

核技术利用建设项目

四川大学华西厦门医院核技术利用项目 环境影响报告表 (公开版)

厦门市卫生健康委员会

二〇二一年四月

环境保护部监制

表 1 项目基本情况

项目名称	四川大学华西厦门医院核技术利用项目				
建设单位	厦门市卫生健康委员会				
法人代表	姚*华	联系人	何*鑫	联系电话	166****5669
注册地址	福建省厦门市思明区同安路 2 号天鹭大厦				
项目建设地点	厦门市集美区沈海高速公路与杏锦路交叉口西南侧				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）	**	环保投资（万元）	**	投资比例	**%
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积（m ² ）	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input checked="" type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
	射线装置	<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
		<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

根据《“美丽厦门”战略规划》中健康生活行动计划的要求，落实重点民生工作，积极推进厦门市基本公共服务体系建设实施计划，抓紧完善教育、医疗卫生、文化体育等基本公共服务配套，新增社会事业项目和优质公共服务资源优先布局东部市级中心、岛外新城和农村地区。随着厦门市集美区及集美新城社会经济的快速发展，人口也将较快增长，现有医院的规模和医疗卫生水平无法满足人民群众日益增长的医疗卫生需求。

2019 年 8 月厦门市卫生健康委员会与四川大学签订战略合作协议，双方将在厦门合作共建四川大学华西厦门医院。厦门市卫生健康委员会负责四川大学华西厦门医院项目的统筹实施和总体建设，项目建设后将整体移交给四川大学华西厦门医院运营和管理。

四川大学华西厦门医院项目选址厦门市集美区沈海高速公路与杏锦路交叉口西南侧，该项目定位为国内一流的集医疗、教学和科研为一体的三级甲等综合性医院，医院将引进不少于 5 个四川大学附属医院国家临床重点专科，打造区域性医疗高地和疑难重

症诊疗中心。四川大学华西厦门医院项目已履行了环评手续，并于2019年12月20日取得了厦门市生态环境局《关于四川大学华西厦门医院环境影响报告书的批复》（厦环审[2019]147号），批复详见附件2。四川大学华西厦门医院总用地面积105178.063m²，总建筑面积263520.00m²，其中地上建筑面积150940.00m²，地下建筑面积112580.00m²，总设置床位1000张，机动车停车位2302辆。主要建设内容包括：综合性医院七大功能（门急诊、住院、医技、保障、行政管理、院内生活）、大型医疗设备、教学与科研、预防保健用房、华西厦门研究院、附属配套设施、地下停车、室外工程等，目前正在建设中。

1.2 建设内容与项目由来

1.2.1 建设内容

为了满足广大患者的就医需求，保障病人健康，以及医院发展需要，四川大学华西厦门医院拟开展放疗科项目、核医学科项目、介入手术项目。本次评价项目的具体内容如下：

（一）放疗科项目

①拟在地下负二层放疗科新建4间直线加速器机房（1~4），拟购置医用电子直线加速器4台（X射线≤10MV；电子线≤15MeV）；

②拟在地下负二层放疗科新建1间后装机房，拟购置1台¹⁹²Ir近距离后装治疗机（以下简称“后装机”），含1枚III类¹⁹²Ir放射源（ 3.7×10^{11} Bq）。

（二）核医学科项目

建设单位拟于地下负一层建设核医学科项目，根据“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”中满足以下特点的放射性药物生产、使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：①有相对独立、明确的监督区和控制区划分；②工艺流程连续完整；③有相对独立的辐射防护措施。本次核医学科项目分为3个乙级非密封放射性物质工作场所。

（1）回旋加速器制药工作场所

拟在医院地下负一层核医学科回旋加速器制药区域新建1间回旋加速器机房及其配套用房，拟购置1台自屏蔽式回旋加速器，为II类射线装置，拟生产PET用正电子核素¹⁸F、¹⁵O、¹³N、⁶⁴Cu，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

（2）PET工作场所

拟购置1台PET-CT和1台PET-MR，拟利用⁶⁸Ga、¹⁸F、¹⁵O、¹³N、⁶⁴Cu正电子核素进

行医学显像诊断，其中 ^{18}F 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 核素为医院回旋加速器生产，不外购。 ^{68}Ga 核素为向有资质单位采购；拟使用4枚活度为 $5.55 \times 10^7 \text{Bq}$ 的 ^{68}Ge （V类放射源）用于PET校准使用。PET工作场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。

（3）SPECT工作场所

①拟购置2台SPECT-CT，拟利用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 作为显像剂进行医学显像诊断， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 是钼铈发生器淋洗产生；拟使用4枚活度为 $1.17 \times 10^8 \text{Bq}$ 的 ^{57}Co （V类放射源）用于SPECT校准使用；

②拟利用 ^{89}Sr 开展骨转移癌治疗、利用 ^{177}Lu 开展前列腺癌治疗；

③拟利用 ^{131}I 开展肾功能检查，使用肾图仪连续采集，记录肾脏灌注、聚集和排出放射性药物的过程、形成的时间、放射性活度曲线，称为放射性肾图。

SPECT工作场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目配套设有1个放射性废水衰变池用于核医学科区域所产生的放射性废水，放射性废水衰变池位于地下负二层，衰变池为3个并联的衰变槽，每个衰变槽容积 5m^3 。

（三）介入手术项目

（1）DSA 介入手术项目

①拟在医技中心三层介入中心建设6间DSA介入手术室，拟购置6台DSA；

②拟在医技中心三层手术中心建设2间DSA杂交手术室，拟购置2台DSA；

③拟在医技中心四层手术中心建设1间DSA杂交手术室、1间DSA介入手术室，拟购置2台DSA。

上述10台DSA均属II类射线装置。

（2）ERCP 介入手术项目

拟在医技中心二层内镜中心建设1间ERCP机房，拟购置1台ERCP。

根据《关于发布射线装置分类办法的公告》（国家环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告2017年第66号）对射线装置的分类，ERCP属于医用诊断X射线装置，属于用于开展非血管造影用X射线装置，手术医生会在ERCP机房内进行同室曝光操作，考虑同室操作对医务人员的影响，ERCP纳入II类射线装置管理。

综上：四川大学华西厦门医院核技术利用项目含16台II类射线装置，3台III类射线装置，1枚III类放射源，8枚V类放射源，3个乙级非密封放射性物质工作场所。

本次环评涉及密封源情况见表1-1，非密封放射性物质情况见表1-2和表1-3，射线装置情况见表1-4。

表 1-1 本项目密封源一览表

序号	核素名称	放射性活度 (Bq)	数量	用途	使用场所	类别
1	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹¹	1 枚	放射治疗	地下负二层后装机房	III 类
2	⁶⁸ Ge	5.55×10 ⁷	4 枚	PET 校准源	地下负一层核医学科	V 类
3	⁵⁷ Co	1.17×10 ⁸	4 枚	SPECT 校准源	地下负一层核医学科	V 类

表 1-2 本项目非密封放射性物质一览表 (生产)

序号	核素名称	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	使用场所	用途
1	¹⁸ F	7.4×10 ¹⁰	7.4×10 ⁸	合计: 1.24×10 ⁹ (乙级)	地下负一层核医学科回旋加速器场所	正电子药物合成
2	¹⁵ O	3.7×10 ¹⁰	3.7×10 ⁸			
3	¹³ N	1.11×10 ¹⁰	1.11×10 ⁸			
4	⁶⁴ Cu	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁷			
				1.85×10 ¹³		
				9.25×10 ¹²		
				2.78×10 ¹²		
				4.63×10 ¹¹		

注: 回旋加速器生产制备的正电子药物全部用于医院核医学科, 不外售。

表 1-3 本项目非密封放射性物质一览表 (使用)

序号	核素名称	日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	使用场所	用途
1	¹⁸ F	9.25×10 ⁹	9.25×10 ⁶	合计: 3.885×10 ⁷ (乙级)	地下负一层核医学科 PET 工作场所	显像诊断
2	¹⁵ O	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁶			
3	¹³ N	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁶			
4	⁶⁴ Cu	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁶			
5	⁶⁸ Ga	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁶			
6	^{99m} Tc	4.63×10 ¹⁰	4.63×10 ⁷	合计: 1.59×10 ⁸ (乙级)	地下负一层核医学科 SPECT 工作场所	显像诊断
7	⁹⁹ Mo	4.63×10 ¹⁰	4.63×10 ⁷			淋洗生产 ^{99m} Tc
8	⁸⁹ Sr	2.96×10 ⁸	2.96×10 ⁷			骨癌治疗
9	¹⁷⁷ Lu	3.7×10 ⁸	3.7×10 ⁷			前列腺治疗
10	¹³¹ I	2.5×10 ⁶	2.5×10 ⁵			肾功能检查
				2.31×10 ¹²		
				1.85×10 ¹¹		
				1.85×10 ¹¹		
				1.85×10 ¹¹		
				1.85×10 ¹¹		
				1.16×10 ¹³		
				1.16×10 ¹³		
				7.4×10 ¹⁰		
				9.25×10 ¹⁰		
				6.25×10 ⁸		

表 1-4 本项目射线装置情况一览表

序号	设备名称	数量 (台)	型号	类别	设备参数	设备位置	应用目的
1	直线加速器	4	待定	II 类	X 射线: ≤10MV 电子线: ≤15MeV	地下负二层 直线加速器机房 (1~4)	放射治疗
2	回旋加速器	1	待定	II 类	质子: ≤20MeV 束流: ≤150μA	地下负一层 回旋加速器机房	生产 PET 用核素
3	DSA	6	待定	II 类	管电压: ≤125kV 管电流: ≤1000mA	医技中心三层介入中心 DSA 介入手术室 (1~6)	介入治疗
4	DSA	2	待定	II 类	管电压: ≤125kV 管电流: ≤1000mA	医技中心三层手术中心 DSA 杂交手术室 (4~5)	介入治疗
5	DSA	1	待定	II 类	管电压: ≤125kV 管电流: ≤1000mA	医技中心四层手术中心 DSA 杂交手术室 6	介入治疗
6	DSA	1	待定	II 类	管电压: ≤125kV 管电流: ≤1000mA	医技中心四层手术中心 DSA 介入手术室 5	介入治疗
7	PET-CT	1	待定	III 类	管电压: ≤140kV 管电流: ≤800mA	地下负一层核医学科 PET-CT 机房	显像诊断

8	SPECT-CT	2	待定	III类	管电压: ≤140kV 管电流: ≤800mA	地下负一层核医学科 SPECT-CT机房(1~2)	显像 诊断
9	ERCP	1	待定	II类	管电压: ≤150kV 管电流: ≤1000mA	医技中心二层内镜中心 ERCP机房	介入 治疗

1.2.2 项目由来

根据《关于发布<射线装置分类>的公告》(环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告2017年第66号)对射线装置的分类,本项目医用直线加速器、回旋加速器、DSA属于II类射线装置,ERCP属于医用诊断X射线装置,属于用于开展非血管造影用X射线装置,手术医生会在ERCP机房内进行同室曝光操作,考虑同室操作对医务人员的影响,纳入II类射线装置管理,PET-CT和SPECT-CT属于III类射线装置;根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录C非密封源工作场所的分级规定,本评价项目为乙级非密封放射性工作场所;根据《关于发布放射源分类办法的公告》(国家环境保护总局公告2005年第62号),本项目拟使用的¹⁹²Ir放射源属于III类放射源,⁶⁸Ge、⁵⁷Co放射源属于V类放射源。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(修订本)(国务院令第653号)、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定,生态环境部部令第20号)、《建设项目环境影响评价分类管理名录》(2021年版,生态环境部部令第16号)等国家环境管理相关法律法规的规定,四川大学华西厦门医院核技术利用项目应进行环境影响评价并编制辐射环境影响报告表

厦门市卫生健康委员会于2020年6月正式委托江西省核工业地质局测试研究中心进行本项目环境影响评价(委托书详见附件1)。江西省核工业地质局测试研究中心则立即组织人员进行现场踏勘和资料收集等相关工作,在此基础上编制完成了本项目的辐射环境影响报告表。

1.3 项目地理位置及周边环境

本项目位于厦门市集美区沈海高速公路与杏锦路交叉口西南侧四川大学华西厦门医院,地理坐标为:北纬24°36'15.44",东经118°2'9.64"。四川大学华西厦门医院东侧为杏锦路,南侧为锦园西路,西侧为九天湖路,北侧为锦亭北路。

本项目地理位置见图1-1,四川大学华西厦门医院总平面布置图见图1-2,四川大学华西厦门医院效果图见图1-3,本项目外环境关系图见图1-4,本项目区域现状照片见图1-5。

(一) 放疗科布局

本项目 4 台直线加速器和 1 台后装机位于地下负二层北侧中部，4 间加速器机房从西往东依次并列设置，加速器机房东侧为过道、核医学科衰变池，南侧为放疗科区域，西侧为停车场区域，北侧为停车场区域，正上方为无人夹层和院内道路，下方为土层；后装机房东侧为控制室、过道，南侧为准备室，西侧为过道，北侧为过道，正上方为配电间、纯水间、淋浴间，下方为土层。项目周边场所布置见表 1-5，地下负二层放疗科平面布置图见图 1-6。

表 1-5 加速器机房和后装机房周边场所布置一览表

机房	东侧	南侧	西侧	北侧	楼上	楼下
加速器机房 1	加速器机房 2	候诊区、更衣室、楼梯间	过道	过道	无人夹层、院内道路	土层
加速器机房 2	加速器机房 3	休息室、更衣室、候诊区	加速器机房 1	过道	无人夹层、院内道路	土层
加速器机房 3	加速器机房 4	更衣室、候诊区	加速器机房 2	过道	无人夹层、院内道路	土层
加速器机房 4	过道	暂存室、更衣室、候诊区	加速器机房 3	过道	无人夹层、院内道路	土层
后装机房	控制室、过道	准备室、器械洗消间	过道	过道	配电间、纯水间、淋浴间	土层

(二) 核医学科布局

核医学科工作场所位于地下一层北侧中部，核医学科工作场所可分为回旋加速器制药工作场所、PET 工作场所和 SPECT 工作场所。

回旋加速器制药工作场所包括回旋加速器机房、药物合成室、物料准备间、质控打包间、缓冲、穿衣手消、脱衣洗手、无菌检测、全检质控室、阳性对照、一更、二更、洁具、淋浴、洁净过道、整衣、准备等。

PET 工作场所包括患者过道、冲淋、一更、二更、配药分装、注射区、注射室、废药间、VIP 候诊区、VIP 注射后休息室、PET-MRI 注射后休息室 1~2、PET-CT 注射后休息室 1~3、PET-MRI 机房、PET-CT 机房、控制室、抢救室、VIP 留观室、PET-MRI 留观室、PET-CT 留观室等。

SPECT 工作场所包括患者过道、冲淋、一更、二更、配药分装、注射区、注射室、废药间、注射后休息室、陪诊室、SPECT-CT 机房 1~2、控制室、留观室、抢救室、肾图室等。

(三) 介入手术项目布局

(1) DSA 介入手术项目

本项目 10 间 DSA 机房位于医技中心三层、四层。医技中心东侧为综合医学中心，南侧为院内道路和锦园西路，西侧为妇女儿童医学中心、口腔医学中心，北侧为院内道路和锦亭北路。

介入中心位于医技中心三层北侧，介入中心设有 6 间 DSA 介入手术室（1~6），DSA 介入手术室（1~3）从西向东依次设置，DSA 介入手术室（4~6）和 DSA 介入手术室（1~3）南北对称设置；手术中心位于医技中心三层和四层，手术中心三层设有 2 间 DSA 杂交手术室（4~5）、四层手术中心设有 1 间 DSA 介入手术室 5，1 间 DSA 杂交手术室 6。项目周边场所布置见表 1-6。

表 1-6 DSA 机房周围场所布置一览表

科室	机房	东侧	南侧	西侧	北侧	楼上	楼下
医技中心三层介入中心	DSA 介入手术室 1	设备间	过道	过道	控制廊	过道、耗材间、示教室	过道、更衣室
	DSA 介入手术室 2	DSA 介入手术室 3	过道	设备间	控制廊	过道、诊室	过道、细胞学室
	DSA 介入手术室 3	设备间、准备间	患者通道	DSA 介入手术室 2	控制廊	过道、诊室	过道、病理切片室
	DSA 介入手术室 4	设备间	控制廊	过道	过道	实验室、诊室	过道、超声介入
	DSA 介入手术室 5	DSA 介入手术室 6	控制廊	设备间	过道	配血室、入库处理、诊室	过道、病房
	DSA 介入手术室 6	设备间、准备间	控制廊	DSA 介入手术室 5	过道	储血室、诊室	过道、病房
医技中心三层手术中心	DSA 杂交手术室 4	过道	设备间、控制室、机房	过道	过道	过道、设备间 DSA 杂交手术室 6	过道、术后恢复、EPCP 机房
	DSA 杂交手术室 5	过道	机器人手术室（OR5）	过道	设备间、控制室、机房	预麻室、过道	过道、试剂准备间、样品制备间
医技中心四层手术中心	DSA 杂交手术室 6	设备间、控制室	过道	杂交手术室（OR7）、机房	过道	净化机房	苏醒室、过道
	DSA 介入手术室 5	仪器室、护士站	过道	设备间、无菌库房	控制室、过道	净化机房	机房、过道

(2) ERCP 介入手术项目

本项目 ERCP 机房位于医技中心二层内镜中心。

表 1-7 ERCP 机房周围场所布置一览表

机房	东侧	南侧	西侧	北侧	楼上	楼下
医技中心二层内镜中心 ERCP 机房	术后恢复室	控制室、设备间	胶囊室	患者通道	DSA 杂交手术室 4、机房	输液室、控制廊

综上所述，四川大学华西厦门医院项目选址周围 50 米范围无中小学、居民区等环境

敏感区。各核技术利用项目工作场所周边主要为控制室、设备间、通道等，属人员很少经过和逗留区域，辐射工作场所分布相当集中，方便医院辐射安全分区管理，限制无关人员进入控制区及限制在监督区逗留，从环境保护和辐射防护角度考虑，项目选址可行。

1.4 评价目的

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

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

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

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



图 1-1 本项目地理位置图



图1-2 四川大学华西厦门医院总平面布置图



图1-3 四川大学华西厦门医院效果图

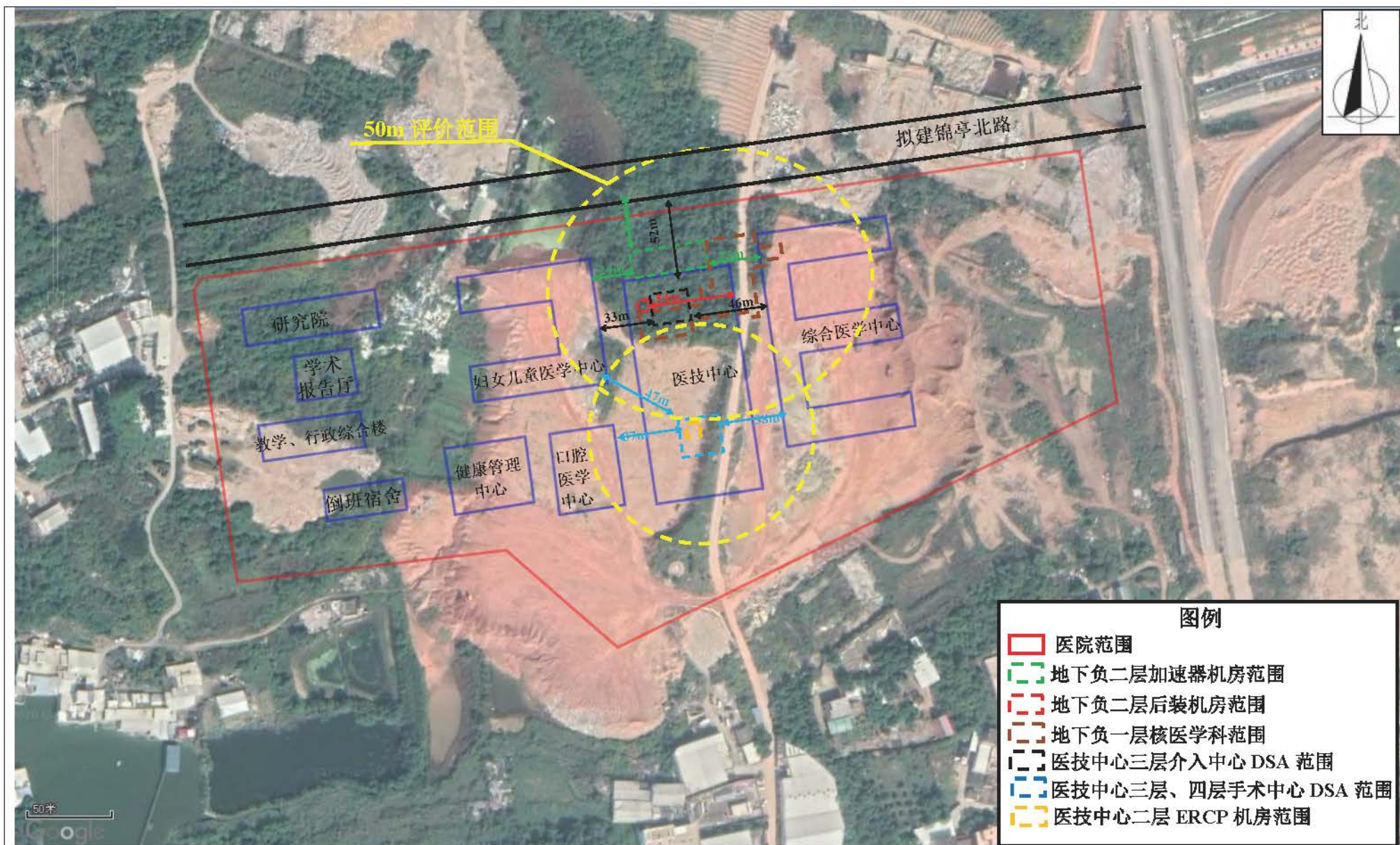


图1-4 四川大学华西厦门医院外环境关系图



医技中心现状



医技中心西侧拟建综合医学中心现状



医技中心东侧杏锦路现状



医技中心南侧锦园西路现状



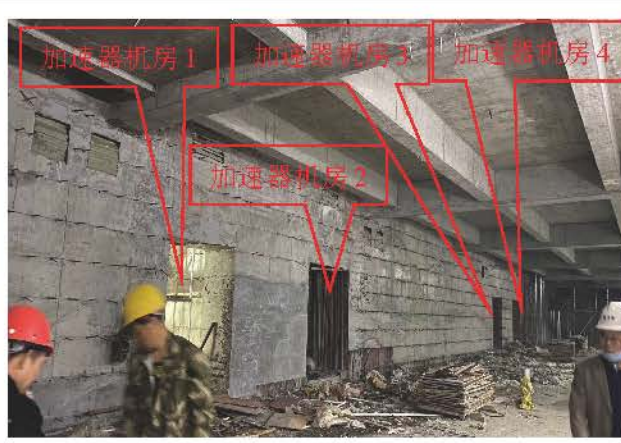
医技中心西侧拟建口腔医学中心现状



医技中心西侧拟建妇女儿童医学中心现状



医技中心北侧拟建院内道路现状



地下负二层拟建加速器机房位置



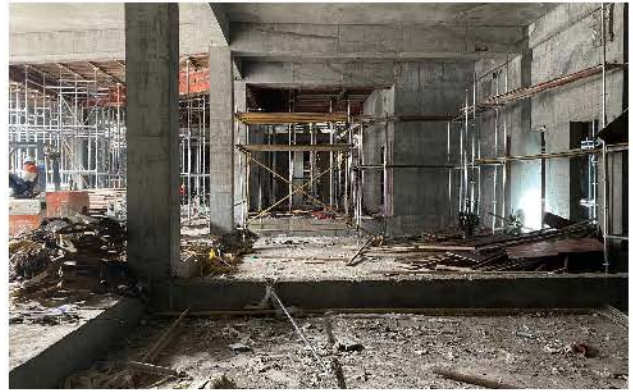
地下负二层拟建后装机房位置



地下负一层拟建核医学科 SPECT 工作场所现状



地下负一层拟建核医学科 PET 工作场所现状



地下负一层拟建核医学科回旋加速器工作场所现状



医技中心一层现状



医技中心二层现状



医技中心三层现状



医技中心四层现状

图 1-5 本项目区域现状照片

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	¹⁹² Ir	3.7×10 ¹¹ ×1 枚	III 类	使用	放射治疗	地下负二层后装机房	密封安装在后装机机头内	/
2	⁶⁸ Ge	5.55×10 ⁷ ×4 枚	V 类	使用	PET 校准	地下负一层核医学科	注射区储药柜	/
3	⁵⁷ Co	1.17×10 ⁸ ×4 枚	V 类	使用	SPECT 校准	地下负一层核医学科	注射区储药柜	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	¹⁸ F	液态, 低毒	生产	7.4×10 ¹⁰	7.4×10 ⁸	1.85×10 ¹³	生产 PET 显像用药物 (分装)	简单操作	回旋加速器区药物合成室	回旋加速器区药物合成室通风橱
2	¹⁵ O	液态, 低毒	生产	3.7×10 ¹⁰	3.7×10 ⁸	9.25×10 ¹²		简单操作		
3	¹³ N	液态, 低毒	生产	1.11×10 ¹⁰	1.11×10 ⁸	2.78×10 ¹²		简单操作		
4	⁶⁴ Cu	液态, 低毒	生产	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁷	4.63×10 ¹¹		简单操作		
5	¹⁸ F	液态, 低毒	使用	9.25×10 ⁹	9.25×10 ⁶	2.31×10 ¹²	PET 显像诊断	很简单的操作	地下负一层核医学科 PET 区域	地下负一层核医学科 PET 区域注射区通风橱
6	¹⁵ O	液态, 低毒	使用	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁶	1.85×10 ¹¹		简单操作		
7	¹³ N	液态, 低毒	使用	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁶	1.85×10 ¹¹		简单操作		
8	⁶⁴ Cu	液态, 低毒	使用	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁶	1.85×10 ¹¹		简单操作		
9	⁶⁸ Ga	液态, 低毒	使用	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁶	1.85×10 ¹¹		简单操作		
10	^{99m} Tc	液态, 低毒	使用	4.63×10 ¹⁰	4.63×10 ⁷	1.16×10 ¹³	SPECT 显像诊断	很简单的操作	地下负一层核医学科 SPECT 区域	地下负一层核医学科 SPECT 区域注射区通风橱
11	⁹⁹ Mo	液态, 中毒	使用	4.63×10 ¹⁰	4.63×10 ⁷	1.16×10 ¹³	淋洗生产 ^{99m} Tc	贮存		
12	⁸⁹ Sr	液态, 中毒	使用	2.96×10 ⁸	2.96×10 ⁷	7.4×10 ¹⁰	骨癌治疗	简单操作		
13	¹⁷⁷ Lu	液态, 中毒	使用	3.7×10 ⁸	3.7×10 ⁷	9.25×10 ¹⁰	前列腺治疗	简单操作		
14	¹³¹ I	液态, 中毒	使用	2.5×10 ⁶	2.5×10 ⁵	6.25×10 ⁸	肾功能检查	简单操作		

注：日等效最大操作量和操作方式见国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（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”

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	直线加速器	II类	4	待定	电子	X射线：≤10MV、 电子线：≤15MeV	≤24Gy/min	放射治疗	地下负二层 放疗科加速器机房 (1~4)	/
2	回旋加速器	II类	1	待定	质子	≤20MeV	≤150μA	PET 药物 生产	地下负一层核医学科 回旋加速器机房	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	数字平板减影血管造影机(DSA)	II类	6	待定	≤125kV	≤1000mA	介入治疗	医技中心三层介入中心 DSA 介入手术室 (1~6)	/
2	数字平板减影血管造影机(DSA)	II类	2	待定	≤125kV	≤1000mA	介入治疗	医技中心三层手术中心 DSA杂交手术室 (4~5)	/
3	数字平板减影血管造影机(DSA)	II类	1	待定	≤125kV	≤1000mA	介入治疗	医技中心四层手术中心 DSA杂交手术室6	/
4	数字平板减影血管造影机(DSA)	II类	1	待定	≤125kV	≤1000mA	介入治疗	医技中心四层手术中心 DSA介入手术室5	/
5	内镜下逆行胰胆管造影术 (ERCP)	II类	1	待定	≤150kV	≤1000mA	介入治疗	医技中心二层内镜中心 ERCP机房	
6	PET-CT	III类	1	待定	≤140kV	≤800mA	显像诊断	地下负一层核医学科 PET-CT机房	/
7	SPECT-CT	III类	2	待定	≤140kV	≤800mA	显像诊断	地下负一层核医学科 SPECT-CT机房 (1~2)	/

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
废旧密封源	固体	^{192}Ir	小于 2Ci	/	/	/	/	由生产厂家回收或送福建省城市低放废物库贮存
废旧密封源	固体	^{57}Co 、 ^{68}Ge	小于 出厂活度	/	/	/	/	由生产厂家回收或送福建省城市低放废物库贮存
直线加速器废靶、辅助过滤器等部件	固体	/	/	/	/	/	/	由生产厂家回收或送福建省城市低放废物库贮存
废气	气态	O_3 、 NO_x	/	/	极少量	极低浓度	/	经排气系统排至室外，臭氧在 20~30 分钟可自动分解
直线加速器放射性废水	液态	^{15}O 、 ^{13}N	/	/	极少量	极低浓度	/	冷却水循环用，不外排
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	^{18}F 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	/	/	贮存在放射性废液衰变池中。	在衰变池中经过 10 个半衰期以上衰变经检测达标后，排入污水管网。

放射性固体废物 (一次性塑料手套、注射器、活性炭、废钼铯发生器 等)	固态	¹⁸ F、 ¹⁵ O、 ¹³ N、 ⁶⁴ Cu、 ⁶⁸ Ga、 ^{99m} Tc、 ⁸⁹ Sr、 ¹⁷⁷ Lu、 ¹³¹ I	/	/	/	/	固体废物 包扎好编 好日期后 贮存在铅 制固体废 物桶中。	贮存至少 10 个半衰期以 上、经检测其 活度浓度满 足《医用放射 性废物的卫 生防护管理》 (GBZ133-2 009) 中的相 关要求后作 为普通医疗 垃圾处理。废 活性炭交有 资质单位处 理。
放射性 废气	气态	¹⁸ F、 ¹⁵ O、 ¹³ N、 ⁶⁴ Cu、 ⁶⁸ Ga、 ^{99m} Tc、 ⁸⁹ Sr、 ¹⁷⁷ Lu、 ¹³¹ I	/	/	通风橱内产生的微量放射性气体,在正 常情况下,通风橱排出废气的放射性活 度很小。		通过通风橱专 用排风管道排 出,经活性炭 吸附后在屋顶 高出屋脊排 放。	
/	/	/	/	/	/	/	/	

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

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

表 6 评价依据

<p>法律、 法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，（2014年4月24日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订，2015年1月1日起施行）；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（中华人民共和国主席令第二十四号，2018年12月29日起施行）；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（中华人民共和国主席令第六号，2003年10月1日起施行）；</p> <p>(4) 《国务院关于修改<建设项目环境保护管理条例>的决定》（国务院令682号，2017年10月1日起实施）；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（中华人民共和国国务院令709号，2019年修订）；</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版，生态环境部部令16号）；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定，生态环境部部令20号）；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（国家环境保护部令18号，2011年5月1日起施行）；</p> <p>(9) 《关于印发辐射安全许可座谈会会议纪要的函》（环办函〔2006〕629号，2006年9月28日印发）；</p> <p>(10) 《关于明确核技术利用辐射安全监督有关事项的通知》（中华人民共和国环境保护部，环办辐射函〔2016〕430号）；</p> <p>(11) 《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环境保护总局公告2005年第62号）；</p> <p>(12) 《关于发布射线装置分类办法的公告》（国家环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告2017年第66号，2017年12月6日期实行）；</p> <p>(13) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发〔2006〕145号，2006年9月26日）；</p> <p>(14) 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>(15) 《福建省环境保护管理条例》（福建省第十一届人民代表大会常务委员会第29次会议通过，2012年3月31日实行）。</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》 (HJ10.1-2016) ;</p> <p>(2) 《环境地表γ辐射剂量率测定规范》 (GB/T14583-93) ;</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》 (HJ/T61-2001) ;</p> <p>(4) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB18871-2002) ;</p> <p>(5) 《放射诊断放射防护要求》 (GBZ130—2020) ;</p> <p>(6) 《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>(7) 《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) ;</p> <p>(8) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分: γ射线源放射治疗机房》 (GBZ/T 201.3-2014) ;</p> <p>(9) 《后装γ源近距离治疗卫生防护要求》 (GBZ121-2017) ;</p> <p>(10) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》 (GBZ126-2011) ;</p> <p>(11) 《10MeV~20MeV 范围内固定能量强流质子回旋加速器》 (GB/T 34127-2017);</p> <p>(12) 《临床核医学放射卫生防护标准》 (GBZ 120-2006) ;</p> <p>(13) 《医用放射性废物的卫生防护管理》 (GBZ133-2009);</p> <p>(14) 《操作非密封源的辐射防护规定》 (GB 11930-2010) ;</p> <p>(15) 《密封放射源及密封γ放射源容器的放射卫生防护标准》 (GBZ 114-2006);</p> <p>(16) 《医疗机构水污染物排放标准》 (GB 18466-2005) ;</p> <p>(17) 《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>(18) 《职业性外照射个人监测规范》 (GBZ128-2019) ;</p> <p>(19) 《环境空气质量标准》 (GB3095-2012) ;</p> <p>(20) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》 (HJ 2.1-2016) 。</p>
------	--

其他	<p>(1) 委托书（附件1）；</p> <p>(2) 《中国环境天然放射性水平》（国家环境保护局，1995年）；</p> <p>(3) 现状监测报告；</p> <p>(4) 其他技术资料。</p>
----	---

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本次项目为使用 II 类、III 类射线装置，使用 III 类、V 类密封源，制备 PET 用放射性药物，使用乙级非密封放射性物质工作场所，依据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016），考虑项目的实际情况，本次项目评价范围为各辐射工作场所实体屏蔽墙体外周边 50m 范围。

7.2 保护目标

根据对本项目周围环境的现场踏勘和调查，本项目各辐射工作场所实体屏蔽墙体外周边 50m 范围内无学校等环境敏感区域，因此本项目的环境保护目标主要为医院职业工作人员和公众人员，医院职业工作人员包括直线加速器操作人员、后装机操作人员、核医学科工作人员、DSA 操作人员和 DSA 介入人员、ERCP 操作人员和 ERCP 介入人员，公众人员包括医院工作人员、病人、陪护人员以及医院外流动人员。结合本项目外环境关系图 1-4，本项目区域现状照片图 1-5，本项目核技术利用工作场所周边具体环境保护目标见下表 7-1。

表 7-1 环境保护目标一览表

环境保护对象		相对方位	距离	规模	剂量约束值	
职业工作人员	加速器机房 (1~4)	直线加速器操作人员	加速器机房南侧控制室	≥2m	16 人	5mSv/a
	后装机房	后装机操作人员	后装机房东侧控制室	≥0.3m	3 人	
	核医学科	回旋加速器操作人员	回旋加速器机房北侧控制室	≥0.3m	2 人	
			回旋加速器工作场所	--	4 人	
		PET 工作人员	PET 工作场所	--	15 人	
		SPECT 工作人员	SPECT 工作场所	--	12 人	
	介入中心 DSA 介入手术室 (1~6)	操作人员	DSA 介入手术室 (1~3) 北侧控制室	≥0.3m	6 人	
			DSA 介入手术室 (4~6) 南侧控制室	≥0.3m	6 人	
		介入人员	DSA 介入手术室内	--	24 人	
	手术中心 DSA 杂交手术室 (4~6)	操作人员	DSA 杂交手术室 4 南侧控制室	≥0.3m	2 人	
			DSA 杂交手术室 5 北侧控制室	≥0.3m	2 人	
			DSA 杂交手术室 6 东侧控制室	≥0.3m	2 人	
		介入人员	DSA 杂交手术室内	--	12 人	
	手术中心 DSA 介入手术室 5	操作人员	DSA 介入手术室 5 北侧控制室	≥0.3m	2 人	
介入人员		DSA 介入手术室内	--	4 人		
内镜中心	操作人员	ERCP 机房南侧控制室	≥0.3m	2 人		

	ERCP 机房	介入人员	ERCP 机房内	--	4 人	
公众人员	加速器 机房 (1~4)	病人、 陪护人员、 医院工作人 员及医院外 流动人员	地下负二层评价范围内区域	$\geq 0.3\text{m}$	约 100 人	0.25mSv/a
			加速器机房上方 地下负一层评价范围内区域	$\geq 5\text{m}$	约 100 人	
			加速器机房上方医技中心	$\geq 10\text{m}$	约 500 人	
			加速器机房东侧综合医学中心	$\geq 33\text{m}$	约 500 人	
			加速器机房西侧 妇女儿童医学中心	$\geq 24\text{m}$	约 300 人	
			加速器机房北侧拟建锦亭北路	$\geq 30\text{m}$	流动人员	
	后装机房	病人、 陪护人员及 医院工作人 员	地下负二层评价范围内区域	$\geq 0.3\text{m}$	约 100 人	
			后装机房上方 地下负一层评价范围内区域	$\geq 5\text{m}$	约 100 人	
			后装机房上方医技中心	$\geq 10\text{m}$	约 400 人	
			后装机房西侧妇女儿童医学中心	$\geq 24\text{m}$	约 100 人	
	核医学科	病人、 陪护人员、 医院工作人 员及医院外 流动人员	核医学科下方 地下负二层评价范围内区域	$\geq 5\text{m}$	约 100 人	
			地下负一层评价范围内区域	$\geq 0.3\text{m}$	约 100 人	
			核医学科上方医技中心	$\geq 5\text{m}$	约 500 人	
			核医学科上方综合医学中心	$\geq 5\text{m}$	约 500 人	
			核医学科西侧妇女儿童医学中心	$\geq 24\text{m}$	约 400 人	
			核医学科北侧拟建锦亭北路	$\geq 30\text{m}$	流动人员	
	医技中心 三层介入 中心 DSA 介入手术 室 (1~6)	病人、 陪护人员及 医院工作人 员	医技中心评价范围内区域	$\geq 0.3\text{m}$	约 500 人	
			DSA 介入手术室 东侧综合医学中心	$\geq 46\text{m}$	约 500 人	
			DSA 介入手术室 西侧妇女儿童医学中心	$\geq 33\text{m}$	约 400 人	
	医技中心 三层、四层 手术中心 DSA 杂交 手术室 (4~6)、 DSA 介入 手术室 5、 医技中心 二层内镜 中心 ERCP 机房	病人、 陪护人员及 医院工作人 员	医技中心评价范围内区域	$\geq 0.3\text{m}$	约 500 人	
			机房东侧综合医学中心	$\geq 38\text{m}$	约 500 人	
机房西侧口腔医学中心			$\geq 37\text{m}$	约 200 人		
机房西北侧妇女儿童医学中心			$\geq 47\text{m}$	约 500 人		

7.3 评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

包括公众照射、职业照射剂量限值和剂量约束值；放射性废水总量排放标准； β 表面污染限值；放射性核素治疗患者体内放射性残留量出院标准。

①剂量限制

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

B1 剂量限值

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a) 由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv。
本项目取其四分之一即5mSv作为剂量约束值。

B1.2.1 剂量限值

- b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；
- c) 眼晶体的年当量剂量，150mSv；
- d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

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：

a) 年有效剂量，1mSv。

本项目取其四分之一即0.25mSv作为剂量约束值。

②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7-2所列。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平

表 面 类 型	β放射性物 (Bq/cm ²)	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜	4×10 ⁻¹	
1) 该区内的低污染子区除外		

③非密封源工作场所的分级

非密封源工作场所的分级应按附录C（标准的附录）的规定进行。

C1 应按表7-3将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表7-3 非密封源工作场所的分级

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

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，公式如下：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性组别修正因子}}{\text{操作方式与放射源状态修正因子}}$$

④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，并应每次排放做好记录：

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。

⑤患者剂量约束

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》第 7.4.3 款给出了核医学诊断的医疗照射指导水平。

第 7.4.4.3 款规定：接受放射性核素治疗的患者应在其体内的放射性物质的活度降至一定水平后才能出院，以控制其家属与公众成员可能受到的照射。

二、《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）

4.3.3 宽束辐射有用束对应的机房屏蔽为主屏蔽区，其范围应略大于有用束在机房屏蔽墙（或顶）的投影区，可按下列式确定：

$$Y_p = 2[a + SAD] \cdot \tan \theta + 0.3$$

式中： Y_p ——机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD——源轴距，m；

θ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

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

三、《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）

治疗室的防护要求：

（1）治疗室选址、场所布局和防护设计应满足GB 18871的要求，保障职业场所和周围环境安全。

（2）有用线束直接投照的防护墙（包括顶棚）按初级辐射屏蔽要求设计，其余墙壁按次级辐射屏蔽要求设计，辐射屏蔽设计应符合GBZ/T 201.1的要求。

（3）在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外30cm处的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

（4）穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。

（5）X射线能量超过10MV的加速器，屏蔽设计应考虑中子辐射防护。

（6）治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。

（7）治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于 45m^2 。

（8）治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门应与加速器联锁。

（9）相关位置（例如治疗室入口处上方等）应安装醒目的指示灯及辐射标志。

（10）治疗室通风换气次数应不小于4次/h。

四、《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房》（GBZ/T 201.2-2011）

4.2 剂量控制要求

4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率应不大于下述a)、b)和c)所确定的剂量率参

考控制水平：

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，由以下周剂量参考控制水平（ H_c ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平（ $\mu\text{Sv/h}$ ）：

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

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

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

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

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

c) 关注点处的剂量率参考控制水平取 a)、b)中的较小者。

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)在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐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 $\dot{H}_c \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ，按照治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量率求法进行计算。

b)除上述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。该项辐射和穿出机房墙透视辐射在相应处的剂量（率）的综合，应按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) 穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以相当于机房外非控制区人员周剂量率控制指标的年剂量 $250\mu\text{Sv}$ 加以控制；

3) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，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）。

五、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（射线源放射治疗机房）（GBZ/T201.3-2014）

第4.1款 剂量控制要求

第4.1.1款 治疗机房墙外和入口门门外关注点的周围剂量当量率（以下简称剂量率）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，由以下周剂量参考水平 H_c （ $\mu\text{Sv/h}$ ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

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

放射治疗机房外非控制区的人员： $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ ；

b）按照关注点人员居留因子（T）的不同，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控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ，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 （ $\mu\text{Sv/h}$ ）。

第4.1.2款 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 $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 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。该项辐射和穿出机房墙透射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）

第4.2.3款 治疗机房一般屏蔽要求

除需满足GBZ/T201.1的要求外， γ 射线源放射治疗机房屏蔽应参考下列内容：a) 后装机治疗按 4π 发射的点源考虑机房屏蔽，应在治疗机房的地面标识出相应机房外可能受照射量最高的使用位置，作为计算屏蔽时的辐射源参考位置。

d) 后装治疗机房、 γ 远距治疗机房和体部 γ 刀治疗机房应设置迷路。

六、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

6 X射线设备机房防护设施的技术要求

6.1 X射线设备机房布局

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

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

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

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 7-4 要求。

表 7-4 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

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

b 单管头、双管头或多管头 X 射线机的每个管球各安装在 1 个房间内。

6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 7-5 要求：

表 7-5 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
CT 机房	2.5	

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表 7-5 的要求。

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

6.4 X 射线设备工作场所防护

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

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

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

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

6.4.6 电动推拉门应设置防夹装置。

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

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4（见下表 7-6）基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

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

表 7-6 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、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘、床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	——
CT体层扫描	——	——	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	——

注 1：“——”表示不做要求。注 2：各类个人防护用品和辅助防护设施，指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品，特别是非铅介入防护手套。

七、《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ 120-2006）

4.2 一般临床核医学的活性实验室、病房、洗涤室、显像室等工作场所属于GB 18871规定的乙级或丙级非密封源工作场所。为便于操作，针对临床核医学实践的具体情况，可以依据计划操作最大量放射性核素的加权活度，把工作场所分为I、II、III等三类（见表7-7）。

表 7-7 临床核医学工作场所具体分类¹⁾

分类	操作最大量放射性核素的加权活度 ²⁾ ，MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50

注：1) 本表和表2、表3 均依据国际放射防护委员会（ICRP）第57号出版物；

2) 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；

4.3 供计算操作最大量放射性核素的加权活度用的核医学常用放射性核素毒性权重因子和不同操作性质的修正因子分别见表7-8和表7-9。

表 7-8 核医学常用放射性核素的毒性权重因子

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

表 7-9 不同操作性质的修正因子

操作方式和地区	操作性质修正因子
贮存	100
废物处理；闪烁法计数和显像；候诊区及诊断病床区	10
配药、分装以及施给药；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

4.4 按表 7-7 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见表 7-10。

表 7-10 核医学工作场所的室内表面及装备结构要求¹⁾

场所分类	地面	表面	通风橱 ²⁾	室内通风	管道	清洗及去污设备
I	地板与墙壁接缝无缝	易清洗	需要	应设抽风机	特殊要求 ³⁾	需要
II	易清洗且不易渗透	易清洗	需要	有较好通风	一般要求	需要
III	易清洗	易清洗	不必	一般自然通风	一般要求	只需清洗设备

注：1) 依据国际放射防护委员会（ICRP）第 57 号出版物；

2) 仅指实验室；

3) 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。

4.5 合成和操作放射性药物所用的通风橱，工作中应有足够风速（一般风速不小于

1m/s)，排气口应高于本建筑屋脊，并酌情设有活性炭过滤或其他专用过滤装置，排出空气浓度不应超过有关法规标准规定的限值。

4.6 凡I类工作场所和开展放射性药物治疗的单位应设有放射性污水池，以存放放射性污水直至符合排放要求时方可排放。废原液和高污染的放射性废液应专门收集存放。

4.7 临床核医学工作场所应备有收集放射性废物的容器，容器上应有放射性标志。放射性废物应按长半衰期和短半衰期分别收集，并给予适当屏蔽。固体废物如污染的针头、注射器和破碎的玻璃器皿等应贮于不泄漏、较牢固、并有合适屏蔽的容器内。放射性废物应及时按《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ 133-2009）进行处理。

4.8 临床核医学诊断及治疗用工作场所（包括通道）应注意合理安排与布局。其布局应有助于实施工作程序，如一端为放射性物质贮存室，依次为给药室、候诊室、检查室、治疗室等。并且避免无关人员通过。

4.9 临床核医学诊断用给药室与检查室分开。如必须在检查室给药，应具有相应的放射防护设备。

4.10 临床核医学诊断用候诊室应靠近给药室和检查室，宜有受检者专用厕所。

八、《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ 133-2009）

第5.1.1款 使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于 2×10^7 Bq的临床核医学单位和医学科研机构，应设置有放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放。放射性污水池应合理选址，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防泄漏措施。

第5.1.2款 产生放射性废液而可不设置放射性污水池的单位，应将含短半衰期核素的废液注入专用容器中通常存放10个半衰期后，经审管部门审核准许，可作普通废液处理。对含长半衰期核素的废液，应专门收集存放。

第5.1.3款 下列低放废液可以直接排入流量大于10倍排放流量的普通下水道：每月排放总活度不超过GB18871-2002中8.6.2规定的限制要求，且每次排放后用不少于3倍排放量的水进行冲洗，每次排放应作记录并存档。

第5.2.1款 使用放射性药物治疗患者的临床核医学单位，应为住院治疗患者提供有防护标志的专用厕所，对患者排泄物实施统一收集和管理，规定患者住院期间不得使用其他厕所。

第5.2.2款 专用厕所应具备使患者排泄物迅速全部冲洗入专用化粪池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

第5.2.3款 专用化粪池内排泄物在贮存衰变后，经审管部门核准方可排入下水道系统。

池内沉渣如难于排出，可进行酸化预处理后再排入下水道系统。

第6.1.2款 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。污物桶放置点应避开工作人员工作和经常走动的区域。

第6.1.5款 每袋废物的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，重量 $\leq 20\text{kg}$ 。

第6.2.3款 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器必须安全可靠，并应在显著位置标有废物类型、核素种类，比活度水平和存放日期等说明。

第6.2.4款 废物包装外表面的污染控制水平： $\alpha < 0.04\text{Bq/cm}^2$ ； $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

第6.3.3款 未知核素的废物在其活度浓度小于或者等于 $2 \times 10^4\text{Bq/kg}$ 时，或废物中的核素已知且其活度浓度符合4.4或者4.5时，可作免管固体废物处理。

九、《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ 121-2017）

4.2 贮源器

4.2.1 放射源运输贮源器表面应标有放射性核素名称，最大容许装载活度和牢固、醒目的、符合GB18871要求的电离辐射警告标志。

4.2.2 工作贮源器内装载最大容许活度的放射源时，距离贮源器表面5cm处的任何位置，因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $50\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ；距离贮源器表面100cm处的球面上，任何一点因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

4.2.3 装载放射源的运输贮源器或工作贮源器，应存放在限制一般人员进入的放射治疗室或专用贮源库内。

5 治疗室的防护要求

5.1 治疗室应与准备室和控制室分开设置。治疗室内有效使用面积应不小于 20m^2 ，应将治疗室设置为控制区，在控制区进出口设立醒目的符合 GB 18871 规定的辐射警告标志，严格控制非相关人员进入控制区；将控制区周围的区域和场所设置为监督区，应定期对这些区域进行监督和评价。

5.2 治疗室应设置机械通风装置，其通风换气能力应达到治疗期间使室内空气每小时交换不小于4次。

5.3 治疗室入口应采用迷路形式，安装防护门并设置门-机联锁，开门状态不能出源照射，出源照射状态下若开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。治疗室外防护门上方要有工作状态显示。治疗室内适当位置应设置急停开关，按下急停开关应能使放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。

5.4 治疗室防护门应设置手动开门装置。

5.5 在控制室与治疗室之间应设监视与对讲设施，如设置观察窗，其屏蔽效果应与同
5.6 设备控制台的设置应能使操作者在任何时候都能全面观察到通向治疗室的通道情况。

5.7 应配备辐射监测设备或便携式测量设备，并具有报警功能。

5.8 治疗室墙壁及防护门的屏蔽厚度应符合防护最优化的原则，治疗室屏蔽体外30cm处因透射辐射所致的周围剂量当量率应不超过 $2.5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

5.9 在治疗室迷道出、入口处设置固定式辐射剂量检测仪并应有报警功能，其显示单元应设置在控制室内或机房门附近。

5.10 治疗室内应配有合适的储源容器、长柄镊子等应急设备。

5.11 治疗室内合适的地方应张贴应急指示。

十、《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）

工作场所空气中化学物质容许浓度（臭氧）： $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ；氮氧化物： $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

十一、《10MeV~20MeV范围内固定能量强流质子回旋加速器》（GB/T34127-2017）

5.1.2 警示标志

回旋加速器应有应符合GB18871、GB/T19661.1-2005和GB/T19661.2-2015规定的电离辐射、高压电等警示标志。紧急开关应设置在操作人员容易接近的地方，且应有明显的状态标志。安全连锁标志应在醒目位置。

5.3.5 剂量监测安全连锁系统

剂量监测安全连锁系统应根据现场条件设计，并与控制系统相对独立。

剂量监测安全连锁系统的设计原则是确保工作人员的人身安全。当回旋加速器大厅有人时，回旋加速器不能开机，开机时任何人员不能进入。剂量监测安全连锁系统应具备以下功能：

- a) 与防护门位置的连锁：当防护门被打开时，回旋加速器不能供束；
- b) 与现场剂量监测装置的连锁：系统应监测回旋加速器大厅内的剂量（包括瞬发 γ 和中子），当监测的剂量率超过设定阈值时，系统应报警或切断束流供应；
- c) 与指示信号灯、警告装置的连锁：系统应监测回旋加速器大厅内残余 γ 的剂量率，当监测的剂量率超过设定阈值时，应触发仪表信号指示和蜂鸣器，发出声光报警信号；
- d) 与紧急停机按钮的连锁：一旦按下紧急停机按钮，回旋加速器应立即停止供束；
- e) 与“回旋加速器运行指示灯”的连锁：当回旋加速器运行时，安装在防护门外的“回旋加速器运行指示灯”应清晰、明亮显示“回旋加速器正在运行”；

f) 与清场按钮的联锁：回旋加速器大厅和靶室内应设置“清场按钮”，在开机前，只有依次按下“清场按钮”才能开机。

5.5 辐射安全

5.5.1 剂量限值

回旋加速器场所辐射剂量率限值如下：

a) 监督区（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的区域）： $1\mu\text{Sv/h}$ ；

b) 控制区（需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域）： $10\mu\text{Sv/h}$ 。

5.5.2 表面污染控制水平

工作场所的放射性表面污染控制水平见表7-11。

表7-11 工作场所的放射性表面污染控制水平 单位：Bq/cm²

表面类型		排放标准		β放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 ⁻¹	4	4

十二、《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)

表7-12 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值（日均值） 单位：mg/L

序号	控制项目	排放标准	预处理标准
1	总α (Bq/L)	1	1
2	总β (Bq/L)	10	10

表 8 环境质量与辐射现状

8.1 监测计划

1、项目地理和场所位置

本项目位于厦门市集美区沈海高速公路与杏锦路交叉口西南侧四川大学华西厦门医院，项目地理位置见图 1-1。

2、监测内容与点位

为了解项目所在地的辐射环境现状，江西省核工业地质局测试研究中心于 2021 年 3 月 5 日对项目所在地进行了 γ 辐射剂量率辐射环境现状监测，2021 年 3 月 29 日对项目所在地进行了表面污染和中子剂量当量率辐射环境现状监测。监测布点示意图如图 8-1~图 8-3 所示。

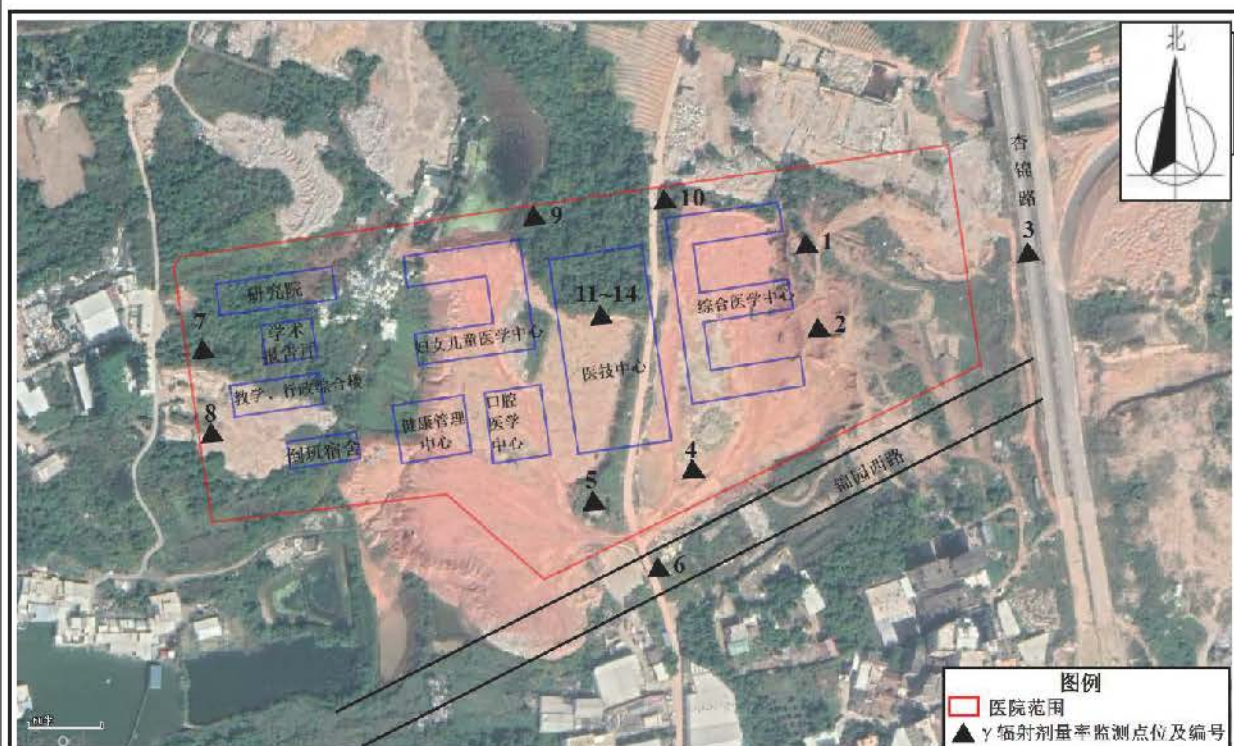


图 8-1 本项目周边环境区域监测布点示意图

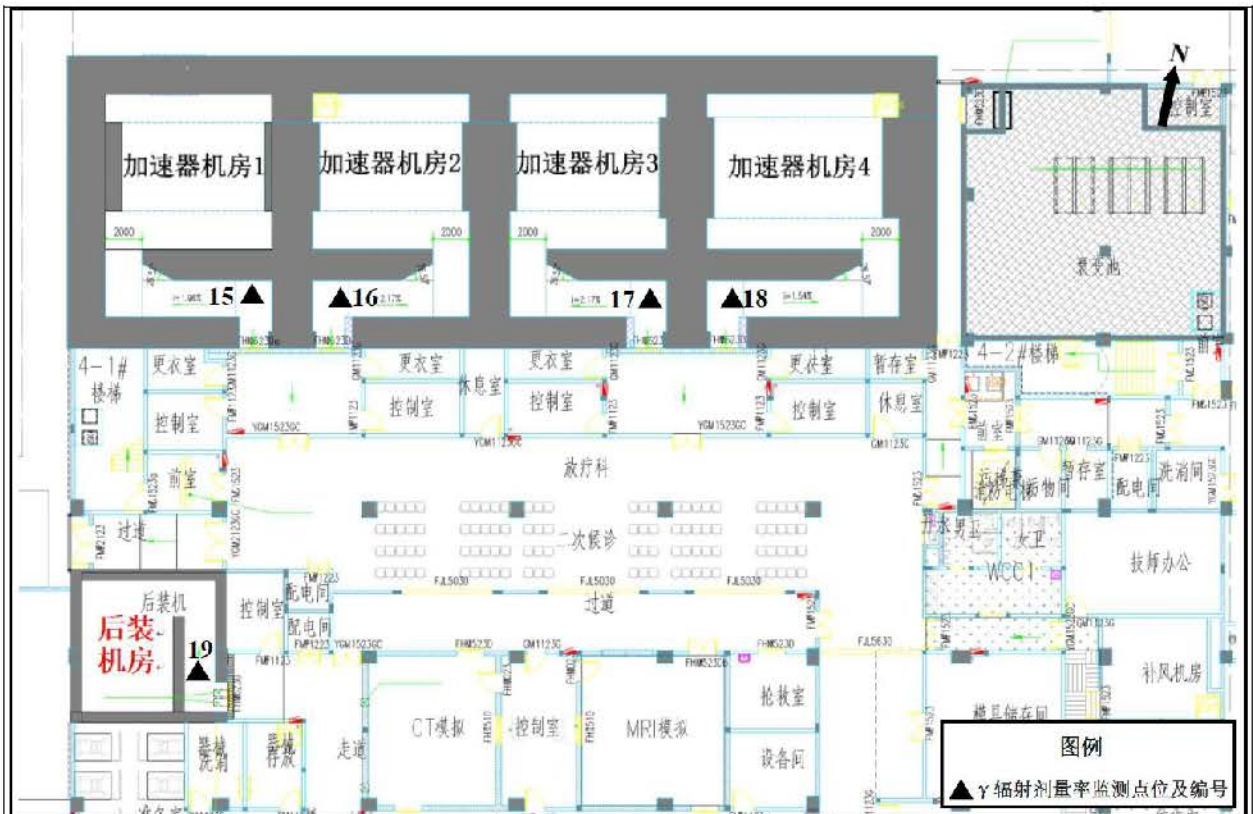


图 8-2 地下负二层区域监测布点示意图

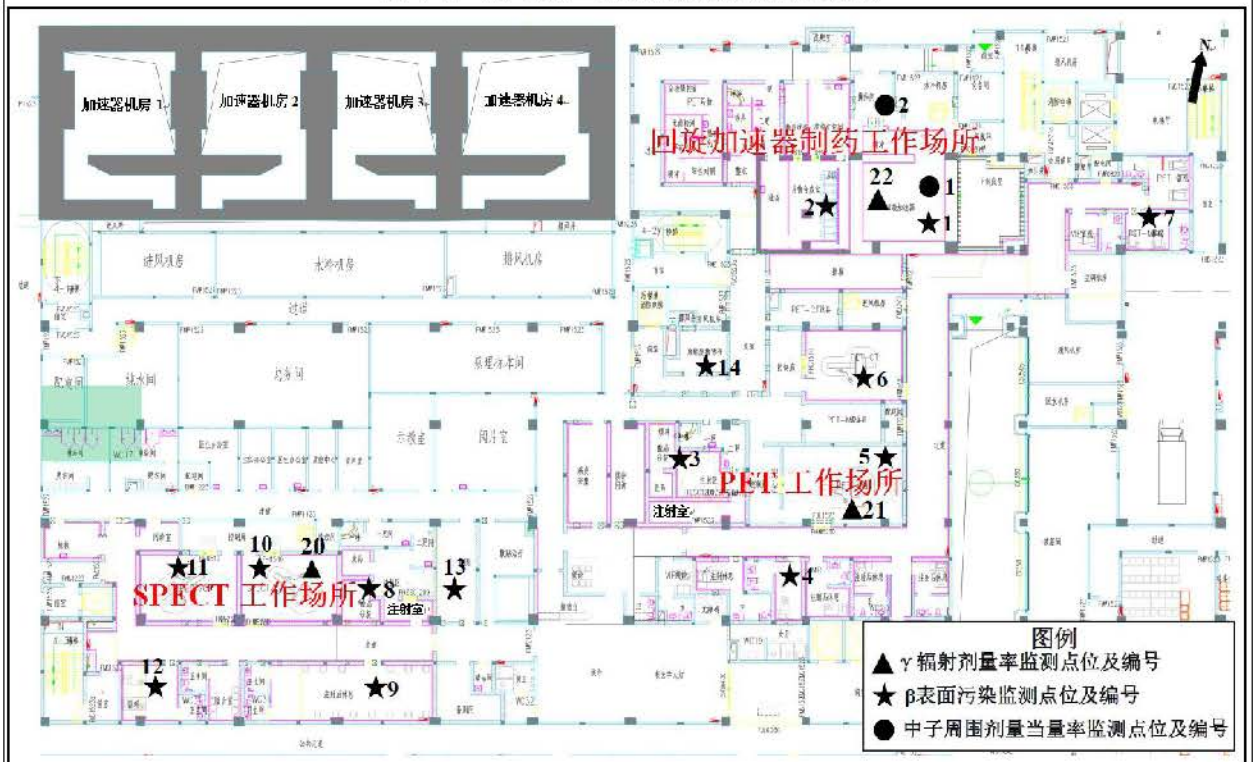


图 8-3 地下负一层区域监测布点示意图

3、监测仪器与规范

电离辐射监测仪器的参数与规范见表 8-1。

表 8-1 监测仪器与监测规范表

便携式 X、 γ 辐射 周围剂量当量率 仪	仪器型号	FH40G+FHZ672E-10
	生产厂家	Thermo SCIENTIFIC
	监测规范	《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001） 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T 14583-1993）
	监测单位	江西省核工业地质局测试研究中心
	监测时间	2021 年 3 月 5 日
	检定单位	上海市计量测试技术研究院
	检定证书编号	2020H21-10-2577102002
	有效日期	2020 年 6 月 30 日至 2021 年 6 月 29 日
	校准因子	***
α 、 β 表面污染仪	仪器型号	CoMo-170
	生产厂家	NUVIA
	监测规范	《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001） 《表面污染测定 β 发射体（ $E_{\beta x} > 0.1\text{Mev}$ ）和 α 发射体》 （GB/T14056.1-2008）
	监测单位	江西省核工业地质局测试研究中心
	监测时间	2021 年 3 月 29 日
	检定单位	上海市计量测试技术研究院
	检定证书编号	2020H21-20-2811554001
	有效日期	2020 年 10 月 23 日至 2021 年 10 月 22 日
中子周围 剂量当量仪	仪器型号	2241-4
	生产厂家	LUDLUM MEASUREMENTS INC.
	监测规范	《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001） 辐射防护仪器中子周围剂量当量（率）仪（GB/T14318-2019）
	监测单位	江西省核工业地质局测试研究中心
	监测时间	2021 年 3 月 29 日
	检定单位	中国计量科学研究院
	检定证书编号	DLjs2020-01373
	有效日期	2020 年 9 月 28 日至 2021 年 9 月 27 日

4、质量保证措施

- a 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性，同时满足标准要求。
- b 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。
- c 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。
- d 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

e 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

f 监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。

8.2 辐射环境质量现状监测结果

江西省核工业地质局测试研究中心于2021年3月5日和2021年3月29日对评价项目场址及周边区域的辐射环境现状进行监测，监测条件见表8-2，监测结果见表8-3~表8-5，测量布点见图8-1~图8-3，监测报告见附件3。

表 8-2 本项目监测条件一览表

监测日期	温度	湿度	天气情况
2021年3月5日	25℃	57%	晴
2021年3月29日	24℃	55%	晴

表 8-3 本项目工作场所周围环境 γ 辐射剂量率监测数据

测点编号	测点位置	γ 辐射剂量率 (nSv/h)	
		范围值	平均值
1	四川大学华西厦门医院东侧拟建院内道路	***	***
2	四川大学华西厦门医院东侧拟建院内道路	***	***
3	四川大学华西厦门医院东侧杏锦路	***	***
4	四川大学华西厦门医院南侧拟建院内道路	***	***
5	四川大学华西厦门医院南侧拟建院内道路	***	***
6	四川大学华西厦门医院南侧锦园西路	***	***
7	四川大学华西厦门医院西侧拟建院内道路	***	***
8	四川大学华西厦门医院西侧拟建院内道路	***	***
9	四川大学华西厦门医院北侧拟建院内道路	***	***
10	四川大学华西厦门医院北侧拟建院内道路	***	***
11	医技中心一层	***	***
12	医技中心二层	***	***
13	医技中心三层	***	***
14	医技中心四层	***	***
15	地下负二层拟建加速器机房 1	***	***
16	地下负二层拟建加速器机房 2	***	***
17	地下负二层拟建加速器机房 3	***	***
18	地下负二层拟建加速器机房 4	***	***
19	地下负二层拟建后装机房	***	***
20	地下负一层拟建核医学科 SPECT 工作场所	***	***
21	地下负一层拟建核医学科 PET 工作场所	***	***
22	地下负一层拟建核医学科回旋加速器制药工作场所	***	***

注：以上数据均未扣除宇宙射线的贡献。

本项目监测设备是在 ^{137}Cs 辐射场中采用替代法进行的检定， ^{137}Cs 放射源 γ 射线平

均能量为 662keV (0.662MeV)。本项目辐射监测设备的周围剂量当量率与空气比释动能率的换算采用该能量。由《用于光子外照射放射防护的剂量换算系数》(GBZ/T 144-2002) 附录**的公式**算得, 0.662MeV 的光子的周围剂量当量 $H^*(10)$ 到自由空气比释动能 (K_a) 的转换系数为 $Sv/Gy (H^*(10)/K_a=**)$ 。即本项目监测值 ($\mu Sv/h$) 除以**后即可转换为空气比释动能率 ($\mu Gy/h$)。

根据表 8-3, 本项目周边室内环境的 γ 周围剂量当量率在**~**nSv/h 之间, 即**~**nGy/h[1 Sv/h=**Gy/h], 周边外环境 γ 周围剂量当量率在**~**nSv/h 之间, 即**~**nGy/h[1 Sv/h=**Gy/h], 处于福建省室内、室外辐射环境本底范围值内(注: 室内辐射环境本底范围值 70.9~351.7nGy/h, 福建省室外辐射环境本底范围值 39.4~399.1nGy/h, 来源于《中国环境天然放射性水平》)。

表 8-4 本项目工作场所周围环境 β 表面污染监测结果

序号	监测点位	β 表面污染 (Bq/cm ²)
		监测结果
1	拟建回旋加速器制药工作场所回旋加速器机房	**
2	拟建回旋加速器制药工作场所药物合成室	**
3	拟建 PET 工作场所配药分装室	**
4	拟建 PET 工作场所注射后休息室	**
5	拟建 PET 工作场所 PET-MRI 机房	**
6	拟建 PET 工作场所 PET-CT 机房	**
7	拟建 PET 工作场所留观室	**
8	拟建 SPECT 工作场所配药分装室	**
9	拟建 SPECT 工作场所注射后休息室	**
10	拟建 SPECT 工作场所 SPECT-CT 机房 1	**
11	拟建 SPECT 工作场所 SPECT-CT 机房 2	**
12	拟建 SPECT 工作场所留观室	**
13	拟建 SPECT 工作场所肾图室	**
14	放射性废物暂存室	**

由表 8-4 可知, 本项目工作场所周围环境 β 表面污染监测结果在**~**Bq/cm² 之间, 本项目核医学科辐射环境满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 关于工作场所放射性表面污染控制标准。

表 8-5 本项目工作场所周围环境 neutron 周围剂量当量率监测数据

测点编号	测点位置	中子周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	拟建回旋加速器制药工作场所回旋加速器机房	***
2	拟建回旋加速器制药工作场所回旋加速器机房北侧操作间	***

由表 8-5 可知，本项目工作场所周围环境未检出中子周围剂量当量率，本项目工作场所周围中子周围剂量当量率辐射环境现状良好。

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 直线加速器

(一) 结构及组成

直线加速器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。

(二) 工作原理

直线加速器电子枪产生的电子由微波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，医用直线加速器除可利用电子束对患者病灶进行照射外，也可以利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞，达到放射治疗的目的。

(三) 工作流程

使用直线加速器进行放射治疗项目的操作流程是：

- ①进行定位：先通过模拟定位机对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，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：在利用直线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开机治疗：准备工作就绪后，在控制室通过计算机发出指令，开启加速器，对准患者病灶进行精确治疗。

(四) 直线加速器工况

本项目直线加速器主要技术参数如下：

表 9-1 直线加速器技术参数一览表

型号	未定
X 射线能量	≤10MV
电子线能量	≤15MeV
最大照射野	40cm×40cm
X 射线最大输出剂量率	24Gy/min (1.44×10 ⁹ μGy/h)
泄漏率	≤0.1%
SAD (源轴距)	100cm
射线总张角	28°
恒温水机组水箱用水要求	纯水
机架旋转范围	0°—360°

(五) 人员配备及工作负荷

人员配备：建设单位拟配备放射肿瘤医师 18 名，放射治疗技师 16 名，物理师 8 人，详细的人员结构在后期项目运行期将根据实际需要再进行调整。

工作负荷：加速器机房 1~4，每台年工作 50 周，每周 5 天，平均每天接受治疗的病人为 40 人次/天（均考虑为调强治疗），200 人次/周，平均每人照射 3min，加速器有用线束日治疗照射时间 120min/d，周照射时间约 10h/周，年总照射时间约 500h/a。调强因子取 N=5，则调强放射治疗的泄漏辐射周照射时间约为 50h/周，年总照射时间约 2500h/a。

9.1.2 ¹⁹²Ir 后装γ源近距离治疗机

(一) 设备组成

¹⁹²Ir 后装γ源近距离治疗机由治疗计划系统、控制系统和治疗系统三部分组成，治疗计划系统包括计算机、数字化仪、打印机及治疗系统软件；治疗系统包括专用控制微机系统、步进电机、放射源、储源器、真假源传输结构、紧急回源机构、计时器和治疗通道组成。

(二) 工作原理

后装机是采用遥控技术，将放射源送入腔内的一种近距离治疗装置。现代近距离治疗主要通过后装技术，首先将导源管或施源器、导源针插植到合适的肿瘤表面或中心部位，经 CT 模拟定位机核实位置，再经过装有近距离治疗剂量计算数学模式的专业程序软件的治疗计划系统计算及优化剂量分布，获得满意结果后，再由计算机控制治疗机系统进行治疗。后装照射可使病灶区获得很高的剂量而又很好地保护周围正常组织，医务人员通过遥控操作，减少了工作人员不必要的受照。后装治疗从传统的妇科领域扩展到对人体各部位多肿瘤的治疗，尤其是鼻咽、支气管、肺癌、食道癌、直肠、膀胱、前

列腺、乳癌、胰腺、脑部等，治疗技术涉及到腔管，腔内、组织间，插入和贴敷，术中等多种施治技术。

当 ^{192}Ir 放射源活度衰变至不能满足使用需求时须更换放射源。导源时工作人员把导源管一头接入后装机贮源器，另一头接入铅罐插孔中，通过计算机隔室操作先把废源通过导源管导入铅罐中。废源导出后，通过同样方式把新源通过导源管导入后装机贮源器中。换源工作由厂家负责。

(三) 治疗流程

①进行定位。先通过模拟定位机对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，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，进行病变部位插管，将输源管和施源器送达腔道的病灶，工作人员一般距后装治疗机 1m。

④将预置管与后装治疗机输源管相连接，在控制室控制台通过计算机系统，先用假源轮进行试运行，验证无误后，再用真源轮将放射源从后装机机体通过输源管送达病灶进行治疗。

⑤治疗结束，源回到屏蔽体内，打开防护门，拆除输源管等设备，病人离开机房。

(四) 设备参数

表9-2 后装机主要参数

型号	待定
放射源	^{192}Ir
最大装源活度	3.7×10^{11}
γ 射线能量	0.316MeV
生产厂家	待定
主射束朝向	可照射 4π 方向

(五) 人员配备及工作负荷

人员配备：建设单位拟配备放射肿瘤医师 6 名，放射治疗技师 5 名，物理师 3 人，详细的人员结构在后期项目运行期将根据实际需要再进行调整。

工作负荷：一年工作 50 周，每周工作 5 天，平均每天接受治疗的病人为 18 人次/天，最大装源活度下平均每人照射 6min，后装机日治疗照射时间 108min/d，周照射时间约 9h/周，年总照射时间约 450h/a。

9.1.3 DSA和ERCP

(一) 工作原理

(1) DSA

DSA是利用X射线进行摄影或诊疗的设备，产生X射线的装置主要由X射线管和高压电源组成。X射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，详见图9-5。阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，灯丝通电加热产生电子，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在X射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生X射线。

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，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同的信号，得到一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来。主要用于心脏、脑血管、外周血管的造影诊断及介入治疗，是心血管造影诊断及介入治疗的专用血管造影机。

(2) ERCP

ERCP是经内镜逆行胰胆管造影的英文首写字母缩写，是指将十二指肠镜插至十二指肠降部，找到十二指肠乳头，由活检管道内插入造影导管至乳头开口部注入造影剂后进行X线摄片，以显示胰胆管的技术。在ERCP的基础上，可以进行十二指肠乳头括约肌切开术(EST)、内镜下鼻胆汁引流术(ENBD)、内镜下胆汁内引流术(ERBD)等介入治疗。

ERCP手术造影过程中需要医生在手术室根据手术检查情况等，进行踩踏式曝光。其治疗方式属于介入治疗，介入治疗是在医学影像设备的引导下，通过置入体内的各种导管(约1.5-2毫米粗)的体外操作和独特的处理方法，对体内病变进行治疗。介入治疗具有不开刀、创伤小、恢复快、效果好的特点。

(二) 设备组成

(1) DSA

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

(2) ERCP

ERCP为采用X射线进行摄影的技术设备，主要装置包括带有影像增强器电视系统的X射线诊断机、高压注射器、电子计算机图象处理系统、治疗床、操作台、磁盘或磁带机、多幅照相机。

(三) 操作流程

(1) DSA

介入放射手术的主要工作流程如下：

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

DSA在进行曝光时分为两种情况：

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

第二种情况，医生需进行手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师在DSA机房内位于铅橡胶帘后身着铅服对病人进行直接的手术操作。

(2) ERCP

ERCP手术操作过程主要包括以下几个步骤：

①插镜：患者一般采取俯卧位或左侧卧位，十二指肠镜经口依次通过食管、胃进入十二指肠降段，找到十二指肠乳头。

②插管：选择性插管是顺利进行ERCP诊断和治疗的基础。经活检孔插入导管，调节角度钮及抬钳器，使导管与乳头开口垂直，将导管插入乳头。

③造影：在透视下经造影导管注入造影剂，在荧光屏上见到胆管或胰管显影，显示病变。尽量减少不必要的胰管显影，以防术后胰腺炎的发生。

④拍片：胰胆管显影后，进行拍片存储。

⑤治疗：根据患者胰胆管病变情况，采取不同内镜下治疗措施（如括约肌切开取石、放置引流管或支架缓解胆管梗阻、瘻管支架放置等）。

(四) 人员配备及工作负荷

人员配备：本项目拟安装使用 10 台 DSA 和 1 台 ERCP，由介入手术医生、护士及其他科室的人员协同参与，建设单位拟配备放射影像医师 15 名，放射影像技师 5 名，相关内、外科的专业技术人员 25 名，护士 25 名，详细的人员结构在后期项目运行期将根据实际需要再进行调整。

工作负荷：年工作负荷详见表9-3。

表9-3 设备工作负荷

机房	年最大手术(台)	每台手术最大透视时间(min)	每台手术最大减影时间(min)	年最大透视时间(min)	年最大减影时间(min)	总曝光时间 (min)
介入中心 DSA 介入 手术室 (1~6)	***	***	***	***	***	***
手术中心 DSA 杂交 手术室 (4~6)	***	***	***	***	***	***
手术中心 DSA 介入 手术室 5	***	***	***	***	***	***
内镜中心 ERCP 机房	***	***	***	***	***	***

9.1.4 核医学科非密封放射性物质工作场所

本项目核医学科非密封放射性物质工作场所分为三处：①地下负一层核医学科回旋加速器区域，生产PET显像用正电子核素¹⁸F、¹⁵O、¹³N、⁶⁴Cu；②PET区域使用正电子核素¹⁸F、¹⁵O、¹³N、⁶⁴Cu、⁶⁸Ga用于PET显像诊断；③SPECT区域使用放射性核素^{99m}Tc用于SPECT显像诊断，使用放射性核素⁸⁹Sr用于骨癌治疗，使用放射性核素¹⁷⁷Lu用于前列腺治疗，使用¹³¹I开展肾功能检查。

表 9-4 本项目放射性核素衰变性质一览表

核素名称	半衰期	物理状态	毒性分组
¹⁸ F	109.77min	液态	低毒
¹³ N	10.0min	液态	低毒
¹⁵ O	2.0min	液态	低毒
⁶⁴ Cu	12.7h	液态	低毒
⁶⁸ Ga	68.3min	液态	低毒
^{99m} Tc	6.02h	液态	低毒
¹³¹ I	8.02d	液态	中毒
⁸⁹ Sr	50.53d	液态	中毒
¹⁷⁷ Lu	6.73d	液态	中毒

9.1.4.1 回旋加速器

(一) 设备组成

本项目回旋加速器由磁场系统、射频系统、真空系统、离子源系统、提取系统、诊断系统、靶系统和冷却系统等组成，各系统的主要作用如下：

磁场系统：提供被加速的带电粒子所在控制的轨道中做圆周运动所需的磁场强度；

射频系统：提供被加速带电粒子所需的高频振荡加速电压；

离子源系统：产生需要加速的负离子；

束流提取系统：直接将加速的带电负离子从真空箱中引出，该系统的基础是剥离膜。被加速的负离子通过膜时被脱去 2 个电子而转变成阳离子，并能够调整引出的束流进入所选定的核素生产靶；

靶系统：是完成特定核反应而产生正电子核素的装置，一般包括靶体、准直器、靶膜、管路阀门等；

真空系统：建立离子加速所需的真空压力水平，降低束流的丢失，为高电压射频场提供绝缘；

冷却系统：从不同系统中将热量带出，带出的热量在二级冷却系统中进行热交换，并将热量传送到初级冷却系统。

(二) 工作原理

回旋加速器是“粒子加速器”的一种，其设计、制造的理论基础是拉摩尔定律和劳伦斯回旋加速理论。现代回旋加速器则结合了托马斯提出的磁场强度随方位角变化的 AVF 原理，采用规律变化的磁场系统，修正粒子加速过程中的相位移动、相对速度减慢和粒子回旋频率变化等，提高粒子加速效率和聚焦度。现代医用回旋加速器多采用分离扇形磁铁调变磁场技术，属等时性回旋加速器范畴。

医用回旋加速器是生产 PET 检查用放射性核素的主要设备,其主要生产工艺原理是回旋加速器系统可产生加速质子和氦核，进行靶照射。离子源阴极产生的阴离子通过电磁体产生的高频交变电场，在磁场中以螺旋形轨道加速。阴离子通过一个很薄的碳膜（称之为剥离碳膜）发生电荷改变成为阳离子然后照射到靶上产生放射性核素。离子在一个具有高真空度的真空腔内加速。放射性核素通过气动自动传送装置传输到化学合成器进行合成、检测、标定。在加速器运行过程中，通过改变靶物质可获得不同的放射性核素供临床应用。

本项目生产的正电子显像药物包括 ^{18}F 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 。打靶前，自动的往靶容器中加入液体靶或气体靶，设置参数，打完靶后所产生的放射性药物自动通过输送管道输送到热室进行化学合成。

本项目拟使用的回旋加速器加速粒子为质子。

加速器制备的放射性同位素 (^{18}F 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu) 经管道自动传输到药物合成室房间中，此管道设置在地沟内，地沟两侧及上方用铅砖屏蔽，再覆盖的铅板。

(三) 工作流程

^{18}F 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 主要利用回旋加速器打靶制备而得，回旋加速器制药主要通过回旋加速器室、控制室、热室房间以及质控室来完成。根据预约病人数所需的药物量，折算出需要生产的核素量，设定轰击束流大小和轰击时间，生产放射性核素，在热室房间通风橱内自动合成，然后将药物装入送药防护铅罐 (40mmPb) 内，再由药物传递人员送至 PET-CT 注射区通风橱进行分装。

(四) 正电子药物的制备量

本项目回旋加速器制药区域每年最多工作 250 天，一般早上 6-7 点开始生产， ^{18}F 根据病人预定量生产 1~2 次 (上午一次，下午一次)。其他核素根据病人预定量、半衰期及产额安排核素生产、送药、使用，按需进行生产，并及时送至 PET 工作场所进行分装注射。

回旋加速器生产制备正电子药物量详见表 9-5。

表 9-5 回旋加速器生产制备正电子药物量

核素	用途	最大用量/次(mCi)	最大用量/次(Bq)	最大诊疗人数	日药物生产量(mCi)
^{18}F	PET 显像	***	***	***	***
^{15}O	PET 显像	***	***	***	***
^{13}N	PET 显像	***	***	***	***
^{64}Cu	PET 显像	***	***	***	***

9.1.4.2 PET工作场所

(一) 设备组成及工作原理

PET是英文Positron Emission Tomography的缩写，其临床显像过程为：将发射正电子的放射性核素标记到能够参与人体组织血流或代谢过程的化合物（如脂肪酸、脱氧葡萄糖、氨基酸、核苷等）上，将标有带正电子放射性核素的化合物注射到受检者体内，让受检者在PET的有效视野范围内进行PET显像。放射核素发射出的正电子在体内与组织

中的负电子结合发生湮灭辐射，产生两个能量相等（511keV）、方向相反的 γ 光子。由于两个光子在体内的路径不同，到达两个探测器的时间也有一定差别，如果在规定的时间内（一般为5~15 μ s），探头系统探测到两个互成180度（ \pm 0.25度）的光子时，即为一个符合事件，探测器便分别送出一个时间脉冲，脉冲处理器将脉冲变为方波，符合电路对其进行数据分类后，送入工作站进行图像重建。便得到人体各部位横断面、冠状断面和矢状断面的影像。

PET-CT是将PET和CT联合在一起，通过PET扫描和CT扫描重叠联合扫描，使两者的硬件和软件有机地结合在一起。这样就可以采用CT图像对PET功能图像进行解剖定位，同时又可以采用人体X射线衰变图的衰变系数对 γ 射线在人体内的衰减进行校正，它自身带有1台CT机，属于III类射线装置。将放射性同位素或放射性同位素标记的各种化合物（放射性示踪剂或探针）引入人体后，放射性示踪剂会到达特定的组织或器官，在体外用显像设备探测体内不同组织/器官放射性示踪剂分布情况，通过计算机重建成断层图像，反映不同组织/器官的血流、功能与代谢状态。

PET-MR是将正电子发射计算机断层显像仪PET和核磁共振成像技术MR结合一体化组成的大型功能代谢与分子影像诊断设备，同时具备PET和MR的检查功能。PET-MR检查大幅度减低了放射对人体的损伤，因为MR对人体无任何放射损伤。因此，PET-MR是最佳的体检和诊断设备。PET-MR一次检查便可发现全身是否存在危险的微小病灶。早期诊断可以使患者能真正地得到早期治疗并为彻底治愈创造了条件，在国外，PET被视为健康体检的最佳手段，定期的PET-MR健康检查可发现一些无症状的早期患者。一般每年做一次PET-MR检查比较合适。PET-MR检查与目前其他手段相比，它的灵敏度高、准确性好，对许多疾病尤其是肿瘤和心脑血管疾病具有早期发现、早期诊断和准确评估的价值。

（二）工作流程及产污环节

①根据需要，接受 PET 显像检查的人员进行预约登记，确定用药量；

②回旋加速器生产 PET 用正电子药物或向有资质的供货商订购药物，药物送至核医学科 PET 区域；

③工作人员在注射区通风橱内进行药物分装。受检者按约定时间在给药候诊区准备和等候；准备好的受检者在专用通道注射窗口接受注射，医务人员佩戴个人剂量计、穿戴好个人防护用品通过过墙注射台为受检者注射药物；

- ④受检者进入给药后的注射后休息室候诊；
- ⑤受检者进入 PET-CT 机房或 PET-MR 机房接受检查；
- ⑥检查完成，受检者在留观室休息一段时间后，从专用通道离开；
- ⑦多余药物由经衰变 10 个半衰期以上后经检测达标后当排入放射性衰变池。

工作流程见图 9-10。

(三) 正电子核素使用量

本项目PET工作场所使用的正电子核素（ ^{18}F 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu ）为医院回旋加速器进行生产制备，正电子核素 ^{68}Ga 为向有资质单位采购，正电子核素 ^{68}Ga 由放射性药物供应商在每天上午8:00前负责运送至PET工作场所，建设单位安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在通风分装柜内。

根据医院提供的资料，使用正电子核素（ ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga ）进行显像诊断的病人数最多为 1 人，**这类病人集中优先安排注射，故不考虑储药量。**使用正电子核素 ^{18}F 进行显像诊断的患者使用 PET-CT 进行扫描最大为 20 人/天，使用 PET-MR 进行扫描最大为 5 人/天，给药后的候诊时间平均约 1h，扫描时间平均约 20min（考虑病人进出、摆位等），给药量按 10mCi 计。

表9-6 本项目 ^{18}F 给药情况一览表

序号	注射时间	显像时间	进入留观室时间	初始活度 (mCi)	注射药物量 (mCi)
上午 (PET-CT)					
1号患者	8:00	9:00	9:20	10	***
2号患者	8:20	9:20	9:40	10	***
3号患者	8:40	9:40	10:00	10	***
4号患者	9:00	10:00	10:20	10	***
5号患者	9:20	10:20	10:40	10	***
6号患者	9:40	10:40	11:00	10	***
7号患者	10:00	11:00	11:20	10	***
8号患者	10:20	11:20	11:40	10	***
9号患者	10:40	11:40	12:00	10	***
10号患者	11:00	12:00	12:20	10	***
11号患者	11:20	12:20	12:40	10	***
下午 (PET-CT)					
12号患者	14:00	15:00	15:20	10	***
13号患者	14:20	15:20	15:40	10	***

14号患者	14:40	15:40	16:00	10	***
15号患者	15:00	16:00	16:20	10	***
16号患者	15:20	16:20	16:40	10	***
17号患者	15:40	16:40	17:00	10	***
18号患者	16:00	17:00	17:20	10	***
19号患者	16:20	17:20	17:40	10	***
20号患者	16:40	17:40	18:00	10	***
上午 (PET-MR)					
1号患者	8:00	9:00	9:20	10	***
2号患者	8:20	9:20	9:40	10	***
3号患者	8:40	9:40	10:00	10	***
4号患者	9:00	10:00	10:20	10	***
5号患者	9:20	10:20	10:40	10	***
合计					**

根据表 9-5，医院 ^{18}F 药物最大日用量为***mCi，但考虑到热室分装、质检、使用科室的质检、注射器残留损耗，以及生产出药后至科室实际使用时间段的自然损耗，本次取 4 倍安全系数，因此每天生产 ^{18}F 药物约 2Ci 可满足科室最大的使用要求。

9.1.4.3 SPECT工作场所

(一) 设备组成及工作原理

SPECT-CT的全程是单光子发射计算机断层扫描仪 (Single-Photo Emission Computed Tomography)，其使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行诊断的基本原理是：受检者注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 在特定的器官或组织发射出能量140keV的光子 (γ 射线)，穿过组织器官后到达SPECT探测器。SPECT使用低能准直器对 γ 射线进行准直，通过闪烁体将 γ 射线能力转换为光信号，再通过光电倍增管将光信号转化为电信号并进行放大，得到的测量值代表在该投影线上的放射性大小，再利用计算机从投影求解断层图形。其主要的功能特点是：除了显示脏器形态结构外，更重要的是可观察到脏器血流灌注、功能和代谢的变化。临床主要应用于骨骼显像、心脏灌注断层显像、甲状腺显像、肾动态显像等。

SPECT-CT主要由三部分组成，即探头、旋转运动机架、计算机及其辅助设备。探头部分主要由准直器、晶体、光导、光电倍增管、模拟定位计算电路组成。SPECT-CT自身带有一个CT球管，在SPECT核素扫描的基础上，可以同时获得CT解剖图像，从而更有利于对疾病作出全面、准确的判断。

（二） ^{99m}Tc 药物淋洗

医用核素发生器是一个母体-子体放射性衰变的平衡体系，一般母体寿命较长，子体寿命较短，制备时将母体装在一根色柱上，使用时采用放射性分离技术，把柱上的子体定时洗脱下来，供临床应用。对于钼锝发生器，高纯度的 ^{99}Mo 是通过中子辐射靶溶解后经过合适的分离纯化过程得到的。在实际应用中，将 ^{99}Mo 以钼酸铵的形式溶解于氨水中，再转化到0.01mol/L盐酸体系， ^{99}Mo 以 $^{99}\text{MoO}_4^{2-}$ 吸附在 Al_2O_3 色层柱上， $^{99}\text{MoO}_4^{2-}$ 衰变时产生 ^{99m}Tc ， ^{99m}Tc 是以 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 的形式存在，由于两者电荷不同，可利用 Al_2O_3 对其吸附能力的差异，通过生理盐水将 ^{99m}Tc 淋洗下来。

^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器放置于通风分装柜内，根据医院的预约，工作人员提前进行淋洗操作。淋洗时先打开 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器顶部的铅屏蔽盖，在发生器的一端插上生理盐水瓶作淋洗液，另一端插上真空瓶，由于负压作用，即能定量淋洗出 ^{99m}Tc 标记的溶液，经标记、分装、质控和包装制成针剂，供病人直接静脉注射。

（三）工作流程及产污环节

- ①根据需要，接受SPECT显像检查的人员进行预约登记，确定用药量；
- ②向有资质的供货商订购 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器，送至核医学科SPECT工作场所；
- ③核医学科工作人员接收、检查，并登记、签字。

④工作人员在SPECT通风分装柜内进行药物淋洗、药物分装。受检者按约定时间在给药候诊区准备和等候；准备好的受检者在专用通道注射窗口接受注射，医务人员佩戴个人剂量计、穿戴好个人防护用品通过过墙注射台为受检者注射药物；

- ⑤受检者进入给药后的注射后休息室候诊；
- ⑥受检者进入SPECT-CT机房接受检查；
- ⑦检查完成，受检者在留观室休息一段时间后，从专用通道离开；
- ⑧多余药物由药物供应商收回处理。

（四）放射性核素 ^{99m}Tc 使用量

根据预约登记患者人数，患者集中安排在上上午注射，患者人数较多时，上午、下午各淋洗一次。 ^{99m}Tc 患者日最大接诊人数为50人，本项目SPECT工作场所配备2台SPECT-CT机，平均每台扫描25人/天，给药后的候诊时间平均约**h，扫描时间平均约**min（考虑病人进出、摆位等），给药量按25mCi计。

9.1.4.4 ^{89}Sr 开展骨转移癌治疗、 ^{177}Lu 开展前列腺治疗和 ^{131}I 开展肾功能检查

(一) 工作原理

^{89}Sr 是纯 β 射线体，不伴 γ 射线，其发射的 β 射线能量较高，其半衰期为50.53天，在骨组织内的射程为3mm。 ^{89}Sr 具有趋骨性，在骨组织代谢的部分浓聚更多。癌症晚期患者多会发生癌细胞骨转移，同时引发骨痛症状。骨肿瘤病灶部分由于骨组织受到破坏，成骨细胞的修复作用及其活跃，易浓聚大量 ^{89}Sr 放射性药物。 ^{89}Sr 发射的 β 射线会能致死肿瘤细胞而发挥治疗作用。用于治疗 ^{89}Sr 是直接进行静脉注射，一般用量2.5mCi-4.0mCi/人，每份用于治疗放射性药物由供应商事先分装，预约病人后发货，注射时不需再分装，可直接用于门诊治疗，患者注射药物后不留观、不住院。

^{177}Lu 其半衰期为6.73d， ^{177}Lu 是一种治疗性核素，由于其 β 粒子能量相对较低，在组织中的平均射程为670 μm ，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。利用放射性核素 ^{177}Lu 与PSMA（前列腺特异性膜抗原）多肽在实验室结成制剂后，经静脉注入人体内，PSMA的小分子多肽与PSMA受体具有高度亲和力，由于转移性前列腺癌有高表达PSMA，放射性核素可以轻易浓聚到肿瘤细胞中。 ^{177}Lu 最大用药量10mCi/人，每份用于治疗放射性药物由供应商事先分装，预约病人后发货，注射时不需再分装，可直接用于门诊治疗，患者注射药物后不留观、不住院。

^{131}I 是 β 衰变核素，半衰期为8.02天，产生的 β 射线最大能量为0.602MeV，同时释放能量为0.365MeV的 γ 射线。本项目静脉注射通过肾脏排泄的放射性药物 ^{131}I 后，最大注射药物量为500kBq，使用肾图仪连续采集，记录肾脏灌注、聚集和排出放射性药物的过程、形成的时间、放射性活度曲线，称为放射性肾图，简称肾图，它可以反应肾血流灌注、肾实质功能和上尿路通畅与否等多方面的信息。每份用于治疗放射性药物由供应商事先分装，预约病人后发货，注射时不需再分装，可直接用于门诊治疗，患者注射药物后不留观、不住院。

(二) 工作流程及产污环节

- ①根据需要，接受骨癌治疗和前列腺癌治疗的人员进行预约登记，确定用药量；
- ②向有资质的供货商订购药物，药物送至核医学科 SPECT 注射区；
- ③核医学科质检人员接收、检查药物，并登记、签字。
- ④ ^{89}Sr 患者和 ^{177}Lu 患者按约定时间在候诊区准备和等候，准备好的受检者在专用通道注射窗口接受注射，医务人员佩戴个人剂量计、穿戴好个人防护用品从通过过墙注射

台为受检者注射药物；¹³¹I患者按约定时间在候诊区准备和等候，准备好的受检者进入肾图室接受注射，并使用肾图仪进行扫描采集。

⑤受检者注射药物后即离开，不留观、不住院。

9.1.4.5 ⁶⁸Ge和⁵⁷Co密封源

本次评价项目PET-CT和PET-MR共配套使用4枚⁶⁸Ge校准源用于检测设备性能的稳定性和图像信息的准确性的质控源。质控校准源是借助放射源产生的正电子为设备进行质控校准。

本次评价项目SPECT-CT共配套使用4枚⁵⁷Co校准源用于检测设备性能的稳定性和图像信息的准确性的质控源。质控校准源是借助放射源产生的正电子为设备进行质控校准。

校准源对人体产生的主要影响为外照射（β射线、γ射线），无含放射性废水和废气产生，超过使用期限的密封放射源成为废源，最终交由放射源生产单位回收或福建省城市低放废物库贮存。

9.2 污染源项描述

9.2.1 施工期的污染源项

本项目辐射工作场所建设阶段不产生放射性废物、放射性废水和放射性气体，主要是施工时产生的噪声、扬尘、废水、固体废物等环境影响。本项目辐射工作场所在建设阶段与四川大学华西厦门医院主体工程建设同时进行，本项目建设规模相比主体工程很小，且与主体工程同步施工完成，因此本项目的施工不会加重主体工程施工对环境的影响，也不会延长施工期对环境的影响。

（一）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。

（二）噪声

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65~105dB（A）之间，施工场地的噪声对周围环境有一定的影响，但随着施工的开始而结束。

（三）废水

施工期污水主要来自两个方面：一是施工废水，二是施工人员的生活污水。

(四) 固体废物

本项目固废主要为：生活垃圾、建筑垃圾等。

9.2.2 运行期的污染源项

9.2.2.1 直线加速器

直线加速器产生的电子束和 X 射线，以及在产生这两种辐射的过程中产生的其它 X 射线等次级辐射，一般均可称之为瞬时辐射，在直线加速器运行中产生，关机后立即消失，是直线加速器屏蔽、防护和监测的主要对象。与瞬时辐射相对应的还有剩余辐射，剩余辐射是直线加速器初级粒束和次级辐射在直线加速器结构材料及环境介质（空气、屏蔽物等）诱发生成的感生放射性，这种辐射在直线加速器运行停止后继续存在，对于直线加速器的屏蔽设计不是重点考虑的对象，但对直线加速器停机后的维修、常规调试、换靶操作等工作均为防护的重点。

(一) 正常工况

① 电子束

直线加速器加速的电子本身在物质中的射程很短，很容易被直线加速器的靶件或其它构件所阻止，不会直接造成危害，然而被直线加速器加速的电子束穿过薄膜窗从直线加速器中引出后，成为能量较高的外电子束，它在空气中的射程较长，这时绝对禁止非治疗人员在直线加速器开机时误入加速器机房，以防被电子束或散射电子照射造成事故。

② 高能 X 射线

直线加速器发出的高能 X 射线一般指电子束被靶或其它物质阻止所产生的具有连续能谱的韧致辐射。发射率与电子的能量、束流强度、靶物质原子序数及靶厚度有关，并随发射角度而异，加速电子轰击靶物质时，不仅沿电子入射方向有 X 射线发射，即使沿其它方向也有 X 射线发射。屏蔽设计时，除了关心对入射方向的 X 射线的屏蔽防护，还须对其他方向发射的 X 射线的进行屏蔽防护。

对于特征 X 射线，由于其能量一般低于数十千伏，强度也远小于韧致辐射，所以比较而言，在防护上一般可忽略。

被靶或电子束引出窗反射的电子往往具有足够高的能量，它们打到其它材料上产生 X 射线，X 射线又在各种材料上产生反散射，这些构成的杂散 X 射线也是辐射防护上不可忽视的辐射来源。

③中子

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 201.1-2007）加速器治疗 X 射线大于 10MV 时，由于 (γ, n) 反应生成“杂散”中子，应据治疗装置生产厂家给出的且不高于国家标准的指标，考虑机房的中子屏蔽，本项目拟采购的 4 台直线加速器最大 X 射线能量为 10MeV，不考虑中子的影响。

④感生放射性

感生放射性核素种类较多，半衰期长短不一，多数核素在数分钟至半小时之内，感生放射性以靶装置部位为最高。

⑤气体废物

高能电子与空气中的氧分子作用还会产生臭氧及 NO_x 废气。

⑥放射性固体废物

本项目运行过程中产生的放射性固体废物为直线加速器在使用一定年限或退时产生的加速器废靶。

⑦废水

本项目不产生医疗废水，但会产生微量放射性废水，放射性废水浓度极低，主要为冷却水循环使用，不外排。

因此，在开机期间，X 射线成为加速器污染环境的主要因子，其次为中子和 O_3 、 NO_x 废气。

（二）事故工况

①安全联锁装置和报警系统发生故障情况下，人员误入正在运行的加速器机房；

②工作人员或病人家属还未全部撤离加速器机房，控制室人员启动设备，造成有关人员被误照；

③工作人员误操作导致病人受到不必要的照射。

9.2.2.2 ^{192}Ir 后装 γ 源近距离治疗机

（一）正常工况

^{192}Ir 为密封源， β 射线被完全屏蔽，源活性物质也不会泄露，因此只有 γ 射线对人体产生外照射，而构筑机房时采取了迷路的屏蔽措施，仅少量散射线和穿透机房屏蔽的漏射线对机房外环境产生辐射影响。

后装治疗机使用的放射源为点状米粒大，密封型，外有不锈钢包壳，且在正常使用

情况下，不会产生放射性“三废”。其运营期的主要污染源为：

(1) 机房泄漏辐射

后装机正常运行时的主要环境污染因子为能量流形式的 γ 射线。在正常治疗条件下，后装机 ^{192}Ir 放射源发出的平均能量为370keV的 γ 射线，有小部分穿过治疗室屏蔽体（包括屏蔽墙、顶棚）及迷路防护门泄漏到工作场所及周围环境中，对周围的工作人员和公众产生 γ 外照射。

(2) 治疗前、治疗后装卸输源导管

在治疗前、治疗后装卸输源导管时， ^{192}Ir 源 γ 辐射有小部分穿过工作容器，对装卸人员产生 γ 射线外照射。

(3) 运输放射源

使用 ^{192}Ir 源时，放射源半衰期短，一般使用1.5个半衰期更换一次，源更换及废源回收由设备生产厂家负责。运输放射源时，放射源发出的 γ 辐射有小部分穿过运输容器，对运输和装卸人员产生 γ 射线外照射。源安装、更换、运输和装卸由厂家负责，因此对运输和装卸人员产生的影响本报告不作分析。

^{192}Ir 后装 γ 源近距离治疗机在工作状态下，会使机房内的空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，臭氧在常温常压下稳定性较差，可自行分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

因此，在开机期间， γ 射线成为污染环境的主要因子， ^{192}Ir 源废旧或活度达不到使用要求后成为放射性固体废物。

(二) 事故工况

^{192}Ir 后装治疗机在使用过程中，在意外情况下，可能出现的辐射事故如下：

(1) 在运输、安装、使用、退役过程中屏蔽储源体（屏蔽装置）发生损坏导致源不能被屏蔽。

(2) 因工作人员操作不当或出现设备故障，在设备安装和换装放射源时，发生放射源由设备或容器中跌落出来，造成安装或操作人员受到强辐射照射。

(3) 后装治疗机处于运行状态时，因故障发生门机联锁装置失效，导致人员误入处于运行状态的机房，受到不必要的辐射照射。

(4) 由于管理不善，源发生被盗、丢失、遗弃等事故，而引发环境辐射污染。

(5) 施源器没有对准医疗部位就进行辐照治疗。

(6) 出现卡源事故，导致源无法收回到后装治疗机内，而使患者或工作人员受到超剂量照射。

9.2.2.3 DSA 和 ERCP

本次项目 DSA 和 ERCP 属于 X 射线装置，为采用 X 射线进行放射诊断的设备，X 射线是随 DSA 和 ERCP 的开机、关机而产生和消失。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。

(一) 正常工况

①在采取隔室操作的情况下，并且在设备安全和防护硬件及措施到位的正常情况下，DSA 机房和 ERCP 机房外的工作人员及公众受到的泄漏 X 射线的外照射。

②对于 DSA 机房和 ERCP 机房内进行手术操作的医生和其他医务人员，则会受到一定程度的 X 射线外照射。

③X 射线与空气作用产生极少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，但由于本项目 DSA 和 ERCP 工作时的管电压、管电流较小，因此产生的臭氧和氮氧化物也较少。

(二) 事故工况

①当警示灯、门灯联锁损坏时，公众、检查管理人员或检修维护人员在 DSA（或 ERCP）开机状态下误入 DSA 机房（或 ERCP 机房）。DSA（或 ERCP）运作异常造成 DSA 机房（或 ERCP 机房）外剂量超标，造成人员在不知情的情况下在 DSA 机房（或 ERCP 机房）周围活动，致使人员所受剂量超标。

②DSA（或 ERCP）在不停机、铅玻璃老化和铅门破损未及时维修情况下，给周围活动人员及辐射工作人员造成额外的照射。

③因违章操作，控制室操作人员在病人及医护人员未撤离 DSA 机房（或 ERCP 机房）时进行曝光，给病人及医护人员造成额外的照射。

④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。

本项目中使用的 DSA 和 ERCP 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。

9.2.2.4 核医学科非密封放射性物质工作场所

(一) 回旋加速器

在回旋加速器区主要的环境影响为制备核素、化学分离与合成、质量控制、药物分装过程中对工作人员产生外照射；质量控制、药物分装过程中对工作台面、地面等造成的表面污染；生产过程产生的含放射性的滤膜、靶材料等；操作过程产生的放射性固体废物，如使用可能沾染放射性药物的手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物；操作过程产生的放射性废水，如洗涤废水。

(1) 正常工况

① γ 射线辐射

回旋加速器质子轰击靶而产生 ^{18}F 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 等，该反应产生的 ^{18}F 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu 等核素发生 β 衰变时伴随发射0.511MeV的 γ 射线。中子与周围物质相互作用时产生俘获中子 γ 射线。故 γ 射线是该项目的主要污染因子之一。

② 中子

回旋加速器用质子轰击靶子发生(p, n)反应，在产生放射性核素的同时，也产生快中子。因此，中子也是回旋加速器污染环境的主要污染因子。

③ 废水

回旋加速器工作时，内循环系统冷却水在回旋加速器内受照射后产生放射性核素，主要是 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{11}C 等，半衰期均较短，且冷却水沿闭合回路在自屏蔽体内循环使用，因此这一过程不会对水造成放射性污染。

热室房间自动合成时，每次合成产生约10ml的废水，每年约产生500ml的废水。

④ 废气

回旋加速器生产核素的过程中，中子及次级辐射与空气作用，在室内会产生少量的放射性气体及臭氧、氮氧化物等。

PET药物合成过程中产生的短半衰期放射性气体，废气由专用排风管排出，排气管道安装有活性炭过滤吸附装置。

⑤ 固体废弃物

质子轰击靶等物体时，会产生感生放射性，回旋加速器的靶膜由厂家专业人员负责更换，换下的靶膜置于回旋加速器自带的铅罐中，由生产厂家回收处理。废气处理系统更换产生的少量废旧活性炭，废旧活性炭交有资质单位处理。

(2) 事故工况

回旋加速器在意外情况下，可能出现的辐射事故如下：

①人员在防护门关闭前尚未撤离回旋加速器机房，回旋加速器运行可能产生误照射。在回旋加速器机房防护门内与操作室设置有人工紧急停机及开门按钮，只要未撤离人员了解该按钮的作用，可避免此类事故的发生。因此，在回旋加速器机房内应设置此按钮醒目的指示和说明，便于在紧急情况下使用。

②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回旋加速器机房内。因此，工作人员应每天检查安全联锁装置，且医务人员必须严格按照回旋加速器操作程序进行操作，防止事故的发生。当发生事故时立即按下紧急按钮停止运行，减少事故的影响。

③熔靶事故。在核素制备过程中，靶处于高压状态，且粒籽轰击靶会产生高温，当靶的冷却系统异常时，可能导致靶被打穿，使得靶水进入真空系统，靶物质冷凝在真空管壁上，造成污染。发生此类事故时，可关闭回旋加速器机房防护门24h，利用核素半衰期较短的特点，进行自然衰变后再进行处理。

④冷却水系统管道破裂等致使冷却水流程，污染地面、设备等，对人员产生外照射等影响。发生此类事故时，可关闭回旋加速器机房防护门24h，利用核素半衰期较短的特点，进行自然衰变后再进行处理。

(二) PET工作场所和SPECT工作场所

(1) 正常工况

①射线装置：SPECT-CT、PET-CT自带1台CT机，属于Ⅲ类射线装置。射线装置在关机时无X射线产生；开机时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。对于受检者，主要的辐射照射是有用射束，漏射线和散射线对受检者没有任何临床意义，只会增加辐射。射线装置开机期间，X射线经机房的辐射防护屏蔽后，射线基本被屏蔽在机房内，可能仍有一定的泄漏，对周围的医务人员及公众造成影响，途径为外照射。

② γ 射线：本评价项目的正电子核素在衰变过程中发射正电子，正电子与原子核周围的轨道电子发生结合，同时释放两个能量相等方向相反的 γ 光子（能量为0.511MeV），即 γ 射线。

③ β 射线： β 射线在人体和空气中射程较短，较容易防护，不会产生辐射污染。

④表面污染：工作人员在操作非密封放射性药物时，不可避免的会引起工作台、地

面等放射性沾污，造成β放射性表面污染。

⑤放射性固体废物：主要为放射性药物操作中沾染核素的注射器、针头、手套、药棉、纱布、吸水纸、一次性纸杯、试管等，以及退役的⁶⁸Ge和⁵⁸Co源。

⑥放射性废水：患者注射或服用放射性药物后，所产生的的排泄物、呕吐物及冲洗水等含有放射性核素，另外，清洗去污可产生放射性废液。医生在分装室、患者专用卫生间、淋浴间等均设有地漏，通过专用管道通往衰变池。

(2) 事故工况

①由于误操作，导致发生较大放射性剂量给药的情况。

②由于管理不善，发生放射性物品失窃，造成放射性污染事故。

③操作放射性药物时发生容器破碎、药物泼洒等意外事件，可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。泼洒的药物挥发将产生少量放射性废气，擦除污染物将产生少量的放射性固体废物。

④PET-CT 或 SPECT-CT 机运行时，无关人员误入扫描间，引起误照射。

⑤工作人员或病人在防护门关闭前尚未撤离扫描间，PET-CT或SPECT-CT机运行可能产生误照射。

(三) ⁸⁹Sr骨转移癌治疗、¹⁷⁷Lu前列腺癌治疗和¹³¹I开展肾功能检查

(1) 正常工况

①γ射线和β射线：⁸⁹Sr核素在衰变过程中释放β射线，β射线在人体和空气中射程较短，对人体的影响基本忽略不计；¹⁷⁷Lu和¹³¹I核素在衰变过程中释放γ射线和β射线，γ射线对人体造成外照射。

②表面污染：工作人员在操作非密封放射性药物时，可能会引起工作台、地面等放射性沾污，造成β放射性表面污染。

③放射性固体废物：主要为放射性药物操作中沾染核素的注射器、针头、手套、药棉、纱布、吸水纸、一次性纸杯、试管等。

(2) 事故工况

①由于误操作，导致发生较大放射性剂量给药的情况。

②由于管理不善，发生放射性物品失窃，造成放射性污染事故。

③操作放射性药物时发生容器破碎、药物泼洒等意外事件，可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。泼洒的药物挥发将产生少量放射性废气，擦

除污染物将产生少量的放射性固体废物。

(四) ^{68}Ge 和 ^{57}Co 密封源

本项目使用的 4 枚校准源 ^{68}Ge 和 4 枚 ^{57}Co 均为 V 类密封源，使用过程中可能产生以下影响：

1、正常工况

由于放射源是密封源，源活性物质也不会泄露，因此在正常情况下， γ 射线将是对人体产生主要影响的外照射，而无放射性废水和放射性废气排放。 ^{57}Co 和 ^{68}Ge 密封源使用到一定年限后会产生退役、报废的放射源，废放射源交由放射源生产厂家回收。

2、事故工况

- a.放射源丢失或被盜，对公众产生外照射。
- b.外力撞击导致放射源跌落裸露时，使工作人员或公众受到外照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 直线加速器

一、工作场所布局

本项目 4 台直线加速器位于地下负二层北侧中部，4 间加速器机房（1~4）从西往东依次并列设置，加速器机房东侧为核医学科衰变池，南侧为放疗科区域，西侧为停车场区域，北侧为停车场区域，正上方为无人夹层、院内道路，下方为土层。本项目 4 间加速器机房与控制室等辅房均分开设置，4 间加速器机房均设有 L 型迷道，迷道口设有防护门，防护门与直线加速器联锁。本项目 4 台直线加速器有用线束均不向迷道照射，仅向东墙、西墙、上方及地面照射。加速器机房布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定及《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）中“治疗室入口处必须设置防护门和迷路”等规定，本项目 4 间加速器机房布局合理。

二、控制区和监督区

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

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

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

为加强加速器机房所在区域的管理，限制无关人员受到不必要的照射。本次环评将加速器机房（1~4）划为控制区，在进行放射诊疗工作时，控制区内不得有人滞留。以辐射安全联锁、警示装置及管理制度保障控制区的辐射安全。监督区包含墙体和防护门外过道、更衣室、车道、控制室等。直线加速器工作时，监督区内严格限制无关人员进入。

三、辐射防护屏蔽设计

(1) 本项目加速器机房防护措施情况见表 10-1:

表 10-1 加速器机房防护措施情况一览表

项目		辐射防护情况	
加速器 机房 1	面积及净空高	机房面积为 66.3m ² (8.5m×7.8m), 净高 4.5m	
	东墙	主防护墙	300cm 混凝土; 宽 485cm
		次防护墙	210cm 混凝土
	南墙	迷路内墙	80~170cm 混凝土
		迷路外墙	170cm 混凝土
	西墙	主防护墙	300cm 混凝土; 宽 485cm
		次防护墙	210cm 混凝土
	北墙	210cm 混凝土	
	顶棚	主防护墙	300cm 混凝土; 宽 485cm
		次防护墙	210cm 混凝土
		迷道区域	170cm 混凝土
迷道	长 9.15m, 宽 2.0m, 净高 5.9m		
防护门	15mmPb 铅板+30mm 厚含硼聚乙烯		
加速器 机房 2	面积及净空高	机房面积为 66.3m ² (8.5m×7.8m), 净高 4.7m	
	东墙	主防护墙	300cm 混凝土; 宽 485cm
		次防护墙	210cm 混凝土
	南墙	迷路内墙	80~170cm 混凝土
		迷路外墙	170cm 混凝土
	西墙	主防护墙	300cm 混凝土; 宽 485cm
		次防护墙	210cm 混凝土
	北墙	210cm 混凝土	
	顶棚	主防护墙	300cm 混凝土; 宽 485cm
		次防护墙	210cm 混凝土
		迷道区域	170cm 混凝土
迷道	长 8.7m, 宽 2.0m, 净高 5.9m		
防护门	15mmPb 铅板+30mm 厚含硼聚乙烯		
加速器 机房 3	面积及净空高	机房面积为 66.3m ² (8.5m×7.8m), 净高 4.7m	
	东墙	主防护墙	300cm 混凝土; 宽 550cm
		次防护墙	210cm 混凝土
	南墙	迷路内墙	80~170cm 混凝土
		迷路外墙	170cm 混凝土
	西墙	主防护墙	300cm 混凝土; 宽 485cm
		次防护墙	210cm 混凝土
	北墙	210cm 混凝土	
顶棚	主防护墙	300cm 混凝土; 宽 485cm	

		次防护墙	210cm 混凝土
		迷道区域	170cm 混凝土
		迷道	长 8.7m, 宽 2.0m, 净高 5.9m
		防护门	15mmPb 铅板+30mm 厚含硼聚乙烯
加速器 机房 4	面积及净空高		机房面积为 78.2m ² (9.2m×8.5m), 净高 4.7m
	东墙	主防护墙	300cm 混凝土; 宽 550cm
		次防护墙	210cm 混凝土
	南墙	迷路内墙	80~170cm 混凝土
		迷路外墙	170cm 混凝土
	西墙	主防护墙	300cm 混凝土; 宽 550cm
		次防护墙	210cm 混凝土
	北墙		210cm 混凝土
	顶棚	主防护墙	300cm 混凝土; 宽 485cm
		次防护墙	210cm 混凝土
		迷道区域	170cm 混凝土
	迷道		长 10.55m, 宽 2.0m, 净高 5.9m
防护门		15mmPb 铅板+30mm 厚含硼聚乙烯	

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

(2) 其他安全防护措施

①警示标志

本项目 4 间加速器机房防护门外顶部设置工作状态指示灯, 直线加速器开机使用时, 指示灯为红色, 以警示人员注意安全; 在防护门门外张贴电离辐射警示标识并附中文说明; 防护门外设有有从室内开启治疗机房门的装置并设有防挤压功能。

②联锁装置

本项目 4 间加速器机房拟设置门-灯联锁装置、门-机联锁装置, 只有在防护门关闭状态且警示灯亮时才可进行出束, 设备在出束过程中若防护门打开, 设备自动停止出束。控制台授权装置、开机钥匙和计算机控制系统加密设置; 直线加速器照射启动与控制台控制系统联锁, 加速器机房设有从室内开启治疗机房门的装置, 防护门设有防挤压功能。

③紧急停机装置

本项目 4 间加速器机房内拟安装紧急停机开关, 分别设置于加速器机房墙面、迷路墙面及控制室内操作位, 在人员误入加速器机房或遭遇紧急情况时, 按动紧急停机开关设备立即停止出束, 安装高度约为 1.2m。

④视频监控系统和对讲系统

加速器机房内拟安装视频监控系统, 便于控制台前工作人员观察加速器机房、迷路

内病人及医护人员的情况。控制室与加速器机房之间拟安装语音对讲装置，便于与机房内人员沟通。

⑤实时辐射水平监测系统和个人剂量报警仪

本项目4间加速器机房内均拟设有固定式在线辐射剂量率监测探头（避开有用线束方向），实时监测到辐射剂量率水平显示在控制室中，工作人员及时了解工作情况以及加速器机房内的辐射水平。拟为辐射工作人员配备个人剂量报警仪，在辐射工作人员工作时，辐射工作人员将全程佩戴开启状态下的个人剂量报警仪。

⑥监测装置

医院拟配备1台辐射监测率仪（共用），用于医院辐射工作场所日常监测。医院拟为本项目所有辐射工作人员配备个人剂量计进行个人剂量累积监测，并每季度定期送检；本项目辐射工作人员进入加速器机房时应配备好个人剂量计和个人剂量报警仪；定期安排辐射工作人员参加职业健康体检，并建立个人剂量监测及健康档案。

⑦通风排风系统管道设计

本项目4间加速器机房均拟设置上送风、下排风式的机械通风装置。4间加速器机房的新风送风管道均拟沿加速器机房南侧墙体内壁向上接近顶棚处，以45°角穿过屏蔽墙体进入加速器机房的迷路内，4间加速器机房内均拟设置2个进风口，送风风量均为2100m³/h；新风排风管道拟沿治疗室南侧墙体内壁向上接近顶棚处，以45°角穿过屏蔽墙体进入加速器机房迷路，4间加速器机房内均拟设置2个排风口，排风管底部（吸风口）离地30cm，排风风量均为2500m³/h（加速器机房1体积为482.3m³（含迷道）、加速器机房2体积为482.1m³（含迷道）、加速器机房3体积为480.4m³（含迷道）、加速器机房4体积为563.3m³（含迷道）），可保障加速器机房通风换气次数不低于4次/h。

⑧电缆沟穿墙设计

本项目4间加速器机房电缆沟均采用倒梯形型穿越侧屏蔽墙体，以保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。

四、辐射防护措施符合性分析

为分析本项目4间加速器机房的辐射防护性能，根据医院提供的的设计资料，将拟建加速器机房的辐射防护措施列表分析，并与《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）中要求进行对比分析，均符合该标准要求，符合性分析情况见表10-2。

表 10-2 直线加速器机房辐射防护措施符合性分析表

标准防护要求	本项目方案	符合性
治疗室选址、场所布局和防护设计应符合 GB18871 的要求，保障职业场所和周围环境安全。	4间加速器机房均位于地下负二层放疗科，直线加速器主射线方向避开了控制室方向，加速器机房由专业设计单位进行了设计。	符合
有用线束直接投照的防护墙（包括天棚）按初级辐射屏蔽要求设计，其余墙壁按次级辐射屏蔽要求设计。辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T 201.1 的要求	4间加速器机房有用线束直接投照的防护墙（包括顶棚）按初级辐射屏蔽要求进行了设计，其余墙壁按次级辐射屏蔽要求进行了设计，辐射屏蔽设计符合GBZ/T 201.1的相关要求。	符合
在加速器迷宫门外、控制室和加速器机房墙外 30cm 外的周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h。	根据表11-14，本项目4间加速器机房墙外30cm外的周围剂量当量率满足不大于2.5 μ Sv/h的标准要求。	符合
穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。	本项目4间加速器机房电缆沟均采用“U”型穿越侧屏蔽墙体，不影响其屏蔽防护效果。	符合
X 射线能量超过 10MV 的加速器，屏蔽设计应考虑中子辐射防护。	本项目4台直线加上最大X射线能量为10MV，不考虑中子辐射防护。	符合
治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。	本项目4间加速器机房和控制室之间设置监视和对讲设备。	符合
治疗室应有足够的使用面积，新建治疗室不应小于 45m ² 。	本项目加速器机房（1~3）面积均为 66.3m ² （8.5m \times 7.8m）；加速器机房4面积为 78.2m ² （9.2m \times 8.5m）。	符合
治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门应与加速器联锁。	本项目4间加速器机房入口设计了防护门和迷路，防护门与加速器将设置安全联锁装置。	符合
相关位置（例如治疗室入口处上方等）应安装醒目的指示灯及辐射标志。	本项目4间加速器机房防护门外均将设置电离辐射警告标志和工作指示灯。	符合
治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。	本项目4间加速器机房均拟设置的通风系统排风量为2500m ³ /h（加速器机房1体积为482.3m ³ （含迷道）、加速器机房2体积为482.1m ³ （含迷道）、加速器机房3体积为480.4m ³ （含迷道）、加速器机房4体积为563.3m ³ （含迷道）），可保障加速器机房通风换气次数不低于4次/h。	符合

10.1.2 后装机

一、工作场所布局

本项目后装机位于地下负二层放疗科，后装机房东侧为控制室、过道，南侧为准备室、器械洗消，西侧为过道，北侧为过道，正上方为配电间、纯水间、淋浴间，下方为土层。本项目后装机房和控制室等辅房分开设置，后装机房入口采用迷路形式。后装机房布局符合《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ 121-2017）中的相关要求，本项目后装机房布局合理。

二、控制区和监督区

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

为加强后装机房所在区域的管理，限制无关人员受到不必要的照射。本次环评将后装机房划为控制区，在进行放射诊疗工作时，控制区内不得有人滞留。以辐射安全联锁、警示装置及管理制度保障控制区的辐射安全。监督区包含墙体和防护门外控制室，过道、车道、准备室等。直线加速器工作时，监督区内严格限制无关人员进入。

三、辐射防护屏蔽设计

(1) 本项目后装机房防护措施情况见表 10-3:

表 10-3 后装机房墙体及防护门屏蔽材料及厚度

项目		设计材料及厚度	
后装机房	面积	机房面积为 37.4m ² (7.2m×5.2m)，净高 3.1m	
	东墙	迷路内墙	600mm 混凝土
		迷路外墙	600mm 混凝土
	西墙	600mm 混凝土	
	南墙	600mm 混凝土	
	北墙	600mm 混凝土	
	顶板	600mm 混凝土+500mm 泡沫混凝土	
	防护门	7mmPb	

(2) 其他防护措施

①通风系统

本项目后装机房拟设置上送风、下排风式的机械通风装置。后装机房内送风口位于机房迷道，送风能力为600m³/h；排风口位于机房西北角，排风管底部（吸风口）离地30cm，排风能力为750m³/h，后装机房体积为173m³，换气次数为4.3次。

②管道穿墙设计

设备电缆穿墙方式拟采用倒梯形设计，以保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。

③视频监控系统和对讲系统

后装机房治疗室内、迷道设置视频监控和对讲设备，便于控制室操作人员观察治疗室内及迷道人员停留等情况，与治疗室内人员交流。

④实时辐射水平监测系统和个人剂量报警仪

后装机房内设固定式在线辐射剂量率监测探头，实时监测到辐射剂量率水平显示

在控制室中，工作人员及时了解工作情况以及机房中的辐射水平。拟配备个人剂量报警仪，在辐射工作人员工作时，辐射工作人员将全程佩戴开启状态下的个人剂量报警仪。

⑤紧急停机按钮

后装机房控制室控制台及后装机房内布设应急停机按钮，紧急情况下，按下急停开关应能使放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。治疗室内张贴应急指示。

⑥防护门联锁装置

后装机房设有迷路，迷路入口设有防护门，防护门设有门-机联锁装置，开门状态不能出源照射，出源照射状态下若开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位置；防护门设有防夹人装置，即当有人进出防护门时，防护门自动停止关门动作。在迷道侧墙靠近防护门处设置加装手动开门装置可在内部通过手动开启屏蔽门。

⑦工作状态指示灯和警示标识

在防护门外拟安装工作状态指示灯和电离辐射警示标识，其中工作状态指示灯具备开机、停机指示，并与设备联锁。

⑧应急处置用品

医院后装机房内配备30mmPb铅罐1个，配备长柄镊子、钳子、高强度钢丝剪等应急设备。

⑨防护用品

工作人员在控制室操作并配戴个人剂量计，每季度送有资质单位检测，建立个人剂量监测档案。医院配备铅衣、铅帽等防护用品。医院辐射工作人员进入后装机房前，应在控制室内通过控制台、安装的室内监测设备等确定放射源已回到屏蔽体内后方能进入治疗室，进入后装机房时应穿戴铅衣、个人剂量报警仪、个人剂量计等辐射防护用品。

四、辐射防护措施符合性分析

为分析本项目后装机房的辐射防护性能，根据医院提供的的设计资料，将拟建后装机房的辐射防护措施列表分析，并与《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ 121-2017)中要求进行对比分析，均符合该标准要求，符合性分析情况见表 10-4。

表 10-4 后装机房辐射防护措施符合性分析表

标准防护要求	本项目方案	符合性
治疗室应与准备室和控制室分开设置。治疗室内有效使用面积应不小于 20m ² ，应将治疗室设置为控制区，在控制区进出口设立醒目的符合 GB18871 规定的辐射警告标志，严格控制非相关人员进入控制区；将控制区周围的区域和场所设置为监督区，应定期对这些区域进行监督和评价。	本项目后装机房与准备室和控制室分开设置；本项目后装机房有效使用面积为36m ² （7.2m×5m）；本项目将后装机房设为控制区，并在防护门设立电离辐射警告标志，将控制区周围的区域设置为监督区。	符合
治疗室应设置机械通风装置，其通风换气能力应达到治疗期间使室内空气每小时交换不小于 4 次。	本项目后装机房排风量为750m ³ /h，后装机房体积为173m ³ ，能使后装机房室内空气每小时交换4次以上。	符合
治疗室入口应采用迷路形式，安装防护门并设置门-机联锁，开门状态不能出源照射，出源照射状态下若开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。治疗室外防护门上方要有工作状态显示。治疗室内适当位置应设置急停开关，按下急停开关应能使放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。	本项目后装机房采用迷路设计，并设置门机联锁，在治疗室门上设置工作状态指示灯；后装机房内有设置有紧急停机按钮，按下急停开关能使放射源自动返回贮源器。	符合
治疗室防护门应设置手动开门装置。	本项目后装机房防护门设有手动开门装置	符合
在控制室与治疗室之间应设监视与对讲设施。	本项目后装机房与控制室之间设有监控和对讲装置。	符合
应配备辐射监测设备或便携式测量设备，并具有报警功能。	建设单位拟为本项目配备1台X-γ辐射剂量率仪（具有报警功能）。	符合
治疗室墙壁及防护门的屏蔽厚度应符合防护最优化的原则，治疗室屏蔽体外30cm 处因透射辐射所致的周围剂量当量率应不超过 2.5μSv/h。	根据表11-23，本项目后装机房墙外30cm外的周围剂量当量率满足不大于2.5μSv/h的标准要求。	符合
在治疗室迷道出、入口处设置固定式辐射剂量检测仪并应有报警功能，其显示单元应设置在控制室内或机房门附近。	本项目后装机房内有固定式在线辐射剂量率监测探头，实时监测到辐射剂量率水平显示在控制室中。	符合
治疗室内应配有合适的储源容器、长柄镊子等应急设备	本项目后装机房内有配备30mmPb铅罐1个，配备长柄镊子、钳子、高强度钢丝剪等应急设备。	符合
治疗室内合适的地方应张贴应急指示。	本项目拟在后装机房内张贴应急指示。	符合

10.1.3 DSA 和 ERCP

一、工作场所布局

介入中心位于医技中心三层北侧，介入中心设有6间DSA介入手术室（1~6），DSA介入手术室（1~3）从西向东依次设置，DSA介入手术室（4~6）和DSA介入手术室（1~3）

南北对称设置；手术中心位于医技中心三层和四层，手术中心三层设有2间DSA杂交手术室（4~5）、四层手术中心设有1间DSA介入手术室5，1间DSA杂交手术室6。

ERCP机房位于医技中心二层内镜中心，ERCP机房东侧为术后恢复室，南侧为控制室、设备间，西侧为胶囊室，北侧为患者通道。

二、控制区和监督区

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

为加强DSA机房和ERCP机房所在区域的管理，限制无关人员受到不必要的照射。本次环评将各DSA机房和ERCP机房划为控制区，在进行放射诊疗工作时，控制区内不得有人滞留，以辐射安全连锁、警示装置及管理制度保障控制区的辐射安全。控制室和防护门外等相邻区域划为监督区，实行分区管理，避免人员误闯入或误照。

三、辐射防护屏蔽设计

(1) 本项目 DSA 机房和 ERCP 机房防护措施情况

本项目 DSA 机房和 ERCP 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 机房和 ERCP 机房拟采取的辐射防护措施情况见下表 10-5，拟配备的防护用品见下表 10-6。

表 10-5 DSA 机房和 ERCP 机房辐射防护措施情况一览表

位置	项目	辐射防护情况
医技中心三层介入中心	四周墙体	24cm混凝土实心砖+2mmPb硫酸钡防护涂料（约5.0mmPb）
	顶棚和地板	顶棚：12cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料（约 3.5mmPb） 地板：12cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料（约 3.5mmPb）
	防护门	内衬 3.5mmPb 铅板防护门
	观察窗	3.5mmPb 铅玻璃
	机房大小	DSA 介入手术室（1~3）有效使用面积为 64.1m ² （9.5m×6.75m） DSA 介入手术室（4~6）有效使用面积为 59.4m ² （8.8m×6.75m）
医技中心三层手术中心	四周墙体	轻钢龙骨+3mmPb铅板（约3.0mmPb）
	顶棚和地板	顶棚：12cm 混凝土+2mmPb 铅板（约 3.5mmPb） 地板：12cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料（约 3.5mmPb）
	防护门	内衬 3.5mmPb 铅板防护门
	观察窗	3.5mmPb 铅玻璃
	机房大小	DSA 杂交手术室 4 有效使用面积为 81.42m ² （11.8m×6.9m） DSA 杂交手术室 5 有效使用面积为 83.78m ² （11.8m×7.1m）
医技中心四层手术中心	四周墙体	轻钢龙骨+3mmPb铅板（约3.0mmPb）
	顶棚和地板	顶棚：12cm 混凝土+2mmPb 铅板（约 3.5mmPb） 地板：12cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料（约 3.5mmPb）
	防护门	内衬 3.5mmPb 铅板防护门
	观察窗	3.5mmPb 铅玻璃
	机房大小	DSA 机房有效使用面积为 85.91m ² （12.1m×7.1m）
医技中心四层手术中心	四周墙体	轻钢龙骨+3mmPb铅板（约3.0mmPb）
	顶棚和地板	顶棚：12cm 混凝土+2mmPb 铅板（约 3.5mmPb） 地板：12cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料（约 3.5mmPb）
	防护门	内衬 3.5mmPb 铅板防护门
	观察窗	3.5mmPb 铅玻璃
	机房大小	DSA 机房有效使用面积为 65.07m ² （9.1m×7.15m）
医技中心二层内镜中心	四周墙体	20cm 混凝土实心砖+2mmPb 硫酸钡防护涂料（约 4.5mmPb）
	顶棚和地板	顶棚：12cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料（约 3.5mmPb） 地板：12cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料（约 3.5mmPb）
	防护门	内衬 3.5mmPb 铅板防护门
	观察窗	3.5mmPb 铅玻璃
	机房大小	ERCP 机房有效使用面积为 36.4m ² （6.5m×5.6m）

注：①根据《放射诊断放射防护要求》GBZ130-2020 中表 C.4 和表 C.6 中规定，在 125kV（非有用线束）条件下，80mm 混凝土等效 1mmPb，147mm 混凝土等效 2mmPb，221mm 混凝土等效 3.0mmPb。在 150kV（非有用线束）条件下，90mm 混凝土等效 1mmPb，157mm 混凝土等效 2mmPb，187mm 混凝土等效 2.5mmPb。②混凝土密度不低于 2.35g/cm³，铅密度不低于 11.3g/cm³。

表 10-6 本项目拟配备防护用品一览表

《放射诊断放射防护要求》 (GBZ130-2020) 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设备自带铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘（均为 0.35mmPb）。 ②医院拟为本项目 每间 DSA 机房和 ERCP 机房工作人员配备 3 件铅围裙（0.5mmPb）、3 件铅围脖（0.5mmPb）、3 副介入防护手套（0.035mmPb）、3 副铅眼镜（0.35mmPb）、3 顶铅帽（0.35mmPb）、1 个个人剂量报警仪。 ③医院拟为 每间 DSA 机房和 ERCP 机房受检者配备 1 件铅围裙（0.5mmPb）、1 件铅围脖（0.5mmPb）、1 顶铅帽（0.35mmPb）。 ④医院拟配备 1 台辐射剂量率仪。	符合要求
	辅助防护设施	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏； 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	--		
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。			

(2) 其他安全防护措施

为保障 DSA 和 ERCP 的安全运行，避免在开机期间人员误留或误入 DSA 机房和 ERCP 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 机房和 ERCP 机房设计有相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

①本项目 10 间 DSA 机房和 ERCP 机房防护门上方设置工作状态指示灯，并在灯箱处设置“射线有害，灯亮勿入”等警示语句，入口显著位置张贴电离辐射警告标志，工作状态指示灯和与防护门联动，防护门关闭的情况下，工作状态指示灯才亮。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本项目 10 间 DSA 机房和 ERCP 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本项目 10 间 DSA 机房均拟设置对讲装置，方便工作人员实时关注机房情况并与病人交流。

④本项目 10 间 DSA 机房和 ERCP 机房均拟设置观察窗，在控制室内可以观察到 DSA 机房和 ERCP 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为改善 DSA 机房和 ERCP 机房内空气质量，本项目 10 间 DSA 机房和 ERCP 机房均拟使用独立的新风系统进行排风；本项目 DSA 机房和 ERCP 机房电缆线管采用“U”型方式

从地下穿过墙体。

⑥操作中减少透视时间和减少拍片的次数可以显著降低工作人员的辐射剂量，介入手术工作人员在操作时应尽量远离检查床。同时，加强对辐射工作人员的培训，参与介入手术的工作人员应该技术熟练，以减少介入手术工作人员的辐射剂量。

⑦医院为所有辐射工作人员和介入医生配备个人剂量计并定期送检，同时建立个人剂量档案；定期安排人员参加职业健康体检，并建立个人职业健康档案。

⑧介入医生在对病人病灶进行照射时，将对病人病灶以外的部位用铅围裙、铅围脖等防护用品进行遮盖，避免病人受到不必要的辐射照射。

四、辐射防护措施符合性分析

为分析本项目 DSA 机房和 ERCP 机房的辐射防护性能，根据医院提供的的设计资料，将 DSA 机房和 ERCP 机房的主要辐射防护措施列表分析，并与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对 DSA 机房和 ERCP 机房的辐射防护设施的技术要求对照，具体见表 10-7。

表 10-7 本项目 DSA 机房和 ERCP 机房辐射防护措施符合性分析表

设备名称	《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）要求	本项目方案	符合情况
DSA 和 ERCP	6.1.1: 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。	本项目 DSA 和 ERCP 有用线束朝上照射，避免直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。	符合
	6.1.5: 对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2 的规定（单管头 X 射线机（含 C 形臂，乳腺 CBCT）：机房内最小有效使用面积 20m ² ，机房内最小单边长度 3.5m）。	①DSA 介入手术室（1~3）有效使用面积为 64.1m ² （9.5m×6.75m） ②DSA 介入手术室（4~6）有效使用面积为 59.4m ² （8.8m×6.75m） ③DSA 杂交手术室 4 有效使用面积为 81.42m ² （11.8m×6.9m） ④DSA 杂交手术室 5 有效使用面积为 83.78m ² （11.8m×7.1m） ⑤DSA 杂交手术室 6 有效使用面积为 85.91m ² （12.1m×7.1m） ⑥DSA 介入手术室 5 有效使用面积为 65.07m ² （9.1m×7.15m） ⑦ERCP 机房有效使用面积为 36.4m ² （6.5m×5.6m）	符合
	6.2.1: 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表的规定（C 形臂 X 射线设备机房，有用线束方向铅当量 2mm，非有用线束方向	根据表 10-5，本项目 10 间 DSA 机房屏蔽防护均满足有用线束方向铅当量 2mm，非有用线束方向铅当量 2mm 的标准要求。	符合

	铅当量 2mm。)。		
	6.4.1: 机房应设有观察窗或摄像监控装置,其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。	本项目 10 间 DSA 机房和 ERCP 机房均拟设有观察窗,其设置的位置能观察到受检者状态及防护门开闭情况。	符合
	6.4.2: 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	建设单位在项目运行期拟制订相关规章制度规定机房内不允许堆放与本项目诊断工作无关的杂物。	符合
	6.4.3: 机房应设置动力通风装置,并保持良好的通风。	本项目 10 间 DSA 机房和 ERCP 机房均拟设置动力通风装置,保障 DSA 机房具备良好的通风。	符合
	6.4.4: 机房门外应有电离辐射警告标志;机房门上方应有醒目的工作状态指示灯,灯箱上应设置如“射射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句;候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。	本项目 10 间 DSA 机房和 ERCP 机房防护门外均拟设置电离辐射警告标志、放射防护注意事项、工作指示灯,灯箱处设置有“射线有害、灯亮勿入”警示语句;DSA 机房防护门设置门机联动装置。	符合
	6.4.5: 平开机房门应有自动闭门装置;推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施;工作状态指示灯能与机房门有效关联。	本项目 10 间 DSA 机房和 ERCP 机房平开防护门均拟设置自动闭门装置,工作状态指示灯能与机房门有效联动。	符合
	6.4.6: 电动推拉门宜设置防夹装置。	本项目 10 间 DSA 机房和 ERCP 机房电动推拉门均拟设有防夹装置。	符合

10.1.4 核医学科

一、工作场所布局

核医学科工作场所位于地下一层北侧中部,根据“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”中满足以下特点的放射性药物生产、使用场所,应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算:①有相对独立、明确的监督区和控制区划分;②工艺流程连续完整;③有相对独立的辐射防护措施。本次核医学科项目分为核医学科工作场所可分为回旋加速器制药工作场所、PET工作场所和SPECT工作场所。

回旋加速器制药工作场所位于核医学科北侧,包括回旋加速器机房、药物合成室、物料准备间、质控打包间、缓冲、穿衣手消、脱衣洗手、无菌检测、全检质控室、阳性对照、一更、二更、洁具、淋浴、洁净过道、整衣、准备等。

PET 工作场所位于核医学科东侧,包括患者过道、冲淋、一更、二更、配药分装、注射区、注射室、废药间、VIP 候诊区、VIP 注射后休息室、PET-MRI 注射后休息室 1~2、PET-CT 注射后休息室 1~3、PET-MRI 机房、PET-CT 机房、控制室、抢救室、VIP 留观室、PET-MRI 留观室、PET-CT 留观室等。

SPECT 诊断区域位于核医学科西侧，包括患者过道、冲淋、一更、二更、配药分装、注射区、注射室、废药间、注射后休息室、陪诊室、SPECT-CT 机房 1~2、控制室、留观室、抢救室、肾图室等。

二、工作场所布局合理性分析

1、核医学科设置在地下负一层中部北侧，场址在医疗机构内部区域，充分考虑周围场所的安全，不邻接产科、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。

2、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和回旋加速器制备药物场所。其功能设置如下：诊断工作场所和治疗工作场所设置清洁用品储存场所、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。满足综合性的核医学工作场所，但功能用房和辅助用房相对独立。

3、正电子药物制备工作场所应包括回旋加速器机房工作区、药物制备区、药物分装区及质控区等。

4、核医学放射工作场所划分为控制区和监督区，并根据 GB18871 的有关规定，结合核医学科的具体情况，对控制区和监督区采取相应管理措施。

5、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。治疗区域和诊断区域相对分开布置。根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定核医学治疗区(病房)的位置及其放射防护要求，给药室靠近病房，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。

6、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。合理设置了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。

7、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。

8、正电子药物制备场所按相关的药物生产管理规定，合理规划工作流程，使放射性物质的传输运送最佳化，减少对工作人员的照射。回旋加速器室、药物制备室及分装区域的设置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。

综上所述，核医学项目的设计满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）对核医学场所的相关布局及设计要求。

三、控制区和监督区

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的规定，为了便于辐射防护管理和职业照射控制，控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围，将辐射工作场所分为控制区和监督区。为加强核医学科工作场所所在区域的管理，限制无关人员受到不必要的照射，本项目将对核医学科工作场所进行分区管理。

控制区：①回旋加速器制药区域控制区包括回旋加速器机房、药物合成室、全控质检室；②PET 工作场所控制区包括患者走廊、配药分装、注射区、注射室、废药间、VIP 注射后休息室、PET-MRI 注射后休息室 1~2、PET-CT 注射后休息室 1~3、PET-MRI 机房、PET-CT 机房、抢救室、VIP 留观室、PET-MRI 留观室、PET-CT 留观室、一更、二更、淋浴间等；③SPECT 工作场所控制区包括肾图室、患者走廊、配药分装、注射区、注射室、废药间、注射后休息室、SPECT-CT 机房 1~2、留观室、抢救室、问诊室、一更、二更、淋浴间等。

监督区：核医学科与控制区相邻的其他区域化为监督区。

二、工作场所分级和分类

①工作场所分级

根据《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 10-8 和表 10-9。

表 10-8 回旋加速器制药工作场所等级一览表

工作场所	核素名称	日最大生产量 (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)		场所等级
回旋加速器制药工作场所	¹⁸ F	7.4×10^{10}	0.01	1	7.4×10^8	合计： 1.24×10^9	乙级
	¹⁵ O	3.7×10^{10}	0.01	1	3.7×10^8		
	¹³ N	1.11×10^{10}	0.01	1	1.11×10^8		
	⁶⁴ Cu	1.85×10^9	0.01	1	1.85×10^7		

表 10-9 PET 和 SPECT 工作场所等级一览表

工作场所	核素名称	日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)		场所等级
PET 工作场所	¹⁸ F	9.25×10^9	0.01	10	9.25×10^6	合计： 3.885×10^7	乙级
	¹⁵ O	7.4×10^8	0.01	1	7.4×10^6		
	¹³ N	7.4×10^8	0.01	1	7.4×10^6		
	⁶⁴ Cu	7.4×10^8	0.01	1	7.4×10^6		
	⁶⁸ Ga	7.4×10^8	0.01	1	7.4×10^6		
SPECT 工作场所	^{99m} Tc	4.63×10^{10}	0.01	10	4.63×10^7	合计： 1.59×10^8	乙级
	⁹⁹ Mo	4.63×10^{10}	0.1	100	4.63×10^7		
	⁸⁹ Sr	2.96×10^8	0.1	1	2.96×10^7		
	¹⁷⁷ Lu	3.7×10^8	0.1	1	3.7×10^7		
	¹³¹ I	2.5×10^6	0.1	1	2.5×10^5		

②工作场所分类

根据《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)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。临床核医学工作场所具体分类详见表 7-7,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,操作性质修正因子及加权活度见表 10-10。

表 10-10 PET 和 SPECT 工作场所等级一览表

工作场所	核素名称	日最大操作活度 (Bq)	毒性权重因子	修正因子	加权活度 (Bq)	场所等级	
回旋加速器制药工作场所	¹⁸ F	7.4×10 ¹⁰	1	1	7.4×10 ¹⁰	合计： 1.24×10 ¹¹	I 级
	¹⁵ O	3.7×10 ¹⁰	1	1	3.7×10 ¹⁰		
	¹³ N	1.11×10 ¹⁰	1	1	1.11×10 ¹⁰		
	⁶⁴ Cu	1.85×10 ⁹	1	1	1.85×10 ⁹		
PET 工作场所	¹⁸ F	9.25×10 ⁹	1	1	9.25×10 ⁹	合计： 1.221×10 ¹⁰	II 级
	¹⁵ O	7.4×10 ⁸	1	1	7.4×10 ⁸		
	¹³ N	7.4×10 ⁸	1	1	7.4×10 ⁸		
	⁶⁴ Cu	7.4×10 ⁸	1	1	7.4×10 ⁸		
	⁶⁸ Ga	7.4×10 ⁸	1	1	7.4×10 ⁸		
SPECT 工作场所	^{99m} Tc	4.63×10 ¹⁰	1	1	4.63×10 ¹⁰	合计： 1.14×10 ¹¹	I 级
	⁹⁹ Mo	4.63×10 ¹⁰	1	100	4.63×10 ⁸		
	⁸⁹ Sr	2.96×10 ⁸	100	1	2.96×10 ¹⁰		
	¹⁷⁷ Lu	3.7×10 ⁸	100	1	3.7×10 ¹⁰		
	¹³¹ I	2.5×10 ⁶	100	1	2.5×10 ⁸		

四、工作人员、患者、放射性药物和废物运送专用路线设置情况

受检者（或患者）通道：

①PET 受检者按照预约时间到达 PET 工作场所，并进入病史采集室和接待问询室进行病史采集和信息登记，然后在候诊大厅等候，听到工作人员叫号后经患者专用通道进入注射区接受注射，注射完药物后进入注射后休息室候诊；随后根据工作人员叫号进入 PET-CT 机房（或 PET-MRI 机房）进行扫描检查，检查完成后，受检者通过专用通道离开核医学区域，部分受检者可能需要在留观室等待复检。

②SPECT 受检者按照预约时间在候诊大厅等候，听到工作人员叫号后经患者专用通道进入注射室接受注射，注射完药物后进入注射后休息室候诊；随后根据工作人员叫号进入 SPECT-CT 机房进行扫描检查，检查完成后，受检者通过专用通道离开核医学区域，部分受检者可能需要在留观室等待复检。

③⁸⁹Sr 核素骨转移癌治疗和 ¹⁷⁷Lu 核素前列腺治疗患者按照预约时间在候诊大厅等候，听到工作人员叫号后经 SPECT 诊断区域患者专用通道进入注射室接受注射，注射完药物后通过专用通道离开核医学区域；¹³¹I 核素肾图扫描患者按照预约时间在候诊大厅等候，听到工作人员叫号后进入肾图室接受注射和扫描，扫描完就离开核医学区域。

工作人员通道：

①回旋加速器设备操作人员经过道进入控制室进行设备操作；药物合成人员经缓冲区（一更、二更、洁净走廊）进入药物合成室；质控人员经全检质控室、缓冲区（脱衣

洗手、穿衣手消)进入阳性对照、无菌检测进行相关操作,工作结束后原路返回。

②PET-MRI、PET-CT 操作人员经过道进入控制室进行设备操作,经内防护门至 PET-MRI 和 PET-CT 机房进行指导摆位;核素操作人员经卫生通过间(一更、二更)进入分装配药室、注射区,在通风橱内进行药物分装等操作,并通过注射窗口为受检者(或患者)注射药物,工作结束后原路返回。

本项目设计的医护人员通道、给药前受检者(或患者)通道与给药后受检者(或患者)通道不交叉,能够满足相互独立的要求。

药物通道:

①回旋加速器生产药物运送路线:

回旋加速器每天按时生产的正电子药物(^{18}F 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{64}Cu),经药物合成室自动合成、标记,质控实验室进行质控,通过操作孔、铅玻璃观察窗,将药物装入防护罐中,运送至 PET 诊断区域配药分装室内。

②核素治疗药物运送路线

根据预约情况,供药单位将药物(^{89}Sr 、 ^{177}Lu 、 ^{131}I)和 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器经 SPECT 诊断区域患者出口送入 SPECT 诊断区域,并经传递窗送入配药分装室;供药单位将药物(^{68}Ga)经回旋加速器制药工作场所过道送入 PET 诊断区域,并经传递窗送入配药分装室。在摄像头监控下质检人员核对放射性药物名称、活度,检查药品包装和外观质量,与供药公司办理交接手续并存档,药品储存在注射区的储药柜中。送药一般在其他工作人员未上班或人员休息时等人员较少的时间段进行。核医学科送药路径短捷,采取了管理措施在时间上确保将人流与物流分开。

废物通道:

工作过程中产生的放射性医疗垃圾在工作结束后由专人统一收集,标明核素种类、收集时间并存放在放射废物暂存间中,放置足够长的时间(10个半衰期以上),待放射性物质自行衰变后的活度降至豁免活度以下按普通医疗废物处理,由专人从废物间取出带出核医学科。废核素发生器暂存在放射废物暂存间内,由厂家进行回收。

综上所述,医院核医学科实现了给药室与检查室的分开,设置了工作人员通道与患者通道,进出防护门均拟设置门禁系统,核医学科布局有助于实施工作程序,故核医学科布局合理。

五、辐射防护屏蔽设计

本项目核医学科工作场所各功能用房防护措施情况见表 10-11:

表 10-11 核医学科工作场所屏蔽设计

区域	房间名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度	
回旋加速器制药区域	回旋加速器机房	东墙、西墙、南墙	1000mm 混凝土	
		北墙	迷路内墙	600mm 混凝土
			迷路外墙	1000mm 混凝土
		顶板	1000mm 混凝土	
		地板	1600mm 混凝土(含重晶石) +500mm 轻集料混凝土	
		防护门	15mmPb+50mm 聚乙烯	
	药物合成室	东墙	1000mm 混凝土	
		西墙、南墙、北墙	300mm 混凝土实心砖+5mmPb 钡砂水泥	
		顶板	200mm 混凝土	
		地板	250mm 混凝土	
		传递窗(2个)	8mmPb 铅玻璃	
		防护门	8mmPb 铅防护门	
		合成柜	70mmPb 铅防护	
	传输管道	70mmPb 铅防护		
PET工作区域	配药分装、注射区、注射室、废药间	四周墙体	300mm 混凝土实心砖+5mmPb 钡砂水泥	
		顶板	200mm 混凝土+5mmPb 防护涂料	
		地板	250mm 混凝土+5mmPb 防护涂料	
		防护门	8mmPb 铅防护门	
		注射窗	30mmPb 铅玻璃	
		传递窗	8mmPb 铅玻璃	
		通风分装柜	50mmPb 铅防护	
	患者走廊	四周墙体	300mm 混凝土实心砖+5mmPb 钡砂水泥	
		出入口防护门	8mmPb 铅防护门	
		顶板	200mm 混凝土+5mmPb 防护涂料	
		地板	250mm 混凝土+5mmPb 防护涂料	
	PET-MRI 注射后休息室 1~3、PET-CT 注射后休息室 1~3、VIP 留观室、PET-MRI 留观室、PET-CT 留观室、抢救室、卫生间	四周墙体	300mm 混凝土实心砖+5mmPb 钡砂水泥	
		顶板	200mm 混凝土+5mmPb 防护涂料	
		地板	250mm 混凝土+5mmPb 防护涂料	
		防护门	8mmPb 铅防护门	
	PET-MRI 机房	四周墙体	300mm 混凝土实心砖+5mmPb 钡砂水泥	
		顶板	200mm 混凝土+5mmPb 防护涂料	
		地板	250mm 混凝土+5mmPb 防护涂料	
		防护门	8mmPb 铅防护门	
		观察窗	8mmPb 铅玻璃	

	PET-CT 机房	四周墙体	300mm 混凝土实心砖+5mmPb 钡砂水泥
		顶板	200mm 混凝土+5mmPb 防护涂料
		地板	250mm 混凝土+5mmPb 防护涂料
		防护门	8mmPb 铅防护门
		观察窗	8mmPb 铅玻璃
SPECT 工作 区域	肾图室	四周墙体	300mm 混凝土实心砖
		顶板	200mm 混凝土
		地板	250mm 混凝土
		防护门	6mmPb 铅防护门
	配药分装、注射区、 注射室、废药间	四周墙体	300mm 混凝土实心砖+3mmPb 钡砂水泥
		顶板	200mm 混凝土+3mmPb 防护涂料
		地板	250mm 混凝土+3mmPb 防护涂料
		防护门	6mmPb 铅防护门
		注射窗	15mmPb 铅玻璃
		传递窗	6mmPb 铅玻璃
		通风分装柜	20mmPb 铅防护
	患者走廊	四周墙体	300mm 混凝土实心砖+3mmPb 钡砂水泥
		出入口防护门	6mmPb 铅防护门
		顶板	200mm 混凝土+3mmPb 防护涂料
		地板	250mm 混凝土+3mmPb 防护涂料
	注射后休息室、VIP 休息室、VIP 留观室、 留观室、抢救室、问 诊室、卫生间	四周墙体	300mm 混凝土实心砖+3mmPb 钡砂水泥
		顶板	6mmPb 铅防护门
		地板	200mm 混凝土+3mmPb 防护涂料
		防护门	250mm 混凝土+3mmPb 防护涂料
	SPECT-CT 机房 1~2	四周墙体	300mm 混凝土实心砖+3mmPb 钡砂水泥
顶板		200mm 混凝土+3mmPb 防护涂料	
地板		250mm 混凝土+3mmPb 防护涂料	
防护门		6mmPb 铅防护门	
观察窗		6mmPb 铅玻璃	

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

六、辐射安全装置

建设单位拟在回旋加速器机房设置门机联锁装置，并在防护门上方醒目位置设置工作状态指示灯，防护门上张贴电离辐射警告标志。在运行过程，如将防护门开启，回旋加速器可自动停止。回旋加速器机房内设置紧急开门按钮和应急对外通讯设施。

回旋加速器控制间及机房内拟设置急停开关，当遇到意外情况，直接切断设备电源，停止出束。回旋加速器机房和药物合成室内拟设置固定式辐射监测报警装置。

回旋加速器运行启动与辐照参数预选数联锁：控制台设有参数联锁，如水冷、真空度、气压、磁场等运行参数，只有当各项参数给出预选值显示，加速器才能启动，否则

不得启动。

建设单位拟在 PET-MRI 机房、PET-CT 机房、SPECT-CT 机房 1~2 防护门外上方醒目位置设置工作状态指示灯，门上张贴电离辐射警告标志，机房与控制室之间墙体上设置观察窗，可以观察到受检者的状态及防护门开闭情况。设备及控制室操作台拟安装紧急停机按钮，便于操作人员在发生紧急情况时切断系统电源。

建设单位拟在核医学科控制区各防护门外设置电离辐射警告标志，场所内安装监视、对讲装置，能够随时监控场所内人员情况并实现对讲，用以规范受检者（或患者）在核医学科工作场所内定向流动，了解受检者（或患者）的有关信息，发现异常或可疑情况立即进行处理。场所内拟设置多个固定式剂量监测报警装置。对患者通道出入口安装单向门禁系统来限值患者的活动范围，并设置自动回门装置，以防无关人员进入，场所内地面上设置明确的患者导向标识，其他控制区入口设置门禁系统，防止无关人员误入。储源场所和废物间拟实行双人双锁管理。

七、核医学科表面污染控制与防护

本项目核医学科工作场所地面和墙壁（1m 以下）均拟使用防静电 PVC 卷材，易清洗且不易渗透，地面与墙壁接缝采用圆弧设计，保证连接处无缝隙，操作台、注射台表面采用不锈钢材料，光滑、平整、易于清洗去污。

该院核医学科高活性区入口处均设置有卫生通过间，卫生通过间内拟设置洗手池、冲淋间，洗手池拟采用感应或脚踏出水的方式，卫生通过间内拟放置拖把、脸盆、水桶等清洗用具和去污工具箱，去污工具箱内含一次性手套、鞋套、口罩、防护服、安全眼镜、去污剂或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂 and 硫代硫酸钠的水）、小刷子、一次性吸水毛巾或吸水纸、酒精湿巾、记号笔、不同大小的塑料袋、标签、电离辐射警告标志、胶带、一次性镊子等。

工作人员进入高活性区需更换服装，穿戴工作衣、裤、帽、鞋、口罩、胶质手套及相应个人防护用品，工作人员离开高活性区时，应清洗、更衣并对手部等体表部位进行污染测定，确认未受放射污染，方可离开。

八、核医学科防护用品和监测设备配置

本项目核医学科工作场所拟配备防护用品种类及数量如下：

（1）合成柜：用于药物合成室内合成、分装药物，整体铅防护 70mmPb，柜体上设有铅玻璃观察窗，防护当量与柜体相同，内有放射性药物自动分装装置。

(2) 通风分装柜：用于配药分装室内分装药物，PET 诊断区域通风分装柜整体铅防护 50mmPb，SPECT 诊断区域通风分装柜整体铅防护 20mmPb，柜体上设有铅玻璃观察窗，防护当量与柜体相同，内有放射性药物防护手动分装装置，通风分装柜均拟设置独立的排风系统，风速不小于 1.0m/s。

(3) 放射性药物防护注射窗：PET 诊断区域注射窗整体铅防护 30mmPb，SPECT 诊断区域注射窗整体铅防护 15mmPb。

(4) 放射性药物防护铅屏风：PET 诊断区域 2 扇，15mmPb，用于患者摆位；SPECT 诊断区域 2 扇，5mmPb，用于患者摆位。

(5) 药物运输防护罐：4 个，40mmPb。

(6) 注射器防护套：PET 诊断区域注射器防护套 4 个，3mL、5mL 各 2 个，15mmPb；SPECT 诊断区域注射器防护套 4 个，3mL、5mL 各 2 个，5mmPb。

(7) 放射性药物防护废物桶：PET 诊断区域铅废物桶 4 个，20mmPb；SPECT 诊断区域铅废物桶 4 个，5mmPb；放射性废物储物箱：2 个，40mmPb，100L。

(8) 个人防护用品包括：铅防护衣、铅橡胶帽子、铅橡胶颈套、铅眼镜、铅橡胶手套（均为 0.5mmPb）5 件作为 1 套，购置 20 套。

(9) 监测设备包括：1 台辐射剂量率仪、3 台表面污染仪。

九、核医学科排风系统

该项目核医学科拟设置 14 套相互独立的排风系统：

1) 回旋加速器机房内及其气瓶间、设备间、水冷机房、控制室拟设置一套独立的排风系统；

2) 回旋加速器制药工作场所的质控打包间、物料准备间、药物合成室及其缓冲区域、全检质控室及其缓冲区域拟设置一套独立的排风系统；

3) 回旋加速器制药工作场所的药物合成室内的合成通风柜拟设置一套独立的排风系统；

4) PET 工作场所的配药分装、注射区、注射室、废药间及其缓冲区域内拟设置一套独立的排风系统；

5) PET 工作场所的 PET-MRI 注射后休息室 1~2、PET-CT 注射后休息室 1~3、VIP 注射后休息室、卫生间内拟设置一套独立的排风系统；

6) PET 工作场所的配药分装室内的通风分装柜拟设置一套独立的排风系统；

- 7) PET 工作场所的 PET-MRI 机房和 PET-CT 机房内拟设置一套独立的排风系统;
- 8) PET 工作场所的 PET-MRI 设备间和 PET-MRI 控制室内拟设置一套独立的排风系统;
- 9) PET 工作场所的 PET-CT 设备间、抢救室、患者通道、VIP 留观室、PET-MRI 留观室、PET-CT 留观室、卫生间内拟设置一套独立的排风系统;
- 10) PET 工作场所的病史采集室、接待问询室、候诊区、VIP 候诊区、卫生间内拟设置一套独立的排风系统;
- 11) SPECT 诊断区域的肾图室、患者走廊、配药分装、注射区、注射室、废药间、注射后休息室、SPECT-CT 机房 1~2、留观室、抢救室内拟设置一套独立的排风系统;
- 12) SPECT 工作场所的配药分装室内的通风分装柜拟设置一套独立的排风系统;
- 13) SPECT 诊断区域的控制室、办公室等非控制区拟设置一套独立的排风系统;
- 14) 放射性废物暂存间拟设置一套独立的排风系统。

该院拟设置以上排风系统，房间内为微负压，并拟设置防回风阀，防止有害气体在特殊状态下逆流。各场所产生的废气由支管道汇入主管道后，进入各区域排风机房，由排风机房排至医技中心楼顶，排风口距地 3m。地下室风机出口处拟设置活性炭吸附净化装置，活性炭由专人进行定期更换，更换下来的活性炭按照放射性固体废物进行处理。

十、核医学科放射性废液衰变池

本项目的放射性液体废物主要来自含放射性核素的器皿以及剩余药物、冲洗水和受检者（或患者）的排泄物等。产生放射性液体废物的主要场所为各区域卫生通过间的洗手池、冲淋间，注射后休息室和留观室的卫生间。各场所产生的废液通过支管道汇集到主管道，主管道沿患者走廊布置，向北通入地下二层的衰变池，考虑到废液在管道内残留影响，管道外包 6mmPb 铅板进行防护。

本项目设置了独立的智能化衰变池系统，衰变池分为 3 个并联的衰变槽，每个衰变槽容积 5m³。当放射性废液流入衰变系统时，衰变池 1 进水阀打开，废液流入衰变池 1，其内置传感器检测达到预设高液位时，进水阀关闭，同时开启衰变池 2 进水阀，放射性废液流入衰变池 2，同样内置传感器检测达到预设高液位时，进水阀关闭，开启衰变池 3 进水阀，放射性废液流入衰变池 3，当衰变池 3 内置传感器检测达到预设高液位时，衰变池 1 排水阀开启对外排放废液，当衰变池 1 内置传感器检测到液位排至最低后再次开始收集，如此循环往复。衰变池系统在衰变间内，衰变间为混凝土结构，其四周墙体及

顶板均为 300mm 混凝土，防腐防水性能好。

十一、核医学科管理措施

(1) 放射性核素管理措施：

①应根据工作实际需要，在规定允许使用量范围内，制定年度订购计划。

②放射性核素应有专人领取和保管，到货后迅速取回，及时按要求登记，贴妥标签，注明放射性核素种类、放射性浓度及日期，妥善保存，防止丢失或变性，出厂说明书妥加保存，以备查对。

④标记及注射放射性药物时应严格核对，防止发生差错。对放射性药物应定期质控检查，如需要可随时检测。

⑤放射性核素到货后，应及时通知患者检查或治疗，以减少浪费。

⑥放射性核素空容器应固定地点集中存放，按规定退回生产厂家。

⑦要有专人负责每日放射性药品的登记，包括生产厂家、生产日期、批号、注射前剂量和注射后针筒残余剂量等，并由注射者签名。

⑧过期的或使用完毕的放射性药品应于放射性药品登记本中注明，统一予以注销，并按照放射性固体废物处理。

(2) 放射性核素操作时的防护措施：

①将药物注射器装上注射器防护套放入注射器防护盒中进行传递；

②要求医务人员在不同的活度区域应做好基本防护（比如穿着工作服、帽子、手套、佩戴个人剂量计）并穿着防护衣（铅衣、铅帽、铅眼镜等）；

③要求非密封源操作必须在带有抽风通风装置的通风分装柜内进行；

④放射性工作区域内不得会客、饮食、吸烟等；

⑤工作人员工作结束离开工作场所前必须脱下防护衣物，仔细洗手，不得穿工作服离开工作区域到非放射性工作场所活动，严禁将污染的设备和个人防护用品带出非放射性工作场所；

⑥工作人员的皮肤暴露部位有伤口时，应做好相应防护避免受到放射性污染，并可暂时不从事开放性放射源操作。

(3) 患者防护管理措施：

①在确定核医学诊断程序前首先确保根据临床需要拟使用的核医学诊治技术的预期利益将超过该医疗照射可能带来的潜在危险；

②已注射的受检者与未注射的受检者行动路线尽量不要交叉，以尽量减少受检者的受照剂量，患者出入口做好警示标识，严格控制人员进出。受检者进入注射区域或离开留观室后，工作人员应检查并确保相应的门已关闭；

③向患者施予放射性药物前必须仔细核对：患者是否与申请单上的姓名相符；准备施予的放射性药物名称、化学形式和活度是否与要求的相符；是否准备使用非常规程序；患者是否已做好准备工作，如已禁食或施用阻断剂。给患者注射放射性药物时必须小心谨慎，注意检查注射放射性药物的静脉周围有无泄漏，规定的活度是否已全部注入。如果出现意外，必须立即报告核医学医师；

④建立避免给错放射性药物或把放射性药物给错患者的防范措施。如果发生治疗给药失误，核医学医师应立即对患者进行妥善处理，并向有关部门报告；

⑤在患者出院时，应叮嘱患者，在离开医院后一定时间内，尽量减少与家庭陪护人员近距离、长时间共处，以减少对家人和其他人的辐射影响。

(4) 陪护人员防护管理措施

①患者检查时，尽量避免陪护人员进入机房。

②若患者必须需要扶持，工作人员应向陪护人员告知放射可能引起的危害。严禁孕妇及18岁以下青少年扶持受检者。

③陪护人员经工作人员允许后，穿戴好铅防护衣、铅帽子、铅围脖等防护用品，经患者入口进入控制区。工作人员应对陪护人员信息及陪护时间进行记录。

④陪护人员应尽量缩短与患者的接触时间，在保证受检者不因躁动摔下床的情况下，尽可能采取距离防护。

⑤放射性废弃物丢弃在放射废物桶内，不得带出检查室，待放置衰变后再进行常规处理。

十二、辐射防护措施符合性分析

本项目核医学科非密封放射性物质工作场所辐射防护措施合理性分析采用《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ 120-2006)和《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)进行分析，辐射防护措施符合性分析见表10-12。

表 10-12 核医学科辐射防护措施符合性分析表

标准	标准防护要求	本项目方案	符合性
《临床核医学放射卫生防护标准》 (GBZ 120-2006)	4.2~4.4: 按标准表 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护要求见标准表 6。	根据表 10-8, 回旋加速器制药工作场所和 SPECT 工作场所为 I 类工作场所, PET 工作场所为 II 类工作场所。本项目核医学科各工作场所已按照《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006) 中工作场所的要求进行设计。	符合
	4.5: 合成和操作放射性药物所用的通风橱, 工作中应有足够风速(一般风速不小于 1m/s), 排气口应高于本建筑屋脊, 并酌情设有活性炭过滤或其他专用过滤装置, 排出空气浓度不应超过有关法规标准规定的限值。	本项目药物合成室合成柜、PET 配药室通风分装柜和 SPECT 配药室通风分装柜均设有独立的通风管道(风速不小于 1m/s), 排气口高于本建筑屋脊, 并在排气口设置活性炭过滤。	符合
	4.6: 凡 I 类工作场所和开展放射性药物治疗的单位应设有放射性污水池, 以存放放射性污水直至符合排放要求时方可排放。废原液和高污染的放射性废液应专门收集存放。	本项目拟建设 1 个三级并联废液衰变池(每个 5m ³ , 共 15m ³) 用于收集放射性废水, 其四周墙体及顶板均为 30mm 混凝土。放射性废液在衰变池中经过 10 个半衰期以上后, 经检测合格方可排入城市污水管网。	符合
	4.7: 临床核医学工作场所应具备有收集放射性废物的容器, 容器上应有放射性标志。放射性废物应按长半衰期和短半衰期分别收集, 并给予适当屏蔽。固体废物如无人的针头、注射器和破碎的玻璃器皿等应贮于不泄漏、较牢固、并有核实屏蔽的容器内。放射性废物应及时按 GBZ 133 进行处理。	放射性废物先分类收集存放在塑料袋内(如含废弃的针头、玻璃安剖瓶则应先收集在特制的硬纸盒内后放入塑料袋内), 塑料袋装满后, 将袋装封号并贴上封口时间标签, 将塑料袋放置在铅制放射性废物桶内, 废物衰变桶表面设有电离辐射警告标志。	符合
	4.8: 临床核医学诊断机治疗用工作场所(包括通道)应注意合理安排与布局。其布局应有助于实施工作程序, 如一端为放射性物质贮存室, 依次为给药室、候诊室、检查室、治疗室等。并且避免无关人员通过。	本项目布局基本合理。	符合
	4.9: 临床核医学诊断用给药室与检查室分开。如必须在检查室给药, 应具有相应的放射防护设备。	本项目 PET 工作场所和 SPECT 工作场所给药室和检查室均为单独用房。	符合
	4.10: 临床核医学诊断用候诊室应靠近给药室和检查室, 宜有受检者专用厕所。	本项目 PET 工作场所和 SPECT 工作场所注射后休息室均位于给药室和检查室附近, 注射后休息室和扫描后休息室均设有受检者专用厕所。	符合
	《放射诊断放射防护要求》 (GBZ 130-	6.1.1: 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置, 应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。	本项目 PET-CT 机房和 SPECT-CT 机房有用线束未直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。
6.1.5: 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		①PET-CT 扫描间有效使用面积为 44.24m ² (7.9m×5.6m); ②SPECT-CT	符合

2020)	房,其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表2的规定(CT机(不含头颅移动CT):机房内最小有效使用面积30m ² ,机房内最小单边长度4.5m)。	扫描间(1~2)有效使用面积为37.44m ² (7.8m×4.8m)。	
	6.2.1: 不同类型X射线设备(不含床旁摄影设备和便携式X射线设备)机房的屏蔽防护应不低于表3的规定(CT机房(不含头颅移动CT),CT模拟定位机房)。	①PET-CT扫描间四周墙体为30cm混凝土实心砖+5mmPb硫酸钡防护涂料(8.0mmPb);顶棚为20cm混凝土+5.0mmPb硫酸钡防护涂料(约7.0mmPb);地板为25cm混凝土+5.0mmPb硫酸钡防护涂料(约8.0mmPb);防护门为内衬8mmPb铅板防护门;观察窗为8mmPb铅玻璃。 ②SPECT-CT扫描间(1~2)四周墙体为30cm混凝土实心砖+3mmPb硫酸钡防护涂料(6.0mmPb);顶棚为20cm混凝土+3mmPb硫酸钡防护涂料(约5.0mmPb);地板为25cm混凝土+3.0mmPb硫酸钡防护涂料(约6.0mmPb);防护门为内衬6mmPb铅板防护门;观察窗为6mmPb铅玻璃。	符合
	6.4.1: 机房应设有观察窗或摄像监控装置,其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。	本项目PET-CT扫描间和SPECT-CT扫描间(1~2)均拟设有观察窗,其设置的位置能观察到受检者状态及防护门开闭情况。	符合
	6.4.3: 机房应设置动力通风装置,并保持良好的通风。	本项目PET-CT扫描间和SPECT-CT扫描间(1~2)拟设置动力通风装置,保障机房内具备良好的通风。	符合
	6.4.4: 机房门外应有电离辐射警告标志;机房门上方应有醒目的工作状态指示灯,灯箱上应设置如“射射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句;候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。	本项目PET-CT扫描间和SPECT-CT扫描间(1~2)防护门外均拟设置电离辐射警告标志、放射防护注意事项、工作指示灯,灯箱处设置有“射线有害、灯亮勿入”警示语句;机房防护门设置门机联动装置。	符合
	6.4.5: 平开机房门应有自动闭门装置;推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施;工作状态指示灯能与机房门有效关联。	本项目PET-CT扫描间和SPECT-CT扫描间(1~2)平开防护门均拟设有自动闭门装置;工作状态指示灯与机房门设有联锁装置。	符合
	6.4.6: 电动推拉门宜设置防夹装置。	本项目PET-CT扫描间和SPECT-CT扫描间(1~2)电动推拉门均拟设有防夹装置。	符合

10.2 三废的治理

10.2.1 直线加速器

(1) 废气

当直线加速器运行时会产生少量的废气，其主要成分为臭氧 O₃、氮氧化物 NO_x 和感生放射性核素（¹³N、¹⁵O、¹¹C 等），为了防止机房内的臭氧 O₃、氮氧化物 NO_x 和感生放射性核素（¹³N、¹⁵O、¹¹C 等）超标，医院拟在本项目 4 间加速器机房内设置通风排气系统，排风量为 2500m³/h，本项目加速器机房 1 体积为 482.3m³（含迷道）、加速器机房 2 体积为 482.1m³（含迷道）、加速器机房 3 体积为 480.4m³（含迷道）、加速器机房 4 体积为 563.3m³（含迷道），因此本项目 4 间加速器机房的通风均可满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。臭氧 O₃、氮氧化物 NO_x 和感生放射性核素（¹³N、¹⁵O、¹¹C 等）通过机房的通风系统排出后，很快被空气对流、扩散作用稀释，对大气环境影响较小。

(2) 固体废物

本项目固体废物主要为直线加速器废靶件，直线加速器靶物质（件）以及机头等金属部件由于受电子的轰击会产生较强的感生放射性，当直线加速器达到使用寿命并退役时，会产生直线加速器废靶件，交由厂家拆除并回收处置。

(3) 废水

本项目直线加速器不产生医疗废水，只会产生微量放射性废水，放射性废水浓度极低，主要为冷却水循环使用，不外排。

10.2.2 后装机

(1) 废气

当后装机运行时会产生少量的废气，其主要成分为臭氧 O₃ 和氮氧化物 NO_x，为了防止机房内的臭氧 O₃ 和氮氧化物 NO_x 超标，医院拟在本项目后装机房内设置通风系统，通风量为 750m³/h。后装机房的有效容积（含迷路）为 173m³，因此后装机房内的通风可满足《后装γ源近距离治疗放射防护要求》（GBZ 121-2017）中“治疗期间使室内空气每小时交换不小于 4 次”的要求。臭氧 O₃ 和氮氧化物 NO_x 通过机房的通风系统排出后，很快被空气对流、扩散作用稀释，对大气环境影响较小。

(2) 固体废物

后装机使用过程中产生的废弃 ¹⁹²Ir 放射源应交由放射源生产单位回收处理，医院购买 ¹⁹²Ir 放射源时应按照国家相关法律法规要求与放射源生产单位签订回收协议。

(3) 废水

本项目后装机治疗过程不产生放射性废水。

10.2.3 DSA 和 ERCP

本次DSA和ERCP属于利用X射线进行介入诊疗和摄影诊断的医用设备，只有在设备开机的状态下才产生X射线，本项目不产生放射性废气、废水和放射性固体废弃物。

(1) 废气

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

(2) 固体废物

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

(3) 废水

本项目DSA和ERCP为数字化显影设备，无洗片废水、废定（显）影液。

10.2.4 核医学科

(1) 废气

本项目拟设置 14 套相互独立的排风系统用于处理核医学科回旋加速器机房内活化气体、液体放射性核素挥发产生的放射性废气、以及核医学区域产生的臭氧和氮氧化物。

本项目拟设置以上排风系统，房间内为微负压，并拟设置防回风阀，防止有害气体在特殊状态下逆流。各场所产生的废气由支管道汇入主管道后，进入各区域排风机房，由排风机房排至楼顶。地下室风机出口处拟设置活性炭吸附净化装置，活性炭由专人进行定期更换，更换下来的活性炭按照放射性固体废物进行处理。

(2) 固体废物

本项目产生的放射性固废可分为三类，第一类为退役PET质控放射源（ ^{68}Ge ）和SPECT质控放射源（ ^{57}Co ）；第二类为被污染的手套、抹布等物品、病人使用的一次性杯子、废药盒、废钨铱发生器等；第三类为清理放射性废水衰变池时产生的沉积物污泥。

第一类：退役PET质控放射源（ ^{68}Ge ）和SPECT质控放射源（ ^{57}Co ）由生产厂家回收

或送福建省城市低放废物库贮存。

第二类：本项目PET诊断区域设置4个铅废物桶（20mmPb），SPECT诊断区域设置4个铅废物桶（5mmPb）。每天下班后，由医务人员将PET诊断区域和SPECT诊断区域内铅废物桶的垃圾转入放射性废物暂存间内的放射性废物储物箱，放射性废物暂存间内共设有2个放射性废物储物箱（40mmPb），两个放射性废物储物箱轮流使用。

本项目所用放射性废物衰变桶均按照《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ 120-2006）及《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ 133-2009）的相关规定，于衰变桶上设置放射性标志并在显著位置设置标签，标注废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等。此外，在衰变桶内放置有专用塑料袋直接收纳废物，对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后在装入专用塑料袋内。本项目污物间衰变桶内的放射性废物经设定周期存放后可达到解控水平，经监管部门确认或批准，可按免管废物处理；废药盒、废钨钨发生器交由生产厂家回收处理。

第三类：清理放射性废水衰变池时产生的沉积物污泥，经设定周期存放后可达到解控水平，经审管部门确认或批准，可作为免管废物处理。

（3）废水

该项目的放射性液体废物主要来自含放射性核素的器皿以及剩余药物、冲洗水和受检者（或患者）的排泄物、以及回旋加速器放射性药物制取过程中产生的放射性废液等。产生放射性液体废物的主要场所为各区域卫生通过间的洗手池、冲淋间，注射后休息室和留观室的卫生间。各场所产生的废液通过支管道汇集到主管道，主管道沿患者走廊布置，向北通入地下二层的衰变池，考虑到废液在管道内残留影响，管道外包6mmPb铅板进行防护。

回旋加速器放射性药物制取工艺流程中加入的反应介质乙腈溶液和乙醚洗涤液，在同位素交换反应和洗涤完成后，每天产生约10ml放射性废液，由热室专用瓶自动收集，并在当天运行结束后只能等到第二天才能打开，废液在药物合成室贮存，贮存一定时间后进行监测，监测合格后当做普通废液排放，对于长半衰期废液（靶水）先进行收集，收集后进行固化处理后送城市放射性废物库。

根据《建筑给水排水设计标准》，大便器自闭式冲水阀一次用量 6L。根据医院提供的资料 PET-CT 工作场所每天接诊病人数 29 人/天，SPECT-CT 工作场所每天接诊病人数

为 50 人，设核素显像检查患者注射后休息期间上厕所 2 次，每次约产生废水 6L。回旋加速器工作场所、PET-CT 工作场所和 SPECT 工作场所清洗、去污每天用水量约为 150L（含工作人员），除此之外，考虑事故应急用水裕量保守取 100L/天。则总流入衰变池的废水量为 1.5m³/天。

根据衰变池的容积可计算出每装满一个小分池大约需要80h的时间，废水装满第一衰变池，则自动关闭该衰变池入口水闸，自动打开第二衰变池的入口水闸，废水排入第二衰变池，以此类推排入第三衰变池，实现3个衰变池的独立交替使用。第3个衰变池满时，第一衰变池废水已衰变160h天以上。放射性废水中含有的放射性核素为（¹⁸F、¹³N、¹⁵O、⁶⁴Cu、⁶⁸Ga和^{99m}Tc），放射性废液中⁶⁴Cu的半衰期最长为12.7h，十个半衰期约为127h，因此该方案能够满足本项目排放的放射性废水在废水衰变池停留足够时间后达标排放的要求。衰变池排出的废水排入城市污水管网。

医院外购药物如有剩余，则将剩余药物密封在铅药罐内，交由药物供应商回收处理。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目拟建的核技术利用项目位于福建省厦门市集美区沈海高速公路与杏锦路交叉口西南侧四川大学华西厦门医院内，四川大学华西厦门医院建设项目已履行了环评手续，并于2019年12月20日取得了厦门市生态环境局《关于四川大学华西厦门医院环境影响报告书的批复》（厦环审[2019]147号），本项目辐射工作场所在建设阶段与四川大学华西厦门医院主体工程建设同时进行，本项目建设规模相比主体工程很小，且与主体工程同步施工完成，因此本项目的施工不会加重主体工程施工对环境的影响，也不会延长施工期对环境的影响。

本项目拟建辐射工作场所约为12个月，施工涉及的区域面积较小，施工期间以施工噪声影响为主，同时伴有粉尘、废水和固体废物产生。

11.1.1 施工期扬尘影响分析

本项目在建设施工期需进行的土建、电气安装、铅门安装等作业，各种施工将产生少量扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。

针对上述扬尘污染采取以下措施：a、及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；b、施工场地应进行围挡，设置洒水装置，车辆在运输材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；c、施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

11.1.2 施工期噪声环境影响分析

机房装修电钻作业、设备安装等施工时产生间歇性噪声和振动，最大噪声级可达105dB，对项目周边人员有一定的影响。

为了降低施工噪声对周围环境的影响，施工时应文明施工，合理安排施工时间，午间和夜间休息时间禁止施工；同时应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，施工场所应采取消声减震措施，避免对项目周边人员产生影响。

11.1.3 施工期固体废物环境影响分析

项目施工期间固废主要为建筑垃圾、施工废物料及施工人员生活垃圾。

对项目施工期间产生的建筑垃圾、施工废物料，可回收利用的部分应尽量予以回收，不可回收的部分运送至四川大学华西厦门医院建筑垃圾定点收集处，统一交由有资质的渣土运输单位处置。建设单位应做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中

散落。

本项目建设内容所需施工人员约 40 人，生活垃圾量按 0.5kg/人.d 计算，则施工期内每天产生生活垃圾约 20kg/d。生活垃圾采取袋装分类收集，投放至指定地点，而后由环卫部门每日及时统一清运、处置。

11.1.4 施工期废水环境影响分析

施工期废水主要有施工过程中产生的含泥浆建筑废水及施工人员生活污水。

施工期建设场地设置临时沉淀池，建筑废水经临时沉淀池处理后用于施工场地洒水降尘，不外排。

本项目建设内容所需施工人员约 40 人，根据给水排水设计规范，按每人每天用水 80L 计算，则施工期总用水量约为 1152t (3.2t/d)，污水排放量按用水量的 90% 计算，则生活污水总排放量约 1037t。生活污水主要是依托已有化粪池进行收集处理，不会对周边环境造成影响。

本项目为新建项目，建设期间不涉及射线装置的使用，故不会对周边环境产生电离辐射影响。但在安装调试的过程当中，一定要严格按照相关使用说明、相关管理制度执行。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 直线加速器

根据医院提供的资料，本次拟建设 4 台 10MV 直线加速器分别放置于地下负二层放疗科加速器机房（1~4）。本项目拟采购的 4 台直线加速器最大 X 射线为 10MV，距靶中心 1m 处主射束剂量率最高为 24Gy/min。

本项目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，选取加速器治疗室四面墙壁、顶棚及迷道入口处作为预测点位。

(1) 有用线束主屏蔽区半宽度核算

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》（GBZ/T201.2-2007）的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度。

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

式中：Y_p——机房有用束主屏蔽区的宽度，m；

SAD——源轴距，m；

θ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；

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

将各参数代入式（11-1）得出本项目的主屏蔽宽度，结果见表 11-1。

表11-1 有用线束主屏蔽区宽度核算值

机房	关注点	a (m)	SAD (m)	θ (°)	Y _p (m)	实际设计宽度 (m)	评价结果
加速器 机房1	东墙主屏蔽区	6.9	***	***	***	4.85	满足
	西墙主屏蔽区	4.8	***	***	***	4.85	满足
	顶棚主屏蔽区	4.16	***	***	***	4.85	满足
加速器 机房2	东墙主屏蔽区	6.9	***	***	***	4.85	满足
	西墙主屏蔽区	6.9	***	***	***	4.85	满足
	顶棚主屏蔽区	4.36	***	***	***	4.85	满足
加速器 机房3	东墙主屏蔽区	6.9	***	***	***	4.85	满足
	西墙主屏蔽区	6.9	***	***	***	4.85	满足
	顶棚主屏蔽区	4.36	***	***	***	4.85	满足
加速器 机房4	东墙主屏蔽区	5.5	***	***	***	5.5	满足
	西墙主屏蔽区	7.6	***	***	***	5.5	满足
	顶棚主屏蔽区	4.36	***	***	***	5.5	满足

从表11-1的预测结果可以看出，本项目4间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/T201.2-2007）的相关要求。

(2) 剂量控制要求

①治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量率

治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量率（以下简称剂量率）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，由周剂量参考控制水平求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)：

放射治疗机房外控制区的工作人员： $\dot{H}_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$ ；

放射治疗机房外非控制区的人员： $\dot{H}_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

b) 按照关注点人员居留因子 (T) 的不同，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 $T \geq 1/2$ 的场所， $\dot{H}_{c,\max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

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

c) 关注点处的剂量率参考控制水平取 a)、b)中的较小者。

②治疗室机房顶的剂量控制

治疗机房顶的剂量应按下述a)、b)两种情况控制：

a) 在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐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 $\dot{H}_c \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ ，按照治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量率求法进行计算。

b) 除上述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。该项辐射和穿出机房墙透视辐射在相应处的剂量(率)的综合，应按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) 穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以相当于机房外非控制区人员周剂量率控制指标的年剂量250 μSv 加以控制；

3) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，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)。

本项目4间加速器治疗室关注点的周围剂量当量率参考控制水平 H_c 。

单一辐射有用线束：计算公式为：

$$H_{c,d} = \frac{\dot{H}_c}{t \cdot U \cdot T} \dots\dots\dots \text{式 (11-2)}$$

\dot{H}_c ——周参考剂量控制水平， $\mu\text{Sv/周}$ ；

U ——关注位置方向照射的使用因子，本次评价取 1/4；

T ——人员在相应关注点驻留的居留因子，工作人员取 1，公众人员取 1/4 或 1/16；

t ——治疗装置周治疗时间，h；预计病人约***人/天，平均每人治疗照射***min，则周出束时间***h。根据公式（11-2）带入相关参数得主屏蔽区墙外剂量率参考控制水平。

表11-2 主屏蔽区墙外剂量率参考控制水平

机房	关注点	\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/周}$)	t (h)	U	T	$H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	$H_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	H_c ($\mu\text{Sv/h}$)
加速器机房1	东墙主屏蔽 (A点)	***	***	***	***	***	***	8
	西墙主屏蔽 (B点)	***	***	***	***	***	***	8
	顶棚主屏蔽 (G点)	***	***	***	***	***	***	32
加速器机房2	东墙主屏蔽 (A点)	***	***	***	***	***	***	8
	西墙主屏蔽 (B点)	***	***	***	***	***	***	8
	顶棚主屏蔽 (G点)	***	***	***	***	***	***	32
加速器机房3	东墙主屏蔽 (A点)	***	***	***	***	***	***	8
	西墙主屏蔽 (B点)	***	***	***	***	***	***	8
	顶棚主屏蔽 (G点)	***	***	***	***	***	***	32
加速器机房4	东墙主屏蔽 (A点)	***	***	***	***	***	***	8
	西墙主屏蔽 (B点)	***	***	***	***	***	***	8
	顶棚主屏蔽 (G点)	***	***	***	***	***	***	32

单一辐射泄露辐射：计算公式为：

$$H_{c,d} = \frac{\dot{H}_c}{N \cdot t \cdot T} \dots\dots\dots \text{式 (11-3)}$$

\dot{H}_c ——周参考剂量控制水平， $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

N——强调治疗时用于泄露辐射的调强因子，通常N=5；

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。

本项目单一泄露辐射方向墙体为东墙和西墙（西墙为土层，本项目计算不计入关注点），带入参数算得：

表11-3 侧屏蔽墙外剂量率参考控制水平

机房	关注点	\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	t (h)	T	$H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$H_{c,\text{max}}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	H_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
加速器机房1	南墙 (C点)	***	***	***	***	***	8
	南墙 (D点)	***	***	***	***	***	8
	北墙 (F点)	***	***	***	***	***	0.4
加速器机房2	南墙 (C点)	***	***	***	***	***	8
	南墙 (D点)	***	***	***	***	***	8
	北墙 (F点)	***	***	***	***	***	0.4
加速器机房3	南墙 (C点)	***	***	***	***	***	8
	南墙 (D点)	***	***	***	***	***	8
	南墙防护门 (E点)	***	***	***	***	***	8
	北墙 (F点)	***	***	***	***	***	0.4
加速器机房4	南墙 (C点)	***	***	***	***	***	8
	南墙 (D点)	***	***	***	***	***	8
	北墙 (F点)	***	***	***	***	***	0.4

复合辐射：与主屏蔽墙直接相连的次屏蔽区需考虑加速器的泄漏辐射和有用线束水平照射的患者散射，代入相关参数算得相应的剂量率参考控制水平如下：

表11-4 与主屏蔽直接相连的次屏蔽区的剂量率参考控制水平

加速器机房1			
关注点	东墙次屏蔽区 (A1、A2)	西墙次屏蔽区 (B1、B2)	顶棚次屏蔽 (G1、G2)
导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}^{\bullet}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	***	***	***
关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,\text{max}}^{\bullet}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	***	***	***
剂量率参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	5	5	50
加速器机房2			
关注点	东墙次屏蔽区 (A1、A2)	西墙次屏蔽区 (B1、B2)	顶棚次屏蔽 (G1、G2)
导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}^{\bullet}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	***	***	***
关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,\text{max}}^{\bullet}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	***	***	***
剂量率参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	5	5	50
加速器机房3			
关注点	东墙次屏蔽区 (A1、A2)	西墙次屏蔽区 (B1、B2)	顶棚次屏蔽 (G1、G2)
导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}^{\bullet}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	***	***	***
关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,\text{max}}^{\bullet}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	***	***	***
剂量率参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	5	5	50
加速器机房4			
关注点	东墙次屏蔽区 (A1、A2)	西墙次屏蔽区 (B1、B2)	顶棚次屏蔽 (G1、G2)
导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}^{\bullet}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	***	***	***
关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,\text{max}}^{\bullet}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	***	***	***
剂量率参考控制水平 H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	5	5	50

根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)中“在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外30cm处的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”，从偏保守和安全考虑，本项目公众人员的剂量率参考控制水平取较小值。本项目4间直线加速器治疗室各点的剂量率控制水平如下：

表11-5 本项目直线加速器机房屏蔽体外剂量率控制水平

机房	位置	关注点	剂量率控制水平 \dot{H}_e ($\mu\text{Sv/h}$)
加速器机房1	东墙主屏蔽	A点	2.5
	东墙次屏蔽	A1点、A2点	2.5
	西墙主屏蔽	B点	2.5
	西墙次屏蔽	B1点、B2点	2.5
	南墙侧屏蔽	C点	2.5
	迷路外墙侧屏蔽	D点	2.5
	防护门外	E点	2.5
	北墙侧屏蔽	F点	0.4
	顶棚主屏蔽	G点	2.5
	顶棚次屏蔽	G1点、G2点	2.5
加速器机房2	东墙主屏蔽	A点	2.5
	东墙次屏蔽	A1点、A2点	2.5
	西墙主屏蔽	B点	2.5
	西墙次屏蔽	B1点、B2点	2.5
	南墙侧屏蔽	C点	2.5
	迷路外墙侧屏蔽	D点	2.5
	防护门外	E点	2.5
	北墙侧屏蔽	F点	0.4
	顶棚主屏蔽	G点	2.5
	顶棚次屏蔽	G1点、G2点	2.5
加速器机房3	东墙主屏蔽	A点	2.5
	东墙次屏蔽	A1点、A2点	2.5
	西墙主屏蔽	B点	2.5
	西墙次屏蔽	B1点、B2点	2.5
	南墙侧屏蔽	C点	2.5
	迷路外墙侧屏蔽	D点	2.5
	防护门外	E点	2.5
	北墙侧屏蔽	F点	0.4
	顶棚主屏蔽	G点	2.5
	顶棚次屏蔽	G1点、G2点	2.5
加速器机房4	东墙主屏蔽	A点	2.5
	东墙次屏蔽	A1点、A2点	2.5

西墙主屏蔽	B点	2.5
西墙次屏蔽	B1点、B2点	2.5
南墙侧屏蔽	C点	2.5
迷路外墙侧屏蔽	D点	2.5
防护门外	E点	2.5
北墙侧屏蔽	F点	0.4
顶棚主屏蔽	G点	2.5
顶棚次屏蔽	G1点、G2点	2.5

(3) 屏蔽厚度与屏蔽透射因子的相应关系

①有效屏蔽厚度:

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

$$X_e = X / \cos \theta \dots\dots\dots \text{式 (11-4)}$$

其中，X——屏蔽物质厚度，cm;

θ——斜射角，即入射射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

②屏蔽物质的厚度与辐射屏蔽透射因子 B 的关系如下:

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

TVL₁——第一什值层厚度，cm;

TVL——平衡什值层厚度，cm;

X_e ——物质的有效屏蔽厚度，cm。

(4) 主屏蔽墙和侧屏蔽墙

有用线束和泄漏辐射的屏蔽与剂量估算:

对于给定的屏蔽物质厚度时，屏蔽体外 30cm 处关注点的剂量率计算公式如下:

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f \cdot B}{R^2} \dots\dots\dots \text{式 (11-6)}$$

\dot{H} ——屏蔽体外关注点的剂量率，μSv/h;

\dot{H}_0 ——直线加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率；24Gy/min=***μGy/h=***μSv/h;

R——辐射源点（靶点）至关注点的距离，m;

f——对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比率，取***%；

B——辐射屏蔽透射因子，相应的 TVL₁、TVL 见 GBZ/T 201.2-2011 附录***表***。

相关参数及计算结果见表 11-6。

表 11-6 主屏蔽墙与侧屏蔽墙的剂量率估算结果表

机房	关注点	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	X(cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	B	R(m)	f	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
加速器机房 1	东墙主屏蔽 (A 点)	***	***	***	***	***	***	***	***
	西墙主屏蔽 (B 点)	***	***	***	***	***	***	***	***
	顶棚主屏蔽 (G 点)	***	***	***	***	***	***	***	***
	南墙侧屏蔽 (C 点)	***	***	***	***	***	***	***	***
	北墙侧屏蔽 (F 点)	***	***	***	***	***	***	***	***
加速器机房 2	东墙主屏蔽 (A 点)	***	***	***	***	***	***	***	***
	西墙主屏蔽 (B 点)	***	***	***	***	***	***	***	***
	顶棚主屏蔽 (G 点)	***	***	***	***	***	***	***	***
	南墙侧屏蔽 (C 点)	***	***	***	***	***	***	***	***
	北墙侧屏蔽 (F 点)	***	***	***	***	***	***	***	***
加速器机房 3	东墙主屏蔽 (A 点)	***	***	***	***	***	***	***	***
	西墙主屏蔽 (B 点)	***	***	***	***	***	***	***	***
	顶棚主屏蔽 (G 点)	***	***	***	***	***	***	***	***
	南墙侧屏蔽 (C 点)	***	***	***	***	***	***	***	***
	北墙侧屏蔽 (F 点)	***	***	***	***	***	***	***	***
加速器机房	东墙主屏蔽 (A 点)	***	***	***	***	***	***	***	***
	西墙主屏蔽 (B 点)	***	***	***	***	***	***	***	***
	顶棚主屏蔽	***	***	***	***	***	***	***	***

4	(G点)								
	南墙侧屏蔽 (C点)	***	***	***	***	***	***	***	***
	北墙侧屏蔽 (F点)	***	***	***	***	***	***	***	***

(5) 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区

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

①患者体表的散射辐射

利用下列公式对患者体表的散射辐射进行剂量计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400) \cdot B}{R_s^2} \dots\dots\dots \text{式 (11-7)}$$

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

\dot{H}_0 ——直线加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率； $24\text{Gy/min} = 1440\mu\text{Gy/h} = 1440\mu\text{Sv/h}$ ；

R_s ——患者（位于等中心点）至关注点的距离，m；

α_{ph} ——患者 400cm^2 面积上的散射因子，其值见 GBZ/T 201.2-2011 附录***表***，*** $^\circ$ 时取***；

B——辐射屏蔽透射因子，相应的 TVL 见 GBZ/T 201.2-2011 附录***表***；

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；设备照射野为 $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ 。

带入相关参数后，计算结果见表 11-7：

表 11-7 患者体表的散射辐射致关注点处的剂量率

机房	关注点	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	X (cm)	X_e (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	R_s (m)	B	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
加速器 机房 1	东墙A1、 A2点	***	***	***	***	***	***	***	***
	西墙B ₁ 、 B ₂ 点	***	***	***	***	***	***	***	***
	顶棚G ₁ 、 G ₂ 点	***	***	***	***	***	***	***	***
加速 器机 房	东墙A1、 A2点	***	***	***	***	***	***	***	***
	西墙B ₁ 、 B ₂ 点	***	***	***	***	***	***	***	***

房 2	顶棚G ₁ 、 G ₂ 点	***	***	***	***	***	***	***	***
加速器 机房 3	东墙A ₁ 、 A ₂ 点	***	***	***	***	***	***	***	***
	西墙B ₁ 、 B ₂ 点	***	***	***	***	***	***	***	***
	顶棚G ₁ 、 G ₂ 点	***	***	***	***	***	***	***	***
加速器 机房 4	东墙A ₁ 、 A ₂ 点	***	***	***	***	***	***	***	***
	西墙B ₁ 、 B ₂ 点	***	***	***	***	***	***	***	***
	顶棚G ₁ 、 G ₂ 点	***	***	***	***	***	***	***	***

②泄漏辐射

泄漏辐射计算公式见公式（11-6），带入相关参数后，计算结果见表 11-8：

表 11-8 泄漏辐射致关注点处的剂量率

机房	关注点	\dot{H}_o ($\mu\text{Sv/h}$)	X (cm)	X _e	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	R (m)	B	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
加速器 机房 1	东墙A ₁ 、 A ₂ 点	***	***	***	***	***	***	***	***
	西墙B ₁ 、 B ₂ 点	***	***	***	***	***	***	***	***
	顶棚G ₁ 、 G ₂ 点	***	***	***	***	***	***	***	***
加速器 机房 2	东墙A ₁ 、 A ₂ 点	***	***	***	***	***	***	***	***
	西墙B ₁ 、 B ₂ 点	***	***	***	***	***	***	***	***
	顶棚G ₁ 、 G ₂ 点	***	***	***	***	***	***	***	***
加速器 机房 3	东墙A ₁ 、 A ₂ 点	***	***	***	***	***	***	***	***
	西墙B ₁ 、 B ₂ 点	***	***	***	***	***	***	***	***
	顶棚G ₁ 、 G ₂ 点	***	***	***	***	***	***	***	***
加速器 机	东墙A ₁ 、 A ₂ 点	***	***	***	***	***	***	***	***
	西墙B ₁ 、 B ₂ 点	***	***	***	***	***	***	***	***

房 4	顶棚G ₁ 、 G ₂ 点	***	***	***	***	***	***	***	***
--------	--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区的总剂量率，计算结果见表 11-9:

表 11-9 与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区剂量率

机房	关注点	散射辐射 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	泄露辐射 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	总 \dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
加速器机房1	东墙A1、A2点	***	***	***
	西墙B ₁ 、B ₂ 点	***	***	***
	顶棚G ₁ 、G ₂ 点	***	***	***
加速器机房2	东墙A1、A2点	***	***	***
	西墙B ₁ 、B ₂ 点	***	***	***
	顶棚G ₁ 、G ₂ 点	***	***	***
加速器机房3	东墙A1、A2点	***	***	***
	西墙B ₁ 、B ₂ 点	***	***	***
	顶棚G ₁ 、G ₂ 点	***	***	***
加速器机房4	东墙A1、A2点	***	***	***
	西墙B ₁ 、B ₂ 点	***	***	***
	顶棚G ₁ 、G ₂ 点	***	***	***

(6) 迷道外墙侧屏蔽效果预测

计算公式见公式 (11-6)，带入相关参数后，计算结果见表 11-10:

表 11-10 泄漏辐射致关注点处的剂量率

机房	关注点	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	X (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	R (m)	B	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
加速器机房1	迷路 外墙D点	***	***	***	***	***	***	***
加速器机房2	迷路 外墙D点	***	***	***	***	***	***	***
加速器机房3	迷路 外墙D点	***	***	***	***	***	***	***
加速器机房4	迷路 外墙D点	***	***	***	***	***	***	***

(7) 加速器机房的迷路散射辐射屏蔽的剂量估算

有用线束不向迷路内墙照射，迷路入口应考虑以下辐射:

入口处的散射辐射剂量率 \dot{H}_g 计算公式如下:

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \cdot \dot{H}_0 \dots\dots\dots \text{式 (11-8)}$$

\dot{H}_g ——迷道入口处的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

\dot{H}_0 ——等中心点处治疗 X 射线剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$) ; $^{***}\mu\text{Sv/h}$;

α_{ph} ——患者 400cm^2 面积上的散射因子, 其值见 GBZ/T 201.2-2011 附录 *** 表 ** , $^{**\circ}$ 时取 ** ;

F——治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm^2 ; 设备照射野为 $40\text{cm}\times 40\text{cm}$;

α_2 ——砼墙入射的患者散射辐射的散射因子, 其值见标准的附录 B 表 B.6, 通常使用其 0.5MeV 栏内的值;

R_1 ——等中心点至散射墙面的距离, m;

R_2 ——迷道散射墙面至入口处的距离, m;

A——散射面积, m^2 。

带入相关参数后, 计算结果见表 11-11:

表 11-11 散射辐射在迷道入口处的剂量率

机房	关注点	α_{ph}	α_2	A (m^2)	R_1 (m)	R_2 (m)	\dot{H}_g ($\mu\text{Sv/h}$)
加速器机房 1	迷道入口处 E 点	***	***	***	***	***	***
加速器机房 2	迷道入口处 E 点	***	***	***	***	***	***
加速器机房 3	迷道入口处 E 点	***	***	***	***	***	***
加速器机房 4	迷道入口处 E 点	***	***	***	***	***	***

泄漏辐射在迷道入口处的剂量率计算公式见公式 (11-6), 带入相关参数得出 \dot{H}_{og}

表 11-12 泄露辐射在迷道入口处的剂量率

机房	关注点	X (cm)	Xe (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL (cm)	B	R (m)	\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv/h}$)
加速器机房 1	迷道入口处 E 点	***	***	***	***	***	***	***
加速器机房 2	迷道入口处 E 点	***	***	***	***	***	***	***
加速器机房 3	迷道入口处 E 点	***	***	***	***	***	***	***
加速器机房 4	迷道入口处 E 点	***	***	***	***	***	***	***

在给定防护门的铅屏蔽厚度 X (cm) 时, 防护门外的辐射剂量率按式 (11-9) 计算:

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \dots\dots\dots \text{式 (11-9)}$$

X——给定防护门的铅屏蔽厚度（cm）；

TVL——迷道入口处散射射线在铅的什值层厚度，mm；取 5mm；

代入相关参数，经铅防护门屏蔽后的总剂量率 \dot{H} ：

表 11-13 防护门外的辐射剂量率

机房	关注点	\dot{H}_g ($\mu\text{Sv/h}$)	X (mm)	TVL(mm)	\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv/h}$)	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
加速器 机房 1	防护门外 E 点	***	***	***	***	***
加速器 机房 2	防护门外 E 点	***	***	***	***	***
加速器 机房 3	防护门外 E 点	***	***	***	***	***
加速器 机房 4	防护门外 E 点	***	***	***	***	***

综上所述，本项目 4 间加速器机房四周及防护门外关注点的剂量率情况见下表 11-14：

表 11-14 本项目 4 间加速器机房四周墙体及防护门外关注点的剂量率情况统计表

机房	关注点	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	结论
加速器 机房 1	东墙主屏蔽 (A 点)	***	2.5	满足
	东墙次屏蔽 (A1 点、A2 点)	***	2.5	满足
	西墙主屏蔽 (B 点)	***	2.5	满足
	西墙次屏蔽 (B1 点、B2 点)	***	2.5	满足
	南墙侧屏蔽 (C 点)	***	2.5	满足
	迷路外墙侧屏蔽 (D 点)	***	2.5	满足
	防护门 (E 点)	***	2.5	满足
	北墙侧屏蔽 (F 点)	***	0.4	满足
	顶棚主屏蔽 (G 点)	***	2.5	满足
	顶棚次屏蔽 (G1 点、G2 点)	***	2.5	满足
加速器 机房 2	东墙主屏蔽 (A 点)	***	2.5	满足
	东墙次屏蔽 (A1 点、A2 点)	***	2.5	满足
	西墙主屏蔽 (B 点)	***	2.5	满足
	西墙次屏蔽 (B1 点、B2 点)	***	2.5	满足
	南墙侧屏蔽 (C 点)	***	2.5	满足
	迷路外墙侧屏蔽 (D 点)	***	2.5	满足
	防护门 (E 点)	***	2.5	满足
	北墙侧屏蔽 (F 点)	***	0.4	满足
顶棚主屏蔽 (G 点)	***	2.5	满足	

	顶棚次屏蔽 (G1 点、G2 点)	***	2.5	满足
加速器机房 3	东墙主屏蔽 (A 点)	***	2.5	满足
	东墙次屏蔽 (A1 点、A2 点)	***	2.5	满足
	西墙主屏蔽 (B 点)	***	2.5	满足
	西墙次屏蔽 (B1 点、B2 点)	***	2.5	满足
	南墙侧屏蔽 (C 点)	***	2.5	满足
	迷路外墙侧屏蔽 (D 点)	***	2.5	满足
	防护门 (E 点)	***	2.5	满足
	北墙侧屏蔽 (F 点)	***	0.4	满足
	顶棚主屏蔽 (G 点)	***	2.5	满足
	顶棚次屏蔽 (G1 点、G2 点)	***	2.5	满足
	加速器机房 4	东墙主屏蔽 (A 点)	***	2.5
东墙次屏蔽 (A1 点、A2 点)		***	2.5	满足
西墙主屏蔽 (B 点)		***	2.5	满足
西墙次屏蔽 (B1 点、B2 点)		***	2.5	满足
南墙侧屏蔽 (C 点)		***	2.5	满足
迷路外墙侧屏蔽 (D 点)		***	2.5	满足
防护门 (E 点)		***	2.5	满足
北墙侧屏蔽 (F 点)		***	0.4	满足
顶棚主屏蔽 (G 点)		***	2.5	满足
顶棚次屏蔽 (G1 点、G2 点)		***	2.5	满足

由表 11-14 可知，本项目加速器机房 1 周围辐射剂量率的最大为*** $\mu\text{Sv/h}$ ；加速器机房 2 周围辐射剂量率的最大为*** $\mu\text{Sv/h}$ ；加速器机房 3 周围辐射剂量率的最大为*** $\mu\text{Sv/h}$ ；加速器机房 4 周围辐射剂量率的最大为*** $\mu\text{Sv/h}$ ；本项目 4 间加速器机房均符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T 201.1-2007)、《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)、《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)等相关要求。

(8) 加速器放疗项目受照人员剂量估算

为确定本项目加速器治疗室屏蔽防护的有效性及其项目运行过程中对操作人员和公众产生的附加辐射剂量及其辐射环境影响，对其进行附加辐射剂量估算评价。

个人年有效剂量当量计算模式如下：

$$H = D \times t \times T \times 10^{-3} \dots \dots \dots \text{式 (11-10)}$$

式中：H—辐射外照射人均年有效剂量，mSv；

D—辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t—年受照射时间，h；

T—居留因子。

根据医院提供的资料，本评价项目的每台直线加速器平均每天病人***人/天，每周工作5天，每年50周，平均每人治疗照射***min，则周出束时间***h，年工作时间为***h。

剂量估算时，职业工作人员为直线加速器的操作人员，位于加速器治疗室南墙外控制室，居留因子因子取1；公众人员为除直线加速器操作人员外的其他在加速器治疗室周边活动的人员，居留因子取1/4或1/16。

经计算，职业工作人员及公众成员的年有效剂量预测结果见表 11-15：

表 11-15 职业工作人员及公众成员的年有效剂量

机房		位置	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留 因子	年停留时间 (h)	年有效剂量 (mSv/a)
加速器机 房 1	职业人员	南侧控制室*	***	**	**	**
	公众	南侧候诊区	***	**	**	**
		南侧更衣室	***	**	**	**
		南侧楼梯间	***	**	**	**
		西侧过道	***	**	**	**
		北侧过道	***	**	**	**
		顶棚无人夹层	***	**	**	**
加速器机 房 2	职业人员	南侧控制室*	***	**	**	**
	公众	南侧候诊区	***	**	**	**
		南侧更衣室	***	**	**	**
		南侧休息室	***	**	**	**
		北侧过道	***	**	**	**
		顶棚无人夹层	***	**	**	**
加速器机 房 3	职业人员	南侧控制室*	***	**	**	**
	公众	南侧候诊区	***	**	**	**
		南侧更衣室	***	**	**	**
		北侧过道	***	**	**	**
		顶棚无人夹层	***	**	**	**
加速器机 房 4	职业人员	南侧控制室*	***	**	**	**
	公众	南侧候诊区	***	**	**	**
		南侧更衣室	***	**	**	**
		南侧暂存室	***	**	**	**
		东侧过道	***	**	**	**

		北侧过道	***	***	***	***
		顶棚无人夹层	***	***	***	***

注：控制室位于更衣室南侧，为保守估计，控制室辐射剂量率取南墙侧屏蔽（C点）值。

根据表 11-15 年有效剂量估算结果可知，本项目加速器机房（1~4）工作人员职业照射的最大年有效剂量值均为 ***mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 5mSv/a。加速器机房 1 对公众照射的最大年有效剂量值为 ***mSv/a；加速器机房 2 对公众照射的最大年有效剂量值为 ***mSv/a；加速器机房 3 对公众照射的最大年有效剂量值为 ***mSv/a；加速器机房 4 对公众照射的最大年有效剂量值为 ***mSv/a；均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 0.25mSv/a。

本项目 4 台直线加速器的正常运行，对周围环境中的工作人员和公众的辐射影响均能满足相关标准要求。

（9）中子屏蔽分析

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 201.1-2007）中关于中子屏蔽的考虑因素：对于不大于 10MV 的 X 射线治疗机房，当采用单一的混凝土屏蔽时，墙、顶的屏蔽仅需考虑对 X 射线的屏蔽，忽略对“杂散”中子的屏蔽。但当场地受限制或改建时，部分机房屏蔽可能采用铅、铁等物质，此时需要同时估算对 X 射线、中子和中子俘获 γ 射线的屏蔽。本项目 4 台直线加速器最大 X 射线能量为 10MV 且 4 间加速器机房设计方案均采用单一的混凝土，所以可忽略对“杂散”中子的屏蔽。

（10）感生放射性废气对环境的影响分析

根据《医用直线加速器感生放射性冷却时间的检测》（屠波等，中国医疗设备 2011 年第 26 卷 12 期）可知，X 射线能量在 10MV 以下时，不会产生感生放射性。本项目 4 台直线 X 射线能量最大为 10MV，故本次不考虑感生放射性废气的影响。

（11）臭氧和氮氧化物等气体对环境的影响分析

直线加速器在开机运行过程中因射线强辐射作用，在空气中会产生少量感生放射性气体、臭氧(O₃)和微量氮氧化物（NO_x）等有害气体。依据 IAEA188《电子直线加速器工作的辐射安全问题》和《辐射所致臭氧的估算与分析》（中华放射医学与防护杂志 Vol14, 2, P101, 1994），加速器辐射所致臭氧的产额估算方法如下：

1) 臭氧的产额

①有用线束的 O₃ 产额

$$P = 2.43D_0(1-\cos\theta) RG \dots\dots\dots\text{式 (11-11)}$$

式中：P—臭氧的产额，mg/h；

D_0 —辐射有用线束在靶1m处的输出量；本项目直线加速器取24Gy/min；

R—靶到屏蔽物（墙）的距离；

G—空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O_3 分子数（一般为 6-10，为保守考虑取 10）；

θ —有用线束的半张角，本项目为 14° 。

根据上式计算得，加速器机房有用线束的 O_3 产额见下表 11-16。

表 11-16 加速器机房有用线束的 O_3 产额

机房	D_0 (Gy/min)	R (m)	G	θ ($^\circ$)	P 有用线束 (mg/h)
加速器机房 1	***	***	***	***	***
加速器机房 2	***	***	***	***	***
加速器机房 3	***	***	***	***	***
加速器机房 4	***	***	***	***	***

②泄漏辐射的 O_3 产额

将泄漏辐射看为 4π 方向均匀分布的点源（包括有用束区限定的空间区），并考虑机房壁的散射线使室内的 O_3 产额增加 10%， O_3 的产额 P (mg/h) 为：

$$P = 3.32 \times 10^{-3} \cdot D_0 \cdot G \cdot V^{1/3} \dots\dots\dots\text{式 (11-12)}$$

式中：P—臭氧的产额，mg/h；

V—加速器机房的体积， m^3 。

表 11-17 加速器机房臭氧产额

机房	D_0 (Gy/min)	G	V (m^3)	P 泄露辐射 (mg/h)	P 有用线束 (mg/h)	P 总 (mg/h)
加速器机房 1	***	***	***	***	***	***
加速器机房 2	***	***	***	***	***	***
加速器机房 3	***	***	***	***	***	***
加速器机房 4	***	***	***	***	***	***

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：

$$Q = \frac{P \times T}{V} \dots\dots\dots\text{式 (11-13)}$$

式中：Q—加速器治疗室内 O_3 平衡浓度， mg/m^3 ；

P—O₃的辐射产额，mg/h；

T—有效清洗时间，h；

V—加速器机房体积，m³。

其中，有效清洗时间 T 由下式计算：

$$T = \frac{T_v \cdot T_d}{T_v + T_d} \dots\dots\dots\text{式 (11-14)}$$

式中：T_v—换气一次所需时间，h；

T_d—O₃的有效分解时间，取***h。

表 11-18 加速器机房臭氧平衡浓度

机房	P (mg/h)	排风量 (m3/h)	机房体积 (m ³)	T _v (h)	T (h)	Q (mg/h)
加速器机房 1	***	***	***	***	***	***
加速器机房 2	***	***	***	***	***	***
加速器机房 3	***	***	***	***	***	***
加速器机房 4	***	***	***	***	***	***

由上表可知，本项目 4 间加速器机房内的臭氧平衡浓度均低于《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中臭氧浓度限值为 0.3mg/m³的要求。

在多种氮氧化物（NO_x）中，以 NO₂ 为主，其产额约为 O₃ 的一半，工作场所中 NO₂ 的限值（5mg/m³）大于 O₃ 的限值。因而工作场所中 O₃ 浓度达到《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》要求时，NO_x 的浓度也会满足要求。

（12）其他

本项目直线加速器放射性废物是加速器的废弃靶，在加速器装置需要更换金属钨靶时产生，换下的废靶应交由生产厂家回收或送福建省城市低放废物库贮存。

11.2.1 后装机

本项目运行阶段影响评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）标准中的相关计算公式进行理论估算。理论计算时，选取后装机房四面墙壁、顶棚及迷道入口处作为预测点位。

一、剂量控制

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T 201.3-2014）中确定治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率控制水平 \dot{H}_c (μSv/h)的方法：

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

放射治疗机房外控制区的工作人员: $\dot{H}_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$;

放射治疗机房外非控制区的人员: $\dot{H}_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ 。

b) 按照关注点人员居留因子(T)的不同, 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 $T \geq 1/2$ 的场所, $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$;

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

c) 关注点处的剂量率参考控制水平取 a)、b)中的较小者。

治疗室机房顶的剂量控制

治疗机房顶的剂量应按下述a)、b)两种情况控制:

a) 在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐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 $\dot{H}_c \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$, 按照治疗机房墙外和入口门外关注点的周围剂量当量率求法进行计算。

b) 除上述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。该项辐射和穿出机房墙透视辐射在相应处的剂量(率)的综合, 应按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) 穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射, 以相当于机房外非控制区人员周剂量率控制指标的年剂量 $250\mu\text{Sv}$ 加以控制;

3) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶, 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)。

导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$) 计算公式如下:

$$\dot{H}_{c,d} = \frac{\dot{H}_c}{t \cdot U \cdot T} \dots\dots\dots \text{式 (11-15)}$$

\dot{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，本次评价取 1；

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；根据建设单位提供的资料，后装机房投入使用后，预计平均每天接待治疗病人约**人次，平均每位病人治疗时间约**分钟，每周工作 5 天，即周照射时间约为**小时。

根据公式 (11-15) 带入相关参数得主屏蔽区墙外剂量率参考控制水平。

表11-19 各关注点剂量率参考控制水平

机房	关注点	\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	t (h)	U	T	$\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	H_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
后装 机房	东墙 (A点)	**	**	**	**	**	2.5	2.5
	东墙 (B点)	**	**	**	**	**	2.5	2.5
	南墙 (C点)	**	**	**	**	**	10	2.2
	西墙 (D点)	**	**	**	**	**	10	2.2
	北墙 (E点)	**	**	**	**	**	10	2.2
	顶棚 (F点)	**	**	**	**	**	10	2.2
	防护门 (G点)	**	**	**	**	**	10	2.2

二、各关注点周围辐射剂量率计算

根据拟使用的后装治疗机的技术参数及机房的设计方案，参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》(GBZT201.3-2014)中使用的什值层 (TVL) 计算方法，预测后装机最大装载放射源活度时，放疗机房外各目标点的辐射剂量率水平。

(1) 后装机房墙体外各关注点辐射剂量率

初级辐射的屏蔽计算

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \times f \times B}{R^2} \dots\dots\dots \text{式 (11-16)}$$

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

\dot{H}_0 ——活度为 A 的源在距其 1m 处的剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ； $\dot{H}_0 = A \cdot K_\gamma$ ， K_γ 为放射源的空

气比释动能率常数， ^{192}Ir 为 $0.111\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ，源活度 $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ；

f——对有用线束为 1；

B——辐射屏蔽透射因子， $B=10^{-X/\text{TVL}}$ ，X 为屏蔽物质厚度，TVL 为什值层厚度，混凝土对 ^{192}Ir 放射源为 $\text{TVL}=**\text{cm}$ ，铅对 ^{192}Ir 放射源为 $\text{TVL}=**\text{mm}$ 。

表 11-20 后装机房周边辐射剂量率计算结果

关注点	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	X (cm)	B	R (m)	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
东墙 (A点)	**	**	**	**	**
东墙 (B点)	**	**	**	**	**
南墙 (C点)	**	**	**	**	**
西墙 (D点)	**	**	**	**	**
北墙 (E点)	**	**	**	**	**
顶棚 (F点)	**	**	**	**	**

(2) 后装机防护门关注点辐射剂量率

后装机防护门 (G 点) 处的辐射剂量率主要由密封源直接穿过迷道防护墙的初级辐射和来自经迷道多次反射的散射辐射。

① ^{192}Ir 放射源 γ 射线直接穿过迷道防护墙的初级辐射

根据公式 11-16，后装机房防护门前辐射剂量率见表 11-21。

表 11-21 后装机房防护门后辐射剂量率计算结果

关注点	\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv/h}$)	X 迷道防护墙 (cm)	X 防护门 (mm)	B 迷道防护墙	B 防护门	R (m)	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
防护门 (G点)	**	**	**	**	**	**	**

注：为保守计算，斜穿迷路内墙时未考虑有效厚度。

②迷道多次反射的散射辐射 5

入口处 (防护门处) 经屏蔽后的散射辐射剂量 \dot{H} 计算公式如下：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \times S_w \times a_w}{R_1^2 \times R_2^2} \times B \dots\dots\dots \text{式 (11-17)}$$

\dot{H}_0 ——活度为 A 的源在距其 1m 处的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ； $\dot{H}_0 = A \cdot K_\gamma$ ， K_γ 放射源的空气比释动能率常数， ^{192}Ir 为 $**\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ ，源活度 $**\text{Bq}$ ；

S_w ——迷路内口墙的散射面积， m^2 ； $2.6 \times 3.5 = 9.1\text{m}^2$ ；

a_w ——散射体的散射因子， m^2 ，取表 C.4 中 0.25MeV 时 45° 入射 0° 散射值***；

R_1 ——辐射源至散射体中心点的距离，m；

R_2 ——散射体中心点至计算点的距离，m；

B——辐射屏蔽透射因子， $B=10^{-X/TVL}$ ，X 为屏蔽物质厚度，TVL 为半值层厚度，散射辐射在防护门处的能量约 0.2MeV， $TVL_{0.2} = ***mm$ 。

表 11-22 后装机房防护门后辐射剂量率计算结果

关注点	\dot{H}_0 ($\mu Sv/h$)	S_w (m^2)	a_w	R_1 (m)	R_2 (m)	X (mm)	B	\dot{H} ($\mu Sv/h$)
防护门 (G 点)	***	***	***	***	***	***	***	***

根据表 11-21 和表 11-22， ^{192}Ir 放射源 γ 射线直接穿过迷道防护墙的初级辐射和迷道多次反射的散射辐射叠加后后装机房防护门后辐射剂量率为 $6.38 \times 10^{-1} \mu Sv/h$ 。

表 11-23 后装机房周边辐射剂量率

关注点	\dot{H} ($\mu Sv/h$)	H_c ($\mu Sv/h$)	符合性
东墙 (A点)	***	2.5	符合
东墙 (B点)	***	2.5	符合
南墙 (C点)	***	2.2	符合
西墙 (D点)	***	2.2	符合
北墙 (E点)	***	2.2	符合
顶棚 (F点)	***	2.2	符合
防护门 (G 点)	***	2.2	符合

根据表 11-23，后装机房周边辐射剂量率符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014)、《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》(GBZ 121-2017) 的相关要求。

三、工作人员和公众年有效剂量评价

为确定本项目后装机房屏蔽防护的有效性及其项目运行过程中对操作人员和公众产生的附加辐射剂量及其辐射环境影响，对其进行附加辐射剂量估算评价。

个人年有效剂量当量计算模式如下：

$$H = D \times t \times T \times 10^{-3} \dots \dots \dots \text{式 (11-18)}$$

式中：H—辐射外照射人均年有效剂量，mSv；

D—辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$;

t—年受照射时间，h;

T—居留因子。

本评价项目的后装机平均每天病人**人/天，每周工作5天，每年50周，平均每人治疗照射**min，医生摆位时间平均约**min。

由《后装 γ 源近距离治疗放射防护要求》（GBZ 121-2017）可知，运输贮源器（或工作贮源器）内装载最大容许活度时，距离贮源器表面5cm处的任何位置，泄漏辐射的空气比动能率不得大于 $50\mu\text{Sv/h}$ ；距离贮源器表面100cm处的球面上，任何一点的泄漏辐射的空气比释动能率不得大于 $5\mu\text{Sv/h}$ 。医生摆位时，保守考虑，不考虑放射源活度随时间衰变的作用，其空气比释动能率保守取 $5\mu\text{Sv/h}$ ；工作人员进出治疗室时，按规定正确佩戴个人剂量计、个人剂量报警仪，穿戴铅衣、铅帽等辐射防护用品。

剂量估算时，职业工作人员为后装机房的操作人员，位于后装机房东墙外控制室，居留因子取1；公众人员为除后装机操作人员外的其他在后装机房周边活动的人员，居留因子取1/4。

经计算，职业工作人员及公众成员的年有效剂量预测结果见表 11-24:

表 11-24 职业工作人员及公众成员的年有效剂量

机房	位置	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留 因子	年停留时间 (h)	年有效剂量 (mSv/a)	
后装 机房	职业人员	东墙 (A点)	**	**	**	**
		摆位	**	**	**	
	公众	东墙 (B点)	**	**	**	**
		南墙 (C点)	**	**	**	**
		西墙 (D点)	**	**	**	**
		北墙 (E点)	**	**	**	**
		顶棚 (F点)	**	**	**	**
防护门 (G点)	**	**	**	**		

根据表 11-24 年有效剂量估算结果可知，本项目后装机房工作人员职业照射的最大年有效剂量值为**mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 5mSv/a。对公众照射的最大年有效剂量值为**mSv/a 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 0.25mSv/a。本项目后装机的正常运行，对周围环境中的工作人员和公众的辐射影响均能满

足相关标准要求。

11.2.3 DSA和ERCp

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

一、周围剂量当量率理论计算

本次 DSA 和 ERCp 理论计算分透视和摄影两种模式。依据典型数字减影血管造影设备工作原理，设备图像增强器对 X 射线主束有防护作用。根据《Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities》(NCRP147 号)第 4.1.6 节指出，DSA 防护设计不需要考虑主束照射，ERCp 工作原理和 DSA 类似。因此，评价考虑泄漏辐射和散射辐射造成的辐射影响。

本次环评 10 台 DSA 和 ERCp 相关参数见下表。

表 11-25 本次环评 10 台 DSA 和 ERCp 相关参数一览表

位置	机房	技术参数	机房面积	屏蔽方案
医技中心 三层介入 中心	DSA 介入手术室 (1~3)	125kV、 1000mA	60.28m ² (9.5m×6.75m)	四周墙体：24cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料（约 5.0mmPb）
	DSA 介入手术室 (4~6)	125kV、 1000mA	59.4m ² (8.8m×6.75m)	顶棚和地板：12cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料（约 3.5mmPb） 防护门：内衬 3.5mmPb 铅板防护门 观察窗：3.5mmPb 铅玻璃
医技中心 三层手术 中心	DSA 杂交手术室 4	125kV、 1000mA	81.42m ² (11.8m×6.9m)	四周墙体：轻钢龙骨+3mmPb 铅板（约 3.0mmPb）
	DSA 杂交手术室 5	125kV、 1000mA	83.78m ² (11.8m×7.1m)	顶棚：12cm 混凝土+2mmPb 铅板（约 3.5mmPb）
医技中心 四层手术 中心	DSA 杂交手术室 6	125kV、 1000mA	85.91m ² (12.1m×7.1m)	地板：12cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料（约 3.5mmPb）
	DSA 介入手术室 5	125kV、 1000mA	65.07m ² (9.1m×7.15m)	防护门：内衬 3.5mmPb 铅板防护门 观察窗：3.5mmPb 铅玻璃
医技中心 二层内镜 中心	ERCp 机房	150kV、 1000mA	36.4m ² (6.5m×5.6m)	四周墙体：20cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料（约 4.5mmPb） 顶棚和地板：12cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡防护涂料（约 3.5mmPb） 防护门：内衬 3.5mmPb 铅板防护门 观察窗：3.5mmPb 铅玻璃

根据表 11-25，本次环评 10 台 DSA 机技术参数均为 125kV，1000mA。医技中心三层

介入中心 DSA 介入手术室（1~6）屏蔽方案均一致，DSA 介入手术室（4~6）机房面积小于 DSA 介入手术室（1~3），本次选取 DSA 介入手术室 4 作为代表机房对医技中心三层介入中心 6 间 DSA 机房进行理论计算。

医技中心三层、四层手术中心 4 间 DSA 机房屏蔽方案均一致，DSA 介入手术室 5 机房面积最小，本次选取 DSA 介入手术室 5 作为代表机房对医技中心三层、四层手术中心 4 间 DSA 机房进行理论计算。

(1) 透视工况

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130—2020）表E.4中“有影像增强器并有自动亮度控制系统的X射线设备（介入放射学中使用）入射体表剂量率为100mGy/min”，以及介入放射学X射线设备应配备能阻止使用焦皮距小于20cm的装置。

$$\dot{H}_0 = \frac{\dot{H}_x \cdot r_1^2}{r_2^2} \dots\dots\dots \text{式 (11-19)}$$

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，100mGy/min=6000mGy/h；

r_1 —0.2m；

r_2 —机头至计算点的距离，1m；

根据式11-19可得出距离出束点1m处的主束辐射剂量率 \dot{H}_0 为**μGy/h=**μSv/h（本项目 DSA为X射线装置，仅产生X射线，吸收剂量=空气比释动能率+韧致辐射（对于X射线，韧致辐射可忽略不计），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×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）。

①泄露辐射剂量率

泄露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 辐射源与屏蔽》（[M]北京：原子能出版社，1987）中 P244 页给出的公式计算。

$$\dot{H}_z = \frac{\dot{H}_0 \cdot B \cdot f}{d^2} \dots\dots\dots \text{式 (11-20)}$$

式中： \dot{H}_z —关注点漏射剂量率，μSv/h；

\dot{H}_0 —距出束点1m处的剂量率水平，μGy/h；本次取**μSv/h；

d—机头至各关注点的距离，m；

f—设备射线泄露率，取0.1%；

B—透射因子，按照GBZ 130-2020附录C计算，见式（11-21）；

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \dots\dots\dots \text{式 (11-21)}$$

式中：X—铅厚度；

α—铅对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数；

β—铅对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数；

γ—铅对不同管电压X射线辐射衰减的有关的拟合参数。

根据公式（11-20）、（11-21）关注点处泄漏辐射剂量率计算结果见表11-26。

表11-26 关注点处泄漏辐射剂量率计算结果

机房	关注点	X (铅厚度)	d(m)	α	β	γ	\dot{H}_L (μSv/h)
介入中心 DSA介入 手术室4	观察窗外30cm (操作位) (A点)	***	***	***	***	***	***
	东墙外30cm (B点)	***	***				***
	南墙外30cm (C点)	***	***				***
	西墙外30cm (D点)	***	***				***
	北墙外30cm (E点)	***	***				***
	控制室防护门外30cm (F点)	***	***				***
	西侧防护门外30cm (G点)	***	***				***
	北侧防护门外30cm (H点)	***	***				***
	机房上方实验室 (I点)	***	***				***
机房下方过道 (J点)	***	***	***				
手术中心 DSA介入 手术室5	观察窗外30cm (操作位) (A点)	***	***	***	***	***	***
	东墙外30cm (B点)	***	***				***
	南墙外30cm (C点)	***	***				***
	西墙外30cm (D点)	***	***				***
	北墙外30cm (E点)	***	***				***
	控制室防护门外30cm (F点)	***	***				***
	南侧防护门外30cm (G点)	***	***				***
	北侧防护门外30cm (H点)	***	***				***
	机房上方净化机房 (I点)	***	***				***
机房下方苏醒室 (J点)	***	***	***				
内镜中心	观察窗外30cm	***	***	***	***	***	***

ERC P 机房	(操作位) (A点)					
	东墙外30cm (B点)	**	**			**
	南墙外30cm (C点)	**	**			**
	西墙外30cm (D点)	**	**			**
	北墙外30cm (E点)	**	**			**
	北侧防护门外30cm (F点)	**	**			**
	ERC机房上方机房 (G点)	**	**			**
	ERC机房下方控制廊 (G点)	**	**			**

注：α、β、γ取《放射诊断放射防护要求》(GBZ130—2020)表C.2中100kV(散射)。

② 散射辐射剂量率

对于病人体表的散射X射线可以用反照率法估计。散射剂量率采用(采用李德平、潘自强主编《辐射防护手册第一分册 辐射源与屏蔽》([M]北京:原子能出版社,1987)中P437页给出的公式计算:

$$\dot{H}_s = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha \cdot S}{d_0^2 \cdot d_s^2} \cdot B \dots\dots\dots \text{式(11-22)}$$

式中: \dot{H}_s —散射剂量率, μSv/h;

α—受照射物体对入射X射线的散射比, α=a/400其中α是相对于400cm²散射面积的受照物体对入射X射线的散射比, a取** (125kV, 90° 散射角), 故α=** (取自《辐射防护手册第一分册 辐射源与屏蔽》P**页表**);

S—散射面积, cm²; 此处取225cm²;

d₀—X射线机与受照体的距离, m; 此处取**m;

d_s—受照体与关注点的距离, m。

其他参数所代表意义同上。

可计算得各关注点处散射剂量率, 计算结果见表11-27。

表11-27 关注点处散射辐射剂量率计算结果

机房	关注点	X	d ₀	d _s	α	β	γ	\dot{H}_s (μSv/h)
介入中心 DSA介入 手术室4	观察窗外30cm (操作位) (A点)	***	***	***	***	***	***	***
	东墙外30cm (B点)	***	***	***				***
	南墙外30cm (C点)	***	***	***				***
	西墙外30cm (D点)	***	***	***				***
	北墙外30cm (E点)	***	***	***				***
	控制室防护门外30cm (F点)	***	***	***				***
	西侧防护门外30cm (G点)	***	***	***				***
	北侧防护门外30cm (H点)	***	***	***				***
	机房上方实验室 (I点)	***	***	***				***
	机房下方过道 (J点)	***	***	***				***
手术中心 DSA介入 手术室5	观察窗外30cm (操作位) (A点)	***	***	***	***	***	***	***
	东墙外30cm (B点)	***	***	***				***
	南墙外30cm (C点)	***	***	***				***
	西墙外30cm (D点)	***	***	***				***
	北墙外30cm (E点)	***	***	***				***
	控制室防护门外30cm (F点)	***	***	***				***
	南侧防护门外30cm (G点)	***	***	***				***
	北侧防护门外30cm (H点)	***	***	***				***
	机房上方净化机房 (I点)	***	***	***				***
	机房下方苏醒室 (J点)	***	***	***				***
内镜中心 ERCP 机房	观察窗外30cm (操作位) (A点)	***	***	***	***	***	***	***
	东墙外30cm (B点)	***	***	***				***
	南墙外30cm (C点)	***	***	***				***
	西墙外30cm (D点)	***	***	***				***
	北墙外30cm (E点)	***	***	***				***
	北侧防护门外30cm (F点)	***	***	***				***
	ERCP机房上方机房 (G点)	***	***	***				***
	ERCP机房下方控制廊(G点)	***	***	***				***

注：α、β、γ取《放射诊断放射防护要求》(GBZ130—2020)表C.2中100kV(主束)。

③透视工况下DSA机房各关注点总剂量率

透视工况下DSA机房各关注点总剂量率之和结果见表11-28。

表11-28 各关注点总剂量率

机房	关注点	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
介入中心 DSA介入手术室4	观察窗外30cm (操作位) (A点)	***
	东墙外30cm (B点)	***
	南墙外30cm (C点)	***
	西墙外30cm (D点)	***
	北墙外30cm (E点)	***
	控制室防护门外30cm (F点)	***
	西侧防护门外30cm (G点)	***
	北侧防护门外30cm (H点)	***
	机房上方实验室 (I点)	***
	机房下方过道 (J点)	***
手术中心 DSA介入手术室5	观察窗外30cm (操作位) (A点)	***
	东墙外30cm (B点)	***
	南墙外30cm (C点)	***
	西墙外30cm (D点)	***
	北墙外30cm (E点)	***
	控制室防护门外30cm (F点)	***
	南侧防护门外30cm (G点)	***
	北侧防护门外30cm (H点)	***
	机房上方净化机房 (I点)	***
	机房下方苏醒室 (J点)	***
内镜中心 ERCP机房	观察窗外30cm (操作位) (A点)	***
	东墙外30cm (B点)	***
	南墙外30cm (C点)	***
	西墙外30cm (D点)	***
	北墙外30cm (E点)	***
	北侧防护门外30cm (F点)	***
	ERCP机房上方机房 (G点)	***
	ERCP机房下方控制廊 (G点)	***

(2) 摄影工况

DSA和ERCP实际使用时，管电压和管电流由软件自动控制，与患者检查部位、患者的体型有关，一般管电压在***kV以下即可获取患者的诊断检查要求的图像质量。根据《医用外照射源的辐射防护》(国际放射防护委员会第33号出版物) P***图***，当管电压为***kV时，离靶1m处的剂量率约为***mGy/mA·min，参考同类型装置运行情况，摄影工况管电流

最大取**mA，则本项目摄影状态1m处的剂量率保守取** $\mu\text{Gy/h}$ =** $\mu\text{Sv/h}$ 。

①泄露辐射剂量率

根据公式（11-20）、（11-21）关注点处泄漏辐射剂量率计算结果见表11-29。

表11-29 关注点处泄漏辐射剂量率计算结果

机房	关注点	X (铅厚度)	d(m)	α	β	γ	\dot{H}_L ($\mu\text{Sv/h}$)
介入中心 DSA介入 手术室4	观察窗外30cm (操作位) (A点)	**	**				**
	东墙外30cm (B点)	**	**				**
	南墙外30cm (C点)	**	**				**
	西墙外30cm (D点)	**	**				**
	北墙外30cm (E点)	**	**				**
	控制室防护门外30cm (F点)	**	**				**
	西侧防护门外30cm (G点)	**	**				**
	北侧防护门外30cm (H点)	**	**				**
	机房上方实验室 (I点)	**	**				**
	机房下方过道 (J点)	**	**				**
手术中心 DSA介入 手术室5	观察窗外30cm (操作位) (A点)	**	**	**	**	**	**
	东墙外30cm (B点)	**	**				**
	南墙外30cm (C点)	**	**				**
	西墙外30cm (D点)	**	**				**
	北墙外30cm (E点)	**	**				**
	控制室防护门外30cm (F点)	**	**				**
	南侧防护门外30cm (G点)	**	**				**
	北侧防护门外30cm (H点)	**	**				**
	机房上方净化机房 (I点)	**	**				**
	机房下方苏醒室 (J点)	**	**				**
内镜中心 ERCP 机房	观察窗外30cm (操作位) (A点)	**	**				**
	东墙外30cm (B点)	**	**				**
	南墙外30cm (C点)	**	**				**
	西墙外30cm (D点)	**	**				**
	北墙外30cm (E点)	**	**				**
	北侧防护门外30cm (F点)	**	**				**
	ERCP机房上方机房 (G点)	**	**				**
	ERCP机房下方控制廊 (G点)	**	**				**

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

②散射辐射剂量率

根据公式11-22计算得各关注点处散射剂量率，计算结果见表11-30。

表11-30 关注点处散射辐射剂量率计算结果

机房	关注点	X	d ₀	d _s	α	β	γ	\dot{H}_s (μSv/h)
介入中心 DSA介入 手术室4	观察窗外30cm (操作位) (A点)	***	***	***	***	***	***	***
	东墙外30cm (B点)	***	***	***				***
	南墙外30cm (C点)	***	***	***				***
	西墙外30cm (D点)	***	***	***				***
	北墙外30cm (E点)	***	***	***				***
	控制室防护门外30cm (F点)	***	***	***				***
	西侧防护门外30cm (G点)	***	***	***				***
	北侧防护门外30cm (H点)	***	***	***				***
	机房上方实验室 (I点)	***	***	***				***
	机房下方过道 (J点)	***	***	***				***
手术中心 DSA介入 手术室5	观察窗外30cm (操作位) (A点)	***	***	***	***	***	***	***
	东墙外30cm (B点)	***	***	***				***
	南墙外30cm (C点)	***	***	***				***
	西墙外30cm (D点)	***	***	***				***
	北墙外30cm (E点)	***	***	***				***
	控制室防护门外30cm (F点)	***	***	***				***
	南侧防护门外30cm (G点)	***	***	***				***
	北侧防护门外30cm (H点)	***	***	***				***
	机房上方净化机房 (I点)	***	***	***				***
	机房下方苏醒室 (J点)	***	***	***				***
内镜中心 ERCP 机房	观察窗外30cm (操作位) (A点)	***	***	***	***	***	***	***
	东墙外30cm (B点)	***	***	***				***
	南墙外30cm (C点)	***	***	***				***
	西墙外30cm (D点)	***	***	***				***
	北墙外30cm (E点)	***	***	***				***
	北侧防护门外30cm (F点)	***	***	***				***
	ERCP机房上方机房 (G点)	***	***	***				***
	ERCP机房下方控制廊(G点)	***	***	***				***

注：α、β、γ取《放射诊断放射防护要求》(GBZ130—2020)表C.2中¹²⁵I kV(主束)。

③摄影工况DSA机房各关注点总剂量率

摄影工况下DSA机房各关注点总剂量率之和结果见表11-31。

表11-31 各关注点总剂量率

机房	关注点	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
介入中心 DSA介入手术室4	观察窗外30cm (操作位) (A点)	***
	东墙外30cm (B点)	***
	南墙外30cm (C点)	***
	西墙外30cm (D点)	***
	北墙外30cm (E点)	***
	控制室防护门外30cm (F点)	***
	西侧防护门外30cm (G点)	***
	北侧防护门外30cm (H点)	***
	机房上方实验室 (I点)	***
	机房下方过道 (J点)	***
手术中心 DSA介入手术室5	观察窗外30cm (操作位) (A点)	***
	东墙外30cm (B点)	***
	南墙外30cm (C点)	***
	西墙外30cm (D点)	***
	北墙外30cm (E点)	***
	控制室防护门外30cm (F点)	***
	南侧防护门外30cm (G点)	***
	北侧防护门外30cm (H点)	***
	机房上方净化机房 (I点)	***
	机房下方苏醒室 (J点)	***
内镜中心 ERCP机房	观察窗外30cm (操作位) (A点)	***
	东墙外30cm (B点)	***
	南墙外30cm (C点)	***
	西墙外30cm (D点)	***
	北墙外30cm (E点)	***
	北侧防护门外30cm (F点)	***
	ERCP机房上方机房 (G点)	***
	ERCP机房下方控制廊 (G点)	***

由表11-28和表11-31可知，介入中心DSA介入手术室4四周各关注点最大剂量率为** $\mu\text{Sv/h}$ ；手术中心DSA介入手术室5四周各关注点最大剂量率为** $\mu\text{Sv/h}$ ；ERCP机房四周各关注点最大剂量率为** $\mu\text{Sv/h}$ 。可以预测本项目10间DSA机房和ERCP机房均满足《放射

诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)中规定的屏蔽体外各关注点周围剂量当量率不大于2.5 μ Sv/h的标准要求。可知本项目拟建的10间DSA机房和ERCPC机房对周边外环境敏感目标公众的年有效剂量影响较小。

二、类比分析

类比分析采用已批复的《***医院 X 射线装置应用项目环境影响报告表》(批复文号“黔环辐表[**]*号”)中的有关监测数据(环监字***-***号)。***医院***型 DSA 环评时已建成并运行,报告表中监测数据为实测结果,类比监测报告详见附件 4。

①类比可行性分析

本次拟建的 DSA 和 ERCPC 与类比 DSA 技术参数、防护措施及机房周边环境对比一览表见表 11-32。

表 11-32 DSA 技术参数、防护措施类比条件一览表

项目	本项目				类比项目	备注
	介入中心 DSA 介入手术 室(1~6)	手术中心 DSA 杂交手术 室(4~6)	手术中心 DSA 介入 手术室 5	内镜中心 ERCPC 机房		
型号	未定	未定	未定	未定	***	/
技术参数	125kV, 1000mA	125kV, 1000mA	125kV, 1000mA	150kV, 1000mA	***	小于或等同类比项目
屏蔽墙	24cm 混凝土 +2mmPb 硫酸钡 (约 5.0mmPb)	轻钢龙骨+ 3mmPb 铅板	轻钢龙骨 +3mmPb 铅板	20cm 混凝土 +2mmPb 硫酸钡 (约 4.5mmPb)	***	优于或等同类比项目
防护门	3.5mmPb 铅板	3.5mmPb 铅板	3.5mmPb 铅板	3.5mmPb 铅板	***	优于类比项目
观察窗	3.5mmPb 铅玻璃	3.5mmPb 铅玻璃	3.5mmPb 铅玻璃	3.5mmPb 铅玻璃	***	优于类比项目
顶棚	12cm 混凝土 +2mmPb 硫酸钡 (约 3.5mmPb)	12cm 混凝土 +2mmPb 铅板 (约 3.5mmPb)	12cm 混凝土 +2mmPb 铅板 (约 3.5mmPb)	12cm 混凝土 +2mmPb 硫酸钡 (约 3.5mmPb)	***	优于类比项目

底板	12cm 混凝土 +2mmPb 硫酸钡 (约 3.5mmPb)	12cm 混凝土 +2mmPb 硫酸钡 (约 3.5mmPb)	12cm 混凝土 +2mmPb 硫酸钡 (约 3.5mmPb)	12cm 混凝土 +2mmPb 硫酸钡 (约 3.5mmPb)	***	优于 类比 项目
----	---------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	-----	----------------

由表 11-32 可知，本项目 DSA 和 ERCP 的最大管电压和最大管电流等同类比项目，本项目 DSA 机房和 ERCP 机房各屏蔽措施均优于类比项目，机房面积大于类比项目，综上所述，类比条件充分。

②类比监测结果

根据***医院***型 DSA 监测报告（环监字***-***号），本项目类比监测结果见下表 11-33。

表 11-33 机房周围 X-γ剂量率类比监测结果

序号	监测位置		X-γ 辐射剂量率 (μSv/h)				
			开机状态		关机状态		
			范围值	平均值	范围值	平均值	
1	大防护门门缝（透视）		***	***	***	***	
	大防护门门缝（曝光）		***	***			
2	观察窗（透视）		***	***	***	***	
	观察窗（曝光）		***	***			
3	操作位（透视）		***	***	***	***	
	操作位（曝光）		***	***			
4	监测条件 透视：69kV， 558mA； 曝光：70kV， 31mA	机房北面库房（透视）		***	***	***	***
		机房北面库房（曝光）		***	***		
5		小防护门门缝（透视）		***	***	***	***
		小防护门门缝（曝光）		***	***		
6		机房东面墙外 30cm(透视)		***	***	***	***
		机房东面墙外 30cm(曝光)		***	***		
7		机房南面墙外 30cm(透视)		***	***	***	***
		机房南面墙外 30cm(曝光)		***	***		
8		介入操作位铅 屏风前（透视）	铅衣前	***	***	***	***
			铅衣后	***	***		

由表 11-33 类比监测结果可知，类比 DSA 在正常使用条件时，曝光模式下机房周围剂量当量率为 0.11μSv/h~0.16μSv/h），透视模式下机房周围剂量当量率为 0.10μSv/h~0.16μSv/h，符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中规定的屏蔽体外各关注点周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h 的标准要求。本项目 DSA 和 ERCP 实际运行电压、电流与类比项目相近，且各 DSA 机房和 ERCP 机房的屏蔽措施优于或等同于类比

项目，故可预测本项目 10 台 DSA 和 ERCP 正常运行后对项目周边环境影响较小。

三、职业工作人员和公众年有效剂量评价

为评价本项目拟建 DSA 机房和 ERCP 机房屏蔽防护的有效性及其项目运行过程中对职业工作人员和公众产生的年有效剂量，采用理论计算对辐射工作人员和公众进行年有效剂量估算评价。

年有效剂量计算公式如下：

$$H = \dot{H} \cdot t \cdot T \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots \text{式 (11-23)}$$

式中：H—关注点处的年附加有效剂量，mSv；

\dot{H} —关注点处的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t—年受照射时间，h；

T—居留因子。

根据医院提供的资料，DSA 和 ERCP 年工作负荷情况见下表 11-34。

表11-34 设备工作负荷

机房	年最大手术(台)	每台手术最大透视时间(min)	每台手术最大减影时间(min)	年最大透视时间(min)	年最大减影时间(min)	总曝光时间 (min)
介入中心 DSA 介入手术室 (1~6)	***	***	***	***	***	***
手术中心 DSA 杂交手术室 (4~6)	***	***	***	***	***	***
手术中心 DSA 介入手术室 5	***	***	***	***	***	***
内镜中心 ERCP 机房	***	***	***	***	***	***

(1) 职业工作人员年有效剂量

①介入操作人员

介入手术时，介入操作人员穿戴铅围裙、铅眼镜、铅围脖、介入防护手套等个人防护用品，位于铅防护屏和床侧铅帘后进行透视曝光。DSA 和 ERCP 介入操作人员的年有效剂量采用表 11-33 的介入操作位周围剂量当量率类比监测结果进行年有效剂量估算。根据公式 11-23，则本项目介入操作人员最大年有效剂量估算结果分别见表 11-35。

表 11-35 介入操作人员最大年有效剂量估算表

机房	对象	附加辐射剂量率(nSv/h)	年受照时间(h)	最大年有效剂量(mSv/a)
介入中心 DSA 介入手术室(1~6)	介入医生和护士	***	***	***
手术中心 DSA 杂交手术室(4~6)	介入医生和护士	***	***	***
手术中心 DSA 介入手术室 5	介入医生和护士	***	***	***
内镜中心 ERCP 机房	介入医生和护士	***	***	***

②控制室操作人员

DSA 和 ERCP 控制室操作人员的年有效剂量采用表 11-28 和表 11-31 的理论计算辐射剂量率以及表 11-33 的类比监测辐射剂量率进行年有效剂量估算。根据公式 11-23，则本项目控制室操作人员最大年有效剂量估算结果分别见表 11-36。

表11-36 控制室操作人员最大年有效剂量估算表

机房	方式	公众人员	附加辐射剂量率 (nSv/h)	年受照时间(h)	最大年有效剂量 (mSv/a)
介入中心 DSA 介入 手术室 (1~6)	理论计算 辐射剂量率	控制室 操作人员	减影	***	***
			透视	***	
	类比监测 辐射剂量率		减影	***	
			透视	***	
手术中心 DSA 杂交 手术室 (4~6)	理论计算 辐射剂量率	控制室 操作人员	减影	***	***
			透视	***	
	类比监测 辐射剂量率		减影	***	
			透视	***	
手术中心 DSA 介入 手术室 5	理论计算 辐射剂量率	控制室 操作人员	减影	***	***
			透视	***	
	类比监测 辐射剂量率		减影	***	
			透视	***	
内镜中心 ERCP 机房	理论计算 辐射剂量率	控制室 操作人员	减影	***	***
			透视	***	
	类比监测 辐射剂量率		减影	***	
			透视	***	

综上所述，根据表 11-35 和表 11-36 职业人员年有效剂量估算结果，可以预测本项目介入中心 DSA 介入手术室（1~6）正常运行时对工作人员职业照射的最大年有效剂量值为 1.91mSv/a；手术中心 DSA 杂交手术室（4~6）正常运行时对工作人员职业照射的最大年有效剂量值为 3.81×10^{-1} mSv/a；手术中心 DSA 介入手术室 5 正常运行时对工作人员职业照射的最大年有效剂量值为 1.91mSv/a；内镜中心 ERCP 机房正常运行时对工作人员职业照射的最大年有效剂量值为 1.91mSv/a；本项目职业人员受到的年有效剂量满足《电离辐射

防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“剂量限值”的要求,也低于本报告提出的剂量约束值(职业人员 5mSv/a)。

二、公众人员年有效剂量

DSA 机房和 ERCP 机房周围公众人员的年有效剂量采用表 11-28 和表 11-31 的理论计算辐射剂量率以及表 11-33 的类比监测辐射剂量率进行年有效剂量估算。本项目 DSA 机房和 ERCP 机房公众人员居留因子取 1/4,根据公式 11-23,则本项目周围公众人员最大年有效剂量估算结果分别见表 11-37。

表11-37 公众人员最大年有效剂量估算表

机房	方式	公众人员		\dot{H} (nSv/h)	t (h)	T	H (mSv/a)
介入中心 DSA 介入 手术室 (1~6)	理论计算 辐射剂量率	公众人员 (取理论计算结果最大值)	减影	***	***	***	***
			透视	***	***		
	类比监测 辐射剂量率	公众人员 (取类比监测结果最大值)	减影	***	***	***	***
			透视	***	***		
手术中心 DSA 杂交 手术室 (4~6)	理论计算 辐射剂量率	公众人员 (取理论计算结果最大值)	减影	***	***	***	***
			透视	***	***		
	类比监测 辐射剂量率	公众人员 (取类比监测结果最大值)	减影	***	***	***	***
			透视	***	***		
手术中心 DSA 介入 手术室 5	理论计算 辐射剂量率	公众人员 (取理论计算结果最大值)	减影	***	***	***	***
			透视	***	***		
	类比监测 辐射剂量率	公众人员 (取类比监测结果最大值)	减影	***	***	***	***
			透视	***	***		
内镜中心 ERCP 机房	理论计算 辐射剂量率	公众人员 (取理论计算结果最大值)	减影	***	***	***	***
			透视	***	***		
	类比监测 辐射剂量率	公众人员 (取类比监测结果最大值)	减影	***	***	***	***
			透视	***	***		

根据表 11-37 公众人员最大年有效剂量估算结果,本项目介入中心 DSA 介入手术室(1~6)正常运行时对公众年附加有效剂量最大为 $3.75 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$;手术中心 DSA 杂交手术室(4~6)正常运行时对公众年附加有效剂量最大为 $3.29 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$;手术中心 DSA 介入手术室 5 正常运行时对公众年附加有效剂量最大为 $6.52 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$;内镜中心 ERCP 机房正常运行时对公众年附加有效剂量最大为 $3.75 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ 。本项目公众人员受到的年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“剂量限值”的要求,也低于本报告提出的剂量约束值(公众人员 0.25mSv/a)。

11.2.4 核医学科

11.2.4.1 回旋加速器制药工作场所

一、回旋加速器机房

该院生产 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F 、 ^{64}Cu 放射性药物拟使用住友重机械工业株式会社生产的 HM-20S 型回旋加速器，该回旋加速器束流能量不大于 20MeV，束流强度不大于 150 μA 。根据厂家提供的材料。

HM-20S 型回旋加速器带有自屏蔽，屏蔽层为重晶石混凝土，密度为 3.5g/cm³，其自屏蔽结构见表 11-38。

表 11-38 HM-20S 型回旋加速器自屏蔽结构

方向	自屏蔽厚度
前侧	860mm
两侧	1050mm
后侧	900mm
上侧	840mm

(1) 四周墙体外辐射剂量率

参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）和《正电子发射扫描仪和回旋加速器建设中防护评价》（杨国山 蔡反功 薛永库 周红梅 郭勇），已知某参考点 r_0 、 r_1 处的中子和 γ 射线剂量率，以及机房屏蔽材料的厚度为 X ，则机房外评价点 R 处的中子和 γ 射线剂量率的总和 H_R 可按下列公式计算。

$$H_R = \left(\frac{r_0}{R}\right)^2 \times H_n \times 10^{-X/TVL_n} \bar{Q} + \left(\frac{r_1}{R}\right)^2 \times H_\gamma \times 10^{-X/TVL_\gamma} \dots\dots\dots \text{式 (11-24)}$$

H_R ——机房外评价点 R 处的中子和 γ 射线剂量率的总和， $\mu\text{Sv/h}$ ；

r_0 、 r_1 ——参考点距源中心的距离， lm ；

R ——评价点距源中心的距离， m ；

H_n ——参考点 r_0 处的中子剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_γ ——参考点 r_1 处的 γ 射线剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

X ——机房的屏蔽厚度， cm ；

TVL_n ——混凝土对于能量为 15MeV 的中子的十分之一值屏蔽层厚度，由《辐射防护导论》中图 5.11 查得单能中子在混凝土中的 $\Delta 1/10 \approx \text{***g/cm}^2$ ，折算成 $TVL_n \approx \text{***cm}$ （混凝土密度 2.35g/cm³）。

TVL_γ ——混凝土对于能量 10MeV 的 γ 射线的十分之一值屏蔽层厚度，由《辐射防护导论》中附表 9 查得 $TVL_\gamma = \text{***cm}$ 。

\bar{Q} ——辐射权重因数。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002), 中子平均能量 15MeV 时 Q 值约为***。

预测本项目回旋加速器运行过程中, 加速器室外各评价点位的辐射水平, 关注点辐射剂量率计算见 11-39。

表 11-39 关注点辐射剂量率计算结果

位置	R (m)	$H_n(\mu\text{Sv/h})$	$H_t(\mu\text{Sv/h})$	X(cm)	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
机房东侧墙外	***	***	***	***	***
机房南侧墙外	***	***	***	***	***
机房西侧墙外	***	***	***	***	***
机房北侧墙外	***	***	***	***	***
机房顶棚外	***	***	***	***	***

注: 由于回旋加速器下方无自屏蔽, 根据厂家的计算, 在地板屏蔽厚度为 1600mm 混凝土(含重晶石)+500mm 轻集料混凝土时, 机房下方的剂量率约为 0.25 $\mu\text{Sv/h}$ 。

(2) 防护门外辐射剂量率

中子和 γ 射线穿过迷道内墙和防护门的剂量率和中子和 γ 射线经迷道内散射后穿过防护门的剂量率。

①穿过迷道内墙对防护门外辐射剂量率:

根据式 11-24, 穿过迷道内墙防护门外辐射剂量率见下表。

表 11-40 穿过迷道内墙对防护门辐射剂量率计算结果

位置	R (m)	$H_n(\mu\text{Sv/h})$	$H_t(\mu\text{Sv/h})$	X(cm)	H_c 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
防护门外	***	***	***	***	***

②散射射线对防护门外的辐射剂量率:

以公式 (11-25) 计算 γ 射线散射至防护门内的射线能量

$$E = \frac{E_o}{1 + \frac{E_o}{0.511}(1 - \cos \theta_s)} \dots\dots\dots \text{式 (11-25)}$$

式中:

E_o ——入射能量, 10MeV;

θ_s ——散射线与入射方向的夹角, 取 90° ;

计算得防护门内一次散射 γ 射线能量为 0.62MeV, 根据 NCRP151, 对于铅的什值层厚度约为 17mm。

根据 NCRP79 号报告, 以公式 (11-26) 计算中子射线散射至防护门内的射线能量。

$$E_{SC} = 0.24E_{dir} \dots\dots\dots \text{式 (11-26)}$$

计算得出防护门内一次散射中子射线能量为***MeV, 根据 NCRP79, 对于铅的什值层

厚度为**mm，对于含硼聚乙烯的什值层厚度为**mm。

防护门外散射剂量率以公式（11-27）计算：

$$H_s = \frac{H_n \cdot \alpha_n \cdot S}{R_1^2 \cdot R_2^2} \cdot 10^{-\frac{X}{TVL_n}} + \frac{H_\gamma \cdot \alpha_\gamma \cdot S}{R_1^2 \cdot R_2^2} \cdot 10^{-\frac{X}{TVL_\gamma}} \dots\dots\dots \text{式 (11-27)}$$

式中：

H_n ——参考点 r_0 处的中子剂量率；

H_γ ——参考点 r_0 处的 γ 射线剂量率；

α_n ——混凝土对于 1.6MeV 的散射系数，取 NCRP79 号报告中推荐的中子在混凝土上的散射系数**；

α_γ ——混凝土对 γ 光子入射辐射的散射因子，其取值参考 NCRP151 号报告表**相关内容，保守取**MeV γ 光子**° 入射，为**；

S ——散射面积，假设站在靶点和防护门处同时能够看到的面积；

R_1 ——等中心点至散射墙面的距离，m；

R_2 ——迷道散射墙面至入口处的距离，m；

X ——防护门的屏蔽，15mmPb+50mm 含硼聚乙烯；

表 11-41 防护门外辐射剂量率计算结果

位置	R_1 (m)	R_2 (m)	$S(m^2)$	H_n ($\mu\text{Sv/h}$)	H_r ($\mu\text{Sv/h}$)	X (cm)	H_s ($\mu\text{Sv/h}$)	H_c ($\mu\text{Sv/h}$)	防护门外总 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
防护 门外	**	**	**	**	**	**	**	**	**

由表 11-39 和表 11-41 估算结果可知：回旋加速器正常运行时，机房周边辐射剂量率为 $6.29 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h} \sim 2.68 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ 之间，符合《10MeV~20MeV 范围内固定能量强流质子回旋加速器》(GB/T34127-2017)中“回旋加速器场所辐射剂量率限制 a) 监督区：1 $\mu\text{Sv/h}$ ；b) 控制区：10 $\mu\text{Sv/h}$ ”剂量限值要求，辐射屏蔽设计满足辐射防护要求，对环境辐射环境影响较小。

二、药物合成室

回旋加速器合成的核素有 ^{18}F 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{64}Cu ，主要为 ^{18}F ，4 种核素照射量常数相近，因此，本报告以 ^{18}F 进行分析评价，满足对 ^{18}F 的辐射防护要求，即可同时满足对 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{64}Cu 的辐射防护要求。

表 11-42 核素相关参数一览表

核素	周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)
^{18}F	***
^{13}N	***
^{15}O	***
^{64}Cu	***

注：周围剂量当量率常数取自《核医学科放射防护要求》（GBZ120-2020）表***

对于 γ 剂量率计算，采用方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算关注点空气比释动能率：

$$D = \frac{A \times \Gamma}{r^2} \cdot \eta \dots\dots\dots \text{式 (11-28)}$$

式中：D—参考点上的空气比释动能率， $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ；

A— γ 点源的活度，Bq；回旋加速器每天制备 ^{18}F 药物2次，每次制备***mCi；

r—周围剂量当量率常数， $\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{Bq}\cdot\text{s})$ ； ^{18}F 的周围剂量当量率常数为*** $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ =*** $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{Bq}\cdot\text{h})$ ；

r—放射源到关注点的距离，m；

η —透射比，无屏蔽情况下取1，有屏蔽情况下，根据屏蔽材料的厚度d和射线在各类屏蔽材料中的什值层厚度TVL按11-29可求得；

$$\eta = 10^{\frac{-d}{\text{TVL}}} \dots\dots\dots \text{式 (11-29)}$$

式中：d—屏蔽材料的厚度；

TVL—什值层厚度；根据《核医学科放射防护要求》（GBZ120-2020）表I.1，混凝土TVL=***mm，铅TVL=***mm。

表 11-43 药物合成过程中各关注点辐射剂量率估算结果

表 11-43 药物合成过程中各关注点空气比释动能率估算结果表

项目	距离 (m)	A (Bq)	屏蔽物质	空气比释动能率 (μSv/h)
合成通风柜正面 30cm	***	***	***	***
药物合成室南墙外 30cm	***	***	***	***
药物合成室西墙外 30cm	***	***		***
药物合成室北墙外 30cm	***	***		***
药物合成室西侧防护门 30cm	***	***	***	***
药物合成室北侧防护门 30cm	***	***		***
药物合成室北侧传递窗 30cm	***	***	***	***
药物合成室楼上	***	***	***	***
药物合成室楼下	***	***	***	***

三、年有效剂量估算

根据公式 11-10 对回旋加速器制药工作场所进行年有效剂量估算。根据建设单位提供资料，回旋加速器每天运行时间约 2 小时，年工作 250 天，则年工作时间为***h。回旋加速器，公众人员居留因子取 1/4。

表 11-44 回旋加速器制药区域最大年有效剂量估算表

项目		附加辐射剂量率 (μSv/h)	年受照射时间(h)	最大年有效剂量(mSv/a)
回旋加速器 机房	工作人员	***	***	***
	公众人员	***	***	***
药物合成室	工作人员	***	***	***
	公众人员	***	***	***

表 11-44 表明，回旋加速器制药区域正常运行时对工作人员职业照射的最大年有效剂量值为 $3.21 \times 10^{-1} \text{mSv/a}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中职业照射剂量限值 20mSv/a 的要求，也低于剂量约束值 5mSv/a。对公众照射的最大年有效剂量值为 $3.35 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 公众照射剂量限值 1mSv/a 的要求，也低于剂量约束值 0.25mSv/a。

11.2.4.2 PET 工作场所

一、工作场所周围辐射剂量率

本次 PET 项目使用的放射性核素 (^{18}F 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{64}Cu) 均由回旋加速器生产合成，合成好的药物放入储源铅罐 (防护当量 40mmPb)，经表面污染检测合格后运送至 PET 配药分装室待人工分装。放射性核素 ^{68}Ga 为向有资质单位采购。

放射性药物在通风分装柜中由医护人员进行药物分装。分装完成后由注射护士在注射

窗口给病人注射（注射器外套 15mmPb 钨合金防护套），注射窗口的注射台安装有 30mmPb 铅玻璃注射窗，每次注射时间约为**s。病人随后在注射后休息室内静躺候诊（一般需等待约**h），待药物充分代谢后，进入 PET-CT 机房或 PET-MR 机房，由摆位人员指导病人摆位，摆位时间不超过约为**s，PET-CT 或 PET-MR 扫描时间约**分钟。扫描完成后，病人离开扫描室，在留观室内留观约**分钟，无碍后由病人专用检查出口离开。

PET/CT 项目拟使用核素的用量情况和相关参数见表 11-45。

表 11-45 拟使用核素的用量及相关参数

核素	周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)	最大用量 (Bq/次)	日最大接诊 人数(人)
^{18}F	***	***	***
^{13}N	***	***	***
^{15}O	***	***	***
^{64}Cu	***	***	***
^{68}Ga	***	***	***

注：空气比释动能率常数取自《核医学科放射防护要求》（GBZ120-2020）表 H.1

由上表可知 ^{18}F 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 的周围剂量当量率常数相近，本次 PET/CT 项目主要使用 ^{18}F ，其他四种核素应用较少，因此，本报告 PET/CT 项目主要以 ^{18}F 进行分析评价，根据《核医学科放射防护要求》（GBZ120-2020）附录中表 I.1，混凝土 TVL=176mm，铅 TVL=16.6mm。

根据公式 11-28，本项目 PET-CT 中心各关注点周围剂量当量率估算结果见下表。

表 11-46 本项目 PET 工作场所各关注点空气比释动能率估算结果表

关注点		估算条件	R (m)	屏蔽物质	H ($\mu\text{Sv/h}$)
配药分装室	分装位	***	***	50mmPb 分装柜+40mmPb 铅罐	***
	传递窗		***	50mmPb 分装柜+40mmPb 铅罐 +8mmPb 铅玻璃	***
	东墙外 30cm		***	50mmPb 分装柜+40mmPb 铅罐 +30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	南墙外 30cm		***		***
	西墙外 30cm		***		***
	北墙外 30cm		***		***
	顶棚		***	50mmPb 分装柜+40mmPb 铅罐 +20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
地坪	***	50mmPb 分装柜+40mmPb 铅罐 +25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***		
注射位		***	***	30mmPb 注射窗+ 15mmPb 注射防护套	***
注射区	东墙外 30cm	***	***	15mmPb 注射防护套+	***
	南墙外 30cm		***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***

	西墙外 30cm		**	15mmPb 注射防护套+ 8mmPb 铅门	**	
	北墙外 30cm		**		**	
	南侧防护门外 30cm		**		**	
	北侧防护门外 30cm		**		**	
	顶棚		**		15mmPb 注射防护套+20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**
	地坪		**		15mmPb 注射防护套+25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**
注射室	东墙外 30cm	**	**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	南墙外 30cm		**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	西墙外 30cm		**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	北墙外 30cm		**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	南侧防护门外 30cm		**	8mmPb 铅门	**	
	北侧防护门外 30cm		**	8mmPb 铅门	**	
	顶棚		**	20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	地坪		**	25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
VIP 注射后休息室	东墙外 30cm	**	**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	南墙外 30cm		**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	西墙外 30cm		**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	北墙外 30cm		**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	北侧防护门外 30cm		**	8mmPb 铅门	**	
	顶棚		**	20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	地坪		**	25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
VIP 注射后休息室卫生间	东墙外 30cm	**	**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	南墙外 30cm		**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	西墙外 30cm		**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	北墙外 30cm		**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	顶棚		**	20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	地坪		**	25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
MRI 注射后休息室 1	东墙外 30cm	**	**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	南墙外 30cm		**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	西墙外 30cm		**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	北墙外 30cm		**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	北侧防护门外 30cm		**	8mmPb 铅门	**	
	顶棚		**	20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	地坪		**	25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
MRI 注射后休息室 1 卫生间	南墙外 30cm	**	**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	西墙外 30cm		**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	北墙外 30cm		**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	顶棚		**	20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	地坪		**	25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
MRI 注射后休	东墙外 30cm	**	**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	
	南墙外 30cm		**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	**	

息室 2	西墙外 30cm	***	***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***	
	北墙外 30cm		***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***	
	北侧防护门外 30cm		***		8mmPb 铅门	***
	顶棚		***	***	20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	地坪		***	***	25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
MRI 注射后休息室 2 卫生间	东墙外 30cm		***	***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	北墙外 30cm		***	***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	顶棚		***	***	20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	地坪		***	***	25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
PET 注射后休息室 1	东墙外 30cm		***	***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	西墙外 30cm		***	***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	北墙外 30cm		***	***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	东侧防护门外 30cm		***	***	8mmPb 铅门	***
	顶棚		***	***	20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	地坪		***	***	25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
PET 注射后休息室 1 卫生间	东墙外 30cm		***	***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	南墙外 30cm		***	***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	西墙外 30cm		***	***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	顶棚		***	***	20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	地坪		***	***	25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
PET 注射后休息室 2	东墙外 30cm	***	***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***	
	西墙外 30cm	***	***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***	
	北墙外 30cm	***	***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***	
	西侧防护门外 30cm	***	***	8mmPb 铅门	***	
	顶棚	***	***	20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***	
	地坪	***	***	25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***	
PET 注射后休息室 2 卫生间	东墙外 30cm	***	***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***	
	南墙外 30cm	***	***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***	
	西墙外 30cm	***	***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***	
	顶棚	***	***	20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***	
	地坪	***	***	25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***	
PET 注射后休息室 3	南墙外 30cm	***	***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***	
	西墙外 30cm	***	***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***	
	北墙外 30cm	***	***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***	
	北侧防护门外 30cm	***	***	8mmPb 铅门	***	
	顶棚	***	***	20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***	
	地坪	***	***	25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***	
PET 注射后休息室 3 卫生间	东墙外 30cm	***	***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***	
	南墙外 30cm	***	***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***	
	北墙外 30cm	***	***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***	
	顶棚	***	***	20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***	
	地坪	***	***	25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***	
PET-M	摆位处	***	***	15mmPb 铅屏风	***	

RI 扫描间	东墙外 30cm		***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	南墙外 30cm		***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	西墙外 30cm		***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	北墙外 30cm		***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	南侧防护门外 30cm		***	8mmPb 铅门	***
	西侧防护门外 30cm		***	8mmPb 铅门	***
	西侧观察窗外 30cm		***	8mmPb 铅玻璃	***
	顶棚		***	20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	地坪		***	25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
PET-C T 扫描间	摆位处		***	15mmPb 铅屏风	***
	东墙外 30cm		***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	南墙外 30cm		***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	西墙外 30cm		***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	北墙外 30cm		***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	东侧防护门外 30cm		***	8mmPb 铅门	***
	西侧防护门外 30cm		***	8mmPb 铅门	***
	西侧观察窗外 30cm		***	8mmPb 铅玻璃	***
	顶棚		***	20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
地坪	***	25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***		
抢救室	东墙外 30cm		***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	南墙外 30cm		***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	西墙外 30cm		***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	北墙外 30cm		***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	东侧防护门外 30cm		***	8mmPb 铅门	***
	西侧防护门外 30cm		***	8mmPb 铅门	***
	顶棚		***	20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	地坪		***	25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
VIP 留观室	西墙外 30cm		***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	南墙外 30cm		***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	北墙外 30cm		***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	北侧防护门外 30cm		***	8mmPb 铅门	***
	顶棚		***	20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	地坪		***	25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
VIP 留观室卫生间	东墙外 30cm		***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	南墙外 30cm		***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	北墙外 30cm		***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	顶棚		***	20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	地坪		***	25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
PET-M RI 留观室	南墙外 30cm	***	***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	西墙外 30cm		***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	北墙外 30cm		***	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	北侧防护门外 30cm		***	8mmPb 铅门	***
	顶棚		***	20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***

	地坪		**	25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
PET-MRI 留观室卫生间	东墙外 30cm	**	**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	南墙外 30cm		**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	北墙外 30cm		**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	顶棚		**	20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	地坪		**	25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
PET-CT 留观室	东墙外 30cm	**	**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	南墙外 30cm		**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	西墙外 30cm		**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	北墙外 30cm		**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	西侧防护门外 30cm		**	8mmPb 铅门	***
	顶棚		**	20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	地坪		**	25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
PET-CT 留观室卫生间	南墙外 30cm	**	**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	西墙外 30cm		**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	北墙外 30cm		**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	顶棚		**	20cm 混凝土+6mmPb 钡砂水泥	***
	地坪		**	25cm 混凝土+5.5mmPb 钡砂水泥	***
患者过道	墙体外 30cm	**	**	30mm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	防护门外 30cm		**	8mmPb 铅门	***
	顶棚		**	20cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***
	地坪		**	25cm 混凝土+5mmPb 钡砂水泥	***

由表11-46估算结果可知，在采取一定辐射防护措施措施后，可有效降低放射性药物产生的 γ 射线对周围环境产生的影响。PET-CT工作场所控制区边界各关注点周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，PET-CT工作场所控制区内屏蔽体外表面30cm处的周围记录剂量率均小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，医院可采取一定措施避免公众人员长时间逗留或接近控制区边界，以减少对公众人员不必要的照射。

二、年有效剂量

根据医院提供的资料：

^{18}F 药物年使用病人数约**人、 ^{15}O 药物年使用病人数约**人、 ^{13}N 药物年使用病人数约**人、 ^{68}Ga 药物年使用病人数约**人、 ^{64}Cu 药物年使用病人数约**人。药物分装时间约**min/人，全年共分装时间**min；注射时间约**s，注射区有2名工作人员进行注射，全年共注射时间**min/人；摆位时间约为**s，PET-CT机房全年共扫描病人**人，PET-MRI机房全年共扫描病人**人，则PET-CT工作人员全年共摆位时间**min，PET-MRI工作人员全年共摆位时间**min。根据公式11-10对PET工作场所进行年有效剂量估算。

表 11-47 工作人员及公众成员的年有效剂量估算结果表

人员		辐射剂量率 μSv/h	年工作时间	居留 因子	年有效剂 量 mSv/a
工作 人员	分装	***	***	***	***
	注射	***	***	***	***
	PET-CT 摆位	***	***	***	***
	PET-CT 操作位	***	***	***	
	PET-MRI 摆位	***	***	***	***
	PET-MRI 操作位	***	***	***	
配药分装室周围公众人员		***	***	***	***
注射区周围公众人员		***	***	***	***
注射室周围公众人员		***	***	***	***
VIP 注射后休息室周围公众人员		***	***	***	***
VIP 注射后休息室卫生间周围公众人员		***	***	***	***
MRI 注射后休息室 1 周围公众人员		***	***	***	***
MRI 注射后休息室 1 卫生间周围公众人员		***	***	***	***
MRI 注射后休息室 2 周围公众人员		***	***	***	***
MRI 注射后休息室 2 卫生间周围公众人员		***	***	***	***
PET 注射后休息室 1 周围公众人员		***	***	***	***
PET 注射后休息室 1 卫生间周围公众人员		***	***	***	***
PET 注射后休息室 2 周围公众人员		***	***	***	***
PET 注射后休息室 2 卫生间周围公众人员		***	***	***	***
PET 注射后休息室 3 周围公众人员		***	***	***	***
PET 注射后休息室 3 卫生间周围公众人员		***	***	***	***
PET-MRI 扫描间周围公众人员		***	***	***	***
PET-CT 扫描间周围公众人员		***	***	***	***
抢救室周围公众人员		***	***	***	***
VIP 留观室周围公众人员		***	***	***	***
VIP 留观室卫生间周围公众人员		***	***	***	***
PET-MRI 留观室周围公众人员		***	***	***	***
PET-MRI 留观室卫生间周围公众人员		***	***	***	***
PET-CT 留观室周围公众人员		***	***	***	***
PET-CT 留观室卫生间周围公众人员		***	***	***	***
患者过道周围公众人员		***	***	***	***

注：上表辐射剂量率取理论计算各功能用房控制区边界辐射剂量率最大值。

根据表11-47，本项目PET工作场所工作人员职业照射的年有效剂量最大值为1.96mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值5mSv。本项目PET工作场所周边公众成员的年有效剂量最大为 8.60×10^{-2} mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值0.25mSv/a的要求。

11.2.4.3 SPECT 工作场所

一、工作场所周围辐射剂量率

放射性药物 ^{99m}Tc 在通风分装柜中由医护人员进行药物淋洗、药物分装。分装完成后由注射护士在注射窗口给病人注射（注射器外套 5mmPb 钨合金防护套），注射窗口的注射台安装有 15mmPb 铅玻璃注射窗，每次注射时间约为**s。病人随后在注射后休息室内静躺候诊（一般需等待约**h），待药物充分代谢后，进入 SPECT 机房，由摆位人员指导病人摆位，摆位时间不超过约为**s，SPECT/CT 扫描时间约**分钟。扫描完成后，病人离开扫描室，在留观室内留观约**分钟，无碍后由病人专用检查出口离开。

SPECT/CT 项目拟使用核素的用量情况和相关参数见表 11-48。

表 11-48 拟使用核素的用量及相关参数

核素	周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)	最大用量 (Bq/次)	日最大接诊 人数(人)
^{99m}Tc	**	**	**

本项目使用的 ^{99m}Tc 其产生的 γ 射线的能量为 0.14MeV。根据《核医学科放射防护要求》（GBZ120-2020）表 I.1，混凝土 TVL=110mm，铅 TVL=1mm。

根据公式11-28，本项目SPECT-CT中心各关注点周围剂量当量率估算结果见下表。

表 11-49 本项目 SPECT 工作场所各关注点空气比释动能率估算结果表

关注点		估算条件	R (m)	屏蔽物质	H ($\mu\text{Sv/h}$)	
配药分装室	分装位	***	***	20mmPb 分装柜	***	
	东墙外 30cm		***	20mmPb 分装柜+30cm 混凝土 +3mmPb 钡砂水泥	***	
	南墙外 30cm		***		***	
	西墙外 30cm		***		***	
	北墙外 30cm		***		***	
	东侧防护门外 30cm		***	***	20mmPb 分装柜+6mmPb 铅门	***
	南侧传递窗外 30cm		***	***	20mmPb 分装柜+6mmPb 铅玻璃	***
	顶棚		***	***	20mmPb 分装柜+20cm 混凝土 +3mmPb 钡砂水泥	***
	地坪		***	***	20mmPb 分装柜+25cm 混凝土 +3mmPb 钡砂水泥	***
注射区	注射位	***	***	15mmPb 注射窗+ 5mmPb 注射防护套	***	
	东墙外 30cm		***	5mmPb 注射防护套+30cm 混凝土 +3mmPb 钡砂水泥	***	
	南墙外 30cm		***		***	
	西墙外 30cm		***		***	
	北墙外 30cm		***		***	
	东侧防护门外 30cm		***	***	5mmPb 注射防护套+6mmPb 铅门	***
	南侧防护门外 30cm		***	***	5mmPb 注射防护套+6mmPb 铅门	***
	顶棚		***	***	5mmPb 注射防护套+20cm 混凝土 +3mmPb 钡砂水泥	***
	地坪		***	***	5mmPb 注射防护套+25cm 混凝土 +3mmPb 钡砂水泥	***
注射室	东墙外 30cm	***	***	30cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***	
	南墙外 30cm		***		***	
	西墙外 30cm		***		***	
	北墙外 30cm		***		***	
	南侧防护门外 30cm		***	***	6mmPb 铅门	***
	北侧防护门外 30cm		***	***		***
	顶棚		***	***	20cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***
	地坪		***	***	25cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***
注射后休息室	东墙外 30cm	***	***	30cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***	
	南墙外 30cm		***		***	
	北墙外 30cm		***		***	
	北侧防护门外 30cm		***	***	6mmPb 铅门	***
	顶棚		***	***	20cm 混凝土+4mmPb 钡砂水泥	***
	地坪		***	***	25cm 混凝土+3.5mmPb 钡砂水泥	***
注射后	南墙外 30cm		1.71	30cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***	

休息室 男卫生间	西墙外 30cm	***	***		***	
	顶棚		***	20cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***	
	地坪		***	25cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***	
注射后 休息室 女卫生间	西墙外 30cm		***	***	30cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***
	北墙外 30cm		***			***
	顶棚		***	20cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***	
	地坪		***	25cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***	
SPECT -CT 机 房 (1~2)	摆位处		***	***	5mmPb 铅屏风	***
	东墙外 30cm		***	***	30cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***
	南墙外 30cm		***			***
	西墙外 30cm		***			***
	北墙外 30cm		***			***
	南侧防护门外 30cm	***	***	6mmPb 铅门	***	
	北侧防护门外 30cm	***	***	***		
	北侧观察窗外 30cm	***	***	6mmPb 铅玻璃	***	
	顶棚	***	***	20cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***	
	地坪	***	***	25cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***	
留观室	南墙外 30cm	***	***	30cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***	
	西墙外 30cm		***		***	
	北墙外 30cm		***		***	
	北侧防护门外 30cm		***	***	6mmPb 铅门	***
	顶棚		***	***	20cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***
	地坪		***	***	25cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***
留观室 卫生间	东墙外 30cm	***	***	30cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***	
	南墙外 30cm		***		***	
	北墙外 30cm		***		***	
	顶棚		***	***	20cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***
	地坪		***	***	25cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***
问诊室	东墙外 30cm	***	***	30cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***	
	南墙外 30cm		***		***	
	西墙外 30cm		***		***	
	北墙外 30cm		***		***	
	西侧防护门外 30cm		***	***	6mmPb 铅门	***
	北侧防护门外 30cm		***	***	***	
	顶棚		***	***	20cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***
	地坪		***	***	25cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***
抢救室	东墙外 30cm	***	***	30cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	***	
	南墙外 30cm		***		***	
	西墙外 30cm		***		***	

	北墙外 30cm		**	6mmPb 铅门	**
	东侧防护门外 30cm		**		**
	北侧防护门外 30cm		**		**
	顶棚		**	20cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	**
	地坪		**	25cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	**
患者通道	墙体外 30cm		**	30cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	**
	离开防护门外 30cm		**	6mmPb 铅门	**
	顶棚		**	20cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	**
	地坪		**	25cm 混凝土+3mmPb 钡砂水泥	**

二、年有效剂量

根据医院提供的资料：

^{99m}Tc药物年使用病人数约12500人。药物淋洗分装时间约**min/人，全年共分装时间**min；注射时间约**s，全年共注射时间**min/人；摆位时间约为**s，SPECT-CT机房共2间，则每间SPECT-CT工作人员全年共摆位时间**min。根据公式11-10对SPECT工作场所进行年有效剂量估算。

表 11-50 工作人员及公众成员的年有效剂量估算结果表

人员		辐射剂量率 μSv/h	年工作时间	居留因子	年有效剂量 mSv/a
工作人员	分装	**	**	**	**
	注射	**	**	**	**
	SPECT-CT 摆位（每间）	**	**	**	**
	SPECT-CT 操作位（每间）	**	**	**	
配药分装室周围公众人员		**	**	**	2.43×10^{-24}
注射区周围公众人员		**	**	**	3.97×10^{-12}
注射室周围公众人员		**	**	**	3.16×10^{-7}
注射后休息室周围公众人员		**	**	**	6.45×10^{-4}
注射后休息室男卫生间周围公众人员		**	**	**	2.14×10^{-6}
注射后休息室女卫生间周围公众人员		**	**	**	2.14×10^{-6}
SPECT-CT 机房（1~2）周围公众人员		**	**	**	6.32×10^{-6}
留观室周围公众人员		**	**	**	2.53×10^{-5}
留观室卫生间周围公众人员		**	**	**	4.27×10^{-6}
问诊室周围公众人员		**	**	**	3.38×10^{-6}
抢救室周围公众人员		**	**	**	1.26×10^{-6}
患者通道周围公众人员		**	**	**	2.17×10^{-6}

注：上表辐射剂量率取理论计算各功能用房控制区边界辐射剂量率最大值。

根据表 11-50，本项目 SPECT 工作场所工作人员职业照射的年有效剂量最大值为 $1.58 \times 10^{-5} \text{mSv/a}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 5mSv/a 。本项目 PET 工作场所周边公众成员的年有效剂量最大为 $6.45 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 0.25mSv/a 的要求。

11.2.4.4 ^{131}I 肾功能检查项目

一、工作场所周围辐射剂量率

本项目 ^{131}I 肾功能检查位于 SPECT 工作场所肾图室，每次最大注射量为 500kBq ，每天接诊病人人数最大为 5 人。 ^{131}I 对周围的辐射剂量率主要由衰变产生的 γ 射线，根据《核医学科放射防护要求》（GBZ120-2020）附录中表 I.1，混凝土 TVL=170mm，铅 TVL=11mm。

拟使用核素的用量情况和相关参数见表 11-51。

表 11-51 拟使用核素的用量及相关参数

核素	周围剂量当量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)	最大用量 (Bq/次)	日最大接诊 人数 (人)
^{131}I	***	***	***

注：空气比释动能率常数取自《核医学科放射防护要求》（GBZ120-2020）表 H.1

根据估算公式 11-28，本项目 ^{131}I 放射源产生的 γ 辐射剂量率见表 11-52。

表 11-52 本项目肾图室工作场所各关注点周围剂量当量率估算结果表

关注点		估算条件	R (m)	屏蔽物质	H ($\mu\text{Sv/h}$)
肾图室	注射位	***	***	0.5mmPb 铅衣	***
	东墙外 30cm		***	30mm 混凝土	***
	南墙外 30cm		***		***
	西墙外 30cm		***		***
	北墙外 30cm		***		***
	顶棚		***	20cm 混凝土	***
	地坪		***	25cm 混凝土	***
	南侧防护门		***	普通防护门	***
	北侧防护门		***	普通防护门	***

二、年有效剂量

根据医院提供的资料： ^{131}I 肾功能检查每天接诊病人人数为 5 人，年接诊病人人数 1250 人，注射时间约 30s，扫描时间约为 30min。根据公式 11-10 对 ^{131}I 肾功能检查项目进行年有效剂量估算。

表 11-53 工作人员及公众成员的年有效剂量估算结果表

人员		辐射剂量率 μSv/h	年工作时间	居留因子	年有效剂量 mSv/a
工作人员	肾图工作人员	***	***	***	***
公众人员	周围公众	***	***	***	***

根据表 11-53，¹³¹I 肾功能项目工作人员职业照射的年有效剂量最大值为 $1.12 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 5mSv/a 。周边公众成员的年有效剂量最大为 $2.10 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 0.25mSv/a 的要求。

11.2.4.5 ⁸⁹Sr 和 ¹⁷⁷Lu 治疗项目辐射屏蔽估算

一、周围辐射剂量率

核医学科治疗用核素有 ⁸⁹Sr、¹⁷⁷Lu，在核医学科接受放射性药物治疗的病人，在用药正常后就离开，除给药期间病人辐射对周围环境有短暂影响外，不会产生排泄物等废水和固体废物。其中 ⁸⁹Sr 和 ¹⁷⁷Lu 均为 β 核素，⁸⁹Sr 核素衰变后发射的 β 射线最大能量为 0.5846MeV ，¹⁷⁷Lu 核素衰变后发射的 β 射线最大能量为 0.2058MeV 。β 源衰变后发射 β 射线，相对于 X、γ 射线穿透力较弱，核医学科普通应用只要戴上手套和眼罩（或面罩），用镊子或其它夹具操作，手不接触 β 源，就能达到防护要求。

⁸⁹Sr 预计每天接诊病人数为 2 人，单人最大注射量为 4mCi ，¹⁷⁷Lu 预计每天接诊病人数为 2 人，单人最大注射量为 10mCi ，每天治疗病人较少，对工作人员和患者周围公众外照射影响轻微。

β 粒子穿过周围物质时产生韧致辐射（本质为 X 射线），其穿透能力比 β 粒子强得多，因此应用 β 源时不能忽视对韧致辐射的防护。屏蔽 β 粒子应选用低原子序数的材料以减少韧致辐射，外面用高原子序数的材料屏蔽韧致辐射。

对于能量为 E 的 β 射线在屏蔽材料中产生的韧致辐射可采用方杰主编的《辐射防护导论》中的公式进行计算。

韧致辐射所致 γ 辐射剂量率估算如下：

$$H_r = 4.58 \times 10^{-14} \cdot A \cdot Z \left(\frac{E_b}{r} \right)^2 \cdot \left(\frac{\mu_{em}}{\rho} \right) \dots \dots \dots \text{式 (11-30)}$$

式中：H_r—β 射线在屏蔽材料中产生的韧致辐射在 r (m) 处剂量当量率，Sv/h；

A—放射源活度，Bq；

Z—屏蔽材料有效原子序数；

E_b —韧致辐射的平均能量，MeV；根据《辐射防护导论》P132“韧致辐射具有连续能谱”。在实际计算时，可以假定韧致辐射的平均能量 E_b 是入射 β 射线最大能量的 1/3， ^{89}Sr 的 β 射线最大能量为 0.5846MeV， ^{177}Lu 的 β 射线最大能量为 0.2058MeV。

r—参考点与韧致辐射源的距离，m；

$\frac{\mu_{em}}{\rho}$ —韧致辐射的平均能量在屏蔽材料中的质量能量吸收系数， m^2/kg ；由《辐射防护导论》附表 1 查得。

根据估算，得到无屏蔽状态下不同距离放射源韧致辐射产生的 γ 辐射剂量率。

表 11-54 无屏蔽状态下不同距离放射源韧致辐射产生的 γ 辐射剂量率

核素		源活度	屏蔽材料有效原子序数 Z	E_b (MeV)	μ_{em}/ρ (m^2/kg)	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
^{89}Sr	0.3m	***	***	***	***	***
	0.5m					***
	1m					***
^{177}Lu	0.3m	***	***	***	***	***
	0.5m					***
	1m					***

注：Z 值取普通玻璃的有效原子序数为 10.6。

由上表可知，按放射核素最大活度计算，在裸源状态下与普通玻璃作用产生韧致辐射，距离 ^{89}Sr 放射源 1m 处 γ 辐射剂量率为 $8.08 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，距离 ^{177}Lu 放射源 1m 处 γ 辐射剂量率为 $1.71 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，对周围环境已没有显著影响。

11.2.4.6 密封源 ^{68}Ge 、 ^{57}Co 的辐射影响分析

PET-CT 装置需要使用 ^{68}Ge 放射源对机器进行校验，确保仪器诊断结果的准确性。 ^{68}Ge 放射源固定置于 PET-CT 的机头上，全自动运行，对工作人员和公众产生的辐射影响可忽略不计。SPECT-CT 装置需要使用 ^{57}Co 放射源对机器进行校验，确保仪器诊断结果的准确性。 ^{57}Co 放射源固定置于 SPECT-CT 的机头上，全自动运行，对工作人员和公众产生的辐射影响可忽略不计

11.2.4.7 核医学科放射性废物分析

一、放射性废水

医院核医学科涉及 ^{18}F 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素使用，针对核素的使用情况及产污分析，核医学设计有专门的 1 组放射性衰变池组收集核医学门诊区和回旋加速器制药区产生的放射性废液，本项目衰变池位于地下负二层，加速器机房的东侧，回旋加速器

机房的正下方，核医学排水管道的布设已在第 10 章节核医学项目中进行了详细分析。

(1) 衰变池设计

本项目核医学科衰变池体为不锈钢衰变箱体设计，衰变池间的四周墙体和顶棚为 30cm 钢筋混凝土结构。衰变池间地面、顶棚及四周做专门的防腐防渗处理。衰变池均为自动化并联式设计，每格衰变箱内设置浮球液位计，可编程控制器采集到每个衰变池的液位情况来控制相应的电磁阀开闭状态，医院可通过远程可视化控制终端远程监控衰变池废水处理流程，且设置声光报警装置，当衰变池出现故障时及时报警。

衰变池共设计 3 格不锈钢储水箱和 1 个多功能废液降解槽，每格不锈钢储水箱有效容积为 5m^3 ，3 格储水池总容积为 15m^3 。1 号衰变池废水处理流程为：放射性废水先由电动阀门控制流入多功能废液降解槽，降解过滤固体沉渣。然后排进第 1 格不锈钢储水箱进行暂存，当第一格储水池格蓄满废水时关闭第一格进水阀门并打开第 2 格不锈钢储水箱进水阀门，放射性废水流入第 2 格不锈钢储水箱进行暂存，以此类推，当第 3 格不锈钢储水箱时，对第 1 格不锈钢储水箱的放射性废水进行检测，达到排放标准后，排放至污水检查井，最终排放至医院污水处理站。

(2) 衰变池废水量估算

根据《建筑给水排水设计标准》，大便器自闭式冲水阀一次用量 6L。根据医院提供的资料 PET-CT 工作场所每天接诊病人 29 人/天，SPECT-CT 工作场所每天接诊病人数为 50 人，设核素显像检查患者注射后休息期间上厕所**次，每次约产生废水**L。回旋加速器工作场所、PET-CT 工作场所和 SPECT 工作场所清洗、去污每天用水量约为**L（含工作人员），除此之外，考虑事故应急用水裕量保守取**L/天。则总流入衰变池的废水量为 $1.5\text{m}^3/\text{天}$ 。

衰变池共设计 3 格，每格有效容积为 5m^3 ，3 格总容积为 15m^3 。每天产生废水 1.5m^3 ，则当第三格储水池蓄满废水时，第 1 格储水池放射性废水至少已暂存**h。排放到衰变池的废水中放射性核素为 ^{18}F 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{64}Cu 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，保守采用半衰期相对较长，人数较多的核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （半衰期为 6.02h），10 个半衰期时间为**h，因此衰变池的设置可满足放射性废水在衰变池停留十个半衰期以上的要求。

(3) 衰变池排放活度分析

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）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收 ALI 值中的较小者，其具体数值可按 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定获得)；

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

由 GB18871-2002 附录 B 的 B1.3.4 及 B.1.3.5 可知，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 的年摄入量的限值 $I_{j,L}$ 的计算公式如下：

$$I_{j,L} = \frac{DL}{e_j} \dots\dots\dots \text{式 (11-31)}$$

式中：

DL——相应的有效剂量的年剂量限值；GB18871-2002 附录 B 中职业照射工作人员连续 5 年的年平均有效剂量为 20mSv；

e_j ——附表 B3 和 B6、B7 中给出的放射性核素的 j 的单位摄入量所致的待积有效剂量的相应值，具体见表 11-55。

表 11-55 放射性废液中各核素的 ALI_{\min} 值

核素名称	工作人员吸入和食入单位摄入量所致的待积有效剂量 $e(j)$, Sv/Bq		年摄入量限值 I (Bq)	ALI_{\min} (Bq)
^{18}F	吸入	***	***	***
	食入	***	***	
^{64}Cu	吸入	***	***	***
	食入	***	***	
^{68}Ga	吸入	***	***	***
	食入	***	***	
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	吸入	***	***	***
	食入	***	***	

注：GB18871-2002 未给出 ^{13}N 和 ^{15}O 的 $e(j)$ 值，为保守估计 ^{13}N 和 ^{15}O 取 ^{64}Cu 的 $e(j)$ 值。

衰变池的第三个储水箱灌满时，第 1 格储水池的放射性废水至少暂存了 160h。在注满第一格储水池期间（3.3 天，保守取 4 天），接受 ^{18}F 显像检查患者最多为 100 人，注射 ^{18}F 活度总量为 $100 \times 10\text{mCi} = 1000\text{mCi}$ ，接受 ^{13}N 显像检查患者最多为 4 人，注射 ^{13}N 活度总量为 $4 \times 20\text{mCi} = 80\text{mCi}$ ，接受 ^{15}O 显像检查患者最多为 4 人，注射 ^{15}O 活度总量为 $4 \times 20\text{mCi} = 80\text{mCi}$ ，

接受⁶⁴Cu显像检查患者最多为4人，注射⁶⁴Cu活度总量为4×20mCi=80mCi，接受⁶⁸Ga显像检查患者最多为4人，注射⁶⁸Ga活度总量为4×20mCi=80mCi。接受^{99m}Tc显像检查患者最多为200人，注射⁶⁸Ga活度总量为200×25mCi=5000mCi。参考《AAPM Task Group 108:PET and PET/CT Shielding Requirements》，显像诊断核素在前2h时内随人体排出的活度约为使用量的15%~20%，保守以候诊期间注射后患者体内的20%的核素排入到衰变池估算，且不考虑衰变影响，则排泄进第一格储水池的¹⁸F总活度为200mCi、¹³N总活度为16mCi、¹⁵O总活度为16mCi、⁶⁴Cu总活度为16mCi、⁶⁸Ga总活度为16mCi、^{99m}Tc总活度为1000mCi。经过160h暂存后，各核素排出的活度为：

$$^{18}\text{F}\text{排出活度为: } 7.4 \times 10^9 \text{Bq} \times (1/2)^{160 \times 60 / 109.77} \approx \text{**Bq}$$

$$^{13}\text{N}\text{排出活度为: } 5.92 \times 10^8 \text{Bq} \times (1/2)^{160 \times 60 / 10} \approx \text{**Bq}$$

$$^{15}\text{O}\text{排出活度为: } 5.92 \times 10^8 \text{Bq} \times (1/2)^{160 \times 60 / 2} \approx \text{**Bq}$$

$$^{64}\text{Cu}\text{排出活度为: } 5.92 \times 10^8 \text{Bq} \times (1/2)^{160 / 12.7} = \text{**Bq}$$

$$^{68}\text{Ga}\text{排出活度为: } 5.92 \times 10^8 \text{Bq} \times (1/2)^{160 \times 60 / 68.3} = \text{**Bq}$$

$$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{排出活度为: } 3.7 \times 10^{10} \text{Bq} \times (1/2)^{160 / 6.02} = \text{**Bq}$$

废水中各核素的排放活度均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中单次排放的活度低于1ALI_{min}和单月排放活度低于10ALI_{min}的要求。

二、放射性固体废物

项目涉及⁶⁸Ge和⁵⁷Co废旧校正源由厂家回收。

核医学场所产生的放射性固体废物主要有使用后的注射器、一次性手套、吸水纸、口罩、放射性污染的物品等。

根据关于发布《放射性废物分类》的公告(环境保护部 工业和信息化部 国家国防科技工业局公告2017年第65号,2018年1月1日施行)本项目涉及的放射性核素(除校正源),及场所产生的放射性固体废物主要含有¹⁸F、¹³N、¹⁵O、⁶⁴Cu、⁶⁸Ga、^{99m}Tc、⁸⁹Sr、¹⁷⁷Lu、¹³¹I,都属于极短寿命放射性废物,通过储存衰变,放射性核素活度浓度即可达到解控水平,实施解控。

长半衰期放射性固体废弃物主要在回旋加速器生产正电子放射性药物过程中产生,包括回旋加速器废靶膜、废靶片、加速器活化部件等。长半衰期固体废物收集于加速器机房内的长半衰期铅废物桶中,待收集一定量后送有资质单位处理。

短半衰期放射性固体废弃物主要是正电子放射性药物过程中更换的药物传输管道、纯

化柱、阀门、过滤器等合成分装室上的零部件；药物生产过程中在正常工况去污产生的棉球、抹布、口罩、滤纸、无菌过滤器及其它放射性沾污废物；事故工况（药液洒漏造成台面、小推车、地面污染或人员污染）去污产生的棉球、抹布、手套、工作服；PET 和 SPECT 工作场所产生的放射性固体废物主要有使用后的注射器、一次性手套、吸水纸、口罩、放射性污染的物品；排气烟囱顶部置换下的高效活性炭等。根据建设单位提供资料，长半衰期放射性固体废弃物产生量平均每年约为 1.2kg，短半衰期放射性固体废弃物和医院核医学接诊情况相关。

本项目核医学科设有 1 间废物暂存间，各产污场所均设有短半衰期铅废物桶，短半衰期放射性固体废物在产生后先存放于短半衰期铅废物桶中，并在短半衰期铅废物桶中的显著位置表面废物类型、核素种类、比活度和存放容器等，最终集中放置在废物间中暂存至少十个半衰期，满足相应核素解控水平后，作为一般医疗固体废物处理。

三、放射性废气

核医学科各工作场所设有排风系统和送风系统，可保证负压通风。共设置有 14 套独立的放射性排风管道系统。

1) 回旋加速器机房内及其气瓶间、设备间、水冷机房、控制室拟设置一套独立的排风系统；

2) 回旋加速器制药工作场所的质控打包间、物料准备间、药物合成室及其缓冲区域、全检质控室及其缓冲区域拟设置一套独立的排风系统；

3) 回旋加速器制药工作场所的药物合成室内的合成通风柜拟设置一套独立的排风系统；

4) PET 工作场所的配药分装、注射区、注射室、废药间及其缓冲区域内拟设置一套独立的排风系统；

5) PET 工作场所的 PET-MRI 注射后休息室 1~2、PET-CT 注射后休息室 1~3、VIP 注射后休息室、卫生间内拟设置一套独立的排风系统；

6) PET 工作场所的配药分装室内的通风分装柜拟设置一套独立的排风系统；

7) PET 工作场所的 PET-MRI 机房和 PET-CT 机房内拟设置一套独立的排风系统；

8) PET 工作场所的 PET-MRI 设备间和 PET-MRI 控制室内拟设置一套独立的排风系统；

9) PET 工作场所的 PET-CT 设备间、抢救室、患者通道、VIP 留观室、PET-MRI 留观室、PET-CT 留观室、卫生间内拟设置一套独立的排风系统；

10) PET 工作场所的病史采集室、接待问询室、候诊区、VIP 候诊区、卫生间内拟设置一套独立的排风系统;

11) SPECT 诊断区域的肾图室、患者走廊、配药分装、注射区、注射室、废药间、注射后休息室、SPECT-CT 机房 1~2、留观室、抢救室内拟设置一套独立的排风系统;

12) SPECT 工作场所的配药分装室内的通风分装柜拟设置一套独立的排风系统;

13) SPECT 诊断区域的控制室、办公室等非控制区拟设置一套独立的排风系统;

14) 放射性废物暂存间拟设置一套独立的排风系统。

该院拟设置以上排风系统, 房间内为微负压, 并拟设置防回风阀, 防止有害气体在特殊状态下逆流。各场所产生的废气由支管道汇入主管道后, 进入各区域排风机房, 由排风机房排至医技中心楼顶, 排风口距地 3m。地下室风机出口处拟设置活性炭吸附净化装置, 活性炭由专人进行定期更换, 更换下来的活性炭按照放射性固体废物进行处理。

核医学科的放射性排风管道采用 3mmPb 铅皮包裹防护, 直接连接大楼屋面的放射性排风管道在排风机内敷设, 排风井壁为 20mm 厚度砖墙, 能有效的保障放射性排风管道对周围环境的影响。

综上所述, 本项目核医学科辐射工作场所设置有独立的放射性排风系统, 且连接配药分装室分装柜、药物合成室合成柜的排风系统由独立管道直接排放至大楼顶层屋面, 放射性废气排风装置设置有高效过滤的活性炭过滤吸附装置, 能有效的吸附废气中的放射性气溶胶。核医学科排风设计符合《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006) 中的相关要求。

11.3 事故影响分析

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

11.3.1 直线加速器

一、直线加速器可能发生的辐射事故如下:

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

②安全联锁装置或报警系统发生故障情况下, 人员误入正在运行的加速器治疗室。

③工作人员在治疗室内为患者摆位或其它准备工作，控制台处操作人员误开机出束，发生事故性出束，对工作人员造成辐射伤害。

④加速器控制系统出现故障，照射治疗不能停止，以及突然断电的“事故性束流损失”造成的某处瞬时 X 射线的产生，病人受到计划外照射。

二、采取的风险防范措施

①制定有自检制度，且严格进行经常性自查，如发现门机联锁、监视器、工作状态指示灯、电离辐射警告标志不够完善或失灵，以及防护门出现故障，应立即补充和修复。定期进行门机联锁装置、工作指示灯检查，防止人员误入。

②加强人员培训，制定规范的操作规程并落实。

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

④做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

⑤医院应联系有维修资质的人员前来对设备进行维护，不得私自拆卸维修。

11.3.2 后装机

一、后装机可能发生的辐射事故如下：

①工作人员操作不当或出现设备故障，在设备安装和换装放射源时，发生放射源由设备或容器中跌落出来，造成安装或操作人员受到强辐射照射。发生卡源，造成额外照射。

②治疗机处于运行状态时，因故障，门机联锁装置失效，导致人员误入处于运行状态的机房，受到不必要的辐射照射。

③放射源保管不善，可能发生丢失事故，产生严重的环境污染事故。

④摆位工作人员尚未撤离机房，控制台处操作人员误操作，后装机出束，对工作人员造成照射。

二、采取的风险防范措施

①辐射操作人员持证上岗，定期进行辐射防护知识的培训 and 安全教育，严格按照设备操作程序操作。

②机房设置门-机联锁装置、视频监控、对讲装置，防护门张贴电离辐射警告标志及安装工作指示灯。工作人员定期检查门-机联锁、视频监控、对讲装置等设备，出现故障及时维修。

③制定后装机卡源事故应急处置措施并加强工作人员卡源事故演习，当出现卡源事故

时严格按应急处置措施进行处理。

④废源回收以及新放射源的更换均由设备供应商或厂家完成。

⑤医院加强放射源的辐射管理，后装机机房出入口设置摄像头监控。

11.3.3 DSA 和 ERCP

一、DSA 和 ERCP 可能发生的辐射事故如下：

①当警示灯、门灯联锁损坏时，公众、辐射工作人员、检查管理人员或检修维护人员在 DSA（或 ERCP）开机状态下误入本项目 DSA 机房（或 ERCP 机房）。

②DSA（或 ERCP）在不停机、铅玻璃老化和铅门破损未及时维修情况下，给周围活动人员及辐射工作人员造成额外的照射。

③因违章操作，人员未全部撤离机房，DSA（或 ERCP）运行给公众、辐射工作人员造成额外的照射。

④介入医生在 DSA 机房（或 ERCP 机房）进行介入手术时，未穿戴好个人辐射防护用品。

二、采取的风险防范措施

①工作人员应每天检查安全联锁装置，且工作人员必须严格按照 DSA 和 ERCP 操作程序进行治疗，防止事故的发生。当发生事故时立即按下紧急按钮停止治疗，减少事故的影响。

②与当地生态环境部门密切配合，加强环境剂量和放射性的监督检测。

③DSA 和 ERCP 维修保养时，由专业检修人员进行操作，并在操作台处标识“维修中”，待检修完成后，将维修标识取走，医务人员方可进行治疗操作，可有效避免事故的发生。

④已制定辐射安全管理相关制度，辐射工作人员需经培训后上岗，严格按照操作规程操作，杜绝因违章操作造成额外照射。

⑤介入人员均须经培训合格后上岗，且按操作规程操作，防止事故的发生。且为介入医生配备铅围裙、铅帽、铅围脖、铅手套等个人防护用品。

11.3.4 核医学科

11.3.4.1 回旋加速器

一、可能发生的辐射事故如下：

①回旋加速器机房门-机联锁失效或操作人员失误，人员误入机房，造成误照射。

②回旋加速器打靶过程中或打靶后发生药液不能传输故障。

③在转移过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的意外泄露，造成台面、地面辐射污染。

④工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外照射剂量。

⑤放射性废水或放射性固废衰变时间不够，未达到解控水平或排放标准即进行处理。

二、采取的风险防范措施

①定期开展安全装置与设施检查，保证门机联锁装置有效。制定并落实操作规范，工作人员定期培训。

②做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

③制定并落实放射性核素与放射源安全管理制度，设专人负责，做好核素与放射源的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。应设置防盗门、防盗窗及报警装置等设施，做好防盗工作。

④制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，配备必要的防护用品，减少药物操作和运输过程中洒漏事故发生。

⑤加强工作人员自身防护安全意识，定期组织培训，使工作人员明确配备的防护用品（铅衣、铅手套、铅围裙、铅围脖、铅眼镜等）。

⑥做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

⑦放射性性固体废物衰变箱外应标注内含核素种类、封存时间。医院应加强放射性废水和固废排放处理管理，按照本环评要求的衰变时间停留衰变，处理前进行监测，达到解控水平后方可进行进一步处理。

⑧配备去污清洁用品，发生核素泄漏应控制人员进入。选择合理的去污方法，防止交叉污染。

11.3.4.2 非密封放射性物质（PET 工作场所和 SPECT 工作场所）

一、可能发生的辐射事故如下

①操作人员失误，人员误入机房，造成误照射；工作人员或患者家属尚未撤离 PET/CT 机房或 SPECT 机房时误开机，对工作人员或患者家属产生不必要的照射。

②由于管理不善，放射性药物或放射源被盗、丢失。

③在转移过程中由于操作人员违反操作规程或误操作引起的意外泄露，造成台面、地面辐射污染。

④工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外照射剂量

⑤PET/CT、SPECT/CT 等控制系统出现故障，照射不能停止，患者受到计划外照射。

⑥核素治疗患者用药后未经允许离开核医学科，尤其是在用药初期离开候诊室或病房，可能对接近患者的人员造成额外照射。

⑦放射性废水或放射性固废衰变时间不够，未达到解控水平或排放标准即进行处理。

二、采取的风险防范措施

①定期开展安全装置与设施检查，保证门机联锁装置有效。制定并落实操作规范，工作人员定期培训。

②做好设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

③制定并落实放射性核素与放射源安全管理制度，设专人负责，做好核素与放射源的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。应设置防盗门、防盗窗及报警装置等设施，做好防盗工作。

④制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，配备必要的防护用品，减少药物操作和运输过程中洒漏事故发生。

⑤加强工作人员自身防护安全意识，定期组织培训，使工作人员明确配备的防护用品（铅衣、铅手套、铅围裙、铅围脖、铅眼镜等）及存放位置，

⑥做好 PET/CT、SPECT/CT 等设备保养维护工作，定期对设备开展维护维修。

⑦加强对有药患者的管理，在不影响诊断和治疗的情况下，限制其服药量，限制患者出院时的放射性药物携带量，并对出院的有药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书
面指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公共场所去活动，并避免与家人近距离密切接触。核医学工作场所设置监控，进出口设置控制门，经核实达到离开条件方可允许患者离开。

⑧放射性性固体废物衰变箱外应标注内含核素种类、封存时间。医院应加强放射性废水和固废排放处理管理，按照本环评要求的衰变时间停留衰变，处理前进行监测，达到解控水平后方可进行进一步处理。

11.3.4.3 ^{68}Ge 和 ^{57}Co 校准源（V 类密封源）

医院密封源使用过程中，可能发生的事故情况如下：

①因工作人员操作不当或出现设备故障，在安装或拆卸放射源时，发生放射源由设备或容器中跌落出来，造成操作人员受到强辐射照射。此时，应及时将放射源装入自带的屏蔽容器内，减少对人员的照射。

②由于管理不善，放射源发生被盗、丢失、遗弃等事故，而引发环境辐射污染。发生放射源丢失、被盗、遗弃事故时，应立即启动单位辐射事故应急预案。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关规定，使用使用放射性同位素、射线装置的单位，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构。四川大学华西厦门医院为厦门市卫生健康委员会与四川大学合作共建，因目前四川大学华西厦门医院仍在筹建中，组织架构和人员暂未配备到位，建设单位承诺（详见附件 5）：待四川大学华西厦门医院成立及人员配备到位后，将严格根据相关法律法规的要求，督促院方落实辐射安全与环境保护领导小组成员名单，并设置专（兼）职的辐射防护管理人员，具体负责本项目的辐射安全与环境保护工作。其主要职责内容应包括：

- （1）组织贯彻落实国家和地方政府、医院有关辐射安全与环境保护工作的方针、政策；
- （2）定期（至少每季度一次）召开会议，听取辐射安全与环境保护工作情况汇报，讨论决定辐射安全与环境保护工作中的重大问题和采取的措施；
- （3）组织开展核技术利用项目安全检查活动，组织处理、通报事故；
- （4）组织制定和完善射线装置管理制度和操作规程，监督检查各规章制度的执行，督促整改辐射事故隐患。

12.2 辐射安全管理

（一）规章制度

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

建设单位承诺（详见附件5）：待四川大学华西厦门医院成立及人员配备到位后，将严格根据相关法律法规的要求，督促院方及时制定相关规章制度，并张贴在相关控制室墙上，规章制度应包括但不限于以下规章制度：《辐射安全管理制度》、《安全防范和保卫制度》、《放射治疗室安全管理制度》、《放射治疗装置维修保养、检测和质量保证制度》、《ECT室操作规程》、《ECT室仪器使用制度》、《放射性表面污染监测管理规程》、《放射性废物、废液处理操作规程》、《放射性污染去污操作规程》、《放射性药物管理规则》、《高活性室操作规程》、《医用直线加速器操作指南规程》、《DSA操作规程》、《ERCP操作规程》、《放射操作技师职责》、《放射治疗工作人员职责》、《放射治疗物理师职责》、《放射治疗主任职责》、《放射治疗医师岗位职责》、《高活性室岗位职责和ECT岗位职责》、《核医学科技术人员职责》、《核医学科医师职责》。

(二) 辐射工作人员培训

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关规定，使用放射性同位素和射线装置的单位，其辐射工作人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。

目前四川大学华西厦门医院尚在筹备阶段，人员暂未配备到位。建设单位承诺：待四川大学华西厦门医院成立及人员配备到位后，将严格根据相关法律法规的要求，督促院方及时安排所有辐射工作人员报名参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）关于辐射安全与防护知识的学习、考试，取得合格证书后方能上岗。

12.3 辐射监测

(1) 辐射工作人员个人剂量监测

从事辐射工作的人员工作时配备个人剂量计（其中DSA介入医生应配备2组个人剂量计（一组佩戴在铅围裙外锁骨对应的领口位置，一组戴在铅围裙内躯干上）），并定期（每季度1次）送个人剂量计至有资质的单位进行检测，建立个人剂量档案。

(2) 年度常规监测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关规定，使用放射性同位素与射线装置的单位，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，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。

医院拟每年委托有相关资质的辐射监测机构对辐射工作场所进行监测。医院将严格执行辐射监测计划，做好辐射工作场所的监测。

(3) 验收监测

项目建设完成后，委托有资质的单位进行竣工环境保护验收监测。

(4) 工作场所自行环境监测

医院拟购买X- γ 辐射监测仪、 α - β 表面沾污仪、中子测量仪等仪器自行定期对医院各工作场所进行监测，X- γ 辐射监测仪能量相应范围涵盖40keV~20MeV、中子测量仪能量响应范围应涵盖10MeV~20MeV， α - β 表面沾污仪应能涵盖本项目使用到的核素。

①X射线装置工作场所

监测区域及监测因子对X射线装置机房周围区域（距离观察窗30cm、机房防护门外30cm、机房四周墙体外30cm，操作台）进行全面的辐射水平巡测，监测因子为周围剂量当量率。监测结果评价机房周围的周围剂量当量率应不大于2.5 μ Sv/h。

②非密封源工作场所

非密封源工作场所工作人员操作后离开工作场所前应进行表面污染监测，如其污染水平超过GB18871规定值，应采取洗手、淋浴等措施进行去污，同时做好记录。

从控制区取出任何物品都应进行表面污染水平检测，以杜绝超过GB18871规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。分装室、废物间，应定期进行表面沾污和空气比释动能率监测，无关人员未经允许不得入内。

对注射室、注射后休息室、药物合成室等高活性区域，应进行表面沾污和空气比释动能率监测和去污，无法去污时应作放射性废物处理。

另外医院应在每个季度自行对辐射工作场所进行辐射测量及防护设施检查，并将检测结果妥善保存，在每年年底进行对比分析，以便辐射管理制度的改进。

表12-1 辐射监测计划

监测对象		监测方案	监测项目	监测频率	监测方式
直线加速器和后装机房	防护性能	四周屏蔽墙外 30cm 处、操作位、防护门门缝处、楼上等	X-γ 辐射剂量率	每年1次	委托有资质单位监测
			X-γ 辐射剂量率	每季度1次	自行监测
	安全连锁	检查	安全	每次使用前	自行监测
DSA和ERCp机房	防护性能	四周屏蔽墙外 30cm 处、操作位、防护门门缝处、观察窗、楼上楼下等	X-γ 辐射剂量率	每年1次	委托有资质单位监测
			X-γ 辐射剂量率	每季度1次	自行监测
	安全连锁	检查	安全	每次使用前	自行监测
回旋加速器机房	防护性能	四周屏蔽墙外 30cm 处、操作位、防护门门缝处、楼上等	X-γ辐射剂量率、中子剂量当量率	每年1次	委托有资质单位监测
			X-γ 辐射剂量率	每季度1次	自行监测
	安全连锁	检查	安全	每次使用前	自行监测
PET工作场所、SPECT工作场所、回旋加速器制药场所	日常例行监测	对各工作场所的各功能室以及楼上楼下用房进行实测	X-γ 辐射剂量率	每月1次	自行监测
			β表面污染		
	各功能室	对各工作场所的各功能室以及楼上楼下用房进行实测	X-γ 辐射剂量率	每年一次	委托有资质单位监测
			β表面污染		
			每次离开高活性室、核医学科、合成热室等房间前	自行监测	

	专用衰变池排口	实测	排放前废水中总 β 放射性	排放前	委托有资质单位监测
	放射性固体废物	实测	放射性比活度	排放前	自行监测
^{57}Co 、 ^{68}Ge 校准源	日常例行监测	源容器表面	X- γ 辐射剂量率	每次使用前、后及日常例行监测	自行监测
辐射工作人员		佩戴个人剂量计	年有效剂量	操作时,每季度送检1次	委托有资质单位监测
外环境		实测	X- γ 辐射剂量率	每年一次	委托有资质单位监测

本项目制定的辐射监测计划符合医院实际情况,包括了竣工环保验收监测、定期委托监测、自行检查以及辐射工作人员个人剂量监测,内容全面,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《辐射环境监测技术规范》(H/T61-2001)、《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)、《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)、《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)等要求。

综上所述,医院辐射监测计划较为全面,能够涵盖核技术利用项目的各个环节,且监测频率较为合理,辐射监测计划整体可行。

12.4 辐射事故应急

四川大学华西厦门医院为厦门市卫生健康委员会与四川大学合作共建,因目前四川大学华西厦门医院仍在筹建中,组织架构和人员暂未配备到位,建设单位承诺(详见附件6):待四川大学华西厦门医院成立及人员配备到位后,将严格根据相关法律法规的要求,督促院方及时落实辐射事故应急处理工作领导小组成员名单,并组织制订《辐射事故(件)应急预案》。其主要职责内容应包括:

- (1) 定期组织对放射诊疗场所、设备和人员进行放射防护情况的自查和监测,发现事故隐患及时报告并落实整改措施;
- (2) 发生人员受超剂量照射事故,应启动本预案;
- (3) 事故发生后立即组织有关部门和人员进行放射性事故应急处理;
- (4) 负责向生态环境主管部门及时报告事故情况;
- (5) 负责辐射事故应急处理具体方案的研究确定和组织实施工作;
- (6) 辐射事故中人员受照射时,要通过个人剂量计或其他方法迅速估算受照人员的受照剂量;
- (7) 负责迅速安置超受照人员就医,组织人员的撤离工作,并及时控制事故影响,防止事故的扩大蔓延。

12.5 建设项目竣工环境保护验收一览表

本项目竣工环境保护验收一览表见表 12-2。

表 12-2 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	验收要求
核医学科	废水： 在地下负二层加速器机房东侧设置一座衰变池，分别收集核医学科区域的放射性废水，每座衰变池由 3 个并联的衰变池组成，衰变池总有效容积为 15m ³ （每个 5m ³ ）。经衰变池处理后排入医院污水处理站处理后接入城市污水管网。	满足 10.1.4 中第十条：核医学科放射性废液衰变成要求。
	废气： 医院在 PET 配药分装室、SPECT 配药分装室设置通风分装柜，在药物合成室通风合成柜，放射性药物的合成、分装等均在通风柜内操作，通风柜顶壁设置活性炭过滤装置，通风橱的顶部连接通风管道，其通风量应能保证在通风橱半开条件下风速不小于 1m/s，能有效防止放射性气溶胶逸出工作室，外排风管口其高度应超出本建筑物屋脊，核医学科其他房间则通过独立通风排风管道进行通风换气。	满足 10.1.4 中第九条：核医学科排风系统要求。
	固废： 放射性药品瓶、一次性注射器、服用器皿、试管、手套和纱布等放射性废物则储存在储源室及注射室内的铅废物桶中，应有电离辐射警告标志、固废处理的记录，10 个半衰期后作为一般医疗废物处置。	满足 10.2.4 中第二条：固体废物处理要求。
	屏蔽措施： 本项目核医学科各功能用房屏蔽防护方案详见表 10-11。	满足表 10-11 中核医学科各功能用房屏蔽防护方案。
	①SPECT-CT 机房、PET-CT 机房和 PET-MR 设置观察窗和对讲装置，受检者出入口防护门上方设置工作指示灯。 ②核医学工作场所设置视频监控系统和对讲系统。 ③拟配置移动铅防护屏风、铅注射防护套、铅注射防护盒、铅废物桶等防护用具。另外，为防止表面污染以及放射性气溶胶由呼吸道进入人体，医院拟为相关人员配备铅防护服、口罩、铅防护眼镜、铅围脖、铅橡胶手套、铅橡胶帽子等个人防护用品，拟配置的个人防护用品数量应能够满足相关人员的放射防护需求。 ④在核医学科患者通道和患者离开通道内的多处防护门设置门禁，防止给药后患者进入非放射工作区，以及防止无关人员进入放射性工作区。 ⑤拟配备个人剂量计（按工作人员配备）、3 台β表面污染监测仪、3 台 X-γ剂量监测仪及同位素残留量。 ⑥核医学科设置专用卫生间，给药后的病人使用具有防护标志的专用卫生间，专用卫生间下水道通往衰变池。 ⑦医院严格建立完善的放射源管理台账，做到交接账目清楚、账物相符。 ⑧放射性药品运输由有资质的放射性药品运输单位负责。本项目外购放射性药品的运输应满足国家标准《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）的要求，确保运输安全。	满足《临床核医学科放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)相关要求

直线 加速器	<p>屏蔽措施: 本项目直线加速器机房屏蔽防护方案详见表 10-1。</p>	<p>满足表 10-1 加速器机房屏蔽防护方案。</p>
	<p>①警示标志: 直线加速器机房防护门外顶部拟设置工作状态指示灯, 直线加速器开机使用时, 指示灯为红色, 以警示人员注意安全; 在防护门外拟张贴电离辐射警告标志并附中文说明。</p> <p>②联锁装置: 直线加速器机房拟设置门-灯联动装置、门-机联锁装置, 只有在防护门关闭状态下且警示灯亮时才可进行照射, 设备在出束过程中若防护门打开, 设备自动停止出束。</p> <p>③设置紧急停机装置并附有使用说明的挂牌: 直线加速器机房内拟安装紧急停机开关, 分别设置于加速器机房墙面、迷路墙面及控制室内操作位, 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, 安装高度约为 1.2m。</p> <p>④视频监控系统: 直线加速器机房内拟安装视频监控系统, 便于控制台前工作人员观察治疗室、迷路内病人及医护人员的情况。</p> <p>⑤对讲装置: 直线加速器控制室与治疗室之间拟安装语音对讲装置, 便于控制室与机房内人员沟通。</p> <p>⑥报警装置: 机拟安装固定式在线辐射剂量率监测探头, 探头安装于迷显示器安装于控制室内, 同时拟配备个人剂量报警仪。</p> <p>⑦监测装置: 医院拟配备 1 台辐射监测仪, 用于医院辐射工作场所日常监测。</p> <p>⑧通风系统: 加速器机房内设置送风和排风系统, 通风换气次数应不小于 4 次/h。</p>	<p>满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)相关要求</p>
后装机房	<p>屏蔽措施: 本项目后装机房屏蔽防护方案详见表 10-3。</p>	<p>满足表 10-3 后装机房屏蔽防护方案。</p>
	<p>①后装机房设置机械通风装置, 其通风换气能力应达到治疗期间使室内空气每小时交换不小于 4 次。②后装机房安装防护门设置门-机联锁, 开门状态不能出源照射, 出源照射状态下如开门放射源自动回到后装治疗设备的安全位置。治疗室外防护门上方要有工作状态显示。治疗室内置应急开关, 按下急停开关能使放射源自动返回贮源器; 并设置放射源定位追踪器。③治疗室防护门设置手动开门装置, 并设置声、光报警装置。④在治疗室和控制室之间设置监视与对讲设施。⑤配备辐射监测设备或便携式测量设备, 并具有报警功能。⑥在治疗室迷道出、入口设置固定式辐射剂量监测仪并具有报警功能, 显示单元设置在控制室内或机房门附近。</p>	<p>满足《后装γ源近距离治疗卫生防护标准》(GBZ121-2017)相关要求</p>
DSA 机房 和 ERCP 机房	<p>屏蔽措施: 本项目 DSA 机房和 ERCP 机房屏蔽防护方案详见表 10-5。</p>	<p>满足表 10-5 机房屏蔽防护方案。</p>
	<p>①DSA 机房和 ERCP 机房防护门外顶部拟设置工作状态指示灯, 并在灯箱处设置“射线有害, 灯亮勿入”等警示语句, 入口显著位置张贴电离辐射警告标志工作状态指示灯和与防护门联动, 防护门关闭的情况下, 工作状态指示灯才亮。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。</p> <p>②DSA 机房和 ERCP 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。</p>	<p>满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)相关要求</p>

		<p>③DSA 机房和 ERCP 机房均拟设置对讲装置，方便工作人员实时关注机房情况并与病人交流。</p> <p>④DSA 机房和 ERCP 机房均拟使用独立的新风系统进行排风。</p>	
	个人防护	<p>①辐射工作人员参加辐射安全与防护培训取得培训合格证；</p> <p>②配置表面沾污仪、辐射剂量巡测仪以个人剂量报警仪，以便工作人员进入工作场所时使用；</p> <p>③辐射工作人员均佩戴个人剂量计，开展个人剂量监测；</p> <p>④配置铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏、口罩等个人防护用品；</p> <p>⑤辐射工作人员上岗前应进行职业病岗前健康体检。</p>	按要求配置/佩带
管理措施	管理机构	成立专门的辐射安全与环境保护管理机构。	辐射安全负责人需取得辐射安全与防护知识培训合格证
	管理制度	应制定《操作规程》、《岗位职责》、《放射防护和安全保卫制度》、《设备维修制度》、《人员培训计划》、《监测方案》等规章制度；有完善的辐射事故应急措施。	根据要求制定

表 13 结论与建议

13.1 结论

四川大学华西厦门医院位于厦门市集美区沈海高速公路与杏锦路交叉口西南侧。为给患者提供更好的医疗服务，四川大学华西厦门医院拟开展放疗科项目、核医学科项目、回旋加速器制备PET用正电子核素项目、介入手术项目（DSA和ERCP），具体内容如下：

放疗科项目：在地下负二层放疗科使用4台直线加速器，为II类射线装置；使用1台¹⁹²Ir近距离后装治疗机，含1枚III类活度为 3.7×10^{11} Bq的¹⁹²Ir放射源。

核医学科项目：①回旋加速器制药工作场所：使用1台回旋加速器，为II类射线装置，拟生产PET用正电子核素¹⁸F、¹⁵O、¹³N、⁶⁴Cu，属于乙级非密封放射性物质工作场所；②PET工作场所：拟使用1台PET-CT（III类射线装置）和1台PET-MR，拟利用⁶⁸Ga、¹⁸F、¹⁵O、¹³N、⁶⁴Cu正电子核素进行医学显像诊断，属于乙级非密封放射性物质工作场所，拟使用4枚⁶⁸Ge用于PET校准使用，为V类放射源；③SPECT工作场所：拟使用2台SPECT-CT，为III类射线装置，拟利用^{99m}Tc作为显像剂进行医学显像诊断、拟利用⁸⁹Sr开展骨转移癌治疗、¹⁷⁷Lu开展前列腺癌治疗、¹³¹I开展肾功能检查，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

介入手术项目：拟在医技中心三层介入中心使用6台DSA、在医技中心三层手术中心使用2台DSA、在医技中心四层手术中心使用2台DSA，为II类射线装置；拟在医技中心二层内镜中心ERCP机房使用1台ERCP，为II类射线装置。

（1）辐射安全与防护分析结论

核技术在医学上的应用在我国是一门成熟的技术，在医学治疗方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用。四川大学华西厦门医院核技术利用项目将为病人提供一个更加优越的诊疗环境，具有明显的社会效益，同时本项目各辐射工作场所按相关要求进行了设计，防护措施满足标准要求。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》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

（2）环境影响评价结论

由表 11 中环境影响分析章节中理论估算可知，医院各辐射工作场所正常运行时，医院辐射工作人员职业照射的最大年有效剂量值为均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 5mSv/a。公众受照的最大年有效剂量值均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于剂量约束值 0.25mSv/a。

(3) 可行性分析结论

①实践正当性分析

项目投入运行主要为医疗诊治，符合辐射防护“实践的正当性”原则。项目在加强管理后均满足国家相关法律、法规和标准的要求，不会给所在区域带来环境压力。根据《产业结构调整指导目录》（2019年本），本项目属于“第十三条 医药”，为鼓励类，因此本项目建设符合国家当前产业政策。

②利益代价分析

四川大学华西厦门医院核技术利用项目的建设有利于厦门市及其周边地区医疗卫生服务水平，提高人民生活水平。该项目在保障病人健康的同时也为医院创造了更大的经济效益和社会效益。

(4) 总结论

综上所述，四川大学华西厦门医院核技术利用项目项目在落实本报告表提出的各项污染防治措施和安全管理措施后，将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，项目正常运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护和辐射防护角度论证，该项目建设是可行的。

13.2 建议

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

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

(3) 医院应安排本项目所有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学习、考试，取得合格证书后方能上岗。同时按照国家法律法规要求给辐射工作人员配备个人剂量计，并定期送检，并建立个人剂量监测档案。

(4) 医院应安排本项目所有辐射工作人员参加职业健康体检，并为辐射工作人员建立职业健康档案。

(5) 医院应在人员配备齐全后，及时成立专门的辐射安全与环境保护管理机构和辐射事故应急处理工作领导小组，并健全辐射类相关规章制度。

(6) 本项目环评批复后，应及时向生态环境主管部门申领辐射安全许可证，项目运行后及时开展竣工环保验收工作。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见:

经办人:

单位盖章

年 月 日

审批意见:

经办人:

单位盖章

年 月 日