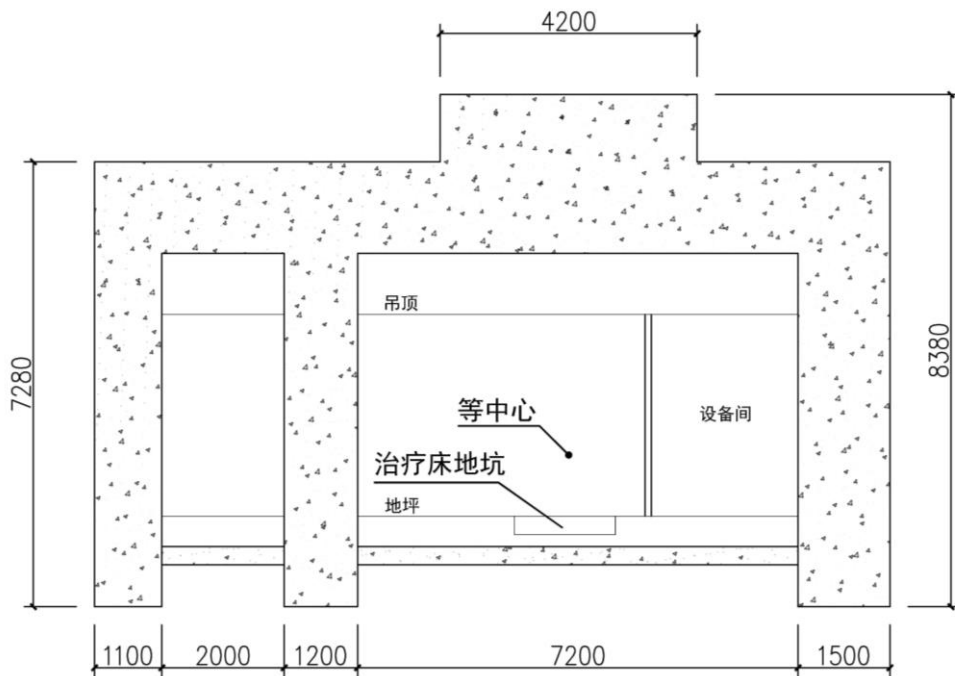


图 10.1-3 本项目加速器②室平面布局图



**A-A剖面图**



**B-B剖面图**

**图 10.1-4 本项目加速器②室剖面示意图**

## 10.1.2 工作场所分级及分类

### (1) 核医学科工作场所分级

根据国家《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002)附录 C 非密封源工作场所的分级规定,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。由《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002)及《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐射函〔2016〕430号)可知,本评价项目的核医学科使用的各放射性核素的毒性组别修正因子、操作方式修正因子、日实际操作量和日等效操作量见表 10.1.2。

**表 10.1.2 核医学科使用的放射性核素日等效最大操作量计算**

核素名称	日实际最大操作量 (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)
Tc-99m	1.67E+10	低毒, 0.01	很简单的操作, 10	1.67E+07
Ga-68	9.25E+08	低毒, 0.01	很简单的操作, 10	9.25E+05
P-32	1.85E+09	中毒, 0.1	简单的操作, 1	1.85E+08
Sr-89	1.48E+08	中毒, 0.1	简单的操作, 1	1.48E+07
Ac-225	4.51E+07	极毒, 10	简单的操作, 1	4.51E+08
Ra-223	4.07E+06	极毒, 10	简单的操作, 1	4.07E+07
I-131	3.70E+08	中毒, 0.1	简单的操作, 1	3.70E+07
I-131	1.48E+09	中毒, 0.1	简单的操作, 1	1.48E+08
I-131	2.22E+10	中毒, 0.1	简单的操作, 1	2.22E+09
Lu-177	7.40E+09	中毒, 0.1	简单的操作, 1	7.40E+08
合计				3.87E+09

注: 合计日等效最大操作量 3.87E+09 包含 F-18 用量 1.11E+7。

由表 10.1.1 可见,本项目核医学科工作场所日等效最大操作量为 3.87E+09Bq, 小于 4 E+09Bq, 属于乙级非密封物质工作场所。

### (2) 核医学科工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》(GBZ 120—2020)对临床核医学工作场所具体分类办法,操作最大量放射性核素的加权活度(MBq)等于计划的日操作最大活度与该核素毒性权重因子的积除以与操作性质修正因子所得的商。本评价项目使用的放射性核素的日实际操作最大活度以及各核素毒性权重因子,见表 10.1.3。

**表 10.1.2 放射性核素加权活度及计算参数**

核素名称	日操作最大活度 (MBq)	毒性权重因子	操作性质修正因子	加权活度 (MBq)	工作场所分类
Tc-99m	1.67E+04	1	1	1.67E+04	/
Ga-68	9.25E+02	1	1	9.25E+02	/
P-32	1.85E+03	100	1	1.85E+05	/
Sr-89	1.48E+02	100	1	1.48E+04	/
Ac-225	4.51E+01	100	1	4.51E+03	/
Ra-223	4.07E+00	100	1	4.07E+02	/
I-131	3.70E+02	100	1	3.70E+04	/
I-131	1.48E+03	100	1	1.48E+05	/
I-131	2.22E+04	100	1	2.22E+06	/
Lu-177	7.40E+03	100	1	7.40E+05	/
合计				3.37E+06	I

注：合计日等效最大操作量  $3.37E+09$  包含 F-18 用量  $1.11E+1MBq$ 。

经过计算，本项目区域各放射性核素的加权活度最大为  $3.37E+06MBq$ ，大于  $50000MBq$ ，因此本项目核医学科属于 I 类核医学工作场所。

### 10.1.3 工作场所分区

为便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871—2002）要求在辐射工作场所内划出控制区和监督区。本环评国际放射防护委员会第 103 号出版社对控制区和监督区的定义，结合项目诊治、辐射防护和环境情况特点进行划分。

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

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

结合 GB 18871—2002 相应的要求与现场实际，对本项目的控制区和监督区进行划分：

(1) 核医学科区域

控制区：SPECT/CT 区域的机房、观察室、留观室、注射室、运动/急救室以及分装室、质控室、注射分装室、服药区、核素治疗过道、核素治疗病房、污物间、检后病人通道、P-32 敷贴室、Sr-90 敷贴室以及衰变池等；

监督区：控制室、供电室、设备间、诊室、核医学科内过道、患者候诊室、医办/示教室、实验室、楼梯间、衰变池周边等。

(2) DSA 区域

控制区：DSA 机房内；

监督区：控制室、器械室、设备间及患者走廊。

(3) 直线加速器区域

控制区：加速器②室内；

监督区：控制室、等候区。

辐射工作场所分区示意图 10.1-1。

## 10.2 工作场所辐射安全和防护

### 10.2.1 设备固有安全性

本项目 DSA、SPECT/CT、直线加速器均购于正规厂家，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。

### 10.2.2 屏蔽防护方案

#### 10.2.2.1 核医学科

根据医院提供的资料，门诊楼三层的层高 4.2m，本项目核医学科拟采取的辐射防护措施见表 10.2.1。

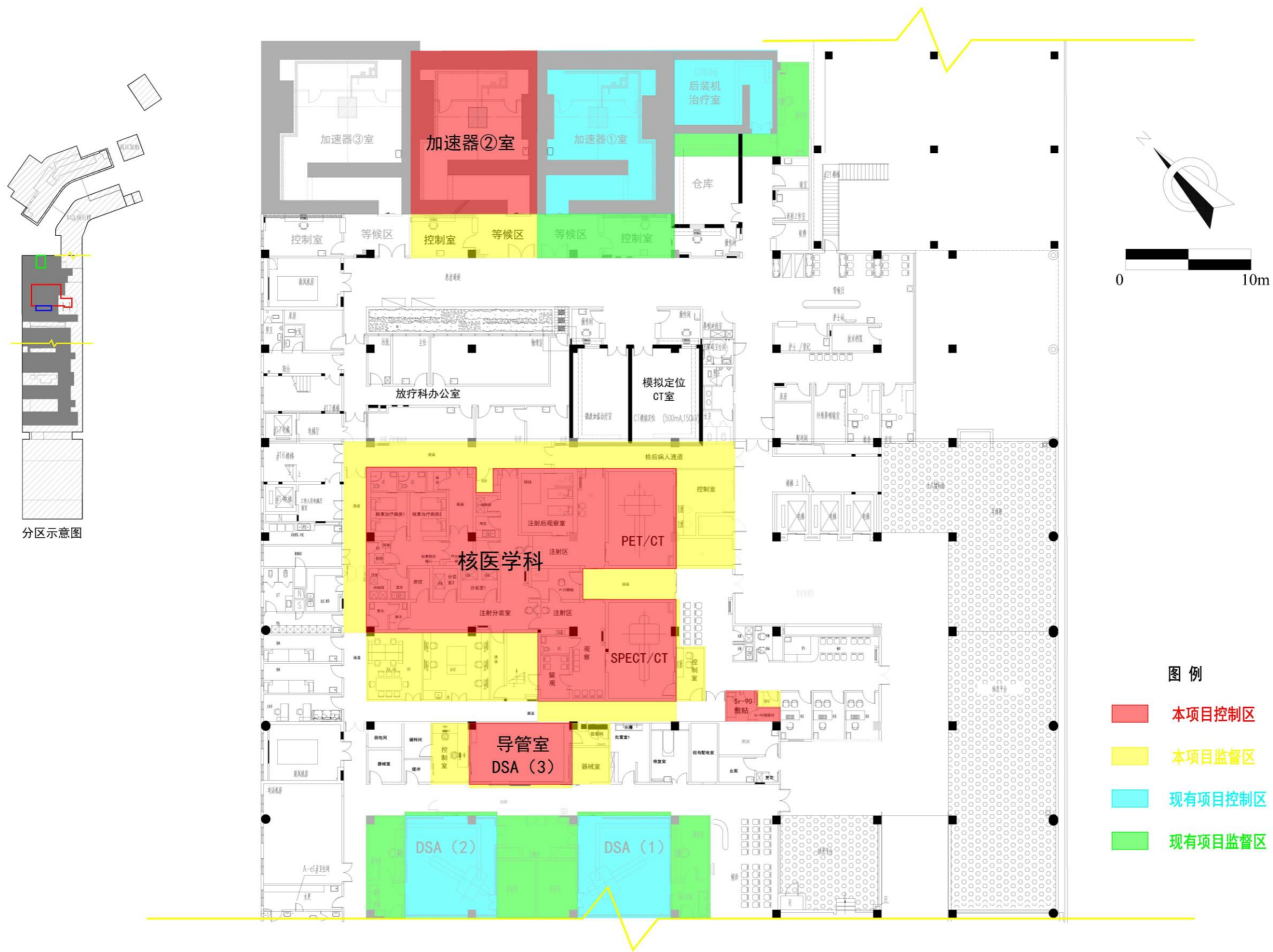


图 10.1-5 本项目核医学科、DSA、直线加速器机房分区情况示意图

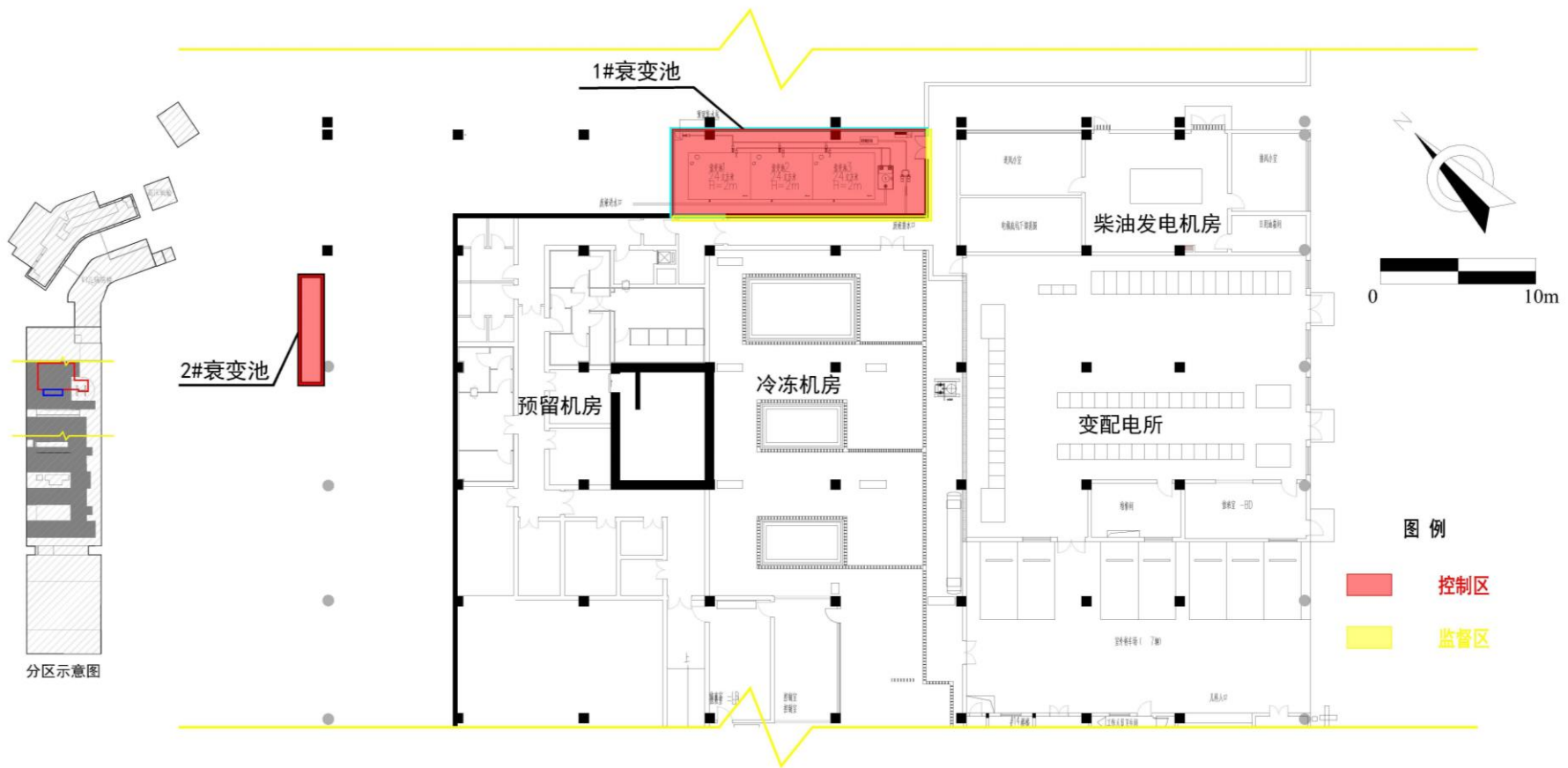


图 10.1-6 本项目核医学科衰变池分区情况示意图

表 10.2.1 本项目的辐射防护屏蔽设计一览表

功能室	关注点	防护措施	门	窗户
SPECT/CT 注射室	北墙	240mm 实心砖+2mmPb 钡板	北侧：2mmPb 西侧：2mmPb	西侧：2mmPb
	东墙	240mm 实心砖+2mmPb 钡板		
	南墙	120mm 实心砖		
	西墙	240mm 实心砖+1mmPb 钡板		
	顶板	150mm 混凝土		
	底板	120mm 混凝土		
SPECT/CT 观察室	北墙	240mm 实心砖+2mmPb 钡板	北侧：5mmPb 东侧：4mmPb 西侧：2mmPb	/
	东墙	240mm 实心砖+2mmPb 钡板		
	南墙	240mm 实心砖		
	西墙	240mm 实心砖		
	顶板	150mm 混凝土		
	底板	120mm 混凝土		
SPECT/CT 留观区	北墙	240mm 实心砖	东侧：2mmPb 西侧：2mmPb	/
	东墙	240mm 实心砖		
	南墙	240mm 实心砖+1mmPb 钡板		
	西墙	240mm 实心砖+1mmPb 钡板		
	顶板	150mm 混凝土		
	底板	120mm 混凝土		
SPECT/CT 机房	北墙	240mm 实心砖+2mmPb 钡板	东侧：5mmPb 西侧：5mmPb	东侧：5mmPb
	东墙	240mm 实心砖+2mmPb 钡板		
	南墙	240mm 实心砖+2mmPb 钡板		
	西墙	240mm 实心砖+2mmPb 钡板		
	顶板	150mm 混凝土+2mmPb 钡板		
	底板	120mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡沙		
运动/急救 室	北墙	240mm 实心砖+2mmPb 钡板	北侧：6mmPb 南侧：2mmPb	/
	东墙	240mm 实心砖+2mmPb 钡板		
	南墙	240mm 实心砖+2mmPb 钡板		
	西墙	240mm 实心砖		
	顶板	150mm 混凝土		
	底板	120mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡沙		
分装室 2	北墙	240mm 实心砖+3mmPb 钡板	/	北侧：20mmPb
	东墙	240mm 实心砖+2mmPb 钡板		
	南墙	240mm 实心砖		
	西墙	240mm 实心砖		
	顶板	150mm 混凝土		
	底板	120mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡沙		
	手套箱	25mmPb		

分装室 1	北墙	240mm 实心砖+1mmPb 钡板	/	/
	东墙	240mm 实心砖+2mmPb 钡板		
	南墙	240mm 实心砖+2mmPb 钡板		
	西墙	240mm 实心砖		
	顶板	150mm 混凝土		
	底板	120mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡沙		
	1#手套箱	50mmPb		
	2#手套箱	3mmPb		
服药区	北墙	240mm 实心砖	北侧：4mmPb 西侧：8mmPb	南侧：20mmPb;
	东墙	240mm 实心砖+2mmPb 钡板		
	南墙	240mm 实心砖+4mmPb 钡板		
	西墙	240mm 实心砖+2mmPb 钡板		
	顶板	150mm 混凝土+10mmPb 钡板		
	底板	120mm 混凝土+10mmPb 硫酸钡沙		
1#核素治疗病房	北墙	240mm 实心砖+1mmPb 钡板	南侧：12mmPb	/
	东墙	240mm 实心砖		
	南墙	360mm 实心砖+8mmPb 钡板		
	西墙	360mm 实心砖+10mmPb 钡板		
	顶板	150mm 混凝土+10mmPb 钡板		
	底板	120mm 混凝土+10mmPb 硫酸钡沙		
2#核素治疗病房	北墙	240mm 实心砖+1mmPb 钡板	南侧：12mmPb	/
	东墙	240mm 实心砖+6mmPb 钡板		
	南墙	240mm 实心砖+1mmPb 钡板		
	西墙	240mm 实心砖		
	顶板	150mm 混凝土+10mmPb 钡板		
	底板	120mm 混凝土+10mmPb 硫酸钡沙		
核素治疗过道	北墙	240mm 实心砖+1mmPb 钡板	北侧：12mmPb 东侧：8mmPb 南侧：9mmPb 西侧：16mmPb	西侧：16mmPb
	东墙	240mm 实心砖+2mmPb 钡板		
	南墙	240mm 实心砖		
	西墙	360mm 实心砖+8mmPb 钡板		
	顶板	150mm 混凝土+10mmPb 钡板		
	底板	120mm 混凝土+10mmPb 硫酸钡沙		
检后病人通道	北墙	240mm 实心砖	东侧：10mmPb 南侧：5mmPb 西侧：10mmPb	/
	东墙	240mm 实心砖		
	南墙	120mm 实心砖		
	西墙	150mm 混凝土		
	顶板	150mm 混凝土		
	底板	120mm 混凝土		
P-32 敷贴	北墙	120mm 实心砖	北侧：2mmPb	东侧：2mmPb

室	东墙	240mm 实心砖		
	南墙	240mm 实心砖		
	西墙	120mm 实心砖		
	顶板	150mm 混凝土		
	底板	120mm 混凝土		
Sr-90 敷贴室	北墙	120mm 实心砖+1mmPb 钡板	北侧：2mmPb	/
	东墙	120mm 实心砖+1mmPb 钡板		
	南墙	120mm 实心砖+1mmPb 钡板		
	西墙	120mm 实心砖+1mmPb 钡板		
	顶板	150mm 混凝土+1mmPb 钡板		
	底板	120mm 混凝土+1mmPb 钡板		

注：混凝土密度为 $2350\text{kg/m}^3$ ，实心砖密度为 $1650\text{kg/m}^3$ 。

### 10.2.2.1 DSA

本项目 DSA 机房采取了符合标准的辐射防护措施，充分考虑邻室（含楼上楼下）及周围场所的人员防护和安全。DSA 机房拟采取的辐射防护措施情况见表 10.2.2，拟配备的防护用品见表 10.2.3 所示。

**表 10.2.2 本项目的辐射防护屏蔽设计一览表**

功能室	关注点	防护措施	门	窗户
DSA 机房	北墙	150mm 实心砖+5mmPb 硫酸钡砂浆	北侧：5mmPb 东侧：5mmPb	西侧：5mmPb
	东墙	120mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡砂浆		
	南墙	150mm 实心砖+5mmPb 硫酸钡砂浆		
	西墙	120mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡砂浆		
	顶板	120mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡砂浆		
	底板	120mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡砂浆		

注：混凝土密度为 $2.35\text{g/cm}^3$ ；防护门与墙体各侧搭接设计均为至少 $10\text{cm}$ ，防护门与墙壁之间的缝隙设计小于 $1\text{cm}$ ，防止射线泄漏。

**表 10.2.3 本项目 DSA 机房拟配备防护用品一览表**

《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130—2020） 标准要求			防护用品拟配备情况	评价
工作人员	个人防护用品	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套； 选配：铅橡胶帽子	①医院拟配备了 1 个铅悬挂防护屏、1 个床侧防护帘； ②医院拟为本项目 DSA 机房工作人员配备 5 套铅衣、铅围裙、铅颈套、铅帽、铅围脖、铅眼镜（均为 $0.5\text{mmPb}$ ）、介入防护手套（ $0.025\text{mmPb}$ ），配备 1 台个人剂量报警仪； ③医院拟为本项目 DSA 机房受检	符合要求
	辅助防护设施	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏、辐射剂量率仪； 选配：移动铅防护屏风		
受检者	个人防护用品	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		

	辅助防护设施	—	者配备 1 件铅围裙、1 件铅颈套、1 顶铅帽（均为 0.5mmPb）； ④医院根据辐射工作人员人数配备 20 枚个人剂量计。
铅当量要求	①防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb； ②介入防护手套应不小于 0.025mmPb； ③甲状腺、性腺防护用品应不小于 0.5mmPb； ④移动防护铅屏风铅当量应不小于 2mmPb。		

### 10.2.2.1 直线加速器

根据院方提供的资料，本项目直线加速器机房的辐射防护方案详见表 10.2.4。项目直线加速器机房平面及墙体结构示意图 10.1-3，机房剖面图见图 10.1-4。

**表 10.2.4 加速器②室的辐射防护屏蔽设计一览表**

项目	屏蔽主体	主屏蔽防护情况	次屏蔽防护情况	
直线加速器机房	西墙	2600mm 混凝土	1500mm 混凝土	
	东墙	2600mm 混凝土	1500mm 混凝土	
	北墙	/	1500mm 混凝土	
	南墙	迷路内墙	/	1200mm 混凝土
		迷路外墙	/	1100mm 混凝土
	顶棚	2600mm 混凝土	2600mm 混凝土	
	防护门	内衬 15mm 铅		

注：混凝土密度为 2350kg/m<sup>3</sup>。

## 10.2.3 辐射安全防护措施

### 10.2.3.1 核医学科

#### (1) 警告设施

医院拟在本项目控制区出入口设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全，并在场所内走道的地面上设置明确的患者导向标识，患者候诊室设置放射防护注意事项告知栏。在 SPECT/CT 机房的防护门设有自动闭门装置，上方设有工作状态指示灯，灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句。此外，机房还设有门—灯联动装置、门—机联动装置，在防护门关闭状态下警示灯亮起，可以对周边人员进行实时警示，且仅此时设备才可进行照射。设备在出束过程中若防护门打开，设备自动停止出束。

#### (2) 紧急制动装置

SPECT/CT 的机房和控制室内安装紧急停机按钮，分别设置在控制室的操作台上（1 个）、治疗床上（1 个）和迷路墙面（1 个），并有明显的标志。在人员误入机房或遇

紧急情况时，按动紧急停机开关设备立即停止出束。紧急停止开关必须采用手动方式才能复位。

### （3）视频监控和对讲装置

在 SPECT/CT 的注射室、观察室、留观室、机房以及 I-131 治疗区域服药区、核素治疗病房、P-32 敷贴室、Sr-90 敷贴室、检后病人通道内将设视频监控设备，由医院辐射工作人员进行监控，并将在上述功能室与对应监控操作间之间设对讲装置，便于工作人员发出指令，指导受检者按相关流程活动。

### （4）门禁系统

在 SPECT/CT 工作场所、检后病人通道的出入口处设置单向门禁系统来限制患者的活动范围，并设置自动回门装置，以防无关人员进入；在 I-131 治疗区域以及其他控制区入口设置门禁系统，防止无关人员误入；核医学科场所内走道的地面上均设置明确的患者导向标识。

### （5）放射性物质存放

本项目使用的 I-131 放射性药物储存在 40mmPb 的铅罐内，其他非密封放射性药物均储存在 20mmPb 的铅罐内。药物均由供货商派专人直接送至储源分装室内，并置于手套箱中，药物容器表面设置电离辐射标志，药物应当天用完。若有放射性药物剩余，则将其收集至铅罐中，并暂存于手套箱内，由厂家进行回收。

核医学科内产生的放射性废物收集至衰变桶（10L，20mmPb）中，SPECT/CT 工作场所中注射室、观察室、留观室内各设置 2 个衰变桶；I-131 治疗区域中服药区、核素治疗病房内各设置 1 个衰变桶；P-32 敷贴室内设置 1 个衰变桶。药物准备区的污物间根据半衰期的长短设置 2 个衰变桶（100L，20mmPb），I-131 治疗区域的污物间内设置 3 个衰变桶（100L，20mmPb）。当日工作结束后，SPECT/CT 工作场所和 P-32 敷贴室的放射性固体废物收集至药物准备区污物间的衰变桶中贮存衰变，I-131 治疗区域的放射性固体废物收集至 I-131 治疗区域污物间的衰变桶中贮存衰变。本项目衰变桶均设有电离辐射警示标志，放射性废物在衰变桶中存放 10 个半衰期以上，经监测满足解控要求后作为一般医疗垃圾处理。甲癌患者使用过的被服置于 I-131 治疗区域污物间内的衰变桶中进行存放衰变，衰变至少 1 个半衰期后再进行清洗。

### （6）放射源存放

Sr-90/Y-90 放射源存放于 Sr-90 敷贴室储源间，放射源储存处的防护门设计为铅防盗门，钥匙由专人负责保管，双人双锁；日常期间由值班人员巡视检查；出入口安装

摄像头，并入科室监控系统。

#### (7) 药物分装

药物分装均在储源分装室的手套箱内进行，其中分装室 2 设有 1 个手套箱（25mmPb），分装室 1 设有 1 个 1#手套箱（50mmPb）、1 个 2#手套箱（3mmPb），每个手套箱内的通风速率不小于 1m/s，且内部保持负压。

#### (8) 通风系统

本项目工作场所设置 5 套独立的通风系统：

- ① 分装室 2 及其内部的手套箱的排风汇集于一个管道；
- ② 分装室 1 及其内部的 2 个手套箱的排风汇集于一个管道；

③ I-131 治疗区域的污物间、清洗间、服药区、检测缓冲区以及核素治疗病房的排风汇集于一个管道；

④ SPECT/CT 机房的排风汇集于一个管道；

⑤ SPECT/CT 区域的观察室、留观室、注射室、运动/急救室以及淋浴室、质控室、备用间、药物准备区的清洗间和污物间、P-32 敷贴室、Sr-90 敷贴室的排风汇集于一个管道；

本项目 5 套通风系统的风速不小于 1m/s，均设置防回风阀，各场所产生的放射性废气由支管道汇入主管道，通过 PET/CT 注射室顶部原有的排风井直通楼顶，最终经楼顶的活性炭过滤装置处理后，通过高出屋脊的排放口排放。放射性废气排放管道中的活性炭更换下来后，直接收集至衰变桶中，其中 I-131 治疗区域和分装室 2 通风系统中的废活性炭送至 I-131 治疗区域的污物间内贮存衰变，其他区域通风系统中的废活性炭送至药物准备区的污物间内贮存衰变。

#### (9) 表面污染控制

① 放射性药物有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏；

② 操作放射性药物时，在有负压的手套箱内进行，防止放射性物质飞散；

③ 药物准备区设置淋浴室，淋浴室配备表面污染检测及剂量率检测仪表及清洗设施；

④ 放射性药物操作人员定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配有适当的防护用品；

⑤ 操作台、地面选用易于清污的材料或材质，地板与墙壁接缝无缝隙，并且每次操作完成后使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监

测，并购买一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂、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、一次性镊子等应急及去污用品进行去污。

#### （10）放射性废水处置

在综合考虑门诊楼二层北侧土壤层及其下方岩石层的厚度，本项目核医学科的排水管道尽可能布置较短，并在大水流管道设有标记以便维修检测。I-131 治疗区域的 2 个核素治疗病房内均设有淋浴卫生间，并在淋浴卫生间设有患者冲厕所和洗手的提示。I-131 治疗区域的污物间、清洗间以及核素治疗病房等区域产生的放射性废水，通过支管汇集至检后病人通道下方主管道，后沿下方的土壤层向东进行布置，最终排入门诊楼二层北侧的 1#衰变池。SPECT/CT 工作场所的注射室、观察室、留观室，以及药物准备区的更衣室、淋浴室、清洗间和污物间等区域产生的放射性废水，通过支管道汇集到主管道，主管道沿核医学科西侧过道下方的土壤层向西进行布置，最终排入门诊楼西侧的 2#衰变池。放射性废水排放管道均采用抗腐蚀抗压的塑料管，考虑到废液在管道内残留影响，部分暴露的污水管道均外包 10mmPb 铅板进行防护。放射性的废水经 2 个衰变池至少 10 个半衰期衰变，且符合排放标准后，均排入医院废水处理系统。

#### 10.2.3.2 DSA 区域

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

① DSA 机房防护门上方设置工作状态指示灯，并在灯箱处设置“射线有害，灯亮勿入”等警示语句，在入口显著位置张贴电离辐射警告标志，工作状态指示灯与防护门联动，防护门关闭的情况下，工作状态指示灯亮起。本项目平开防护门设有自动闭门装置、电动推拉防护门拟设有防夹装置。

② DSA 机房、控制室内各设置 1 个急停开关按钮，在出现紧急情况下，按下急停按钮，可以切断设备电源，X 射线停止出束。

③ DSA 机房设置对讲装置，方便工作人员实时关注机房情况并与病人交流。

④ DSA 机房设置观察窗及视频监控系统，在控制室内可以观察到机房内的情况，当发生意外情况（有人误入或滞留）时，控制室内操作人员可以及时发现并采取应急措施。

⑤ 机房内合理布局，手术床呈东西布置，工作期间有用线束主要朝上照射，设备旋转时有用线束尽量避免直接照射门、窗和管线口位置；制定相应规章制度要求日常运行过程中不得堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

⑥ 为改善机房内空气质量，设计使用独立的动力通风系统进行送排风；本项目 DSA 机房电缆线管采用“U”形方从地下穿过墙体。

### 10.2.3.3 直线加速器

为保障电子直线加速器的安全运行，以及对工作人员和病人的辐射防护，本项目机房设计有相应的辐射安全装置和保护措施，主要为：

(1) 机房防护门上方设置工作状态指示灯，医用电子直线加速器开机使用时指示灯亮起，并伴有音响提示，以警示人员注意安全；机房防护门上显著位置张贴电离辐射警示标志并附“射线有害，灯亮勿入”等说明；机房与控制室设置视频监控以及对讲系统。

(2) 机房设置门—灯联动装置、门—机联动装置，只有在防护门关闭状态下且警示灯亮时才可进行治疗，当防护门未关闭或工作状态指示灯损坏时设备均无法出束照射。项目机房的设计充分考虑防护门与墙的搭接，以确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。

(3) 机房及其控制室内安装紧急停机按钮，在控制室操作台上设置 1 个，机房内直线加速器治疗床位上设置 1 个，机房东西南北墙面各设置 1 个，机房迷道出入口设置 1 个（防护门内侧），并有明显的标志，在人员误入机房或遇紧急情况时，按动紧急停机开关设备立即停止出束。紧急停止开关必须采用手动方式才能复位。控制室采用钥匙和密码进出，机房的钥匙开关仅能控制本项目医用电子直线加速器的运行，且当钥匙开关为未闭合状态时，医用电子直线加速器将无法开机。机房的钥匙开关是唯一的，且只能由院方授权的当班辐射工作人员使用，以防止非工作人员进入操作。

(4) 机房内安装视频监控系统，在实施治疗过程中，便于控制台前工作人员观察患者状态、治疗床和迷路区域情况。

(5) 控制室与机房之间设置语音对讲装置，便于工作人员与机房内人员沟通。

(6) 机房内设置了排风和新风装置，位置呈对角设置，上送下排，新风管道和排风管道的尺寸均为 250mm×400mm，排风口距地面 200mm。机房内排风接引至院西附属楼楼顶排放，通风量可达 5000m<sup>3</sup>/h。治疗机房内将设置独立恒温湿空调，位于顶棚。通风系统每小时通风换气次数约为 7 次。

机房内的管道包括送风排风管道以及电缆沟等，所有管道均设计为“斜 45°”或“U”形管道进入治疗机房，并采用与同侧墙体防护铅当量相同的材料进行封堵。对于在机房内、外墙上嵌入式安装的电器（如配电箱、激光定位灯等）部位，嵌入式安装与同侧墙具有同等屏蔽效果的材料进行屏蔽补偿。

(7) 本项目机房内拟安装 1 台固定式剂量率仪，探头安装于迷路入口，显示器安装于控制室内。剂量报警装置可对监测点辐射空气吸收剂量率进行实时监测，且报警仪设置安全阈值，阈值为  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，当监测点的辐射空气吸收剂量率监测值超过设置阈值时进行报警。同时，医院为项目直线加速器机房配备 1 台便携式辐射监测仪和 2 台个人剂量报警仪。

(8) 机房防护门内侧设置紧急开门按钮，且防护门具有防夹人功能，停电时能够手动开启，使病人安全转移；机房内安装应急照明装置、火灾自动报警装置和干粉灭火器等；机房有应急照明系统。

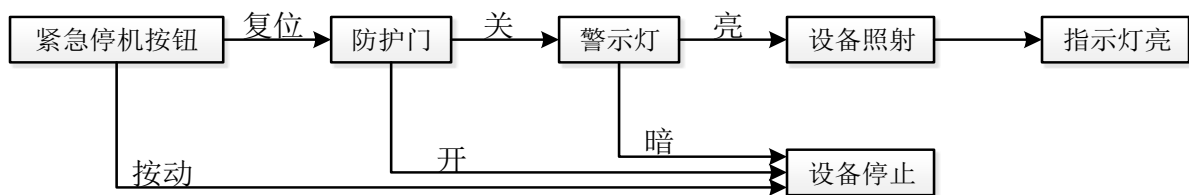


图 10.2-1 安全联锁逻辑关系图

## 10.2.4 人员辐射安全防护措施

### (1) 核医学科

#### ①时间防护

医务人员以及公众要尽可能地减少与辐射源的接触时间，对辐射工作人员限定工作时间，轮岗工作，降低在辐射场所的停留时间，减少不必要的辐射照射。

加强辐射工作人员的培训，严格按照治疗计划对病患进行诊疗，避免患者受到不必要的辐射照射。

#### ②防护设施

除实体屏蔽措施外，医院为核医学科配备 0.5mmPb 的铅衣、铅围裙、放射性污染防护服、铅围脖、铅帽、铅眼镜等个人防护用品 4 套，同时配备 1 台便携式辐射监测仪、10 台个人剂量报警仪和 1 台  $\alpha/\beta$  表面沾污仪。此外，医院拟在 SPECT/CT 工作场所分别配备 2 个注射器防护套 (2mmPb) 和 2 个移动铅屏风 (2mmPb)，在 P-32 敷贴

室、Sr-90 敷贴室配备易使用远距离操作工具和不少于 3mm 厚的橡皮泥或橡胶板，在分装室 1、2 分别配备 1 台固定式辐射报警仪，在 I-131 治疗区域配备 2 个铅屏风（20mmPb）和 1 台固定式辐射报警仪。I-131 治疗区域内固定式剂量率报警仪可对检测缓冲区内出院患者体表外 1m 处的剂量率进行监测，并与出院检测室门联锁，当监测数据低于 I-131 出院患者体内活度要求（低于 400MBq）时的对应 1m 处剂量率 20.88 $\mu$ Gy/h，门锁打开，甲癌患者方可撤离。

### ③ 距离防护

在不影响工作质量的前提下，与放射性核素保持尽可能大的距离。

### ③ 核医学科操作规程及防护制度

医院已制定相关核医学科操作规程及防护制度，要求工作人员严格遵守操作规程进行操作。

## （2）DSA

本项目投入使用后，医院应加强介入手术中医生和的防护设施佩戴管理，从事介入手术的医生和应严格执行穿戴铅围裙、铅围脖和防护眼镜等个人防护用具，并且在曝光期间采用设备自带铅帘、移动铅防护屏风综合防护，以降低 X 射线的外照射。

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

### 1) 介入医生和护士的防护要求

① 提高辐射防护和诊疗技术水平，全面掌握辐射防护法规与技术知识，介入医生和护士应取得国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）关于辐射安全与防护知识的学习、考试，取得合格证书后方可上岗；

② 结合诊疗项目实际情况，综合运用时间、距离与屏蔽防护措施，以减少受照剂量；

③ 必须佩戴 2 枚个人剂量计，1 枚佩戴于防护用品内，1 枚佩戴于防护用品外，可将内、外剂量计做明显标记（如以对比鲜明的颜色进行区分等），以估算人体未被屏蔽部分的剂量，注意防止内、外剂量计反戴的情况发生；

④ 严格开展介入手术医生的个人剂量监测，发现问题及时调查、整改。

### 2) 介入治疗时的防护要求

① 时间防护：熟悉机器性能和介入操作技术，尽量减少照射和采集时间。特别避

免未操作时仍踩脚闸；

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

⑤ 缩短物片距：尽量让影像增强器或平板靠近患者，减少散射线；

④ 充分利用各种防护器材：操作者穿戴铅衣、铅围领、铅帽、铅眼镜或铅面罩；处于生育年龄者还可加穿铅三角裤；使用床下铅帘及悬吊铅帘；重大手术需要技师、护师或其他人员在机房内时，除佩戴上述物品，医院为本项目配备铅屏风，让上述人员在屏风后待命，并做好其他个人防护。

## 10.3 辐射防护措施符合性分析

### 10.3.1 核医学科

本项目核医学科辐射防护措施，按环保部辐射安全与防护监督检查技术程序进行分析，并与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）中对核医学科工作场所的防护设施技术要求对照，均符合标准要求，符合性分析情况见表 10.3.1 和表 10.3.2。

**表 10.3.1 核医学科工作场所辐射防护措施符合性分析表（HJ 1188—2021）**

标准	标准防护要求	本项目方案	符合性
《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）	<p>（1）核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无缝隙，易于清洗、去污。</p> <p>（2）按《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）中表 1 划分的三类核医学工作场所室内表面及装备结构的基本放射防护要求。</p>	<p>本项目属于 I 类核医学工作场所，各功能室均采用相应的辐射防护设计；操作台、地面选用易于清污的材料或材质，地板与墙壁接缝无缝隙；分装室设有手套箱；本项目核医学科工作场所设置 5 套通风系统，安装动力通风装置（手套箱内风速不小于 1.0m/s）；配备相应的应急及去污用品；经过设计，本项目核医学科的排水管道尽可能布置较短，并要求在大水流管道贴标记以便维修检测；项目控制区和缓冲间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等选用脚踏式或自动感应式的开关。</p>	符合
	<p>（1）操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，</p>	<p>本项目属于乙级非密封物质工作场所，分装室设有手套箱，药物操作均在分装室中完成；医院为本项目配备铅衣、铅围裙、铅围脖、铅帽、铅眼镜等个人防护用品（均为 0.5mmPb）</p>	符合

	<p>给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体,以减少对其他患者和医护人员的照射。</p> <p>(2)操作放射性药物应有专门场所,如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。配备适量的符合防护要求的各种辅助防护用品,如铅衣、铅手套、铅围裙等。</p>	<p>4 套,同时配备放射性污染防护服若干、1 台便携式辐射监测仪、10 枚个人剂量计和 2 台 <math>\alpha/\beta</math> 表面沾污仪,2 个 5mmPb 的注射器防护套、2 个 2mmPb 的注射器防护套、2 个 5mmPb 的移动铅屏风、2 个 15mmPb 的移动铅屏风、2 个 20mmPb 的移动铅屏风、长镊子等远距离操作工具以及不小于 3mm 厚的橡皮泥或橡胶板,在核素治疗区域、分装室 1 和分装室 2 配备 3 台固定式辐射报警仪;本项目使用的 <math>^{131}\text{I}</math> 放射性药物储存在 40mmPb 的铅罐内,其他非密封放射性药物均放置于手套箱内。</p>	
	<p>(1) 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器,从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测,如表面污染水平超出控制标准,应采取相应的去污措施。</p> <p>(2) 操作放射性核素的工作人员,在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测,如其污染水平超过表 7.3.2 规定值,应采取相应去污措施。从控制区取出物品应进行表面污染检测,以杜绝超过表 7.3.2 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。</p>	<p>项目在缓冲间内配备可更换衣物、防护用品、冲洗设施及剂量率检测仪表,在注射分装区域配备 2 台 <math>\alpha/\beta</math> 表面沾污仪。</p>	符合
	<p>(1) 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器,容器表面应张贴电离辐射标志,容器在运送时应有适当的固定措施。</p> <p>(2) 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放,每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。贮存和运输放射性物质时应使用专门容器,取放容器中内容物时,不应污染容器。容器在运输时应有适当的固定措施。</p>	<p>本项目使用的 <math>^{131}\text{I}</math> 放射性药物储存在 40mmPb 的铅罐内,其他非密封放射性药物均放置于手套箱内。铅罐表面张贴电离辐射标志;药物均由供货商派专人直接送至核医学科的分装室内,并分别置于各手套箱中;核医学科内产生的放射性废物暂存于各场所的衰变桶中,核医学科通风系统过滤装置更换下来废活性炭,直接收集至衰变桶中,送至注射分装区域污物间贮存衰变;本项目衰变桶均设有电离辐射警示标志。</p>	符合
	<p>扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。</p>	<p>在 SPECT 机房的防护门设有自动闭门装置,上方设有工作状态指示灯,灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句。</p>	符合
	<p>(1) 核医学工作场所应保持有良好的通风,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。放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性</p>	<p>本项目通风气流流向遵循自监督区向控制区的方向设计,5 套独立的通风系统均设置防回风阀,并保持工作场所的负压和各区之间的压差,其中手套箱内通风速率不小于 1.0m/s;非密封放射性药物均在手套箱中进行,各手套箱内均含活性炭过滤装置,并</p>	符合

	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。通风橱应有足够的通风能力。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。	单独设计一个排风管道;本项目5套通风系统最终均经过楼顶的活性炭过滤装置处理后,通过高出屋脊的排放口排放。	
《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188—2021)	放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内,定期进行辐射水平监测,无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账,及时登记,确保账物相符。	本项目放射性物质均存放在铅罐中,并分别暂存于分装室的手套箱内。每年进行工作场所辐射水平监测,通过制定规程、门禁等措施,限制无关人员不得入内。在日常工作中将对放射性物质进行管理,对储存在放射性物质的铅罐和衰变桶外标明放射性物质的类型、核素种类和存放日期的说明,并及时做好相应的台账记录。	符合

**表 10.3.2 核医学科工作场所辐射防护措施符合性分析表 (GBZ 120—2020)**

标准	标准防护要求	本项目方案	符合性
《核医学放射防护要求》(GBZ 120—2020)	按表1划分的三类核医学工作场所室内表面及装备结构的基本放射防护要求。	本项目核医学科属于I类核医学工作场所,操作台、地面选用易于清污的材料或材质,地板与墙壁接缝无缝隙;分装室2设有1个手套箱,分装室1设有2个手套箱;工作场所设置通风系统,安装动力通风装置(风速不小于1m/s);配备相应的应急及去污用品;核医学科的排水管道尽可能布置较短,并在大水流管道设有标记以便维修检测。	符合
	合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置,风速应不小于0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置,排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。	分装室1、2的手套箱内通风速率不小于1m/s;本项目5套通风系统的排风均经过楼顶的活性炭过滤装置处理后,通过高出屋脊的排放口排放。	符合
	分装药物操作宜采用自动分装方式, <sup>131</sup> I给药操作宜采用隔室或遥控给药方式。	分装室2的配备I-131自动分装仪	符合
	放射性废液衰变池的设置按环境主管部门规定执行。暴露的污水管道应做好防护设计。	本项目核医学科的排水管道尽可能布置较短,并在大水流管道设有标记以便维修检测。I-131治疗区域产生的放射性废水排入门诊楼二层北侧的1#衰变池;SPECT/CT工作场所以及药物准备区产生的放射性废水排入门诊楼西侧的2#衰变池。放射性废水排放管道均采用抗腐蚀抗压的塑料管,部分暴露的污水管道	符合

		均外包 10mmPb 铅板进行防护。放射性的废水经 2 个衰变池至少 10 个半衰期衰变,且符合排放标准后,均排入医院废水处理系统。	
	控制区的入口应设置电离辐射警告标志。	在本项目控制区出入口设置明显的电离辐射警告标志,警示人员注意安全。	符合
	核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。	在本项目场所内走道的地面上设置明确的患者导向标识。	符合
	给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。	在 SPECT/CT 的注射室、观察室、留观室、机房以及核素治疗区域服药区、核素治疗病房、P-32 敷贴室、Sr-90 敷贴室、检后病人通道内将设视频监控设备,由医院辐射工作人员进行监控,并将在上述功能室与对应监控操作间之间设对讲装置。SPECT/CT 机房设置 5mmPb 的观察窗。	符合
	应为放射性物质内部运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器。容器表面应设置电离辐射标志。	本项目使用 I-131 放射性药物储存在 40mmPb 的铅罐内,其他非密封放射性药物均储存在 20mmPb 的铅罐内。药物均由供货商派专人直接送至分装室内,并置于手套箱中,药物容器表面设置电离辐射标志。核医学科内产生的放射性废物收集至各场所的衰变桶(10L, 20mmPb)中,当日工作结束后,SPECT/CT 工作场所和 P-32 敷贴室的放射性固体废物收集至药物准备区污物间的衰变桶(100L, 20mmPb)中贮存衰变,核素治疗区域的放射性固体废物收集至核素治疗区域污物间的衰变桶(100L, 20mmPb)中贮存衰变,衰变桶均设有电离辐射警示标志。	符合
	扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。	在 SPECT/CT 机房的防护门设有自动闭门装置,上方设有工作状态指示灯,灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句。	符合
	药物制备室应安装固定式剂量率报警仪。	在分装室 1、2 和核素治疗区域分别配备 1 台固定式辐射报警仪。	符合
	<sup>131</sup> I 治疗病房区应为相对独立的场所,病房区入口处应设缓冲区。患者住院后,只能在治疗区活动。	本项目核素治疗区域为相对独立的场所,区域入口处设有检测缓冲区。患者住院后,只能在治疗区域活动。	符合
	<sup>131</sup> I 治疗病房区应有独立的通风系统,通风管道应有过滤装置,并定期更换,更换的过滤装置按放射性固体废物处理。	核素治疗病房区设有独立的通风系统,排风经过楼顶的活性炭过滤装置处理后,通过高出屋脊的排放口排放。活性炭过滤装置定期更换,	符合

		更换下来的废活性炭收集至衰变桶中，并送至核素治疗区域污物间的衰变桶中贮存衰变。	
	<sup>131</sup> I 治疗住院患者的排泄物不应直接排到医院的公共污水管道，应先经过衰变池的衰变。下水管道宜短，露出地面的部分应进行防护和标记。	核素治疗区域产生的放射性废水排入门诊楼二层北侧的 1#衰变池，排水管道尽可能布置较短，并在大水流管道设有标记以便维修检测，部分暴露的污水管道均外包 10mmPb 铅板进行防护。放射性的废水经 1#衰变池至少 10 个半衰期衰变，且符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871—2002）中相关要求后，均排入医院废水处理系统。	符合
	病房内应设置患者专用厕所和淋浴间，厕所内应有患者冲厕和洗手的提示。	核素治疗区域的 2 个核素治疗病房内均设有淋浴卫生间，并在淋浴卫生间设有患者冲厕所和洗手的提示。	符合
	分装室与给药室之间药物传递应便捷，分装好的 <sup>131</sup> I 宜采用机械或自动、半自动的方式传递到给药室，给药过程应有监控。分装室应设置工作人员通过间，通过间应配备表面污染检测及剂量率检测仪表及清洗设施。	分装室 2 内配备 I-131 自动分装仪；核素治疗区域服药区设置视频监控设备；药物准备区设置淋浴室，淋浴室配备表面污染检测及剂量率检测仪表及清洗设施。	符合
	施用了 <sup>131</sup> I 治疗药物的患者如需住院应使用专用病房。专用病房宜为单人间，如不能实现，每间病房最多不应超过 2 人，并且 2 人之间应设置适当的防护屏蔽。	本项目设置核素治疗病房供甲癌患者使用，核素治疗病房为 2 人间，在 2 张病床中间设置移动铅屏风（20mmPb）进行适当的防护屏蔽。	符合
	病房中应配备对讲、监控等设施。	核素治疗病房中配备对讲、监控等设施。	符合
	患者使用过的被服应先进行存放衰变，衰变至少一个半衰期再进行清洗。	甲癌患者使用过的被服置于 I-131 治疗区域污物间内的衰变桶中进行存放衰变，衰变至少一个半衰期后再进行清洗。	符合
	在 <sup>131</sup> I 病房场所应使用专用的保洁用品，不能和其他场所（包括核医学其他放射性场所）混用，病房区域内应有存放及清洗保洁用品的场所。	核素治疗区域内使用专用的保洁用品，不与其他场所（包括核医学其他放射性场所）混用，核素治疗区域设有清洗间，用于存放及清洗保洁用品。	符合

### 10.3.2 DSA 和 SPECT/CT

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130—2020）要求对 DSA、SPECT/CT 的防护设施技术水平进行对照，均符合标准要求，符合性分析情况见表 10.3.3。

**表 10.3.3 DSA、SPECT/CT 机房辐射防护措施符合性分析**

标准	标准防护要求	本项目方案	符合性
----	--------	-------	-----

《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130—2020)	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。	本项目合理设置 DSA、SPECT/CT 及其机房的门、窗和管线口位置, 避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。	符合
	X 射线设备机房(照射室)应充分考虑邻室(含楼上和楼下)及周围场所的人员防护和安全。	DSA、SPECT/CT 机房均位于门诊楼三层, 机房上方均为院内停车场, 机房楼下均为冷冻机房, 机房四周墙外为核医学科工作场所, 机房四周墙、顶棚、底板外人员停留较少, 且机房四周、顶棚及底板按标准要求采取了防护措施。	符合
	每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房, 机房应满足使用设备的布局要求。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应不小于 30m <sup>2</sup> 、最小单边长度应不小于 4.5m。	本项目 DSA 机房有效使用面积为 37.04m <sup>2</sup> , 最小单边为 4.6m; SPECT/CT 机房有效使用面积 36.32m <sup>2</sup> , 最小单边 4.76m。	符合
	CT 机房: 有用线束与非有用线束方向, 铅当量为 2.5mm。	本项目 DSA 机房东、西墙为 120mm 实心砖+4mmPb 钡板(约 4.71mmPb), 北、南墙为 150mm 实心砖+5mmPb 钡板(约 5.89mmPb), 顶板厚度为 120mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡砂浆(约 4.48mmPb), 底板厚度为 120mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡沙(约 4.48mmPb), 南侧防护门为 5mmPb, 西侧防护门为 5mmPb, 观察窗为 5mmPb; SPECT/CT 机房四周墙体厚度均为 240mm 实心砖+2mmPb 钡板(约 4mmPb), 顶板厚度为 150mm 混凝土+2mmPb 钡板(约 3.85mmPb), 底板厚度为 120mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡砂(约 3.5mmPb), 防护门、观察窗均为 5mmPb。	符合
	CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。	由类比监测结果可知, 类比 CT 在正常使用条件下, 机房周边各点 γ 剂量率监测结果在 0.12~0.18μSv 之间。	符合
	机房应设有观察窗或摄影装置, 其设置的位置便于观察到患者和受检者的状态。	DSA、SPECT/CT 机房均设有观察窗, 其设置的位置便于观察到患者和受检者的状态。	符合
	机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。机房应设置动力通风装置, 并保持良好的通风。	DSA、SPECT/CT 机房内设置通风装置。DSA、SPECT/CT 机房内不堆放与诊断工作无关的杂物。	符合
	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	DSA、SPECT/CT 机房防护门外设置明显的电离辐射警告标志, 警示人员	符合

	状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。平开机房门应有自动闭门装置；工作状态指示灯能与机房门有效关联。	注意安全。在 DSA、SPECT/CT 机房的防护门设有自动闭门装置，上方设有工作状态指示灯，灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句。候诊区设置放射防护注意事项告知栏。机房设有门—灯联动装置、门—机联动装置，在防护门关闭状态下警示灯亮起，以对周边人员进行实时警示，且仅此时设备才可进行照射。设备在出束过程中若防护门打开，设备自动停止出束。	
	配备适量的符合防护要求的各种辅助防护用品，如铅衣、铅手套、铅围裙等。	医院为本项目配备铅衣、铅围裙、放射性污染防护服、铅围脖、铅帽、铅眼镜等个人防护用品（均为 0.5mmPb）5 套。	符合

### 10.3.3 直线加速器

本项目医用电子直线加速器机房辐射防护措施，按环保部辐射安全与防护监督检查技术程序进行分析，并与《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871—2002）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121—2020）中对医用电子直线加速器机房的防护设施的技术要求对照，均符合该标准要求，符合性分析情况见表 10.3.4 和表 10.3.5。

**表 10.3.3 本项目医用电子直线加速器机房安全与防护设施设计要求**

序号	项目	检查内容	设计建造	备注
1*	A 控制台及安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	√	钥匙和密码
2*		控制台有紧急停机按钮	√	1 个
3*		电视监控与对讲系统	√	1 套
4*		治疗室门与束流联锁	√	门机联锁
5		治疗室内准备出束音响提示	√	蜂鸣音
6*	B 警示装置	入口电离辐射警告标志	√	标准电离辐射警告标志
7*		入口有加速器工作状态显示	√	工作状态指示灯
8	C 照射室 紧急设施	紧急开门按钮	√	防护门内侧
9		紧急照明或独立通道照明系统	√	应急照明
10*		治疗室内有紧急停机按钮	√	墙壁设 4 个
11*		设备表面有紧急停机按钮	√	设备表面 1 个
12	D 监测设备	治疗室内有固定式剂量率仪	√	配置 1 台固定式剂量率仪
13*		便携式辐射监测仪器	√	配置 1 台便携式辐射监测仪
14*		个人剂量报警仪	√	配置 2 台个人剂量报警仪
15*		个人剂量计	√	每人 1 枚
16	E	治疗室内防夹人装置	√	电动防护门具有防夹功能

17	其他	通风系统	√	设置了动力排风装置
18		火灾报警仪	√	火灾自动报警装置
19		灭火器材	√	干粉灭火器

**表 10.3.4 本项目医用电子直线加速器机房辐射防护措施符合性分析**

标准防护要求		本项目方案	符合性
选址、布局 和分区要 求	放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。 放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。	本项目医用电子直线加速器机房建设，避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域。机房及其辅助设施同时设计和建造，机房辐射防护由国兴同盛工程设计有限公司进行设计，根据理论计算，机房辐射防护设计符合相关限值要求。	符合
	放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如……和治疗室，直线加速器机房、……等。 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。	本项目将加速器机房设置为控制区，控制室、等候区等设为监督区。	符合
	放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。 治疗机房……，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。 X 射线管治疗设备的治疗机房、术中放射治疗手术室可不设迷路； $\gamma$ 刀治疗设备的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路；其他治疗机房均应设置迷路。	本项目机房设计按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算。项目机房东西墙主防护墙为 2600mm 混凝土结构、次防护墙为 1500mm 混凝土结构；北墙为 1500mm 混凝土结构；南墙迷路内墙为 1200mm 混凝土结构；南墙迷路外墙为 1100mm 混凝土结构；顶棚主次防护墙均为 2600mm 混凝土结构；防护门内衬 15mmPb 铅板，所有初、次级辐射方向的防护屏蔽符合 GBZT 201.1 的相关要求。 机房内的所有管道均设计为“斜 45°”或“U”形管道进入治疗机房，并采用与同侧墙体防护铅当量相同的材料进行封堵。项目机房的设计充分考虑防护门与墙的搭接，并设有迷路，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。	符合
	治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电	本项目加速器配套控制室、水冷设备、模拟定位室、辅助机房等均设置	符合

	器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用，尽可能避开被有用线束直接照射。 治疗机房均应设置迷路。	在加速器机房外，且避开了有用线束直接照射的区域，机房内设置有“L”形迷路。 经环境辐射现状调查及环境影响预测，本项目采取辐射防护措施后对周边关注点的辐射剂量率及保护目标的年附加剂量满足相关规范的要求。	
空间、通风要求	放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。	本项目治疗机房有足够的有效使用空间，满足放射治疗设备的临床应用需要。	符合
	放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换气次数应不小于4次/h。	机房内设置了排风和新风装置，位置呈对角设置，上送下排。机房的排风量可达5000m <sup>3</sup> /h，每小时换气约7次。	符合
治疗机房顶屏蔽的周围剂量当量率参考控制水平	在治疗机房上方已建、拟建二层建筑物或在治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点至机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面30cm处，或在立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，周围剂量当量率参考控制水平同7.3.2。	理论估算表明，本项目医用电子直线加速器机房运行后，机房周边墙外30cm处的剂量率均低于标准2.5μSv/h的要求。	符合
安全装置和警示标志要求	……、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近。	本项目治疗室内安装1台固定式剂量率仪，探头安装于迷路入口，显示器安装于控制室内。	符合
	放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯。	本项目治疗机房防护门外设置电离辐射警告标志和工作指示灯。	符合
	放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全联锁措施； a) 放射治疗室……应设置门—机/源联锁装置，防护门未完全关闭时不能出束/出源照射，出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。……； b) 放射治疗室和……应设置室内紧急开门装置，防护门应设置防夹伤功能； c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、……设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发； f) 安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装	机房及其控制室内安装紧急停机按钮，在控制室操作台上设置1个，机房内直线加速器治疗床位上设置1个，机房东西南北墙面各设置1个，机房迷道出入口设置1个（防护门内侧），并有明显的标志，在人员误入机房或遇紧急情况时，按动紧急停机开关设备立即停止出束。紧急停止开关必须采用手动方式才能复位。控制室采用钥匙和密码进出，以防止非工作人员进入操作。	符合

	调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。		
	控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。	机房内安装视频监控系统，在实施治疗过程中，便于控制台前工作人员观察患者状态、治疗床和迷路区域情况。控制室与机房之间设置语音对讲装置，便于工作人员与机房内人员沟通。	符合
操作的辐射安全与防护要求	医疗机构应对辐射工作场所的安全联锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全联锁的正常有效运行。	医院将对辐射工作场所的安全联锁系统定期进行试验自查，保存自查记录，保证安全联锁的正常有效运行。	符合
	治疗期间，应有两名及以上人员协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度；加速器试用、调试、检修期间，控制室须有工作人员值守。任何人员未经授权或允许不得进入控制区。工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入放射治疗室。在出束的情况下严禁调试、检修人员滞留在控制区。	治疗期间，由两名工作人员进行协调操作，认真做好当班记录，严格执行交接班制度。任何人员未经授权或允许不得进入控制区，工作人员须在确认放射治疗或者治疗室束流已经终止的情况下方可进入机房。加速器试用、调试、检修期间，严禁调试、检修人员在出束的情况下滞留在控制区，且控制室须有工作人员值守。	符合

## 10.4 三废的治理

### 10.4.1 放射性固体废物

核医学科放射性固体废物主要有剩余放射性药物、废弃 Sr-90/Y-90 放射源、废弃 P-32 敷贴器、废活性炭以及使用后的注射器、棉签、棉球、擦拭废纸、一次性手套、一次性纸杯等被非密封放射性物质污染的物品。

本项目核医学科产生的剩余放射性药物暂存于分装室的手套箱内，废弃 Sr-90/Y-90 放射源暂存于 Sr-90 敷贴室储源间，以上放射性固体废物均交由厂家回收处理。核医学科通风系统过滤装置更换下来废活性炭，直接收集至衰变桶中，其中 I-131 治疗区域和分装室 2 通风系统中的废活性炭送至 I-131 治疗区域的污物间内贮存衰变，其他区域通风系统中的废活性炭送至药物准备区的污物间内贮存衰变，待其放射性比活度低于国家放射性固体废物豁免标准以后，按医疗废物交由有资质单位处理。

使用后的注射器、棉签、棉球、擦拭废纸、一次性手套、一次性纸杯等被非密封放射性物质污染的物品以及废弃 P-32 敷贴器，主要产生于储源分装室、注射室、观察室、核素治疗病房、服药区、P-32 敷贴室。这些放射性废物按核素种类、污染水平及产生时间进行分类收集，暂存于各场所衰变桶内，在当日工作结束后，分别收集至药

物准备区和 I-131 治疗区域的污物间内贮存衰变，待其放射性比活度低于国家放射性固体废物豁免标准以后，按医疗废物处理。

### 10.4.2 非放射性废气

当 DSA、SPECT/CT 运行时会产生少量的废气，其主要成分为臭氧 O<sub>3</sub> 和氮氧化物 NO<sub>x</sub>，为了防止机房内的臭氧 O<sub>3</sub> 和氮氧化物 NO<sub>x</sub> 超标，医院在 DSA、SPECT/CT 机房内设置排风系统。产生的臭氧 O<sub>3</sub> 和氮氧化物 NO<sub>x</sub> 通过机房的通风系统引至门诊楼楼顶排出，很快被空气对流、扩散作用稀释，对大气环境影响较小。

### 10.4.3 放射性废气

本项目放射性废气主要产生于 SPECT/CT 区域的机房、观察室、留观室、注射室、运动/急救室以及储源分装室、手套箱、核素治疗病房、服药区、P-32 敷贴室、Sr-90 敷贴室等。本项目工作场所设置 5 套独立的通风系统，均设置防回风阀，风速不小于 1m/s。各场所产生的放射性废气由支管道汇入主管道，通过 PET/CT 注射室顶部原有的排风井直通楼顶，最终经楼顶的活性炭过滤装置处理后，通过高出屋脊的排放口排放。排气管道分布见图 10.4-1。

### 10.4.4 放射性废水

本项目放射性废水主要来源是患者排泄物和呕吐物的冲洗用水、甲癌患者在住院期间生活废水以及工作人员操作过程中手部受到微量污染或清扫工作台面、地面的清洁工具清洁时可能会带有微量放射性的废水。项目设置 2 个放射性衰变池，1#衰变池为并联式衰变池，位于门诊楼二层北侧，其上方为本项目核医学科，下方为岩石层，北侧和西侧均为土壤层，东侧为交配电所，南侧为冷冻机房；2#衰变池为串联式衰变池，位于门诊楼西面的空地上，为地埋式，2#衰变池上部是草坪，人员极少活动。核医学科的放射性废水排放管道均采用抗腐蚀抗压的塑料管，部分暴露的污水管道采用外包 10mmPb 铅板进行防护。本项目废水管道布置见图 10.4-2，1#衰变池位置见图 1.5-5，2#衰变池位置见图 10.4-3。

#### (1) 核素治疗区域的放射性废水

核素治疗区域的污物间、清洗间以及核素治疗病房等区域产生的放射性废水全部排入 1#衰变池，1#衰变池为 3 级衰变，每级尺寸为 3m×4m×2m，合计 72m<sup>3</sup>，衰变池四壁、顶板和底板均采用 30cm 厚混凝土，并做防渗漏防水处理。1#衰变池设计图见图

10.4-4。

1#衰变池处理工艺流程如下：3个污水池交替使用，放射性污水从降解槽首先进入1号池，此时，另2个槽体进水口和3个槽体的出水口全部处于关闭状态。当1号池液面达到设定液位时，关闭1号池进水阀，污水进入2号池。依次类推，当3号池水液面达到设定液位时，1号池排水阀开，排水泵工作。当液位传感器感知到1号池液位排空后，关闭3号池进水阀，同时打开1号池进水阀。如此循环，确保了每次排放的槽体内废液都是贮存时间最长的。放射性的废水经1#衰变池至少10个半衰期衰变，且符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871—2002）中相关要求后，排至医院下水管网，进入医院废水处理系统再行处理。

#### （2）SPECT/CT工作场所的放射性废水

药物准备区、SPECT/CT工作场所产生的放射性废水排往2#衰变池，2#衰变池为4级衰变，每级尺寸为1m×2m×3m，合计24m<sup>3</sup>，衰变池四壁采用24cm厚混凝土、顶板采用15cm厚混凝土，底板均采用30cm厚混凝土，并做防渗漏防水处理。2#衰变池设计图见图10.4-5。

2#衰变池处理工艺流程如下：区域产生的放射性废水先排入第1个槽体，待第1个池贮满后，流入衰变池的废水通过塑料管套将其推进第2个衰变池继续衰变，以此类推，待放射性的废水经衰变池至少10个半衰期衰变，且符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871—2002）中相关要求后，排至医院下水管网，进入医院废水处理系统再行处理。

### 10.4.4X 射线

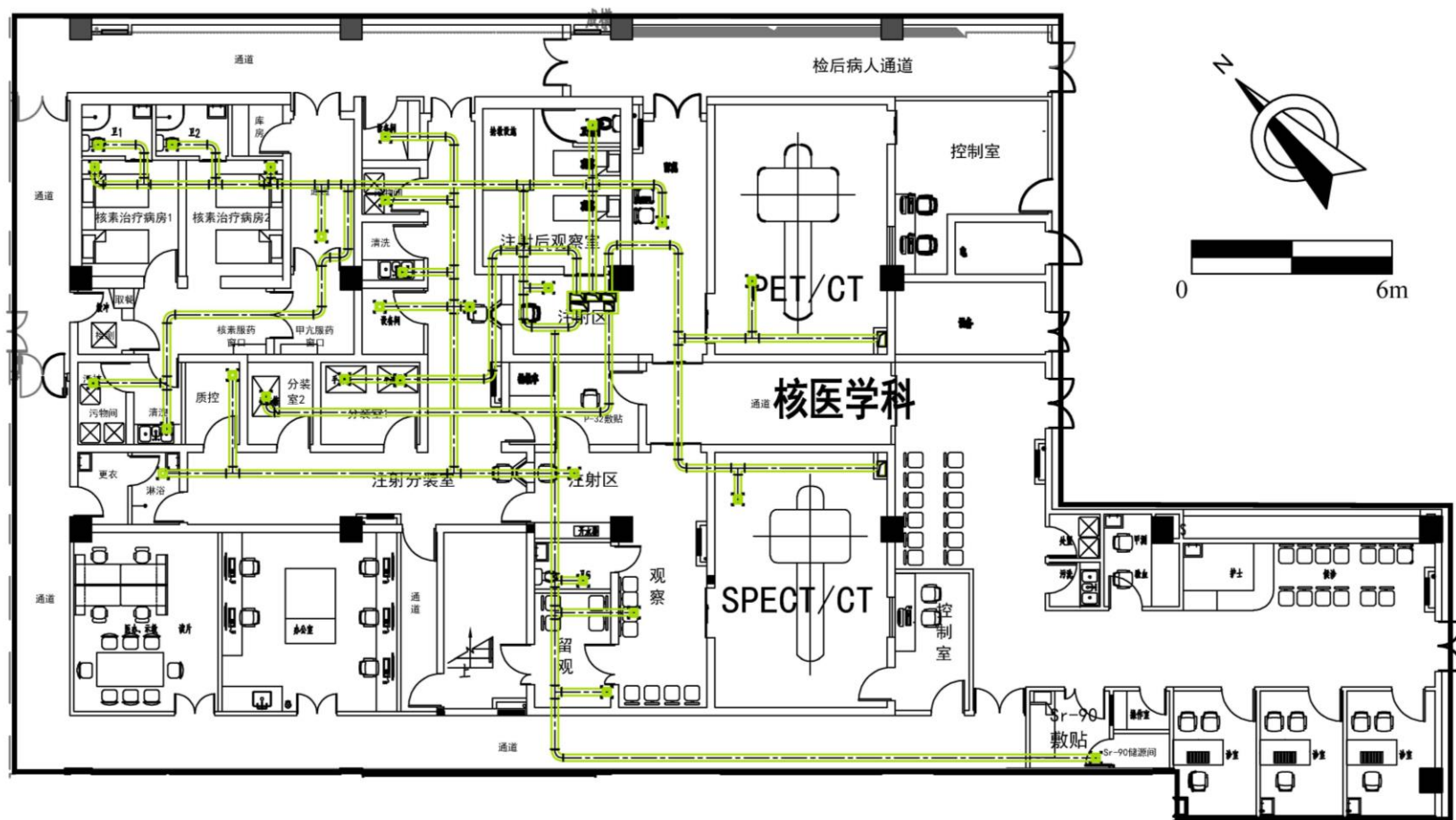
本项目DSA和SPECT/CT属于II、III类X射线装置，只有在设备开机的状态下才产生X射线，不产生放射性废水、废气和固废。

## 10.5 环保投资

本项目总投资1500万元，环境保护投资共计300万元，占本项目总投资额的20%。详见表10.5.1。

**表 10.5.1 医院核技术利用项目辐射防护措施符合性分析表**

类别	环保措施	投资估算（万元）
辐射防护设计施工	墙体及管道辐射防护处理	245
专用防护	核医学科控制区各房间防护门	40
	个人剂量计、便携式辐射监测仪、个人剂量报警仪、固定式剂量报警仪、 $\alpha/\beta$ 表面沾污仪、衰变桶、个人防护用品等	10
通风设备	3 个手套箱、4 套核医学科通风系统、活性炭过滤装置	25
放射性废水处理设备	1#衰变池	80
合计		300



图例

—— 通风管道

□ 排风口

图 10.4-1 排气管道布置图

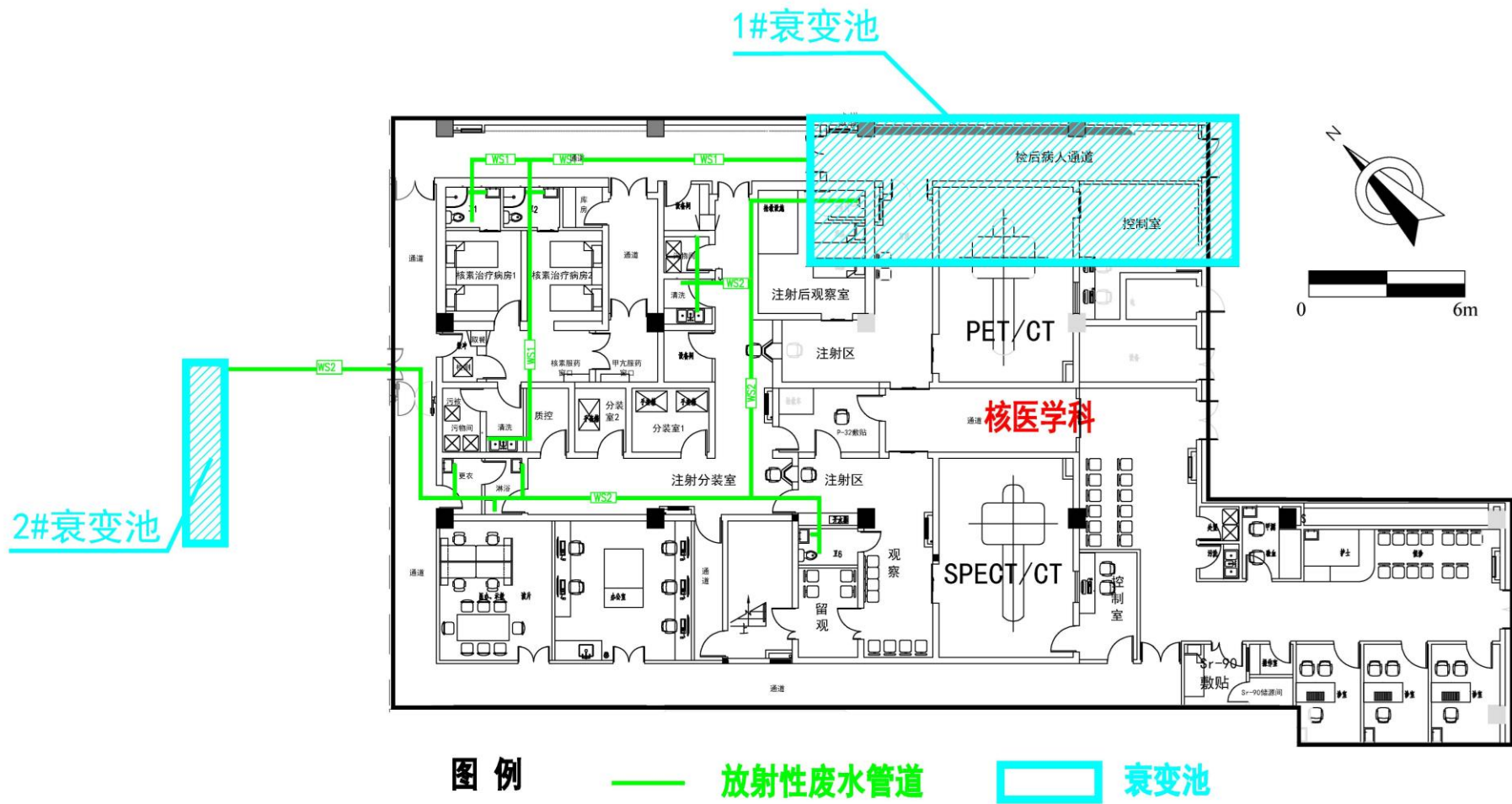


图 10.4-2 废水管道布置图

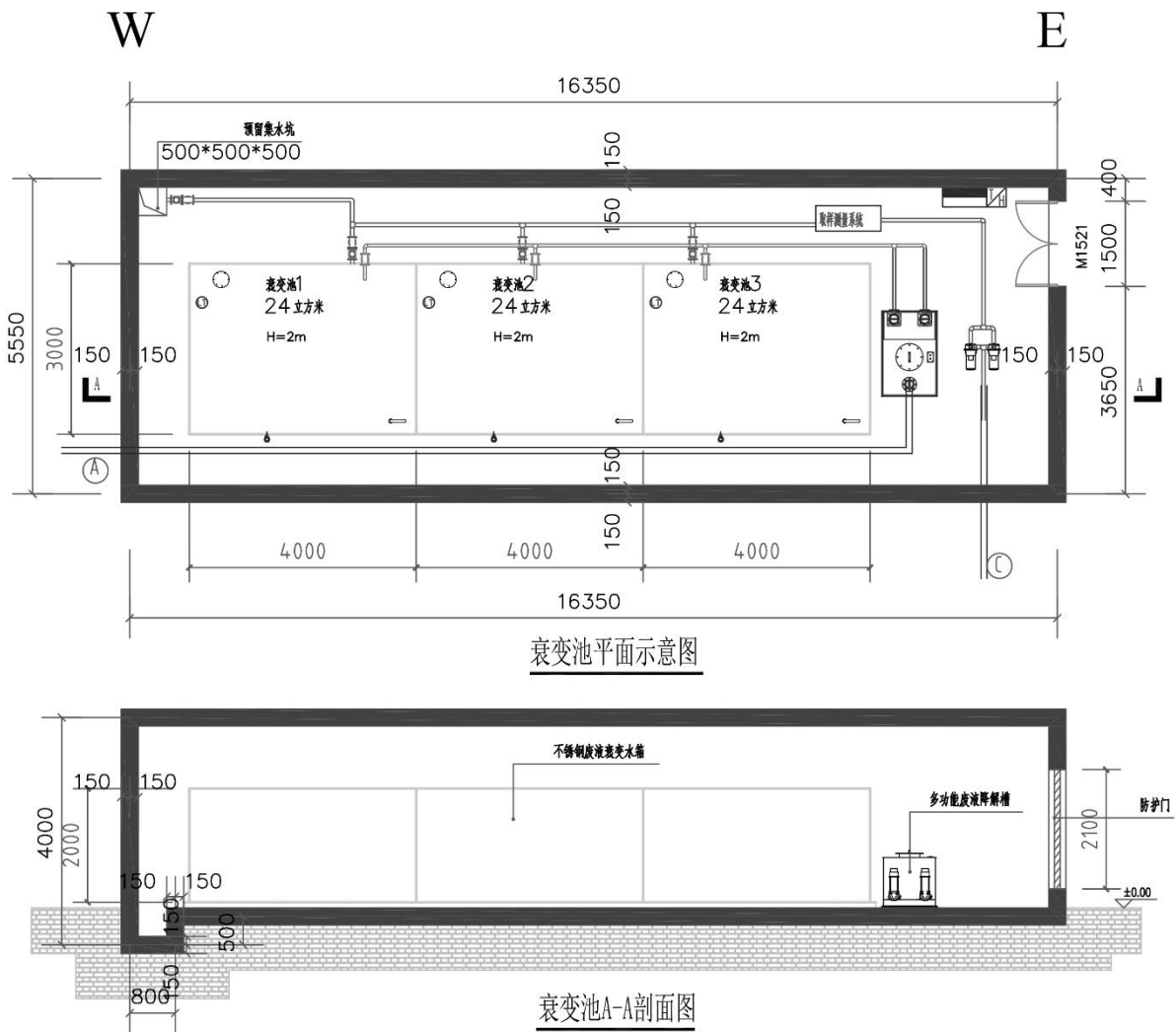
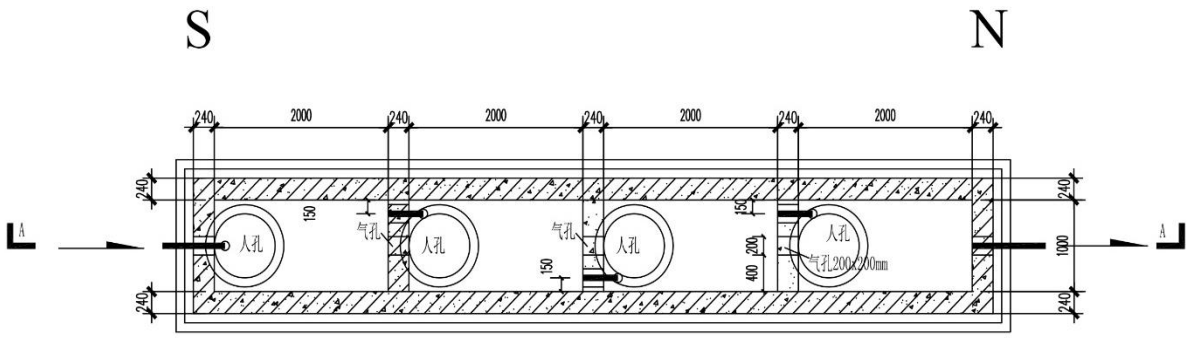
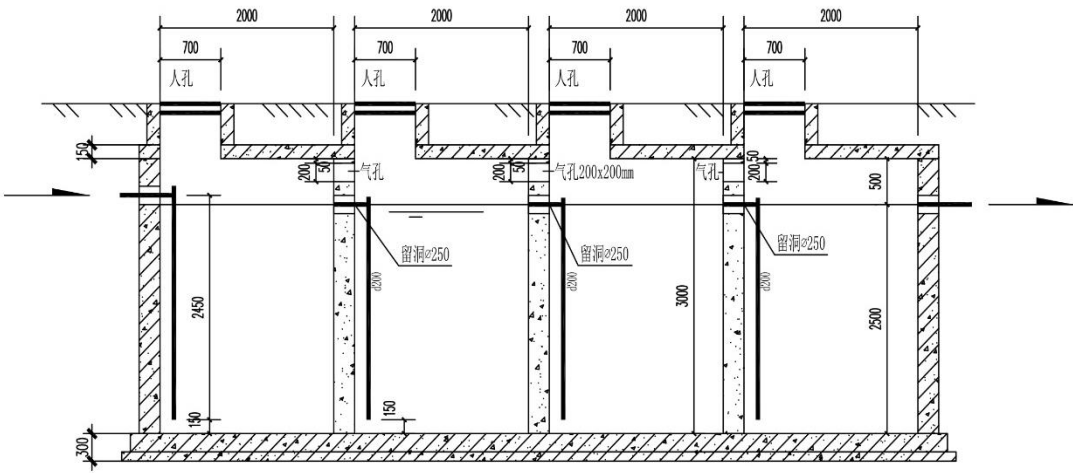


图 10.4-3 本项目 1#衰变池设计图



衰变池平面示意图



衰变池A-A剖面图

注：人孔加盖双层密闭井盖

图 10.4-4 本项目 2#衰变池设计图

## 表 11 环境影响分析

### 11.1 建设阶段对环境的影响

本项目核医学科主要在原有东海院区门诊楼主体建筑上进行内部建设、装修以及设备安装，以满足各工作场所的辐射屏蔽防护要求。项目施工时产生的环境影响主要是噪声、扬尘、废水、固体废物等。本项目工程量较小，没有大型机械设备进入施工场地，施工场地安排有序，施工人员较少，采取抑尘措施，施工期短，合理安排施工秩序，施工时间，本项目对周围环境保护目标的影响在可接受的范围内。

#### 11.1.1 施工噪声环境影响分析

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

为了降低施工噪声对周围环境的影响，满足《建筑施工噪声排放标准》（GB 12523—2025）的要求，本项目应通过文明施工，合理安排施工时间，加快施工进度；选择噪声级尽可能低的施工机械进行施工，对施工机械采取消声降噪措施；施工场所采取消声减震等措施，避免对门诊楼其他科室产生影响。

#### 11.1.2 施工期扬尘影响分析

本项目位于门诊楼三层，施工过程中会产生少量的扬尘，其施工扬尘影响局限在门诊楼范围内，因此，要求合理安排施工时间，加快施工进度，通过缩短施工时间、封闭施工、洒水等相关措施，将对外环境扬尘影响降至最低。

#### 11.1.3 施工期废水影响分析

施工期污水主要来自两个方面：一是施工废水，二是施工人员的生活污水。

施工废水主要为混凝土搅拌及养护，这类生产废水量小，一般通过蒸发，不外排。

项目施工期间施工人员约 20 人，根据给水排水设计规范，按每人产生生活污水 0.12t/d 计算，施工时间按 60 天计算，则施工期总用水量约为 144t（2.4t/d），污水排放量按用水量的 90% 计算，则生活污水总排放量约 129.6t。项目施工生活污水主要依托现有设施（卫生间），通过下水管道排入医院污水处理设施处理达标后排放，对周围环境影响较小。

#### 11.1.4 施工期固体废物影响分析

本项目工程量较小，项目施工期间固废主要为施工人员生活垃圾、少量建筑垃圾及施工废物料。施工期间，施工人员按 20 人计算，生活垃圾量按 1.0kg/人·d 计算，则施工期内产生生活垃圾约 1200kg（20kg/d）。生活垃圾分类收集至相应的垃圾箱，后交由环卫部门清运。

装修及设备安装过程将产生少量建筑装修垃圾、包装纸箱、泡沫填充物和废胶桶等。建筑装修垃圾由施工方统一交由有资质的渣土运输公司处置，包装纸箱等可回收利用的施工废物料应予以回收利用，废胶桶等由厂家回收，其他部分分类收集后交由环卫部门清运。

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

## 11.2 运营阶段对环境的影响

### 11.2.1 核医学科非密封性放射性物质环境影响分析

本项目 Tc-99m、Ga-68、Sr-89、P-32、I-131、Lu-177、Ac-225 和 Ra-223 核素，衰变时会产生  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\gamma$  射线。本项目所涉及的核素参数见表 9.2.1，本评价采用理论计算的方法，将药物及已注射/口服药物的患者简化为点源，并对核素产生的环境影响进行分析。

根据“表 9.2.1 放射性药品暂存库暂存核素的相关属性”，本项目 Ac-225、Th-227 和 Ra-223 核素为  $\alpha$  衰变，在衰变过程中会产生  $\alpha$  粒子。

由于  $\alpha$  粒子的体积比较大，又带两个正电荷，很容易就可以电离其他物质。因此，它的能量亦散失得较快，穿透能力在众多电离辐射中是最弱的，人类的皮肤或一张纸已能隔阻  $\alpha$  粒子，本项目辐射工作人员只要戴上手套等防护用品，就能达到防护要求，放射性核素 Ac-225 和 Ra-223 注射屏蔽材料均为 2mm 铅（2mmPb），远大于 Ac-225 和 Ra-223 在铅中的最大射程，因此不考虑其对人体的外照射辐射影响。

#### 11.2.1.1 估算模式

（1）根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）附录 I 中屏蔽计算公式的变形式，可得各屏蔽体外关注点剂量率的计算公式为：

$$\dot{H}_p = \frac{A \times \Gamma}{r^2} \times 10^{\frac{-x}{TVL}} \quad \text{式 (11-1)}$$

式中： $\dot{H}_p$  ——屏蔽体外关注点的剂量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

$A$  ——单个患者或受检者所用放射源的最大活度（MBq）；

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

$r$  ——关注点与放射源间的距离（m）；

$x$  ——屏蔽厚度（mm）；

$TVL$  —— $\gamma$  射线的十分之一值层厚度（mm）；

本项目相应核素的什值层参考 GBZ 120—2020 中表 I.1:

Tc-99m——混凝土（密度为  $2.35\text{g/cm}^3$ ）TVL=110mm，铅（密度为  $1.65\text{g/cm}^3$ ）TVL=1mm，实心砖（密度为  $1.65\text{g/cm}^3$ ）TVL=160mm；

I-131——混凝土（密度为  $2.35\text{g/cm}^3$ ）TVL=170mm，铅（密度为  $1.65\text{g/cm}^3$ ）TVL=11mm，实心砖（密度为  $1.65\text{g/cm}^3$ ）TVL=240mm；

(2)  $\beta$  粒子的射程及  $\beta$  粒子所致韧致辐射的计算

能量为  $E$ （MeV） $\beta$  粒子的射程在低  $Z$  物质中的射程，可由下面经验计算公式计算，即：

$$R = 0.412 \times E^{(1.265 - 0.0954 \times \ln E)} \quad \text{式 (11-2)}$$

式中： $R$ —— $\beta$  射线在低原子序数中的射程，g/cm<sup>2</sup>；

$R$ 除以屏蔽物质密度（g/cm<sup>3</sup>）即可得到射程对应的屏蔽物质厚度（cm）。

能量为  $E$ （MeV） $\beta$  粒子与原子序数为  $Z$  的屏蔽材料相互作用产生的韧致辐射在空气  $r$ （m）处的吸收剂量率计算公式如下：

$$\dot{D} = 4.58 \times 10^{-14} \times A \times Z \times \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \times \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right) \quad \text{式 (11-3)}$$

式中： $A$ ——放射源的活度，Bq；

$Z$ ——屏蔽材料的原子序数；

$E_b$ ——韧致辐射的平均能量，为入射  $\beta$  粒子最大能量的 1/3，MeV；

$\frac{\mu_{en}}{\rho}$ ——平均能量为  $E_b$  的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数，m<sup>2</sup>·kg<sup>-1</sup>；

公式（式 11-2）和（式 11-3）来自《辐射防护导论》P127-133。

### 11.2.1.2 Ga-68 的辐射影响分析

#### (1) 关注点辐射水平估算

本评价主要考虑 Ga-68 药物在操作过程中，产生的  $\gamma$  射线对辐射工作人员及周围公众的辐射影响。

本项目开展 Ga-68 显像的注射剂量最大的药物为 185MBq/人（5mCi/人），单日最大治疗规模为 5 人，影响远小于 F-18 的影响。本项目可能受到 Ga-68 核素辐射影响的主要为分装室 1、PET/CT 注射室、PET/CT 观察室、PET/CT 留观区、PET/CT 机房。计算公式见式（11-1），计算结果见表 11.2.1。

**表 11.2.1 操作核素 Ga-68 时关注点辐射剂量率计算结果一览表**

房间	源强 (MBq)	位置	关注点名称	衰减 距离 (m)	屏蔽材料及厚度	估算 结果 ( $\mu$ Sv/h)
PET/CT 注射室	185	北墙外	PET/CT 观察室	2.00	240mm 实心砖 +1mmPb 钡板	0.70
		北侧防护门外	PET/CT 观察室	2.00	5mmPb	3.31
		东墙外	PET/CT 机房	4.10	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	0.15
		东侧防护门外	PET/CT 机房	4.10	5mmPb	0.79
		南墙外	核医学科东侧过道	2.50	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	0.39
			运动/急救室	1.20		1.70
		东南侧防护门外	核医学科东侧过道	2.50	12mmPb	0.80
		南侧防护门外	运动/急救室	1.20	6mmPb	7.99
		西墙外	药物准备区	0.80	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	3.83
		西侧防护窗外	药物准备区	0.80	30mmPb	0.64
		顶板上方	院内停车场	3.30	150mm 混凝土	0.34
底板下方	待建机房	3.00	120mm 混凝土 +3mmPb 硫酸钡 沙	0.40		
PET/CT 观察室	185×2	北墙外	检后病人通道	3.00	240mm 实心砖	0.36
		东墙外	PET/CT 留观区	0.80	240mm 实心砖	5.06
		南墙外	PET/CT 注射室、药物准备区	2.40	240mm 实心砖 +1mmPb 钡板	0.49
		南侧防护门外	PET/CT 注射室	2.40	5mmPb	2.30
		西墙外	药物准备区	1.90	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	0.68
		顶板上方	院内停车场	3.30	150mm 混凝土	0.34
		底板下方	待建机房	3.00	120mm 混凝土 +3mmPb 硫酸钡 沙	0.40

PET/CT 留观区	185×2	北墙外	检后病人通道	2.10	240mm 实心砖 +1mmPb 钡板	1.28
		北侧防护门外	检后病人通道	2.10	5mmPb	6.00
		东墙外	PET/CT 机房	2.60	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	0.73
		南墙外	PET/CT 注射室	2.10	240mm 实心砖 +1mmPb 钡板	1.28
		南侧防护门外	PET/CT 注射室	2.10	3mmPb	7.91
		西墙外	PET/CT 观察室	1.90	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	7.66
		顶板上方	院内停车场	3.30	150mm 混凝土	0.68
		底板下方	冷冻机房	3.00	120mm 混凝土 +10mmPb 硫酸钡沙	0.31
PET/CT 机房	185	北墙外	检后病人通道	4.30	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	0.13
		东墙外	控制室、设备室	3.00	240mm 实心砖 +5mmPb 钡板	0.18
		东侧防护门外	控制室	3.00	15mmPb	0.37
		东侧防护窗外	控制室	3.00	20mmPb	0.18
		南墙外	核医学科东侧过道	4.30	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	0.13
		西墙外	PET/CT 注射室、 PET/CT 留观区	3.00	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	0.27
		西侧防护门外	PET/CT 注射室	3.00	5mmPb	1.47
		顶板上方	院内停车场	3.30	150mm 混凝土 +2mmPb 钡板	0.26
		底板下方	冷冻机房	3.00	120mm 混凝土 +7mmPb 硫酸钡沙	0.23
运动/急救室	185	北墙外	PET/CT 注射室	1.80	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	0.76
		北侧防护门外	PET/CT 注射室	1.80	6mmPb	3.55
		东墙外	核医学科东侧过道	2.40	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	0.43
		南墙外	SPECT/CT 注射室	1.80	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	0.76
		南侧防护门外	SPECT/CT 注射室	1.80	2mmPb	6.19
		西墙外	药物准备区	1.80	240mm 实心砖	1.00
		顶板上方	院内停车场	3.30	150mm 混凝土	0.34
		底板下方	待建机房	3.00	120mm 混凝土 +3mmPb 硫酸钡沙	0.40
分装室 1	185×5	北墙外	服药区、备用间	1.00	50mmPb 手套箱 +240mm 实心砖 +1mmPb 钡板	0.05
		东墙外	药物准备区	1.90	50mmPb 手套箱	0.01

					+240mm 实心砖 +2mmPb 钨板	
		南墙外	药物准备区	2.40	50mmPb 手套箱 +240mm 实心砖 +2mmPb 钨板	0.01
		南侧门外	药物准备区	2.40	50mmPb 手套箱	0.09
		西墙外	分装室 2	1.90	50mmPb 手套箱 +240mm 实心砖	0.02
		顶板上方	院内停车场	3.30	50mmPb 手套箱 +150mm 实心砖	0.01
		底板下方	待建机房	3.00	50mmPb 手套箱 +120mm 实心砖 +3mmPb 硫酸钡 沙	0.01
分装室 1 手套 箱	185×5	手套箱外表面	分装室 1	0.45	50mmPb 手套箱	2.55

从表 11.2.1 中可以看出，本项目核医学科操作核素 Ga-68 时，核医学控制区外人员可达的各关注点剂量率在 0.01~0.80 $\mu$ Sv/h 之间，均低于 2.5 $\mu$ Sv/h；控制区内的各关注点剂量率在 0.01~7.99 $\mu$ Sv/h 之间，均低于 10 $\mu$ Sv/h；分装室 1 的 1#手套箱外表面 5cm 处的剂量率为 2.55 $\mu$ Sv/h，低于 10 $\mu$ Sv/h，各关注点剂量率均能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）的相关要求。

#### (2) 工作人员辐射剂量率预测

①分装过程：分装过程工作人员穿着铅衣（0.5mmPb），通过分装室 1 的手套箱（50mmPb）进行操作，药物距离身体约 50cm。

②取药、注射过程：取药过程工作人员穿着铅衣（0.5mmPb），用防护提盒（20mmPb）将套有注射器防护套（5mmPb）的注射器提至注射防护装置外，取药过程药物距离身体躯干约 50cm；注射时，注射人员穿着铅衣（0.5mmPb），通过注射防护窗（30mmPb）对患者进行注射，注射过程中药物距离身体约 50cm。

③摆位过程：摆位过程工作人员穿着铅衣（0.5mmPb），在移动铅屏风（15mmPb）后进行摆位工作，按身体距离病人约 50cm 进行估算。

**表 11.2.2 操作核 Ga-68 时工作人员辐射剂量率预测结果**

操作过程	关注点描述	源强 (MBq)	屏蔽措施	衰减距离 r (m)	估算结果( $\mu$ Sv/h)
Ga-68 分装	核素操作人员	185×2	0.5mmPb 铅衣+50mmPb 当量手套箱	0.5	0.59
取药		185	0.5mmPb 铅衣+20mmPb 防护提盒+5mmPb 注射器防护套	0.5	9.24

注射		185	0.5mmPb铅衣+5mmPb注射器 防护套+30mmPb防护窗	0.5	2.31
摆位	PET/CT 操作人员	185	0.5mmPb铅衣+15mmPb移动铅 屏风	0.5	36.98

### 11.2.1.3 Tc-99m 辐射影响分析

#### (1) 关注点辐射水平估算

根据“表9 项目工程分析与源项”可知，本评价选取 Tc-99m 作为  $\gamma$  影响的代表核素。本项目开展 SPECT/CT 显像的注射剂量最大的药物为 925MBq/人（25mCi/人）的 Tc-99m 药物，Tc-99m 单日最大治疗规模为 18 人。本项目可能受到 Tc-99m 核素辐射影响的主要为分装室 1、SPECT/CT 注射室、SPECT/CT 观察室、SPECT/CT 留观区、SPECT/CT 机房。计算公式见式 11-1，计算结果见表 11.2.3。

**表 11.2.3 操作核素 Tc-99m 时关注点辐射剂量率计算结果一览表**

房间	源强 (MBq)	位置	关注点名称	衰减 距离 (m)	屏蔽材料及厚度	估算 结果 ( $\mu$ Sv/h)
SPECT /CT注射 室	925	北墙外	运动/急救室	1.20	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	6.15E-03
		北侧防护门外	运动/急救室	1.20	2mmPb	0.20
		东墙外	SPECT/CT 机房	4.10	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	5.27E-04
		南墙外	SPECT/CT 观察室	2.00	120mm 实心砖	1.25
		西墙外	药物准备区	0.80	240mm 实心砖 +1mmPb 钡板	0.14
		西侧防护门外	药物准备区	0.80	2mmPb	0.44
		西侧防护窗外	药物准备区	0.80	2mmPb	0.44
		顶板上方	院内停车场	3.30	150mm 混凝土	0.11
		底板下方	待建机房	3.00	120mm 混凝土	0.25
SPECT /CT观 察室	925×7	北墙外	核医学科东侧过道	5.10	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	2.39E-03
		北侧防护门外	核医学科东侧过道	5.10	5mmPb	7.54E-05
		东墙外	SPECT/CT 机房	3.30	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	5.70E-03
		东侧防护门外	SPECT/CT 机房	3.30	4mmPb	1.80E-03
		南墙外	核医学科南侧过道	2.40	240mm 实心砖	1.08
		西墙外	SPECT/CT 留观区	0.80	240mm 实心砖	9.69
		西侧防护门外	SPECT/CT 留观区	0.80	2mmPb	3.07
		顶板上方	院内停车场	3.30	150mm 混凝土	0.78
		底板下方	冷冻机房	3.00	120mm 混凝土	1.77
SPECT /CT留	925×4	北墙外	SPECT/CT 观察室	0.80	240mm 实心砖	5.54
		东墙外	SPECT/CT 观察室	0.80	240mm 实心砖	5.54

观区		东侧防护门外	SPECT/CT 观察室	0.80	2mmPb	1.75
		南墙外	核医学科南侧过道	3.10	240mm 实心砖 +1mmPb 钡板	3.69 E-02
		西墙外	楼梯间	0.80	240mm 实心砖 +1mmPb 钡板	0.55
		西侧防护门外	楼梯间	0.80	2mmPb	1.75
		顶板上方	院内停车场	3.30	150mm 混凝土	0.45
		底板下方	待建机房	3.00	120mm 混凝土	1.01
SPECT /CT机 房	925	北墙外	核医学科东侧过道	4.30	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	4.79E-04
		东墙外	控制室、患者候诊 室	2.90	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	1.05E-03
		东侧防护门外	控制室	2.90	5mmPb	3.33E-05
		东侧防护窗外	控制室	2.90	5mmPb	3.33E-05
		南墙外	核医学科南侧过道	4.30	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	4.79E-04
		西墙外	SPECT/CT 观察室	2.90	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	1.05E-03
		西侧防护门外	SPECT/CT 观察室	2.90	5mmPb	3.33E-05
		顶板上方	院内停车场	3.30	150mm 混凝土 +2mmPb 钡板	1.11E-03
		底板下方	冷冻机房	3.00	120mm 混凝土 +2mmPb 硫酸钡 沙	2.53E-03
运动/ 急救室	925	北墙外	PET/CT 注射室	1.80	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	2.74E-03
		北侧防护门外	PET/CT 注射室	1.80	6mmPb	8.65E-06
		东墙外	核医学科东侧过道	2.40	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	1.54E-03
		南墙外	SPECT/CT 注射室	1.80	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	2.74E-03
		南侧防护门外	SPECT/CT 注射室	1.80	2mmPb	8.65E-02
		西墙外	药物准备区	1.80	240mm 实心砖	0.27
		顶板上方	院内停车场	3.30	150mm 混凝土	0.11
		底板下方	待建机房	3.00	120mm 混凝土 +3mmPb 硫酸钡 沙	2.53E-+04
分装室 1	925×1 8	北墙外	服药区、设备室	1.00	3mmPb 手套箱 +240mm 实心砖 +1mmPb 钡板	1.77E-03
		东墙外	药物准备区	1.90	3mmPb 手套箱 +240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	4.91E-05
		南墙外	药物准备区	2.40	3mmPb 手套箱 +240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	3.08E-06
		南侧门外	药物准备区	2.40	3mmPb 手套箱	9.73E-02

		西墙外	分装室 1	1.90	3mmPb 手套箱 +240mm 实心砖	4.91E-03
		顶板上方	院内停车场	3.30	3mmPb 手套箱 +150mm 混凝土	2.23E-03
		底板下方	待建机房	3.00	3mmPb 手套箱 +120mm 混凝土 +3mmPb 硫酸钡 沙	5.05E-063
分装室 1 手套 箱	925×1 8	手套箱外表面	分装室 1	0.45	3mmPb	2.77

从表 11.2.3 中可以看出，本项目核医学科操作核素 Tc-99m 时，核医学控制区外人员可达的各关注点剂量率在 5.05E-06~1.77 $\mu$ Sv/h 之间，均低于 2.5 $\mu$ Sv/h；控制区内的各关注点剂量率在 3.08E-06~9.69 $\mu$ Sv/h 之间，均低于 10 $\mu$ Sv/h；分装室 1 的 2#手套箱外表面 5cm 处的剂量率为 2.77 $\mu$ Sv/h，低于 10 $\mu$ Sv/h，各关注点剂量率均能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）的相关要求。

#### (2) 工作人员辐射剂量率预测

①分装过程：分装过程工作人员穿着铅衣（0.5mmPb），通过分装室的手套箱（3mmPb）进行操作，药物距离身体约 50cm。

②取药、注射过程：取药过程工作人员穿着铅衣（0.5mmPb），用防护提盒（3mmPb）将套有注射器防护套（2mmPb）的注射器提至注射防护装置外，取药过程药物距离身体躯干约 50cm；注射时，注射人员穿着铅衣（0.5mmPb），通过注射防护窗（2mmPb）对患者进行注射，注射过程药物距离身体约 50cm。

③摆位过程：摆位过程工作人员穿着 0.5mmPb 当量的防护衣，在移动铅屏风（2mmPb）后进行摆位工作，按身体距离病人约 50cm 进行估算。

**表 11.2.4 操作核素 Tc-99m 时工作人员辐射剂量率预测结果**

操作过程	关注点描述	源强 (MBq)	屏蔽措施	衰减距离 r (m)	估算结果( $\mu$ Sv/h)
分装	核素操作人员	925×18	0.5mmPb铅衣+3mmPb手套箱	0.5	0.71
取药		925	0.5mmPb铅衣+3mmPb防护提盒+2mmPb注射器防护套	0.5	2.13E-04
注射		925	0.5mmPb铅衣+2mmPb注射器防护套+2mmPb防护窗	0.5	2.13E-03
摆位	SPECT/CT 操作人员	925	0.5mmPb铅衣+2mmPb移动铅屏风	0.5	0.21

#### 11.2.1.4 I-131 的辐射影响分析

##### (1) 关注点辐射水平估算

医院 I-131 药物采用自动分装仪自动分装，药物主要用于甲癌、甲亢治疗及甲功显像。因甲功显像、甲亢患者服药量远小于甲癌患者服药量，且 Lu-177 住院患者与甲癌住院患者错开安排，故仅考虑甲癌服药患者最大服药量时各功能用房外的剂量率计算。

由医院提供资料可知，甲癌患者最大服药量为 7400MBq（200mCi），单日最大治疗规模为 3 人，甲亢患者单日最大治疗规模为 4 人，甲功显像患者单日最大治疗规模为 2 人。本项目可能受到 I-131 核素辐射影响的主要为分装室 2、服药区、核素治疗病房 1、核素治疗病房 2、核素治疗过道、检后病人通道。计算公式见式（11-1），计算结果见表 11.2.5。

**表 11.2.5 操作核素 I-131 时关注点辐射剂量率计算结果一览表**

房间	源强 (MBq)	位置	关注点名称	衰减距离 (m)	屏蔽材料及厚度	估算结果 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
服药区	7400	北墙外	检测缓冲区	2.60	240mm 实心砖	4.88
		东墙外	备用间	1.70	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	7.52
		南侧防护窗外	分装室 1	0.80	20mmPb	7.84
		西墙外	核素治疗过道	1.70	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	7.52
		顶板上方	院内停车场	3.30	150mm 混凝土 +10mmPb 钡板	0.49
		底板下方	待建机房	3.00	120mm 混凝土 +10mmPb 硫酸钡沙	0.89
1#核素治疗病房	7400×2	北墙外	检后病人通道	3.10	240mm 实心砖 +1mmPb 钡板	5.57
		南墙外	取餐室	1.50	360mm 实心砖 +8mmPb 钡板	1.74
			核素治疗过道	1.50		1.74
		西墙外	核医学科西侧过道	1.60	360mm 实心砖 +10mmPb 钡板	1.01
		顶板上方	院内停车场	3.30	150mm 混凝土 +10mmPb 钡板	0.98
底板下方	待建机房、土壤层	3.00	120mm 混凝土 +10mmPb 硫酸钡沙	1.78		
2#核素治疗病房	7400×2	北墙外	检后病人通道	3.10	240mm 实心砖 +1mmPb 钡板	5.57
		东墙外	检测缓冲区	1.60	240mm 实心砖 +6mmPb 钡板	7.35
		顶板上方	院内停车场	3.30	150mm 混凝土 +10mmPb 钡板	0.98
		底板下方	待建机房、土壤层	3.00	120mm 混凝土	1.78

					+10mmPb 硫酸钡沙	
核素治疗过道	7400	北墙外	核素治疗病房	1.50	240mm 实心砖 +1mmPb 钡板	11.90
		北侧防护门外	核素治疗病房	1.50	12mmPb	11.90
		东墙外	服药区	2.50	240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	3.48
		东侧防护门外	服药区	2.50	8mmPb	9.90
		南墙外	质控室、储源分装室 2	1.50	240mm 实心砖	14.68
		西墙外	取餐室	2.50	360mm 实心砖 +8mmPb 钡板	0.31
		西侧防护门外	取餐室	2.50	16mmPb	1.86
		西侧防护窗外	取餐室	2.50	16mmPb	1.86
		顶板上方	院内停车场	3.30	150mm 混凝土 +10mmPb 钡板	0.49
		底板下方	待建机房	3.00	120mm 混凝土 +10mmPb 硫酸钡沙	0.89
检后病人通道	400	北墙外	放疗科办公区域	1.30	240mm 实心砖	1.41
		东墙外	核医学科北侧过道	11.30	240mm 实心砖	0.02
		东侧防护门外	核医学科北侧过道	11.30	10mmPb	0.02
		南墙外	核素治疗病房、检测缓冲区、更衣室	1.30	120mm 实心砖	4.45
		南侧防护门外	检测缓冲区	1.30	5mmPb	4.94
		西墙外	核医学科西侧过道	11.30	150mm 混凝土	0.02
		西侧防护门外	核医学科西侧过道	11.30	10mmPb	0.02
		顶板上方	院内停车场	3.30	150mm 混凝土	0.29
		底板下方	土壤层	3.00	120mm 混凝土	0.52
分装室 2	7400*	北墙外	服药区、核素治疗过道	1.00	25mmPb 手套箱 +240mm 实心砖 +3mmPb 钡板	9.40E-02
		北侧防护窗外	服药区	1.00	25mmPb 手套箱 +20mmPb	2.68E-02
		东墙外	分装室 1	1.70	25mmPb 手套箱 +240mm 实心砖 +2mmPb 钡板	4.01E-02
		南墙外	药物准备区	2.40	25mmPb 手套箱 +240mm 实心砖	3.06E-02
		南侧门外	药物准备区	2.40	25mmPb 手套箱	0.31
		西墙外	质控室	1.30	25mmPb 手套箱 +240mm 实心砖	0.10
		顶板上方	院内停车场	3.30	25mmPb 手套箱 +150mm 混凝土	2.12E-02
		底板下方	待建机房	3.00	25mmPb 手套箱 +120mm 混凝土 +9mmPb 硫酸钡	5.86E-03

					沙	
分装室 2 手套 箱	7400*	手套箱外表面	分装室 2	0.45	25mmPb	8.70
	22200				40mmPb 铅罐 +25mmPb 手套 箱	0.01

注：\*I-131 自动分装仪每次只分装单个患者的服药量，即时分装，即时服药。

从表 11.2.5 中可以看出，本项目核医学科操作核素 I-131 时，核医学控制区外人员可达的各关注点剂量率在 5.86E-03~1.86 $\mu$ Sv/h 之间，均低于 2.5 $\mu$ Sv/h；控制区内的各关注点剂量率在 2.68E-02~9.90 $\mu$ Sv/h 之间，均低于 10 $\mu$ Sv/h；分装室 2 手套箱外表面 5cm 处的剂量率为 8.71 $\mu$ Sv/h，低于 10 $\mu$ Sv/h，各关注点剂量率均能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）的相关要求。

#### (2) 工作人员辐射剂量率预测

分装过程：分装过程工作人员穿着铅衣（0.5mmPb），通过分装室 2 手套箱（25mmPb）外的自动分装系统进行操作，药品储存于手套箱的铅罐（40mmPb）内，工作人员身体躯干距离源按 1.0m 进行估算。

**表 11.2.6 I-131 工作人员辐射剂量率预测结果**

操作过程	关注点描述	源强 (MBq)	屏蔽措施	衰减距离 r (m)	估算结果( $\mu$ Sv/h)	
分装	核素操作人员	22200	0.5mmPb 铅衣+40mmPb 铅罐+25mmPb 手套箱	1.0	0.17	1.76
		7400	0.5mmPb 铅衣+25mmPb 手套箱		1.59	

### 11.2.1.5 Sr-89、P-32 的辐射影响分析

Sr-89、P-32 核素为纯  $\beta$  放射性核素，主要考虑  $\beta$  射线及其产生的韧致辐射影响。

#### (1) $\beta$ 粒子的射程计算

① Sr-89 注射过程：Sr-89 药物的患者按最大注射量为 148MBq（4mCi）进行预测。Sr-89 药物由供货商将分装好的针剂送到医院。工作人员穿着铅衣（0.5mmPb），根据患者用药量，在分装室 1 的手套箱（3mmPb）内进行药物分装，药物距离身体约 50cm。药物注射是在 SPECT/CT 注射室进行，注射人员穿着铅衣（0.5mmPb），将套有注射器防护套（5mmPb）的注射器提至注射防护装置外，通过注射防护窗（2mmPb）对患者进行注射，注射过程药物距离身体约 50cm。

② P-32 敷贴器制作、敷贴过程：P-32 药物的患者最大用药量为 37MBq（1mCi）进行预测。P-32 敷贴器采用含有塑料等低原子序数材料，敷贴器制作是在手套箱

(3mmPb)内进行,工作人员穿着铅衣(0.5mmPb),制作过程药物距离身体约50cm。敷贴时,工作人员穿着铅衣(0.5mmPb),通过P-32敷贴室的窗口(2mmPb)对患者进行敷贴,敷贴过程药物距离身体约50cm。

Sr-89、P-32核素的β射线能量及射程的计算公式见式(11-2),计算结果见表11.2.7。

**表 11.2.7 Sr-89、P-32核素的β射线能量及射程的计算结果一览表**

序号	核素名称	β射线最大能量 (MeV)	屏蔽物质	在物质中的射程 (g/cm <sup>2</sup> )	射程对应的屏蔽物质厚度 (mm)
1	Sr-89	0.5846	铅	0.20	0.18
			实心砖		1.23
2	P-32	1.71	铅	0.79	0.70
			塑料		5.64
			实心砖		4.79

注: 铅密度为11.34g/cm<sup>3</sup>, 塑料密度1.4g/cm<sup>3</sup>, 实心砖密度1.65g/cm<sup>3</sup>。

由表11.2.7可知, Sr-89的β射线最大能量为0.5846MeV, P-32核素的β射线最大能量为1.71MeV, 两者β射线射程在对应的屏蔽物质厚度较小, 因此经过墙体、手套箱、铅衣、注射器防护套、注射防护窗、敷贴器等防护屏蔽后, 其β射线对辐射工作人员及周围公众的辐射影响较小。本评价主要考虑Sr-89、P-32核素的β射线所致韧致辐射对辐射工作人员的影响。

(2) β粒子所致韧致辐射计算

β射线与物质作用会产生韧致辐射, Sr-89、P-32核素产生的韧致辐射剂量率及屏蔽后的剂量率情况计算公式见式(11-3), 计算结果见表11.2.8。

**表 11.2.8 Sr-89、P-32核素产生的韧致辐射剂量率及屏蔽后的剂量率一览表**

核素名称	操作过程	源活度 (MBq)	屏蔽物质原子序数	韧致辐射的平均能量 (MeV)	距离	空气质量能量吸收系数	剂量率 (μSv/h)	铅防护厚度 (mm)	屏蔽后的剂量率 (μSv/h)
Sr-89	分装	296	82	0.195	0.5	2.97E-03	0.53	3.5	1.68E-04
	注射				0.5		0.53	7.5	1.68E-08
P-32	制作	1850	82	0.570	0.5	2.95E-03	28.2	3.5	16.48
	敷贴				0.5		28.2	2.5	19.21

注: 1、铅原子序数为82;  
2. 本项目空气质量能量吸收系数由《辐射防护导论》附表1可得。

**11.2.2 Sr-90/Y-90放射源环境影响分析**

根据核工业北京地质研究院编制的《海南医学院第二附属医院核技术应用项目竣工环境保护验收监测报告表》，活度为  $7.4E+08Bq$  的 Sr-90/Y-90 敷贴患者 0.5m 处辐射剂量率为  $408.1 \pm 7.6nSv/h$ （未扣除宇宙射线）。由于放射源周围剂量率与其活度成正比，保守情况考虑，在不考虑类比对象宇宙射线影响情况下，本项目 Sr-90/Y-90 放射源活度为  $7.40E+08Bq$ ，敷贴患者 0.5m 处辐射剂量率可估算得最大值为  $0.42\mu Sv/h$ 。由此看，在距离和敷贴室防护设施衰减下，在 Sr-90 敷贴室外当量剂量率将远低于  $2.5\mu Sv/h$ 。

### 11.2.3 SPECT/CT 环境影响分析

本项目 SPECT/CT 机设有单独的扫描间，且符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ 130—2020）和《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》（GBZ 165—2012）中对诊断 X 射线扫描间的防护措施要求。

为分析本项目 SPECT/CT 机房工作时周围的辐射水平，本次评价收集了《福建医科大学附属第二医院东海分院核技术利用项目竣工环境保护验收监测报告表》中 Brilliance CT BigBore 型的 X 射线计算机断层摄影设备（CT 模拟定位系机）进行类比分析。类比可行性及检测结果见表 11.2.9 和 11.2.10。

**表 11.2.9 SPECT/CT 类比条件一览表**

项目	类比对象	本项目 SPECT/CT	对比结果
型号	Brilliance CT BigBore 型	Symbia T	/
管电压	140kV	130kV	本项目低
管电流	500mA	345mA	本项目低
四壁屏蔽	30cm 混凝土 (约合 3.7mmPb)	24cm 实心砖+2mmPb (约合 4mmPb)	本项目优
顶板	10cm 混凝土+1.5mmPb 防护涂料 (约合 2.7mmPb)	15cm 混凝土+2mmPb (约合 3.85mmPb)	本项目优
防护门	3mmPb	5mmPb	本项目优
观察窗	3mmPb	5mmPb	本项目优

**表 11.2.10 福建医大二院东海院区 CT 模拟定位机机房周围当量剂量率监测结果**

序号	点位名称	环境空气比释动能率 ( $\mu Sv/h$ )	
		关机	开机
1#	机房防护门外 30cm 处（上侧）	0.13	0.14
2#	机房防护门外 30cm 处（下侧）	0.12	0.15
3#	机房防护门外 30cm 处（左侧）	0.13	0.14
4#	机房防护门外 30cm 处（右侧）	0.13	0.17
5#	机房防护门外 30cm 处（中侧）	0.12	0.15

6#	铅玻璃观察窗外表面 30cm (上侧)	0.13	0.17
7#	铅玻璃观察窗外表面 30cm (下侧)	0.14	0.18
8#	铅玻璃观察窗外表面 30cm (左侧)	0.16	0.14
9#	铅玻璃观察窗外表面 30cm (右侧)	0.15	0.15
10#	铅玻璃观察窗外表面 30cm (中侧)	0.13	0.14
11#	控制室操作位	0.15	0.17
12#	机房北墙外 30cm 处	0.14	0.14
13#		0.15	0.15
14#	机房东墙外 30cm 处	0.15	0.16
15#		0.16	0.18
16#	管线口	0.14	0.15
17#	机房正上方院内地面停车场离地 100cm 处	0.15	0.17
18#		0.15	0.18

由表 11.2.10 中可以看出, 本项目防护情况较类比对象好, 本项目采用该项目进行类比是偏保守的。

对比表 11.2.11 的验收数据可知, 控制室(观察窗、操作位)的辐射当量剂量率最大值为  $0.18\mu\text{Sv/h}$ , 机房周围其他区域最大附加辐射当量剂量率为  $0.18\mu\text{Sv/h}$ 。叠加前文述核素的影响, SPECT/CT 机房周边控制区外人员可达的各关注点剂量率在  $0.180\sim 0.183\mu\text{Sv/h}$  之间, 仍均低于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ; SPECT/CT 机房周边控制区内的各关注点剂量率在  $0.180\sim 0.181\mu\text{Sv/h}$  之间, 仍低于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ , 符合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188—2021)的相关要求。

### 11.2.5 保护目标的有效剂量估算

根据《放射治疗机房辐射屏蔽规范第 1 部分: 一般原则》(GBZ/T 201.1—2007)中附表 A.1 不同场所的居留因子的描述, 确定项目不同场所的居留因子。本项目不同场所的居留因子详见表 11.2.11。

**表 11.2.11 居留因子**

人员		居留因子	场所描述
职业人员		1	PET/CT 控制室、SPECT/CT 控制室、分装室、药物准备区
公众人员	其他医护人员、其他工作人员、病人及病人家属	1/5	放疗科办公区域
		1/20	核医学科北侧过道、核医学科东侧过道、患者候诊室、核医学科南侧过道、取餐室、核医学科西侧过道、待建机房、交配电所
		1/40	南侧楼梯间、院内停车场

为确定医院核医学科工作场所防护的有效性 & 项目运行过程中对操作人员和公

众产生的辐射剂量及其辐射环境影响，对其进行辐射剂量估算评价。

辐射工作人员和周边公众年有效剂量计算公式如下：

$$H = D_r \times T \times t \times U$$

式中： $H$ ——年有效剂量当量，mSv/a；

$D_r$ ——空气吸收剂量率，mSv/h；

$T$ ——居留因子；

$t$ ——年受照时间，h/a；

$U$ ——使用因子，放射性核素以点源考虑，取 1。

本项目 PET/CT 场所、SPECT/CT 场所的工作人员工作制度为两班制，因此工作时间为年诊疗时间的 1/2。由医院提供资料可知，医院核医学科各核素预计年病人数（最大服药量对应人数）及工作人员接触放射性同位素时间如下：

(1) SPECT/CT 场所在最大给药量的情况下，Tc-99m 显像检查患者数为 4800 人/a，Sr-89 治疗患者数为 50 人/a。SPECT/CT 场所药物注射时间约 30s/人。Tc-99m 分装时间约 1min/人次，取药时间约 2min/人次，药物注射时间约 30s/人，患者在观察室内停留时间为 15min/人，摆位时间约 1min/人，扫描时间约 10min/人，在留观内停留时间为 20min/人。

(3) I-131 治疗区域在最大给药量的情况下，甲癌患者约 192 人次/a，每月集中治疗 4 批次，每批次治疗时间为 5 天；甲亢患者约 600 人次/a，甲功患者约 480 人次/a，患者服药时间约 30s/人，出院患者通过检后病人通道时间为 1min/人。

(4) 最大给药量的情况下，P-32 敷贴患者数为 600 人/a，敷贴器制作时间约 2min/次，敷贴过程约 1min/次。

(5) 保守估计，Sr-90/Y-90 敷贴工作人员全程在患者 0.5m 处指导敷贴，年工作时间按 2000h 计。

本项目辐射工作人员年有效剂量为 0.019~1.350mSv，公众人员年有效剂量为 0.000~0.091mSv，分别低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002) 中“剂量限值”的要求，也低于本报告提出的剂量约束值（职业人员 5mSv/a，公众人员 0.1mSv/a）。因此，本项目核医学科的运行对周围环境及人员活动的辐射影响有限。

### 11.2.6 $\beta$ 表面污染分析评价

$\beta$  表面污染主要是由放射性药物洒落或者施用放射性药物的病人随地吐痰、排泄引起。福建医科大学附属第二医院的非密封放射性物质工作场所运行至今未发生放射

性药物洒落事故，且本项目的放射性药品底部设置托盘，发生放射性药品洒落的概率很小。在注射药物后，医生将叮嘱病人严禁随地吐痰，防止对地面产生 $\beta$ 表面污染。此外，本项目在 SPECT/CT 观察室、1#核素治疗病房、2#核素治疗病房中设置病人专用卫生间，施用放射性药物病人排泄物统一收集，防止 $\beta$ 表面污染。因此，在事故情况下可将 $\beta$ 表面污染范围控制在分装室内。

通过以上分析可知，在正常情况下，放射性药物产生的 $\beta$ 表面污染较小。

## 11.2.7 DSA 环境影响分析

### 11.2.7.1 DSA 机房屏蔽符合性分析

本项目拟配备的 1 台 DSA 最大管电压不超过 125kV，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130—2020）附录 C，保守估计，125kV 下 12cm 混凝土相当于 1.48mmPb；125kV 下 12cm 实心砖相当于 0.71mmPb，15cm 实心砖相当于 0.89mmPb。本项目拟配备的 1 台 DSA 最大管电压不超过 125kV，机房采取的屏蔽厚度符合性分析见表 11.2.12。

表 11.2.12 机房屏蔽符合性分析

项目		防护材料名称和厚度	设计铅当量(mmPb)	标准要求	符合性
DSA 机房	东、西墙	12cm 实心砖+4mmPb	4.71	有用线束方向铅当量 2.0mm，非有用线束方向铅当量 2.0mm	符合
	南、北墙	15cm 实心砖+5mmPb	5.89		符合
	顶棚	12cm 混凝土+3mmPb	4.48		符合
	地板	12cm 混凝土+3mmPb	4.48		符合
	防护门	5mmPb 当量铅板	5		符合
	观察窗	5mmPb 当量铅玻璃	5		符合

从机房屏蔽措施符合性分析可知，本项目 DSA 扫描间的机房屏蔽防护措施均能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130—2020）中“C 型臂 X 射线设备机房，有用线束方向铅当量 2.0mm，非有用线束方向铅当量 2.0mm 的标准要求”的要求。

### 11.2.7.2 DSA 运行阶段辐射影响分析

为分析本项目辐射环境影响，根据院方提供的相关参数及辐射防护设计方案，本次分析对 DSA 运行后辐射环境影响采用公式预测和类比分析的方式进行。理论计算时，选取 DSA 机房四面墙壁外表面 30cm 处、防护门外表面 30cm 处、观察窗外表面 30cm 处、机房正上方和机房正下方等区域作为本次评价的关注点，共计 9 个点位。

### 11.2.7.2.1 机房周边剂量率

根据《医用血管造影 X 射线机专用技术条件》（YYT 0740—2022）的章节 5.6.4，在管电压和管电流的任意组合下，透视入射空气比释动能率应不大于 88mGy/min。根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130—2020）中的 5.8.3 规定，介入放射学用 X 射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于 20cm 的装置，由此可知，最小焦皮距 SID 为 20cm。

根据方杰主编《辐射防护导论》（[M]北京：原子能出版社，1991）P69 中 X 射线剂量率的计算公式（3.1）可推导出，主射线在关注点处造成的辐射剂量率公式如下：

$$\dot{H}_0 = \frac{\dot{H}_X \cdot r_1^2}{r_2^2} \quad \text{式 (11.2-1)}$$

式中： $\dot{H}_0$  —— 距出束点 1m 处的剂量率水平，mGy/h；

$\dot{H}_X$  —— 机头 0.2m 处的剂量率水平，88mGy/min=5280mGy/h；

$r_1$  —— 0.38m；

$r_2$  —— 机头至关注点的距离，1m；

根据式 11.2-1 可得出透视工况下距离出束点 1m 处的主束辐射剂量率为 2.112E+05 $\mu$ Gy/h=2.112E+05 $\mu$ Sv/h，根据《电离辐射环境监测与评价》（潘自强）（第 43-44 页），剂量当量=吸收剂量 $\times$ 品质因数，X 射线品质因数为 1，故可认为剂量当量=空气比释动能率，即 1Sv/h=1Gy/h）。

根据院方提供资料，保守预估摄影工况的管电流约为透视工况的 50 倍，则距离靶点 1m 处的最大剂量率约为 1.06E+07 $\mu$ Gy/h。

#### （1）透视工况

##### ① 泄漏辐射剂量率

泄漏辐射剂量率计算公式参考李德平、潘自强主编《辐射防护手册第一分册辐射与屏蔽》（[M]北京：原子能出版社，1987）中 P436 中 X 射线机周照射量计算公式（10.8）进行推导（推导过程中居留因子  $\eta$ 、利用因子  $u$  均取为 1），则可推导出泄漏辐射剂量率计算公式如下：

$$\dot{H}_Z = \frac{\dot{H}_0 \cdot B \cdot f}{d^2} \quad \text{式 (11.2-2)}$$

式中:  $\dot{H}_Z$  —— 关注点漏射剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$\dot{H}_0$  —— 距出束点 1m 处的剂量率水平, 透视工况下为  $2.4\text{E}+05\mu\text{Sv/h}$ ;

$d$  —— 机头至各关注点的距离, m;

$f$  —— 设备射线泄漏率, 取 0.1% (设备商提供, 医用放射设备在距放射源 1 米处的漏射线剂量不超过主射线束剂量的 0.1%);

$B$  —— 透射因子, 按照 GBZ 130—2020 附录 C 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:  $X$  —— 铅当量;

$\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  —— 铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数, 采用 GBZ 130—2020 附录 C 表 C.2 数据获得。

可计算得透视状态下各关注点处泄漏辐射剂量率, 计算结果见表 11.2.13。

**表 11.2.13 透视状态下机房周围泄漏辐射剂量率**

机房名称	序号	关注点位置	折合铅当量 (mmPb)	d (m)	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	B 估算结果	$\dot{H}_Z$ 估算结果 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
DSA 机房 3	1#	东墙外 30cm	4.71	4.35	2.219	7.923	0.5386	1.73E-06	1.93E-05
	2#	西墙外 30cm	4.71	4.2				1.73E-06	2.07E-05
	3#	南墙外 30cm	5.89	2.75				1.26E-07	3.51E-06
	4#	北墙外 30cm	5.89	2.75				1.26E-07	3.51E-06
	5#	东侧防护门 30cm	5.00	4.6				9.07E-07	9.06E-06
	6#	南侧防护门 30cm	5.00	2.75				9.07E-07	2.53E-05
	7#	观察窗	5.00	4.2				9.07E-07	1.09E-05
	8#	机房正下方待建机房	4.48	3.4				2.89E-06	5.27E-05

	9#	机房正上方停车场	4.48	3.4				2.89E-06	5.27E-05
--	----	----------	------	-----	--	--	--	----------	----------

注:  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 取《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130—2020)表C.2中125kV(主束)。

**表 11.2.14 透视状态下机房周围散射辐射剂量率**

机房名称	序号	关注点位置	折合铅当量 (mm Pb)	d (m)	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	B 估算结果	$\dot{H}_z$ 估算结果 ( $\mu$ Sv/h)
DSA 机房 3	1#	东墙外 30cm	4.71	4.35	2.333	7.888	0.7295	3.41E-06	9.89E-05
	2#	西墙外 30cm	4.71	4.2				3.41E-06	1.06E-06
	3#	南墙外 30cm	5.89	2.75				2.45E-07	7.09E-05
	4#	北墙外 30cm	5.89	2.75				2.45E-07	7.09E-05
	5#	东侧防护门 30cm	5.00	4.6				1.78E-06	1.85E-04
	6#	南侧防护门 30cm	5.00	2.75				1.78E-06	5.18E-04
	7#	观察窗	5.00	4.2				1.78E-06	2.22E-04
	8#	机房正下方待建机房	4.48	3.4				5.70E-06	1.08E-03
	9#	机房正上方停车场	4.48	3.4				5.70E-06	1.08E-03

注:  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 取《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130—2020)表C.2中125kV(散射)。

**表 11.2.15 透视状态下机房周围各关注点总剂量率**

机房名称	序号	关注点位置	$\dot{H}_z$ 泄漏辐射剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	$\dot{H}_s$ 散射辐射剂量率 ( $\mu$ Sv/h)	$\dot{H}_{ts}$ 总剂量率 ( $\mu$ Sv/h)
DSA 机房 3	1#	东墙外 30cm	1.93E-05	9.89E-05	1.18E-04
	2#	西墙外 30cm	2.07E-05	1.06E-06	2.18E-05
	3#	南墙外 30cm	3.51E-06	7.09E-05	7.44E-05
	4#	北墙外 30cm	3.51E-06	7.09E-05	7.44E-05
	5#	东侧防护门 30cm	9.06E-06	1.85E-04	1.94E-04
	6#	南侧防护门 30cm	2.53E-05	5.18E-04	5.43E-04
	7#	观察窗	1.09E-05	2.22E-04	2.33E-04
	8#	机房正下方待建机房	5.27E-05	1.08E-03	1.13E-03
	9#	机房正上方停车场	5.27E-05	1.08E-03	1.13E-03

**表 11.2.16 摄影状态下机房周围泄漏辐射剂量率**

机房名称	序号	关注点位置	折合铅当量 (mmPb)	d (m)	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	B 估算结果	$\dot{H}_z$ 估算结果 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
DSA 机房 3	1#	东墙外 30cm	4.71	4.35	2.219	7.92 3	0.538 6	1.73E-06	9.65E-04
	2#	西墙外 30cm	4.71	4.2				1.73E-06	1.04E-03
	3#	南墙外 30cm	5.89	2.75				1.26E-07	1.75E-04
	4#	北墙外 30cm	5.89	2.75				1.26E-07	1.75E-04
	5#	东侧防护门 30cm	5.00	4.6				9.07E-07	4.53E-04
	6#	南侧防护门 30cm	5.00	2.75				9.07E-07	1.27E-03
	7#	观察窗	5.00	4.2				9.07E-07	5.43E-04
	8#	机房正下方待建机房	4.48	3.4				2.89E-06	2.64E-03
	9#	机房正上方停车场	4.48	3.4				2.89E-06	2.64E-03

表 11.2.17 摄影状态下机房周围散射辐射剂量率

机房名称	序号	关注点位置	折合铅当量 (mmPb)	d (m)	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	B 估算结果	$\dot{H}_z$ 估算结果 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
DSA 机房 3	1#	东墙外 30cm	4.71	4.35	2.219	7.92 3	0.538 6	3.41E-06	1.98E-02
	2#	西墙外 30cm	4.71	4.2				3.41E-06	2.12E-02
	3#	南墙外 30cm	5.89	2.75				2.45E-07	3.55E-03
	4#	北墙外 30cm	5.89	2.75				2.45E-07	3.55E-03
	5#	东侧防护门 30cm	5.00	4.6				1.78E-06	9.25E-03
	6#	南侧防护门 30cm	5.00	2.75				1.78E-06	2.59E-02
	7#	观察窗	5.00	4.2				1.78E-06	1.11E-02
	8#	机房正下方待建机房	4.48	3.4				5.70E-06	5.41E-02
	9#	机房正上方停车场	4.48	3.4				5.70E-06	5.41E-02

表 11.2.18 摄影状态下机房周围各关注点总剂量率

机房名称	序号	关注点位置	$\dot{H}_z$ 泄漏辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$\dot{H}_s$ 散射辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$\dot{H}_{ts}$ 总剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
DSA	1#	东墙外 30cm	9.65E-04	1.98E-02	2.07E-02

机房 3	2#	西墙外 30cm	1.04E-03	2.12E-02	2.22E-02
	3#	南墙外 30cm	1.75E-04	3.55E-03	3.72E-03
	4#	北墙外 30cm	1.75E-04	3.55E-03	3.72E-03
	5#	东侧防护门 30cm	4.53E-04	9.25E-03	9.70E-03
	6#	南侧防护门 30cm	1.27E-03	2.59E-02	2.72E-02
	7#	观察窗	5.43E-04	1.11E-02	1.16E-02
	8#	机房正下方待建机房	2.64E-03	5.41E-02	5.67E-02
	9#	机房正上方停车场	2.64E-03	5.41E-02	5.67E-02

### (3) 小结

根据表 11.2.15 和表 11.2.18 估算结果可知，本项目 DSA 在透视模式下，机房外辐射剂量率最大为  $1.13\text{E-}03\mu\text{Sv/h}$ ；在摄影模式下，机房外辐射剂量率最大为  $0.0567\mu\text{Sv/h}$ ，均能够满足本项目辐射剂量率管理限值要求，即机房屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率应不大于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

#### 11.2.7.3 年附加有效剂量估算

##### 11.2.7.3.1 辐射工作人员附加年有效剂量

###### (1) 医生和护士

进行介入手术时，至少需 1 名医生和 1 名护士在机房内对患者进行手术。根据医院提供的资料，曝光时第一术者位医生穿戴铅衣、铅围裙、铅帽、铅眼镜等防护用品，位于铅吊屏和床侧铅帘后；第二术者位护士穿戴铅衣等防护用品，位于移动式铅屏风后。

为了解 DSA 机房 3 内辐射工作人员吸收剂量率，本次评价采用类比的方式进行预测。类比对象与本项目类比可行性分析见表 11.2.19。从表中可以看出浙江医院 DSA 最大管电压和本项目相同，防护吊屏铅当量相同；其在检测时，DSA 均处于工作负荷较高水平，可以反映出机房内工作人员受到的辐射情况；为此本评价采用该项目作为医护人员可能受到的辐射情况的类比对象。

**表 11.2.19 机房内辐射工作人员吸收剂量率类比预测类比条件一览表**

项目	本项目	类比对象	比较结果
运营单位	厦门大学附属心血管病医院	浙江医院	/

DSA 最大管电压	125kV	125kV	相同
DSA 最大管电流	1000mA	1000mA	相同
运行工况	摄影工况：管电压在 50~100kV 之间，管电流在 1~500mA 左右	检测时：摄影工况：管电压 119kV，管电流 619mA	管电压、管电流高于本项目摄影工况工作区间
防护吊屏铅当量 (mm)	0.5	0.5	相同

检测单位：环境保护部辐射环境监测技术中心。

检测结果：医生操作位 6.55 $\mu$ Sv/h。

工作人员和公众受到的附加年有效剂量采用下式估算：

$$H_W = H_R \times T \times t$$

式中， $H_W$ ——年受照剂量；

$H_R$ ——关注点附加剂量率；

$t$ ——曝光时间；

$T$ ——居留因子，根据《放射治疗机房辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T 201.1—2007)中附表 A.1 不同场所的居留因子的描述，确定项目不同场所的居留因子。职业人员全居留取 1，公众人员部分居留取 1/4、偶然居留取 1/8。

根据医院安排，拟安排 10 名介入医生、护士，采取定岗的形式在介入手术室进行检查和手术，单名医生、护士年最大手术台数按最高 1000 台估算，每台手术平均透视 15min，摄影 3min，则介入手术室内工作人员附加年有效剂量估算见表 11.2.20。

**表 11.2.20 机房内工作人员附加年有效剂量估算**

工作情况	附加剂量率 $\mu$ Sv/h	曝光时间 (h)	居留因子	年受照剂量 (mSv/a)
透视	6.55	250	1	1.64
摄影	6.55	50	1	0.33
合计	/	300	/	1.97

从表中可以看出，机房内辐射工作人员年受照剂量为 1.97mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002)中关于“剂量限值”的要求，也低于本报告提出的剂量约束值 5mSv/a。

## (2) 控制室工作人员

本次预测取 DSA 透视时周围环境最大剂量率叠加值 (1.13E-03 $\mu$ Sv/h) 和摄影时周围环境最大剂量率叠加值 (0.0567 $\mu$ Sv/h)，作为附加剂量率进行预测。根据医院安排，控制室工作人员 12 人，单班制，其年辐射量预测结果见表 11.2.21。

**表 11.2.21 控制室工作人员附加年有效剂量估算**

工作情况	附加剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	曝光时间 (h)	居留因子	年受照剂量 (mSv/a)
透视	1.13E-03	250	1	2.83E-04
摄影	0.0567	50	1	2.84E-03
合计	/	300	/	3.12E-03

从表中可以看出，控制室工作人员年受照剂量为 3.12E-03mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871—2002）中关于“剂量限值”的要求，也低于本报告提出的剂量约束值 5mSv/a。

### 11.2.7.3.2 公众附加年有效剂量

DSA 机房 3 周边公众的居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）附录 A 取值，全居留取 1，部分居留取 1/2~1/5，偶然居留取 1/8~1/40。本次预测取 DSA 透视时周围环境最大剂量率叠加值（1.13E-03 $\mu\text{Sv/h}$ ）和摄影时周围环境最大剂量率叠加值（0.0567 $\mu\text{Sv/h}$ ）。介入手术室周边公众的居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）附录 A 取值，全居留取 1，部分居留取 1/2~1/5，偶然居留取 1/8~1/40。预测结果见表 11.2.22。

**表 11.2.22 公众辐射剂量估算一览表**

环境保护对象	位置	居留因子	附加年有效剂量 (mSv/a)
公众人员	北侧核医学科过道	1	3.12E-03
	东侧设备间、器械室	1/5	6.24E-04
	南侧患者通道	1/5	6.24E-04
	楼上停车场	1/20	1.56E-04
	楼下待建机房	1/5	6.24E-04
	门诊医技楼其他评价范围内区域	1	3.12E+03
	北侧院内道路	1/20	1.56E-04
	东北侧住院部	1/20	1.56E-04
	东侧院内通道	1/20	1.56E-04
	西侧培英路	1/20	1.56E-044

从表中可以看出，项目周围公众年受照剂量为 1.56E-04~3.12E-03mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871—2002）中关于“剂量限值”的要求，也低于本报告提出的剂量约束值 0.1mSv/a。

由此看，本项目运行不会对周边公众产生影响。

## 11.2.8 直线加速器对环境的影响

医用电子直线加速器运行阶段影响评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2—2011）标准中的相关计算公式进行理论估算。理论计算时，选取医用电子直线加速器机房四周墙壁、顶棚外表面 30cm 处及迷路入口处作为预测点位。

治疗机房内加速器等中心点位置与机房主屏蔽范围内几何中心点位置 O 重合。参考 GBZ/T 201.2—2011 推荐方法设置的关注点位置示意图见图 11.2-1 和图 11.2-2。

### 11.2.8.1 理论计算

(1) 有用线束主屏蔽区半宽度核算

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

式中： $Y_p$ ——机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

$SAD$ ——源轴距，m；

$\theta$ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

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

将各参数代入公式 (11-1) 得出本项目的主屏蔽宽度核算结果，结果见表 11.2.23。

**表 11.2.23 医用电子直线加速器机房主屏蔽宽度计算参数及计算结果**

主屏蔽区	西墙主屏蔽区	东墙主屏蔽区	顶棚主屏蔽区
SAD (m)	1	1	1
$\theta$ (°)	14	14	14
a (m)	4.6	4.05	4.05
$Y_p$ 计算值	3.39	3.12	3.12
$Y_p$ 设计值	4.70	3.60	7.00
评价结果	满足	满足	满足

从表 11.2.1 的预测结果可以看出，本项目医用电子直线加速器机房主屏蔽区的实际设计宽度均大于理论计算值，有用线束主屏蔽区的宽度设计满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.2—2007）的相关要求。

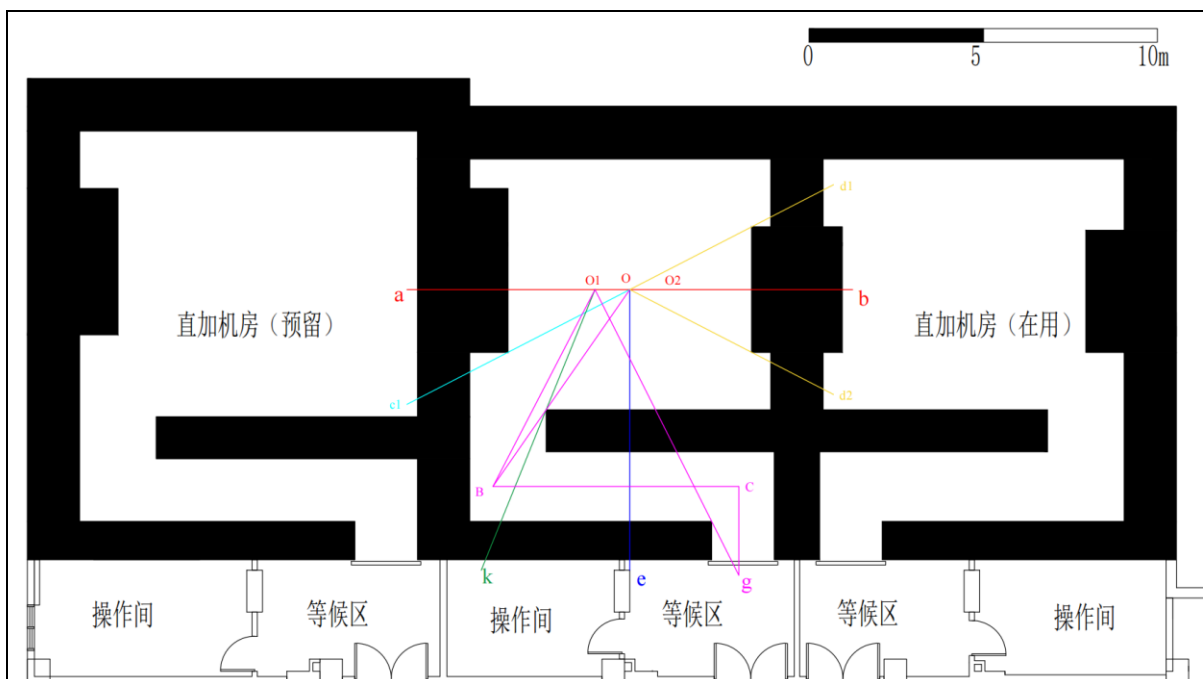


图 11.2-1 医用电子直线加速器机房关注点分布图（四周）

## (2) 剂量控制要求

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机》（GBZ/T 201.2—2011）中“4.2 剂量控制要求”，本评价计算治疗机房墙外、房顶和入口门外关注点的剂量率参考控制水平，该计算结果是偏保守和安全的，详见 7.3.4 节。

单一辐射有用线束计算公式为：

$$H_{c,d}^{\bullet} = \frac{H_c}{t \bullet U \bullet T} \quad \text{式 (11-2)}$$

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

$U$ ——关注位置方向照射的使用因子；

$T$ ——人员在相应关注点驻留的居留因子；

$t$ ——治疗装置周治疗时间，h。

单一辐射泄漏辐射计算公式为：

$$H_{c,d}^{\bullet} = \frac{H_c}{N \bullet t \bullet T} \quad \text{式 (11-3)}$$

式中： $N$ ——调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常  $N=5$ 。

其他因子同上式。分别估算主侧屏蔽区和次屏蔽区墙外剂量率参考控制水平，见

表 11.2.42 和表 11.2.25。

**表 11.2.24 主、侧屏蔽区墙外剂量率参考控制水平**

关注点	西墙 (a 点)	东墙 (b 点)	顶棚 (1 点)	南墙 (e 点)	迷路外墙外关 注点 (k 点, 控制室)
周剂量参考控制水平 $H_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{周}$ )	100	100	5	5	100
治疗照射时间 $t$ (h)	10	10	10	10	10
使用因子 $U$	0.25	0.25	0.25	/	/
调强因子 $N$	/	/	/	5	5
居留因子 $T$	1/2	1/2	1/40	1/8	1/2
导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	80	80	80	0.8	4
关注点的最高剂量率参考控制水 平 $H_{c,max}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	2.5	2.5	100*	10	10
剂量率参考控制水平 $H_{cl}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	10	10	80	0.8	2

注：\*根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2—2011) 第 4.2.2b) 中，对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按  $100\mu\text{Sv}/\text{h}$  加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

**表 11.2.25 次屏蔽区墙外剂量率参考控制水平**

关注点	西墙次屏蔽墙 ( $c_1$ )	东墙次屏蔽墙 ( $d_1$ 、 $d_2$ 点)	顶棚次屏蔽墙 ( $m_1$ 、 $m_2$ 点)	迷路口防护门 外 ( $g$ 点)
周剂量参考控制水平 $H_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{周}$ )	100	100	5	5
治疗照射时间 $t$ (h)	10	10	10	10
使用因子	0.25	0.25	0.25	0.25
调强因子 $N$	5	5	5	5
居留因子 $T$	1/2	1/2	1/40	1/8
散射辐射导出剂量率参考 控制水平 $H_{cl,d}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	80	80	80	16
泄漏辐射导出剂量率参考 控制水平 $H_{c,d}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	4	4	4	0.8
关注点的最高剂量率参考 控制水平 $H_{c,max}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	10	10	10	10
复合辐射剂量率参考控制 水平 $H_{cl}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	10.00	10.00	10.00	10.00

结合表 11.2.2~11.2.3 计算结果与《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2—2011) 中“4.2.1 治疗机房外关注点的剂量率参考控制水平”的要求，从偏保守和安全考虑，本项目医用电子直线加速器机房的剂量率参考控制水平取较小值。

## 11.2.2 辐射环境影响分析

### 11.2.2.1 辐射工作场所辐射屏蔽预测分析

1) 主射线方向屏蔽效果预测 (a、b、l 点)

加速器机房主屏蔽区为有用线束照射方向 (O<sub>2</sub>→a, O<sub>1</sub>→b, O<sub>3</sub>→l), 利用下列公式对初级辐射进行屏蔽计算:

$$H = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \text{式 (11-4)}$$

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad \text{式 (11-5)}$$

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

$H_0$ ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率,  $8.40\text{E}+08\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$  (最大剂量率  $1400\text{MU}/\text{min}$  换算得, 下同);

$R$ ——辐射源点 (靶点) 至关注点的距离;

$f$ ——对有用束为 1, 下同;

$X_e$ ——有效屏蔽层厚度, m,  $X_e = X \cdot \sec\theta$ ;

$TVL_1$  (砙) ——混凝土第一个什值层厚度 (查 GBZ/T 201.2—2011, 附录 B, 表 B.1), 下同;

$TVL$  (砙) ——混凝土平衡时的什值层厚度 (查 GBZ/T 201.2—2011, 附录 B, 表 B.1);

根据院方提供的屏蔽材料和厚度, 计算可得各计算点有效屏蔽层厚度, 主屏蔽墙及屋顶计算参数及结果见表 11.2.26。

**表 11.2.26 主屏蔽墙及屋顶外辐射剂量率计算参数及结果**

参数名称	单位	关注点 a (西墙)	关注点 b (东墙)	关注点 l (顶棚)
$H_0$	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08
$f$	/	1	1	1
$R$	m	6.4	6.4	6.805
$TVL_1$ (砙)	m	0.41	0.41	0.41
$TVL$ (砙)	m	0.37	0.37	0.37
$X_e$	m	2.6	2.6	2.6
$B$	/	1.21E-07	1.21E-07	1.21E-07
$H_e'$	$\mu\text{Sv/h}$	2.47	2.47	2.19

2) 侧屏蔽墙屏蔽效果预测 (e 点)

该区考虑泄漏辐射屏蔽, 以位置 O 点为中心, 路径为 O→e。泄漏辐射剂量率一

般按初级辐射束的 0.1% 计算，可利用公式（11-4）和公式（11-5）对 e 点泄漏辐射进行屏蔽计算。

侧屏蔽墙漏射辐射计算参数及结果见表 11.2.27。

**表 11.2.27 侧屏蔽墙泄漏辐射计算参数及结果**

参数名称	单位	关注点 e（南墙）
$H_0$	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	8.40E+08
$f$	/	0.001
$R$	m	8.05
$TVL_l$ （砼）	m	0.35
$TVL$ （砼）	m	0.31
$X_e$	m	2.3
$B$	/	5.12E-08
$H'$	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	6.64E-04

3) 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区屏蔽效果预测（ $c_1$ 、 $d_1$ 、 $d_2$ 、 $m_1$ 、 $m_2$  点）

由于  $c_1$ 、 $d_1$ 、 $d_2$ 、 $m_1$ 、 $m_2$  点为主屏蔽区与次屏蔽区直接相连区域的所受泄漏辐射和散射辐射剂量最大处，因此选取  $c$ 、 $d$ 、 $m$  点为参照点，初级辐射束不直接到达该屏蔽墙，屏蔽计算只考虑加速器装置头的泄漏辐射和来自患者体表的散射辐射。

① 散射辐射（ $O_2 \rightarrow O \rightarrow c_1$ ， $O_1 \rightarrow O \rightarrow d_1$ ， $O_1 \rightarrow O \rightarrow d_2$ ， $O_3 \rightarrow O \rightarrow m_1$ 、 $O_3 \rightarrow O \rightarrow m_2$ ）

利用下列公式对患者体表的散射辐射进行屏蔽计算：

$$H_e = \frac{H_0 \cdot a_{ph} \cdot (F / 400)}{R_s^2} \cdot B \quad \text{式 (11-6)}$$

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

$X_e$ ——次屏蔽墙的实际厚度，cm；

$B$ ——相应辐射屏蔽因子，参考公式（11-5）；

$F$ ——治疗装置有用束在等中心点处的最大治疗野面积，本项目为  $1600\text{cm}^2$ ，下同；

$a_{ph}$ ——患者  $400\text{cm}^2$  面积上垂直入射 X 射线散射 0 至距其 1m 处的剂量比例（查 GBZ/T 201.2—2011 附录 B，表 B.2），下同；

$TVL$ （砼）——混凝土平衡时的什值层厚度（查 GBZ/T 201.2—2011，附录 B，表 B.4）；

$R_s$ ——患者（位于等中心点）至关注点的距离，m。

与主屏蔽墙直接相连的次屏蔽区散射辐射计算参数及结果见下表 11.2.28。

**表 11.2.28 散射辐射计算参数及结果**

参数名称	单位	关注点 c <sub>1</sub> (西墙)	关注点 d <sub>1</sub> 、d <sub>2</sub> (东墙)	关注点 m <sub>1</sub> 、m <sub>2</sub> (顶棚)
$H_0$	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08
$a_{ph}$	/	3.18E-03	3.18E-03	3.18E-03
$R_s$	m	6.4	7.49	7.16
$F$	$\text{cm}^2$	1600	1600	1600
TVL (砼)	m	0.28	0.28	0.28
$X_e$	m	1.73	1.73	1.85
$B$	/	9.21E-07	9.21E-07	2.47E-07
$H_e$	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	0.24	0.18	0.05

②泄漏辐射 (O→c<sub>1</sub>, O→d<sub>1</sub>, O→d<sub>2</sub>, O→m<sub>1</sub>, O→m<sub>2</sub>)

泄漏辐射剂量率一般按初级辐射束的 0.1% 计算, 可利用公式(11-4)和公式(11-5)对与主屏蔽墙直接相连的次屏蔽区泄漏辐射进行屏蔽计算。

与主屏蔽墙直接相连的次屏蔽区漏射辐射计算参数及结果见表 11.2.29。

**表 11.2.29 泄漏辐射计算参数及结果**

参数名称	单位	关注点 c <sub>1</sub> (西墙)	关注点 d <sub>1</sub> 、d <sub>2</sub> (东墙)	关注点 m <sub>1</sub> 、m <sub>2</sub> (顶棚)
$H_0$	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	8.40E+08	8.40E+08	8.40E+08
$f$	/	0.001	0.001	0.001
$R$	m	7.4	8.49	8.16
TVL <sub>1</sub> (砼)	$\text{cm}^2$	0.35	0.35	0.35
TVL (砼)	m	0.31	0.31	0.31
$X_e$	m	1.73	1.73	1.85
$B$	/	4.76E-06	4.76E-06	1.45E-06
$H_e'$	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	0.07	0.06	0.02

③c、d、m 点屏蔽效果

c、d、m 点屏蔽效果见表 11.2.30。

**表 11.2.30 c、d、m 点复合辐射计算结果**

参数名称	单位	关注点 c <sub>1</sub> (西墙)	关注点 d <sub>1</sub> 、d <sub>2</sub> (东墙)	关注点 m <sub>1</sub> 、m <sub>2</sub> (顶棚)
$H_e$	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	0.24	0.18	0.05
$H_e'$	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	0.07	0.06	0.02
$H$	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	0.31	0.23	0.07

4) 迷路屏蔽效果预测 (k 点)

迷路外 k 点的泄漏辐射可利用公式(11-4)和公式(11-5)进行屏蔽计算, 计算

参数及结果见表 11.2.31。

**表 11.2.31 泄漏辐射计算参数及结果**

参数名称	单位	关注点 k
$H_0$	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	8.40E+08
$f$	/	0.001
$R$	m	8.69
$TVL_1$ (砼)	m	0.35
$TVL$ (砼)	m	0.31
$X_e$	m	1.19
$B$	/	4.1E-05
$H_k$	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	2.17

5) 防护门屏蔽效果预测 (g 点)

① X 射线泄漏辐射 ( $O_1 \rightarrow g$ )

该部分射线为泄漏辐射穿过迷路内墙在防护门处的剂量率，计算方法同公式 (11-4) 和公式 (11-5)。迷路入口处 (g 点) 泄漏辐射计算参数及结果见表 11.2.32。

**表 11.2.32 入口 g 处的泄漏辐射计算参数及结果**

参数名称	单位	关注点 g (迷路入口)
		$O_1 \rightarrow g$
$H_0$	$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$	8.40E+08
$f$	/	0.001
$R_d$	m	8.46
$TVL_1$ (砼)	m	0.35
$TVL$ (砼)	m	0.31
$X_e$	m	1.77
$B$	/	6.4E-05
$H_{og}$	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	0.64

② 患者一次散射辐射 ( $O \rightarrow B \rightarrow g$ )

该部分射线为加速器靶心向患者照射至迷路墙面后散射至 g 处，按以下公式计算：

$$H_{o1g} = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \quad \text{式 (11-7)}$$

式中： $H_{o1g}$  —— 入门处患者一次辐射剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

$\alpha_2$  —— 墙入射的患者散射辐射的散射因子，通常取入射角为  $45^\circ$ ，散射角为  $0^\circ$ ，0.5MeV 栏内的值；查 GBZ/T 201.2—2011 附录 B 表 B.6，本项目  $\alpha_2$  为 0.022。

$A$  —— 散射面积， $\text{m}^2$ ； $A$  为自泄漏辐射始点和关注点共同可见的散射体区域的

面积,  $3.2\text{m} \times 5.3\text{m} = 16.96\text{m}^2$ ;

$R_1$ ——“O→B”之间的距离, m;

$R_2$ ——“B→g”之间的距离, m。

其他因子同前述公式, 计算参数及结果见表 11.2.33。

**表 11.2.33 入口 g 处患者一次散射辐射计算参数结果**

参数名称	单位	关注点 g (迷路入口)
$H_0$	$\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$	8.40E+08
$a_{ph}$	/	3.18E-03
$F$	$\text{cm}^2$	1600
$a_2$	/	0.022
$A$	$\text{m}^2$	16.96
$R_1$	m	7.78
$R_2$	m	9.61
$H_{O1g}$	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	911.99

③ 泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射辐射 ( $O_1 \rightarrow B \rightarrow g$ )

该部分射线为加速器靶心的泄漏辐射至迷路墙面后散射至 g 处, 按以下公式计算:

$$H_{O2g} = \frac{f \cdot H_0 \cdot A \cdot a_w}{R_3^2 \cdot R_4^2} \quad \text{式 (11-8)}$$

式中:  $H_{O2g}$ ——入门处泄漏辐射在屏蔽墙上的一次辐射剂量率,  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ;

$a_w$ ——散射体的散射因子, 由于加速器的泄漏辐射能量小于有用线束的能量, 本评价保守取入射角为  $45^\circ$ , 散射角为  $0^\circ$ , 6MV 栏内的值; 查 GBZ/T 201.2—2011 附录 B 表 B.6, 本项目  $a_w$  为 0.0064。

$R_3$ ——“ $O_1 \rightarrow B$ ”之间的距离, m;

其他因子同前述公式, 计算参数及结果见表 11.2.34。

**表 11.2.34 入口 g 处泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射辐射计算参数结果**

参数名称	单位	关注点 g (迷路入口)
$H_0$	$\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$	8.40E+08
$f$	/	0.001
$A$	$\text{m}^2$	16.96
$a_w$	/	0.0064
$R_3$	m	7.22
$R_2$	m	9.61
$H_{O2g}$	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	24.41

④ 防护门外（g 点）辐射剂量率

泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射射线的能量，采用康普顿散射辐射光子能量计算公式：

$$E = \frac{E_0}{1 + E_0(1 - \cos\theta_s)/0.511} \quad \text{式 (11-9)}$$

式中：E —— 泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射射线的能量，MeV；

$E_0$  —— 初始射线的平均能量，为设备最大能量的 1/3，MeV；

$\theta_s$  —— 散射方向与入射方向的夹角，取 135°。

本项目医用电子直线加速器最大能量为 10MeV，初始射线的平均能量约为 3.3MeV，通过公式（11-9）计算可得，医用电子直线加速器机房的迷路防护门处泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射射线能量约为 0.3MeV。根据《放射性同位素手册》（马崇智 等 编著）中第 460 页，此时铅中的 TVL 值为 0.8cm。此外，本评价引用 GBZ/T 201.2—2011 中第 9 页，医用电子直线加速器机房的迷路防护门处患者一次散射辐射能量约为 0.2MeV，此时铅中的 TVL 值为 0.5cm。

本项目加速器防护门为 15mm 铅，防护门外的辐射剂量率采用以下公式计算：

$$\dot{H} = H_{01g} \times 10^{-(X/TVL_1)} + H_{02g} \times 10^{-(X/TVL_2)} + H_{0g} \quad \text{式 (11-10)}$$

式中：H —— 防护门外的辐射剂量率，μSv/h；

$H_{01g}$  —— 入口处患者一次散射辐射剂量率，μSv/h；

$H_{02g}$  —— 入口处泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射辐射剂量率，μSv/h；

$H_{0g}$  —— 入口处 X 射线泄漏辐射剂量率，μSv/h；

$TVL_1$  —— 患者一次散射辐射能量对应铅的半值层，cm；

$TVL_2$  —— 泄漏辐射在屏蔽墙上的一次散射辐射能量对应铅的半值层，cm。

防护门外辐射剂量率计算参数及结果见表 11.2.35。

**表 11.2.35 防护门外辐射剂量率计算参数及结果**

参数名称	X	TVL <sub>1</sub>	H <sub>01g</sub>	TVL <sub>2</sub>	H <sub>02g</sub>	H <sub>0g</sub>	H
单位	cm	cm	μSv/h	cm	μSv/h	μSv/h	μSv/h
g 点	1.5	0.5	911.99	0.8	24.41	0.638	1.88

6) 辐射环境影响预测分析结论

通过预测分析，本项目医用电子直线加速器机房外各关注点剂量水平满足《放射

治疗机房辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2—2011）中，关于治疗机房和入口门外关注点剂量率参考控制限值。各关注点当量剂量率见表 11.2.36。

**表 11.2.36 治疗状态下医用电子直线加速器机房外各关注点剂量当量**

关注点	关注点描述	预测关注点剂量率 (μSv/h)	导出剂量率参考控制水平 (μSv/h)	评价结果
a	西墙主屏蔽	2.47	10	满足
b	东墙主屏蔽	2.47	10	满足
l	顶棚主屏蔽	2.19	80	满足
e	南墙侧屏蔽	6.64E-04	0.8	满足
c <sub>1</sub>	与东主屏蔽墙直接相连的次屏蔽墙	0.31	10	满足
d <sub>1</sub> 、d <sub>2</sub>	与西主屏蔽墙直接相连的次屏蔽墙	0.23	10	满足
m <sub>1</sub> 、m <sub>2</sub>	与顶棚主屏蔽墙直接相连的次屏蔽墙	0.07	10	满足
k	迷路外墙	2.17	4.0	满足
g	迷路口防护门外	1.88	10	满足

由表 11.2.15 可知，本项目医用电子直线加速器机房墙体（四周和顶棚）、防护门外 30cm 处及各敏感点的辐射剂量率在 6.64E-6~2.47μSv/h 之间，均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121—2020）和《放射治疗机房辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2—2011）的相关要求。

#### 11.2.8.2.2 年有效剂量估算

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）中附表 A.1 不同场所的居留因子，本项目各场所的居留因子详见表 11.2.37。

**表 11.2.37 居留因子**

人员	居留因子	场所描述
职业人员	1	控制室
	1/2	东西两侧直加机房
公众人员	1/8	直线加速器机房防护门外
	1/40	少有行人来往的户外区域

项目致人员辐射剂量，按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）2000 年报告附录 A 公式变式进行计算。

$$H_E = D_r \times H \times t \times T \quad \text{式 (11-11)}$$

式中： $H_E$ —— $\gamma$  射线外照射人均有效剂量当量（mSv/a）；

$D_r$  ——  $\gamma$  射线空气吸收剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) ;

$t$  ——  $\gamma$  射线年照射时间 (h) ;

$T$  —— 居留因子。

项目致人员辐射剂量,按照公式(11-11)进行计算。经计算,本项目医用电子直线加速器机房周边的辐射工作人员及公众成员年有效剂量见表 11.2.38。

**表 11.2.38 医用电子直线加速器机房周边的年有效剂量估算结果**

关注点	关注点描述	预测关注点剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	居留因子	工作时间 (h/a)	年有效剂量 ( $\text{mSv/a}$ )	目标管理值 ( $\text{mSv/a}$ )	评价结果
a	西墙 (预留直加机房)	2.47	1/2	500	0.6175	5	满足
b	东墙 (在用直加机房)	2.47	1/2	500	0.6175	5	满足
l	顶棚(屋顶)	2.19	1/40	500	0.027375	0.1	满足
e	南墙(候诊)	6.64E-4	1/8	500	0.0000415	0.1	满足
c1	西次屏蔽墙 (预留直加机房)	0.31	1/2	500	0.0775	0.1	满足
d <sub>1</sub> 、d <sub>2</sub>	东次屏蔽墙 (在用直加机房)	0.23	1/2	500	0.0575	0.1	满足
m <sub>1</sub> 、m <sub>2</sub>	顶棚次屏蔽墙 (屋顶)	0.07	1/40	500	0.000875	0.1	满足
k	迷路外墙(控制室)	2.17	1	500	1.085	5	满足
g	迷路口防护门外 (候诊)	1.88	1/16	500	0.058	0.1	满足

根据表 11.2.16 估算得,本次直线加速器项目运营后,对辐射工作人员年有效剂量为 0.6175~1.085mSv,公众人员年有效剂量为 0.0000415~0.058mSv,均低于《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198—2021)提出的剂量约束值(职业人员 5mSv/a,公众人员 0.1mSv/a)。

本项目医用电子直线加速器摆位工作人员在摆位操作过程中,会受到机房内的感生放射性的照射。本项目医用电子直线加速器在射线关闭后,将会对机房内部进行持续 2min 以上的通风换气,而后做好个人防护措施的工作人员再进入机房内。根据安海军等人关于《关于高能医用直线加速器的感生放射性辐射场特点及其防护措施探讨》的研究,通过以上措施能够有效地做好感生放射性对人体所产生的危害。因此,项目运行对周围环境及人员活动的辐射影响有限。

## 11.2.7 三废的环境影响分析

### 11.2.7.1 放射性废水环境影响分析

本项目放射性废水主要来源是患者排泄物和呕吐物的冲洗用水、甲癌患者住院期间生活废水以及工作人员操作过程中手部受到微量污染或清扫工作台面、地面的清洁工具清洁时可能会带有微量放射性的废水。

项目拟设置 2 个放射性衰变池，1#衰变池为并联式衰变池，2#衰变池为串联式衰变池。I-131 治疗区域的污物间、清洗间以及核素治疗病房等区域产生的放射性废水全部排入 1#衰变池，1#衰变池四壁、顶板和底板均采用 30cm 厚混凝土；SPECT/CT 工作场所患者产生的放射性废水排往 2#衰变池，2#衰变池四壁采用 24cm 厚混凝土、顶板采用 15cm 厚混凝土，底板均采用 30cm 厚混凝土。2 个衰变池均设置防渗漏防水处理措施，且放射性废水排放管道采用抗腐蚀抗压的塑料管，部分暴露的污水管道采用外包 10mmPb 铅板进行防护，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）的要求。本项目放射性废水经铅、混凝土等屏蔽防护后，对周围公众的辐射影响较小。

#### （1）衰变池废水量分析

##### ①I-131 治疗区域的放射性废水

由医院提供资料可知，甲癌患者为每月 8 批次集中治疗，每批次最大治疗人数为 3 人，治疗时间为 5 天，因此每月最大治疗人数为 24 人，治疗时间为 24 天。根据《福建省行业用水定额》（DB35/T 772—2013）中“表 6 第三产业用水定额”，本项目甲癌患者住院期间生活用水量按“城市居民生活用水”进行取值，即 120L/人·d，甲癌患者总计 6 人/d，则甲癌患者每天用水总量为 0.72t/d；当每批次甲癌患者出院后，工作人员会对核素治疗病房进行清洁，每次使用清洁用水量按 100L 计，即 0.02t/d。废水产生量按用水量的 90% 计算，则项目放射性废水排放量约 0.45t/d。

I-131 治疗区域产生的放射性废水全部进入 1#衰变池，1#衰变池为 3 级衰变。根据设计单位提供资料，每级衰变池的容积为 24m<sup>3</sup>，衰变池有效容积按 90% 计算，则每级衰变池有效容积为 21.6m<sup>3</sup>，能容纳 48 个治疗日（约 72 天）的放射性废水。因此，当 3 号池水液面达到设定液位时，1 号池内放射性废水已存放 144 天，约 18 个半衰期（I-131 半衰期为 8.02d），符合要求。

##### ②SPECT/CT 工作场所的放射性废水

本项目使用 Tc-99m 核素，半衰期为 6.02h，远大于本项目 Ga-68 核素的半衰期，故本评价放射性废水选用 Tc-99m 核素进行计算，计算结果是偏保守和安全的。根据设计单位提供资料，2#衰变池为 4 级衰变，每级衰变池的容积为 6m<sup>3</sup>，衰变池有效容积按 80% 计，则每级衰变池有效容积为 4.8m<sup>3</sup>，总有效容积为 19.2m<sup>3</sup>。当 SPECT/CT

工作场所诊疗 11.2 天后，第 1 级衰变池将贮满，直至 44.8 天后，第 4 级衰变池将贮满。Tc-99m 核素 10 个半衰期为 60.2h，约为 3 天，因此 2#衰变池的容量设计符合要求。

## (2) 衰变池排放活度分析

### ①1#衰变池放射性废水的排放活度

根据易艳玲等人对《分化型甲状腺癌患者日尿排泄 I-131 活度分数计算》的研究，甲状腺癌患者在服药后 5 日内排泄 I-131 的活度实际监测值为总摄入活度的 79.9%，本评价选取甲状腺癌患者服药量的 80%核素排入 1#衰变池进行估算，且不考虑单个池子在存储期间的衰变影响。本项目单批次甲状腺癌患者最大服药总活度为 2.22E+10Bq，每级衰变池能容纳 48 个治疗日的放射性废水，约为 10 批次甲状腺癌患者，当 3 号池水液面达到设定液位时，1 号池内放射性废水已存放约 18 个半衰期。1#衰变池放射性废水的排放活度计算结果见表 11.2.39。

**表 11.2.39 1#衰变池放射性废水的排放活度计算结果**

核素名称	最大服药总活度 (Bq)	排泄药物活度分数 (%)	每级衰变池容纳药物活度 (Bq)	存放的半衰期(个)	衰变后的活度 (Bq)	ALI <sub>min</sub> 一次排放限值 (Bq)
I-131	2.22E+10×10	80	1.78E+11	18	4.66E+05	9.09E+05

### ②2#衰变池放射性废水的排放活度

根据院方提供的各核素预计最大治疗规模进行估算，当 2#衰变池的 4 级衰变池均将贮满时，即 SPECT/CT 工作场所已诊疗 44.8 天内，Ga-68 药物每个患者最大剂量为 1.85E+08Bq(5mCi)，诊疗患者约 16 人；Tc-99m 药物每个患者最大剂量为 9.25E+08Bq (25mCi)，诊疗患者约 700 人。从偏保守角度考虑，SPECT/CT 工作场所患者诊疗期间核素排放量按总注射活度的 50%计，Ga-68 药物排放药物总活度为 1.48E+09Bq，Tc-99m 药物排放药物总活度为 3.24E+11Bq。

本评价参考根据吴运涛对《某医院核医学科放射性废水环境影响评价》的研究，自流串接式  $n$  级分池的总活度减弱倍数计算公式为：

$$K = \left(1 + \frac{\lambda V}{nV_0}\right)^n \quad \text{式 (11-4)}$$

式中： $K$  ——自流串接式  $n$  级分池的总活度减弱倍数；

$\lambda$  ——核素的物理衰变常数， $d^{-1}$ ；

$V$ —— $n$ 级相同分池串接的自流池总容积， $m^3$ ；

$V_0$ ——进入衰变池废水的产生速率， $m^3/d$ ；

$n$  ——衰变池的分池数。

其中，核素的物理衰变常数 $\lambda$ 计算公式如下：

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} \quad \text{式 (11-5)}$$

式中： $T$  ——核素的半衰期， $d$ 。

**表 11.2.40 2#衰变池放射性废水的排放活度计算结果**

核素名称	排放药物总活度 (Bq)	物理衰变常数 ( $d^{-1}$ )	自流池总容积 ( $m^3$ )	废水的产生速率 ( $m^3/d$ )	分池数	总活度减弱倍数	衰变后的活度 (Bq)	ALI <sub>min</sub> 一次排放限值 (Bq)
Ga-68	1.48E+09	14.61	19.2	0.428	4	7.39E+08	2.00	2.00E+08
Tc-99m	3.24E+11	2.76				1.04E+06	3.12E+05	6.90E+08

通过表 11.2.39 和表 11.2.40 分析可知，当本项目 2 个衰变池排放放射性废水时，1#衰变池中 I-131 的剩余量为  $4.66E+05Bq$ ，2#衰变池中 Ga-68 的剩余量为  $2.00Bq$ 、Tc-99m 的剩余量为  $3.12E+05Bq$ ，均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002) 中单次排放的活度低于 ALI<sub>min</sub> 和单月排放活度低于  $10ALI_{min}$  的要求。本项目放射性废水经过监测符合要求后，排至医院下水管网，在排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗，并经医院污水处理站再行处理，处理满足《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466—2005) 后，流入市政污水管网最终排入地表水，放射性核素产生的辐射影响是可忽略的。

### 11.2.7.2 放射性固体废物环境影响分析

#### (1) 核医学科

本项目固体废物主要剩余放射性药物、废弃 Sr-90/Y-90 放射源、废弃 P-32 敷贴器、废活性炭以及使用后的注射器、棉签、棉球、擦拭废纸、一次性手套、一次性纸杯等非密封放射性物质污染的物品。

#### 1) 非密封放射性物质污染的物品

##### ①SPECT/CT 工作场所

本项目 SPECT/CT 工作场所中 Tc-99m 核素最大患者数为 20 人/d, Sr-89 核素最大患者数为 4 人/d (80 人/a), 固废产生系数为 0.05kg/人次, SPECT/CT 工作场所日产生的受污染的注射器、棉签、棉球、擦拭废纸、一次性手套等产生量约 1.2kg/d (约合 2.4L/d), 其中 Tc-99m 核素患者产生放射性固体废物量为 1.0kg/d (约合 2.0L/d), Sr-89 核素患者产生放射性固体废物量为 0.2kg/d (约合 0.4L/d)。

Tc-99m 的 10 个半衰期(2.5d)内 Tc-99m 核素患者产生的放射性固体废物约 3.0kg (约合 6.0L), Sr-89 的 10 个半衰期 (505.3d) 内 Sr-89 核素患者产生的放射性固体废物约 8kg (约合 16L)。医院在 SPECT/CT 工作场所中注射室、观察室、留观室内各设置 2 个衰变桶 (10L, 20mmPb), 分别收集含 Tc-99m 和 Sr-89、<sup>177</sup>Lu 等的放射性固体废物, 当日工作结束后, 根据半衰期的长短, 收集各场所产生的放射性固体废物至药物准备区污物间的 2 个衰变桶 (100L, 20mmPb) 中贮存衰变, 满足放射性废物在衰变桶中存放 10 个半衰期以上的要求。

#### ②I-131 治疗区域

本项目 I-131 治疗区域 I-131 核素最大患者数总计 12 人/d, 固废产生系数为 0.10kg/人次, I-131 治疗区域日产生的受污染的擦拭废纸、一次性手套、一次性纸杯等产生量约 1.2kg/d (约合 2.4L/d), 则 I-131 的 10 个半衰期 (80d) 放射性固体废物产生量约 25.1kg (约合 50.2L)。医院在 I-131 治疗区域中服药区、核素治疗病房内各设置 1 个衰变桶 (10L, 20mmPb), 收集含 I-131 放射性固体废物, 当日工作结束后收集各场所产生的放射性固体废物至 I-131 治疗区域污物间的衰变桶 (100L, 20mmPb) 中贮存衰变, 满足放射性废物在衰变桶中存放 10 个半衰期以上的要求。

#### ③P-32 敷贴治疗

本项目 P-32 敷贴患者为每周一次集中治疗, 单日最多敷贴 50 人次, 按固废产生系数 0.05kg/人次计算, 本项目月产生的受污染的一次性塑胶手套、棉签、棉球、擦拭废纸、废弃 P-32 敷贴器等产生量约 2.5kg (约合 5L), 则 P-32 的 10 个半衰期 (142.6d) 放射性固体废物产生量约 12.5kg (约合 25L)。医院在 P-32 敷贴室内设置 1 个衰变桶 (10L, 20mmPb), 收集含 P-32 放射性固体废物, 当日工作结束后收集 P-32 敷贴室内产生的放射性固体废物至药物准备区污物间的衰变桶 (100L, 20mmPb) 中贮存衰变, 满足放射性废物在衰变桶中存放 10 个半衰期以上的要求。

#### 2) 剩余放射性药物

本项目核医学科在分装过程中会产生部分剩余的放射性药物, 均暂存于分装室的

手套箱内，后交由厂家回收处理，对周围环境产生影响较小。

### 3) 废弃 Sr-90/Y-90 放射源

本项目活度达不到使用要求的废弃 Sr-90/Y-90 放射源暂存于 Sr-90 敷贴室储源间，后由供货商回收，对周围环境产生影响较小。

### 4) 废活性炭

放射性废气排放管道中的活性炭更换下来后，直接收集至衰变桶中，其中 I-131 治疗区域和分装室 2 通风系统中的废活性炭送至 I-131 治疗区域的污物间内贮存衰变，其他区域通风系统中的废活性炭送至药物准备区的污物间内贮存衰变，在衰变桶中放置 10 个以上半衰期，达到解控水平后作为一般医疗废物处理，对周围环境产生影响较小。

## (2) 直线加速器

直线加速器项目放射性固体废物主要为加速器废靶等感生放射性部件。本项目医用电子直线加速器在退役时将产生的加速器废靶等感生放射性部件，先置于设备间内进行衰变，经检测达到清洁解控水平后，作为一般固体废物交由有资质的单位处置。

### 11.2.7.3 放射性废气环境影响分析

#### (1) 核医学科

本项目放射性废气主要产生于放射性核素在操作过程中产生微量放射性气溶胶。项目共设置 5 套通风系统，风速不小于 1m/s，均设置防回风阀，防止放射性废气在特殊状态下逆流。

项目 I-131 药物的分装工序在分装室 2 内的手套箱中完成，分装室 2 及其手套箱的排风单独设置一个排风管道；Tc-99m、Ga-68、Sr-89 等核素的分装以及 P-32 的分装、制备敷贴器等工序分别在分装室 1 内的 2 个手套箱中完成，分装室 2 及其 2 个手套箱的排风单独设置一个排风管道；I-131 治疗区域的污物间、清洗间、服药区、检测缓冲区以及核素治疗病房的排风单独设置一个排风管道；SPECT/CT 区域的机房、观察室、留观室、注射室、运动/急救室以及淋浴室、质控室、备用间、药物准备区的清洗间和污物间、P-32 敷贴室、Sr-90 敷贴室等均设有通风管道，保持各场所内良好的通风条件。各场所产生的放射性废气由支管道汇入主管道，通过 PET/CT 注射室顶部原有的排风井直通楼顶。门诊楼楼顶设置活性炭过滤装置，一般半年更换一次，项目产生的放射性废气最终经楼顶的活性炭过滤装置处理后，通过高出屋脊的排放口排放。

通过上述处理措施，能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）中相关要求，能够有效防止放射性气体对周围环境产生影响。

## （2）直线加速器

直线加速器运行期产生的废气主要为放射源发射出的 X 射线与空气发生相互作用产生的少量臭氧和氮氧化物。

本项目机房内设有机械通风系统，包括新风系统和排风系统，室内排风口距地板高度为 200mm，送风口位于天花板上，室外排风口拟设置在机房顶部，送风口和排风口呈对角线布置，能够有效促进室内气体流动。项目机房排风系统设计排风量为 5000m<sup>3</sup>/h，医用电子直线加速器机房内有效容积（包含迷路体积）为 347.65m<sup>3</sup>，机房内的通风次数为 14 次/h，满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121—2020）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

### ①臭氧产生估算方法

#### 1) 臭氧的产生

加速器机房内的臭氧辐射化学产额由下式估算：

$$P=0.39\times H_0\times F\times R\times G \quad \text{式（11-12）}$$

式中： $P$  ——  $O_3$  的辐射化学产额，mg/h；

$R$  —— 表示射线束中心轴上源点至辐照室内壁的距离，m；

$G$  —— 表示每吸收 100eV 辐射能量产生的臭氧分子数，一般为 6~10，为留安全系数，取 10。

其他因子同上式。估算本项目医用电子直线加速器机房  $O_3$  的辐射化学产额，见表 11.2.41。

**表 11.2.41 本项目医用电子直线加速器机房  $O_3$  的辐射化学产额**

参数名称	单位	加速器②室
$H_0$	Gy·m <sup>2</sup> /min	14
$F$	m <sup>2</sup>	0.16
$R$	m	3.5
$G$	/	10
$P$	mg/h	30.58

#### 2) 臭氧的平衡浓度

辐射所致有害气体以  $O_3$  为主，在考虑通风情况下，空气中的  $O_3$  平衡浓度由下式估算：

$$Q = \frac{P \times T}{V} \quad \text{式 (11-13)}$$

式中： $Q$ ——加速器治疗室内  $O_3$  平衡浓度， $mg/m^3$ ；

$T$ ——有效清洗时间，h；

$V$ ——治疗室体积， $m^3$ 。

其中，有效清洗时间  $T$  由下式计算：

$$T = \frac{T_v \cdot T_d}{T_v + T_d} \quad \text{式 (11-14)}$$

式中： $T_v$ ——换气一次所需时间，h；

$T_d$ —— $O_3$  有效分解时间，取 0.83h。

公式 (11-12) ~ (11-14) 均来自《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进、娄云著）。

根据公式 (11-13) 和公式 (11-14) 式得出不同换气次数时的  $O_3$  平衡浓度见表 11.2.14。

**表 11.2.14 本项目机房内  $O_3$  平衡浓度**

参数名称	单位	加速器②室
$T_v$	h	0.07
$T_d$	h	0.83
$T$	h	0.065
$P$	mg/h	30.58
$V$	$m^3$	347.63
$Q$	$mg/m^3$	0.0057

根据表 11.2.14，本项目医用电子直线加速器机房内臭氧的平衡浓度为  $0.0057mg/m^3$ ，即能够满足《室内空气质量标准》（GB/T 18883-2022）中臭氧浓度限值要求（ $0.16mg/m^3$ 、1 小时平均值）。

#### ②氮氧化物对环境的影响

在多种氮氧化物（ $NO_x$ ）中，以  $NO_2$  为主，其产额约为  $O_3$  的二分之一，工作场所中  $NO_2$  的限值大于  $O_3$  的限值。因而工作场所中  $O_3$  浓度达到《室内空气质量标准》（GB/T 18883—2022）要求时， $NO_x$  的浓度也会满足要求（ $0.20mg/m^3$ 、1 小时平均值）。本项目机房产生的少量臭氧和氮氧化物可通过排风系统排出机房，弥散在大气环境中，对环境影响较小。

#### 11.2.7.4 非放射性废气环境影响分析

项目 DSA、SPECT/CT 在运行时球管发射的 X 射线与空气发生相互作用产生的少量臭氧和氮氧化物。本项目 DSA、SPECT/CT 机房内均设有排风管道，少量的臭氧和氮氧化物通过机房的通风系统引至门诊楼楼顶排出，弥散在大气环境中，很快被空气对流、扩散作用稀释，对大气环境影响较小。

### 11.3 事故影响分析

#### 11.3.1 辐射事故影响识别

主要考虑电离辐射损失、放射源和药物失控对环境的影响。

(1) 由于工作人员操作不熟练或违反辐射操作规程或误操作等其他原因造成的放射性药物泄漏，造成意外照射和辐射污染。

(2) 保管不善造成放射性药物丢失，造成对公众和周围环境辐射污染。

(3) 核素治疗患者注射或用药后未按规定线路离开，随意走动，导致医护人员或公众遭受较大的外照射。

(4) 注射器排气时挤出放射性药物、注射器有损漏以及注射针头没有装牢固，导致放射性药物漏洒。

(5) 放射性废物管理不善

①患者服药初期将放射性药物至环境中，可能会造成一定程度的辐射污染；

②放射性废水未经足够的时间衰变即进行排放，使排放超出规定的限值，可能对环境或人体造成一定的危害。

③放射性固体废物未经足够的时间衰变，存放时间过短即进行擅自处理，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

(6) 配套放射源辐射事故

①由于误操作导致较大放射性剂量照射的情况发生；

②放射源保管不善丢失或被盗产生环境污染。

#### 11.3.2 辐射事故防范措施

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

(1) 制定完善的操作规程，对操作人员定期培训，使之能熟练操作，严格依照

操作规程操作，减少药物撒漏事故的发生。若发生撒漏等事故后，应迅速用药棉或纸巾从污染区的边沿向中心进行擦拭，以防止污染扩散，并采用塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，直至擦干污染区。用表面污染监测仪测量污染区，如果 $\beta$ 表面污染不能满足 GB 18871—2002 要求（即控制区的工作台、设备、墙壁、地面小于  $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，监督区的工作台、设备、墙壁、地面小于  $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，工作服、手套、工作鞋小于  $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，手、皮肤、内衣、工作袜小于  $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ），应采用酒精浸湿药棉或纸巾继续擦拭，直到满足 GB 18871—2002 要求。擦拭物应收集到放射性固体废物衰变桶中，作为放射性固体废物进行管理。

(2) 完善放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用和登记工作，确保放射性药物的安全。放射源储存处应设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

(3) 加强对患者的管理，严禁注射或服药后的患者随地吐痰；在不影响诊断和治疗的情况下限制用药量；向出院服药患者和受检者提供与他人接触的辐射防护书面指导，减少服药患者和受检者亲友受照量。

(4) 加强放射性废物的管理，对储存的放射性废物在废物桶外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的台账记录。放射性废水和固体废物经足够长的时间衰变，经监测合格后方可排放或按照普通医疗垃圾处理，并做好监测记录。

(5) 辐射工作人员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防护衣、防护镜等附加防护用品。工作人员进入监督区必须穿戴放射防护用品，个人剂量计佩戴于铅衣内左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅衣、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。为病人注射放射性药物时，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。科室主任负责个人防护用品的存放和更新工作。

(6) 严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如果控制区各房间辐射水平监测结果表明防护墙外辐射水平偏高，应适当增加防护墙厚度。

(7) 将本项目纳入辐射事故应急预案体系中，并定期演练。发生辐射事故时，单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要的防护措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门、公安部门和卫健委报告。

## 表 12 辐射安全管理

### 12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

#### 12.1.1 机构设置

本项目使用 II、III 类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确其管理职责。为此，医院已设立以院长为主任的辐射安全与防护管理委员会，负责医院日常辐射安全防护管理工作。

(1) 辐射安全与防护管理委员会

(2) 职责分工

① 制订本院辐射安全与防护工作的计划和总结；对辐射安全控制效果进行评议；定期对辐射事故应急预案、各辐射安全与防护制度进行修订；

② 定期召开工作会议 1~2 次，研究辐射安全与防护工作中存在的问题，提出建议和措施。

③ 负责对全院辐射安全与防护工作进行监督，检查各种制度以及防护措施的贯彻落实情况；

④ 负责监督本院放射诊疗人员的健康档案管理；

⑤ 组织实施放射诊疗工作人员关于辐射安全与防护相关的法律法规及防护知识的培训工作；

⑥ 会同上级有关部门按有关规定调查和处理辐射事故，并对有关责任人员提出处理意见。

#### 12.1.2 辐射工作人员配备及培训情况

依据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的规定，使用射线装置操作人员与辐射防护负责人应进行辐射安全培训，并持证上岗，对应本项目的辐射工作人员应接受辐射安全培训。

本项目拟安排核医学科辐射工作人员 10 人，从现有核医学科工作人员中调配，核

医学科现有工作人员培训及 2025 年度剂量情况详见表 12.2.1。DSA（3）辐射工作人员 10 人（轮班），加速器②室辐射工作人员 6 人，均为新增人员。新进的辐射工作人员应及时在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加培训，经考核合格后方可上岗。

新录用或调入的拟从事放射诊疗的人员必须进行上岗前职业健康检查，符合《放射工作人员健康标准》的方可从事放射诊疗工作。辐射工作人员在工作期间必须按规定佩戴个人剂量计，每 3 个月检测一次，一年四次，按时定期送检。所有放射工作人员上岗后每 2 年进行一次职业健康检查。

## 12.2 辐射安全管理规章制度

医院严格遵守《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关放射性法律法规，已成立了辐射防护管理委员会，制定一系列辐射安全管理制度，如《辐射事故应急预案》《辐射安全管理规定》《辐射防护安全管理制度》《辐射防护和安全保卫制度》《射线装置使用登记制度》《辐射工作人员个人剂量管理制度》《辐射工作人员安全与防护培训管理制度》《“三废”处理措施方案》《辐射防护自主监测方案》和《放射诊疗设备使用、检测、维护保养、维修制度》等。

（1）为加强辐射安全和防护管理工作，医院成立了以院长为主任的辐射防护管理委员会，负责医院日常辐射安全防护管理工作。

（2）医院已建立《辐射工作人员安全与防护培训管理制度》，要求辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，经考核合格方可上岗；放射工作人员进入放射工作场所应正确佩戴个人剂量计，监测周期一般为一个月，最长不应超过三个月，定期送检，将个人剂量监测结果及时记录在《放射工作人员证》中，建立并终身保存个人剂量监测档案；放射工作人员应定期进行职业健康体检，两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查。

（3）医院制定了《放射诊疗设备使用、检测、维护保养、维修制度》《辐射防护安全管理制度》《辐射防护自主监测方案》，对辐射工作人员的防护意识、资质、技术操作等作出规定；要求严格按照操作说明书及维护保养手册，检修和维护保养射线装置；要求放射过程的质量控制、医疗安全保证、操作规范、监测计划等做出详细规范要求。

（4）制定《辐射安全管理规定》，安排专人及时向相关部门更新射线装置台账，

专人负责开展年度的辐射安全评估报告。

(5) 制定《“三废”处理措施方案》《辐射防护自主监测方案》和岗位职责等制度，建立完善的放射性同位素、射线装置台账、放射性废物处置台账、废水台账等。

今后医院需根据最新的相关法律法规、条例办法及现行标准的要求，定期更新和完善已有的规章制度。定期对全院工作场所的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

## 12.3 辐射监测

### 12.3.1 监测设备配置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修改）要求，医院应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、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。

医院为本项目核医学科拟配置 0.5mmPb 的铅衣、铅围裙、放射性污染防护服、铅围脖、铅帽、铅眼镜等个人防护用品 4 套，同时配备 1 台便携式辐射监测仪、10 台个人剂量报警仪、2 台  $\alpha/\beta$  表面沾污仪、2 个 5mmPb 的注射器防护套、2 个 2mmPb 的注射器防护套、2 个 5mmPb 的移动铅屏风、2 个 15mmPb 的移动铅屏风、2 个 20mmPb 的移动铅屏风、长镊子等远距离操作工具以及不小于 3mm 厚的橡皮泥或橡胶板，在核素治疗区域、分装室 1 和分装室 2 配备 3 台固定式辐射报警仪。同时核医学科配置一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂、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、一次性镊子等应急及去污用品。

为导管室 DSA（3）辐射工作人员拟配备铅衣、铅围裙、铅颈套、铅帽、铅围脖、铅眼镜（均为 0.5mmPb）、介入防护手套（0.025mmPb）、铅帽均 5 套，配备 1 台个人剂量报警仪，以及 20 枚个人剂量计；为 DSA 机房受检者配备 1 件铅围裙、1 件铅颈套、1 顶铅帽（均为 0.5mmPb）。

为加速器②室配备 1 台便携式辐射监测仪，2 台个人剂量报警仪、6 枚个人剂量计和 1 台固定式剂量率仪。

项目运行后医院应定期对核医学科、周围环境辐射水平进行监测，并做好监测记录。

### 12.3.2 辐射工作场所监测

#### (1) 日常监测计划

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的相关要求，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托有资质的环境监测机构进行监测。并将监测记录资料统计结果及时上报主管部门，以便了解和监护防护设施的运行情况，为主管部门下一步辐射防护决策提供科学技术依据。

具体监测方案如下：

- ① 每年委托有资质的单位对辐射工作场所及周围环境辐射水平进行监测。
- ② 监测项目：周围剂量当量率、辐射空气吸收剂量率、 $\alpha/\beta$  表面污染、废水总  $\beta$ 。
- ③ 监测频度：每年委托有资质单位进行一次年度监测。
- ④ 监测范围：主要对辐射工作场所及周围进行监测，重点对核医学科各面屏蔽墙、防护门及缝隙处、控制室、操作台等工作场所，以及其他关注点、敏感点进行监测
- ⑤ 定期检查辐射工作场所的安全性能，防止射线泄漏，周期：每年 1~2 次。

#### (2) 本项目验收监测计划

本项目工作场所建成后，及时组织开展竣工环保验收工作，并根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）等相关规定对辐射工作场所开展竣工环保验收监测。本项目竣工环境保护验收辐射监测计划见表 12.3.1。

### 12.3.3 个人剂量监测

所有进入辐射工作场所从事辐射工作的人员均需佩戴个人剂量计，并按每季度 1 次的频率送相关单位进行个人剂量监测，并按《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128—2019）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，建立个人剂量档案。医院应关注工作人员每一次的累积剂量监测结果，对监测结果超过剂量管理限值的原因进行调查和分析，优化实践行为，并向生态环境部门报告。

本项目工作人员也将委托有资质的第三方检测机构对个人剂量进行持续监测，并做好档案管理。

### 12.3.4 项目辐射监测计划汇总

医院针对本次核技术应用项目制定相应的辐射监测计划汇总见表 12.3.1。

**表 12.3.1 本项目辐射监测计划**

监测对象	监测点位		监测方案	监测项目	年度监测频率
辐射工作场所	核医学科	各功能室屏蔽墙及窗外、防护门及缝隙处、操作台等，以及核医学科四周及上下方活动场所、进出通道外	实测	周围剂量当量率/辐射空气吸收剂量率、 $\alpha/\beta$ 表面污染	每年 1 次委托有资质单位监测；每月 1 次设备科巡测
	DSA(3) 加速器②室	机房四周屏蔽墙外 30cm 处、顶棚、操作位、防护门和各电缆管道口	实测	周围剂量当量率/辐射空气吸收剂量率	
污染物	核医学科	1#衰变池和 2#衰变池出口	实测	总 $\beta$	每次排入污水处理站前
		固废表面	实测	$\alpha/\beta$ 表面污染	每次清运前
外环境	翡翠园别墅区、泉州东海湾实验学校、泊悦酒店、门诊楼周边通道		实测	辐射空气吸收剂量率	每年 1 次
辐射工作人员	佩戴个人辐射剂量计		实测	累计计量	每年 4 次
竣工环境保护验收监测	各功能室屏蔽墙及窗外、防护门及缝隙外 30cm 处、控制室、操作台等工作场所及外环境		实测	周围剂量当量率/辐射空气吸收剂量率、 $\alpha/\beta$ 表面污染 总 $\beta$	本项目运行后

## 12.4 辐射事故应急处置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条“生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当根据可能发生的辐射事故的风险，制定本单位的应急方案，做好应急准备”的规定，福建医科大学附属第二医院为使用放射性同位素和射线装置的单位，已建立《辐射事故应急预案》。

成立了辐射事故应急领导小组，并明确了小组成员及相关职责；明确了应急报告程序和详细的联络报告电话；针对项目具体情况，制定了应急处置程序和措施；明确了应急物资、设备的型号（名称）、存放地点；明确了预案内部培训的频次、修订间隔、应急演练的频次要求等。

### 12.4.1 应急机构设置和职责分工

#### (1) 应急机构

医院成立应急领导小组，组织、开展辐射事故的应急处理救援工作。各应急小组

成员主要由保卫处、设备处、核医学科、放射治疗科、放射科、CT室、医务部、科教处以及相关科室负责人组成。当辐射事故/事件发生时，在辐射事故应急领导小组的统一指挥下，积极调动各方资源确保现场救护和后勤保障。

#### (2) 机构主要职责

① 在上级辐射事故应急领导小组统一指挥下，贯彻执行国家、省辐射事故应急工作方针和应急预案。

② 组织本院辐射安全有关工作规范和规章制度的制定、修订；并对规章制度执行情况定期进行检查。

③ 经常向医务员工进行安全教育培训，组织开展省级辐射事故应急方面的培训和演练。

④ 组织有关职能科室定期进行安全检查或根据公安、卫健委、生态环境等监督机关的通知，有计划有步骤地采取防范措施，迅速消除隐患，防止事故发生。

⑤ 负责协调全院辐射安全管理工作中的各项问题，对各项具体分工进行监督检查。

⑥ 组织协调全院各处（科）室开展辐射事故应急准备和响应工作。若本单位发生因放射源处理不当而发生火灾、爆炸、泄漏、中毒、伤亡等事故，及时组织力量扑救处理，并认真做好善后工作。同时，根据事故性质，严肃追究有关人员责任。

⑦ 发生非本院的辐射事故，根据本单位职责，做好事发地和群众临时安置点伤病员医疗救治，防范和处置传染病疫情及突发公共卫生事件，依法实施饮用水卫生监管，保障临床用血安全等工作，完成上级辐射事故应急领导小组安排的其他任务。

⑧ 组织专家对事故进行分析评估，总结经验教训，提出对策建议，防止事故再度发生。

### 12.4.2 应急处置原则

辐射事故应急处置遵循及时发现、及时报告、快速反应、及时控制、保护现场、收集证据的原则，实现应急工作的科学化、规范化。

### 12.4.3 辐射事故报告程序

(一) 发生辐射事故后，立即关闭辐射源（如关闭射线装置应急开关等），立即撤离有关工作人员和受检者，封锁现场；禁止无关人员进入辐射区，同时报告科室负责人和辐射事故应急领导小组，辐射事故应急领导小组启动应急预案。

(二) 辐射事故应急领导小组召集相关人员，按照辐射事故的具体情况，迅速确定事故处理方案。

(三) 迅速安排受照人员到职业病防治机构接受医学检查、救治和医学观察，同时对危险源采取应急安全处理措施。对可能受放射损伤的人员，立即采取暂时隔离和根据需要实施其他医学救治和应急救援措施。

(四) 在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向生态环境主管部门报告。

(五) 发生辐射事故的科室及个人，必须积极配合生态环境部门、卫健委、公安机关对辐射事故的调查、处置、监测等，做好善后处理工作。

#### **12.4.4 应急处置措施**

(一) 事故发生后，当事人应立即终止放射诊疗操作，关闭操作电源；

(二) 封锁现场，疏散患者及现场的工作人员，切断一切可能的污染源；

(三) 报告科室负责人，由其按照事故报告流程依次报告上级相关部门和人员；

(四) 实行现场警戒，划定紧急隔离区，以控制事故影响，防止事故的扩散蔓延。

同时保护现场，保留导致事故的材料、设备和工具，必要时做好录音和录像；

(五) 事故中人员受照时，要通过个人剂量计或其它工具、方法迅速估算受照人员的受照剂量，并迅速对其进行检查、救治及医学观察；

(六) 辐射事故应急处置领导小组召集相关专业人员，根据具体情况迅速制定事故处置方案；

(七) 事故处理后，医院组织有关人员讨论，分析事故发生原因，总结经验教训，采取适当措施，防止类似事故重复发生。

#### **12.4.5 预案管理**

多方式开展辐射事故应急培训学习，包括在本院开展辐射环境保护知识的宣传和教育，普及辐射安全基础知识和预防常识、参加院外辐射安全知识的培训和辐射事故/事件应急措施的培训学习等。

按照应急预案的要求，每年定期组织不同级别的辐射事故应急演练，提高防范和处置突发辐射事故的技能。应急演练前编制演习计划由设备科编写，包含演练模拟的事故、事件情景、演练参与人员等。

### **12.5 建设项目竣工环境保护验收一览表**

建设项目竣工环境保护验收一览表见表 12.5.1~表 12.5.3。

**表 12.5.1 辐射环境保护“三同时”验收清单**

污染源或保护源	主要环保措施	验收标准
辐射防护措施	核医学科区域四周墙体和门、窗的防护，详见表 10.2.1。	监测达标情况。  1.《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188—2021)  2.《核医学放射防护要求》(GBZ 120—2020)  3.《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002) 辐射工作人员剂量约束限值 (5mSv/a) 和公众剂量约束限值 (0.1mSv/a)
	配置 0.5mmPb 的铅衣、铅围裙、放射性污染防护服、铅围脖、铅帽、铅眼镜等个人防护用品 4 套，同时配备 1 台便携式辐射监测仪、10 台个人剂量报警仪、2 台 $\alpha/\beta$ 表面沾污仪、2 个 5mmPb 注射器防护套、2 个 2mmPb 注射器防护套、2 个 5mmPb 移动铅屏风、2 个 15mmPb 移动铅屏风、2 个 20mmPb 移动铅屏风、镊子等远距离操作工具以及不小于 3mm 厚的橡皮泥或橡胶板，在核素治疗区域、分装室 1 和分装室 2 配备 3 台固定式辐射报警仪；同时核医学科配置一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂、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、一次性镊子等应急及去污用品。	
	SPECT/CT 机房防护门外设置明显的电离辐射警告标志，防护门设有自动闭门装置，上方设有工作状态指示灯；在 DSA、SPECT/CT 的控制室操作台上（1 个）、治疗床上（1 个）和迷路墙面（1 个）分别设置紧急停机按钮。	
	核医学科在控制区出入口设置明显的电离辐射警告标志；在 PET、SPECT/CT 的注射室、观察室、留观室、机房以及核素治疗区域服药区、核素治疗病房、P-32 敷贴室、Sr-90 敷贴室、检后病人通道内将设视频监控设备，并将在上述功能室与对应监控操作间之间设置对讲装置；在场所内走道的地面上张贴醒目标识路线及禁止路线，在患者候诊室设置放射防护注意事项告知栏；盛放放射物质的容器表面设置电离辐射警告标识。	
	核医学工作场所的室内表面及装备结构满足标准要求。	检查落实情况。 《核医学放射防护要求》(GBZ 120—2020)
放射性固体废物	至少配置 13 个 10L 的衰变桶 (20mmPb) 和 5 个 100L 的衰变桶 (20mmPb)，衰变桶必须有电离辐射警示标志，放射性废物在放射性铅废物衰变桶中存放 10 个半衰期以上，经监测满足解控要求后作为一般医疗垃圾处理；剩余的放射性药物、废弃 Sr-90/Y-90 放射源由厂商回收处置；废活性炭收集于衰变桶内，并送至药物准备区的污物间内贮存衰变，经 10 个以上半衰期衰减后，监测符合清洁解控水平后作为一般医疗垃圾处理。	检查落实情况和达标情况。  1.《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002)  2.《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188—2021)
放射性废水	1#衰变池为 3 级并联式衰变池，每格容积 24m <sup>3</sup> ，总容积 72m <sup>3</sup> ，衰变池四壁、底板和顶板采用 30cm 混凝土；2#衰变池为 4 级串联式衰变池，每格容积 6m <sup>3</sup> ，总容积 24m <sup>3</sup> ，衰变池四壁采用 24cm 厚混凝土、顶板采用 15cm 厚混凝土，底板均采用 30cm 厚混凝土。2 个衰变池均设置防渗漏防水处理措施，且放射性废水排放管道采用抗腐蚀抗压的塑料管，部分暴露的污水管道采用外包	3.《核医学放射防护要求》(GBZ 120

	10mmPb 铅板进行防护。放射性废水经 10 个以上半衰期衰变且满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002) 中单次排放的活度低于 $ALI_{min}$ 和单月排放活度低于 $10ALI_{min}$ 的要求, 监测达标后, 排至医院下水管网, 在排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗, 排入医院污水处理站。监测记录应留存。经医院污水处理站再行处理, 处理满足《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466—2005) 后, 流入市政污水管网。	—2020) 4. 《医疗机构水污染物排放标准》 (GB 18466—2005)
放射性废气	工作场所设置 5 套通风系统, 通风速率均不小于 1m/s, 均设置防回风阀, 排风均经过楼顶的活性炭过滤装置处理后, 通过高出屋脊的排放口排放。	
管理措施	辐射工作人员佩戴个人剂量计并建立个人剂量档案。	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002)
	制定相应的规章制度和应急预案, 规章制度应张贴在相关操作室。	
	建立完善的射线装置和核素台账。	
	医院辐射工作人员参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的辐射安全培训及考核, 考核通过后方可上岗。	
环境监测	所有辐射工作人员间隔不超过两年参加职业健康体检。	
	委托有资质的单位每年对核医学科各功能室屏蔽墙及窗外、防护门及缝隙处、操作台等辐射剂量率、 $\alpha/\beta$ 表面污染进行监测; 对核医学科四周及上下方活动场所、进出通道外, 周围敏感目标辐射剂量率进行监测。	
	放射性废水衰变池排出口总 $\beta$ 监测。	《医疗机构水污染物排放标准》 (GB 18466—2005)

表 12.5.2 DSA 辐射环境保护“三同时”验收清单

项目	“三同时”验收内容	验收要求
防护措施	本项目 DSA 机房东、西墙为 120mm 实心砖+4mmPb 钡板 (约 4.71mmPb), 北、南墙为 150mm 实心砖+5mmPb 钡板 (约 5.89mmPb), 顶板厚度为 120mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡砂浆 (约 4.48mmPb), 底板厚度为 120mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡沙 (约 4.48mmPb), 南侧防护门为 5mmPb, 西侧防护门为 5mmPb, 观察窗为 5mmPb	监测达标情况。 1. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002) 及本项目管理目标: 辐射环境剂量率控制水平: DSA 机房屏蔽体外表面 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ; 辐射剂量控制水平: 职业人员年有效剂量不超过 5mSv, 公众年有效剂量不超过 0.1mSv。 检查落实情况。 2. 满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130—2020) 中相关辐射安全要求和开展本项目的辐射安全需要。
安全措施	(1) 工作状态指示灯 DSA 机房病人通道防护门上方设置工作状态指示灯, 灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句, 工作状态指示灯与病人通道防护门设置门灯联锁装置, 用于显示机房内设备运行状态。 (2) 防夹和闭门装置 病人通道防护门 (电动推拉门) 设置曝光时关闭机房门的管理措施和防夹装置, 医护人员通道防护门 (平开门) 设置自动闭门装置。 (3) 电离辐射警告标志 DSA 机房各防护门外表面均设置电离辐射警告标志。 (4) 监控与对讲装置 DSA 机房设计有观察窗、实时监控装置和对讲装置, 工作人员在控制室内可及时观察病人情况及防护门开闭情况, 防止意外情况的发生。 (5) 个人防护用品 医院为本项目辐射工作人员和受检者配备相应的	

	个人防护用品与辅助防护设施。	
通风措施	机房内设置动力通风系统，并保持良好的通风。	检查落实情况。 满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130—2020)中相关通风要求。
监测仪器和防护用品	①医院拟配备了1个铅悬挂防护屏、1个床侧防护帘； ②医院拟为本项目 DSA 机房工作人员配备4套铅衣、4件铅围裙、4件铅颈套、4顶铅帽、4个铅围脖、4副铅眼镜(均为0.5mmPb)4副介入防护手套(0.025mmPb)、4个铅帽，配备1台个人剂量报警仪； ③医院拟为本项目 DSA 机房受检者配备1件铅围裙、1件铅颈套、1顶铅帽(均为0.5mmPb)； ④医院根据辐射工作人员人数配备2枚个人剂量计。	检查落实情况。 满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对监测仪器和防护用品配备的要求。
管理措施	详见表 12.5.1 相关措施。	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002)
环境监测	委托有资质的单位每年对机房屏蔽墙及窗外、防护门及缝隙处、控制室等辐射剂量率进行监测；对机房四周及上下方活动场所、进出通道，周围敏感目标辐射剂量率进行监测。	

**表 12.5.3 直线加速器辐射环境保护“三同时”验收清单**

污染源或保护源	主要环保措施	验收标准
辐射防护措施	医用电子直线加速器机房(含迷路)面积约77.25m <sup>2</sup> ；项目机房东西墙主防护墙为2600mm混凝土结构、次防护墙为1500mm混凝土结构；北墙为1500mm混凝土结构；南墙迷路内墙为1200mm混凝土结构；南墙迷路外墙为1100mm混凝土结构；顶棚主次防护墙均为2600mm混凝土结构；防护门内衬15mmPb铅板。	监 测 达 标 情 况。  1.《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002)  2.《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198—2021)  3.《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121—2020)
	机房门外设置安全指示灯及电离辐射警告标志并与各治疗设备联锁。	
	机房和控制室设有紧急停机按钮。	
	配备个人剂量计(所有辐射工作人员)、个人剂量报警仪、便携式辐射监测仪、固定式剂量率仪等辐射监测仪器与防护用品。	
	机房内设置了排风和新风装置，机房内所有管道均设计为“斜45度”或“U”形管道进入治疗机房，并采用与同侧墙体防护铅当量相同的材料进行封堵。嵌入式安装的电器与同侧墙具有同等屏蔽效果的材料进行屏蔽补偿。	
	机房内安装视频监控系统，控制室与机房之间设置语音对讲装置。	
放射性废物处置措施	本项目医用电子直线加速器在退役时产生的加速器废靶等感生放射性部件等，先置于固体废物暂存间(本项目机房内衰变)，经检测达到清洁解控水平后，作为一般固体废物交由有资质的单位处置。	
管理措施	详见表 12.5.1 相关措施。	检查落实情况。
环境监测	委托有资质的单位每年对机房屏蔽墙及窗外、防护门及缝隙处、控制室等辐射剂量率进行监测；对机房四周及上下方活动场所、进出通道，周围敏感目标辐射剂量率进行监测。	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002)

## 表 13 结论与建议

### 13.1 结论

#### 13.1.1 项目概况

福建医科大学附属第二医院东海院区位于福建省泉州市丰泽区东海大街 950 号，门诊楼位于院区中部。为提高医院服务质量及服务水平，满足广大患者就医的需要，医院拟在东海院区开展放射治疗、核医学和影像诊断等放射诊疗工作，并在门诊楼三层设立核医学科。医院计划新增 1 台 DSA、1 台直线加速器和 1 台 SPECT/CT；使用非密封放射性物质 Tc-99m、Sr-89、P-32、I-131、Ga-68、<sup>177</sup>Lu、Ac-225 和 Ra-223 用于放射诊疗工作；利用 Sr-90/Y-90 放射源进行敷贴治疗。本项目放射性药物均由药物供应商提供，其中 P-32 敷贴器由医院自行制作。项目主要是在门诊楼主体建筑上进行内部建设、装修以及设备安装，以满足各工作场所的辐射屏蔽防护要求。本项目辐射工作的种类和范围为使用类射线装置，且为乙级非密封放射性物质工作场所。

#### 13.1.6 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录(2024 年本)》，本项目直线加速器、DSA、SPECT/CT 等射线装置使用属于“鼓励类”中“十三、医药”中的“4、……高端放射治疗设备……”“5、……数字化医学影像设备……”，核医学科的改扩建属于“三十七、卫生健康”中的“5、医疗卫生服务设施建设”项目，因此东海院区核技术利用改扩建项目符合国家产业政策。

#### 13.1.2 选址合理性分析

本项目核医学科、导管室 DSA (3)、加速器②室集中设置于门诊楼三层北侧区域，形成位置相对独立的医技功能集群，不毗邻产科、儿科、食堂等敏感部门，与门诊楼常规诊疗区及其他非放射性工作场所的患者流线不交叉，可有效减少放射性诊疗活动对普通患者的影响；导管室 DSA (3) 和加速器②室，工作场所设有独立固定机房，与周边非放射性工作场所通过墙体物理隔开，机房周边人员停留时间较短，机房大小、屏蔽物质厚度等符合相关标准要求。

本项目 50m 评价范围内，东北侧涉及极小部分的翡翠园别墅区、西侧涉及院外道

路培英路，其余部分均位于医院内。核医学科、导管室 DSA（3）、加速器②室工作场所均已通过建筑结构及屏蔽设计满足相关辐射防护标准要求。经防护设施、距离及楼内隔室墙体的共同衰减，项目运行期间对门诊楼内其他区域及周边环境的辐射影响可控。

综上所述，本项目辐射工作场所选址已充分考虑周边场所、上下楼层及人员分布情况，避开人群聚集区，诊疗流线清晰，防护条件、选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）等相关规范。

### 13.1.3 辐射安全与防护分析结论

#### （1）辐射安全设施

由辐射工作场所的辐射防护措施分析可知，医院 DSA、SPECT/CT 机房屏蔽墙体厚度、最小有效使用面积、最小单边长度等防护设施的技术要求总体上满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ 130—2020）中的相关要求。

本项目采取的屏蔽墙体、防护门和窗等有效屏蔽设施能满足辐射防护要求。场所布局较为合理，辐射工作场所控制区和监督区划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）的要求。同时本项目按《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）相关要求对屏蔽防护进行了设计，并设置相应放射防护措施；设有放射性废液衰变池、衰变桶、通风系统及活性炭过滤装置等三废处置设施；配备相应的个人防护用品以及应急及去污用品。本项目工作场所防护设施满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130—2020）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）等标准的要求。

#### （2）辐射安全管理

医院已成立辐射安全与防护管理委员会，已制定了较为完善的辐射安全管理制度和放射工作流程。本项目辐射工作人员均为新增人员，新进的辐射工作人员应及时在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加培训，经考核合格后方可上岗。在认真落实以上辐射安全管理制度的情况下，本项目辐射安全管理能够满足辐射安全管理要求。

### 13.1.4 环境影响评价结论

#### （1）辐射工作人员及公众年附加剂量

本项目核医学控制区外人员可达的各关注点剂量率均低于 2.5 $\mu$ Sv/h；控制区内的各关注点剂量率均低于 10 $\mu$ Sv/h；各手套箱外表面 5cm 处的剂量率低于 10 $\mu$ Sv/h，满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120—2020）的相关要求。本项目辐射工作人员、公众人员年有效剂量均符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）中“剂量限值”的要求，也低于本报告提出的剂量约束值（职业人员 5mSv/a，公众人员 0.1mSv/a）。

本项目 DSA 机正常运行时，机房周边各关注点剂量率均低于 2.5 $\mu$ Sv/h；保守考虑叠加影响的情况下，DSA 工作人员职业照射和公众照射的最大年有效剂量值均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871—2002）中关于“剂量限值”的要求。

根据理论计算可知，本项目医用电子直线加速器机房墙体（四周和顶棚）、防护门外 30cm 处及各敏感点均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121—2020）和《放射治疗机房辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2—2011）的相关要求。辐射工作人员、公众人员年有效剂量均低于《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021）提出的剂量约束值（职业人员 5mSv/a，公众人员 0.1mSv/a）。

## （2）事故影响

在严格落实本报告提出的各项防护措施及辐射事故应急预案的基础上，项目运行过程中可能发生的辐射事故造成的环境影响可控制在可接受水平内。

### 13.1.5 “三废” 处置措施

#### （1）施工期

项目施工期环境影响主要是施工噪声、扬尘、废水、固体废物等，拟采取以下措施：

- ①合理安排施工时间，采取消声降噪等措施，降低施工噪声影响。
- ②通过缩短施工时间、封闭施工、洒水等相关措施，降低施工扬尘影响。
- ③施工废水主要为混凝土养护水，产生量小，一般通过蒸发，不外排；施工人员生活污水主要依托现有设施（卫生间），通过下水管道排入医院污水处理设施处理达标后排放。
- ④建筑装饰垃圾由施工方统一交由有资质的渣土运输公司处置，包装纸箱等可回

收利用的施工废物料予以回收利用，其他部分分类收集后交由环卫部门清运；施工人员生活垃圾分类收集至相应的垃圾箱后交由环卫部门清运。

## (2) 运营期

### ①放射性废水

本建设项目拟设置 2 个放射性衰变池，1#衰变池位于门诊楼二层北侧；2#衰变池位于门诊楼西面的空地下。项目 I-131 治疗区域产生的放射性废水全部排入 1#衰变池，SPECT/CT 工作场所患者产生的放射性废水排往 2#衰变池，放射性废水经 2 个衰变池至少 10 个半衰期衰变，且符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871—2002）中相关要求后，均排入医院废水处理系统，对环境的影响较小。

### ②放射性废气

本项目工作场所设置 5 套独立通风系统，通风速率均不小于 1m/s，均设置防回风阀，各场所产生的放射性废气由支管道汇入主管道，通过注射室顶部原有的排风井直通楼顶，均经过楼顶的活性炭过滤装置处理后，由高出门诊楼屋脊的排放口排放，对环境的影响可接受。

### ③放射性固体废物

本项目使用后的注射器、棉签、棉球、擦拭废纸、一次性手套、一次性纸杯等非密封放射性物质污染的物品以及废弃 P-32 敷贴器，暂存于衰变桶内贮存衰变，待其放射性比活度低于国家放射性固体废物豁免标准以后，按医疗废物处理；本项目核医学科产生的剩余放射性药物交由厂家回收处理；活度达不到使用要求的废弃 Sr-90/Y-90 放射源等废源交由厂家回收处理；核医学科通风系统过滤装置更换下来的废活性炭，直接收集至衰变桶中，待其放射性比活度低于国家放射性固体废物豁免标准以后，按医疗废物交由有资质单位处理。本项目放射性固体废物在采取相应的储存措施后，对环境的影响满足相关要求。

## 13.1.7 总结论

福建医科大学附属第二医院东海院区核技术利用改扩建项目旨在改善患者就医环境，建设方案按照环境保护法规和有关辐射防护要求进行设计，建设过程严格按照设计方案进行施工，建筑施工质量能达到要求，并且落实本次评价对该项目提出的各项辐射防护要求及措施，则本项目正常运行时，对周围环境的影响能够符合辐射环境安全防护的要求，从环境保护和辐射防护角度论证，该项目是可行的。

## 13.2 建议和要求

(1) 本环评获批后，医院应及时在全国核技术利用辐射安全申报系统中更新射线装置台账，更新辐射安全许可证副本内容。

(2) 在设备安装的同时，应确保辐射防护设施和管理措施的建设，切实做到环境保护设施和主体工程“同时设计、同时施工、同时投产”。

(3) 根据《建设项目竣工环境保护验收管理办法》的规定，项目建成并试运行后，按照规定程序开展竣工环境保护验收。

(4) 医院操作人员的流动性，工作性质的交叉性使管理工作难度加大，因此应加强个人剂量及职业健康体检的管理，完善辐射工作人员职业健康监护档案。

(5) 新进的辐射工作人员应及时参加国家核技术利用辐射安全与防护培训，经考核合格后方可上岗

(6) 医院应及时停止查金顺医生现有辐射工作，并组织人员对其年总有效剂量超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871—2002）中辐射工作人员剂量管理值的情况进行详细的调查研究。若调查结果属实，医院应对其个人进行安全评价，并及时将查金顺医生调离原岗位。

(7) 医院及时组织并完成部分未体检的辐射工作人员进行职业健康体检，待体检结果正常后，方可继续从事放射工作。

(8) 医院应每年安排 1~2 次应急预案模拟演练，强化避险救治常识，以培训、演练相结合，提高合作、协同的应急能力。

(9) 不断加强医院的辐射安全管理工作，持续完善辐射安全管理制度，落实辐射安全管理责任。

## 表 14 审批

下一级环保部门预审意见	盖章
经办人	年 月 日
审批意见	盖章
经办人	年 月 日