

编号：RSHP-SC-20211016003

核技术利用建设项目

成都市郫都区人民医院 新增放射源、非密封放射性物质工作 场所和医用射线装置使用项目

环境影响报告表

(公示本)

成都市郫都区人民医院

2023年11月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

成都市郫都区人民医院 新增放射源、非密封放射性物质工作 场所和医用射线装置使用项目 环境影响报告表



建设单位名称：成都市郫都区人民医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：王二林

通讯地址：四川省成都市郫都区德源北路二段 666 号

邮政编码：611730

联系人：杨帮清

电子邮箱：1027766068@qq.com 联系电话：13980465217

打印编号: 1701313037000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	xjd5m9
建设项目名称	成都市郫都区人民医院新增放射源、非密封放射性物质工作场所和医用射线装置使用项目
建设项目类别	55--172核技术利用建设项目
环境影响评价文件类型	报告表

一、建设单位情况

单位名称 (盖章)	成都市郫都区人民医院
统一社会信用代码	12510124450826547R
法定代表人 (签章)	许锋成
主要负责人 (签字)	蔡小芹
直接负责的主管人员 (签字)	朱小林

二、编制单位情况

单位名称 (盖章)	南京瑞森辐射技术有限公司
统一社会信用代码	91320106694645355K

三、编制人员情况

1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
陈朝晖	2014035320352013321405000117	BH019830	陈朝晖

2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
邵立文	表1 项目基本情况 表2 放射源 表3 非密封放射性物质 表4 射线装置 表5 废弃物 表6 评价依据 表7 保护目标与评价标准 表8 环境质量与辐射现状	BH015205	邵立文
陈朝晖	表9 项目工程分析与源项 表10 辐射安全与防护 表11 环境影响分析 表12 辐射安全管理 表13 结论与建议	BH019830	陈朝晖

环评项目负责人职业资格证



HP00014263

姓名: 陈朝晖
Full Name
性别: 男
Sex
出生年月: 1968年12月
Date of Birth
专业类别: /
Professional Type
批准日期: 2014年05月
Approval Date

持证人签名:
Signature of the Bearer

2014035320352013321405000117

管理号:
File No.

签发单位盖章:

Issued by

签发日期: 2014年09月04日
Issued on



江苏省社会保险权益记录单 (参保单位)

参保单位全称: 南京瑞森辐射技术有限公司

现参保地: 玄武区

统一社会信用代码: 91320106694645355K

查询时间: 202305-202310

共1页, 第1页

单位参保险种	养老保险	工伤保险	失业保险	
缴费总人数	34	34	34	
序号	姓名	公民身份证号码 (社会保障号)	缴费起止年月	缴费月数
1	陈朝晖	320113196812202038	202305 - 202310	6

说明:
1. 本权益单涉及单位及参保职工个人信息, 单位应妥善保管。
2. 本权益单为打印时参保情况。
3. 本权益单已签具电子印章, 不再加盖鲜章。
4. 本权益单记录单出具后有效期为 (6 个月), 如需核对真伪, 请使用江苏智慧人社APP, 扫描右上方二维码进行验证 (可多次验证)。

打印时间: 2023年10月27日
电子专用章

江苏省社会保险权益记录单 (参保人员)



共1页, 第1页

参加社会保险基本情况						
险种		养老保险		工伤保险		失业保险
参保状态		参保缴费		参保缴费		参保缴费
现参保单位全称		南京瑞森辐射技术有限公司泰州分公司		现参保地		泰州市市本级
出具证明前5个月缴费情况 (202304-202308)						
年	月	单位全称	养老保险	失业保险	工伤保险	备注
2023	04	南京瑞森辐射技术有限公司	4851.00 388.08	4851.00 24.26	4851.00 4851.00	
2023	05	南京瑞森辐射技术有限公司泰州分公司	4851.00 388.08	4851.00 24.26	4851.00 4851.00	
2023	06	南京瑞森辐射技术有限公司泰州分公司	4851.00 388.08	4851.00 24.26	4851.00 4851.00	
2023	07	南京瑞森辐射技术有限公司泰州分公司	4851.00 388.08	4851.00 24.26	4851.00 4851.00	
2023	08	南京瑞森辐射技术有限公司泰州分公司	4851.00 388.08	4851.00 24.26	4851.00 4851.00	

说明:

1. 本权益单信息为打印时参保情况, 供参考, 由参保人员自行保管。
2. 本权益单已签具电子印章, 不再加盖鲜章。
3. 如需核对真伪, 请使用江苏智慧人社APP, 扫描右上方二维码进行验证 (可多次验证)。

打印时间: 2023年10月31日
电子专用章



统一社会信用代码

(1/1)

昭执业营本 (副)

编 号 320106000202111230213

扫描二维码登录“国家企业信用信息公示系统”了解更多登记、备案、许可、监管信息。



名称 南京瑞森辐射技术有限公司

有限公司(自然人投资或控股)
类型
类

法定代理人 王爱强

机关记登

2021年11月23日

国家企业信用信息公示系统网址：<http://www.gsxt.gov.cn>

市场主体应当于每年1月1日至6月30日通过报送公示系统报送年度报告。

国家市场监管总局监制

表 1 项目基本情况

建设项目名称	成都市郫都区人民医院 新增放射源、非密封放射性物质工作场所和医用射线装置使用项目				
建设单位	成都市郫都区人民医院				
法人代表	许锋成	联系人		联系电话	
注册地址	四川省成都市郫都区德源北路二段 666 号				
项目建设地点	四川省成都市郫都区德源北路二段 666 号核医学科楼				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）		项目环保总投资（万元）		投资比例（环保投资/总投资）%	
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		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 type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类		
其他	/				

项目概述

一、建设单位简介

成都市郫都区人民医院（统一社会信用代码 ，以下简称“医院”）是一所集医疗、教学、科研、预防、保健和康复于一体的国家三级甲等综合医院，创建于 1939 年 9 月。2020 年 7 月 17 日，医院正式挂牌“成都医学院第三附属医院”。

医院是中国县级医院 500 强之一，是中国胸痛中心、中国卒中中心、国家消化道早癌防治中心联盟成员单位、中国心衰中心建设单位、中国房颤中心建设单位，是中国中西医结合学会烧伤专业委员会烧伤创疡培训基地、国家“爱婴医院”，是成都大

学医学院教学医院、成都大学附属医院医疗集团医院、四川大学华西医院远程联盟医院、四川大学华西第二医院联盟医院、重庆医科大学第二临床学院·成都市第三人民医院辅导医院和西部战区总医院辅导医院。

二、任务由来

随着郫都区的经济的发展，当地居民对医疗的需要日益增加。根据郫都区“十四五”发展总体规划，为满足人民群众的就医需求及大健康要求，根据郫都区人民医院学科发展规划和三级甲等综合医院要求，经 2020 年 1 月 15 日医院党委会研究同意实施二期建设项目，拟在现规划土地内实施核医学科建设项目。核医学是一门先进的现代医学，在利用放射性药物进行心脑血管病、恶性肿瘤等诊断、鉴别诊断以及肿瘤、甲癌等治疗方面有重要应用。

因此，国投公司在区政府会议精神指示下拟在成都市郫都区人民医院一期划拨的 88.1 亩用地范围内开展区人民医院配套用房清水房建设工程（即核医学科楼）项目，项目工程为 1 栋地上 4 层框架结构建筑，地下为 2 层，总建筑面积 10064.69 平方米，建成后新增科室核医学科、介入科和肿瘤科，预计新增床位 123 个，其中肿瘤科床位数为 118 床，核医学科 5 床。

根据二期总体项目规划，并结合设计院设计的图纸，医院拟于二期核医学科楼新建肿瘤科、核医学科和介入科，以上科室涉及使用放射源、非密封放射性物质和射线装置等，属于核技术利用范畴，需要单独进行环境影响评价。

三、编制目的

为加强核技术应用项目的辐射环境管理，防止辐射污染和意外事故的发生，确保其使用过程不对周围环境和工作人员及公众产生不良影响，根据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关法律法规要求，建设方成都市郫都区人民医院需对该项目进行环境影响评价。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 版）》（生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行）的规定，本项目属于“第 172 条 核技术利用建设项目”中“使用Ⅲ类放射源的；生产、使用Ⅱ类射线装置的；乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源的除外）的”应编制环境影响报告表。

为此，成都市郫都区人民医院委托南京瑞森辐射技术有限公司对该项目开展环境

影响评价工作（委托书见附件 1）。南京瑞森辐射技术有限公司接受委托后，通过现场勘察、收集资料并结合四川瑞迪森检测技术有限公司现场监测等工作的基础上，结合本项目的特点，按照国家有关技术规范要求，编制了该项目环境影响报告表。

成都市郫都区人民医院新增放射源、非密封放射性物质工作场所和医用射线装置使用项目环境影响评价报告表的评价内容与目的：

1、对新增放射源、非密封放射性物质工作场所和医用射线装置使用项目施工期和运行期的环境影响进行评价分析。

2、对项目拟建地址进行辐射环境质量现状监测，以掌握场所及周围的环境质量现状水平，并对项目进行环境影响预测评价。

3、提出污染防治措施，使辐射影响降低到“可合理达到的尽可能低水平”。

4、满足国家和地方环境保护部门对建设项目环境管理规定的要求，为项目的环境管理提供科学依据。

四、项目概况

项目名称：成都市郫都区人民医院新增放射源、非密封放射性物质工作场所和医用射线装置使用项目

项目性质：新建

建设单位：成都市郫都区人民医院

建设地点：四川省成都市郫都区德源北路二段 666 号

根据现场勘查，成都市郫都区人民医院本次新建项目目前正处于地基开挖阶段。

（一）建设内容与规模：

1、肿瘤科

成都市郫都区人民医院拟在核医学科楼（拟建，地下 2 层，地上 4 层建筑，总高度约 18.6m）负二层肿瘤科建设 2 座医用电子直线加速器机房、1 座后装治疗机机房和 1 座模拟定位机机房及其相关辅助用房。

（1）医用电子直线加速器项目

本次新建的 2 座医用电子直线加速器机房呈南北对称布置，机房室内有效使用面积均约为 58.7m²（不含迷道），机房净空尺寸均为长 8.15m×宽 7.2m×高 5.8m（不含迷道），2 座机房四周墙体、迷道及屋顶均为钢筋混凝土结构，其主射方向均朝向南侧、北侧、屋顶及地面；迷道均位于机房西侧，为 9.35m 长“L”型迷道。

1#机房和2#机房东侧墙体均为1.50m厚混凝土，1#机房南侧墙体与2#机房共用，主屏蔽部分为3.00m厚混凝土（宽4.50m），相连次屏蔽部分为1.80m厚混凝土，1#机房和2#机房西侧迷道内墙和外墙均为0.80~1.50m厚混凝土，1#机房北侧墙体主屏蔽部分为2.90m厚混凝土（宽4.00m），相连次屏蔽部分为1.60m厚混凝土，2#机房南侧墙体主屏蔽部分为2.70m厚混凝土（宽4.00m），相连次屏蔽部分为1.50m厚混凝土，1#机房和2#机房顶部墙体主屏蔽部分均为3.0m厚混凝土（宽4.00m），相连次屏蔽部分均为1.70m厚混凝土。2座机房防护门均为15mm铅当量+200mm含硼聚乙烯电动钢板夹芯平移防护门。

本次拟新增的2台医用电子直线加速器设备型号待定，均带CBCT图像引导系统，其主要参数均为：X射线最大能量为15MV，15MV时1米处最大输出剂量率为6Gy/min，电子线最大能量为22MeV，电子线等中心1米处最大剂量率为10Gy/min；CBCT系统管电压≤150kV，管电流≤1500mA。单台设备年工作负荷约500h（其中以X射线模式运行约450h，电子线模式运行约为50h），新增的医用电子直线加速器均属**II类射线装置**。

（2）后装治疗机项目

本次新建的后装治疗机机房室内面积约为24.6m²（不含迷道），机房净空尺寸为长5.4m×宽4.55m×高8.0m，其四周墙体、迷道及屋顶均为混凝土结构，迷道位于机房东侧，为6.2m长“L”型迷道。

后装治疗机机房东侧、西侧、迷道内墙、迷道外墙和顶部墙体均为0.8m厚混凝土，南侧墙体与1#医用电子直线加速器机房共用，故主屏蔽部分为2.90m厚混凝土（宽4.00m），相连次屏蔽部分为1.50m厚混凝土；防护门为10mm铅当量电动钢板夹芯平移防护门。本次拟新增的后装治疗机型号待定，内含1枚¹⁹²Ir放射源，初始装源活度为3.7×10¹¹Bq，属**III类放射源**，年出源时间约250h。

（3）模拟定位机项目

本次新建的1座模拟定位机机房室内有效使用面积约为37m²，机房净空尺寸为长7.51m×宽5.36m×高4.50m，其四周墙体均为370mm实心砖墙，顶部为300mm厚混凝土，防护门为3mmPb铅防护门，观察窗为3mmPb铅玻璃。新增的模拟定位机型号待定，其管电压≤140kV，管电流≤1500mA，属**III类射线装置**。

2、核医学科

成都市郫都区人民医院拟在核医学科楼一层分别建设核医学科-影像中心和核医学科-核素治疗中心及其他辅助用房等，总占地面积约 900m²，新建的两处工作场所均为乙级非密封放射性物质工作场所。

（1）核医学科-影像中心

核医学科-影像中心位于核医学科东部，工作场所包含卫生通过间、缓冲间、分装室、源库、放射性废物暂存间、注射间、抢救室（运动负荷室）、校准源室、注射后候诊室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房和留观室等，以上功能用房四周墙体均为 370mm 厚实心砖墙，顶部及地面均为 300mm 混凝土，屏蔽门为 5mm~10mm 铅当量，注射窗为 5~20mm 铅当量，观察窗为 5~10mm 铅当量，手套箱为 5~55mm 铅当量。同时配套建设医生办公室、控制室、设备间等辅助用房。

核医学科-影像中心拟使用放射性同位素 ¹⁸F（年最大使用量 5.55×10^{12} Bq、日最大使用量 2.78×10^{10} Bq、日等效最大操作量 7.77×10^6 Bq），⁶⁸Ga（年最大使用量 2.78×10^{11} Bq、日最大使用量 1.11×10^9 Bq、日等效最大操作量 1.11×10^7 Bq），⁶⁸Ge-⁶⁸Ga（年最大使用量 1.85×10^9 Bq、日最大使用量 1.85×10^9 Bq、日等效最大操作量 1.85×10^6 Bq），^{99m}Tc（年最大使用量 5.55×10^{12} Bq、日最大使用量 2.22×10^{10} Bq、日等效最大操作量 2.22×10^7 Bq）用于开展核素显像诊断项目。成都市郫都区人民医院本次新建的影像中心总日等效最大操作量为 4.29×10^7 Bq，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

核医学科-影像中心 PET/CT 机房内拟新增使用 1 台 PET/CT（管电压≤140kV、管电流≤1000mA）用于核素诊断，属于Ⅲ类射线装置。

由于本次拟使用的 PET/CT 型号未定，其校准时拟使用校准源也尚未确定，医院后期应根据国家有关法律法规履行校准源的环保手续。

核医学科-影像中心 SPECT/CT 机房内拟新增使用 1 台 SPECT/CT（管电压≤140kV、管电流≤1000mA）用于核素诊断，属于Ⅲ类射线装置。

本次核医学科-影像中心将于核医学科楼南侧绿化带内配套建设 1 套衰变池系统，该衰变池拟设计 3 个并联小池，每个小池有效容积为 12m³，总容积为 36m³。

（2）核医学科-核素治疗中心

核医学科-核素治疗中心位于核医学科西部，工作场所包含甲吸室、放射性废物暂存间、分装服药室、送餐/取餐间、核素病房 1~3、污染被服间和缓冲间等，以上用房

四周墙体均为 300mm 厚混凝土，屋顶及地面均为 300mm 混凝土，屏蔽门为 10mm 铅当量，服药窗为 40mm 铅当量，自动分装仪为 45mm 铅当量。同时配套建设医生办公室等辅助用房。

核医学科-核素治疗中心拟使用放射性同位素 ^{131}I (年最大使用量 $1.39 \times 10^{12}\text{Bq}$ 、日最大使用量 $2.78 \times 10^{10}\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $2.78 \times 10^9\text{Bq}$) 用于开展核素诊断与治疗项目，使用放射性同位素 ^{89}Sr (年最大使用量 $1.48 \times 10^{10}\text{Bq}$ 、日最大使用量 $2.96 \times 10^8\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $2.96 \times 10^7\text{Bq}$) 和 ^{153}Sm (年最大使用量 $1.48 \times 10^{11}\text{Bq}$ 、日最大使用量 $2.96 \times 10^9\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $2.96 \times 10^8\text{Bq}$) 用于开展骨转移治疗项目。**成都市郫都区人民医院本次核医学科新建的核素治疗中心总日等效最大操作量为 $3.10 \times 10^9\text{Bq}$** ，属于乙级非密封放射性物质工作场所。

本次核医学科-核素治疗中心将于核医学科楼南侧绿化带内建设 1 套衰变池系统，该衰变池拟设计 4 个并联小池，每个小池有效容积为 80m^3 ，总容积为 320m^3 。

3、介入科

成都市郫都区人民医院拟于核医学科楼二层介入科新建 2 座 DSA 机房，2 座机房室内有效使用面积均约为 41.2m^2 ，机房净空尺寸均为长 $7.16\text{m} \times$ 宽 $5.76\text{m} \times$ 高 4.25m 。

2 座 DSA 机房四周墙体均为 370mm 厚实心砖墙，顶部均为 250mm 厚混凝土楼板，地面均为 300mm 厚混凝土楼板，防护门均为 3mmPb 铅防护门，观察窗均为 3mmPb 铅玻璃，传递窗均为 3mmPb。新增的 2 台 DSA 型号待定，其管电压 $\leq 125\text{kV}$ ，管电流 $\leq 1250\text{mA}$ ，属**II类射线装置**，设备常用主束方向朝上，单台设备年工作负荷均约 92h (其中透视约 83.3h，摄影约 8.3h)。本次拟申请新增辐射项目内容见表 1-1。

表 1-1 成都市郫都区人民医院核医学科楼新建项目情况一览表

放射源							
序号	核素名称	总活度 (Bq) /活度 (Bq) \times 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点
1	^{192}Ir	$3.7 \times 10^{11} \times 1$	III类	使用	放射治疗	肿瘤科	后装治疗机内

表 1-1 成都市郫都区人民医院核医学科楼新建项目情况一览表 (续表)

非密封放射性物质 (影像中心)							
序号	核素	用途	单个病人最大用量 (mCi/人•次) /用药方式	日最大病人量 (人)	年最大病人量 (人)	日最大操作量 (Bq)	
1	^{18}F	核素显像	10 (静脉注射)	15	3750	5.55×10^9	
			备药量: $4 \times 5.55 \times 10^9\text{Bq}$			2.22×10^{10}	
2	^{68}Ga		10	3	750	1.11×10^9	

3	⁶⁸ Ge- ⁶⁸ Ga		1.85×10 ⁹ Bq (发生器)			1.85×10 ⁹
4	^{99m} Tc		20 (静脉注射)			2.22×10 ¹⁰

表 1-1 成都市郫都区人民医院核医学科楼新建项目情况一览表 (续表)

非密封放射性物质 (核素治疗中心)						
序号	核素	用途	单个病人最大用量 (mCi/人·次) / 用药方式	日最大病人量 (人)	年最大病人量 (人)	日最大操作量 (Bq)
1	¹³¹ I	甲吸测定	0.01 (口服)	5	250	1.85×10 ⁶
2		甲癌治疗	150 (口服)	5	250	2.78×10 ¹⁰
3	⁸⁹ Sr	骨转移	4 (注射)	2	100	2.96×10 ⁸
4	¹⁵³ Sm	骨转移	40 (注射)	2	100	2.96×10 ⁹

表 1-1 成都市郫都区人民医院核医学科楼新建项目情况一览表 (续表)

核素	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)	合计
¹⁸ F	5.55×10 ⁹	低毒 0.01	液态、很简单操作 10	5.55×10 ⁶	4.29×10 ⁷ Bq 影像中心
	2.22×10 ¹⁰	低毒 0.01	液态、源的贮存 100	2.22×10 ⁶	
⁶⁸ Ga	1.11×10 ⁹	低毒 0.01	液态、简单操作 1	1.11×10 ⁷	
⁶⁸ Ge- ⁶⁸ Ga	1.85×10 ⁹	中毒 0.1	液态、源的贮存 100	1.85×10 ⁶	
^{99m} Tc	2.22×10 ¹⁰	低毒 0.01	液态、很简单操作 10	2.22×10 ⁷	
¹³¹ I (甲吸)	1.85×10 ⁶	中毒 0.1	液态、简单操作 1	1.85×10 ⁵	3.10×10 ⁹ Bq 核素治疗中心
¹³¹ I (甲癌)	2.78×10 ¹⁰	中毒 0.1	液态、简单操作 1	2.78×10 ⁹	
⁸⁹ Sr	2.96×10 ⁸	中毒 0.1	液态、简单操作 1	2.96×10 ⁷	
¹⁵³ Sm	2.96×10 ⁹	中毒 0.1	液态、简单操作 1	2.96×10 ⁸	

表 1-1 成都市郫都区人民医院核医学科楼新建项目情况一览表 (续表)

射线装置								
序号	射线装置名称	装置型号	数量	最大管电压	最大管电流	射线装置类别	活动种类	使用场所
1	医用电子直线加速器	未定	2	X 射线: ≤15MV 电子线≤22MeV		II	使用	肿瘤科
				CBCT (图像引导系统) ≤150kV/1500mA				
2	模拟定位机	未定	1	≤140kV	≤1500mA	III	使用	肿瘤科
3	PET/CT	未定	1	≤140kV	≤1000mA	III	使用	核医学科
4	SPECT/CT	未定	1	≤140kV	≤1000mA	III	使用	核医学科
5	DSA	未定	2	≤125kV	≤1250mA	II	使用	介入科

(二) 项目组成内容及环境问题

本项目主要组成内容及可能产生的环境问题见表 1-2。

表 1-2 项目组成内容及主要环境问题

名称	建设内容及规模				可能产生的环境问题
				施工期	运营期
主体工程	肿瘤科	医用电子直线加速器	本次新建的 2 座医用电子直线加速器机房呈南北对称布置，机房室内有效使用面积均约为 58.7m ² (不含迷道)，机房净空尺寸均为长 8.15m×宽 7.2m×高 5.8m (不含迷道)，2 座机房四周墙体、迷道及屋顶均为钢筋混凝土结构，其主射方向均朝向南侧、北侧、屋顶及地面；迷道均位于机房西侧，为 9.35m 长“L”型迷道。 本次拟新增的 2 台医用电子直线加速器设备型号待定，但均带 CBCT 图像引导系统，其主要参数均为：X 射线最大能量为 15MV，15MV 时 1 米处最大输出剂量率为 6Gy/min，电子线最大能量为 22MeV，电子线等中心 1 米处最大剂量率为 10Gy/min，单台设备年工作负荷约 500h (其中以 X 射线模式运行约 450h，电子线模式运行约为 50h)，新增的医用电子直线加速器均属Ⅱ类射线装置。	施工废气、施工噪声、施工废水、固体废物、生活污水、生活垃圾	X 射线、β 表面污染、γ 射线、中子、退役废靶、退役放射源、感生放射性气体、噪声、臭氧、医疗废物、生活污水、生活垃圾
		后装治疗机	本次新建的后装治疗机机房室内面积约为 24.6m ² (不含迷道)，机房净空尺寸为长 5.4m×宽 4.55m×高 8.0m，其四周墙体、迷道及屋顶均为混凝土结构，迷道位于机房东侧，为 6.2m 长“L”型迷道。 本次拟新增的后装治疗机型号待定，内含 1 枚 ¹⁹² Ir 放射源，初始装源活度为 3.7×10^{11} Bq，年出源时间约 250h，属Ⅲ类放射源。		
		模拟定位机	本次新建的 1 座模拟定位机机房室内有效使用面积约为 37m ² ，机房净空尺寸为长 7.51m×宽 5.36m×高 4.50m，其四周墙体均为 370mm 实心砖墙，顶部为 300mm 厚混凝土，防护门为 3mmPb 铅防护门，观察窗为 3mmPb 铅玻璃。新增的模拟定位机型号待定，其管电压≤140kV，管电流≤1500mA，属Ⅲ类射线装置。		
核医学科	核素	影像中心	¹⁸ F	日最大使用量 2.78×10^{10} Bq、日等效最大操作量 7.77×10^6 Bq	施工废气、施工噪声、施工废水、固体废物、生活污水、生活垃圾
			⁶⁸ Ga	日最大使用量 1.11×10^9 Bq、日等效最大操作量 1.11×10^7 Bq	
			⁶⁸ Ge- ⁶⁸ Ga	日最大使用量 1.85×10^9 Bq、日等效最大操作量 1.85×10^6 Bq	
			^{99m} Tc	日最大使用量 2.22×10^{10} Bq、日等效最大操作量 2.22×10^7 Bq	

			核素治疗中心	¹³¹ I	日最大使用量 2.78×10^{10} Bq、日等效最大操作量 2.78×10^9 Bq				
				⁸⁹ Sr	日最大使用量 2.96×10^8 Bq、日等效最大操作量 2.96×10^7 Bq				
	射线 装置	¹⁵³ Sm		日最大使用量 2.96×10^9 Bq、日等效最大操作量 2.96×10^8 Bq					
		1 台 SPECT/CT (型号待定, 最大管电压不超过 140kV, 最大管电流不超过 1000mA, 其中 CT 属于 III 类射线装置), 1 台 PET/CT (型号待定, 最大管电压不超过 140kV, 最大管电流不超过 1000mA, 其中 CT 属于 III 类射线装置)。							
主体 工程	介入科	设有 1 间 PET/CT 机房及配套控制室、1 间 SPECT/CT 机房及配套控制室、分装室、注射室、放射性废物暂存间、储源室、卫生通过间、运动负荷室、注射后等候室、留观室、抢救室、3 间甲癌治疗室、缓冲间、医生值班室、配餐间、取餐间、服药室、污染被服间等。				X 射线、噪 声、臭氧、医 疗废物、生 活污水、生 活垃圾	\		
		拟于核医学科楼二层介入科新建 2 座 DSA 机房, 2 座机房室内有效使用面积均约为 41.2m^2 , 机房净空尺寸均为长 $7.16\text{m} \times$ 宽 $5.76\text{m} \times$ 高 4.25m 。							
环保 工程		2 座 DSA 机房四周墙体均为 370mm 厚实心砖墙, 顶部均为 250mm 厚混凝土楼板, 地面均为 300mm 厚混凝土楼板, 防护门均为 3mmPb 铅防护门, 观察窗均为 3mmPb 铅玻璃, 传递窗均为 3mmPb。新增的 2 台 DSA 型号待定, 其管电压 $\leq 125\text{kV}$, 管电流 $\leq 1250\text{mA}$, 属 II 类射线装置, 设备常用主束方向朝上, 单台设备年工作负荷均约 92h。					\		
公用工程		1、本项目新建的 2 套衰变池均位于核医学科楼南侧室外绿化带内, 衰变池 1 拟设计 3 个并联小池, 总容积为 36m^3 , 衰变池 2 拟设计 4 个并联小池, 总容积为 320m^3 。 2、核医学科拟使用手套箱分为 ^{99m} Tc 用 (5mmPb) 、 ¹⁸ F 用 (55mmPb) 和 ¹³¹ I 用 (45mmPb) 。 3、放射性废物暂存间 2 间、新增收集放射性废物铅桶若干; 4、核医学科的通排风系统; 5、医用电子直线加速器机房的通排风系统; 6、后装治疗机机房通排风系统; 7、其他射线装置机房通排风系统。					\		
办公生活设施		本次新建的候诊大厅、示教室、问诊室、护士站、医生办公室和资料室等。				生活垃圾 生活污水			

（三）项目依托设施

①依托办公设施：医生办公室依托本次新建的医生办公室。

②依托环保设施：本项目产生的生活污水、医疗废水和生活垃圾依托已建的污水处理设施和生活垃圾收集设施处理。本项目产生的医疗废物，医院拟委托有资质单位进行统一收集、清运和处置。

医院已建污水处理站一座，其设计处理能力为 900m³/d，采用“二级接触氧化处理+消毒”处理工艺。医院废水经污水处理站处理达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）中的表 2 预处理标准后排入市政污水管网，最终进入成都合作污水处理厂处理后排至清水河。医院污水处理站设计处理能力能够满足本项目生活污水及医疗废水产生量和排放量的排放需求。

院区内设有生活垃圾暂存间，产生的生活垃圾集中暂存，由环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。医院设有医疗废物暂存间，产生的医疗废物在此集中暂存，医院已委托有资质单位进行统一收集、清运和处置。

成都市郫都区人民医院目前在运行的污水处理站、生活垃圾暂存间以及医疗废物暂存间在前期设计阶段时已经预留部分处理能力供核医学科楼使用，故待核医学科楼建成后项目运行产生的固体废物、废水等均可依托医院现有处理设施进行处理。

（四）工作制度及人员配置

工作制度：本项目辐射工作人员年工作天数为 250 天，实行 8 小时工作制。

人员配置：本项目拟配置辐射工作人员约 40 人，均为医院新聘辐射工作人员，配置至本项目后，不从事其他辐射工作。

表 1-3 本项目人员配置情况及工作负荷

项目类型	本次建设项目辐射工作岗位和人员配置	工作负荷
肿瘤科	拟配备放疗医师 2 名	500h/a
	拟配备本科学历的物理师 2 名	50h/a
	医生和护士 4 人	50h/a
	拟配备放射技师 4 名	/
	维修工程师 1 名	/
后装治疗机项目	拟配备放疗医师 2 名	250h/a
	拟配备本科学历的物理师 1 名	25 h/a
	维修工程师 1 名	/
模拟定位机项目	医学影像学专业技术人员 1 名	/
	拟配备放射技师 1 名	/

核医学科	护士 4 名	/
	核医学影像学专业技术人员 4 名	/
	核医学医生 5 名	/
介入诊断项目	技师 2 名, 介入医生 4 名, 护士 2 名	92h/a

注: 物理师、医生和护士工作负荷约占设备出束时间的 10%。

后期随着工作量的不断增加, 医院也计划持续引进技术熟练的介入科、核医学科和肿瘤科医生、技师及护士, 医院应做好辐射工作人员管理工作。

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部, 公告 2019 年 第 57 号): “自 2020 年 1 月 1 日起, 新从事辐射活动的人员, 以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员, 应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’(网址: <http://fushe.mee.gov.cn>) 报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。本项目新增的 40 名辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习, 并参加考核, 考核合格后方可上岗。辐射安全培训合格证书到期的人员仍需通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’进行再学习考核。

五、项目周边保护目标以及场址选址情况

本项目选址于四川省成都市郫都区德源北路二段 666 号, 项目地理位置见附图 1。

成都市郫都区人民医院本次新建项目所在地的用地性质为医疗卫生用地。从周边外环境关系可知, 医院周边规划为居民区和市政道路, 本项目 50m 评价范围除南侧和西侧部分位于医院围墙外, 其余方向均位于医院院区内, 50m 评价范围内无其他居民区、无学校等其他环境敏感点。

成都市郫都区人民医院于 2015 年 7 月完成了成都市郫都区人民医院(原郫县人民医院)业务用房迁建项目的环评工作, 并取得四川省生态环境厅(原四川省环境保护厅)关于该项目的批复文件, 文号为: 川环审批〔2015〕383 号(见附件 2)。

医院选址合理性已在相关环评报告中进行了论述, 拟建的辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施, 产生的辐射通过采取相应的治理措施后对周围环境影响较小, 从辐射安全防护的角度分析, 本项目选址是合理的。

六、项目产业政策符合性

本项目系核技术应用项目在医学领域内的运用。根据国家发展和改革委员会《产

业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修改），属于鼓励类中第六项“核能”的第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，是目前国家鼓励发展的新技术应用项目。本项目的运营可为郫都区及周边病人提供诊疗服务，是提高人民群众生活质量，提高全区医疗卫生水平和建设小康社会的重要内容，本项目具有放射实践的正当性，符合现行的国家产业政策。

七、实践正当性

成都市郫都区人民医院新增放射源、非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目的目的是为了对病人进行医学诊断和治疗。在采取了相应的辐射防护措施后，项目所致的辐射危害可得到有效控制，项目实施的利益大于代价，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的辐射防护“实践的正当性”原则。

八、项目单位核技术应用现状

成都市郫都区人民医院现持有四川省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》（证书编号川环辐证（00484），有效期至 2024 年 12 月 02 日，许可种类和范围为：使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，其许可情况及验收情况见表 1-4，辐射安全许可证正副本详见附件 3。

表 1-4 成都市郫都区人民医院现有核技术利用情况一览表

序号	装置名称	规格型号	类别	用途	场所	环保验收情况
1	医用血管造影 X 射线系统	UniqFD10	Ⅱ	介入治疗	门诊医技住院大楼二楼介入手术室 1	已许可 已验收
2	全数字通用平板血管造影系统	Artis zee ceiling	Ⅱ	介入治疗	门诊医技住院大楼二楼介入手术室 2	
3	移动式数字医用 X 射线机	KD-C7000	Ⅱ	介入治疗	门诊医技住院大楼三楼 ERCP 室	
4	X 射线骨密度仪	Prodgy Primo	Ⅲ	放射诊断	门诊医技住院大楼一楼 2 骨密度检查室	已检测 合格
5	医用诊断 X 射线机	Luminos Fusion	Ⅲ	放射诊断	门诊医技住院大楼一楼 7 胃肠造影检查室	
6	数字高频移动式 X 射线摄影系统	PLX5200C	Ⅲ	放射诊断	医院临床病房	
7	体外冲击波碎石机	HK、ESWL-V	Ⅲ	放射诊断	门诊医技住院大楼一楼体外震波碎石中心	
8	X 射线计算机断层摄影设备	NeuViz64IN	Ⅲ	放射诊断	门诊医技住院大楼一楼急诊 CT	已检测 合格

9	X 射线计算机断层摄影设备	Somatom go up	III	放射诊断	门诊医技住院大楼二楼 CT 检查室	
10	数字化医用 X 射线摄影系统	Rad Glory 331 plus	III	放射诊断	门诊医技住院大楼二楼 DR 检查室	
11	口腔 X 射线数字化体层摄影设备	PaneXan plus	III	放射诊断	门诊医技住院大楼三楼口腔 CT	
12	牙科 X 射线机	CS2100	III	放射诊断	门诊医技住院大楼三楼照片室	
13	移动式 C 型臂 X 射线机	Ziehm 8000	III	放射诊断	门诊医技住院大楼五楼 11 号手术间	
14	X 射线计算机体层摄影设备	Somatom Definition AS	III	放射诊断	门诊医技住院大楼一楼 4CT 检查室	
15	X 射线计算机体层摄影设备	Somatom Drive	III	放射诊断	门诊医技住院大楼一楼 3CT 检查室	
16	数字化医用 X 射线摄影系统	uDR780i	III	放射诊断	门诊医技住院大楼一楼 1DR 检查室	
17	数字化乳腺 X 射线机	Senographe Crystal Nova	III	放射诊断	门诊医技住院大楼二楼体检中心乳腺检查室	
18	X 射线计算机体层摄影设备	uCT528	III	放射诊断	感染科一楼 CT 检查室	
19	口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备	KaVoop 3D Vision	III	放射诊断	门诊医技住院大楼三楼 CBCT 室	
20	移动式平板 C 型臂 X 射线机	PLX118WF-D	III	放射诊断	15 号手术间	

成都市郫都区人民医院严格遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》及《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关辐射防护法律、法规，配合各级生态环境部门监督和指导，辐射防护设施的运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

根据成都市郫都区人民医院《2022 年度安全和防护状况年度评估报告》及其结论，医院在 2022 年度：

- 1、医院辐射安全和防护设施运行良好，定期开展了维护工作；
- 2、医院制定和完善了辐射安全防护及措施，各项制度均得到落实。
- 3、医院辐射工作人员存在变动，目前共有 97 名辐射工作人员，原有 94 名辐射工作人员，有 3 人加入辐射岗位，均参加了辐射安全和防护知识培训。
- 4、医院委托有资质单位开展了辐射工作场所的辐射环境监测和辐射工作人员的个人剂量监测，结果表明均满足国家标准要求。

5、2022 年度医院未发生辐射事故。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活度种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	¹⁹² Ir	$3.7 \times 10^{11} \times 1$ 枚	III	使用	放射治疗	后装治疗机房	后装治疗机内	本次环评
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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 $T_{1/2}=109.8\text{min}$	使用	2.78×10^{10}	7.77×10^6	5.55×10^{12}	核素显像	很简单操作	核医学科 影像中心	暂存在储源室，使用时转移至手套箱
2	⁶⁸ Ga	液态/低毒 $T_{1/2}=68.3\text{min}$	使用	1.11×10^9	1.11×10^7	2.78×10^{11}	核素显像	简单操作		
3	⁶⁸ Ge- ⁶⁸ Ga	液态/中毒 $T_{1/2}=280\text{d}$	贮存	1.85×10^9	1.85×10^6	1.85×10^9	制备 ⁶⁸ Ga	源的贮存		
4	^{99m} Tc	液态/低毒 $T_{1/2}=6.01\text{h}$	使用	2.22×10^{10}	2.22×10^7	5.55×10^{12}	核素显像	很简单操作		
5	¹³¹ I	液态/中毒 $T_{1/2}=8.04\text{d}$	使用	2.78×10^{10}	2.78×10^9	1.39×10^{12}	核素诊断与治疗	简单操作		
6	⁸⁹ Sr	液态/低毒 $T_{1/2}=50.53\text{d}$	使用	2.96×10^8	2.96×10^7	1.48×10^{10}	骨转移治疗	简单操作		
7	¹⁵³ Sm	液态/中毒 $T_{1/2}=46.5\text{h}$	使用	2.96×10^9	2.96×10^8	1.48×10^{11}	骨转移治疗	简单操作		
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 4 射线装置

(一) 加速器: 包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II	2 台	待定	电子	X 射线最大能量: 15MV 15MV 时, 1m 处常用最高剂量率 $\leq 6 \text{ Gy/min}$ 电子线最大能量为 22MeV, 最高剂量率: 10Gy /min CBCT (图像引导系统) $\leq 150 \text{ kV/1500mA}$	放射治疗	肿瘤科 医用电子直线加速器机房	本次环评	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机, 包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA	II	2	未定	≤ 125	≤ 1250	放射诊断	介入科	本次环评
2	PET/CT	III	1	未定	≤ 140	≤ 1000	放射诊断	核医学科	本次环评
3	SPECT/CT	III	1	未定	≤ 140	≤ 1000	放射诊断		本次环评
4	模拟定位机	III	1	未定	≤ 140	≤ 1500	放射诊断	肿瘤科	本次环评

(三) 中子发生器, 包括中子管, 但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
沾有放射性核素的注射器、手套、擦拭废纸等	固体	^{18}F 、 ^{68}Ga 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	/	/	存放于专用放射性废物铅桶与废物库	暂存超过 30 天以上, 经检测合格后, 由医院统一作为医疗废物处理
		^{89}Sr 、 ^{153}Sm	/	/	/	/		暂存超过十个半衰期以上, 经检测合格后, 由医院统一作为医疗废物处理
		^{131}I	/	/	/	/		暂存超过 180 天以上, 经检测合格后, 由医院统一作为医疗废物处理
含放射性核素的卫生间下水及清洗废水	液体	^{18}F 、 ^{68}Ga 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	约 36m ³	约 1800m ³	/	暂存于衰变池内	暂存于衰变池内衰变 30 天以上, 可接解控排放至医院污水处理站
		^{131}I	/			/		暂存于衰变池内衰变 180 天以上, 可接解控排放至医院污水处理站
含有液态放射性药物分装时挥发的微量气溶胶	气体	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{68}Ga 、 ^{18}F 、 ^{131}I	/	微量	微量	微量	不暂存	在手套箱中操作, 经手套箱管道内及屋顶排放口活性炭装置过滤后排放
DSA 手术过程中产生的棉签、纱布、手套、器具等医疗废物	固体	/	/	约 10kg	约 120kg	/	暂存在机房内的废物桶	手术结束后集中收集, 作为医疗废物由医院统一委托有资质单位进行处置
臭氧和氮氧化物	气体	/	/	/	微量	微量	不暂存	通过排风系统排入外环境
废活性炭	固体	^{131}I 等	/	/	/	/	更换后暂存	存放超过 180 天以上, 达到

							在放射性废物暂存间内	清洁解控水平后,由医院统一作为医疗废物处理
退役的 ^{192}Ir 放射源	固体	^{192}Ir	使用约 180 天更换一次, 退役时活度约为 $6.9 \times 10^{10}\text{Bq}$	/	/	/	不暂存	放射源厂家回收
医用电子直线加速器退役废靶	固体	中子活化产物	约 10 年更换一次	/	/	/	不暂存	交有资质单位收贮

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

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

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，1989年12月26日发布施行；2014年4月24日修订，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》（2018年修正版），2018年12月29日发布施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003年10月1日起实施；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第449号，2005年12月1日起施行；2019年修正，国务院令709号，2019年3月2日施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，（2017年修订版），国务院令第682号，2017年10月1日发布施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部令第20号，2021年1月4日起施行；</p> <p>(7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021版）》，生态环境部第16号令，自2021年1月1日起施行；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第18号，2011年5月1日起施行；</p> <p>(9) 《射线装置分类》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告，2017年第66号，2017年12月5日起施行；</p> <p>(10) 《放射源分类办法》，国家环保总局公告2005年第62号，2015年12月23日起施行；</p> <p>(11) 《放射性废物安全管理条例》，中华人民共和国国务院令第612号，2012年3月1日起施行；</p> <p>(12) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》（环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告，2017年公告第65号公布，自2018年1月1日起施行；</p> <p>(13) 《四川省辐射污染防治条例》，2016年6月1日起实施。</p>
技术标准	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p>

	<p>(4) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)；</p> <p>(5) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)；</p> <p>(6) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)；</p> <p>(7) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020)；</p> <p>(8) 《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>(9) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分一般原则：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011)；</p> <p>(10) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分：γ射线放射源治疗机房》(GBZ/T 201.3-2014)；</p> <p>(11) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)；</p> <p>(12) 《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)；</p> <p>(13) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)；</p> <p>(14) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019)；</p> <p>(15) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005)；</p> <p>(16) 《医用电子直线加速器质量控制检测规范》(WS 674-2020)；</p> <p>(17) 《后装γ源近距离治疗质量控制检测规范》(WS 262-2017)；</p> <p>(18) 《医用X射线诊断设备质量控制检测规范》(WS 76-2020)。</p>
其他	<p>(1) 《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》国家环保总局，环发[2006]145号，2006年9月26日起施行；</p> <p>(2) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部，公告2019年第57号，2020年1月1日起施行；</p> <p>(3) 《关于发布<建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部，公告2019年第38号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》生态环境部公告2019年第9号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》，生态环境部，2019年部令第9号，2019年11月1日起施行；</p> <p>(6) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部，公告2019年</p>

第39号，2019年11月1日起启用；
(7)《产业结构调整指导目录（2019年本）》（2021年修改，国家发展和改革委员会2021年令 第49号）2021年12月30日起施行；
(8)生态环境部辐射源安全监管司关于核医学标准相关条款咨询的复函，辐射函〔2023〕20号，2023年9月11日；
(9)生态环境部核技术利用监督检查技术程序（2020版）；
(10)四川省生态环境厅关于印发《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》的通知，川环函〔2016〕1400号。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据本项目的特点并参照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中“核技术利用建设项目环境影响评价报告书的评价范围和保护目标的选取原则：放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”，确定为成都市郫都区人民医院本次新建项目所在工作场所实体屏蔽墙体外周边 50m 范围内作为评价范围，详见图 7-1 或附图 2。

图 7-1 辐射环境评价范围

保护目标

本项目 50m 评价范围除南侧和西侧部分位于医院围墙外，其余方向均位于医院院区内，50m 评价范围内无其他居民区、无学校等其他环境敏感点。

因此，本项目辐射环境保护目标为医院辐射工作人员、医院内的其他医护人员、病患、陪同家属及院内外公众，详见表 7-1。

表 7-1 本项目评价范围内辐射环境保护目标一览表

保护目标名称		方位	最近距离	规模	备注		
辐射工作人员	控制室及机房内	/	40 人	院内			
其他医护工作人员	核医学科 楼内	约 5m	约 100 人				
患者、患者家属及院内周边公众							
中医馆	其他医护工作人员、患者、 患者家属及院内周边公众	东北侧	约 21m	约 500 人			
南侧及西侧道路上公众		西南侧	约 10m	流动人员	院外		

评价标准

一、执行标准

本项目执行标准如下：

1、环境质量标准

地表水：执行《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）中的III类水域标准；

大气环境：执行《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）及其修改单中的二级标准；

声环境：执行《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中的 2 类标准。

2、污染物排放标准

废水：医疗废水执行《医疗机构水污染排放标准》（GB 18466-2005）中表 2 排放标准。

废气：执行《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）二级标准。

噪声：施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）中相关标准，营运期执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）2 类标准。

固体废物：执行《医疗废物处理处置污染控制标准》（GB 39707-2020）。

3、辐射防护标准

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的相关规定。

二、辐射环境评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	要求
职业照射剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量，20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv； ③眼晶体的年当量剂量，150mSv； ④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。
公众照射剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：

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

监督区：

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

2、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）：

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

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

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

b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

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

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

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

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

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

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

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

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射，以年剂量 250 μSv 加以控制。

c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30 cm 处的剂量率参

考控制水平可按 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ 加以控制（可在相应位置处设置辐射告示牌）。

3、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）；

4、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 $5\text{mSv}/\text{a}$ ；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 $0.1\text{mSv}/\text{a}$ 。

6.1 屏蔽要求

6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

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

6.1.7 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

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

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

c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

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

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

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

5、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）；

6、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

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、改建和改建项目和技术改造、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。

表 2 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

机房类型	机房内最小有效使用面积, m^2	机房内最小单边长度, m
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5
双管头或多 X 射线设备 ^a	30	4.5

(含 C 形臂)		
单管头 X 射线设备 ^b (含 C 形臂, 乳腺 CBCT)	20	3.5

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 3 的规定。

6.2.2 医用诊断 X 射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录 C 中表 C.4~表 C.7。

表 3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
标称 125kV 以上的摄影机房	3.0	2.0
标称 125kV 及以下的摄影机房	2.0	1.0
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
CT 机房 (不含头颅移动 CT) CT 模拟定位机房		2.5

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表 3 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 射线设备在透视条件下检测时, 周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$; 测量时, X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间;

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 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施, 其数量应满足开展工作需要, 对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

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

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

6.5.5 个人防护用品不使用时, 应妥善存放, 不应折叠放置, 以防止断裂。

表 4 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
CT 体层扫描 (隔室)	-	-	铅橡胶性腺防护围裙 (方形) 或方巾、铅 橡胶颈套 选配: 铅橡胶帽子	-
介入放射操作	铅橡胶围裙、铅 橡胶颈套、铅防 护眼镜、介入防 护手套 选配: 铅橡胶帽 子	铅悬挂防护屏/铅 防护吊帘、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	-

三、辐射环境评价标准限值

1、个人剂量约束值

①职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)第 4.3.2.1 条的规定，对任何工作人员，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯平均）20mSv。本项目取辐射工作人员个人年有效剂量约束值为 5mSv/a。

②公众照射：第 B1.2.1 条的规定，实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过年有效剂量 1mSv。本项目取公众个人年有效剂量约束值为 0.1mSv/a。

2、放射性表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)表 B11 工作场所的放射性表面污染的控制水平见表 7-2。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型	β 放射性物质	
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、监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1}

3、工作场所内外控制剂量率

医用电子直线加速器机房及后装治疗机机房边界周围剂量率控制水平参照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)及《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)等相关标准要求，医用电子直线加速器机房及后装治疗机机房屏蔽体外人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所： $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ ，本项目综合考虑保守取 $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

根据《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》(WS 262-2017)，距离贮源器表面 5cm 泄漏辐射所致周围剂量当量率不超过 $50 \mu\text{Sv/h}$ ；距离贮源器表面 100cm 泄漏辐射所致周围剂量当量率不超过 $5 \mu\text{Sv/h}$ 。

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)，距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于

10 μ Sv/h。

放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25 μ Sv/h。

模拟定位机机房和 DSA 机房边界周围剂量率控制水平参照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）等相关标准要求，模拟定位机机房和 DSA 机房外周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理和场所位置

(一) 医院外环境关系

成都市郫都区人民医院位于四川省成都市郫都区德源北路二段 666 号（地理位置图见附图 1）。医院东侧为郫都区湿地公园，南侧为蜀信路三段，西侧为德源北路二段，北侧为顺河路。

本次新建的核医学科楼位于医院院区的西南角，核医学科楼东侧为中心供应楼和感染性疾病科，南侧和西侧均为院内道路和围墙，北侧为中医馆。成都市郫都区人民医院总平面布置图详见附图 2，拟建址及其周围环境现状见图 8-1 至图 8-6。



图 8-1 核医学科楼拟建址东侧

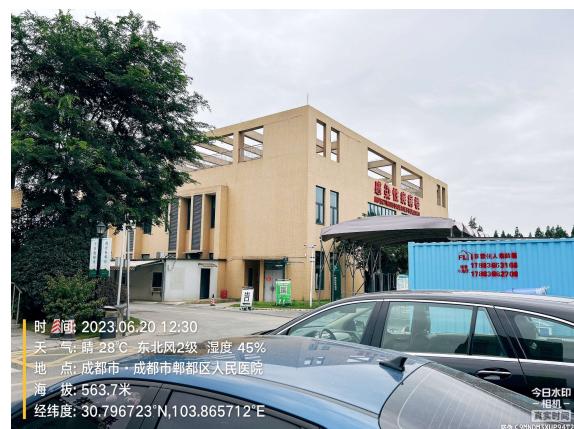


图 8-2 核医学科楼拟建址东侧



图 8-3 核医学科楼拟建址南侧



图 8-4 核医学科楼拟建址西侧



图 8-5 核医学科楼拟建址北侧



图 8-6 核医学科楼拟建址中部

（二）辐射工作场所外环境关系

1、肿瘤科

医院本次拟建的肿瘤科位于核医学科楼负二层东侧，包括 2 座医用电子直线加速器机房、1 座后装治疗机机房和 1 座模拟定位机机房及其配套的辅助用房。

本次建设的医用电子直线加速器机房位于建筑底层，1#机房东侧土层，南侧为 2#机房，西侧为控制室及水冷机房，北侧为后装治疗机机房及其控制室，上方为核医学科-影像中心，下方为土层。2#机房东侧和南侧均为土层，西侧为控制室及水冷机房，北侧为 1#机房，上方为核医学科-影像中心，下方为土层。

后装治疗机机房东侧为土层，南侧为 1#医用电子直线加速器机房，西侧为控制室，北侧为电梯间，上方为核医学科-影像中心，下方为土层。

模拟定位机机房东侧和北侧均为过道，南侧为控制室和设备间，西侧为制模室和模具室，上方为 GCP 档案资料存放室，下方为土层。

2、核医学科

（1）核医学科-影像中心位于核医学科楼一层东部，场所东侧和南侧均为室外空地等，西侧为医生通道和核医学科-核素治疗中心等，北侧为敷贴治疗室、病史询问间和电梯间，上方为介入科 DSA 机房等，下方为肿瘤科医用电子直线加速器机房和后装治疗机机房。

（2）核医学科-核素治疗中心位于核医学科楼一层西部，场所东侧为医生通道和核医学科-影像中心，南侧为楼梯间，西侧为下沉广场，北侧为候诊大厅，上方为介入科医生休息室及会议室等，下方为库房等。

3、介入科

医院本次拟建的介入科 DSA 机房位于核医学科楼二层，2 座 DSA 机房东侧均为

清洁通道、术后恢复室、抢救室和机房等。1#DSA 机房南侧为控制室，西侧为传递口，北侧为无菌存放间和配药室，2#DSA 机房南侧为露台，西侧为污物通道，北侧为控制室，2 座 DSA 机房下方为核医学科-影像中心，上方为病房或库房等。核医学科楼-2F~3F 平面布局详见附图 3~附图 7。

二、辐射环境现状评价

为掌握项目所在地的辐射环境现状，南京瑞森辐射技术有限公司委托四川瑞迪森检测技术有限公司于 2023 年 6 月 20 日按照标准规范对本次拟建址及周边环境进行了 γ 辐射剂量率、中子辐射剂量率和表面污染水平的布点监测，监测报告见附件 4。

1、监测因子

本项目包括新建放射源、非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用项目，根据工程分析项目主要污染因子为各工作场所运行时产生的 X 射线、 γ 射线、中子及 β 表面污染水平等。为了更好反映实际情况，本项目的环境监测选取为 γ 辐射空气吸收剂量率、中子辐射剂量率和 β 表面污染水平作为监测因子。

2、监测内容

对拟建项目周围环境水平进行本底调查。

3、监测方案

（1）监测项目、方法及方法来源表

表 8-1 监测项目、方法及方法来源表

监测项目	监测方法	方法来源	探测限	备注
γ 辐射空气吸收剂量率	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》	HJ 1157-2021	10nSv/h	
表面污染水平	《表面污染测定第一部分： β 发射体 ($E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$) 和 α 发射体》	GB/T 14056.1-2008	0.02Bq/cm ²	探测限为本次测量使用方法和仪器的综合技术指标
中子剂量当量率	辐射防护仪器中子周围剂量当量(率)仪	GB/T 14318-2019	1nSv/h	

（2）监测布点

参照《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021) 中的方法布设监测点，根据本次新建项目拟建址及其周围环境现状，监测点位的选取覆盖新建项目拟建区域及周围 50m 公众人员区域。根据上述布点原则与方法，本项目监测点位布置如图 8-7 所示。



图 8-7 拟建址监测点位示意图

(3) 监测仪器

监测使用仪器见表 8-2。

表 8-2 监测使用仪器表

监测项目	监测设备			
	仪器名称	仪器编号	校准因子	设备参数及检定情况
γ 辐射空气吸收剂量率	6150AD6/H +6150ADb/H	SCRDS-054	0.94	能量范围: 20keV ~ 7MeV 剂量率范围: 1nSv/h ~ 99.9μSv/h 检定单位: 中国计量科学研究院 检定有效期: 2023.02.28-2024.02.27
表面污染水平	COMO170 型表面污染仪	SCRDS-007	0.44	测量范围: 0cps ~ 20000cps 检定单位: 中国测试技术研究院 检定有效期: 2022.11.18-2023.11.17
中子周围剂量当量仪	FH40G/FHT762	SCRDS-015	1.069	能量范围: 0.025eV ~ 5GeV 剂量率范围: 1nSv/h ~ 100mSv/h 检定单位: 中国计量科学研究院 检定有效期: 2022.07.02-2023.07.01

4、质量保证措施

人员培训: 监测人员经考核并持有合格证书上岗。

仪器刻度: 监测仪器定期经计量部门检定, 每次监测必须在有效期内。

自检: 每次测量前、后均检查仪器的工作状态。

数据记录及处理: 开机预热, 手持仪器。一般保持仪器探头中心距离地面(基础面)为1m。仪器读数稳定后, 每个点位读取10个数据, 读取间隔不小于10s。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差。空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021), 使用¹³⁷Cs作为检定/校准参考辐射源时, 换算系数分别取1.20Sv/Gy。

数据复核: 监测报告实行三级审核制度, 经校对审核后由授权签字人审定签发。

5、比较标准

项目所在地环境天然贯穿辐射水平参考中华人民共和国生态环境部《2022年全国辐射环境质量报告》中四川省γ辐射空气吸收剂量率范围: (61.9~151.8) nGy/h。

6、环境现状监测与评价

监测所用仪器已由计量部门年检, 且在有效期内; 测量方法按国家标准方法实施; 测量数据处理符合统计学要求; 布点合理, 结果可信, 能够反映出辐射工作场所的客观辐射水平, 可以作为本次评价的科学依据。

具体监测结果如下:

表 8-3 拟建址 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果

测点编号	点位描述	测量结果(nGy/h)	备注
1	核医学科楼拟建址东侧空地	82±2.7	室外
2	核医学科楼拟建址南侧空地	83±3.0	室外
3	核医学科楼拟建址西侧空地	78±2.1	室外
4	核医学科楼拟建址北侧空地	73±1.9	室外
5	核医学科楼拟建址中部	73±2.9	室外
6	核医学科楼拟建址北侧中医馆	75±1.2	室外
7	核医学科楼拟建址西侧院外道路	80±2.2	室外
8	核医学科楼拟建址南侧院外道路	80±2.6	室外

注：测量结果未扣除宇宙射线响应值。

表 8-4 拟建址 β 表面放射性污染水平检测结果

测点编号	点位描述	表面 β 放射性污染水平检测结果 (Bq/cm ²)	备注
1	核医学科楼拟建址东侧空地	< LLD	/
2	核医学科楼拟建址南侧空地	< LLD	/
3	核医学科楼拟建址西侧空地	< LLD	/
4	核医学科楼拟建址北侧空地	< LLD	/
5	核医学科楼拟建址中部	< LLD	/
6	核医学科楼拟建址北侧中医馆	< LLD	/
7	核医学科楼拟建址西侧院外道路	< LLD	/
8	核医学科楼拟建址南侧院外道路	< LLD	/

注：LLD 为 0.04 Bq/cm²。

表 8-5 拟建址中子周围剂量率检测结果

测点编号	点位描述	测量结果(μ Sv/h)	备注
1	核医学科楼拟建址东侧空地	< 0.001	/
2	核医学科楼拟建址南侧空地	< 0.001	/
3	核医学科楼拟建址西侧空地	< 0.001	/
4	核医学科楼拟建址北侧空地	< 0.001	/
5	核医学科楼拟建址中部	< 0.001	/
6	核医学科楼拟建址北侧中医馆	< 0.001	/
7	核医学科楼拟建址西侧院外道路	< 0.001	/
8	核医学科楼拟建址南侧院外道路	< 0.001	/

由表 8-3~表 8-5 可知，本项目拟建位置周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测值在 (73~83) nGy/h 之间，与中华人民共和国生态环境部《2022 年全国辐射环境质量报告》中四川省 γ 辐射空气吸收剂量率范围：(61.9~151.8) nGy/h 相较，本项目拟建址区域周围辐射环境监测值与四川省天然贯穿辐射水平相当，属于正常本底范围。

项目拟建位置周围中子辐射剂量率在均 <0.001 μ Sv/h，属于正常水平，项目拟建

位置周围 β 表面污染水平为低于仪器探测下限，属于当地正常水平。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、施工期工艺分析

(一) 施工阶段

本项目建设内容为一般土建工程，其基础工程、主体工程、装饰工程、设备安装、工程验收等建设工序将以噪声、扬尘、固体废弃物、少量污水和废气等污染物为主，其排放量随工期和施工强度不同而有所变化。施工期的工艺流程及产污情况图示见下图。

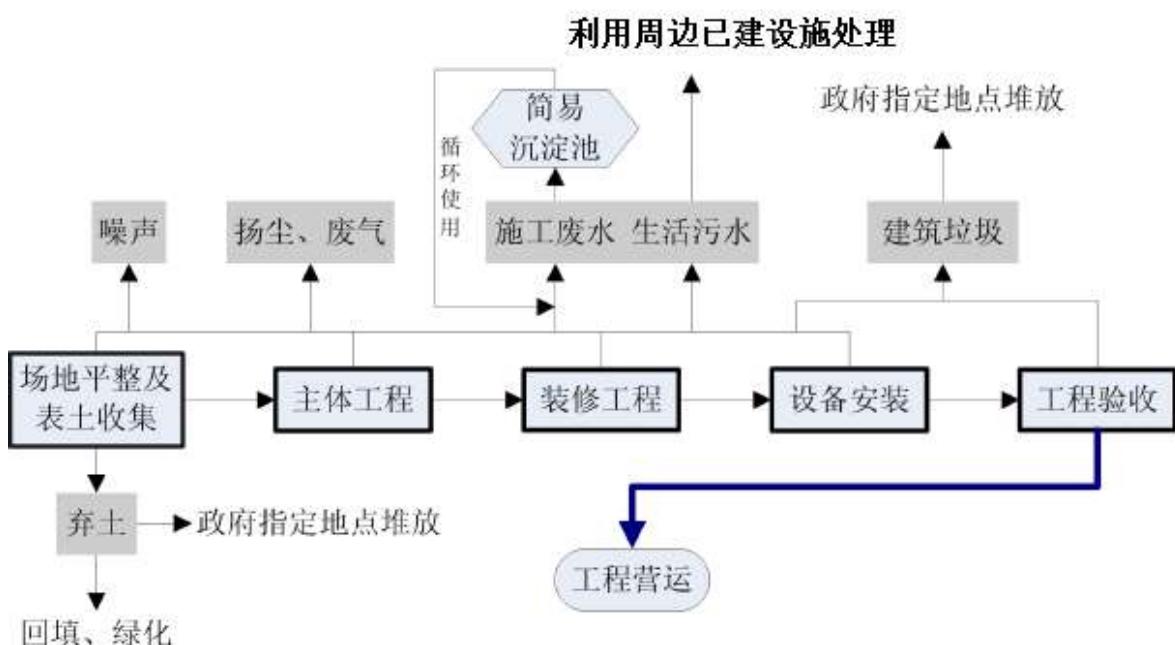


图 9-1 施工期工艺流程图

1、废气

扬尘：土建混凝土浇铸及运输车辆装卸材料和行驶时产生的扬尘；建筑材料（混凝土、砖等）的现场搬运及堆放扬尘；施工垃圾的清理及堆放扬尘；人来车往造成的现场道路扬尘。

装饰工程施工如漆、涂、磨、刨、钻、砂等装饰作业以及使用某些装饰材料如涂料、人造板、某些有害物质（如苯系物、甲醛、酚等污染物）等形成有机废气污染物；施工机械设备排放的少量无组织废气等。

施工机械废气：施工期间，使用机动车运送原材料、设备和建筑机械设备的运转，均会排放一定量的 CO、NOx 以及未完全燃烧的 THC 等。

装饰废气：装饰废气主要为装修阶段（包括室内装修、地下车库定位线、地下室

地坪装修等)使用的涂料等挥发的有机废气等气体以及装修施工产生的扬尘,该废气的排放属无组织排放,涂料挥发废气其主要污染因子为二甲苯和甲苯等,此外还有极少量的汽油、丁醇和丙醇等。

2、废水

施工期废水主要为建筑施工产生的生产废水及施工人员生活污水。

施工废水:项目不设置混凝土搅拌站,因此无搅拌废水产生。经类比分析可知施工过程中的生产废水主要来源于机械的冲刷、楼地及墙面的冲洗、构件与建筑材料的保潮、墙体的浸润、材料的洗刷以及桩基础施工中排出的泥浆等。施工废水中的主要污染物为pH、SS、COD、石油类。污水中COD300m/L、BOD₅200mg/L、SS1000mg/L。施工现场设置简易隔油沉淀池(5m³)进行沉淀,沉淀后循环使用。

项目位于成都市郫都区,项目场区内不设施工营地,办公生活依托周边已建污水处理设施,通过管网排放至城市污水处理厂进行处理。

3、噪声

施工期的噪声主要来源于施工现场的各类机械设备噪声,不同施工阶段和不同施工机械发出的噪声水平是不同的,且有大量设备交互作业,因此施工作业噪声将会对本项目内外环境带来一定的影响。根据施工量,按经验计算各施工阶段的昼夜的主要噪声源及场界噪声和建筑施工场界噪声限值标准见下表。

表 9-1 机械噪声源强一览表

施工阶段	运输内容	车辆类型	声源强度[dB(A)]
主体阶段	基础工程、建筑弃渣、弃土外运等	挖掘机、推土机、大型载重车	84~95
底板与结构阶段	钢筋、混凝土等	混凝土罐车、载重车	80~85
装修安装阶段	各种装修材料机必备设备	轻型载重卡车	75~80

4、固废

施工期固体废物主要包括开挖土石方、施工人员生活垃圾和少量建筑垃圾。

①根据现场踏勘,拟建场地基本为平地,本项目土方开挖量较小。

②由于本项目在施工期间,会产生少量的生活垃圾。

③本项目用地范围内不涉及拆迁工程,仅施工工程会产生少量的建筑垃圾。

因本项目肿瘤科拟配置的医用电子直线加速器的X射线最大能量为15MV,因此在机房的建造应避免采用富含铁矿物质的混凝土,避免混凝土中采用重晶石或铁作为骨料,仅使用普通混凝土作为施工材料,但密度不得低于2.35g/cm³。

（二）设备安装调试阶段

本项目涉及的射线装置和放射源的安装调试阶段，会产生 X 和 γ 射线，造成一定的辐射影响。设备安装完成后，会有少量的废包装材料产生。

本项目射线装置及含源装置的运输、安装和调试均由设备厂家专业人员进行操作。在射线装置及含源装置的运输、安装、调试过程中，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证屏蔽体屏蔽到位，在运输设备和治疗室门外设立辐射警示标志，禁止无关人员靠近；在设备的调试和维修过程中，射线源开关钥匙应安排专人看管，或由维修操作人员随身携带，并在机房入口等关键处设置醒目的警示牌，工作结束后，启动安全联锁并经确认系统正常后才能启用射线装置；人员离开时运输设备的车辆和治疗室上锁并派人看守。

由于本项目涉及的射线装置及含源装置的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。

二、营运期工艺分析

（一）肿瘤科

1、医用电子直线加速器项目

（1）工程设备

成都市郫都区人民医院拟于核医学科楼负二层肿瘤科建设 2 座医用电子直线加速器机房，各配备 1 台医用电子直线加速器（型号：未定，X 射线最大能量为 15MV，1 米处最大输出剂量率为 6Gy/min，电子线最大能量为 22MeV，电子线等中心 1 米处最大剂量率为 22Gy/min。拟购置的医用电子直线加速器带 CBCT 图像引导系统功能，CBCT 其管电压 ≤ 150 kV，管电流 ≤ 1500 mA）用于肿瘤的放射治疗，拟购置的医用电子直线加速器设备参数详见表 9-2。

表 9-2 本项目拟配备的医用电子直线加速器技术参数一览表

指 标	技术参数
型号	未定
位置	负二层肿瘤科
主要技术指标	X 射线能量 (MV) : ≤ 15 ; 电子线能量 (MeV) : ≤ 22
射线最大出射角	28° (等中心点每侧 14°)
源轴距 SAD	1m
等中心点至机房地坪的高度	1.3m
距靶 1m 处 X 辐射剂量率	15MV 时：最大 $6\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{min}$
最大照射野大小	40cm×40cm

机架旋转	360°
靶材料	钨合金
CBCT 图像引导系统	管电压≤150kV, 管电流≤1500mA

医用电子直线加速器是产生高能 X 射线和电子束的装置, 为远距离治疗机。主要由机架组件、辐射头、水冷系统、速调管、真空系统、充气系统、高压脉冲调制器、栅控电子枪电源、控制柜及操作盒、运控机箱、整机动力配电及低压电源、整机联锁保护电路等组成。从电子枪发出的同步电子束注入已建立高梯度的驻波或行波加速场中加速, 在加速管末端, 电子束加速到所需能量后经过漂移管进入 270°偏转磁场。在偏转磁场中, 电子束偏转 270°后由水平入射变为垂直出射, 并同时完成聚集和消除能谱色差形成直径 2mm 左右的平行束流, 经过引出窗到达移动靶件处。移动靶件具有不同工位, 可根据治疗需要使电子束轰击合金靶产生 X 辐射或直接穿透初级散射箔产生电子辐射。典型医用直线加速器基本结构示意图见图 9-2。

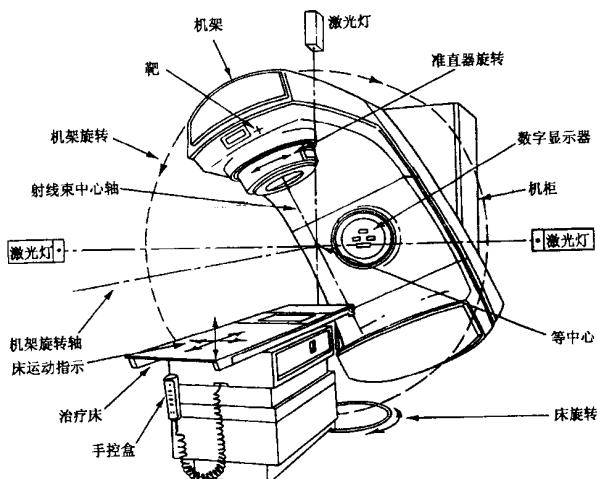


图 9-2 典型医用电子直线加速器基本结构示意图

(2) 工作原理

放疗是癌症三大治疗手段之一。是用各种不同能量的射线照射肿瘤, 以抑制和杀灭癌细胞的一种治疗方法。放疗可单独使用, 也可与手术、化疗等配合, 作为综合治疗的一部分, 以提高癌症的治愈率。放疗的基本目的是努力提高放疗的治疗增益比, 即最大限度地将放射线的剂量集中到病变(靶区)内, 而使周围的正常组织和器官少受或免受不必要的照射。

医用电子直线加速器是实现放疗的最常见设备之一, 医用电子直线加速器是利用具有一定能量的高能电子与大功率微波的微波电场相互作用, 从而获得更高的能量。这时电子的速度增加不大, 主要是质量不断变大。电子直接引出, 可作电子线治疗, 电子打击重金属靶, 产生韧致辐射发射 X 射线, 作 X 线治疗。

医用电子直线加速器系统示意图见图 9-3。

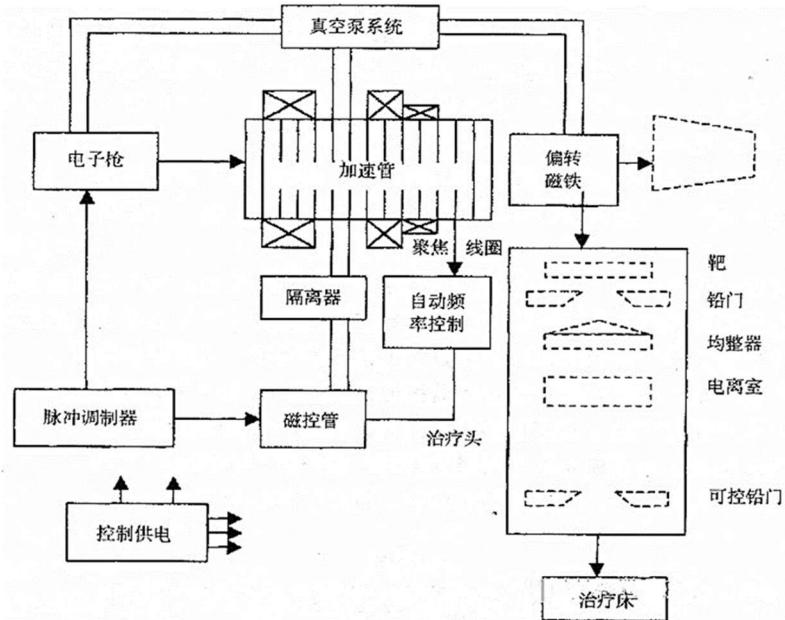


图 9-3 医用电子直线加速器系统示意图

(3) 工艺流程及产污环节

- 1) 进行定位: 先通过肿瘤科的模拟定位机(属III类射线装置)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: 在利用医用电子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) 技师离开治疗室, 进入控制室, 根据 TPS 计划进行出束治疗;
- 5) 治疗结束后, 关机, 打开治疗室防护门, 患者离开治疗室。

医用电子直线加速器放疗流程及产污环节如图 9-4 所示。

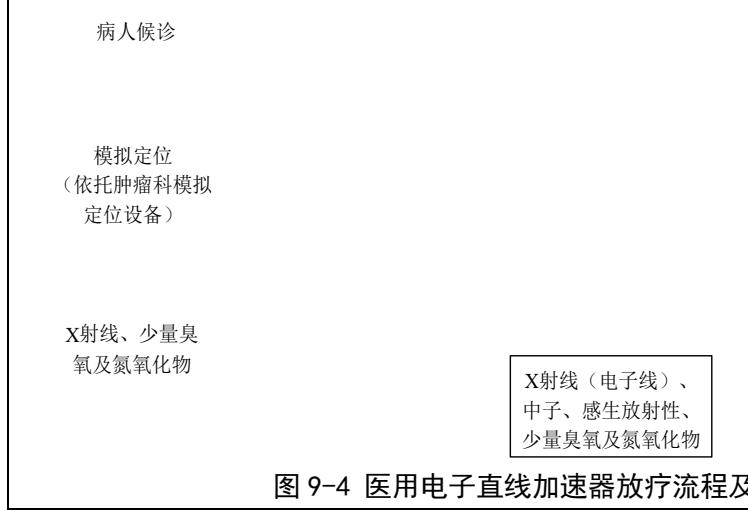


图 9-4 医用电子直线加速器放疗流程及产污环节示意图

(4) 主要用途

医用电子直线加速器主要用于肿瘤的放射治疗，根据医院预测的诊疗需要，本项目医用电子直线加速器机房投入使用后，预计每天接诊病人不超过 40 人次/台，每位病人出束治疗时间不超过 3min，年工作 250d，则单台医用电子直线加速器年出束运行时间约 500h（其中以 X 射线模式运行约 450h，电子线模式运行约为 50h）。

(5) 项目人员流动的路径规划

本项目医用电子直线加速器机房位于负二层肿瘤科，医用电子直线加速器项目的人流路径规划具体如下：

①工作人员路径：

肿瘤科医用电子直线加速器工作人员由西侧的医护电梯进入负二层肿瘤科工作区域，随后向南可进入肿瘤科的医用电子直线加速器的控制室，工作人员在对应的治疗室内对患者摆位后离开治疗室，再进入控制室对病人实施放射治疗活动。

②患者路径：

患者按预约日期首先由东侧患者电梯到负二层肿瘤科护士站登记，随后向西进入诊断治疗区，再向南进入二次候诊区，随后通过叫号系统至准备大厅再分别进入对应的医用电子直线加速器机房，随后在机房内接受放射治疗，治疗完成按照原路径返回。

2、后装治疗机项目

(1) 工程设备

成都市郫都区人民医院拟于核医学科楼负二层肿瘤科建设 1 座后装治疗机机房，配备 1 台后装治疗机，内含 1 枚 ^{192}Ir 放射源，最大装源活度为 $3.70 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，用于腔内、组织间等肿瘤的放射治疗。常见的后装治疗机外观图见图 9-5。



图 9-5 常见后装治疗机外观图

后装治疗机由施源器、贮源系统、源传输系统以及控制系统组成。施源器是个直径为毫米级的管状物，管内可装球形的真源和假源，并有气动通道。后装治疗机治疗时则由传输管道连接贮源器，将源输送到预置于病员体内的施源器，按治疗计划由电脑自动控制进行照射治疗，照射完毕即自动将放射源收回到底源器内。

本项目拟购置的后装治疗机主要技术参数见表 9-3。

表 9-3 本项目后装治疗机技术参数情况一览表

指 标	技术参数
型号	未定
位置	负二层肿瘤科
放射源种类	^{192}Ir
放射源出厂活度	$3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ (10Ci)
放射源数量	1枚
衰变方式	β^- 衰变
半衰期	74d
γ 射线能量均值	0.37MeV
空气比释动能率常数	0.111 $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$
换源频率	2~3次/a
用途	放射治疗

(2) 工作原理

后装治疗机是采用后装技术（后装技术就是先在病人身上正确放置好施源器，然后在安全防护条件下用遥控方法自控制室将后装治疗机贮源室内的放射源通过管道送到病人身上的施源器内，其好处是放置施源器有充分的时间，并可用透视或摄片校正位置，从而保证了放射源的正确位置），使 γ 放射源在人体自然腔、管道或组织间驻留而达到预定的剂量及其分布的一种放射治疗手段。可用于宫体、宫颈、直肠、食道、口腔、鼻咽等腔内肿瘤的后装治疗，也可用于皮肤浅表面肿瘤的后装治疗。

(3) 工艺流程及产污环节

后装治疗机治疗流程为：

①病人经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者与放疗中心预约登记，以确定模拟定位和治疗时间。

②预约病人首先通过肿瘤科的模拟定位机进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状，确定治疗中心。定位操作过程类似于 X 射线影像诊断，工作人员隔室操作。

③确定肿瘤位置和形状后，物理人员根据医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系

统（TPS）制定治疗计划，该过程通常在电脑上完成。

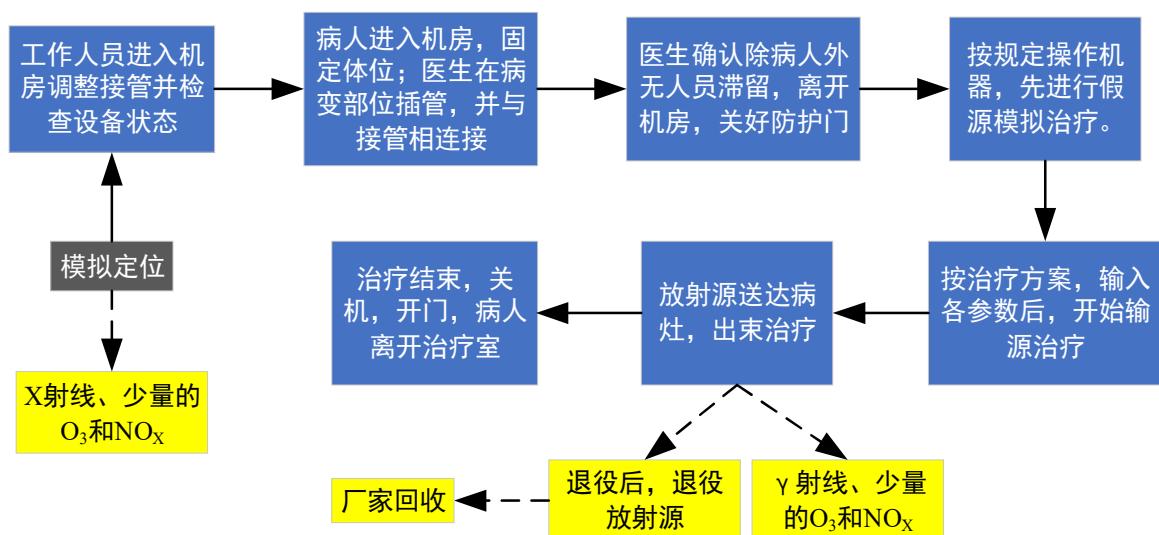
④治疗计划制定后，肿瘤病人在技术人员协助下，依据计划在治疗床上进行连接施源器，该过程在治疗机房内完成。

⑤安装施源器后，技术人员进入操作室，确定所有安全措施到位后，启动治疗机进行照射。

⑥照射完毕后，放射源返回后装治疗机贮源装置，技术人员协助病人离开机房，为下次照射做准备。

本项目后装治疗机贮源装置安装在机房内，驱动装置安装在控制室内，在对病人进行治疗时由辐射工作人员在控制室隔室遥控操作进行。

本项目后装治疗机治疗流程及产污环节见图 9-6。



（4）主要用途

后装治疗机主要用于肿瘤的放射治疗，根据医院预测的诊疗需要，本项目后装治疗机投入使用后，预计每天接诊病人不超过 20 人次/台，每位病人单次出束治疗时间不超过 3min，年工作 250d，则后装治疗机年出束运行时间约 250h。

（5）项目人员流动路径规划

①医生路径：本项目后装治疗机控制室位于机房西侧，辐射工作人员由西侧医疗电梯进入负二层肿瘤科，随后向东进入治疗区，再至后装治疗机控制室，工作时经由机房西侧入口处进入后装治疗机机房，对患者进行摆位等治疗准备后离开机房，在控制室内对后装治疗机设备进行隔室操作。

②患者路径：本项目患者由东侧患者电梯进入负二层肿瘤科候诊大厅，随后向西

进入诊断治疗区，再向南进入后装治疗准备大厅，再从后装治疗机机房西侧置入室准备后再向西进入机房内接受治疗，治疗结束后原路返回。

4、模拟定位机项目

（1）工程设备

成都市郫都区人民医院拟于核医学科楼负二层肿瘤科内新建 1 座模拟定位机机房，配置 1 台模拟定位机，用于放射治疗前的定位使用。模拟定位机主要由 X 射线机、诊断床、控制台、中央工作站和激光定位系统组成。本次拟购模拟定位机的具体参数见表 9-4。

表 9-4 本项目模拟定位机技术参数情况一览表

设备名称	管电压	管电流	分类	工作场所
模拟定位机	≤140kV	≤1500mA	III	模拟定位机机房

（2）工作原理

模拟定位机等 X 射线诊断装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的 靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。X 射线管基本结构如图 9-7 所示。

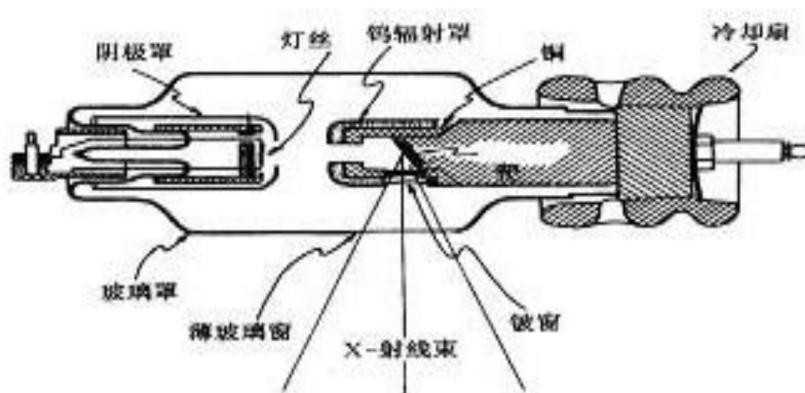


图 9-7 X 射线管基本结构示意图

（3）工艺流程及产污环节

病人经医生诊断后，预约登记诊断时间。受检者按约定时间在候诊区准备和等候。受检者进入机房在医务人员的指导下正确摆位。摆位完成后，除患者外，无关人员退出机房。工作人员检查无误后，即开启模拟定位机进行拍片/模拟定位。检查结束后，受检者离开机房。 模拟定位机诊断流程及产污环节见图 9-8。

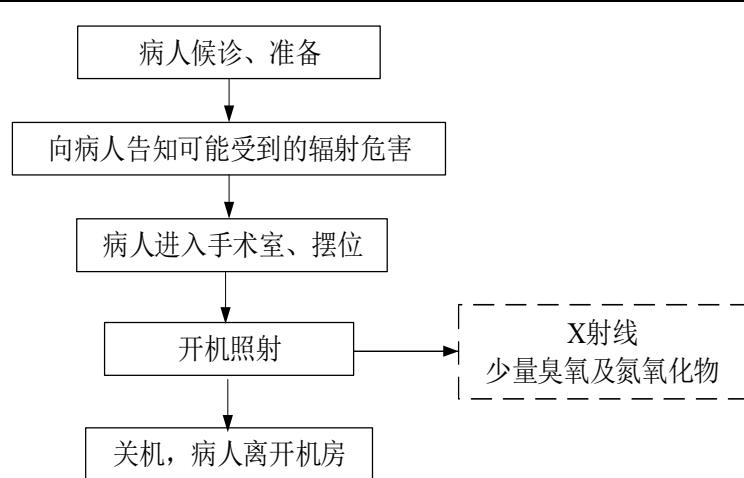


图 9-8 模拟定位机诊断流程及产污环节示意图

(4) 项目人员流动路径规划

①医生路径：本项目模拟定位机控制室位于机房南侧，辐射工作人员由西侧医护电梯进入负二层肿瘤科，再向东经由模拟定位机机房南侧入口处进入模拟定位机机房的控制室，诊断过程中再通过南侧防护门进入机房对患者进行摆位后离开机房，在控制室内对设备进行隔室操作。

②患者路径：本项目患者由东侧患者电梯进入负二层肿瘤科候诊大厅，随后向西进入诊断治疗区，再向北进入模拟定位机机房，由机房东侧防护门进入机房内接受诊断，诊断结束后原路返回。

上述肿瘤科的人流路径详见图 9-9。



图 9-9 本项目肿瘤科人流路径示意图

(二) 核医学科

1、工程设备

成都市郫都区人民医院拟在核医学科楼一层核医学科建设影像中心和核素治疗中心及其他辅助用房等，共新建两处乙级非密封放射性物质工作场所。

医院拟于核医学科-影像中心使用放射性同位素 ^{18}F 和 ^{68}Ga 开展 PET/CT 显像诊断项目，使用放射性同位素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展 SPECT/CT 显像诊断项目。于核医学科-核素治疗中心使用放射性同位素 ^{131}I 开展甲状腺吸碘率测定和甲癌治疗项目，使用放射性同位素 ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 开展骨转移治疗项目。本次拟新增辐射项目见表 9-5。

表 9-5 成都市郫都区人民医院核医学科新建项目情况一览表

非密封放射性物质 (影像中心)						
序号	核素	用途	单个病人最大用量 (mCi/人•次) /用药方式	日最大病人量 (人)	年最大病人量 (人)	日最大操作量 (Bq)
1	^{18}F	核素显像	10 (静脉注射)	15	3750	5.55×10^9
2	^{68}Ga		备药量: $4 \times 5.55 \times 10^9 \text{ Bq}$			2.22×10^{10}
3	$^{68}\text{Ge}-^{68}\text{Ga}$		10	3	750	1.11×10^9
4	$^{99\text{m}}\text{Tc}$		$1.85 \times 10^9 \text{ Bq}$ (发生器)			1.85×10^9
			20 (静脉注射)	30	750	2.22×10^{10}

表 9-5 成都市郫都区人民医院核医学科新建项目情况一览表 (续表)

非密封放射性物质 (核素治疗中心)						
序号	核素	用途	单个病人最大用量 (mCi/人•次) /用药方式	日最大病人量 (人)	年最大病人量 (人)	日最大操作量 (Bq)
1	^{131}I	甲吸测定	0.01 (口服)	5	250	1.85×10^6
2		甲癌治疗	150 (口服)	5	250	2.78×10^{10}
3	^{89}Sr	骨转移	4 (注射)	2	100	2.96×10^8
4	^{153}Sm	骨转移	40 (注射)	2	100	2.96×10^9

表 9-5 成都市郫都区人民医院核医学科新建项目情况一览表 (续表)

射线装置								
序号	射线装置名称	装置型号	数量	最大管电压	最大管电流	射线装置类别	活动种类	使用场所
1	PET/CT	未定	1	$\leq 140\text{kV}$	$\leq 1000\text{mA}$	III	使用	核医学科
2	SPECT/CT	未定	1	$\leq 140\text{kV}$	$\leq 1000\text{mA}$	III	使用	核医学科

参照《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:

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的特点，工作场所人流及物流具有自己的独立通道，不与其他楼层交叉等条件。

根据设计院提供的平面布局可知，成都市郫都区人民医院新建核医学科项目主要为放射性同位素的诊断与治疗，两个工作场所具有独立的监督区和控制区划分，场所

具有明显的界限。工作场所的工艺流程连续完整。且工作场所具有独立的辐射防护措施，工作场所人流及物流具有独立通道互不交叉。

因此，成都市郫都区人民医院本次新建的核医学科应作为两个独立的非密封放射性物质工作场所，场所具有独立的监督区、控制区划分。

（1）非密封放射性物质

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录C提供的放射性同位素工作场所放射性核素日等效最大操作计算方法和放射性同位素日最大操作量，可以计算出核素的日等效最大操作量。非密封源工作场所的分级判据如表9-6。

表 9-6 非密封放射性物质工作场所的分级

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

放射性同位素的日等效最大操作量根据其毒性组别、操作方式、放射源状态和实际日最大操作量确定。毒性组别和操作方式与放射源状态修正因子见表9-7、表9-8。

表 9-7 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 9-8 操作方式与放射源状态修正因子

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

$$\text{日等效用量} = \frac{\text{日操作量} \times \text{毒性修正因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \dots \text{公式 9-1}$$

根据本项目非密封放射性物质工作场所使用放射性同位素的毒性组别、操作方式和日等效操作量，确定出本项目非密封放射性物质工作场所级别。

表 9-9 本项目使用的放射性核素日等效最大操作量核算

核素	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)	合计
¹⁸ F	5.55×10^9	低毒 0.01	液态、很简单操作 10	5.55×10^6	4.29×10^7 Bq 影像中心
	2.22×10^{10}	低毒 0.01	液态、源的贮存 100	2.22×10^6	
⁶⁸ Ga	1.11×10^9	低毒 0.01	液态、简单操作 1	1.11×10^7	
⁶⁸ Ge- ⁶⁸ Ga	1.85×10^9	中毒 0.1	液态、源的贮存 100	1.85×10^6	
^{99m} Tc	2.22×10^{10}	低毒 0.01	液态、很简单操作 10	2.22×10^7	
¹³¹ I (甲吸)	1.85×10^6	中毒 0.1	液态、简单操作 1	1.85×10^5	3.10×10^9 Bq 核素治疗中心
¹³¹ I (甲癌)	2.78×10^{10}	中毒 0.1	液态、简单操作 1	2.78×10^9	
⁸⁹ Sr	2.96×10^8	中毒 0.1	液态、简单操作 1	2.96×10^7	
¹⁵³ Sm	2.96×10^9	中毒 0.1	液态、简单操作 1	2.96×10^8	

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 非密封源工作场所的分级原则, 结合表 9-9 计算结果可知成都市郫都区人民医院核医学科-影像中心日等效最大操作量为 4.29×10^7 Bq, 核医学科-核素治疗中心日等效最大操作量为 3.10×10^9 Bq, 均属于 $(2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9)$ Bq 的范围, 确定成都市郫都区人民医院本次新建的核医学科 2 处工作场所均为乙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 射线装置

1) PET/CT

PET/CT 是将 PET 与 CT 融为一体, 由 PET 提供病灶详尽的功能与代谢等分子信息, 而 CT 提供病灶的精确解剖定位。PET 系统的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。探测系统是整个正电子发射显像系统中的主要部分, 它采用的块状探测结构有利于消除散射、提高计数率。CT 主要有扫描部分、计算机系统、图像显示和存储系统组成, 其中扫描部分由 X 线管、探测器和扫描架组成。PET/CT 结构示意图见图 9-10。

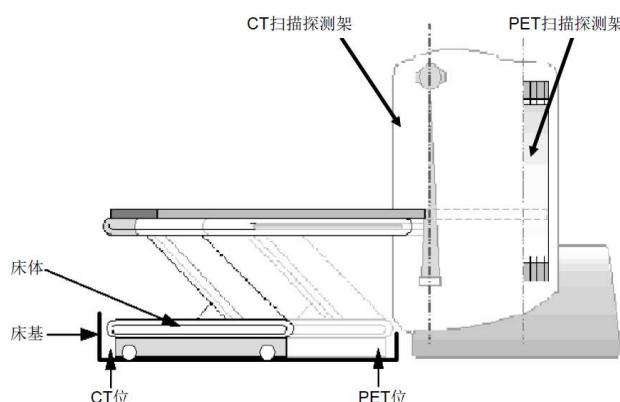


图 9-10 PET/CT 结构示意图

本项目拟新增的 1 台 PET/CT 主要设备技术参数见表 9-10。

表 9-10 核医学科 PET/CT 主要设备技术参数

指 标	技术参数
型号	未定
位置	核医学科-影像中心 PET/CT 机房
额定管电压	≤140kV
额定管电流	≤1000mA
X 射线球管固有滤过	不低于 2.5mmAl
X 射线球管到等中心距离	≥60cm
用途	显像

2) SPECT/CT

SPECT/CT 的基本结构分 3 部分, 即旋转探头装置、电子线路、数据处理和图像重建的计算机系统。SPECT/CT 将功能显像的 SPECT 与解剖显像的 CT 图像有机融合, 提高信噪比, 在获取衰减校正后的核医学影像同时与同机 CT 图像融合, 实现 SPECT 的高敏感性优势及 CT 的解剖准确性优势互补, 既可显示病变的血液及功能改变, 又可显示其解剖学影像, 有效提高病灶的检出能力和定位能力, 提高疾病诊断的准确率从而大大提高了诊断的效能。常见的 SPECT/CT 外观图见图 9-11。



图 9-11 常见 SPECT/CT 外观图

本项目拟新增的 1 台 SPECT/CT 主要设备技术参数见表 9-11。

表 9-11 核医学科 SPECT/CT 主要设备技术参数

指 标	技术参数
型 号	型号未定
位 置	核医学科-影像中心 SPECT/CT 机房
额定管电压	≤140kV
额定管电流	≤1000mA
X 射线球管固有滤过	不低于 2.5mmAl

X 射线球管到等中心距离	≥60cm
用途	显像

3、工作原理及工艺流程-PET/CT 部分

（1）PET/CT 工作原理

核医学的体内诊断是将放射性核素及其标记物注射到人体内后，由于机体功能和代谢变化，因而可以通过放射性核素及其标记物在体内分布和代谢来反映人体内的病理或生理变化。放射性核素进入人体后，特定的放射性核素按照自身的规律发生衰变，在此过程中发射一定能量的 γ 射线，采用特殊的探测装置可以在人体外探测到体内放射性核素的分布，就能准确的观察到体内的病理或生理变化过程，为医学研究与临床诊断提供可靠信息。

PET 的成像技术是利用带正电子的放射性核素注入人体内产生的湮没辐射 γ 光子构成影像。正电子只能瞬态存在，很快与组织中的负电子结合湮没辐射产生两个能量相等、方向相反的 γ 光子。正电子放射性核素可构成人体各部位的任何影像，包括平面影像、动态影像、断层影像及全身影像。湮没辐射产生的 γ 光子互成 180° ，提供了很好的空间定位。正电子成像一般不需要机械准直器而采用电子准直，大大提高了探测灵敏度，改善了空间分辨率。正电子断层显像主要用于心血管疾病、脑及神经疾病和肿瘤的诊断，对肿瘤的良、恶性鉴别诊断、分期、化疗和放疗后疗效观察及判断肿瘤病灶转移与复发均有重要价值。近年来，为获得清晰的成像，又发展了与 X 射线 CT 融合的 PET/CT、PET/MR 等设备。常见的 PET/CT 外观图见图 9-12。



图 9-12 常见的 PET/CT 外观图

本项目 PET/CT 拟使用放射性同位素 ^{18}F 配合新增的 PET/CT 进行诊断治疗。

当某种放射性核素或其标记物 ^{18}F 通过注射等方式进入体内后，依其化学及生物学特性不同，随血流等进入某些特定的组织器官，参与或模仿某些生命物质在人体内的病理生理、引流代谢的过程。由于正常组织和病变组织在这个过程中的差异，使其聚集这种放射性核素或其标记物的能力发生了变化。利用 PET 来探测这种放射性核素发射的 γ 射线在体内的分布状态并还原成图像，其影像不仅可以显示脏器和病变的位置、形态、大小等解剖结构，更重要的是可以显示脏器的功能、代谢情况，提供有关脏器的血流、功能、代谢和引流等方面定性的和定量的信息。而血流、功能和代谢的异常，常是疾病的早期变化，出现在形态结构发生改变之前。因此，PET 放射性核素显像有助于疾病的早期诊断。

（2）锗镓发生器淋洗工作原理

本项目 ^{68}Ga - ^{68}Ge 发生器一般从国内公司定期采购，其自带铅屏蔽套，供货商发货至医院。由工作人员接收后，暂时存放于储源室内。本项目拟购的 ^{68}Ga - ^{68}Ge 发生器最大规格为 50mCi/柱，单柱发生器一般使用约 1 年后退役；退役的发生器暂存于放射性废物库内，由供货商统一定期回收。 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器的结构示意及外观见图 9-13。



图 9-13 ^{68}Ge - ^{68}Ga 发生器外观图

本项目显像诊断使用的 ^{68}Ga 由锗镓发生器淋洗而成，该发生器属于裂变色层发生器，基本部件是钼酸锆柱/活化氧化铝柱、淋洗系统和用于保护工作人员的辐射屏蔽套。 ^{68}Ga 由活化氧化铝柱内 ^{68}Ge 不断裂变产生，并被活化氧化铝柱吸附，当加入适当

的淋洗剂时， ^{68}Ga 便以 $^{68}\text{GaO}^{4-}$ 的形式被淋洗出来，整个过程称为“挤奶”。为了使用方便，一套发生器除基本部件外，常附加子体核素溶液接收瓶（即负压瓶）和一定量的淋洗剂（生理盐水）。由于母体核素的不断衰变就不断地产生子体核素，因而核素发生器可以反复淋洗制得子体核素。

（3） ^{68}Ga 制备工作流程

本项目放射性同位素 ^{68}Ga 由工作人员通过发生器自行进行制备，其制备、注射和显像流程如下：

A：将生理盐水瓶插入发生器的双针，一分钟后整体拔下外有防护罐的负压瓶，即制得淋洗液，制得的淋洗液贮存于外有防护罐的负压瓶之中。通常整个淋洗过程约需两分钟。

B：测量活度：测量活度在手套箱内进行，由负责注射的工作人员完成，手套箱内配置有用于活度测量的活度计，工作人员用注射器吸取少量淋洗液，测量其放射性活度，得出该瓶淋洗液的比活度，同时可测量淋洗液的纯度。

C：标记：标记 ^{68}Ga 在手套箱内进行，工作人员同测量活度的人员为同一人，用于标记的冻干药盒在标记操作前经完整性检查后传递至手套箱内。用注射器将已测量好活度的淋洗液迅速转移至冻干药盒，并充分摇匀，稀释到预设体积。

D：给药试验、测定：注射护士手持带铅套的注射器，在注射铅玻璃屏的屏蔽下为病人注射，病人注射完药物后进入注射后候诊室内观察等待，等待结束后注射病人进入 PET/CT 机房进行显像诊断，诊断结束后病人进入留观室休息一定时间后可直接离开。本项目 PET/CT 拟使用的放射性核素种类及其特性见表 9-12。

表 9-12 放射性核素特性一览表

核素名称	半衰期	衰变类型及分支比（%）	主要 α 、 β 辐射能量 (keV) 与绝对强度 (%)	主要 γ 、X 射线能量 (keV) 与绝对强度 (%)	周围剂量率当量率常数 (裸源) ^① ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)
^{18}F	109.8min	β^+ , EC	0.63 (+)	0.511	0.143
^{68}Ga	68.3min	β^+ , EC	1.9 (+)	0.511	0.134
^{68}Ge	288d	EC (100)	-	0.0011, 0.009225, 0.009252, 0.0103	-

注：①该数据来源于《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）。

(4) 工作流程、产污环节及污染因子

PET/CT 诊断具体工作流程如下：

- 1) 接收患者，开具 PET 诊断单并告知患者诊断过程存在辐射危害；
- 2) 医生根据病情确定使用核素的类别和剂量；
- 3) 病人通过注射将放射性药物摄入。在药品摄入过程中存在 γ 射线污染，同时会产生放射性废水、固废(注射器、棉球、药品盒)；
- 4) 病人注射药品后通过仪器进行器官显像和病情检查。此过程病人带有 γ 射线。

PET/CT 系统诊断工艺流程及产污位置图如图 9-14 所示。

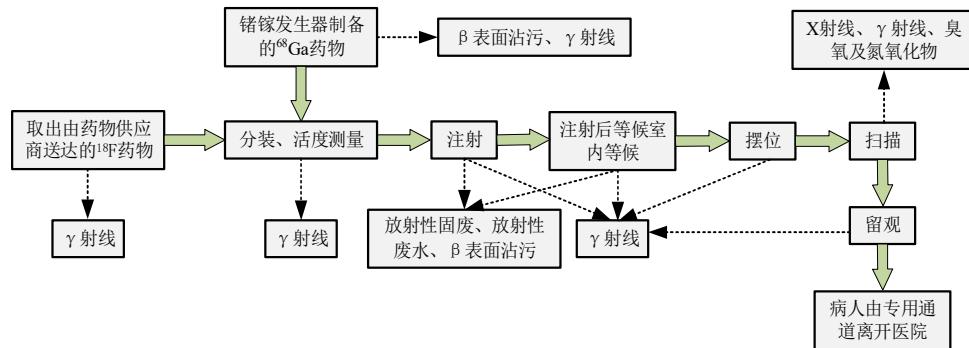


图 9-14 本项目核医学诊断流程及产污环节示意图

因此，用 ^{18}F 等核素标记 PET 显像主要环境影响为分装、注射对工作人员产生的外照射；分装、注射过程对工作台面、地面等造成的表面污染；操作过程产生的放射性固体废物，如使用放射性药物的注射器、注射针头、可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物；操作过程产生的放射性废水，如洗涤废水、注射放射性药物患者的排泄物，PET/CT 扫描时产生的 X 射线。

4、工作原理及工艺流程-SPECT/CT 部分

(1) 工作原理

SPECT 即单光子发射计算机断层成像术 (Single-Photon Emission Computed Tomography)，本项目 SPECT 利用发射单光子的核素药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行检查。SPECT 的基本结构分三部分，即旋转探头装置、电子线路、数据处理和图像重建的计算机系统。SPECT 除显示肿瘤病灶外，尚可显示局部脏器功能的变化，如：化疗后左心功能、肾功能的改变等。本项目 SPECT 使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性核素，将放射性药物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 引入人体，经代谢后在脏器内外或病变部位和正常组织之间形成放射性浓度差异，通过计算机处理再成像。SPECT 的基本成像原理是 γ 照相机探头的每个灵敏点探测沿一条投影线进来的 γ 光子，其测量值代表人体在该投影线上的放射性之和。

SPECT/CT 的工作原理是把 SPECT 和 CT 放在一起，利用体外的 X 射线穿透人体而获得三位解剖图像的断层成像技术，通过 SPECT 扫描和 CT 扫描重边，联合扫描，使两者的硬件和软件有机地结合在一起。工作时，其 CT 球管发射 X 线穿透人体组织，其探测器获得的数据不仅用于重建 CT 图像，同时提供给 SPECT 作为衰减校正的参数，在此基础上再进行 SPECT 图像的重建。所显示的图像为两者图像的融合的结果，即细胞的代谢显像和所处的解剖位置。SPECT/CT 的工作原理是把 SPECT 和 CT 放在一起，利用体外的 X 射线穿透人体而获得三位解剖图像的断层成像技术，通过 SPECT 扫描和 CT 扫描重边，联合扫描，使两者的硬件和软件有机地结合在一起。工作时，其 CT 球管发射 X 线穿透人体组织，其探测器获得的数据不仅用于重建 CT 图像，同时提供给 SPECT 作为衰减校正的参数，在此基础上再进行 SPECT 图像的重建。所显示的图像为两者图像的融合的结果，即细胞的代谢显像和所处的解剖位置。

本项目 SPECT/CT 拟使用的放射性核素种类及其特性见表 9-13。

表 9-13 放射性核素特性一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	α/β 最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	周围剂量率当量率常数 (裸源) ^① ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)
^{99m}Tc	6.02h	同质异能跃迁	-	0.140	0.0303

注：①该数据来源于《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）。

（2）工作流程、产污环节及污染因子

成都市郫都区人民医院本次核医学科-影像中心 SPECT 诊断区拟使用的放射性药物 ^{99m}Tc 购自有资质供货商，其操作流程如下：医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，向专业供应商订购，供应商根据医院预约的时间和用量定时（患者就诊前）将药物从药物通道送达核医学科-影像中心 SPECT 诊断区的分装室内，医院指定专人负责药物的接收和登记，并当天用完。

SPECT/CT 核素显像是将放射性核素及其标记物注射进入到人体内。由于机体功能和代谢变化，因而可以通过放射性核素及其标记物在体内的分布和代谢来反映人体内的病理和生理变化。放射性药物进入人体后，特定的放射性药物按照自身的规律发生衰变，在此过程中可发射一定能量的 γ 射线，利用 SPECT/CT 可以在人体外探测到体内放射性核素的分布，从而能准确的观察到体内的病理和生理变化过程，为临床诊断提供可靠信息。

患者在接到通知后先进行埋针操作经缓冲间再至 SPECT/CT 注射室注射放射性药

物。医护人员在手套箱内根据患者用药情况将药物分装至带铅套的注射器内或者容器内，测定活度，经校对无误后，在注射铅玻璃屏的屏蔽下为患者注射药物。注射完毕后的注射器及患者服药后的一次性器皿放入专用废物铅桶内。每次分装过程中近距离接触^{99m}Tc药物的时间保守按2min、注射过程按1min估算。

患者根据注入的^{99m}Tc药物特性，在SPECT/CT注射后等候室内静坐或静躺片刻，待药物代谢至靶器官，再进入SPECT/CT机房，经医护人员摆位后，接受SPECT/CT的扫描，每次扫描约10~20分钟。扫描完成后，患者在留观室留观一段时间后，若无其他情况，经缓冲间从患者专用通道离开。SPECT/CT诊断项目工作流程及产污环节分析见图9-15。

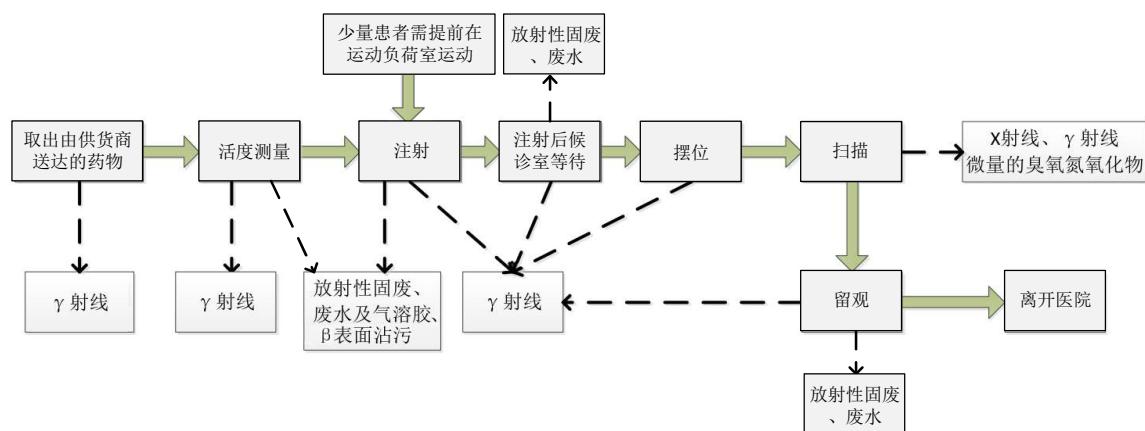


图9-15 SPECT/CT诊断项目工作流程及产污环节分析示意图

因此，在SPECT/CT核素显像检查过程中，主要环境影响为分装、给药对工作人员产生的外照射；分装、给药过程对工作台面、地面等造成的表面污染；操作过程产生的放射性固体废物，如使用放射性药物的注射器、注射针头、可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物；操作过程产生的放射性废水，如洗涤废水、使用放射性药物患者的排泄物。

5、工作原理及工艺流程-¹³¹I甲状腺吸碘功能测定（甲功测定）部分

（1）工作原理

甲状腺吸¹³¹I功能试验是了解甲状腺碘代谢的常用方法。甲状腺具有摄取和浓聚碘的能力，碘参与甲状腺激素合成、分泌的全过程。在空腹条件下，口服放射性¹³¹I后，经胃肠吸收并随血流进入甲状腺，并迅速被甲状腺滤泡上皮细胞摄取，其摄取的量与速度与甲状腺的功能密切相关。因此，利用甲状腺功能测定仪获得不同时间的甲状腺摄碘率，以此来评价甲状腺的功能状态。

本项目拟使用的放射性核素种类及其特性见表9-14。

表 9-14 放射性核素特性一览表

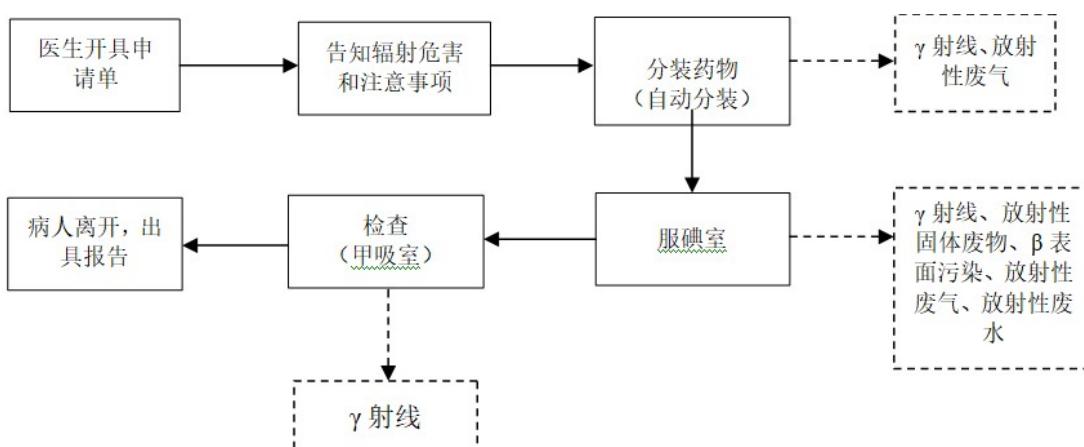
核素名称	半衰期	衰变模式	α/β 最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	周围剂量率当量率常数 (裸源) ^① ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)
^{131}I	8.04d	β^- (100)	0.6065	0.364480	0.0595

注: ①该数据来源于《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)。

(2) 工作流程、产污环节及污染因子

医院根据与病人预约情况提前向药物供货商订购放射性同位素 ^{131}I ，由药物供货商负责药物运输至储源室，医生通知患者进入服药室，按配送的药物直接给每个病人口服。

该院预计甲状腺吸碘功能测定病例每天最多 5 例，预计每名患者所使用 ^{131}I 的活度不超过 $3.7 \times 10^5 \text{Bq}$ ($10\mu\text{Ci}$)，患者用药后进行一定时间的观察，如无异常情况，患者当天就可以离开医院。甲状腺吸碘功能测定流程及产污环节见图 9-16。

图 9-16 ^{131}I 甲状腺吸碘功能测定项目工作流程及产污环节分析示意图

6、工作原理及工艺流程- ^{131}I 甲癌治疗部分

(1) 工作原理

放射性核素 ^{131}I 可以高度选择性聚集在分化型甲状腺癌及转移灶， ^{131}I 衰变时发射出的射程很短的 β 射线和能量跃迁时发出的 γ 射线，从而对病变组织进行内照射治疗，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或破坏病变组织的目的，而邻近的正常组织的吸收剂量很低，从而达到治疗目的。

(2) 工作流程、产污环节及污染因子

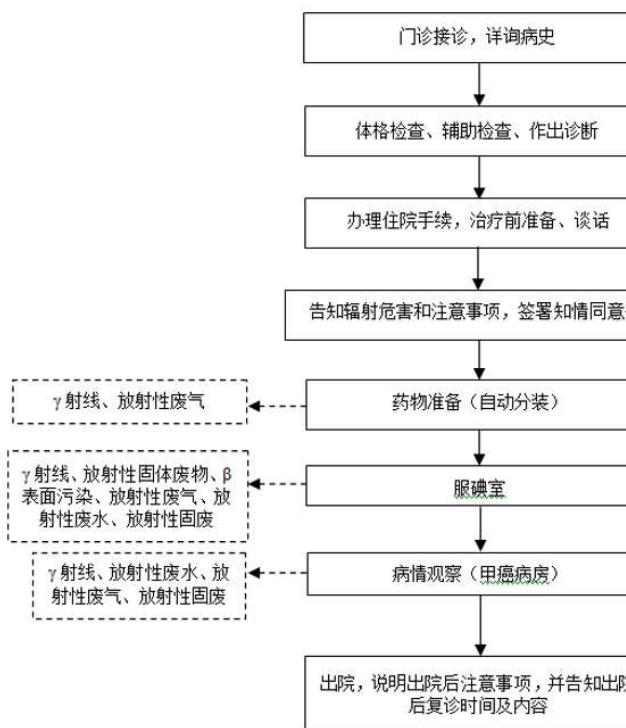


图 9-17 ^{131}I 甲癌治疗项目工作流程及产污环节分析示意图

7、工作原理及工艺流程- ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 治疗骨转移项目

(1) 工作原理

常见的恶性肿瘤中乳腺癌、肺癌和前列腺癌等常发生骨转移。它们发生骨转移时，肿瘤细胞释放破骨细胞激活因子，后者刺激破骨细胞对骨质的吸收，导致骨溶解破坏的发生。同时，肿瘤细胞能分泌一些致病介质，如前列腺素、乳酸等，导致顽固性疼痛。

目前，骨转移癌引起的疼痛一般利用放射性药物治疗，如 $^{89}\text{SrCl}_2$ 注射液。 ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 是一种亲骨性放射性核素，进入体内后同钙一样参加骨矿物质的代谢过程，静脉给药后，恶性肿瘤骨转移病灶内的摄取率大于正常骨组织的 2~25 倍，并滞留在癌灶中，发射出 β^- 射线，利用其辐射效应杀伤癌细胞，缩小病灶，起到良好的镇痛作用。本项目拟使用的放射性核素种类及其特性见表 9-15。

表 9-15 放射性核素特性一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	α/β 最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	周围剂量率当量率常数 (裸源) ^① ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)
^{89}Sr	50.53d	β^-	0.5846	-	-
^{153}Sm	46.5h	β^-	0.881	0.042, 0.047, 0.103	0.072

注：①该数据来源于《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)。

(2) 工艺流程及产污环节

医院根据与病人预约情况提前向药物供货商订⁸⁹Sr 和¹⁵³Sm 注射液，由药物供货商负责将药物运输至储源室内，患者先在护士站登记并提前如厕，然后医生通知患者进入注射室，按配送的药物直接给每个病人注射，不用稀释分装。⁸⁹Sr 和¹⁵³Sm 注射液按需订购暂存手套箱中。

该院预计使用⁸⁹Sr 病例每天最多 2 例，预计每名患者所使用⁸⁹Sr 的活度不超过 $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ (4mCi)，患者用药后进行一定时间的观察，如无异常情况，患者随即就可以离开医院。该院预计使用¹⁵³Sm 病例每天最多 2 例，预计每名患者所使用¹⁵³Sm 的活度不超过 $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$ (40mCi)，患者用药后进行一定时间的观察，如无异常情况，患者随即就可以离开医院。⁸⁹Sr 和¹⁵³Sm 治疗流程及产污环节见图 9-18。

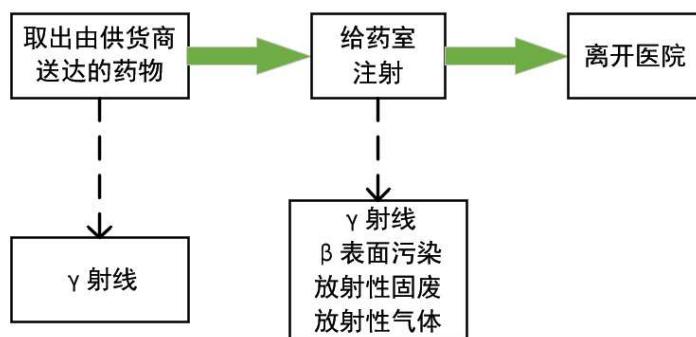


图 9-18 ⁸⁹Sr 和¹⁵³Sm 治疗骨转移项目工作流程及产污环节分析示意图

8、项目人流和物流的路径规划

医院本次新建的核医学科位于核医学科楼一层，结合本项目的工艺流程，本次核医学科的人流、物流路径规划具体如下：

(1) 影像中心人员路径：

①工作人员路径：

核医学科-影像中心的护士由核医学科西侧的医生办公室等区域经医生通道再往东向的卫生通过间分别进入分装室，在储源室内取出所需注射的放射性药物至手套箱，在手套箱内完成分装等操作，再至注射窗口给患者施药。该路径上卫生通过间内配置有表面污染监测设备，设置有感应式洗手池和淋浴设施，分装室内产生的固体废弃物暂存于废物桶内，随后转移至放射性废物暂存间内。

核医学科技师同样经医生通道至控制室，在控制室内完成患者的显像扫描工作。

②患者路径：

显像患者在东侧候诊区候诊，经护士叫号后经东侧患者通道经缓冲间来到注射窗

口，注射完药物后至对应的注射后候诊室内休息候诊，再进入 PET/CT 机房或 SPECT/CT 机房进行显像检查，检查完毕后在留观室内休息片刻，再至出口缓冲区经表面污染水平检测后离开。该路径上，患者入口和患者出口处均设置有缓冲间，仅允许患者单向通行。该诊断区域内设有专用卫生间，患者在专用卫生间内如厕，不随意走动，诊断期间，各自根据叫号系统提示到相应的位置进行诊断检查。

③工作场所拟使用的放射性药物运送路径：

本项目影像中心所使用的放射性药物均由有资质单位供应，放射性药物会在患者就诊前送至核医学科，在医院对接人对接后经卫生通过间送至储源室内暂存。

④放射性废物路径：

本项目影像中心产生的放射性废物分为 2 部分，第一部分主要是影像中心分装室内产生的放射性废物，该部分废物先暂存在分装室的铅废物桶内，随后转移至核医学科影像中心出口处的放射性废物暂存间内暂存，待暂存至一定期限后转移至医院的医疗废物暂存间内。

第二部分放射性废物主要是注射后等候室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、和留观室等功能房间患者就诊时产生的少量废物，该部分放射性废物会在患者就诊结束后由专业人员打扫并集中收储至核医学科影像中心出口处的放射性废物暂存间内暂存，待暂存至一定期限后转移至医院的医疗废物暂存间内。

(2) 核素治疗中心人员路径：

①工作人员路径：

核医学科-核素治疗中心的护士由核医学科西侧的医生办公室等区域经卫生通过间进入分装室，在自动分装仪上给患者施药。该路径上卫生通过间内配置有表面污染监测设备，设置有感应式洗手池和淋浴设施，分装室内产生的固体废弃物暂存于废物桶内，随后转移至西侧放射性废物暂存间内。

②患者路径：

治疗患者在经患者通道通过缓冲间来到服药窗口，口服完药物后至对应的治疗室内住院（一般住院 3~5 天），治疗完毕后再至出口缓冲区经表面污染水平检测后离开。该路径上，患者入口和患者出口处均设置有缓冲间，核素治疗中心各治疗室内设有专用卫生间，患者在专用卫生间内如厕，不随意走动，治疗期间，各自根据叫号系统提示到取餐处取餐。

③工作场所拟使用的放射性药物运送路径:

本项目核素治疗中心所使用的放射性药物均由有资质单位供应，放射性药物会在患者就诊前送至核医学科，在医院对接人对接后经药物通道送至自动分装仪内暂存。

④放射性废物路径:

本项目核素治疗中心产生的放射性废物也分为 2 部分，第一部分主要是分装室内产生的放射性废物，该部分废物先暂存在分装室的铅废物桶内，随后转移至核医学科核素治疗中心西侧的放射性废物暂存间内暂存，待暂存至一定期限后转移至医院的医疗废物暂存间内。

第二部分放射性废物主要是各治疗室患者住院期间时产生的少量废物及更换下来的被服等，该部分放射性废物会在患者住院结束后由专业人员打扫并集中收储至核医学科出口处的放射性废物暂存间内和污染被服间内暂存，待暂存至一定期限后转移至医院的医疗废物暂存间内。

本项目工作场所的病人、医护人员及药物等流动路线见图 9-19。

本次新建的 2 处非密封放射性物质工作场所相关配套布局能够保证各项工作程序沿着相关房间单向开展，最大限度的减少了人员的流动性，有助于实施工作程序；医护人员与病患有各自独立的通道，本次 2 处乙级非密封放射性物质工作场所布局均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中关于临床核医学工作场所的要求。

图 9-19 本项目核医学科人流物流路径示意图（影像中心和核素治疗中心）

(三) 介入诊断项目

1、工程设备

成都市郫都区人民医院本次拟新增的 2 台 DSA 均位于核医学科楼二层介入科内。拟配备的 2 台 DSA (型号未定, 管电压 $\leq 125\text{kV}$, 管电流 $\leq 1250\text{mA}$) , 用于医学诊断及介入治疗。

DSA 因其整体结构像大写的 “C” , 因此也称作 C 型臂 X 光机, DSA 由 X 线发生装置 (包括 X 射线球管及其附件、高压发生器、X 射线控制器等) 和图像检测系统 (包括光栅、影像增强管、光学系统、线束支架、检查床、输出系统等) 组成。常见的 DSA 外观图见图 9-20。



图 9-20 常见 DSA 外观图

本项目拟新增的 2 台 DSA 主要设备技术参数见表 9-16。

表 9-16 本项目 DSA 主要设备技术参数

指 标	技术参数*
型 号	型号未定
额定管电压	$\leq 125\text{kV}$ (单管头)
额定管电流	$\leq 1250\text{mA}$
焦皮距	$\geq 45\text{mm}$
滤过	有用线束的总滤过 0.5mmCu
照射野	最小照射野: $8\text{cm} \times 8\text{cm}$; 平板探测器范围: $30\text{cm} \times 38\text{cm}$

注: *设备技术参数根据建设单位招标意向及主流供货商的常用参数确定, 实际采购设备的源强参数不大于表列源强参数且 “总滤过条件” 相应的滤过效果不低于表中的 “滤过条件” 。

2、DSA 的工作原理

数字减影血管造影 (Digital Subtraction Angiography, DSA) 是 20 世纪 80 年代继

CT 之后出现的一项医学影像学新技术，是电子计算机图像处理技术与传统 X 线血管造影技术相结合的一种新的检查方法。可以满足心血管、外周血管的介入检查和治疗，以及各部位非血管介入检查与治疗。介入诊断与治疗是指医生在 DSA 图像的引导下，通过皮穿刺途径或通过人体原有孔道将导管或器械插入病变部位或注射造影剂，进行诊断和治疗。

DSA 是影像增强器技术、电视技术和计算机科学技术相结合的产物，是应用最多的数字化 X 射线透视设备。DSA 主要由带有影像增强器电视系统的 X 射线诊断机、高压注射器、电子计算机图像处理系统、治疗床、操作台和多幅照相机组成。

DSA 是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，它是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同的信号，得知一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来。且对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示；由于造影剂用量少，浓度低，损伤小、较安全。通过数字减影血管造影系统处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

3、工艺流程及产污环节

DSA 在进行曝光时分为检查和介入治疗两种情况，产污图见图 9-21：

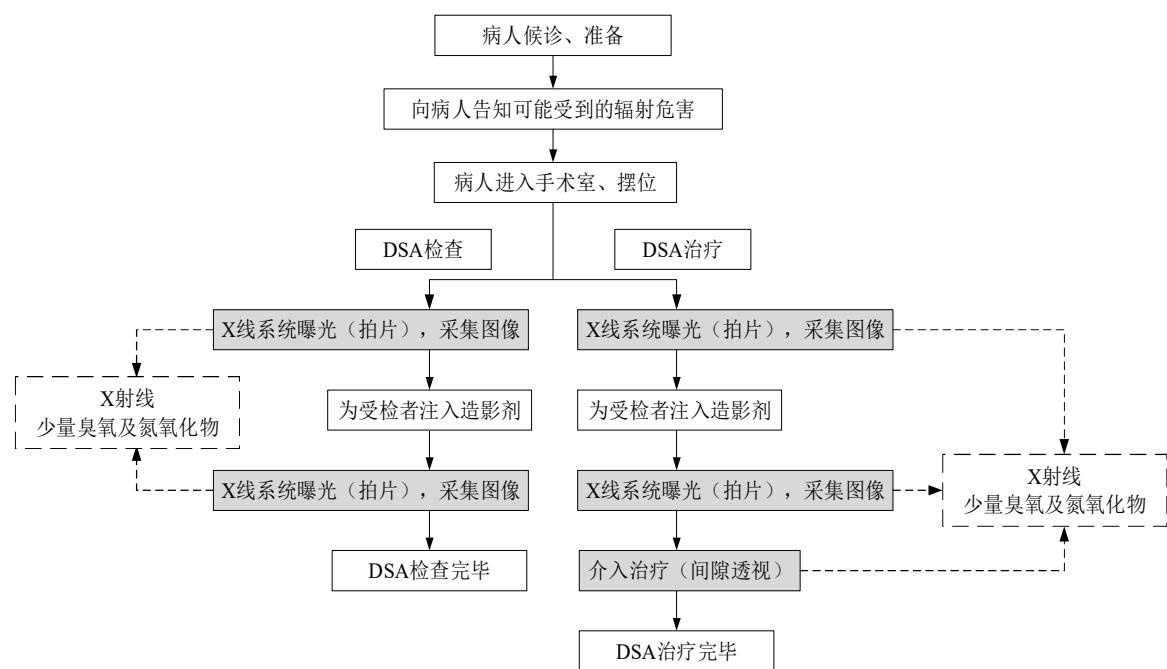


图 9-21 DSA 检查与治疗流程及产污环节示意图

①DSA 检查

DSA 检查采用隔室操作方式，通过控制 DSA 的 X 线系统曝光，采集造影部位图像。具体方式是受检者位于检查床上，医护人员调整 X 线球管、人体、影像增强器三者之间的距离，然后进入控制室，关好防护门。医师、操作人员通过控制室的电子计算机系统控制 DSA 的 X 系统曝光，采集造影部位图像。医师根据该图像确诊患者病变的范围、程度，选择治疗方案。

②DSA 治疗

医师采取近台同室操作方式，通过控制 DSA 的 X 线系统曝光，对患者的部位进行间歇式透视。具体方式是受检者位于手术床上，介入手术医师位于手术床一旁，距 DSA 的 X 线管 0.3~1.2m 处。介入治疗中，医师根据操作需求，踩动手术床下的脚踏开关启动 DSA 的 X 线系统进行透视，通过显示屏上显示的连续画面，完成介入操作。DSA 机房内配备个人防护用品（如铅衣、铅围裙、铅围脖、铅眼镜等），同时手术床旁设有床下铅帘和悬吊铅屏风。

4、常用工况及主要用途

DSA 主要用于介入止血、肿瘤介入治疗、心脏、神经等诊断、介入手术等。

工作负荷：根据医院提供的资料，单台 DSA 年工作负荷约 500 台，年出束时间为 92h（透视约 83.3h，拍片约 8.3h）。

常用工况：本项目各 DSA 正常运行时，透视模式的工况为（60~80）kV/（5~20）mA，拍片模式的工况为（60~80）kV/（100~500）mA。

5、项目人员流动路径规划

①患者路径：本项目患者经缓冲间再进入介入科的清洁走廊区域，再进入对应的 DSA 机房内接受诊断治疗。

②医生路径：本项目辐射工作人员经由介入科北侧更衣间进入介入科清洁区，再沿清洁走廊进入 DSA 机房的控制室，诊断过程中再通过控制室防护门进入机房对患者进行近台手术或在控制室内对设备进行隔室操作。

③污物路径：本项目 2 座 DSA 机房西侧墙体上均设有污物传递窗，手术过程中产生的污物经传递窗传送至污物通道，再经西侧的污物分类间进行分类处理，最终由污物电梯转移至医院的医疗废物暂存间暂存，随后交有资质单位处置。

介入科 DSA 的人流物流路径详见图 9-22。

图 9-22 本项目介入科 DSA 人流路径示意图

污染源项描述

一、施工期污染源

1、废水

施工期少量废水主要来自以下几个方面：

①施工场地废水；②施工人员生活污水。

2、扬尘

施工期的大气污染物主要是地面扬尘污染，污染因子为 TSP，为无组织排放。施工产生的地面扬尘主要来自三个方面，一是墙体装修扬尘；二是来自建筑材料包括水泥、沙子等搬运扬尘；三是来自来往运输车辆引起的二次扬尘。

3、固体废物

施工期产生的固体废弃物主要为施工人员的生活垃圾及废弃的各种建筑装饰材料等建筑垃圾。

4、噪声

主要是使用施工机械和装修设备产生的噪声。

二、营运期污染源

（一）肿瘤科

1、医用电子直线加速器项目

（1）电离辐射

本项目医用电子直线加速器为II类射线装置，在开机状态下主要辐射为 X 射线，关机状态不产生 X 射线。本项目拟配备的医用电子直线加速器的 X 射线最大能量均为 15MV，15MV 时，1m 处最大输出剂量率为 6Gy/min。

当医用电子直线加速器按电子束模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗病人。产生的电子属初级辐射，贯穿物质时受物质库仑场的影响，贯穿深度有限。医用电子直线加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在医用直线加速器电子束治疗时间时，电子束对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗。因此，本项目医用电子直线加速器开机期间，产生的 X 射线为主要辐射环境汚染因素。

（2）中子

当医用电子直线加速器的 X 射线能量大于 10MV 时，光子与医用电子直线加速器的靶、准直器、均整器及电子束和光子束通道上的其他物质相互作用发生光核反应所产生的中子。包括直接光中子以及直接光中子与加速器厅壁作用发生弹性散射和非弹性散射后产生的散射中子。

中子的辐射生物效应远高于 X、 γ 射线，因此在高能医用电子直线加速器的防护设计中需要考虑中子的防护。一般情况下，治疗室墙体、天花板的屏蔽厚度满足了对 X 射线的防护要求时也能够满足对污染中子的防护要求，但要特别注意散射中子的防护，散射中子的影响主要考虑对防护门的影响。

（3）固体废物

本项目医用电子直线加速器工作过程不产生固体废物；工作人员工作中会产生少量的生活垃圾和办公垃圾。

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，机器退役（约使用 10 年）后更换下来的废靶件等应作为放射性废物处理。

（4）感生放射性

当入射电子加速电压大于 10MV，它发射的强电离辐射照射在加速器设备的结构材料，治疗室内的各种设备、器械，治疗室的墙壁等物质上时，都可能使它们活化而产生感生放射性。感生放射性主要包括加速器结构材料的感生放射性、空气活化产生的放射性气体和冷却水的感生放射性。感生放射性的剂量水平与加速器加速电子的能量、束流、靶体物质、照射时间等因素有关。它不与加速器辐射的发射同步。

加速器设备（特别是加速器管）材料中主要元素铝、不锈钢和铜，它们由于 (n, r) 反应生成的子体核素寿命很短，在加速器刚停机的时候影响最大。加速器机房内空气活化产生的放射性核素，主要有 ^{11}C 、 ^{15}O 、 ^{16}N 、 ^{41}Ar ，半衰期较小，范围从 7.3 秒至 1.83 小时，长半衰期的核素产生率很低，这些放射性气体在空气中存在时间较短。冷却水中被活化而形成的放射性核素主要是 ^{15}O 和 ^{16}N ，它们的半衰期为 2.1min 和 7.3s，所以正常运行时被活化的水对人体的危害是不重要的，但在停机后立即检修水系统时，活化的放射性核素可能对人体造成危害。

（5）废气

本项目医用电子直线加速器治疗过程中产生的 X 射线，会使治疗室内的空气电

离，产生少量臭氧和氮氧化物。

（6）废水

本项目医用电子直线加速器冷却系统采用蒸馏水，内循环使用不外排，不会产生废水。新增的工作人员会产生少量生活废水。

（7）噪声

本项目噪声主要来源于空调系统的室外机以及屋面的通排风系统的风机，本项目所使用的通排风系统为低噪声节能排风机，其噪声值低于 60dB(A)，噪声较小；空调系统的室外机其噪声值低于 58dB(A)，噪声较小。

2、后装治疗机项目

（1）电离辐射

本项目后装治疗机内含 ^{192}Ir 放射源一枚，出厂活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，属III类放射源。 ^{192}Ir 放射源主要产生 γ 射线对周围环境造成辐射影响。

（2）废气

在设备开机运行过程中，治疗室内的空气在电离辐射作用下产生臭氧及氮氧化物等有害气体。

（3）固体废物

后装治疗机使用的放射源 ^{192}Ir 随着核素的自然衰变， ^{192}Ir 放射源的活度不断降低，当 ^{192}Ir 放射源使用到一定年限后，会产生退役的 ^{192}Ir 放射源，退役 ^{192}Ir 放射源由原厂家回收处置。

辐射工作人员工作中会产生的少量的生活垃圾和办公垃圾。

（4）废水

本项目工作人员工作中会产生生活污水及医疗废水。

（5）噪声

本项目噪声主要来源于空调系统的室外机以及屋面的通排风系统的风机，本项目所使用的通排风系统为低噪声节能排风机，其噪声值低于 60dB(A)，噪声较小；空调系统的室外机其噪声值低于 60dB(A)，噪声较小。

3、模拟定位机项目

医院拟在模拟定位机机房内拟新增使用 1 台模拟定位机（最大管电压 140kV、最大管电流 1500mA）用于放射诊断，本项目模拟定位机采用先进的数字成像技术，不

使用显影液、定影液和胶片，因此不会产生废显影液、废定影液和废胶片。模拟定位机出束时，产生的 X 射线会对周围产生辐射影响，辐射途径为外照射。X 射线随模拟定位机的开、关而产生和消失。

（二）核医学科

（1）电离辐射

医院拟在 PET/CT 机房内新增使用 1 台 PET/CT（最大管电压 140kV、最大管电流 1000mA），拟在 1 座 SPECT/CT 机房内拟各新增使用 1 台 SPECT/CT（最大管电压 140kV、最大管电流 1000mA）均用于核素诊断，均属于III类射线装置。

核医学科-影像中心拟使用放射性同位素 ^{18}F （年最大使用量 $5.55 \times 10^{12}\text{Bq}$ 、日最大使用量 $2.78 \times 10^{10}\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $7.77 \times 10^6\text{Bq}$ ）， ^{68}Ga （年最大使用量 $2.78 \times 10^{11}\text{Bq}$ 、日最大使用量 $1.11 \times 10^9\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $1.11 \times 10^7\text{Bq}$ ）， $^{68}\text{Ge}-^{68}\text{Ga}$ （年最大使用量 $1.85 \times 10^9\text{Bq}$ 、日最大使用量 $1.85 \times 10^9\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $1.85 \times 10^6\text{Bq}$ ）， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （年最大使用量 $5.55 \times 10^{12}\text{Bq}$ 、日最大使用量 $2.22 \times 10^{10}\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $2.22 \times 10^7\text{Bq}$ ）用于开展核素显像诊断项目。

核医学科-核素治疗中心拟使用放射性同位素 ^{131}I （年最大使用量 $1.39 \times 10^{12}\text{Bq}$ 、日最大使用量 $2.78 \times 10^{10}\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $2.78 \times 10^9\text{Bq}$ ）用于开展核素诊断与治疗项目，使用放射性同位素 ^{89}Sr （年最大使用量 $1.48 \times 10^{10}\text{Bq}$ 、日最大使用量 $2.96 \times 10^8\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $2.96 \times 10^7\text{Bq}$ ）和 ^{153}Sm （年最大使用量 $1.48 \times 10^{11}\text{Bq}$ 、日最大使用量 $2.96 \times 10^9\text{Bq}$ 、日等效最大操作量 $2.96 \times 10^8\text{Bq}$ ）用于开展骨转移治疗项目。

PET/CT 和 SPECT/CT 扫描时产生的 X 射线、放射性药物在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生的 γ 射线。以上射线会造成医务人员和公众的外照射。

（2） β 放射性表面污染

医生在对含有放射性同位素 ^{18}F 等的各种操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的 β 放射性表面污染。

（3）废气

本项目使用的放射性同位素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 等在带有通风装置的手套箱或者自动分装仪内进行分装，产生少量的放射性气溶胶。

在 CT 开机并曝光时，X 射线电离空气，会产生臭氧和氮氧化物。CT 曝光时间很

短，臭氧和氮氧化物的产生量极少。

(4) 废水

体内含有放射性核素的病人排泄物；工作场所清洗废水等。

(5) 固体废物

放射性同位素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量放射性同位素的医疗固体废弃物，更换下来的废活性炭。污染途径为操作过程中及收集固废过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射。

(6) 噪声

本项目噪声主要来源于空调系统的室外机以及屋面的通排风系统的风机，本项目所使用的通排风系统为低噪声节能排风机，其噪声值低于 60dB(A)，噪声较小；空调系统的室外机其噪声值低于 60dB(A)，噪声较小。

(7) 非放射性三废

本项目废气为电离辐射产生的 O₃、NO_x 等废气；本项目废水为工作人员产生少量的生活污水；本项目的固体废物，主要为工作人员产生的生活垃圾以及医疗废物；本项目噪声主要设备运行过程中产生的噪声以及排风系统风机产生的噪声。

(三) 介入诊断项目

1、电离辐射

DSA 在开机出束状态下产生 X 射线，主要辐射污染途径为外照射。设备未开机状态不产生 X 射线。

2、废气

在开机出束过程中手术室内的空气在电离辐射作用下产生臭氧及氮氧化物等有害气体。

3、固体废物

本项目介入手术时会产生的医用器具和药棉、纱布、手套、废造影剂等医疗废物；辐射工作人员工作中会产生的少量的生活垃圾和办公垃圾。

4、废水

本项目辐射工作人员工作中会产生的少量的生活污水。

5、噪声

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机，本项目所使用的通排风系统为低噪声

节能排风机，噪声较小，无需另行采用专门的降噪措施。

（四）其他

根据《四川省辐射污染防治条例》，射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施
<p>一、工作场所布局与分区</p> <p>(一) 工作场所布局合理性</p> <p>1、肿瘤科</p> <p>本项目的肿瘤科设置于核医学科楼负二层东部，位于本栋建筑的底层，医用电子直线加速器机房和后装治疗机机房东侧均紧邻土层，减少了对周围环境的辐射影响。医用电子直线加速器机房、后装治疗机机房和模拟定位机机房的控制室均位于治疗室的一侧，均为隔室操作，减少了对职业人员的照射。肿瘤科平面布局详见附图 3。肿瘤科设置于建筑底层，避开了医院的儿科病房、产房和门诊等特殊人群区域或人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 中关于选址与布局的规定。</p> <p>2、核医学科</p> <p>本项目核医学科位于核医学科楼的一层（平面布局详见附图 5），工作场所相对独立，周边无其他科室，新增的非密封放射性物质工作场所避开了医院的产科、儿科、食堂等部门，且新增的工作场所出入口避开了人流量较大的门诊大厅、收费处等人群稠密区域，避免了对公众不必要的照射，满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 中关于选址与布局的规定。</p> <p>3、其他射线装置机房</p> <p>医院本次拟建的 DSA 机房均为隔室操作。且每台设备局设有独立机房，满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 中关于 X 射线设备机房布局的要求。</p> <p>(二) 两区划分</p> <p>1、分区原则</p> <p>按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 要求，将本项目辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。</p> <p>控制区—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。</p> <p>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</p>

行监督和评价的区域。

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021)的规定：放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室(含迷路)等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗室，术中放射治疗室应确定为临时控制区。

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

根据《核医学辐射安全与防护要求》(HJ 1188-2021)的规定：核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。

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

2、区域划分

(1) 肿瘤科

本次环评根据控制区和监督区的定义，结合项目辐射防护和环境情况特点进行辐射防护分区划分。医院拟将医用电子直线加速器机房(含迷道)、后装治疗机机房(含迷道)、模拟定位机机房等划分为控制区，该区域涉及射线装置及放射源的操作，属《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)及其他法律法规定义的控制区，进行了专门的屏蔽防护设计；其余房间如：各控制室、水冷机房及准备大厅等属《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)及其他法律法规定义的监督区。

(2) 核医学科

本次环评根据控制区和监督区的定义，结合项目辐射防护和环境情况特点进行辐射防护分区划分。医院拟将核医学科-影像中心的分装室、注射间、储源室、放射性废物暂存间、校准源室、运动负荷兼抢救室、VIPSPECT 注射后候诊室、SPECT 注射后候诊室、VIPPET 注射后等候室、PET 注射后等候室、SPECT/CT 机房、PET/CT 机

房、留观室、衰变池等划分为控制区；拟将核医学科-核素治疗中心的甲吸室、取餐间、服碘室、放射性废物暂存间、抢救室、核素病房、衰变池等划分为控制区，该区域涉及射线装置及放射性同位素的操作，属《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及其他法律法规定义的控制区，进行了专门的屏蔽防护设计；其余房间如：影像中心的控制室、缓冲间、卫生通过间及设备间等和核素治疗中心的缓冲间、配餐间等均属《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及其他法律法规定义的监督区。

3、介入科

本次环评根据控制区和监督区的定义，结合项目辐射防护和环境情况特点进行辐射防护分区划分。医院拟将各 DSA 机房等划分为控制区，该区域涉及射线装置的操作，属《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及其他法律法规定义的控制区，进行了专门的屏蔽防护设计；其余房间如：控制室等属《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及其他法律法规定义的监督区。

本项目控制区和监督区划分情况见表 10-1，并在图 10-1~图 10-4 上进行了标识。

表 10-1 项目控制区和监督区划分情况

科室名称	控制区	监督区
肿瘤科	医用电子直线加速器机房（含迷道）、后装治疗机机房（含迷道）、模拟定位机机房	各控制室、水冷机房、设备间及准备室等
核医学科 影像 中心	分装室、注射室、储源室、放射性废物暂存间、校准源室、运动负荷兼抢救室、SPECT 注射后候诊室、PET 注射后等候室、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、PET/MRI 机房、留观区、衰变池*等	控制室、缓冲间、卫生通过间及设备间等
核医学科 核素治疗中心	甲吸室、取餐间、服碘室、放射性废物暂存间、抢救室、核素病房、衰变池等	缓冲间、配餐间等
介入科	DSA 机房	控制室、设备间等

注：*衰变池位于核医学科楼南侧绿化带内，地下结构，详见附图 2。

图 10-1 肿瘤科分区示意图

图 10-2 核医学科-影像中心和核素治疗中心分区示意图

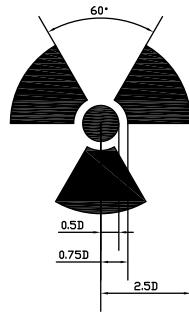


图 10-3 介入科 DSA 分区示意图

(4) 控制区的防护手段与安全措施:

- ①控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志（如图 10-4）。
- ②制定辐射防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；
- ③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；
- ④在淋浴/更衣室备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；

⑤定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。



a.电离辐射标志



b.当心电离辐射警告标志

图 10-4 电离辐射标志和电离辐射警告标志

(5) 监督区防护手段与安全措施

- ①以黄线警示监督区的边界；
- ②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；
- ③定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

二、辐射安全及防护措施

(一) 各工作场所的屏蔽措施

本次新建项目屏蔽设计见表 10-2~表 10-7，各工作场所的机房详图详见附图 4~附图 14。

表 10-2 医用电子直线加速器机房防护屏蔽设计一览表

类别	屏蔽防护设计		屏蔽设计参数 (厚度及材质)	主屏蔽宽度
1#医 用直 线加 速器 机房	东墙		150cm 厚混凝土	/
	南墙	主屏蔽	300cm 厚混凝土	450cm
		次屏蔽	180 cm 厚混凝土	/
	西墙	迷道内墙	80~150cm 厚混凝土	/
		迷道外墙	80~150cm 厚混凝土	/
	北墙	主屏蔽	290cm 厚混凝土	400cm
		次屏蔽	160 cm 厚混凝土	/
	屋顶	主屏蔽	300cm 厚混凝土	400cm
		次屏蔽	170cm 厚混凝土	/
防护门		15mm 铅板+15cm 厚含硼聚乙烯		
2#医 用直 线加	东墙		150cm 厚混凝土	/
	南墙	主屏蔽	270cm 厚混凝土	400cm
		次屏蔽	150 cm 厚混凝土	/

速器 机房	西墙	迷道内墙	80~150cm 厚混凝土	/
		迷道外墙	80~150cm 厚混凝土	/
	北墙	主屏蔽	300cm 厚混凝土	450cm
		次屏蔽	180 cm 厚混凝土	/
	屋顶	主屏蔽	300cm 厚混凝土	400cm
		次屏蔽	170cm 厚混凝土	/
	防护门	15mm 铅板+15cm 厚含硼聚乙烯		

注：本项目拟使用的混凝土密度不低于 2.35g/cm^3 ，铅板的密度不低于 11.3g/cm^3 。

表 10-3 后装治疗机机房防护屏蔽设计一览表

类别	屏蔽防护设计		屏蔽设计参数 (厚度及材质)
后装治疗机 机房	东墙		80cm 厚混凝土
	南墙	主屏蔽	290cm 厚混凝土
		次屏蔽	160cm 厚混凝土
	西墙		80cm 厚混凝土
	北墙	迷道内墙	80cm 厚混凝土
		迷道外墙	80cm 厚混凝土
	屋顶		80cm 厚混凝土
	防护门		10mm 厚铅板

注：本项目拟使用的混凝土密度不低于 2.35g/cm^3 ，铅板的密度不低于 11.3g/cm^3 。

表 10-4 模拟定位机机房防护屏蔽设计一览表

类别	屏蔽防护设计		屏蔽设计参数 (厚度及材质)
模拟定位机 机房	四周墙体		37cm 厚实心砖墙
	屋顶		30cm 厚混凝土
	防护门		3mm 厚铅板
	观察窗		3mm 铅当量铅玻璃

注：本项目拟使用的混凝土密度不低于 2.35g/cm^3 ，铅板的密度不低于 11.3g/cm^3 ，实心砖的密度不低于 1.65 g/cm^3 。

表 10-5 核医学科-影像中心防护屏蔽设计一览表

名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
分装室 (含放射性废物暂 存间)	四面墙体	370mm 厚实心砖
	顶棚	300mm 厚混凝土
	地面	300mm 厚混凝土
	防护门	5mmPb
	手套箱	5mmPb (^{99m}Tc) , 55mmPb (^{18}F)
注射室	四面墙体	370mm 厚实心砖
	顶棚	300mm 厚混凝土
	地面	300mm 厚混凝土
	防护门	5mmPb (^{99m}Tc) , 10mmPb (^{18}F)
	注射窗	5mmPb (^{99m}Tc) , 20mmPb (^{18}F)

运动负荷室 兼抢救室	四面墙体	370mm 厚实心砖
	顶棚	300mm 厚混凝土
	地面	300mm 厚混凝土
	防护门	5mmPb
VIP PET 注射后 候诊室	四面墙体	370mm 厚实心砖
	顶棚	300mm 厚混凝土
	地面	800mm 厚混凝土
	防护门	10mmPb
VIP SPECT 注射后 候诊室	四面墙体	370mm 厚实心砖
	顶棚	300mm 厚混凝土
	地面	800mm 厚混凝土
	防护门	5mmPb
PET 注射后 候诊室 1、2	四面墙体	370mm 厚实心砖
	顶棚	300mm 厚混凝土
	地面	1700mm 厚混凝土
	防护门	10mmPb
SPECT 注射后 候诊室 1、2	四面墙体	370mm 厚实心砖
	顶棚	300mm 厚混凝土
	地面	1700mm 厚混凝土
	防护门	5mmPb
SPECT/CT 机房	四面墙体	370mm 厚实心砖
	顶棚	300mm 厚混凝土
	地面	1700mm 厚混凝土
	防护门	5mmPb
	观察窗	5mmPb
	铅屏风	2mmPb
PET/CT 机房	四面墙体	370mm 厚实心砖
	顶棚	300mm 厚混凝土
	地面	1700mm 厚混凝土
	防护门	10mmPb
	观察窗	10mmPb
	铅屏风	5mmPb
留观区 (含放射性废物暂 存间)	四面墙体	370mm 厚实心砖
	顶棚	300mm 厚混凝土
	地面	1700mm 厚混凝土
	防护门	10mmPb
缓冲间	入口防护门为 15mmPb	
	出口防护门为 15mmPb	

注：本项目拟使用的混凝土密度不低于 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，铅板的密度不低于 $11.3\text{g}/\text{cm}^3$ ，实心砖的密度不低于 $1.65\text{ g}/\text{cm}^3$ 。

表 10-6 核医学科-核素治疗中心防护屏蔽设计一览表

名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
甲吸室	四面墙体	240mm 厚实心砖
	顶棚	150mm 厚混凝土
	地面	150mm 厚混凝土
	防护门	2mmPb
	服药窗	2mmPb
分装服药室 (含放射性废物暂存间)	四面墙体	300mm 厚混凝土
	顶棚	300mm 厚混凝土
	地面	300mm 厚混凝土
	防护门	10mmPb
	自动分装仪	45mmPb
核素病房 1、2、3	服药窗	40mmPb
	四面墙体	300mm 厚混凝土
	顶棚	300mm 厚混凝土
	地面	300mm 厚混凝土
	防护门	10mmPb
缓冲间		入口防护门为 10mmPb 出口防护门为 10mmPb

注：本项目拟使用的混凝土密度不低于 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，铅板的密度不低于 $11.3\text{g}/\text{cm}^3$ ，实心砖的密度不低于 $1.65\text{ g}/\text{cm}^3$ 。

表 10-7 各 DSA 机房防护屏蔽设计一览表

类别	屏蔽防护设计	屏蔽设计参数 (厚度及材质)
DSA 机房	四周墙体	370mm 厚实心砖墙
	屋顶	250mm 厚混凝土
	地面	250mm 厚混凝土楼板
	防护门	3mm 厚铅板
	观察窗	3mm 铅当量铅玻璃

注：本项目拟使用的混凝土密度不低于 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，铅板的密度不低于 $11.3\text{g}/\text{cm}^3$ ，实心砖的密度不低于 $1.65\text{ g}/\text{cm}^3$ 。

（二）辐射安全装置

1、肿瘤科-医用电子直线加速器项目

（1）设备固有安全性

①医用电子直线加速器只有在通电开机时才有电子束、X 射线等产生，断电停机即停止出束；通过多叶准直器定向出束，其它方向的射线被自带屏蔽材料所屏蔽。

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

③条件显示联锁：医用电子直线加速器具有联锁装置，只有当射线能量、吸收剂量选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当治疗室与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行。

④控制台上有蜂鸣器，在医用电子直线加速器工作时发出声音以警示人员防止误入。

⑤有剂量分布监测装置与照射终止系统联锁，当剂量超过预选值或当剂量分布偏差超过预选值时，可自动终止辐照。

⑥有全部安全联锁设施的检查装置，能保证所有安全联锁系统保持良好的运行状态。

⑦有时间控制联锁，当预选照射时间已定时，定时器能独立地使照射停止。

⑧治疗床旁、医用电子直线加速器主机上安装紧急止动按钮。

(2) 屏蔽防护

本项目医用电子直线加速器机房由相应资质单位进行设计和施工，其主射方向朝向东侧墙体、西侧墙体、地面及屋顶。本项目医用电子直线加速器机房电缆线布设采用“U”型管道，通风管道采用“S”型穿墙方式，不会破坏墙体的屏蔽效果，本项目电缆沟设计图见附图 14。

(3) 源项控制

本项目医用电子直线加速器购置于正规厂家，有用线束内杂散辐射和泄漏辐射不会超过国家规定的限值要求。

(4) 距离防护

本项目治疗区域将严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，且在机房的人员通道门的醒目位置将张贴固定的电离辐射警告标志并安装工作状态指示灯。限制无关人员进入，以免受到不必要的照射。

(5) 时间防护

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

(6) 安全装置

①视频监控系统、对讲装置：本项目医用电子直线加速器控制室与机房之间以墙体隔开，机房内拟安装视频监控系统、对讲装置，控制室能通过视频监控观察机房内患者治疗的情况，并通过对讲装置与机房内患者联系。

②门机联锁装置：医用电子直线加速器与屏蔽门之间拟设联锁装置。屏蔽门未关好，医用电子直线加速器不能出束；医用电子直线加速器工作期间如将防护门打开，照射立即自动停止。

③紧急止动装置和紧急开门按钮：除了医用电子直线加速器治疗床、医用电子直线加速器主机上以及控制台上自带的紧急止动按钮外，机房内墙、迷道门出口处均设置有紧急止动按钮，以使误入人员按动紧急止动按钮就能使加速器停机；迷道出口处设置了紧急开门按钮。

④工作状态显示及警示标识：医用电子直线加速器机房防护门外顶部拟设置工作状态指示灯。医用电子直线加速器处于出束状态时，指示灯为红色，以警示人员注意安全；当医用电子直线加速器处于非出束状态，指示灯为绿色。医用电子直线加速器机房屏蔽门上设置明显的电离辐射警告标志。

⑤固定式报警仪：在医用电子直线加速器机房墙上安装固定式剂量报警装置（带剂量显示功能），探头安装在机房迷道内墙上（靠近防护门），只要迷道内的剂量超过预设的剂量阈值，就会报警提示人员不能进入机房，以防人员误入。

⑥时间防护：通过制定最优化的治疗、诊断方案尽量减少射线装置的照射时间。尽量减少人员与机房的近距离接触时间。

⑦个人防护：医用电子直线加速器机房的辐射工作人员每人佩戴个人剂量计和预定剂量率阈值自动报警仪。

⑧医用电子直线加速器将由生产厂家进行质保维修，医院设备科人员仅对医用电子直线加速器进行日常维护（如电路、开关、机电等维护）。

⑨医用电子直线加速器安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

本项目医用电子直线加速器机房辐射安全设施安全联锁逻辑示意图详见图 10-5。

以上辐射防护措施合理可行，能够有效防止本项目对外环境的影响。

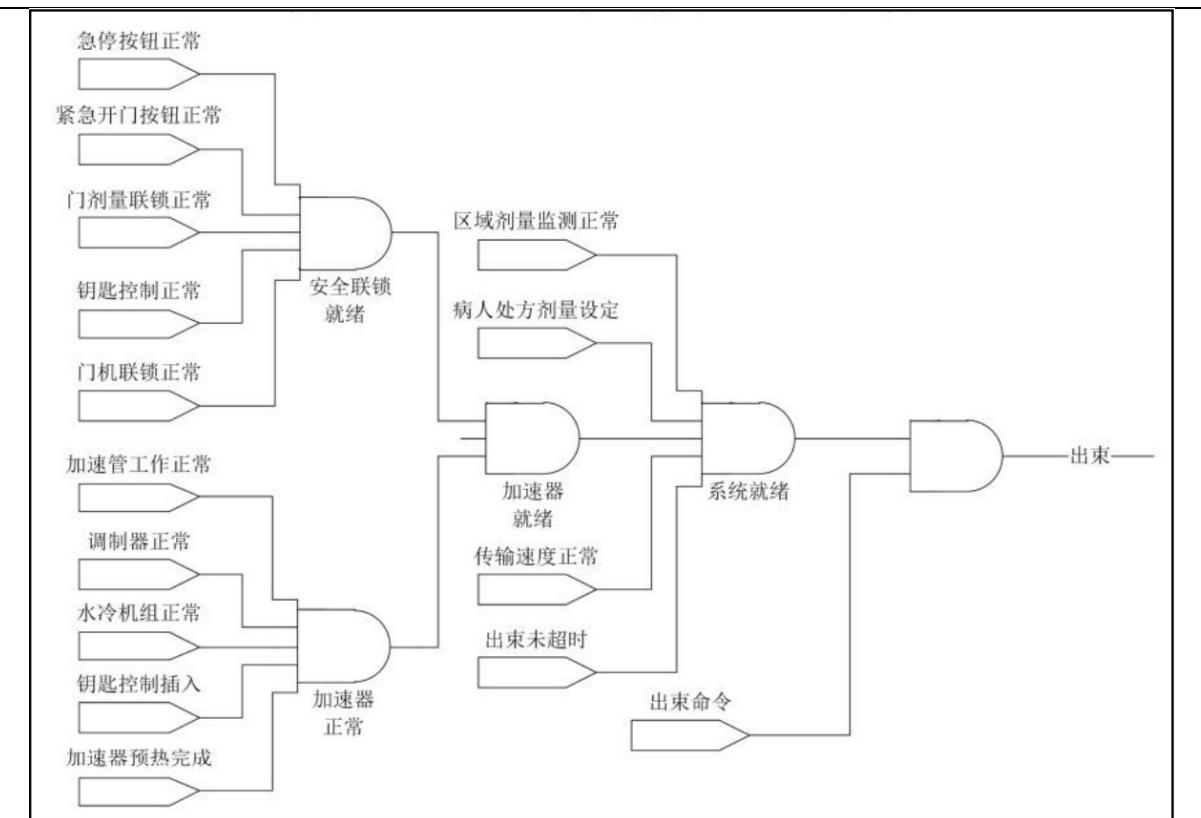


图 10-5 医用电子直线加速器安全联锁逻辑示意图

（7）分区防护

机房严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，且在机房的人员通道门的醒目位置将张贴固定的电离辐射警告标志并安装工作状态指示灯。限制无关人员进入机房内的控制区，以免受到不必要的照射。

2、肿瘤科-后装治疗机项目

本项目后装治疗机主要辐射为 γ 射线，对 γ 射线的基本防护原则是减少照射时间、远离射线源及加以必要的屏蔽。本项目对 γ 射线外照射的防护措施主要有以下几方面：

（1）设备固有安全性

①本项目 ^{192}Ir 后装治疗机机头贮源部位设置了两层重金属屏蔽体，里层为3cm厚的金属钨，外层为5cm厚的金属铅，最外层为特制的防护钢壳，不易损坏。在储源状态下，后装机表面100cm处 γ 辐射剂量率满足《密封 γ 放射源容器卫生防护标准》（GBZ 114-2006）中“密封 γ 源容器外表面100cm处任一点的空气比释动能率（活度大于 $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ ）不得超过0.2mGy/h”的要求。同时机体张贴有醒目的电离辐射警示标识。

②设有紧急回源装置，在任何紧急情况下（如供电系统中断）放射源可自动返回到贮源位（贮、照联锁、断电联锁），主机本身有贮电电源，计算机有UPS系统。

③后装机设计有独特的放射源驱动装置（若遇到管道堵塞情况可自动回源）、强制回源装置以及手动回源装置，防止不易出现卡源问题。

④后装机设计有仿真模拟运行，便于操作人员熟悉操作流程，同时在正常运行状态下，控制台显示器可以显示放射源的位置。

⑤控制台设置有防止非工作人员操作的锁定开关，只有完成治疗准备后（已正确输入准直器号、治疗时间，机房门已关闭、联锁系统就位等），才能启动按钮开始治疗，如果未完成治疗准备，不能启动治疗按钮。

（2）屏蔽防护

本项目后装治疗机机房由相应资质单位进行设计和施工，其机房内预留电缆线布设采用“U”型管道，通风管道采用“S”型穿墙方式，不会破坏墙体的屏蔽效果。

（3）源项控制

本项目后装治疗机购置于正规厂家，储源装置本身设置了屏蔽层，储源装置周围剂量不会超过国家规定的限值。

（4）距离防护

本项目治疗区域将严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，且在机房的人员通道门的醒目位置将张贴固定的电离辐射警告标志并安装工作状态指示灯。限制无关人员进入，以免受到不必要的照射。

（5）时间防护

在满足诊断要求的前提下，在每次使用放射源进行诊疗之前，根据诊断要求和病人实际情况制定最优化的治疗方案，选择合理可行尽量低的射线照射参数，以及尽量短的曝光时间，减少工作人员和相关公众的受照射时间，也避免病人受到额外剂量的照射。

（6）安全装置

①**隔室操作：**本项目后装治疗机控制室与机房之间以墙体隔开，工作人员隔室对设备进行操作。

②**视频监控系统、对讲装置：**机房内拟安装视频监控系统及语音对讲系统，控制室能通过视频监控观察机房内患者治疗的情况，并通过对讲装置与机房内患者联系。

③**门机联锁装置：**后装治疗机与屏蔽门之间拟设联锁装置，开门状态下不能出源照射，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。同时防护门

拟设置手动开门装置。

④紧急止动装置和紧急开门装置：除了后装治疗机治疗床、后装治疗机主机上以及控制台上自带的紧急止动按钮外，机房内墙壁内侧、迷道门出口处均设置有紧急止动按钮，以使误入人员按动紧急止动按钮，后装治疗机会执行紧急收源程序。迷道出口处设置了紧急开门装置，按下紧急开门按钮防护门可打开。同时，该紧急开门装置也带手动开门装置，可保证在断电情况下，防护门可以从治疗室内部打开。

⑤工作状态显示及警示标识：后装治疗机机房防护门外顶部拟设置工作状态指示灯。后装治疗机处于出源照射状态时，指示灯为红色，以警示人员注意安全；当后装治疗机处于非出源照射状态，指示灯为绿色。后装治疗机机房屏蔽门上设置明显的电离辐射警告标志。

⑥固定式报警仪：在后装治疗机机房墙上安装固定式剂量报警装置（带剂量显示功能），探头安装在机房迷道内墙上，只要迷道内的剂量超过预设的剂量阈值，就会报警提示人员不能进入机房，以防人员误入。

⑦时间防护：通过制定最优化的治疗、诊断方案尽量减少射线装置的照射时间。尽量减少人员与机房的近距离接触时间。

⑧个人防护：后装治疗机机房的辐射工作人员每人佩戴个人剂量计和预定剂量率阈值自动报警仪。

⑨后装治疗机将由生产厂家进行质保维修，医院设备科人员仅对后装治疗机进行日常维护（如电路、开关、机电等维护）。

⑩¹⁹²Ir 放射源由生产厂家负责放射源运输、换装，放射源更换前保存在后装治疗机贮源罐中，医院不再设置放射源暂存柜或其他放射源暂存设施。

⑪医院拟为后装治疗室内配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

⑫医院承诺将退役 ¹⁹²Ir 放射源委托原厂家回收处置。

本项目医用电子直线加速器机房和后装治疗机机房辐射安全设施布置示意图见图 10-6，安全联锁逻辑示意图详见图 10-6。

图 10-6 本项目医用电子直线加速器机房和后装治疗机机房辐射安全设施布置示意图
以上辐射防护措施合理可行，能够有效防止本项目对外环境的影响。

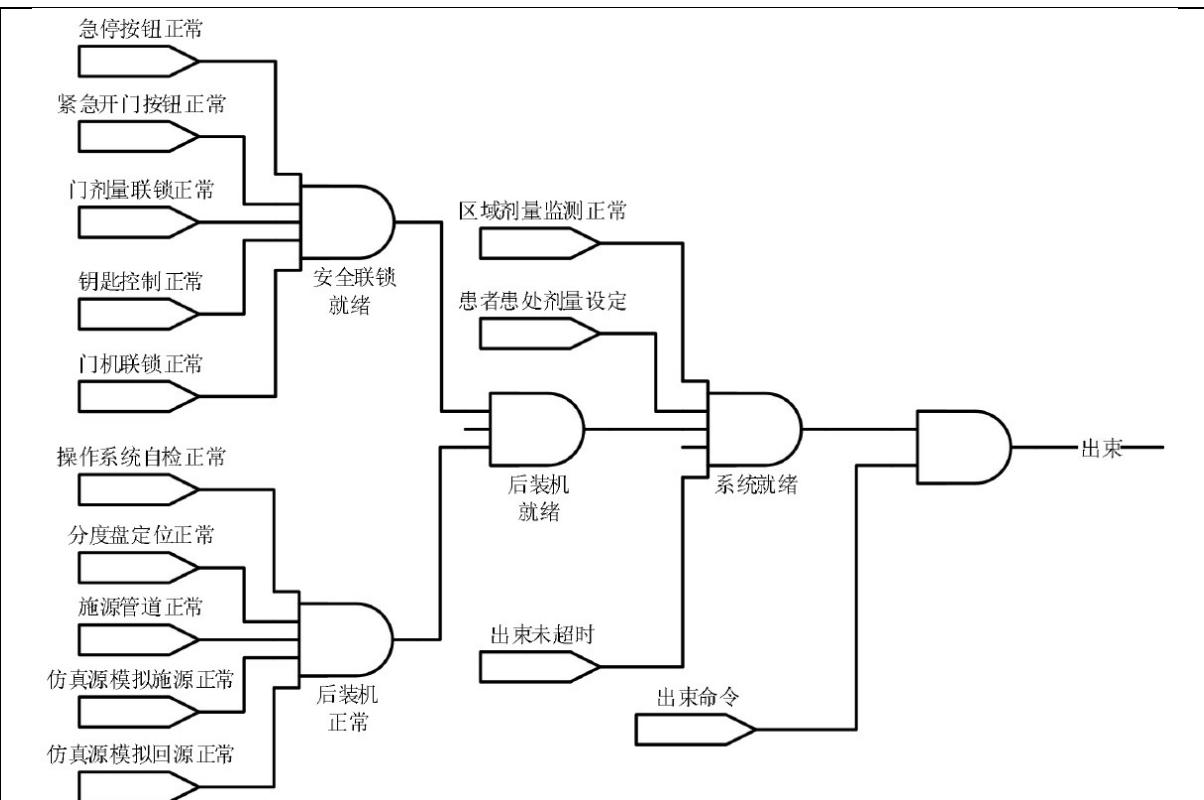


图 10-7 本项目后装治疗机安全联锁逻辑示意图

(7) 分区防护

机房严格按照控制区和监督区划分实行“两区”管理，且在机房的人员通道门的醒目位置将张贴固定的电离辐射警告标志并安装工作状态指示灯。限制无关人员进入机房内的控制区，以免受到不必要的照射。

(8) 后装治疗机安装调试、装源、换源

本项目后装治疗机运输、安装和调试均由设备厂家专业人员进行操作，后装治疗机的装源工作由厂家委派的工程师在机房内完成，医院工作人员不进入机房参与装源、换源工作。在设备运输、安装、调试过程中，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证屏蔽体屏蔽到位，在运输设备和机房外设立辐射警示标志，禁止无关人员靠近；在设备的调试和维修过程中，射线源开关钥匙应安排专人看管，或由维修操作人员随身携带，并在机房入口等关键处设置醒目的警示牌，工作结束后，启动安全联锁并经确认系统正常后才能启用射线装置；人员离开时运输设备的车辆和机房上锁并派人看守。

医院购买的后装治疗设备首次倒源由厂家负责，后期源的购买由医院申购，倒源仍然由厂家后装机工程师负责，退役放射源由厂家回收处置。铱源的购买需报四川省生态环境厅备案，铱源的生产、运输均由厂家负责，每次申购铱源后由厂家运输至后

装治疗机机房，由厂家进行换源操作，当厂家工程师导源完毕后，将旧源回收。

3、肿瘤科-模拟定位机项目

(1) 设备固有安全性

①设备从专业生产厂家进行采购，满足质检要求，机头泄漏辐射满足国家相关标准规定的限值。

②具有安全系统，当设备出现错误或故障时，能中断照射，并有相应故障显示。

③正常情况下，必须按规定程序并经控制台确认验证设置无误时，才能启动照射。

(2) 源项控制

医师会根据病情状况针对不同的病人制定不同的计划（包括照射时间和照射剂量），并通过可调限束装置进行参数设置，尽量避免不必要的照射，有效进行源项控制。

(3) 安全联锁装置

门-灯联锁：开机出束，机房防护门关闭良好，工作状态指示灯亮；停止出束时，指示灯熄灭，机房防护门打开。

(4) 紧急止动装置

紧急停机开关：在控制室内控制台上（拟设 1 个开关）设紧急停机开关。紧急停机开关应为红色按钮，并带有中文标识，易于辨认。在误操作或出现紧急情况时，按下开关即可随时切断供电电源。

(5) 警示装置

①工作状态显示装置：在机房防护门外设 1 个工作状态指示灯或工作状态指示灯箱，具备显示开机、停机的功能，并与机房防护门联锁。

②电离辐射警告标志：在机房防护门外醒目位置张贴电离辐射警告标志及中文警示说明。电离辐射警告标志须符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 F 要求。

(6) 监测设备

个人剂量监测仪：按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）要求，从事 CT 诊断的辐射工作人员（包括技师、物理师和医生）每人 1 个人剂量计，要求在岗期间必须正确佩戴。

(7) 其它防护设施

对讲系统：机房内和控制室内设 1 套扩音与对讲装置，便于控制室的工作人员与机房内的患者联系。

(8) 与《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）要求符合性分析

对照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中人员安全防护的要求，本项目针对模拟定位机操作采取的人员安全防护措施的符合性分析见表 10-8。

表 10-8 项目采取的介入操作人员安全防护措施符合性

场所名称	分项	《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）要求	本项目拟采取措施
模拟定位机项目	患者和陪检者个人防护用品	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	铅三角巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子

由表 10-8 可知，医院拟配置个人防护用品和辅助防护设施情况满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）相关要求。

5、核医学科其他项目

(1) 电离辐射警告标志及工作状态指示灯

医院计划在核医学科工作场所控制区各房间防护门外设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。在 PET/CT 机房、PET/MRI 机房和 SPECT/CT 机房受检者防护门上方设置工作状态指示灯，并与防护门联锁，防护门关闭时指示灯为红色，防护门打开时，指示灯灭。

(2) 紧急止动装置

在核医学科的控制台上、治疗床上安装供紧急情况使用的强制终止照射的紧急止动按钮。一旦在检查过程中出现紧急情况，工作人员按动紧急止动按钮即可令 PET/CT、PET/MRI 机房和 SPECT/CT 停止运行。

(3) 操作警示装置

PET/CT 和 SPECT/CT 扫描时，操纵台上的指示灯变亮，警示装置发出警示声音。

(4) 视频监控和对讲装置

在工作场所范围内设置视频监控系统，便于观察受检者的情况、工作场所进出口情况；PET/CT 机房和控制室之间和 SPECT/CT 机房和控制室之间拟安装对讲装置，便于工作人员通过对讲装置与机房或病房内患者联系。

(5) 门禁系统

在工作场所受检者各出入口处设置专用门禁系统，对受检者的出入进行控制。

(6) 衰变池系统

注射后候诊室、留观室、甲癌治疗室等拟设置患者专用厕所，废水直接流向本次新建的 2 套衰变池内。

(7) 对控制区内带药病人的监督管理

医院应做好本项目控制区的监督管理工作，防止无关人员入内；加强对控制区内病人的监督管理，避免其给药后随意走动；同时应告知检查完成后病人离开路线，防止其对公众造成不必要照射，核医学科的出入口均设置有“缓冲间”，缓冲间内设有表面污染水平监测仪，患者检查完或住院结束后均需进行监测。

(8) “两区”内安全防护措施规定

工作人员离开工作室前洗手和作表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

(9) 储源室红外报警系统

本项目工作场所的储源室拟设置双人双锁的保险柜，工作场所使用的放射性药物放置于铅罐中由供应单位派专人直接送至储源室内暂存，未用完的放射性药物放置在储源室双人双锁的保险柜内，日常期间由值班人员巡视检查，储源室出入口安装摄像头、红外报警系统。

(10) 通排风系统

整个核医学科工作场所设置独立的动力通排风装置，并保证整个工作场所为负压工作场所。

6、核医学科其他辐射安全措施

(1) 放射性药物的存放安全措施

本项目工作场所所使用的 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 和 ^{131}I 等核素药物，医院将通过自行生产或者向有相关资质的放射性核素供应单位购买。医院根据临床诊断所需药物的使用量，提前向放射性核素供应单位订购，供应单位在约定的时间负责将放射性药物运送至工作场所内，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。建设单位将自行对购买的放射性核素进行分装。建设单位严禁无关人员进入工作场所所在

区域，严禁辐射操作人员违规操作放射性核素。医院将在放射性核素交接结束后，开展进行放射诊断与治疗工作。

整个药液瓶被放置在铅罐内，能够满足当天病人的用药需求。建设单位根据所需的使用量，向有相关资质的放射性核素供应单位订购，并在放射性核素送达当天全部使用完，该工作场所正常情况下不会有放射性核素存放过夜。特殊情况下，由于病人未来就诊等原因，造成放射性核素未在当天使用完，少量放射性核素需在储源室存放过夜时，医院拟将未使用的少量放射性核素在储源室中存放。储源室将设有视频监控系统和门禁系统，可以有效防止放射性核素的丢失隐患。

本项目放射药物外购时其自身带有屏蔽层，且转入医院前表面辐射剂量率水平满足《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019），货包表面任意一点的最高辐射水平为 $0.005\text{mSv/h} < H \leq 0.5\text{mSv/h}$ ，转入医院后的放射性药物直接转入储源室内，随后工作人员在给病人用药前再转入分装室的手套箱内，再进行分装操作，对于备用药及未使用完的放射性药物转入储源室的双人双锁保险柜中。

本项目使用的放射性同位素均由有资质单位供应，由厂商经室外通道进入储源室，并贮存于储源室内的双人双锁保险柜中，本项目储源室外设置有红外监控摄像头、红外报警装置，防止放射性物品被盗或破坏。

储源室的墙体应满足防护要求，积极采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的“六防”安全措施。建设单位应做到：

①放射性药物的存储容器要有合适的屏蔽。放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的那部分；

②储源室要有专人进行管理，并定期进行辐射剂量的监测，无关人员禁止进入；

③放射性药物要有进出登记，包括生产单位、生产日期、到货时间、核素种类、理化性质、活度和使用情况的详细记录等，建立放射性同位素台帐制度；

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

（2）工作场所的气流组织

本项目各射线装置运行过程中，X射线与空气作用会产生少量臭氧、氮氧化物等有害气体，机房拟设置动力排风装置，并保持良好的通风。

本项目使用的^{99m}Tc、¹⁸F 和 ¹³¹I 等核素在带有通风装置的手套箱内进行分装，会

产生少量含放射核素的气溶胶。

本项目核医学科工作场所设置有新风系统及排风系统，并保证了工作场所为负压工作场所，且通过压差控制气流方向，核医学科工作场所的风向为候诊大厅、医生办公区至留观、注射后候诊等区域再至分装注射室。

(3) 表面污染控制措施

为保证非密封放射性物质工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的标准，提出以下管理措施和要求：

- ①放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏；
- ②操作放射性药物时，须在有负压的手套箱内进行，防止放射性物质撒漏；
- ③放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品；
- ④操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中规定的标准值。

(4) 人员防护措施

人员主要指本项目辐射工作人员、受检者及本次评价范围内其他人员。

①辐射工作人员的防护

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

屏蔽防护：将辐射源安置在专用、固定的工作场所内，通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的辐射危害；为核素操作人员配备铅防护手套、铅衣等个人防护用品，注射器配备注射防护套和注射器防护提盒。

时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少工作时间，使照射时间最小化。

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

②其他人员防护

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

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

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

（5）操作过程中的防护措施

医生在进行放射性药品的分药操作时首先做好个人防护，包括穿铅衣，戴铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽等，均具备 0.5mmPb 当量。分装时，手动将定量的药物移至注射器或容器内，经测量核定药物活度后转移给病人注射。分药时药品、铅罐均放置在垫有滤纸的瓷盘内进行，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染。手套箱底部设有 10mmPb 废物铅桶，用于暂时收集放射性废物。

（6）工作场所对注射或服药后病人防护措施

首先告知病人及家属辐射可能带来的危害性，病人要与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在等候区域内驻留，同时需要求病人在注射药物后在注射后等候室内休息，禁止随意走动，呕吐物和排泄物要排入专用厕所，最终排入废水衰变池。

7、DSA 辐射安全措施

（1）设备固有安全性

本项目 DSA 购置于正规厂家，满足国家质检要求，装置泄漏辐射不会超过国家规定的限值。

此外设备自身采取以下安全防护措施：

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

②采用光谱过滤技术：在 X 射线管头或影响增强器的窗口处放置铜过滤板，以多消除软 X 射线以及减少二次散射，优化有用 X 射线谱。设备提供适应不同应用场所可以选用的各种形状与规格的准直器隔板和过滤板。

③采用脉冲透视技术：在透视图像数字化基础上实现脉冲透视，改善图像清晰度，并能明显地减少透视剂量。

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

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

⑥配备辅助防护设施：项目拟购 DSA 配有悬吊铅帘和床下铅帘（两者的防护铅当量均不低于 0.5mm 铅当量），数字胃肠机应配备相应的悬吊铅帘和床下铅帘（两者的防护铅当量均不低于 0.5mm 铅当量），在设备运行中可加强对医护人员的辐射防护。

⑦正常情况下，必须按规定程序并经控制台确认验证设施无误时，才能由“启动”键启动照射；同时床体上设置有“紧急停机开关”按钮，一旦发现异常情况，工作人员可立即按下此按钮来停止照射。

（2）辐射安全装置

①门灯联锁：

各机房病人出入防护门顶部应设工作状态指示灯，并与防护门联锁。防护门关闭时，工作状态指示灯亮，以警示人员注意安全；当防护门打开时，指示灯熄灭。平开机房门应设有自动闭门装置，推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施。电动推拉门宜设置防夹装置。

②急停按钮：

在手术床旁及控制室内设急停按钮（按钮与 X 射线系统连接）。在射线装置出束过程中，一旦发现紧急情况，按下急停开关可停止 X 射线系统出束。

③警告标识：在病人至 DSA 机房内防护门外、控制室至 DSA 机房防护门外、DSA 机房至设备间防护门外醒目的位置设置“当心电离辐射警告”标志。

④辐射监测设备：医院拟配备 1 台便携式 X- γ 剂量监测仪，用于场所的剂量水平监测。

⑤医院应每月对射线装置、安全联锁装置、机电设备等辐射防护设施设备进行检查，发现问题应及时维护、更换。

（3）人员的安全防护

人员主要指本项目辐射工作人员、患者和本次评价范围内的公众。

1) 辐射工作人员的安全防护

为减少辐射工作人员的照射剂量，采取的主要方法有源项控制、屏蔽防护、时间防护和距离防护，多种防护联合运用、合理调节：

①源项控制

在满足治疗要求的前提下，针对不同病人制定最优化的治疗方案，选择能达到治疗要求最低的射线照射参数，使射线强度最小化，并通过设备的可调限束装置进行参数设置，使装置发射的线束宽度尽量减小，以减少泄漏辐射，避免不必要的照射。

②屏蔽防护

从事介入治疗的医生、护士拟配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等个人防护用品，除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应至少为 0.5mm 防护铅当量，介入防护手套铅当量应不小于 0.025 mmPb。

③时间防护

在满足治疗要求的前提下，在每次使用射线装置进行治疗之前，根据治疗要求和患者实际情况制定最优化的治疗方案，选择合理可行尽量低的射线照射参数，以及尽量短的曝光时间，减少工作人员的受照时间，也避免患者受到额外剂量的照射。另外，对从事介入治疗手术的医生和护士应采取分组制，以避免某一工作人员因长时间操作所致剂量超标。

④个人剂量监测

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）“5.3 佩戴 5.3.2”中要求“对于如介入放射学、核医学放射药物分装与注射等全身受照不均匀的工作情况，应在铅围裙外锁骨对应的领口位置佩戴剂量计”和“5.3 佩戴 5.3.3”中“对于 5.3.2 所述工作的情况，建议采用双剂量计监测方法（在铅围裙内躯干上再佩戴另一个剂量计），且宜在身体可能受到较大照射的部位佩戴局部”剂量计（如头箍剂量计、腕部剂量计、指环剂量计等）”。

本项目辐射工作人员均应配备有个人剂量计（每名介入治疗医生需配备 2 套个人剂量计），并要求在上班期间必须佩戴。医院定期（每季度一次）将个人剂量计送有资质单位进行检测，检测结果存入个人剂量档案。

2) 患者和陪检者的安全防护

医院应为患者配有防护围裙或方巾等防护用品（其防护铅当量应不低于 0.5mm），用于患者非照射部位的防护。为陪检者至少配备铅衣，以避免受检者受到不必要的照射。此外，在不影响治疗效果的前提下，保持患者与射线装置靶源尽可能远的距离。

3) DSA 机房周边公众的安全防护

周边公众主要依托放射工作场所的屏蔽墙体、防护门窗和楼板等实体屏蔽设施屏蔽射线。同时，放射工作场所严格实行辐射防护“两区”管理，在 DSA 机房门外设置工作状态指示灯，张贴醒目的电离辐射警告标志，禁止无关人员进入控制区，以增加公众与射线源之间的距离，避免受到不必要的照射。

4) 与《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）要求符合性分析

对照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中人员安全防护的要求，本项目针对介入操作采取的人员安全防护措施的符合性分析见表 10-9。

表 10-9 项目采取的介入操作人员安全防护措施符合性

场所名称	分项		《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）要求	本项目拟采取措施
DSA	辐射工作人员	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	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套、铅橡胶帽子
		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	铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏
	患者和陪检者	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	铅三角巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子

由表 10-9 可知，医院拟配置个人防护用品和辅助防护设施情况满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）相关要求。

三、辐射安全防护设施对照分析

根据《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》和《四川省核技术利用辐射安全与防护监督检查大纲》（川环函[2016]1400 号），将本项目的设施、措施进行对照分析，见表 10-10。

表 10-10 本项目辐射安全防护设施对照分析表

项目		规定的措施	落实情况	备注
医用电子直线加速器项目	场所设施	四周墙体+迷道+屋顶防护	已设计	/
		铅防护门	新建	/
		通风系统	已设计	/
	控制台及安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	设备自带钥匙开关	/
		控制台有紧急停机按钮	设备自带	/
		视频监控及对讲装置	/	拟配置
		治疗室门与高压联锁	设备设有门机联锁装置	/

后装治疗机项目	警示装置	入口当心电离辐射警告标识	/	拟配置
		入口有加速器工作状态显示	防护门上方设置工作状态指示灯	拟配置
		工作场所分区及标识	/	拟设置
	治疗室紧急设施	屏蔽门内开门按钮	设有紧急开门按钮	/
		治疗室门防夹人装置	/	拟设置
		紧急照明或独立通道照明系统	/	拟设置
		治疗室内急停按钮	/	拟配置
		治疗床急停按钮	设备自带	/
	场所设施	四周墙体+迷道+屋顶防护	已设计	/
		铅防护门	新建	/
		通风系统	已设计	/
	联锁装置	控制台急停按钮	设备自带	/
		视频监控及对讲装置	/	拟配置
		门机联锁装置	设备自带	/
		音响提示	设备自带	/
		紧急回源装置	已设计	/
		模拟源装置	已设计	/
		手动回源装置	已设计	/
	警示设施	入口当心电离辐射警告标识	/	拟配置
		防护门上方工作状态指示灯	/	拟配置
	急停装置	紧急开门按钮	/	拟配置
		治疗室内急停按钮	/	拟配置
模拟定位机项目	场所设施	四周墙体+屋顶屏蔽	已设计	/
		铅防护门	已设计	/
		观察窗	已设计	/
	警示设施	出入口处电离辐射警示标志	/	拟配置
		急停按钮	设备自带	/
		工作状态显示	/	拟配置
核医学科项目	场所设施	四周墙体+屋顶屏蔽	新建	/
		出入口缓冲间	已设计	/
		铅防护门	已设计	/
		观察窗	已设计	/
		负压工作场所	已设计	/
		病人专用卫生间	已设计	/
		衰变池	已设计	/
		放射性废物暂存间	已设计	/
		视频监控与对讲系统	/	需配备
		出入口处电离辐射警示标志	/	需配备
		工作状态显示	/	需配备

		进出口单向门禁	已设计	/
DSA	场所设施	四周墙体+屋顶屏蔽	已设计	/
		铅防护门	已设计	/
		观察窗	已设计	/
	警示设施	出入口处电离辐射警示标志	/	拟配置
监测设备	警示设施	急停按钮	设备自带	/
		工作状态显示	/	拟配置
		固定式报警仪	已设计	/
	监测设备	便携式 X-γ 巡检仪	/	拟配置
		中子剂量检测仪	/	拟配置
		表面沾污仪	/	拟配置
医用电子直线加速器项目	场所设施	个人剂量报警仪	/	拟配置
		个人剂量计	/	拟配置

四、环保投资

为了保证本项目安全持续开展，根据相关要求，医院将投入一定资金建设必要的环保设施，配备相应的监测仪器和防护用品，本项目环保投资估算见表 10-11。

表 10-11 环保设施及投资估算一览表

项目	规定的措施	数量	金额 (万元)
医用电子直线加速器项目	场所设施	四周墙体+迷道+屋顶防护	/ 纳入基建
		铅防护门	2 檉
		通风系统	2 套 30
	控制台及安全联锁	视频监控及对讲装置	2 套
		治疗室门与高压联锁	2 套 5.0
	警示装置	入口当心电离辐射警告标识	2 套
		入口有加速器工作状态显示	2 套 0.2
		工作场所分区及标识	2 套
	治疗室紧急设施	屏蔽门内开门按钮	2 个
		治疗室门防夹人装置	2 套
		紧急照明或独立通道照明系统	2 套 6.0
		治疗室内急停按钮	2 套
后装治疗机项目	监测设备	固定式报警仪	2 套
		便携式辐射巡测仪	1 个
		个人剂量报警仪	4 个 30
		中子辐射剂量率仪	1 个
		个人剂量计	若干
后装治疗机项目	场所设施	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	/ 纳入基建
		铅防护门	1 檉
		通风系统	1 套 15
	联锁装置	视频监控及对讲装置	1 套 10

模拟定位机项目		门机联锁装置	1 套	
		音响提示	1 套	
	警示设施	入口当心电离辐射警告标识	1 套	0.2
		防护门上方工作状态指示灯	1 套	
	急停装置	紧急开门按钮	1 套	2.0
		治疗室内急停按钮	1 套	
	监测设备	固定式报警仪	1 套	5.0
		便携式辐射巡测仪 (肿瘤科共用)	/	
		个人剂量报警仪	2 个	
		个人剂量计	若干	
核医学科项目	场所设施	四周墙体+屋顶屏蔽	/	20
		铅防护门	3 檐	
		观察窗	1 扇	
	警示设施	出入口处电离辐射警示标志	1 套	0.2
		工作状态显示	1 套	
	监测仪器	便携式辐射巡测仪 (肿瘤科共用)	/	5.0
		个人剂量报警仪	1 个	
		个人剂量计	若干	
		四周墙体+屋顶屏蔽	/	
DSA 项目	场所设施	出入口缓冲间	4 套	750
		铅防护门	若干	
		观察窗	4 扇	
		负压工作场所	4 处	
		病人专用卫生间	若干	
		衰变池	2 套	
		放射性废物暂存间	/	
		视频监控与对讲系统	3 套	
		出入口处电离辐射警示标志	若干	
		工作状态显示	5 套	
	监测设备	进出口单向门禁	4 套	30
		个人剂量报警仪	若干	
		个人剂量计	若干	
		便携式辐射巡测仪	/	
DSA 项目	场所设施	表面污染水平检测仪	1 个	20
		四周墙体+屋顶屏蔽	/	
		铅防护门	18 檐	
	警示设施	观察窗	5 扇	50
		出入口处电离辐射警示标志	5 套	
	监测仪器	工作状态显示	5 套	2
		便携式辐射巡测仪	/	

		个人剂量报警仪	若干	
		个人剂量计	若干	

本项目总投资 8000 万元，环保投资约 1000 万元，占总投资的 12.5%。今后医院在核技术利用项目实践中，应根据国家发布的法规内容，结合医院实际情况对环保设施做补充，使之更能满足实际需要。同时医院应定期对环保设施、监测仪器等进行检查、维护。

三废的治理

一、肿瘤科

（一）医用电子直线加速器项目

1、废水治理

本项目医用电子直线加速器冷却系统采用蒸馏水，内循环使用不外排，不会产生废水。本项目工作人员产生生活污水依托医院已有污水处理站处理。

2、废气治理

本项目医用电子直线加速器治疗过程中产生的 X 射线，会使治疗室内的空气电离，产生少量臭氧和氮氧化物，以及少量的感生放射性气体。

为了减少上述废气对人员产生的影响，医用电子直线加速器机房设置有独立的通排风系统，且在排风口末端设置有高效排风过滤器，以过滤产生的少量的感生放射性气体。根据设计院提供的设计方案，本项目 2 座医用电子直线加速器机房（含迷道）容积均约为 323m³（吊顶高度为 3.6m），机房的有效排风风量均为 3000m³/h，则每小时的换气次数约为 9 次，均能满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“换气次数不少于 4 次/h”的要求。

本项目 2 座医用电子直线加速器机房均采用机械进排风，进风管道从加速器机房迷道入口防护门上方穿过进入加速器机房，进风管道采用“S”型管道，1#机房进风口位于机房南侧顶部共 2 处，排风口位于机房北侧距离地面约 0.3m 处；2#机房进风口位于机房北侧顶部共 2 处，排风口位于机房南侧距离地面约 0.3m 处。排风管道沿迷道上方穿过迷道入口防护门上方引出，同样采用“S”型管道，室内气体由通排风系统经高效排风过滤器统一抽排至核医学科楼楼顶。此处排风口位于楼顶，为该栋建筑最高处，周围扩散条件良好，排风口位置附近无门、窗或人流较大的过道等位置。

3、噪声

本项目噪声主要来源于机房内通排风系统的风机，工作场所使用的通排风系统为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值低于 60dB(A)，噪声对周围环境影响较小。

4、固体废物处理措施

本项目医用电子直线加速器工作过程不产生固体废物。

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，机器退役（约使用 10 年）后更换下来的废靶件等应作为放射性废物处理。医院应将更换的废靶件交有资质单位收贮。

院区内设置一处生活垃圾暂存间，产生的生活垃圾集中暂存，由环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。医院设有医疗废物暂存间，产生的医疗废物在此集中暂存，交由有资质单位进行统一收集、清运和处置。

5、射线装置报废处理

根据《四川省辐射污染防治条例》，“射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化”。本项目使用的医用电子直线加速器在进行报废处理时，应将该射线装置的高压射线管进行拆卸并破碎处理。

（二）后装治疗机项目

1、废水治理

本项目工作人员产生生活污水依托医院拟建的污水处理站处理。

2、废气治理

为了减少废气对人员产生的影响，后装治疗机机房设置独立的通排风系统，根据设计院提供的设计方案，本项目后装治疗机机房容积（含迷道）约为 132m³（吊顶高度为 3.6m），机房的排风风量为 1500m³/h，则每小时的换气次数约为 11 次，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中“换气次数不少于 4 次/h”的要求。

该后装治疗机机房采用机械进排风，进风管道从后装治疗机机房迷道入口防护门上方穿过进入机房，进风管道采用“S”型管道，进风口位于机房东北角顶部共 1 处，排风口位于机房西南角距离地面 0.3cm 处。排风管道沿迷道上方穿过迷道入口防护门上方引出，同样采用“S”型管道，室内气体由通排风系统经高效排风过滤器统一抽排至核医学科楼楼顶。此处排风口位于该栋建筑顶楼，周围扩散条件良好，排风口位

置附近无门、窗或人流较大的过道等位置。

3、噪声

本项目噪声主要来源于机房内通排风系统的风机，工作场所使用的通排风系统为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值低于 60dB(A)，噪声对周围环境影响较小。

4、固体废物处理措施

随着核素的自然衰变，¹⁹²Ir 放射源的活度不断降低，当¹⁹²Ir 放射源使用到一定年限后，会产生退役的¹⁹²Ir 放射源，退役¹⁹²Ir 放射源由原厂家回收处置。

院区内设置一处生活垃圾暂存间，产生的生活垃圾集中暂存，由环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。医院设有医疗废物暂存间，产生的医疗废物在此集中暂存，交由有资质单位进行统一收集、清运和处置。

(三) 模拟定位机项目

1、废气治理

模拟定位机在开机出束期间，产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧(O₃)。本项目模拟定位机机房设有通排风系统，其内通风口设置在机房距离地面约 30cm 处，室内气体由通排风系统抽排至核医学科楼顶部室外排放。

产生的臭氧通过换气系统排入环境大气后，经自然分解扩散，对环境产生影响较小。从保护患者、医护人员的健康安全角度考虑，本项目辐射场所能保持较好的通风，其通风系统进、排风口位置的设置合理。

2、固体废物

本项目工作人员产生的生活垃圾不属于医疗废物，集中暂存于院区内生活垃圾暂存间，由环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。

3、废水

医院已建污水处理站一座，生活污水经污水处理站处理达到《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005) 中的表 2 预处理标准后排入市政污水管网进入城市污水处理厂处理。医院污水处理站设计处理能力能够满足本项目生活污水及医疗废水产生量和排放量的排放需求。

4、噪声

项目噪声源为机房通排风系统，该系统采用低噪声设备，其噪声值低于 60dB(A)，

经建筑物墙体隔声及医院场址内的距离衰减后，运行期间厂界噪声可达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）2类标准要求。

5、射线装置报废处理

根据《四川省辐射污染防治条例》，“射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化”。本项目使用的模拟定位机在进行报废处理时，应将该射线装置的高压射线管进行拆卸并破碎处理等去功能化措施并按相应要求执行报废程序。本项目肿瘤科的通排风系统管道布置图见图 10-8。

图 10-8 肿瘤科通排风管道布置图

二、核医学科

本项目运行期产生的主要放射性“三废”为工作场所使用非密封放射性同位素过程中产生的放射性废气、放射性废水和放射性固体废物，本项目核医学科拟采取以下“三废”防治措施。

（一）放射性废气

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中 7.4 规定，产生放射性废气的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间，更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）：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（一般不小于 0.5m/s），排气口应高于本建筑屋脊，并安装专用过滤装置。

1、核医学科-影像中心

本项目工作场所排风管道分为 4 支，其中 1 支单独连接分装室的手套箱，放射性药物的各项操作均在手套箱内进行，手套箱由专业厂商提供，根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“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 0.5m/s）”要求，医院购买的手套箱排风口处风速不得低于 0.5m/s；第 2 支单独连接注射候诊室及留观室，第 3 支单独连接 PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房，第 4 支单独连接放射性废物暂存间、储源室、抢救室和分装注射室等。且场所内的送风系统送风量小于排风系统的排风量，保证了非密封放射性物质工作作为负压工作场所，通风管道布设如图 10-9 所示。

工作场所产生的废气经由 4 根排风管道排至核医学科楼楼顶，其中工作场所的手套箱自带有高效过滤器装置，4 支排风管道均在末端配置有活性炭吸附装置处理设施，屋顶排风口均朝向天空。核医学科楼楼顶周边空气流通通畅，含放射性核素的气溶胶经活性炭及高效过滤器过滤后对周边环境影响较小。

图 10-9 核医学科-影像中心通排风管道走向示意图

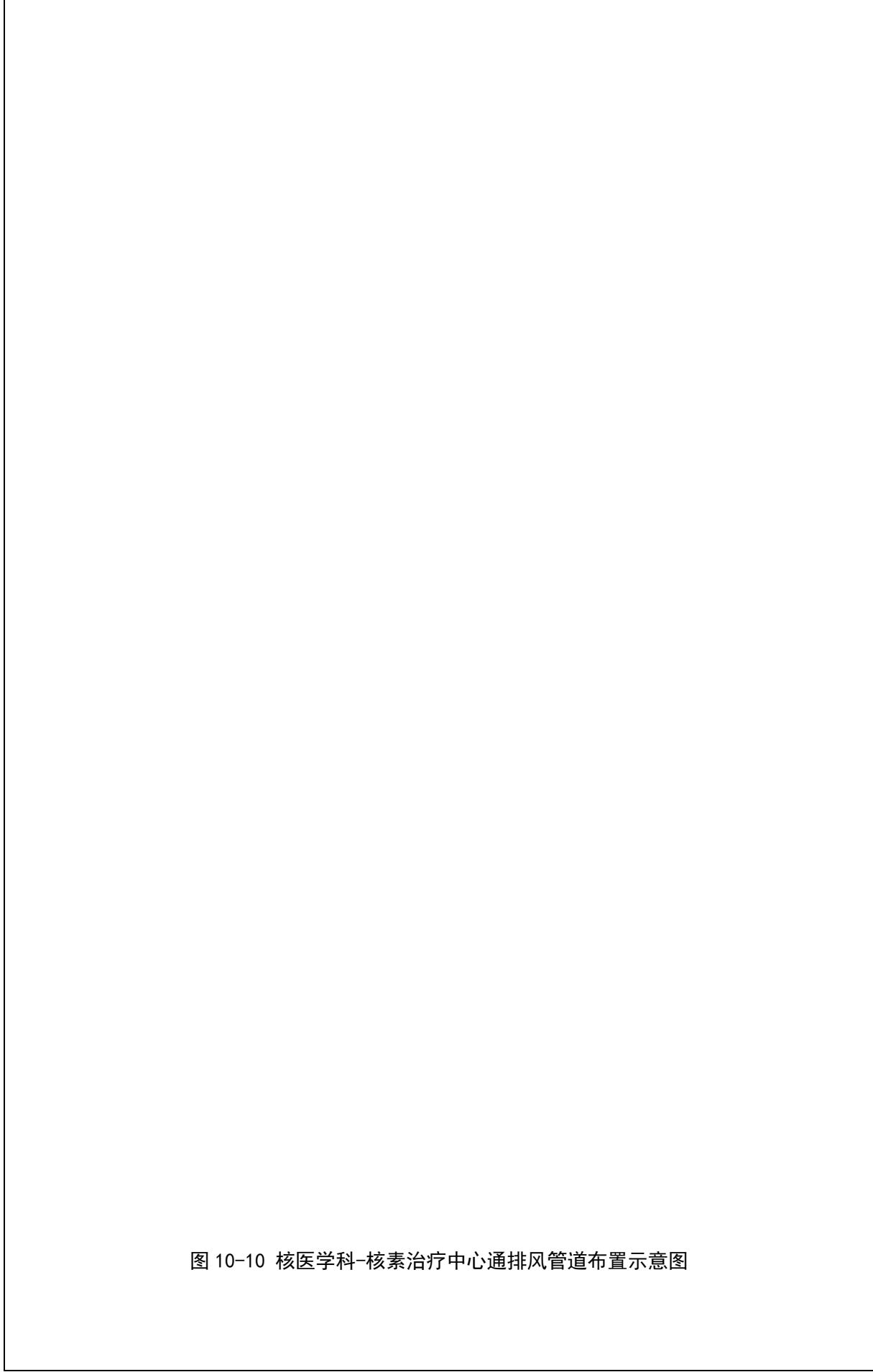
2、核医学科-核素治疗中心

本项目工作场所排风管道分为 3 支，其中 1 支单独连接自动分装仪，放射性药物的各项操作均在自动分装仪内进行，自动分装仪由专业厂商提供，根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“合成和操作放射性药物所用的通风橱，工作中应有足够的风速（一般风速不小于 0.5m/s）”要求，医院购买的自动分装仪排风口处风速不得低于 0.5m/s；第 2 支单独连接分装服药室和放射性废物暂存间等。第 3 支单独连接核素病房等。且场所内的送风系统送风量小于排风系统的排风量，保证了非密封放射性物质工作为负压工作场所，通风管道布设如图 10-10 所示。

工作场所产生的废气经由 3 根排风管道排至核医学科楼楼顶，其中工作场所的自动分装仪自带有效过滤器装置，3 支排风管道均在末端配置有活性炭吸附装置处理设施，屋顶排风口均朝向天空。核医学科楼周边无邻近高层建筑，空气流通通畅，含放射性核素的气溶胶经活性炭及高效过滤器过滤后对周边环境影响较小。

核医学科各工作场所各排风管道必须密封良好，不与核医学科楼其他排风管道相通，过滤器及活性炭需定期更换，更换后的活性炭经贮存规定时间后作为一般废物处置。

图 10-10 核医学科-核素治疗中心通排风管道布置示意图



（二）放射性废水

本项目核医学科 2 处工作场所产生的含放射性废水包括：工作人员操作过程手部受到微量污染的清洗废水，清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水，以及患者冲洗排便用水。

核医学科-影像中心涉及的核素为 ^{18}F （半衰期为 109.7min）、 ^{68}Ga （半衰期为 68.3min）和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （半衰期为 6.02h）等。

核医学科-核素治疗中心涉及的核素为 ^{131}I （半衰期为 8.04d）、 ^{89}Sr （半衰期为 50.5d）和 ^{153}Sm （半衰期为 46.5h），由于本项目会使用 ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 核素治疗，且是对适应症病人开展，治疗人员服药后即离开核医学科，且医院在对患者治疗会进行宣教，告示患者在服药前入厕，入厕后再服药，故患者不会在核医学科入厕，故不考虑其病人产生的废水中 ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 核素对总活度的贡献。

本项目核医学科工作场所按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）拟在核医学科总上水管处设置有洗消装置，满足标准要求。

工作场所产生的放射性废水通过预埋好的管道排至核医学科楼南侧室外绿化带内本次新建的 2 套衰变池内。根据设计院提供的设计图可知：核医学科 2 处工作场所产生的放射性废水先排至污泥池再通过专用管道排至放射性废水衰变池（原理图见图 10-11），待放射性废水暂存至规定时间后通过管道排至医院污水处理站处理达标后排入市政管网。

本项目新设置的 2 套放射性废水衰变池通过专门管路收集放射性废水，均采用间歇式衰变的处理方式设计。同时在排水口处设有专门取样孔，便于取样检测。本项目拟配备的槽式衰变池池壁为混凝土结构，排水管道的材质为不锈钢材质，其表面光滑、坚固耐酸碱腐蚀、无渗透性，核医学科的排水管道均埋在地下土层内，裸露的排水管道均拟采用 2mmPb 的铅皮进行包裹。

1、处理措施

本项目工作场所放射性废水将排入新建的 2 套放射性废水衰变系统，其中，核医学科-影像中心用衰变池系统设有 3 个相同体积的放射性废水衰变槽体，每个槽体有效容积均为 12m^3 ，放射性废水衰变系统采用间歇式排放运行。

核医学科-核素治疗中心用衰变池系统设有 4 个相同体积的放射性废水衰变槽体，每个槽体有效容积均为 80m^3 ，放射性废水衰变系统采用间歇式排放运行。

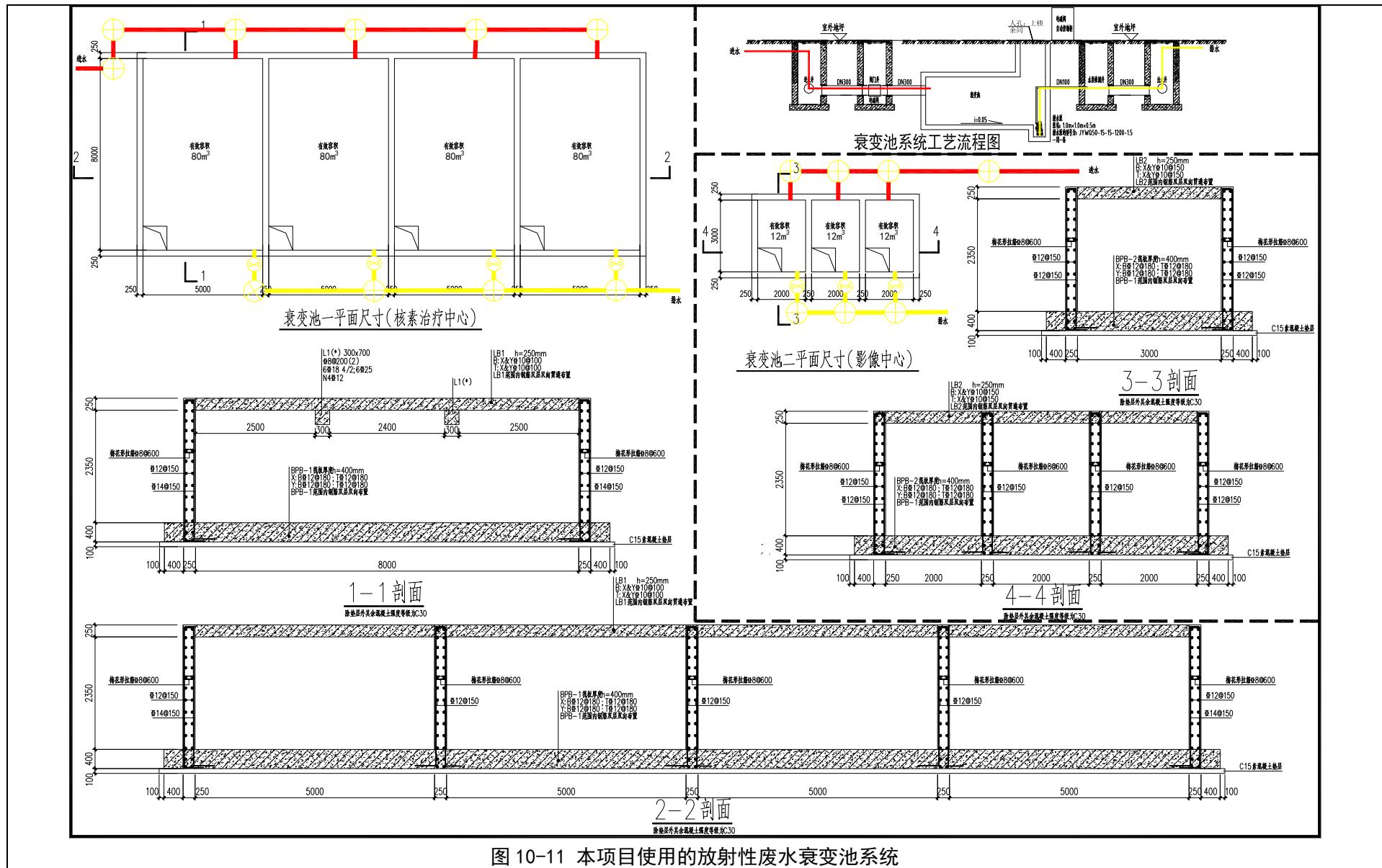


图 10-11 本项目使用的放射性废水衰变池系统

2、衰变池的运行原理

本项目本次新建的 2 套衰变池均由 3~4 个容积相同的小池组成，该系统自动运行并在核医学科医生办公室位置设有实时液位监控系统，可实时查看衰变池的运行情况，核医学科产生的放射性废水先进入第一个衰变池中，待第一个衰变池的废水装满后关闭第一个衰变池的进水阀门，打开第二个衰变池的进水阀门，核医学科的废水会排入第二衰变池内，此时第一个衰变池不外排放放射性废水，待第二个衰变池的废水装满后，关闭第二个衰变池的进水阀门，打开第三个衰变池的进水阀门，此时核医学科产生的放射性废水均进入第三个衰变池内，待第三个衰变池即将装满放射性废水时，关闭第三个衰变池的进水阀门，此时打开第一个衰变池的排水阀门，将放射性废水排至医院污水处理站，衰变池以此往复运行。

3、衰变池容量可行性分析

工作场所放射性废水主要来源是工作台面、地面去污时产生的放射性废水，工作人员操作过程中手部受到微量污染的清洁废水，患者冲洗排便废水。

患者产生的废水量：参考《建筑给排水设计规范》（GB 50015-2019）表 6.2.2 的医生生活用水量定额，同时根据该建设项目预期日检查人数，则本项目废水产生情况见表 10-12：

表 10-12 成都市郫都区人民医院核医学科废水产生情况一览表

序号	用水类别	单人单次废水量	日诊疗人数	日产生废水量	备注
1	影像中心患者	8L	48 人次	384L	影像中心
2	工作人员	20L	8 人次	160L	
3	场所清洗废水	150L/日		150L	
合计				694L (0.7m ³)	/
1	使用 ¹³¹ I 患者（甲吸）	5L	5 人次	25L	核素治疗中心
2	使用 ¹³¹ I 患者（甲癌）	150L	5 人次	750L	
3	工作人员	50L	5 人次	250L	
4	场所清洗废水	50L/日		50L	
合计				1075L (1.1m ³)	

本项目核医学科-影像中心日产生放射性废水约 0.7m³，2#衰变池的总容积为 36m³，保守按照装满两个池子的容积进行核算，则装满 2 个池子需要约 34d (24m³/0.7m³/d)，该衰变池只接纳工作场所使用放射性核素¹⁸F、⁶⁸Ga 和^{99m}Tc 时产生的放射性废水，该短半衰期衰变池容积能够满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 中“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直

接解控排放”的要求。本项目产生的含短半衰期的放射性核素的废水在衰变池存放 34d 后直接排至医院的污水处理站进行处理。

本项目核素治疗中心日产生放射性废水约 1.1m^3 ，1#衰变池的容积为 320m^3 ，保守按照装满三个池子的容积进行核算，则装满 3 个池子需要约 218d ($240\text{m}^3/1.1\text{m}^3/\text{d}$)，该衰变池只接纳工作场所使用放射性核素 ^{131}I 时产生的放射性废水，该长半衰期衰变池容积能够满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 中“所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期(含碘-131 核素的暂存超过 180 天)”的要求。

同时，医院应根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 的要求：“所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB 18871 附录 A 表 A1 的要求。”对长半衰期衰变池进行监测。故本项目产生的含长半衰期的放射性核素 (^{131}I) 的废水在衰变池存放 218d 后经检测符合标准后直接排至医院的污水处理站进行处理。

医院应规定：

- (1) 规定患者诊疗期间使用专用厕所，不得使用其他厕所。
- (2) 专用厕所应具备使病人排泄物迅速全部冲洗入池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

(三) 放射性固废

本项目非密封放射性物质工作场所在分装注射室及工作场所出口处均拟设置有放射废物暂存间，用于暂存项目开展过程中产生的放射性废物。

本项目产生的放射性固体废物主要有污染的注射器、针头、手套、棉签、纱布、滤纸、破碎杯皿、擦拭污染物地面的物品以及其他可能受放射性污染的物品等。在注射室等设置 10 个专用脚踏式废物桶 (10mmPb 当量，铅废物桶底部带有万向轮)，容器内放置塑料袋；对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入塑料袋内。每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h ，重量不超过 20kg。存放废物的容器必须安全可靠，并在显著位置标明废物类型、核素种类、比活度和存放日期等。

在每个放射性废物暂存间内设置 4 个容积不低于 50L 的铅废物箱 (10mmPb 当量)，每日工作结束后，将当日产生的废物利用带有万向轮的铅废物桶转移至放射性

废物暂存间的废物箱内静置衰变，并注明核素种类、转入时间，做好台账记录。放射性进行分类收集，其中短半衰期的放射性废物暂存 30d 后作为医疗废物处理，含 ^{131}I 的放射性废物暂存超过 180d 后作为医疗废物处理。

核医学科排风管排放口处更换下来的活性炭需按固体放射性废物处理，同样在废物间内暂存 30d 或 180d 后，经监测符合排放标准后作为医疗废物进行处置。

综上，核医学科产生的放射性固体废物（含废活性炭）采用专用塑料袋分类收集后封闭暂存于放射性衰变桶内并及时转移至放射性废物暂存间存放，经监测符合排放标准后同其它医疗废物一起由医疗废物处理机构定期统一处理；生活垃圾分类收集后交市政环卫部门统一清运。医院拟配备的专用脚踏式废物桶底部拟带有万向轮，工作人员转移废物时可将放射性废物连同铅桶一起转移至放射性废物暂存间内，至暂存间后再将含放射性废物的塑料袋转移至大容积的铅废物箱，随后再将空置的铅废物桶转移至原工作场所。此转移过程中，放射性废物一直在铅废物桶中存放，工作人员近距离接触时间明显减少，避免了不必要的照射。

（四）非放射性污染防治措施

本项目运行期间产生的非放射性污染物主要是噪声、生活污水、生活垃圾。具体治理措施如下：

1、生活污水和生活垃圾处理措施

本项目工作人员工作中会产生少量的生活污水、生活垃圾和办公垃圾，候诊病人候诊过程中产生少量的生活污水和生活垃圾，依托医院拟建的污水处理系统和生活垃圾收集系统进行处理。

2、废气处理措施

本项目使用的II、III类射线装置在工作状态时，会使空气电离产生少量的臭氧(O_3)和氮氧化物(NO_x)，少量臭氧和氮氧化物可通过动力排风装置排出，臭氧 50 分钟后自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

3、噪声治理措施

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机，各机房所使用的通排风系统均为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值一般低于 60dB(A)，噪声较小，考虑到噪声的远距离衰减作用，各排风系统使用的风机均采用橡胶垫进行减震，噪声进一步减小，对周围环境影响可以忽略。

4、射线装置报废处理

根据《四川省辐射污染防治条例》，“射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化”。本项目使用的 PET/CT 和 SPECT/CT 在进行报废处理时，将射线装置高压射线管进行拆卸并去功能化，同时将射线装置主机的电源线绞断，使射线装置不能正常通电，防止二次通电使用，造成误照射。

三、介入诊断项目

1、废气治理

DSA 在开机出束期间，产生的 X 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧 (O₃)。

本项目 DSA 机房内均设有通排风系统，其内通风口设置在机房距地面约 30cm 处，室内气体由通排风系统统一抽排至楼顶排放。

产生的臭氧通过换气系统排入环境大气后，经自然分解扩散，对环境产生影响较小。从保护患者、医护人员的健康安全角度考虑，本项目辐射场所能保持较好的通风，其通风系统进、排风口位置的设置合理。

2、医疗废物

介入手术时产生的医用器具、药棉、纱布、废造影剂及废造影剂瓶等医用废物，产生量约为 30kg/月。介入手术产生的医疗废物采用专门的收集容器暂存，由专人每天到科室收集到院内医疗废物暂存点，按照医疗废物执行转移联单制度，定期由有资质的医疗废物处置单位统一收集处置。

本项目工作人员产生的生活垃圾不属于医疗废物，集中暂存于院区内生活垃圾暂存间，由环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。

3、废水

医院已建污水处理站一座，生活污水经污水处理站处理达到《医疗机构水污染物排放标准》GB 18466-2005) 中的表 2 预处理标准后排入市政污水管网进入城市污水处理厂处理。医院污水处理站设计处理能力能够满足本项目生活污水及医疗废水产生量和排放量的排放需求。

4、噪声

项目噪声源为各机房通排风系统，该系统采用低噪声设备，其噪声值低于 60dB(A)，经建筑物墙体隔声及医院场址内的距离衰减后，运行期间厂界噪声可达到

《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）2类标准要求。

5、射线装置报废处理

根据《四川省辐射污染防治条例》，“射线装置在报废处置时，使用单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化”。本项目使用的 DSA 在进行报废处理时，应将该射线装置的高压射线管进行拆卸并破碎处理等去功能化措施并按相应要求执行报废程序。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

一、施工阶段的环境影响分析

本项目建设时将产生施工噪声、扬尘，同时会产生一定的废水、废气和建筑垃圾等。建设施工时对环境会产生如下影响：

1、大气：本项目在建设施工期需进行的混凝土浇筑等作业，各种施工将产生地面扬尘，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。针对上述大气污染采取以下措施：

- ①及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；
- ②车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；
- ③施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

2、噪声：整个建筑施工阶段，如混凝土搅拌机、卷扬机及载重车辆等在运行中都 将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时需严格执行《建筑施 工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的要求，尽量使用噪声低的先进设备， 同时严禁夜间进行强噪声作业，如需连续施工，在夜间施工而产生环境噪声污染时， 按《中华人民共和国噪声污染防治法》的规定，需取得当地人民政府或有关主管部门 的证明，并公告附近居民。

3、固体废物：项目施工期间，会产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，委托 有资质的单位清运，并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。

4、废水：项目施工期间，有一定量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水进行初 级沉淀处理，并经隔渣后排放。在施工阶段，将合理安排施工计划，先行修建临时化 粪池，施工人员生活污水排入临时化粪池，及时清理。

医院在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在内局部区 域，对周围环境影响较小。

二、设备安装调试期间的环境影响分析

本项目涉及的射线装置和含源装置的安装调试阶段，会产生 X 射线及 γ 射线，造 成一定的辐射影响。设备安装完成后，会有少量的废包装材料产生。

本项目射线装置和含源装置的运输、安装和调试均由设备厂家专业人员进行操 作。在射线装置和含源装置的运输、安装、调试过程中，应加强辐射防护管理，在此

过程中应保证屏蔽体屏蔽到位，在运输设备和机房门外设立辐射警示标志，禁止无关人员靠近；在设备的调试和维修过程中，射线源开关钥匙应安排专人看管，或由维修操作人员随身携带，并在机房入口等关键处设置醒目的警示牌，工作结束后，启动安全联锁并经确认系统正常后才能启用射线装置；人员离开时运输设备的车辆和机房上锁并派人看守。

由于本项目涉及的射线装置和含源装置的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

（一）肿瘤科-医用电子直线加速器项目

成都市郫都区人民医院拟在肿瘤科新建 2 座医用电子直线加速器机房并各配备 1 台医用电子直线加速器，型号未定，其 X 射线最大能量为 15MV，15MV 时 1 米处最大输出剂量率为 6Gy/min，电子线最大能量为 22MeV，电子线等中心 1 米处最大剂量率为 10Gy/min，单台设备年工作负荷约 500h（其中以 X 射线模式运行约 450h，电子线模式运行约为 50h）。医院本次拟配备的医用电子直线加速器均带有 CBCT 系统，由于机房的防护均为混凝土结构且厚度最薄处也为 800mm 厚混凝土，远远超过《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中相关要求，故可忽略其对周围环境的辐射影响。

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）的要求，在本项目医用电子直线加速器机房外设定关注点。从保守角度出发，在医用电子直线加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定加速器最大功率运行并针对关注点最不利的情况进行预测计算。本项目 2 座机房屏蔽防护一致，考虑 1#机房位于 2#机房和后装治疗机机房中间处，以 1#机房为例进行理论计算。

本项目 1#医用电子直线加速器机房的关注点设定如图 11-1 和图 11-2。

图 11-1 1#医用电子直线加速器机房关注点布置图（平面图）

图 11-2 1#医用电子直线加速器机房关注点布置图（剖面图）

1、医用电子直线加速器机房关注点剂量率参考控制水平

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）中相关规定及本项目医用电子直线加速器机房周开机治疗时间，估算得到机房外 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 。

$$\dot{H}_{c, d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \cdots \cdots \text{公式 11-1}$$

式中： $\dot{H}_{c, d}$ —导出剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

H_c —周剂量率参考控制水平 $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；根据 HJ 1198-2021 中 6.1.4 的 a)，机房外辐射工作人员： $H_c \leq 100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；机房外非辐射工作人员： $H_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

t —治疗装置周工作时间，根据医院提供资料，本项目医用电子直线加速器放射治疗工作量为 40 人/天，每周工作 5 天，年出束时间约 500h，则本项目医用电子直线加速器周治疗照射时间为： $t = 10\text{h}/\text{周}$ ；

U —关注位置的方向照射的使用因子；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子。

根据公式 11-1 并结合图 11-1，本项目 1#医用电子直线加速器机房各关注点剂量率参考控制水平详见表 11-1。

表 11-1 本项目 1#医用电子直线加速器机房各关注点剂量率参考控制水平一览表

关注点		T	U	H_c ($\mu\text{Sv/周}$)	t (h)	$\dot{H}_{c, d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	$H_{c, max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)
1# 医 用 电 子 直 线 加 速 器 机 房	南墙主屏蔽 (a 点)	1/2	1/4	5	10	4.0	2.5	2.5
	北墙主屏蔽 (b 点)	1/2	1/4	5		4.0	2.5	2.5
	屋顶主屏蔽 ($/$ 点)	1/16	1/4	5		32	2.5	2.5
	南墙次屏蔽 (c_1 点)	1/2	1	5		1.0	2.5	1.0
	北墙次屏蔽 (d_1 点)	1	1	5		1.0	2.5	1.0
	北墙次屏蔽 (d_2 点)	1/2	1	5		0.5	2.5	0.5
	屋顶次屏蔽 (m_1 、 m_2 点)	1/16	1	5		8.0	2.5	2.5
	迷路外墙 (f 点)	1	1	100		10	2.5	2.5
	迷路外墙 (k 点)	1/16	1	5		8.0	2.5	2.5
	迷路入口防护门外 (g 点')	/	/	/		/	/	0.5
	迷路入口防护门外 (g 点)	1/8	1	5		4.0	2.5	2.5

注: \dot{H}_c 为 $H_{c, max}$ 与导出的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c, d}$ 二者中选择较小者;

本项目 $H_{c, max}$ 取 HJ1198-2021 中 6.1.4 给出关注点最高剂量率参考水平 $H_{c, max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ (人员居留因子 $> 1/2$ 场所) 和 $H_{c, max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ (人员居留因子 $\leq 1/2$ 场所), 本项目综合考虑均按照 $H_{c, max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ 考虑。

2、有用线束主屏蔽区宽度核算

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分: 一般原则》(GBZ/T 201.1-2007) 的相关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度。

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

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);

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。

根据图 11-1 和图 11-2, 将各参数代入公式 11-2 得出机房的主屏蔽宽度核算结果如下表:

表 11-2 主屏蔽区域宽度设计评价表

参数	取值		
	南墙主屏蔽	北墙主屏蔽	屋顶主屏蔽
a (m)	6.00	5.00	5.80
SAD (m)	1	1	1
θ (°)	14	14	14
计算宽度 Y_p (m)	4.09	3.59	3.99
实际宽度 (m)	4.50	4.00	4.00
评价	满足	满足	满足

注: 南墙保守按照外凸考虑。

3、医用电子直线加速器机房屏蔽体厚度校核

(1) 主屏蔽区厚度校核

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

$$B = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \cdot \frac{R^2}{f} \cdots \cdots \text{公式 11-3}$$

$$X_e = TVL \cdot \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \cdots \cdots \text{公式 11-4}$$

$$X = X_e \cdot \cos \theta \cdots \cdots \text{公式 11-5}$$

式中: B ——屏蔽透射因子;

\dot{H}_c ——剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

\dot{H}_0 ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 (以下简称靶) 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$, 本项目为 15MV 时为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$;

R ——靶点至关注点的距离, m, 本项目关注点为相应屏蔽体外 30cm;

f ——对有用线束为 1, 对泄漏辐射为泄漏辐射比率, 0.1%。

X ——设计屏蔽厚度, cm; θ ——斜射角。

TVL_1 (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度, 当未指明 TVL_1 时, $TVL_1=TVL$ 。可根据加速器 X 射线能量查 GBZ/T 201.2-2011 的附录 B 表 B.1。

射线路径 (射线类型): $O_2 \rightarrow a$ (主射线), $O_1 \rightarrow b$ (主射线), $O_3 \rightarrow l$ (主射线)。

表 11-3 主屏蔽区域厚度设计评价表

参数	南墙主屏蔽 (a 点)	北墙主屏蔽 (b 点)	屋顶主屏蔽 (l 点)
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5	2.5	2.5
R (m)	7.90	7.80	9.45
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8
f	1	1	1
β	4.33×10^{-7}	4.23×10^{-7}	6.20×10^{-7}
TVL_1 (cm)	44	44	44
TVL (cm)	41	41	41
χ_e (cm)	263.9	264.3	257.5
斜射角 θ	0	0	0
计算厚度 X (cm)	263.9	264.3	257.5
实际厚度 (cm)	300	290	300
是否满足要求	满足	满足	满足

(2) 侧屏蔽墙厚度校核

泄漏辐射：估算方法类似主屏蔽区。 TVL_1 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值，分别为 $TVL_1=36\text{cm}$ ， $TVL=33\text{cm}$ 。

射线路径（射线类型）： $O \rightarrow f$ （泄漏射线）， $O \rightarrow k$ （泄漏射线）。计算参数和计算结果见表 11-4。

表 11-4 侧屏蔽区域厚度设计评价表

参数	西侧屏蔽墙 (f 点)	西侧屏蔽墙 (k 点)
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5	2.5
R (m)	9.10	9.64
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8	3.6×10^8
f	0.001	0.001
β	5.75×10^{-4}	6.45×10^{-4}
TVL_1 (cm)	36	36
TVL (cm)	33	33
χ_e (cm)	109.9	108.3
斜射角 θ	0°	0° (保守取)
计算厚度 X (cm)	109.9	108.3
实际厚度 (cm)	234.4	150
是否满足要求	满足	满足

(3) 与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽厚度核算

根据 GBZ/T 201.2-2011，对于与主屏蔽区相连的次屏蔽区应考虑泄漏辐射和患者的一次散射辐射的复合作用，分别计算其所需屏蔽厚度，取较厚者。

泄漏辐射屏蔽，估算方法类似主屏蔽区。 TVL_1 和 TVL 保守取附录 B 表 B.1 的泄

漏辐射值，分别为 $TVL_I=36\text{cm}$ ， $TVL=33\text{cm}$ 。

散射辐射按照公式 11-6 进行计算：

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

式中， \dot{H}_0 ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，本项目为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

α_{ph} ——患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子。根据散射线能量和考察点斜射角，查 GBZ/T 201.2-2011 表 B.2。本项目按 10MV 取值，保守取 3.18×10^{-3} ；

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

R ——患者（位于等中心点）至关注点的距离，m。

A：射线路径（射线类型）： $O_2 \rightarrow O \rightarrow c_I$ （散射射线）， $O_I \rightarrow O \rightarrow d_I$ （散射射线）， $O_I \rightarrow O \rightarrow d_2$ （散射射线）， $O_3 \rightarrow O \rightarrow m_I$ （散射射线）， $O_3 \rightarrow O \rightarrow m_2$ （散射射线）。

$O \rightarrow c_I$ （泄漏射线）， $O \rightarrow d_I$ （泄漏射线）， $O \rightarrow d_2$ （泄漏射线）， $O \rightarrow m_I$ （泄漏射线）， $O \rightarrow m_2$ （泄漏射线）。

计算结果和参数详见表 11-5 和表 11-6：

表 11-5 与主屏蔽区相连的次屏蔽区墙漏射辐射屏蔽厚度核算

参数	南墙次屏蔽 (c_I 点)	北墙次屏蔽 (d_I 点)	北墙次屏蔽 (d_2 点)	屋顶次屏蔽 (m_I 、 m_2 点)
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) *	0.5	0.25	0.5	1.25
R (m)	7.43	7.78	7.78	9.25
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8
f	0.001	0.001	0.001	0.001
B	7.67×10^{-4}	4.20×10^{-5}	8.41×10^{-5}	2.97×10^{-4}
TVL_I (cm)	36	36	36	36
TVL (cm)	33	33	33	33
X_e (cm)	138.8	147.4	137.5	119.4
斜射角 θ	32° (取 30°)	29.1°	29.1°	24°
计算厚度 X (cm)	120.2	128.8	120.1	109.1
实际厚度 (cm)	180	150	150	170
是否满足要求	满足	满足	满足	满足

注：*该处取参考控制水平的一半进行厚度校核。

表 11-6 与主屏蔽区相连的次屏蔽区散射辐射屏蔽厚度核算

参数	南墙次屏蔽 (c_1 点)	北墙次屏蔽 (d_1 点)	北墙次屏蔽 (d_2 点)	屋顶次屏蔽 (m_1 、 m_2 点)
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) *	0.5	0.25	0.5	1.25
R (m)	7.43	7.78	7.78	9.25
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8
α_{ph}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}
F	40×40	40×40	40×40	40×40
B	6.03×10^{-6}	3.30×10^{-6}	6.61×10^{-6}	2.34×10^{-5}
TVL_1 (cm)	31	31	31	31
TVL (cm)	31	31	31	31
X_e (cm)	161.8	169.9	160.6	143.6
斜射角 θ	32° (取 30°)	29.1°	29.1°	24°
计算厚度 X (cm)	140.1	148.5	140.3	131.2
实际厚度 (cm)	180	160	160	170
是否满足要求	满足	满足	满足	满足

注：*该处取参考控制水平的一半进行厚度校核。

(4) 迷道内墙屏蔽设计核算 (防护门内)

医用电子直线加速器靶点位于 O_1 时, g' 点辐射剂量率最大, 泄漏辐射起决定性作用 (泄漏辐射: 估算方法类似主屏蔽区)。混凝土的 TVL_1 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 分别为 $TVL_1=36\text{cm}$, $TVL=33\text{cm}$ 。迷道内墙屏蔽区厚度核算见表 11-7。

表 11-7 迷道内墙屏蔽区厚度核算

参数	迷道内墙 (g' 点)
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.50*
R (m)	8.96
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8
f	0.001
B	1.12×10^{-4}
TVL_1 (cm)	36
TVL (cm)	33
X_e (cm)	133.4
斜射角 θ	保守取 0°
计算厚度 X (cm)	133.4
实际厚度 (cm)	150
是否满足要求	满足

注：*取《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) 附录 D 中“D.1.2.6 a) 当迷路入口以 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 剂量率控制时, 穿过迷路内墙在 g 点出的泄漏辐射剂量率应小于其 $1/4$, 取为 $0.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ”

小结：经过对机房主屏蔽体宽度校核，主屏蔽区、侧屏蔽墙、和迷道外墙厚度校核，与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽厚度校核显示，本项目四周墙体厚度、迷道厚度和顶部厚度均满足要求。

4、医用电子直线加速器对关注点产生的剂量估算

(1) 主屏蔽墙体屏蔽效果预测 (a 点、b 点和 l 点)

射线路径 (射线类型)： $O_2 \rightarrow a$ (主射线)， $O_1 \rightarrow b$ (主射线)， $O_3 \rightarrow l$ (主射线)。使用 GBZ/T 201.2-2011 的相关公式计算有用线束主屏蔽核算，在给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时，首先计算有效厚度 X_e (cm)，估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad \dots \dots \text{公式 11-7}$$

式中， TVL_1 (cm) 和 TVL (cm) 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，当未指明 TVL_1 时， $TVL_1 = TVL$ 。可根据加速器 X 射线能量查 GBZ/T 201.2-2011 的附录 B 表 B.1。

本项目中， a 点、 b 点、 l 点相应厚度主屏蔽的 B 值核算见表 11-8。

$$\dot{H} = \dot{H}_0 \cdot f \cdot B / R^2 \quad \dots \dots \text{公式 11-8}$$

式中， \dot{H}_0 ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 (以下简称靶) 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，本项目 X 射线能量为 15MV 时为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

R ——靶点至关注点的距离，m，本项目关注点为相应屏蔽体外 30cm；

f ——对有用线束为 1，对泄漏辐射为泄漏辐射比率，0.1%。

将各参数代入模式计算，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)，辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-8。

表 11-8 主屏蔽区外关注点辐射剂量率计算参数和计算结果

参数	南墙主屏蔽 (a 点)	西墙主屏蔽 (b 点)	屋顶主屏蔽 (l 点)
X (cm)	300 厘米	290 厘米	300 厘米
X_e (cm)	300 厘米	290 厘米	300 厘米
TVL (cm)	41	41	41
TVL_1 (cm)	44	44	44
B	5.70×10^{-8}	1.00×10^{-7}	5.70×10^{-8}
R (m)	7.90	7.80	9.45
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8
f	1	1	1
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.329	0.592	0.230

\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5	2.5	2.5
评价结果	满足	满足	满足

(2) 侧屏蔽墙屏蔽效果预测 (f 点、 k 点)

射线路径 (射线类型) : $O \rightarrow f$ (泄漏射线), $O \rightarrow k$ (泄漏射线)。

泄漏辐射: 估算方法类似主屏蔽区。 TVL_I 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 分别为 $TVL_I=36\text{cm}$, $TVL=33\text{cm}$ 。 f 点、 k 点辐射剂量率计算参数和结果见表 11-9。

表 11-9 侧屏蔽泄漏射线辐射率计算参数和计算结果

参数	北侧屏蔽墙 (f 点)	北侧屏蔽墙 (k 点)
X (cm)	234.4 砧	150 砧
X_e (cm)	234.4 砧	150 砧
TVL (cm)	33	33
TVL_I (cm)	36	36
B	9.72×10^{-8}	3.51×10^{-5}
R (m)	9.10	9.64
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8	3.6×10^8
f	0.001	0.001
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	4.23×10^{-4}	0.136
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 剂量率参考控制水平	2.5	2.5
评价结果	满足	满足

(3) 与主屏蔽区相连的次屏蔽区的屏蔽效果预测 (c_I 点、 d_I 点、 d_2 点及 m_I 点、 m_2 点)

A: 射线路径 (射线类型) : $O_2 \rightarrow O \rightarrow c_I$ (散射射线), $O_I \rightarrow O \rightarrow d_I$ (散射射线), $O_I \rightarrow O \rightarrow d_2$ (散射射线), $O_3 \rightarrow O \rightarrow m_I$ (散射射线), $O_3 \rightarrow O \rightarrow m_2$ (散射射线)。

$O \rightarrow c_I$ (泄漏射线), $O \rightarrow d_I$ (泄漏射线), $O \rightarrow d_2$ (泄漏射线), $O \rightarrow m_I$ (泄漏射线), $O \rightarrow m_2$ (泄漏射线)。

对于位置 c_I 点, d_I 点、 d_2 点和 m_I 点、 m_2 点, 考虑泄漏辐射和散射辐射复合作用。

B: 泄漏辐射计算

泄漏辐射屏蔽, 估算方法类似主屏蔽区。 TVL_I 和 TVL 保守取附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 分别为 $TVL_I=36\text{cm}$, $TVL=33\text{cm}$ 。

C: 散射辐射屏蔽计算

在给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时, 首先计算或直接在结构图中量出该屏蔽墙的有效厚度 X_e (cm), 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B_s (其中患者散射辐射在混凝土中的什值层, 查表 B.4 知, 对于 15MV 射线, 当散射角 30°时, 患者散射辐射在混凝土

中什值层为 31cm），再按照公式 11-9 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率（ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \cdots \cdots \text{公式 11-9}$$

式中： \dot{H}_0 ：加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，本项目为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

α_{ph} ：患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子。查 GBZ/T 201.2-2011 表 B.2。本项目按 10MV 取值，取 3.18×10^{-3} 。

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

R_s ：患者（位于等中心点）至关注点的距离，m。

叠加次屏蔽墙外泄漏辐射与患者一次散射辐射的瞬时剂量率值，将其与本项目确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 相比，判断机房屏蔽设计是否满足标准要求，计算结果见表 11-10。

表 11-10 与主屏蔽相连的次屏蔽外关注点辐射剂量率核算值

参数	南墙次屏蔽 c_2 点	北墙次屏蔽 d_1 点	北墙次屏蔽 d_2 点	屋顶次屏蔽 (m_1 、 m_2 点)
X (cm)	180 砧	160 砧	160 砧	170 砧
X_e (cm)	212 砧	183.1 砧	183.1 砧	186 砧
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8
泄漏辐射	TVL_1 (cm)	36	36	36
	TVL (cm)	33	33	33
	B	4.64×10^{-7}	3.48×10^{-6}	3.48×10^{-6}
	R (m)	7.43	7.78	7.78
	f	0.001	0.001	0.001
	$\dot{H}_{漏}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.003	0.021	0.012
散射辐射	TVL_1 (cm)	31	31	31
	TVL (cm)	31	31	31
	R_s (m)	7.43	7.78	7.78
	α_{ph}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}
	B	1.45×10^{-7}	1.24×10^{-6}	1.24×10^{-6}
	F	1600	1600	1600
	$\dot{H}_{散}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.012	0.094	0.094
	$\dot{H}_{合}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.015	0.114	0.114

\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.0	0.5	1.0	2.5
评价	满足	满足	满足	满足

(4) 迷道内墙的屏蔽效果预测 (防护门内)

A: 射线路径 (射线类型) : $O_l \rightarrow g'$ (泄漏射线)。

B: 计算模式及参数选择:

g' 点泄漏辐射剂量核算方法同 f 点。

O_l 至 g' 点的距离 $R=8.96\text{m}$, 取泄漏因子 $f=0.001$, TVL_l 和 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值, 分别为 $TVL_l=36\text{cm}$, $TVL=33\text{cm}$ 。

C: 预测计算结果:

表 11-11 穿过迷路内墙在 g' 点的泄漏辐射剂量率估算值

参数	机房入口处 (g' 点)
X (cm)	150 砧
X_e (cm)	152.4 砧
TVL_l	36
TVL	33
B	2.97×10^{-5}
R (m)	8.96
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8
f	0.001
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.133
\dot{H}_c (剂量率参考控制水平)	$0.5\mu\text{Sv}/\text{h}$
评价	满足

(5) 机房入口防护门屏蔽效果核算

本项目配置的医用电子直线加速器 X 射线最大为 15MV, 且有用线束不向迷路照射, 根据 GBZ/T 201.2-2011, 对于 $>10\text{MV}$ 的医用电子直线加速器机房迷路散射辐射需要估算下列各项:

① 总中子注量 Φ_B

迷路的中子散射路径为 “ $o \rightarrow B \rightarrow P \rightarrow g$ ”。 B 点是从等中心点与迷路内墙端的连线和迷路长轴中心线之间的交点。在 B 点的总中子注量 Φ_B 按照公式 11-10 计算。

$$\Phi_B = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi} + \frac{1.26}{2\pi S} n \dots \dots \text{公式 11-10}$$

式中三项分别是加速器机头外的杂散中子、杂散中子在治疗室内壁的散射中子及所形成的热中子。

式中: Φ_B —等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量, ($\text{中子数}/\text{m}^2$) /Gy;

Q_n —在等中心处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数, 本项目根据 NCRP No.151 中表 B.9 中列出的参数, 保守按最大值取 1.22×10^{12} (中子数/ m^2) /Gy;

d_I —等中心点 o 至 B 点的距离, m;

S —治疗机房的总内表面积 (m^2), 包括四壁墙、顶面和底面, 不包括迷路内各面积。上式用于铅屏蔽加速器机头。对于钨屏蔽的加速器机头, 公式 11-10 的第一项和第二项均乘以衰减因子 0.85。

在 B 点的总中子注量 Φ_B 计算结果见表 11-12。

表 11-12 总中子注量核算值

参数	取值
Q_n (中子数/Gy)	1.22×10^{12}
d_I (m)	6.98
S (m^2)	415.8
Φ_B ((中子数/ m^2) /Gy)	4.43×10^9

②机房入口的中子俘获 γ 射线的剂量率 \dot{H}_γ

机房内及迷路中的中子在与屏蔽物质作用时产生中子俘获 γ 射线, 机房入口门外 30cm (g) 处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率 \dot{H}_γ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 按公式 11-11 计算。

$$\dot{H}_\gamma = 6.9 \times 10^{-16} \cdot \Phi_B \cdot 10^{-d_2/TVD} \cdot \dot{H}_0 \dots \dots \text{公式 11-11}$$

式中: 6.9×10^{-16} —该方法中的经验因子, $\text{Sv}/(\text{中子数}/\text{m}^2)$;

Φ_B —等中心处 1Gy 治疗照射时 B 处的总中子注量, ((中子数/ m^2) /Gy);

d_2 — B 点至机房入口 (g) 点的距离, m;

TVD —将 γ 辐射剂量减至其十分之一的距离 (称为什值距离), 对于 15MV 加速器为 3.9m;

\dot{H}_0 —等中心点处治疗 X 射线剂量率, 本项目为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ 。

对于二阶迷路, 公式 11-11 中以二阶迷路 d_{2a} 和 d_{2b} 之和代替 d_2 , 并且 \dot{H}_γ 为公式 11-11 的 1/3。

机房入口门外 30cm (g) 处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率 \dot{H}_γ 计算结果见表 11-13。

表 11-13 机房入口门外 30cm (g) 处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率核算值

参数	取值
Φ_B ((中子数/ m^2) /Gy)	4.43×10^9
d_{2a} (m)	6.85

d_{2b} (m)	2.08
TVD (m)	3.9
\dot{H}_γ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.88

③机房入口的中子剂量率 \dot{H}_n

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm (g) 处无防护门时的剂量率 \dot{H}_n ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 按公式 11-12 计算。

$$\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \phi_B \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \cdot [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \cdot \dot{H}_0 \cdots \cdots \text{公式 11-12}$$

式中: 2.4×10^{-15} —该计算方法中的经验因子, $\text{Sv}/(\text{中子数}/\text{m}^2)$;

S_0 —迷路内口的面积, m^2 ;

S_1 —迷路横截面积, m^2 ;

d_2 —B 点至机房入口 (g) 点的距离, m;

T_n —迷路中能量相对高的中子剂量组分公式 11-12 方括号中的第二项衰减至十分之一行经的距离 (m), 称为什值距离。 T_n 是一个经验值, 与迷路横截面积有关, T_n 按公式 11-13 计算:

$$T_n = 2.06\sqrt{S_1} \cdots \cdots \text{公式 11-13}$$

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm (g) 处无防护门时的剂量率 \dot{H}_n 计算结果见表 11-14。

表 11-14 中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm (g) 处无防护门时的剂量率核算值

参数	取值
ϕ_B ((中子数/ m^2) /Gy)	4.43×10^9
S_0 (m^2)	36.21
S_1 (m^2)	15.27
d_{2a} (m)	6.85
d_{2b} (m)	2.08
T_n (m)	8.05
\dot{H}_n ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	458

④入口防护门屏蔽

入口门屏蔽设计时, 通常使中子和中子俘获 γ 射线屏蔽后有相同的辐射剂量率, 对于中子俘获 γ 射线, 以铅屏蔽; 对于中子, 以含硼 (5%) 聚乙烯板屏蔽。

本项目防护门屏蔽设计为含硼 (5%) 聚乙烯板 200mm, 铅板 15mm, 门外表面包裹有一定厚度的结构钢板。当给定防护门屏蔽厚度 X_γ 和 X_n 时, 防护门外的辐射剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 按公式 11-14 计算。

$$\dot{H} = \dot{H}_\gamma \cdot 10^{-(x_\gamma/TVL_\gamma)} + \dot{H}_n \cdot 10^{-(x_n/TVL_n)} + \dot{H}_{og} \cdot B_{og} \dots \dots \text{公式 11-14}$$

式中: B_{og} —防护门对 \dot{H}_{og} 的屏蔽透射因子, 在 \dot{H}_{og} 相对 g 处的总剂量率较小时, 可以忽略 $\dot{H}_{og} \cdot B_{og}$ 项。

本项目中, \dot{H}_{og} 为 $0.133\mu\text{Sv}/\text{h}$, \dot{H}_γ 为 $1.88\mu\text{Sv}/\text{h}$, \dot{H}_n 为 $458\mu\text{Sv}/\text{h}$, \dot{H}_{og} 相对 g 处的总剂量率较小, 可以忽略 $\dot{H}_{og} \cdot B_{og}$ 项。

入口处中子和中子俘获 γ 射线的能量均不是单一能量, TVL_γ 和 TVL_n 参见附录 C。因本项目中子屏蔽层为 200mm 含硼 (5%) 聚乙烯板, 根据 GBZ/T201.2 中附录 C 知, 对于入口处平均能量为 0.1MeV 的中子, 含硼 (5%) 聚乙烯板 TVL_n 为 45mm; 对于入口处中子俘获 γ 射线, GBZ/T201.2 中附录 C 认为平均能量为 3.6MeV , 铅的 TVL_γ 取值 31mm。防护门外的辐射剂量率计算结果见表 11-15。

表 11-15 防护门外的辐射剂量率核算值

参数	取值
\dot{H}_γ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.88
x_γ (mm)	15
TVL_γ (mm)	31
\dot{H}_n ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	458
x_n (mm)	200
TVL_n (mm)	45
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.634
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 剂量率参考控制水平	2.5
评价	满足

5、预测计算结果汇总及评价

综上所述, 1#医用电子直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-16。

表 11-16 医用电子直线加速器机房墙、顶、门外理论估算结果汇总

关注点	剂量率估算值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	结论
南墙主屏蔽 (a 点)	0.329	2.5	满足
北墙主屏蔽 (b 点)	0.592	2.5	满足
屋顶主屏蔽 (l 点)	0.230	2.5	满足
西墙侧屏蔽 (f 点)	4.23×10^{-4}	2.5	满足
南墙次屏蔽 (c ₁ 点)	0.015	1.0	满足
北墙次屏蔽 (d ₁ 点)	0.114	0.5	满足
北墙次屏蔽 (d ₂ 点)	0.114	1.0	满足

屋顶次屏蔽 (m_1 、 m_2 点)	0.066	2.5	满足
迷路外墙 (k 点)	0.136	2.5	满足
防护门外 (g 点)	0.634	2.5	满足

由表 11-16 可知, 1#医用电子直线加速器机房屏蔽设计能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 的限值要求, 由于两座机房呈并排布置, 机房防护一致, 由此可以推断 2#机房的屏蔽设计也能满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 的限值要求。

关注点人员的年有效剂量由《辐射防护导论》给出的公式进行估算, 计算结果见表 11-17。

$$D_{Eff} = \dot{K}_\alpha \cdot t \cdot T \cdot U \dots \dots \text{公式 11-15}$$

上式中: D_{Eff} —关注点人员有效剂量 (Sv) ;

\dot{K}_α —关注点的辐射剂量率 (Sv/h) ;

t —关注点处受照时间 (h) ;

T —居留因子, 全部居留 $T=1$, 部分居留 $T=1/4$, 偶尔居留 $T=1/16$;

U —使用因子。

将表 11-16 中 1#医用电子直线加速器机房外各典型关注点处的辐射剂量率估算值代入公式 11-15, 根据医院预测的诊疗需要, 本项目 1#医用直线加速器机房投入使用后, 预计每天接诊病人不超过 40 人次, 1#医用电子直线加速器年出束运行时间约 500h, 考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子, 估算公众及辐射工作人员的年有效剂量, 计算结果列于表 11-17。

表 11-17 1#医用电子直线加速器机房周围人员年有效剂量

关注点所在场所	关注点位	居留因子 T	使用因子 U	时间 h	剂量率估算值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	人员可达处年有效剂量 (mSv/a)	目标管理值 (mSv/a)	结论
2#直加机房	a	1/2	1/4	550	0.329	0.023	0.10	满足
后装机房	b	1/2	1/4	550	0.592	0.041	0.10	满足
核医学科	$/$	1/16	1/4	550	0.230	0.002	0.10	满足
控制室	f	1	1	500	4.23×10^{-4}	2.10×10^{-4}	5.0	满足
后装控制室	d_I	1	1	550	0.114	0.063	0.10	满足
候诊区	g	1/8	1	550	0.634	0.043	0.10	满足

6、感生放射性辐射环境影响分析

医用直线加速器运行过程中靶中产生的高能光子可以与靶、准直器和限束系统中

的金属材料的原子核发生各种核反应产生感生放射性，感生放射性水平取决于加速器电子的能量、束流强度、靶物质及运行时间等多种因素。感生放射性核素的活度和半衰期的范围都很宽，但大多数放射性核素的半衰期比较短，停机 5-10min 就可减弱到初始值的一半，因此放射性有效的防护措施之一就是等其自然衰变。

医用直线加速器运行期间，由于机房有足够的屏蔽，由部件产生的感生放射性不会对机房外的环境产生辐射污染。但每次治疗结束后，辐射工作人员需进入治疗室引导治疗后患者离开并对下一位患者进行摆位。往往由于放射治疗患者较多，辐射工作人员一般在医用直线加速器停机后 5min 左右就进入治疗室内，此时大部分感生放射性核素未能充分衰变。本项目使用 15MV 能量进行出束治疗的日就诊人数每台设备保守取 10 人/天，平均每位患者摆位时间为 1min，一年 250 个工作日，保守采用《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS 674-2020）标准规定限值最大值（距离外壳表面 1m 处 $\leq 20\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）进行估算，辐射工作人员在摆位时受到的年有效剂量为 0.84mSv。

7、电子线辐射环境影响分析

本项目医用直线加速器在运行过程中产生的电离辐射包括有：电子、X 射线。

由于电子在物质中的射程是有限的，屏蔽比较容易，只要所选择的物质厚度大于带电粒子在该物质的射程，就可以将其完全吸收。根据《辐射防护手册 第三分册》（原子能出版社），其在 Z 较高的物质中的射程可用如下经验公式估算：

$$R = \frac{1}{2}E_{max} \cdots \cdots \text{公式 11-16}$$

$$d = \frac{R}{\rho} \cdots \cdots \text{公式 11-17}$$

其中： R —— 最大射程，单位 g/cm^2 ；

E_{max} —— 电子的最大能量，单位 MeV，本项目医用电子直线加速器最大电子能量为 20MeV；

ρ —— 材料的密度，单位 g/cm^3 ；

d —— 防护厚度，单位 cm。

根据上述公式，可计算得出电子在混凝土中射程为 4.68cm，加速器机房墙体最小屏蔽厚度为 150cm，所以本项目加速器机房设计结构和屏蔽厚度足以屏蔽电子线，因此加速器在运行中电子线对周围辐射环境影响很少。

根据上述结果分析知，医院医用电子直线加速器投入运行后，1#医用电子直线加速器机房辐射工作人员有效剂量 0.84mSv ($2.10 \times 10^{-4} + 0.84$)，周围公众年有效剂量最高为 0.063mSv 。

8、对院内外保护目标的环境影响分析

由于项目四周环境保护目标距机房墙体相对较远（远大于表面 0.3m ），故本项目敏感点处公众所受的辐射剂量将小于表 11-18 中的理论计算值。

表 11-18 本项目对保护目标的影响分析

位置	参照点位	最近距离 (m)	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	使用 因子	居留 因子	照射 类型	年剂量 (mSv/a)	结论
院外南侧空地	m_1	20	0.051	1	1/16	公众 照射	3.5×10^{-3}	满足

注：考虑 2 座机房同时运行时，对周围环境产生的辐射影响。

（二）肿瘤科-后装治疗机项目

本项目后装治疗机治疗时，假设放射源全部被输送至施源器，则辐射环境影响预测时保守将其视为点源来预测计算机房治疗室屏蔽防护能力。辐射屏蔽防护及估算点位示意图见图 11-3 和图 11-4（预测点位取墙体或者防护门外 30cm 处）。

^{192}Ir 放射源虽有 β 、 γ 两种辐射，但 β 射线在空气中的射程较短，经放射源的内包鞘和治疗机的相关设施屏蔽后，在环境辐射方面已无影响，故本次环评中重点分析 ^{192}Ir 产生的 γ 射线的环境影响问题。

根据医院提供资料，医院预计每年使用后装治疗机治疗约 5000 例，平均每位患者治疗时间约 10min ，其中出束时间约 3min ，年治疗照射时间约 250h/a ；医生对患者进行摆位的时间约为 $1\text{min}/\text{人}$ 。

图 11-3 后装治疗机机房关注点布置图（平面图）

图 11-4 后装治疗机机房关注点布置图（剖面图）

1、各关注点剂量率参考控制水平

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ 1198-2021) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ 121-2020) 中相关规定及本项目后装治疗机机房开机治疗时间, 并结合公式 11-1 估算得到后装治疗机机房外 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平 \dot{H}_c 。

本项目后装治疗机机房各关注点剂量率参考水平, 详见表 11-19。

表 11-19 后装治疗机机房各关注点剂量率参考水平一览表

关注点	T	U	H_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	t (h)	$\dot{H}_{c, d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$H_{c, \max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
南墙外 (a 点)	1/2	1	5	5	2.0	2.5	2.0
西墙外 (b 点)	1	1	100		20	2.5	2.5
顶部 (/点)	1/16	1	5		16	2.5	2.5
迷路入口防护门外 (g 点)	1/8	1	5		8.0	2.5	2.5

注: \dot{H}_c 为 $H_{c, \max}$ 与导出的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c, d}$ 二者中选择较小者;

本项目 $H_{c, \max}$ 取 HJ1198-2021 中 6.1.4 给出关注点最高剂量率参考水平 $H_{c, \max} \leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ (人员居留因子 $> 1/2$ 场所) 和 $H_{c, \max} \leq 10\mu\text{Sv}/\text{h}$ (人员居留因子 $\leq 1/2$ 场所), 本项目综合考虑均按照 $H_{c, \max} \leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 考虑。

t —治疗装置周工作时间。根据建设单位提供资料, 每年有 1500 人次的门诊量, 治疗出束时间大约为 10 分钟/人次, 后装机预计年工作时间为 250h, 周工作时间约为 5h;

2、后装治疗机机房屏蔽体厚度校核

依据《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), 屏蔽所需要墙体厚度按公式 11-3~公式 11-5 及公式 11-18 进行计算。

$$\dot{H}_0 = A \cdot K_\gamma \dots \text{公式 11-18}$$

式中: A —放射源的活度, 单位为 MBq;

K_γ —放射源的空气比释动能率常数, 在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空气比释动能的近似, 单位记为 $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$, 查自 (GBZ/T 201.3-2014) 附录 C, 本项目 ^{192}Ir 的空气比释动能率常数取 $0.111\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$;

表 11-20 后装治疗机房辐射屏蔽设计评价表

参数	南墙 (a 点)	西墙 (b 点)	顶部 (/点)
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.5	2.5	2.5
R (m)	3.4	2.6	8.75
A (MBq)	3.7×10^5	3.7×10^5	3.7×10^5
$K(\mu\text{Sv}/\text{h} \cdot \text{MBq})$	0.111	0.111	0.111
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	4.11×10^4	4.11×10^4	4.11×10^4
f	1	1	1
B	5.63×10^{-4}	4.11×10^{-4}	4.66×10^{-3}
TVL_1 (mm)	152	152	152

TVL (mm)	152	152	152
X_e (mm)	493.9	514.6	354.4
斜射角 θ	0	0	0
计算厚度 X (mm)	493.9	514.6	354.4
实际厚度 (mm)	1600	800	800
是否满足要求	满足	满足	满足

由表 11-20 计算结果可知，本项目后装治疗机房墙体辐射防护厚度均满足要求。

3、关注点产生的剂量估算

(1) 后装治疗机房外关注点产生的剂量估算

在给定的屏蔽物质厚度 X (mm) 时，相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 依据《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) 中的公式 11-7 和公式 11-8 进行预测计算：

表 11-21 后装机房辐射屏蔽防护效果预测结果

参数	南墙 a 点	西墙 b 点	顶部 / 点	g 点
屏蔽厚度 X (mm)	1600 砷	800 砷	800 砷	800 砷
等效厚度 X_e (mm)	1600 砷	800 砷	800 砷	990 砷
TVL (mm)	砷：152	砷：152	砷：152	砷：152
B	2.98×10^{-11}	5.46×10^{-6}	5.46×10^{-6}	3.07×10^{-7}
A (MBq)	3.70×10^5	3.70×10^5	3.70×10^5	3.70×10^5
K_r ($\mu\text{Sv}/\text{h} \cdot \text{MBq}$)	0.111	0.111	0.111	0.111
R (m)	3.4	2.6	8.75	3.90
f	1	1	1	1
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	4.11×10^4	4.11×10^4	4.11×10^4	4.11×10^4
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.06×10^{-7}	0.033	0.003	0.001
\dot{H}_c ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	2.0	2.5	2.5	0.5
是否满足	满足	满足	满足	满足

(2) 后装机房迷路防护门屏蔽效果估算

本项目后装机房入口设有直迷路，迷路口用 10mmPb 防护当量的防护门屏蔽散射至迷路入口处的散射线。

入口 g 处的散射辐射剂量采用《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) 中公式计算：

$$H_s = \frac{A \cdot K_r \cdot S_w \cdot \alpha_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad \dots \dots \text{公式 11-19}$$

式中： A —放射源的活度，MBq；本项目 ^{192}Ir 放射源活度 A 为 $3.70 \times 10^5 \text{ MBq}$ ；

K_r —放射源的空气比释动能率常数，在屏蔽计算中以周围剂量当量作为空

气比释动能的近似，此时， K_γ 的单位记为 $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ，查自（GBZ/T 201.3-2014）附录 C；

S_w —迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可视见的墙区面积， m^2 ；

a_w —散射体的散射因子，本项目取 3.39×10^{-2} ；（取值参考《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》（GBZ/T 201.3-2014）表 C.4。）

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 。

表 11-22 后装机房入口 g 点处辐射剂量率计算结果

参数	取值
A 放射源活度 (MBq)	3.70×10^5
K_γ 空气比释动能率常数 ($\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$)	0.111
S_w (m^2)	$(1.70+2.52) \times 8.00$
a_w (散射体的散射因子)	3.39×10^{-2}
R_1 (m)	4.02
R_2 (m)	6.50
\dot{H} 预测值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	68.5

根据公式 11-26 计算得机房入口前的散射辐射剂量率为 $68.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，后装机房迷路设有铅当量为 10mm 的防护门，保守取 ^{192}Ir 产生的 γ 射线经过散射后至迷路入口 g 处的能量约为 0.2MeV，铅中的 TVL 值为 5.0mm，因此，经过机房入口防护门的屏蔽后，入口门外的总辐射剂量率按公式 11-20 计算，入口门外辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-23。

$$\dot{H} = \dot{H}_s \cdot 10^{-\left(\frac{X}{TVL}\right)} + \dot{H}_{og} \dots \dots \text{公式 11-20}$$

式中： \dot{H}_s —是 g 处的散射辐射剂量率， \dot{H}_{og} 是 g 处的泄漏辐射剂量率；

X —防护门铅屏蔽厚度， cm ；

TVL —辐射在铅中的什值层， cm ，取 0.5cm

表 11-23 入口门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果

参数	g 点
\dot{H}_s	$68.5\mu\text{Sv}/\text{h}$
X	10mm 铅
TVL	5mm
\dot{H}_{og}	$0.001\mu\text{Sv}/\text{h}$
入口门外关注点总辐射剂量 \dot{H}	估算值
	$0.686\mu\text{Sv}/\text{h}$

	控制值	2.5 μ Sv/h
评价结果		满足

4、预测计算结果汇总及评价

综上所述，后装机房墙、顶、门外理论估算结果汇总见表 11-24。

表 11-24 后装机房墙、顶、门外理论估算结果汇总

关注点 参数	南墙 a 点	西墙 b 点	顶部 / 点	防护门 g 点
H (μ Sv/h)	1.06×10^{-7}	0.033	0.003	0.686
\dot{H}_c (μ Sv/h)	2.5	2.0	2.5	2.5
结论	满足	满足	满足	满足

本项目后装机房内设有通风装置，采用机械排风方式。本项目后装机房进风管道、排风管道穿墙处采用“S”型设计，管道经防护门上方由迷路到达机房内，射线经几次散射后，通风管道出口处辐射剂量将在控制范围内。电缆沟埋设在地下，电缆线布设采用地下“U”型穿墙管道，未破坏治疗室墙体的屏蔽效果，能够满足辐射防护要求。

5、保护目标有效剂量评价

后装治疗机周治疗时间约为 5h，年运行时间约 250h，根据各关注点处年受照时间，并考虑周围公众及辐射工作人员的居留因子，则后装治疗机机房外辐射剂量预测结果见表 11-25。

表 11-25 后装治疗机机房外辐射剂量预测结果

关注点	关注点 所在场所	居留 因子	使用 因子	辐射剂量率 (μ Sv/h)	时间 h	年有效剂量 (mSv/a)	结论
南墙 a 点	1#直加机房	1/2	1	1.06×10^{-7}	275	1.45×10^{-8}	满足
西墙 b 点	控制室	1	1	0.033	250	0.008	满足
顶部 / 点	核医学科	1/16	1	0.003	275	4.15×10^{-5}	满足
迷路入口防护门 g 点		1/8	1	0.686	275	0.023	满足

根据表 11-25 结果分析知，该后装治疗机投入运行后，后装治疗机机房外辐射剂量率均小于各关注点的剂量率参考控制水平，满足《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）的要求。

在进行放射治疗前，工作人员需进入机房对患者进行摆位，此时放射源处于贮存状态，工作人员进行摆位时距离设备约 1m，根据《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS 262-2017）中的相关要求：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 5μ Sv/h，平均每位患者摆位 1min，年门诊量最大 5000 人次，则辐射工作人员摆位过程中年最大有效剂量为 0.417mSv。

根据表 11-25 理论计算结果并叠加辐射工作人员摆位时所受年有效剂量可知，本项目后装治疗机运行后辐射工作人员最大有效剂量为 $0.425 (0.417+0.008)$ mSv/a，周围公众年有效剂量最大值为 0.023 mSv。

6、对院内外保护目标的环境影响分析

由于项目四周环境保护目标距机房墙体相对较远（远大于表面 0.3 m），故本项目敏感点处公众所受的辐射剂量将小于表 11-26 中的理论计算值。

表 11-26 本项目对保护目标的影响分析

位置	参照点位	最近距离 (m)	辐射剂量率 (μ Sv/h)	使用因子	居留因子	照射类型	年剂量 (mSv/a)	结论
院外南侧空地	/	36	6.84×10^{-5}	1	1/16	公众照射	4.28×10^{-7}	满足

注：不考虑土层的屏蔽效能。

（三）肿瘤科-模拟定位机项目

本项目模拟定位机机房实体屏蔽防护设计与《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中 X 射线设备机房屏蔽防护要求对照分析见表 11-27。

表 11-27 模拟定位机机房屏蔽防护设计一览表

参数	设计厚度	铅当量	屏蔽要求	评价
四侧墙体	370mm 厚实心砖墙	> 3 mm	2.5 mmPb	满足
防护门	3mm 铅	3mm		满足
观察窗	3mm 铅当量	3mm		满足
屋顶	250mm 厚混凝土	> 2.5 mm		满足
机房面积	37m^2 ，单边最短长度 5.0m	机房最小有效使用面积 30m^2 ，机房内最小单边长 4.5m		满足

由上表对照结果可知，本项目模拟定位机实体屏蔽防护满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求，机房实体屏蔽设计合理。

（五）核医学科-影像中心项目

本项目主要污染因子为¹⁸F、⁶⁸Ga 和^{99m}Tc 放射性核素在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生的β、γ 射线及β 放射性表面污染；PET/CT、SPECT/CT 装置 CT 扫描时产生的 X 射线。

1、β 射线辐射影响分析

β 射线的穿透性能较差，根据《辐射防护手册 第三分册》（原子能出版社），其在 Z 较高的物质中的射程可用公式 11-16 和公式 11-17 进行估算，主要参数及结果见表 11-28。

表 11-28 与最大射程对应的防护厚度计算参数及结果

核素	E_β (MeV)*	屏蔽材料	ρ 材料密度(g/cm ³)	d 防护厚度 (cm)
¹⁸ F	0.63	铅	11.3	0.03
		混凝土	2.35	0.14
		实心砖	1.65	0.19

注：*来源 HJ1188-2021。

本项目手套箱均采用铅板及铅玻璃进行防护，工作场所墙体、顶部采用混凝土，各防护门均采用铅防护门，观察窗均为铅玻璃观察窗进行辐射防护，本项目¹⁸F 等放射性核素 β 射线在上述屏蔽材料中射程均极短。在核素操作过程中，在穿戴好防护用品后，基本可以消除 β 射线对辐射工作人员及周围公众的辐射影响。

但是，β 射线可与物质相互作用从而产生轫致辐射，物质的原子序数越高，所产生的轫致辐射越强。

根据《辐射防护导论》（方杰主编）中的公式计算 β 射线产生的轫致辐射在考察点处空气中的吸收剂量率：

$$\dot{D} = 4.58 \times 10^{-1} A Z_e \left(\frac{E_b}{r} \right)^2 \cdot (\mu_{en}/\rho) \dots \dots \text{公式 11-21}$$

其中： \dot{D} —是屏蔽层中由 β 粒子产生的轫致辐射在考察点处空气中的吸收剂量率，Gy/h；

A —放射源的活度，Bq；

Z_e —吸收 β 粒子的屏蔽材料（或靶核）的有效原子序数；

E_b —β 粒子的平均能量，MeV；

r —放射源到考察点的距离，m；

μ_{en}/ρ —平均能量为 E_b 的轫致辐射在空气中的质量能量吸收系数，m²/kg。

由公式 11-21 计算其所致剂量率, 主要计算参数及计算结果见表 11-29。

表 11-29 核素产生韧致辐射剂量率

核素	活度(Bq)	有效原子序数	E_b (MeV)	距离 (m)	μ_{en}/ρ (m^2/kg)	剂量率 ($\mu\text{Gy}/\text{h}$)
^{18}F	3.7×10^8	5.85 (有机玻璃)	0.63	1	2.953×10^{-3}	1.16×10^{-5}
		7.36 (空气)				1.46×10^{-5}

注: 质量能量吸收系数取自《辐射防护导论》方杰主编。

由估算结果可知, 距屏蔽层 1m 处韧致辐射剂量率低于 $1.46 \times 10^{-5} \mu\text{Gy}/\text{h}$, 且注射时一般在铅注射窗下给患者施药, 经铅玻璃的进一步屏蔽后所致工作人员处辐射剂量率将远低于 $1.46 \times 10^{-5} \mu\text{Gy}/\text{h}$, 因此该显像项目对周围辐射环境影响很少。

综上所述, 本项目涉及使用的 ^{18}F 等放射性核素在整个过程中均采取了有效的屏蔽措施屏蔽 β 射线, 同时在整个使用过程中辐射工作人员还穿戴有 0.5mm 铅当量的防护铅服, 且周围公众与放射性核素之前还采取了距离隔离措施, 因此 β 射线对辐射工作人员和周围公众辐射影响很小。

2、 β 放射性表面污染影响分析

β 放射性表面沾污的影响主要来源于辐射工作人员操作时, 放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面, 对辐射工作人员和周围公众造成辐射影响, 因此, 为了使本项目核医学科的 β 放射性表面污染水平达到 GB 18871-2002 规定的要求, 环评要求建设方要做到以下防护措施:

(1) 使用、操作放射性同位素的人员应经过专业学习并持证上岗, 具备相应的技能与防护知识;

(2) 本项目放射性核素操作均在手套箱中进行;

(3) 操作 ^{18}F 等放射性核素应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行, 并铺以吸水性好的材料;

(4) 不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作;

(5) 放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、清洗、去污;

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

(7) 如 β 放射性表面污染水平超过 GB 18871-2002 规定值, 医院应暂停开展核医学科的相关业务, 去污染经监测符合标准后方可重新开展业务, 同时辐射工作人员

出现手、皮肤、内衣、工作袜等出现污染情况需及时进行去污操作并暂停放射性物质操作评估其受照射剂量，并根据评估结果采取下一步措施（调整工作或接受治疗等）。

3、 γ 射线辐射影响分析

本项目主要污染因子为¹⁸F、⁶⁸Ga 和^{99m}Tc 等放射性核素在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生的 γ 射线。

参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I 中第 1.2 款^{99m}Tc 诊断、¹³¹I 治疗、PET 等工作场所的屏蔽计算，保守起见，所有核素（如^{99m}Tc、¹³¹I、¹⁸F 等）工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。

$$X = TVL \times \lg\left(\frac{A \times \Gamma}{\dot{H}_P \times r^2}\right) \dots\dots \text{ (I.1)}$$

式中：X—屏蔽厚度（mm）；

TVL— γ 射线的十分之一值层厚度（mm）；

A—单个患者或者受检者所用放射源的最大活度（MBq）；

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

\dot{H}_P —屏蔽体外关注点剂量率（ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）；

R—放射源到考察点的距离（m）。

由公式 I.1 推导可得：

$$\dot{H}_P = \frac{A \times \Gamma}{r^2} 10^{(-\frac{X}{TVL})} \dots\dots \text{ 公式 11-22}$$

由《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）查出铅、混凝土和实心砖对^{99m}Tc、¹⁸F 和¹³¹I 什值层见表 11-30。

表 11-30 本项目涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	^{99m} Tc	¹⁸ F	¹³¹ I
铅什值层厚度 TVL ($\rho=11.3\text{g}/\text{cm}^3$)	1mm	16.6mm	11mm
砼什值层厚度 TVL ($\rho=2.35\text{g}/\text{cm}^3$)	110mm	176mm	170mm
实心砖什值层厚度 TVL ($\rho=1.65\text{g}/\text{cm}^3$)	160mm	263mm	240mm

（1）使用核素^{99m}Tc 开展 SPECT/CT 显像诊断项目

1) 关注点处的辐射水平

根据本项目的工程分析可知，SPECT/CT 核素诊断项目辐射影响主要包括护士分装、取药和活度测量（保守按照 2min 估算）、药物注射（保守按照 1min 估算）、病人候诊（等候约 20min）和病人扫描（扫描过程约 20min）4 个过程，主要对核医学科工作人员及室外公众产生外照射辐射影响。

根据公式 11-22 可估算出项目周围各关注点处的辐射水平, 各关注点位置见图 11-5, 预测结果见表 11-31。

图 11-5 核医学科-影像中心开展 ^{99m}Tc 显像诊断时估算点位示意图

11-31 核医学科-影像中心使用 ^{99m}Tc 时理论估算结果汇总

点位	关注点位置	源强(Bq)	距离(m)	屏蔽材料及厚度	透射比	计算结果($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	限值($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	备注
1	手套箱外表面 30cm 处	$600 \times 3.70 \times 10^7$	0.3	5mmPb	1.0×10^{-5}	0.075	2.5	手套箱为 5mmPb
2	分装室西墙外表面 30cm 处	$100 \times 3.70 \times 10^7$	2.3	370mm 厚实心砖	0.005	0.103	2.5	/
3	分装室顶部距地面 30cm 处	$100 \times 3.70 \times 10^7$	4.1	300 厚混凝土	0.002	0.012	2.5	/
4	分装室下方距地面 1.7m 处	$100 \times 3.70 \times 10^7$	3.0	300 厚混凝土	0.002	0.023	2.5	/
5	注射位	$20 \times 3.70 \times 10^7$	0.5	5mmPb	1.0×10^{-5}	0.001	2.5	/
6	VIP SPECT 注射后等候室东墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	0.005	0.006	2.5	1 人候诊 下方为后 装治疗室
7	VIP SPECT 注射后等候室南墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	0.005	0.013	10	
8	VIP SPECT 注射后等候室防护门外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	3.7	5mmPb	1.0×10^{-5}	1.12×10^{-5}	10	
9	VIP SPECT 注射后等候室西墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	0.005	0.006	10	
10	VIP SPECT 注射后等候室北墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	0.005	0.013	2.5	
11	VIP SPECT 注射后等候室顶部距地面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.1	300 厚混凝土	0.002	0.002	2.5	
12	VIP SPECT 注射后等候室下方距地面 1.7m 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	8.75	800 厚混凝土	5.3×10^{-8}	1.07×10^{-8}	2.5	
13	SPECT 注射后等候室 1 东墙外表面 30cm 处	$40 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	0.005	0.012	2.5	2 人候诊 下方为直 线加速器 治疗室
14	SPECT 注射后等候室 1 南墙外表面 30cm 处	$40 \times 3.70 \times 10^7$	2.5	370mm 厚实心砖	0.005	0.024	10	
15	SPECT 注射后等候室 1 西墙外表面 30cm 处	$40 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	0.005	0.012	10	
16	SPECT 注射后等候室 1 防护门外表面 30cm 处	$40 \times 3.70 \times 10^7$	3.7	5mmPb	1.0×10^{-5}	2.24×10^{-5}	10	
17	SPECT 注射后等候室 1 北墙外表面 30cm 处	$40 \times 3.70 \times 10^7$	2.5	370mm 厚实心砖	0.005	0.024	10	
18	SPECT 注射后等候室 1 顶部距地面 30cm 处	$40 \times 3.70 \times 10^7$	4.1	300 厚混凝土	0.002	0.003	2.5	
19	SPECT 注射后等候室 1 下方距地面 1.7m 处	$40 \times 3.70 \times 10^7$	8.75	1700 厚混凝土	3.5×10^{-16}	1.40×10^{-16}	2.5	
20	SPECT 注射后等候室 2 东墙外表面 30cm 处	$40 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	0.005	0.012	2.5	2 人候诊 下方为直 线加速器
21	SPECT 注射后等候室 2 南墙外表面 30cm 处	$40 \times 3.70 \times 10^7$	2.5	370mm 厚实心砖	0.005	0.024	10	
22	SPECT 注射后等候室 2 西墙外表面 30cm 处	$40 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	0.005	0.012	10	

23	SPECT 注射后等候室 2 防护门外表面 30cm 处	$40 \times 3.70 \times 10^7$	3.7	5mmPb	1.0×10^{-5}	2.24×10^{-5}	10	治疗室 下方为直线加速器治疗室
24	SPECT 注射后等候室 2 北墙外表面 30cm 处	$40 \times 3.70 \times 10^7$	2.5	370mm 厚实心砖	0.005	0.024	10	
25	SPECT 注射后等候室 2 顶部距地面 30cm 处	$40 \times 3.70 \times 10^7$	4.1	300 厚混凝土	0.002	0.003	2.5	
26	SPECT 注射后等候室 2 下方距地面 1.7m 处	$40 \times 3.70 \times 10^7$	8.75	1700 厚混凝土	3.5×10^{-16}	1.40×10^{-16}	2.5	
27	SPECT/CT 机房防护门外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	5mmPb	1.0×10^{-5}	1.18×10^{-5}	2.5	
28	SPECT/CT 机房东墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	3.5	370mm 厚实心砖	0.005	0.006	2.5	
29	SPECT/CT 机房南墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.6	370mm 厚实心砖	0.005	0.004	2.5	
30	SPECT/CT 机房西墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	3.5	370mm 厚实心砖	0.005	0.006	2.5	
31	SPECT/CT 机房北防护门外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.5	5mmPb	1.0×10^{-5}	7.56×10^{-6}	2.5	
32	SPECT/CT 机房观察窗外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.4	5mmPb	1.0×10^{-5}	7.91×10^{-6}	2.5	
33	SPECT/CT 机房北墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.5	370mm 厚实心砖	0.005	0.004	2.5	
34	摆位/解除摆位	$20 \times 3.70 \times 10^7$	1.5	2mmPb	0.010	0.068	/	
35	SPECT/CT 机房顶部距地面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.1	300 厚混凝土	0.002	0.002	2.5	
36	SPECT/CT 机房下方距地面 1.7m 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	8.75	1700 厚混凝土	3.5×10^{-16}	7.02×10^{-17}	2.5	
37	留观室东墙外表面 30cm 处	$40 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	0.005	0.012	2.5	下方为直线加速器治疗室
38	留观室南墙外表面 30cm 处	$40 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	0.005	0.012	10	
39	留观室防护门外表面 30cm 处	$40 \times 3.70 \times 10^7$	3.7	10mmPb	1.0×10^{-10}	2.24×10^{-10}	10	
40	留观室西墙外表面 30cm 处	$40 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	0.005	0.012	10	
41	留观室北墙外表面 30cm 处	$40 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	0.005	0.012	10	
42	留观室顶部距地面 30cm 处	$40 \times 3.70 \times 10^7$	4.1	300 厚混凝土	0.002	0.003	2.5	
43	留观室下方距地面 1.7m 处	$40 \times 3.70 \times 10^7$	8.75	1700 厚混凝土	3.5×10^{-16}	1.40×10^{-16}	2.5	
44	出口防护门外表面 30cm 处	$40 \times 3.70 \times 10^7$	1.5	15mmPb	1.0×10^{-15}	6.81×10^{-15}	2.5	/

注：查《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020），放射性核素 ^{99m}Tc 的周围剂量当量率常数（裸源）为 $0.0303\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ，患者体内注射 ^{99m}Tc 时放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率常数为 $0.0207\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ 。

从表 11-31 中的理论估算结果可以看出, 由于有 5mm 铅当量手套箱屏蔽, ^{99m}Tc 药物取药过程中对取药操作人员的躯干辐射影响较小, 但由于需要用手操作, 手部剂量较高。 ^{99m}Tc 药物针剂外设有铅套、同时操作中工作人员穿戴铅防护服, 药物操作过程中对注射室内环境辐射影响较小。 ^{99m}Tc 药物在操作过程中及病人在显像过程中对注射室、候诊区及 SPECT/CT 机房外的环境影响较小, 注射室、候诊区及机房的防护设计均能够满足 ^{99m}Tc 核素的辐射防护要求, 项目对核医学科周围环境辐射影响较小, 均小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

2) 保护目标的有效剂量估算

根据表 11-31 的各关注点处辐射剂量率, 结合工作时间, 辐射工作人员和公众停留概率, 再采用方杰主编的《辐射防护导论》中公式计算关注点人员的有效剂量。计算公式见公式 11-23, 计算结果详见表 11-32。

$$D_{Eff} = \dot{H}_P \cdot t \cdot T \cdot U \cdots \cdots \text{公式 11-23}$$

上式中: D_{Eff} —考察点人员有效剂量 (Sv) ;

\dot{H}_P —考察点的空气比释动能率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) ;

t —考察点处受放射性核素影响的时间 (h) ;

T —居留因子, 全部居留 $T=1$, 部分居留 $T=1/4$, 偶尔居留 $T=1/16$;

U —使用因子, 因放射性核素以点源模式估算, 而放射性衰变是持续发生的, U 取 1。

表 11-32 使用 ^{99m}Tc 显像扫描时工作场所公众及辐射工作人员年有效剂量估算

点位	关注点位置	关注点辐射水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	关注对象	居留因子	受照时间 (min)	有效剂量 (mSv)	剂量约束值 (mSv)
1	手套箱外表面 30cm 处	0.075	工作人员	1	分装 1min×30 人次×250d	0.009	5.0
2	分装室西墙外表面 30cm 处	0.103	公众	1/4	分装 1min×30 人次×250d	0.003	0.1
3	分装室顶部距地面 30cm 处	0.012	公众	1/4	分装 1min×30 人次×250d	3.91×10^{-4}	0.1
4	分装室下方距地面 1.7m 处	0.023	公众	1/4	分装 1min×30 人次×250d	0.001	0.1
5	注射位	0.001	工作人员	1	注射 1min×30 人次×250d	1.12×10^{-4}	5.0
6	VIP SPECT 注射后等候室东墙外表面 30cm 处	0.006	公众	1/16	候诊 20min×6 次×250d	1.80×10^{-4}	0.1
11	VIP SPECT 注射后等候室顶部距地面 30cm 处	0.002	公众	1/4	候诊 20min×6 次×250d	2.13×10^{-4}	0.1
12	VIP SPECT 注射后等候室下方距地面 1.7m 处	1.07×10^{-8}	公众	1/4	候诊 20min×6 次×250d	1.33×10^{-9}	0.1
13	SPECT 注射后等候室 1 东墙外表面 30cm 处	0.012	公众	1/16	候诊 20min×6 次×250d	3.60×10^{-4}	0.1
18	SPECT 注射后等候室 1 顶部距地面 30cm 处	0.003	公众	1/4	候诊 20min×6 次×250d	4.27×10^{-4}	0.1
19	SPECT 注射后等候室 1 下方距地面 1.7m 处	1.40×10^{-16}	公众	1/2	候诊 20min×6 次×250d	3.51×10^{-17}	0.1
20	SPECT 注射后等候室 2 东墙外表面 30cm 处	0.012	公众	1/16	候诊 20min×6 次×250d	3.60×10^{-4}	0.1
25	SPECT 注射后等候室 2 顶部距地面 30cm 处	0.003	公众	1/4	候诊 20min×6 次×250d	4.27×10^{-4}	0.1
26	SPECT 注射后等候室 2 下方距地面 1.7m 处	1.40×10^{-16}	公众	1/2	候诊 20min×6 次×250d	3.51×10^{-17}	0.1
29	SPECT/CT 机房南墙外表面 30cm 处	0.004	公众	1/16	扫描 20min×30 人次×250d	0.001	0.1
30	SPECT/CT 机房西墙外表面 30cm 处	0.006	公众	1/4	扫描 20min×30 人次×250d	0.004	0.1
31	SPECT/CT 机房北防护门外表面 30cm 处	7.56×10^{-6}	工作人员	1/4	扫描 20min×30 人次×250d	4.73×10^{-6}	5.0
32	SPECT/CT 机房观察窗外表面 30cm 处	7.91×10^{-6}	工作人员	1	扫描 20min×30 人次×250d	1.98×10^{-5}	5.0
33	SPECT/CT 机房北墙外表面 30cm 处	0.004	工作人员	1/4	扫描 20min×30 人次×250d	0.002	5.0
34	摆位/解除摆位	0.068	工作人员	1	1min×30 人次×250d	0.009	5.0
35	SPECT/CT 机房顶部距地面 30cm 处	0.002	公众	1/4	扫描 20min×30 人次×250d	0.001	0.1
36	SPECT/CT 机房下方距地面 1.7m 处	7.02×10^{-17}	公众	1/2	扫描 20min×30 人次×250d	8.78×10^{-17}	0.1

37	留观室东墙外表面 30cm 处	0.012	公众	1/16	留观 10min×15 次×250d	4.50×10^{-4}	0.1
42	留观室顶部距地面 30cm 处	0.003	公众	1/4	留观 10min×15 次×250d	0.001	0.1
43	留观室下方距地面 1.7m 处	1.40×10^{-16}	公众	1/2	留观 10min×15 次×250d	4.39×10^{-17}	0.1
44	出口防护门外表面 30cm 处	6.81×10^{-15}	公众	1/4	停留 1min×30 人次×250d	2.13×10^{-16}	0.1

综上，假设核医学科-影像中心 SPECT 诊断区所有分装注射均由一名工作人员完成，则注射过程中核医学科辐射工作人员受到的年有效剂量小于 0.009mSv ($0.009+1.12\times10^{-4}$)；SPECT/CT 摆位由 1 名工作人员完成，则 SPECT/CT 摆位过程中及扫描过程中受到的年有效剂量约为 0.009mSv ($0.009+1.98\times10^{-5}$)。根据估算结果核素诊断过程中，周围公众（控制区外）年有效剂量最大为 0.004mSv 。

2、使用核素 ^{18}F 和 ^{68}Ga 开展 PET/CT 显像诊断项目

1) 关注点处的辐射水平

本项目使用的 ^{68}Ga 通过镥镓发生器，淋洗、分装于注射室手套箱内，在使用时，操作人员仅需完成插瓶、取瓶、标记等步骤，近距离接触时间较短约 5min，年受照时间约 2500min ($5\text{min}\times2\text{ 次}\times250\text{d}$)。根据医院提供的资料，镥镓发生器在使用过程中，发生器表面剂量率约 $12\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{GBq})$ ，本项目镥镓发生器为 50mCi ($1.85\times10^9\text{Bq}$)，则镥镓发生器表面剂量率约为 $22.2\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，手套箱为 55mmPb ，操作时辐射工作人员与发生器的距离取 0.5m ，则辐射工作人员淋洗药物时所受年有效剂量约为 0.0018mSv/a 。

由于 ^{68}Ga 等核素特性与 ^{18}F 类似，且本项目使用最多的核素是 ^{18}F ，故本报告以使用 ^{18}F 开展 PET/CT 显像作为典型工况来计算工作场所的辐射剂量率是否满足要求。

根据本项目的工程分析可知，PET/CT 核素诊断项目辐射影响主要包括护士分装、取药和活度测量（保守按照 2min 估算）、药物注射（保守按照 1min 估算）、病人候诊（等候约 20min）和病人扫描（扫描过程约 20min）4 个过程，主要对 PET/CT 工作人员及室外公众产生外照射辐射影响。

根据公式 11-22 可估算出项目周围各关注点处的辐射水平，各关注点位置见图 11-6，预测结果见表 11-33。

图 11-6 核医学科-影像中心开展 ^{18}F 和 ^{68}Ga 显像诊断时估算点位示意图

表 11-33 核医学科-影像中心开展 ^{18}F 显像诊断时理论估算结果汇总

点位	关注点位置	源强(Bq)	距离(m)	屏蔽材料及厚度	透射比	计算结果($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	限值($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	备注
1	手套箱外表面 30cm 处	$50 \times 3.70 \times 10^7$	0.3	55mmPb	0.0005	1.429	2.5	手套箱为 55mmPb 1 人候诊 下方为后装治疗室
2	分装室西墙外表面 30cm 处	$10 \times 3.70 \times 10^7$	2.3	370mm 厚实心砖	0.0392	0.392	2.5	
3	分装室顶部距地面 30cm 处	$10 \times 3.70 \times 10^7$	4.1	300 厚混凝土	0.0197	0.062	2.5	
4	分装室下方距地面 1.7m 处	$10 \times 3.70 \times 10^7$	3.0	300 厚混凝土	0.0197	0.116	2.5	
5	注射位 (注射窗和针套均为 20mmPb)	$10 \times 3.70 \times 10^7$	0.5	20mmPb+20mmPb	0.0039	0.824	2.5	
6	VIP PET 注射后等候室东墙外表面 30cm 处	$10 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	0.0392	0.103	2.5	
7	VIP PET 注射后等候室南墙外表面 30cm 处	$10 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	0.0392	0.232	10	
8	VIP PET 注射后等候室防护门外表面 30cm 处	$10 \times 3.70 \times 10^7$	3.7	10mmPb	0.2498	0.621	10	
9	VIP PET 注射后等候室西墙外表面 30cm 处	$10 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	0.0392	0.103	10	
10	VIP PET 注射后等候室北墙外表面 30cm 处	$10 \times 3.70 \times 10^7$	2.4	370mm 厚实心砖	0.0392	0.232	2.5	
11	VIP PET 注射后等候室顶部距地面 30cm 处	$10 \times 3.70 \times 10^7$	4.1	300 厚混凝土	0.0197	0.040	2.5	
12	VIP PET 注射后等候室下方距地面 1.7m 处	$10 \times 3.70 \times 10^7$	8.75	800 厚混凝土	2.85×10^{-5}	1.27×10^{-5}	2.5	
13	PET 注射后等候室 1 东墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	0.0392	0.206	2.5	2 人候诊 下方为直线加速器治疗室
14	PET 注射后等候室 1 南墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	2.5	370mm 厚实心砖	0.0392	0.427	10	
15	PET 注射后等候室 1 西墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	0.0392	0.206	10	
16	PET 注射后等候室 1 防护门外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	3.7	10mmPb	0.2498	1.242	10	
17	PET 注射后等候室 1 北墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	2.5	370mm 厚实心砖	0.0392	0.427	10	
18	PET 注射后等候室 1 顶部距地面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.1	300 厚混凝土	0.0197	0.080	2.5	
19	PET 注射后等候室 1 下方距地面 1.7m 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	8.75	1700 厚混凝土	2.19×10^{-10}	1.95×10^{-10}	2.5	2 人候诊 下方为直线加速器
20	PET 注射后等候室 2 东墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	0.0392	0.206	2.5	
21	PET 注射后等候室 2 南墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	2.5	370mm 厚实心砖	0.0392	0.427	10	
22	PET 注射后等候室 2 西墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	0.0392	0.206	10	

23	PET 注射后等候室 2 防护门外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	3.7	10mmPb	0.2498	1.242	10	治疗室 下方为直线加速器治疗室考虑衰变 20min
24	PET 注射后等候室 2 北墙外表面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	2.5	370mm 厚实心砖	0.0392	0.427	10	
25	PET 注射后等候室 2 顶部距地面 30cm 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	4.1	300 厚混凝土	0.0197	0.080	2.5	
26	PET 注射后等候室 2 下方距地面 1.7m 处	$20 \times 3.70 \times 10^7$	8.75	1700 厚混凝土	2.19×10^{-10}	1.95×10^{-10}	2.5	
27	PET/CT 机房东墙外表面 30cm 处	$8.81 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	0.0392	0.091	2.5	
28	PET/CT 机房防护门外表面 30cm 处	$8.81 \times 3.70 \times 10^7$	3.7	10mmPb	0.2498	0.547	2.5	
29	PET/CT 机房南墙外表面 30cm 处	$8.81 \times 3.70 \times 10^7$	4.6	370mm 厚实心砖	0.0392	0.056	2.5	
30	PET/CT 机房观察窗外表面 30cm 处	$8.81 \times 3.70 \times 10^7$	4.5	10mmPb	0.2498	0.370	2.5	
31	PET/CT 机房南防护门外表面 30cm 处	$8.81 \times 3.70 \times 10^7$	4.6	10mmPb	0.2498	0.354	2.5	
32	PET/CT 机房西墙外表面 30cm 处	$8.81 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	0.0392	0.091	2.5	
33	PET/CT 机房北墙外表面 30cm 处	$8.81 \times 3.70 \times 10^7$	4.5	370mm 厚实心砖	0.0392	0.058	2.5	
34	摆位/解除摆位	$8.81 \times 3.70 \times 10^7$	1.5	5mmPb	0.4998	6.662	/	
35	PET/CT 机房顶部距地面 30cm 处	$8.81 \times 3.70 \times 10^7$	4.1	300 厚混凝土	0.0197	0.035	2.5	
36	PET/CT 机房下方距地面 1.7m 处	$8.81 \times 3.70 \times 10^7$	8.75	1700 厚混凝土	2.19×10^{-10}	8.59×10^{-11}	2.5	
37	留观室东墙外表面 30cm 处	$15.5 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	0.0392	0.160	2.5	下方为直线加速器治疗室考虑衰变 40min
38	留观室南墙外表面 30cm 处	$15.5 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	0.0392	0.160	10	
39	留观室防护门外表面 30cm 处	$15.5 \times 3.70 \times 10^7$	3.7	10mmPb	0.2498	0.963	10	
40	留观室西墙外表面 30cm 处	$15.5 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	0.0392	0.160	10	
41	留观室北墙外表面 30cm 处	$15.5 \times 3.70 \times 10^7$	3.6	370mm 厚实心砖	0.0392	0.160	10	
42	留观室顶部距地面 30cm 处	$15.5 \times 3.70 \times 10^7$	4.1	300 厚混凝土	0.0197	0.062	2.5	
43	留观室下方距地面 1.7m 处	$15.5 \times 3.70 \times 10^7$	8.75	1700 厚混凝土	2.19×10^{-10}	1.51×10^{-10}	2.5	考虑衰变 50min
44	出口防护门外表面 30cm 处	$7.30 \times 3.70 \times 10^7$	1.5	15mmPb	0.1248	1.379	2.5	

注: ^{18}F 日诊断人数最大为 15 人次, ^{68}Ga 日诊断人数最大为 3 人次; 查《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020), 放射性核素 ^{18}F 的周围剂量当量率常数(裸源)为 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$, 患者体内注射 ^{18}F 时放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率常数为 $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$;

从表 11-33 中的理论估算结果可以看出, 由于有 55mm 铅当量手套箱屏蔽, ^{18}F 药物取药过程中对取药操作人员的躯干辐射影响较小, 但由于需要用手操作, 手部剂量较高。 ^{18}F 药物针剂外设有铅套、同时操作中工作人员穿戴铅防护服, 药物操作过程中对注射室内环境辐射影响较小。 ^{18}F 药物在操作过程中及病人在显像过程中对注射室、候诊区及 PET/CT 机房外的环境影响较小, 注射室、候诊区及机房的防护设计均能够满足 ^{18}F 核素的辐射防护要求, 项目对核医学科周围环境辐射影响较小, 均小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

2) 保护目标的有效剂量估算

根据表 11-33 的各关注点处辐射剂量率, 结合工作时间, 辐射工作人员和公众停留概率, 并参照公式 11-23, 即可得到各关注点处公众及辐射工作人员的年受照剂量, 见表 11-34。

表 11-34 使用 ^{18}F 显像扫描时工作场所公众及辐射工作人员年有效剂量估算

点位	关注点位置	关注点辐射水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	关注对象	居留因子	受照时间 (min)	有效剂量 (mSv)	剂量约束值 (mSv)
1	手套箱外表面 30cm 处	1.429	工作人员	1	分装 1min×18 人次×250d	0.107	5.0
2	分装室西墙外表面 30cm 处	0.392	公众	1/4	分装 1min×18 人次×250d	0.007	0.1
3	分装室顶部距地面 30cm 处	0.062	公众	1/4	分装 1min×18 人次×250d	0.001	0.1
4	分装室下方距地面 1.7m 处	0.116	公众	1/4	分装 1min×18 人次×250d	0.002	0.1
5	注射位 (注射窗和针套均为 20mmPb)	0.824	工作人员	1	注射 1min×18 人次×250d	0.062	5.0
6	VIP PET 注射后等候室东墙外表面 30cm 处	0.103	公众	1/16	候诊 20min×4 次×250d	0.002	0.1
10	VIP PET 注射后等候室北墙外表面 30cm 处	0.232	公众	1/16	候诊 20min×4 次×250d	0.005	0.1
11	VIP PET 注射后等候室顶部距地面 30cm 处	0.040	公众	1/4	候诊 20min×4 次×250d	0.003	0.1
12	VIP PET 注射后等候室下方距地面 1.7m 处	1.27×10^{-5}	公众	1/4	候诊 20min×4 次×250d	1.06×10^{-6}	0.1
13	PET 注射后等候室 1 东墙外表面 30cm 处	0.206	公众	1/16	候诊 20min×4 次×250d	0.004	0.1
18	PET 注射后等候室 1 顶部距地面 30cm 处	0.080	公众	1/4	候诊 20min×4 次×250d	0.007	0.1
19	PET 注射后等候室 1 下方距地面 1.7m 处	1.95×10^{-10}	公众	1/2	候诊 20min×4 次×250d	3.25×10^{-11}	0.1
20	PET 注射后等候室 2 东墙外表面 30cm 处	0.206	公众	1/16	候诊 20min×4 次×250d	0.004	0.1
25	PET 注射后等候室 2 顶部距地面 30cm 处	0.080	公众	1/4	候诊 20min×4 次×250d	0.007	0.1
26	PET 注射后等候室 2 下方距地面 1.7m 处	1.95×10^{-10}	公众	1/2	候诊 20min×4 次×250d	3.25×10^{-11}	0.1
29	PET/CT 机房南墙外表面 30cm 处	0.056	工作人员	1/4	扫描 20min×18 人次×250d	0.021	5.0
30	PET/CT 机房观察窗外表面 30cm 处	0.370	工作人员	1	扫描 20min×18 人次×250d	0.555	5.0
31	PET/CT 机房南防护门外表面 30cm 处	0.354	工作人员	1/4	扫描 20min×18 人次×250d	0.133	5.0
32	PET/CT 机房西墙外表面 30cm 处	0.091	公众	1/4	扫描 20min×18 人次×250d	0.034	0.1
33	PET/CT 机房北墙外表面 30cm 处	0.058	公众	1/16	扫描 20min×18 人次×250d	0.005	0.1
34	摆位/解除摆位	6.662	工作人员	1	1min×18 人次×250d	0.500	5.0
35	PET/CT 机房顶部距地面 30cm 处	0.035	公众	1/4	扫描 20min×18 人次×250d	0.013	0.1

36	PET/CT 机房下方距地面 1.7m 处	8.59×10^{-11}	公众	1/2	扫描 20min×18 人次×250d	6.44×10^{-11}	0.1
37	留观室东墙外表面 30cm 处	0.160	公众	1/16	留观 10min×9 次×250d	0.004	0.1
42	留观室顶部距地面 30cm 处	0.062	公众	1/4	留观 10min×9 次×250d	0.006	0.1
43	留观室下方距地面 1.7m 处	1.51×10^{-10}	公众	1/2	留观 10min×9 次×250d	2.83×10^{-11}	0.1
44	出口防护门外表面 30cm 处	1.379	公众	1/4	停留 1min×18 人次×250d	0.026	0.1

注: PET/CT 日诊断 18 人次。

综上,假设核医学科-影像中心 PET 诊断区所有分装注射均由一名工作人员完成,则注射过程中核医学科辐射工作人员受到的年有效剂量小于 0.169mSv (0.107+0.062)。PET/CT 摆位由 1 名工作人员完成,则摆位过程中及扫描过程中受到的年有效剂量小于 1.055mSv (0.555+0.500)。根据估算结果核素诊断过程中,周围公众(控制区外)年有效剂量最大为 0.034mSv (PET/CT 机房西墙外表面 30cm)。

3、射线装置环境影响分析

医院核医学科-影像中心 SPECT/CT 和 PET/CT 机房辐射防护设计见表 11-35。

表 11-35 医院核医学科 SPECT/CT 和 PET/CT 机房辐射防护设计一览表

类别	参数	设计厚度	铅当量	屏蔽及面积要求	评价
SPECT/CT 机房	墙体	370mm 厚实心砖墙	>3mmPb	CT 机房(不含头颅移动 CT)、CT 模拟定位机房: 有用线束方向铅当量 2.5mmPb, 非有用线束方向铅当量 2.5mmPb。	满足
	防护大门	5mm 铅当量	5mmPb		
	防护小门	5mm 铅当量	5mmPb		
	观察窗	5mm 铅当量	5mmPb		
	屋顶及地面	300mm 厚混凝土	3.74mmPb		
	机房面积	SPECT/CT 机房 41.2m ² , 单边最短长度 5.5m;		机房最小有效使用面积 30m ² , 机房内最小单边长 4.5m	满足
类别	参数	设计厚度	铅当量	屏蔽及面积要求	评价
PET/CT 机房	墙体	370mm 厚实心砖墙	>3mmPb	CT 机房(不含头颅移动 CT)、CT 模拟定位机房: 有用线束方向铅当量 2.5mmPb, 非有用线束方向铅当量 2.5mmPb。	满足
	防护大门	10mm 铅当量	8mmPb		
	防护小门	10mm 铅当量	8mmPb		
	观察窗	10mm 铅当量	10mmPb		
	屋顶及地面	300mm 混凝土	3.74mmPb		
	机房面积	41.2m ² , 单边最短长度 5.5m	机房最小有效使用面积 30m ² , 机房内最小单边长 4.5m		满足

由上表可知 SPECT/CT 和 PET/CT 系统 CT 部分为 III 类医用射线装置, 机房墙体、门、窗、顶棚的防护厚度均能满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 中要求, 以上标准中机房屏蔽厚度参数是以机房外人员受照剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 中剂量要求而设定的, 而本项目机房设计方案各项防护参数均大于标准要求, 由此偏保守推测, 设备正常运行时对机房外环境的影响可满足本项目评价标准要求。

本项目辐射工作人员所受 CT 的年有效剂量(X 射线贡献)将淹没在放射性药物

的影响内，考虑叠加放射性药物的影响后，辐射工作人员所受总的年有效剂量均能符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于剂量限值的要求，也低于本评价提出的 5.0mSv/a 的年管理剂量约束值。

（六）核医学科-核素治疗中心项目

1、使用放射性同位素 ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 开展骨转移治疗项目

医院拟于本次新建的核医学科使用放射性同位素 ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 开展骨转移治疗。该两种放射性核素特性一览表见表 11-36。

表 11-36 放射性核素特性一览表

核素种类	主要衰变方式	主要 β 粒子能量 (MeV)	主要 γ 射线能量 (MeV)
^{89}Sr	β^- (100%)	1.495	/
^{153}Sm	β^- (100%)	0.2652	/

β 射线的穿透性能较差，根据《辐射防护手册 第三分册》（原子能出版社），其在 Z 较高的物质中的射程可用公式 11-16 和公式 11-17 进行估算，主要参数及结果见表 11-37。

表 11-37 β 射线最大射程计算参数及结果

核素	E_β (MeV)	屏蔽材料	ρ 材料密度(g/cm ³)	R 最大射程(g/cm ²)	d 防护厚度 (cm)
^{89}Sr	1.495	空气	0.0012	0.7475	622.9
		有机玻璃	1.18	0.7475	0.633
		混凝土	2.30	0.7475	0.325
		铅	11.1	0.7475	0.067
^{153}Sm	0.2652	空气	0.001293	0.7475	102.6
		有机玻璃	1.18	0.7475	0.112
		混凝土	2.30	0.7475	0.058
		铅	11.34	0.7475	0.012

由上表可知，在核素操作过程中，在穿戴好防护用品后，基本可以消除 β 射线对辐射工作人员及周围公众的辐射影响。但是， β 射线可与物质相互作用从而产生轫致辐射，物质的原子序数越高，所产生的轫致辐射越强。

根据公式 11-21 可计算核素产生的轫致辐射的影响，详见表 11-38：

表 11-38 核素产生轫致辐射剂量率

核素	活度(Bq)	有效原子序数	E_β (MeV)	距离(m)	μ_{en}/ρ (m ² /kg)	剂量率(μGy/h)
^{89}Sr	1.48×10^8	6.3 (有机玻璃)	0.5818	1	2.955×10^{-3}	0.072
^{153}Sm	1.48×10^9	5.85 (有机玻璃)	0.0884	1	2.362×10^{-3}	0.0073
		7.36 (空气)				0.0092

注：质量能量吸收系数取自《辐射防护导论》方杰主编。

由估算结果可知，距屏蔽层 1m 处轫致辐射剂量率低于 $0.072\mu\text{Gy}/\text{h}$ ，且注射时一般在铅注射窗下给患者施药，经铅玻璃的进一步屏蔽后所致工作人员处辐射剂量率将远低于 $0.072\mu\text{Gy}/\text{h}$ ，因此敷贴治疗及骨转移项目对周围辐射环境影响很少。

2、甲状腺吸碘率测定项目辐射环境影响分析

根据本项目的工程分析可知，甲状腺吸碘率测定的患者在口服药物后进入甲吸室进行相关测定，测定过程按照 5min 估算，测定结束后随即离开工作场所。以上过程对核医学科-核素治疗中心的辐射工作人员及室外公众产生外照射辐射影响。根据公式 11-22 可估算出甲吸对项目周围各关注点处的辐射水平，预测结果见表 11-39。

表 11-39 甲状腺吸碘率测定理论估算结果汇总

关注点		距离 (m)	屏蔽材料	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
服药间 (源强: 1.85MBq)	东墙外 30cm 处	1.7	300mm 混凝土	0.001
	顶部距地面 1m 处	4.1	300mm 混凝土	1.13×10^{-4}
	下方距地面 1.7m	3.0	300mm 混凝土	2.10×10^{-4}
甲吸室 (源强: 1.85MBq)	东墙外 30cm 处	1.7	240mm 实心砖	0.004
	西墙外 30cm 处	1.7	240mm 实心砖	0.004
	防护门外 30cm 处	2.0	2mmPb	0.018
	顶部距地面 1m 处	4.1	150mm 混凝土	0.001
	下方距地面 1.7m	3.0	150mm 混凝土	0.002

由上表估算结果可知，服药间关注点剂量率均小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，该区域防护屏蔽能够满足标准要求。

3、甲癌治疗项目辐射环境影响分析

医院拟在核素治疗中心使用放射性同位素 ^{131}I 开展核素治疗项目， ^{131}I 甲癌病人单人最大用药量为 $150 \times 3.7 \times 10^7 \text{Bq}$ ，工作人员在分装室内使用自动分装仪进行 ^{131}I 的分装，分装好后工作人员通过语音控制，病人至服药窗口服药，服药后在病房内住院治疗。由于本项目三间核素病房大小一致，防护一致，故仅选取其中一间进行理论预测，其余类推。根据公式 11-22 可估算出项目周围各关注点处的辐射水平，预测结果见表 11-40、11-41，估算点位见图 11-7。

图 11-7 核医学科-核素治疗中心使用¹³¹I 治疗甲癌项目估算点位示意图

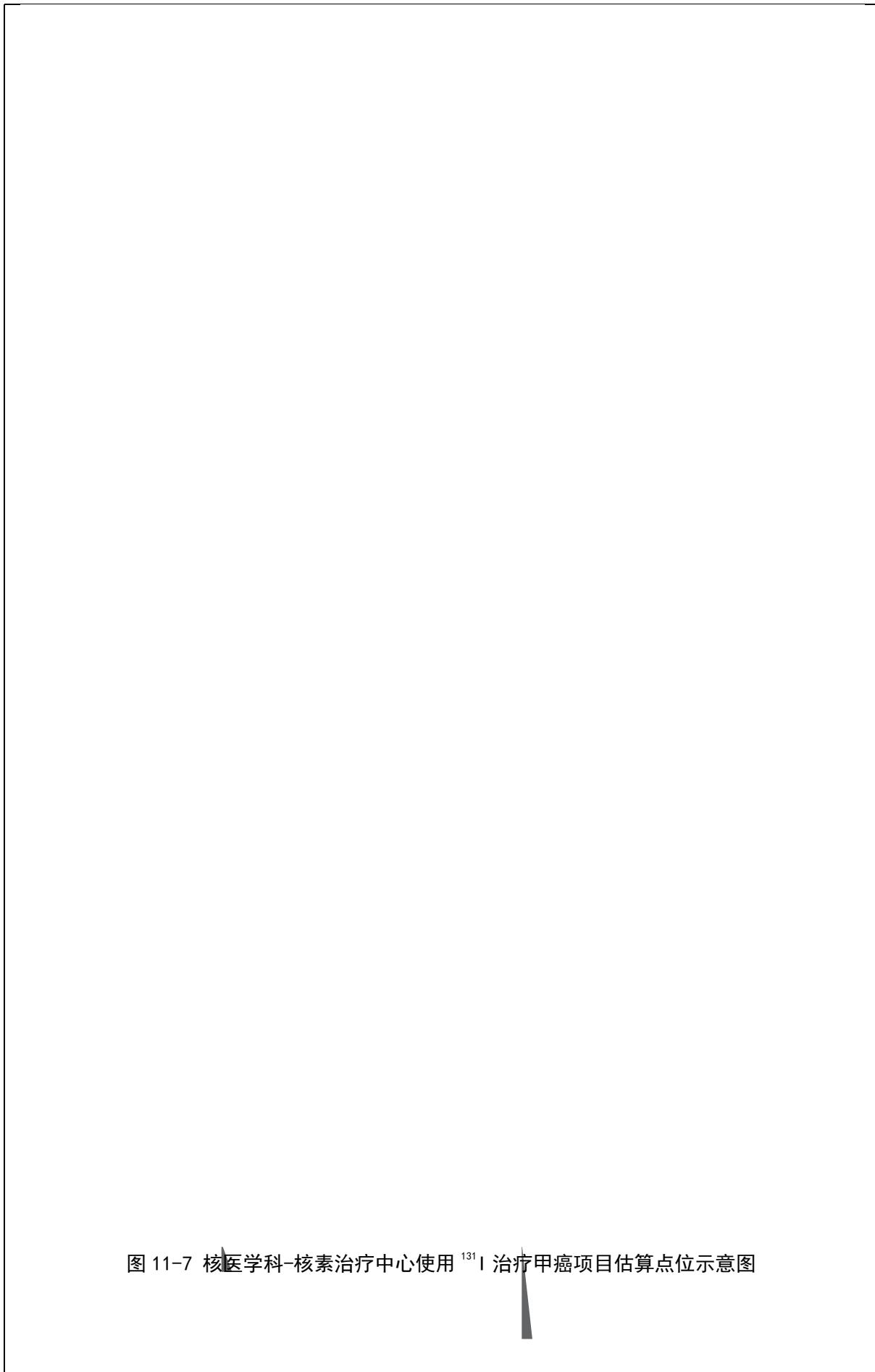


表 11-40 无屏蔽状态下 ^{131}I 周围辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)

距离(m)	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0
单次注射 ^{131}I 药物 $5.55 \times 10^9 \text{Bq}$ (150mCi) 时周围辐射剂量率	3595	1294	323.6	80.9	35.9

表 11-41 ^{131}I 甲癌治疗项目工作场所辐射水平估算结果

点位	关注点位置	源强(Bq)	距离(m)	屏蔽材料及厚度	透射比	关注点辐射水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	限值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	备注
1	服药窗口	$750 \times 3.70 \times 10^7$	0.5	45mmPb	8.11×10^{-5}	1.488	2.5	自动分装仪 为 40mmPb
2	分装服药室北墙外表面 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	6.6	300mm 厚混凝土	0.017	0.130	2.5	
3	分装服药室顶部距地面 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.1	300mm 厚混凝土	0.017	0.338	2.5	
4	分装服药室下方距地面 1.7m 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	3.0	300mm 厚混凝土	0.017	0.618	2.5	
5	患者通道东墙外表面 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.5	300mm 厚混凝土	0.017	0.275	2.5	/
6	核素病房 1 东墙外表面 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	3.4	300mm 厚混凝土	0.017	0.481	10	1 人住院
7	核素病房 1 防护门外表面 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	2.7	10mmPb	0.123	5.472	10	
8	核素病房 1 南墙外表面 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	2.3	300mm 厚混凝土	0.017	1.051	10	
9	核素病房 1 北墙外表面 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	2.3	300mm 厚混凝土	0.017	1.051	2.5	
10	核素病房 1 顶部距地面 30cm 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	4.1	300mm 厚混凝土	0.017	0.331	2.5	
11	核素病房 1 下方距地面 1.7m 处	$150 \times 3.70 \times 10^7$	3.0	300mm 厚混凝土	0.017	0.618	2.5	
12	核素病房 2 防护门外表面 30cm 处	$300 \times 3.70 \times 10^7$	3.4	10mmPb	0.123	6.901	10	2 人住院
13	核素病房 2 东墙外表面 30cm 处	$300 \times 3.70 \times 10^7$	2.7	300mm 厚混凝土	0.017	1.526	10	
14	核素病房 2 南墙外表面 30cm 处	$300 \times 3.70 \times 10^7$	2.3	300mm 厚混凝土	0.017	2.103	10	
15	核素病房 2 北墙外表面 30cm 处	$300 \times 3.70 \times 10^7$	2.3	300mm 厚混凝土	0.017	2.103	10	
16	核素病房 2 顶部距地面 30cm 处	$300 \times 3.70 \times 10^7$	4.1	300mm 厚混凝土	0.017	0.662	2.5	
17	核素病房 2 下方距地面 1.7m 处	$300 \times 3.70 \times 10^7$	3.0	300mm 厚混凝土	0.017	1.236	2.5	2 人住院
18	核素病房 3 防护门外表面 30cm 处	$300 \times 3.70 \times 10^7$	3.4	10mmPb	0.123	6.901	10	
19	核素病房 3 东墙外表面 30cm 处	$300 \times 3.70 \times 10^7$	2.7	300mm 厚混凝土	0.017	1.526	10	

20	核素病房 3 南墙外表面 30cm 处	$300 \times 3.70 \times 10^7$	2.3	300mm 厚混凝土	0.017	2.103	10	
21	核素病房 3 北墙外表面 30cm 处	$300 \times 3.70 \times 10^7$	2.3	300mm 厚混凝土	0.017	2.103	10	
22	核素病房 3 顶部距地面 30cm 处	$300 \times 3.70 \times 10^7$	4.1	300mm 厚混凝土	0.017	0.662	2.5	
23	核素病房 3 下方距地面 1.7m 处	$300 \times 3.70 \times 10^7$	3.0	300mm 厚混凝土	0.017	1.236	2.5	
24	出口防护门外表面 30cm 处	$6.4 \times 3.70 \times 10^7$	1.5	10mm 铅板	0.123	0.756	2.5	考虑衰变

注: 查《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020), 放射性核素 ^{131}I 的周围剂量当量率常数(裸源)为 $0.0595\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$, 患者体内注射 ^{131}I 时放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率常数为 $0.0583\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ 。

由表 11-40 的数据可以看出, 病人服药后 ^{131}I 药物处于无屏蔽状态, 其周围辐射影响比较明显, 患者用药后对与其近距离接触者将产生明显的辐射危害, 因此加强对服药患者管理是非常必要的。

由表 11-41 的数据可以看出, 甲癌治疗工作场所周围辐射剂量率均能满足 HJ1188-2021 的限值要求。

对服用 ^{131}I 的甲癌患者, 甲状腺切除, ^{131}I 进入患者体内后, 会随着身体代谢, 很快随着尿液、粪便等排出。根据《分化型甲状腺癌患者的 ^{131}I 有效半衰期》(易艳玲等, 原子能科学与技术, Vol44, suppl.10, 9) 报道, 甲癌患者的 ^{131}I 平均有效半衰期为 (14.6 ± 6.5) h, 本评价取 21.1 h, 据此计算甲癌患者服药后的剂量率。患者服药后, 距患者不同距离处辐射剂量率预测结果表 11-42。

表 11-42 患者服药后辐射剂量率预测结果

源强	距患者 距离	辐射剂量率 $\mu\text{Sv}/\text{h}$						
		服药当天	1d	2d	4d	7d	10d	24d
150mCi	1m	323.6	147.1	66.9	13.8	1.12	0.11	/

由上表预测值中可以看出, 服药后患者对周围辐射环境影响随时间的增加而逐渐减小。甲癌患者服药后初期体外 1m 处 γ 辐射剂量率为 $323.6 \mu\text{Sv}/\text{h}$, 随着时间衰变, 服药 7 天后, 患者体外 1m 处 γ 辐射剂量率为 $1.12 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

患者体内携带一定量活度的放射性核素离开医院是允许的, 对于核素 ^{131}I , 允许离开医院的核素活度上限为 400MBq (10.8mCi)。本项目甲癌患者, 用量高于 10.8mCi , 需要住院治疗, 待体内核算 ^{131}I 含量小于 10.8mCi 时, 方可允许离开医院。经估算可知, 甲癌患者住院三天后, 体内核素活度最大为 18.79mCi , 四天后体内核素活度最大为 8.54mCi , 因此甲癌患者一般需住院 4 天即可达到出院标准 (对排泄速度较慢的患者, 应适当延长住院时间)。从某种程度上讲, 服药患者相当于一个流动的放射源, 在一段时间内, 对近距离接触的公众可能产生 γ 外照射, 并且患者排泄物也会对环境可能产生一定的影响。但是这种影响是暂时的, 其影响将随着时间的推移越来越小, 因此医院应加强对服药患者管理, 向患者及其家属作出口头及书面的住院期间及出院后的防护措施指导, 给出辐射防护建议, 要求患者在一定时间内避免外出。

甲癌病人在住院期间, 医院保洁人员不对病房打扫卫生。综上患者服药后, 根据表 11-40 的各关注点处辐射剂量率, 结合工作时间, 辐射工作人员和公众停留概率, 结合公式 11-23 即可得到各关注点处公众及辐射工作人员的年受照剂量, 见表 11-43。

表 11-43 ^{131}I 甲癌治疗项目工作场所公众及辐射工作人员年有效剂量估算

点位	关注点位置	关注点当天最大辐射水平 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)					关注点处受放射性核素影响的时间	居留因子	关注点人员有效剂量 (mSv/a)	关注对象	
		第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天					
1	服药窗口	1.488					服药 $1\text{min} \times 5$ 人/周 $\times 50$ 周	1	0.006	工作人员	
2	分装服药室北墙外表面 30cm 处	0.130						1/4	0.001	公众	
3	分装服药室顶部距地面 30cm 处	0.338						1/4	3.52×10^{-4}	公众	
4	分装服药室下方距地面 1.7m 处	0.618						1/4	0.001	公众	
5	患者通道东墙外表面 30cm 处	0.275						1/4	2.86×10^{-4}	公众	
9	核素病房 1 北墙外表面 30cm 处	1.051	0.478	0.217	0.099	0.045	8h/d $\times 5d/\text{周} \times 50$ 周	1	0.756	工作人员	
10	核素病房 1 顶部距地面 30cm 处	0.331	0.150	0.068	0.031	0.014	8h/d $\times 5d/\text{周} \times 50$ 周	1/16	0.030	公众	
11	核素病房 1 下方距地面 1.7m 处	0.618	0.281	0.128	0.058	0.026	8h/d $\times 5d/\text{周} \times 50$ 周	1/16	0.028	公众	
16	核素病房 2 顶部距地面 30cm 处	0.662	0.301	0.137	0.062	0.028	8h/d $\times 5d/\text{周} \times 50$ 周	1/16	0.030	公众	
17	核素病房 2 下方距地面 1.7m 处	1.236	0.562	0.255	0.116	0.053	8h/d $\times 5d/\text{周} \times 50$ 周	1/16	0.056	公众	
22	核素病房 3 顶部距地面 30cm 处	0.662	0.301	0.137	0.062	0.028	8h/d $\times 5d/\text{周} \times 50$ 周	1/16	0.030	公众	
23	核素病房 3 下方距地面 1.7m 处	1.236	0.562	0.255	0.116	0.053	8h/d $\times 5d/\text{周} \times 50$ 周	1/16	0.056	公众	
24	出口防护门外表面 30cm 处	0.756					停留 $1\text{min} \times 5$ 人/周 $\times 50$ 周	1/16	0.0002	公众	

注: *: 病人为 24 小时住院, 但 8 小时工作时间之外此处停留人员很少, 故本项目按照 8 小时计算。

**: 考虑病人住院期间, 随着时间推移, 体内放射性核素存在衰减, 以每日最大剂量率进行核算。

根据以上估算，核素治疗中心自动分装仪操作人员所受年有效剂量为0.762mSv/a，核素治疗中心外周围公众所受年附加有效剂量最大为0.056mSv/a。

（七）核医学科-其他环境影响分析

1、放射性废气的影响分析

本项目核医学科2处辐射工作场所的通排风系统各自独立不交叉。

（1）影像中心通排风系统设置：

本项目工作场所排风管道确保其中1支单独连接分装室的手套箱，放射性药物的各项操作均在手套箱内进行，手套箱由专业厂商提供，根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“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0.5m/s）”要求，医院购买的手套箱排风口处风速不得低于0.5m/s；其余管道连接各场所内的主要房间，并保证了非密封放射性物质工作为负压工作场所。

（2）核素治疗中心通排风系统设置：

本项目工作场所排风管道分为3支，其中1支单独连接自动分装仪，放射性药物的各项操作均在自动分装仪内进行，自动分装仪由专业厂商提供，根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“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0.5m/s）”要求，医院购买的自动分装仪排风口处风速不得低于0.5m/s；第2支单独连接放射性废物暂存间等。第3支单独连接核素病房等。且场所内的送风系统送风量小于排风系统的排风量，保证了非密封放射性物质工作为负压工作场所，通风管道布设如图10-10所示。

工作场所产生的废气经由3根排风管道排至楼顶，其中工作场所的自动分装仪自带有效过滤器装置，3支排风管道均在末端配置有活性炭吸附装置处理设施，屋顶排风口均朝向天空。核医学科楼周边无高层建筑，空气流通通畅，含放射性核素的气溶胶经活性炭及有效过滤器过滤后对周边环境影响较小。

本项目核素治疗中心含¹³¹I放射性废气的产生量保守按照操作核素总活度的1%估算。本项目采用有活性炭吸附装置处理设施，去除效率为99%，每天累积操作核素时间1h。本项目核素治疗中心全年工作250d，假设人呼吸量为1.2m³/h。核素治疗中心个排气口所致公众吸入量预测结果见表11-44。

表 11-44 核素治疗中心个排气口所致公众吸入量预测结果

序号	排气口	年总操作量 (Bq)	废气中所含核素量 (Bq)	排风量 (m ³ /h)	排气口气溶胶浓度 (Bq/m ³)	公众最大吸入量 (Bq)	公众年最大摄入量限值 (Bq)
1	自动分装仪	1.39×10^{12}	1.39×10^7	2000	6.95×10^3	8.34×10^3	1.3×10^5
2	病房等区域	1.39×10^{12}	1.39×10^7	4000	3.47×10^3	4.16×10^3	1.3×10^5

由上表可知，本项目排气口核素所致公众年吸入量小于《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WST 613-2018）规定的公众成员吸入放射性气溶胶年摄入量限值。

本项目核医学科拟设排气口位置位于楼顶（约 18.6m），排气口附近无公众长期停留。因此，本项目核医学科产生的放射性废气经过空气稀释后，远低于预测公众年最大吸入量。

表 11-45 含放射性核素的气溶胶所致公众年吸入量预测结果

序号	排气口	公众最大吸入量 (Bq)	摄入量所致待积有效剂量转换因子 (Sv/Bq)	气溶胶致公众年受照总剂量 (mSv/a)
1	自动分装仪	8.34×10^3	1.98×10^{-4}	1.88×10^{-3}
2	病房等区域	4.16×10^3	5.66×10^{-5}	

由上表可知，含放射性核素的气溶胶所致公众年受照射剂量远低于对公众照射剂量约束值 0.1mSv/a。因此本项目产生的含放射性核素的气溶胶对周围环境影响较小。

活性炭吸附装置的过滤使用寿命一般为 8~12 个月，医院需每三个月对过滤效率进行校核，每半年进行一次更换，以防止过滤装置失效，造成放射性污染事故。

2、放射性固废影响分析

（1）核医学科-影像中心

核医学科-影像中心产生的放射性固体废物主要有废弃的注射器、一次性手套、棉签、滤纸等。核医学科注射室、候诊区、留观室等房间均拟设置 1~2 个放射性废物桶（涉及 ¹⁸F 等核素用防护厚度应不低于 20mmPb，涉及 ^{99m}Tc 核素用防护厚度不低于 5mmPb），另外，医院在核医学科内设有 1 个放射性废物暂存间。

根据医院对本项目规划的工作量估算每年产生放射性固体废物量，诊断项目日接诊量最大为 80 人次，放射性固体废物产生量按 0.02kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为 1.6kg/d（体积约为 4.0m³/月），核医学科各房间内铅废物箱放置点应避开工作人员与其它人员经常走动的地方，并设置有电离辐射警告标志。

从核医学科各房间收集的含放射性废物应分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等）后集中到废物库中的铅桶（废物库中设置若干铅桶，防护厚度不低

5mmPb) 中暂存，在废物库内自然衰变超过 30 天后，经检测合格后作为医疗废物进行处理。

手套箱通风管道内更换下来的废活性炭，在废物库贮存超过 30 天后，经检测合格后作为医疗废物进行处理。

本项目核医学科的废物库面积约为 $3.23m^2$ ，总容积约为 $10m^3$ ，该放射性废物库容积能够满足放射性固体废物贮存 30 天的要求。

(2) 核医学科-核素治疗中心

核医学科-核素治疗中心产生的放射性固体废物主要有废弃的注射器、一次性手套、棉签、滤纸等。核医学科各治疗室均拟设置 1~2 个放射性废物桶（防护厚度应不低于 10mmPb），另外，医院在核医学科-核素治疗中心内设有 1 个放射性废物暂存间。

根据医院对本项目规划的工作量估算每年产生放射性固体废物量，放射性固体废物产生量按 $0.02kg/人次$ 计算，则放射性固体废物产生量为 $0.1kg/d$ （体积约为 $1.5m^3/月$ ），核医学科各房间内铅废物箱放置点应避开工作人员与其它人员经常走动的地方，并设置有电离辐射警告标志。

从核医学科各房间收集的含放射性废物应分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等）后集中到废物库中的铅桶（废物库中设置若干铅桶，防护厚度不低于 10mmPb) 中暂存，在废物库内自然衰变超过 180 天后，经检测合格后作为医疗废物进行处理。

手套箱通风管道内更换下来的废活性炭，在废物库贮存超过 180 天后，经检测合格后作为医疗废物进行处理。

本项目核医学科-核素治疗中心的废物库面积约为 $6.0m^2$ ，总容积约为 $18m^3$ ，该放射性废物库容积能够满足放射性固体废物贮存 180 天的要求。

同时在核素治疗中心出口处还设有污染被服暂存间，用于存放患者使用过的被服，该被服间也能够满足暂存需求。

3、放射性废水影响分析

本项目核医学科 2 处工作场所产生的含放射性废水包括：工作人员操作过程手部受到微量污染的清洗废水，清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水，以及患者冲洗排便用水。

工作场所产生的放射性废水通过预埋好的管道排至核医学科楼南侧室外绿化带内本次新建的 2 套衰变池内。根据设计院提供的设计图可知：核医学科 4 处工作场所产生的放射性废水先排至污泥池再通过专用管道排至放射性废水衰变池（原理图见图 10-14），待放射性废水暂存至规定时间后通过管道排至医院污水处理站处理达标后排入市政管网。

(八) 介入诊断项目

成都市郫都区人民医院拟于核医学科楼二层介入科新建 2 座 DSA 机房，并各配备 1 台 DSA 用于开展介入诊断项目。

1、DSA 机房的屏蔽防护铅当量厚度与标准要求的相符性分析评价

(1) 评价标准

根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 表 3 规定，主束方向、非有用线束方向屏蔽体的铅当量均应不小于 2.0mmPb。

(2) 本项目 DSA 机房各屏蔽部位的铅当量厚度核算

本项目所有 DSA 的有用线束投射方向均为由下至上，即使旋转机头，向上的散射线和漏射线的辐射影响要小于主束向上的影响，所以本项目保守将 DSA 机房顶部作为有用线束投射方向。由表 10-7 可知，本项目 DSA 机房使用的屏蔽材料除铅以外，还涉及顶面（有用线束投射方向）的混凝土、机房四侧（非有用线束投射方向）的实心砖。

本项目依据《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 附录 C 中 C.1.2 按以下方法计算不同屏蔽物质的铅当量，计算公式如下：

a) 对给定的铅厚度，依据 NCRP 147 号报告中给出的不同管电压 X 射线辐射在其他屏蔽物质中衰减的 α 、 β 、 γ 拟合值按公式 11-24 计算辐射透射因子 B ：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \dots \dots \text{公式 11-24}$$

式中： B —给定铅厚度的屏蔽投射因子；

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。

b) 依据 NCRP 147 号报告中给出的不同管电压 X 射线辐射在其他屏蔽物质中衰减的 α 、 β 、 γ 拟合值和 a) 中的 B 值，使用公式 11-25 计算出各屏蔽物质的铅当量厚度 X ：

$$X = \frac{1}{\alpha \gamma} \ln \left(\frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right) \dots \dots \text{公式 11-25}$$

式中： X —不同屏蔽物质的铅当量厚度；

B —给定铅厚度的屏蔽投射因子；

α —不同屏蔽物质对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

β —不同屏蔽物质对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

γ —不同屏蔽物质对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数。

根据 GBZ 130-2020 表 C.2 查取 125kV 管电压下 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，由 NCRP147 报告 TABLE A.1、TABLE C.1 查取 70kV 和 80kV 管电压下 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，列于表 11-46：

表 11-46 铅、混凝土和实心砖针对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的三个拟合参数

管电压 (kV)	铅			混凝土			实心砖		
	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ
70 (散射)	5.369	23.49	0.5883	0.05090	0.1697	0.3849	0.0506	0.137	0.715
80 (主束)	4.040	21.69	0.7187	/	/	/	/	/	/
125 (主束)	2.219	7.923	0.5386	0.03502	0.07113	0.6974	0.0287	0.0670	1.346

本项目按最大管电压 125kV (主束) 的极端条件核算 DSA 机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度，根据公式 11-25 计算本项目不同屏蔽物质的铅当量，计算结果如下：

表 11-47 本项目 DSA 机房屏蔽防护铅当量计算结果

屏蔽防护设计	材料及厚度	透射因子 B	等效铅当量 (mm)
四周墙体	370mm 实心砖墙	9.99×10^{-6}	3.92
顶部	250mm 混凝土	3.22×10^{-5}	3.40
地面	300mm 混凝土	5.58×10^{-6}	4.18

(3) DSA 机房屏蔽防护设计合理性分析

本项目各 DSA 机房设计屏蔽情况与《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 中 C 形臂 X 射线设备机房屏蔽防护要求对比见表 11-48，各 DSA 机房有效面积和最小单边长度与《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 中 C 形臂 X 射线设备机房有效面积和最小单边长度对比见表 11-49。

表 11-48 核医学科楼各 DSA 机房辐射防护设计一览表

机房名称	屏蔽体	屏蔽设计	换算铅当量 mmPb	防护要求 mmPb	符合性
1#和 2# DSA 机房	四面墙体	370mm 混凝土砖墙	3.92	2.0	符合
	顶部	250mm 混凝土	3.40	2.0	
	地面	300mm 混凝土	4.18	2.0	
	防护门	内衬 3mmPb 铅板	3.0	2.0	
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3.0	2.0	

表 11-49 核医学科楼各 DSA 机房有效面积和最小单边长度一览表

机房名称	设计值		标准要求		
	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m ²)	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m ²)	符合性
1#DSA 机房	5.76	41.2	3.5	20	符合
2#DSA 机房	5.45	39.0	3.5	20	符合

由表 11-48 和表 11-49 可知, 本项目各 DSA 机房的屏蔽体的等效铅当量均满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 表 3 关于有用线束方向、非有用线束方向铅当量均不小于 2.0mmPb 的要求, 同时机房有效面积和最小单边长度也满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 的要求, 机房屏蔽设计合理。

2、DSA 机房的辐射影响预测

为了进一步评价屏蔽效果辐射防护效果, 采用理论预测的方法进行影响分析。本项目 2 座 DSA 机房大小略有差异, 本次选取其中 1 座机房 (1#DSA 机房) 为例进行防护分析, 2#机房屏蔽效果按此方法以此类推。

(1) 运行工况

为防止烧毁球管、延长其使用寿命, 实际工作时, DSA 管电压和管电流通常都留有较大的余量。DSA 的 X 射线系统在自动透视模式下间隙性运行, DSA 通常透射模式下管电压在 60~80kV、管电流在 5~20mA, 摄影模式下管电压在 60~80kV、管电流在 100~300mA。根据医院提供信息, 本项目按透射模式 (80kV、20mA)、摄影模式 (80kV、300mA) 进行预测。

根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中“5.1.5 c”要求: “除牙科摄影和乳腺摄影用 X 射线设备外, X 射线有用线束中的所有物质形成的等效总滤过, 应不小于 2.5 mmAl”, 本项目 DSA 型号待定, 故本次预测过滤板保守选取 2.5mmAl, 根据《辐射防护手册》(第一分册) 图 4.4c (不同管电压对应的 X 射线照射量率) 内容, 图 4.4c 只有过滤片为 2mmAl 和 3mmAl 曲线, 故本项目取值按 2mmAl 进行取值, 当管电压为 80kV (最大运行工况) 时, 查得照射量率 \dot{X} 为 $0.75\text{R}\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

(2) 运行时间

根据医院规划, 本项目 DSA 设备年工作量约 500 台, 不同介入手术的平均透视模式运行时间约 5min ~10min/台, 不同介入手术的平均摄影模式运行时间均不超过 1min, 故本项目保守考虑单台介入手术平均透视模式运行 10min, 摄影模式运行 1min, 则本项目 DSA 设备年出束时间约为 92h (包含透视模式 83.3h 及摄影模式 8.3h)。

本项目拟配置辐射工作人员 8 人， 8 名辐射工作人员共分为 2 组（介入科手术组、血管及神经外科手术组），每组 4 名辐射工作人员（其中医生 2 名，护士 1 名，技师 1 名），各组人员不交叉。本项目 DSA 每台手术最少由 2 名医生和 1 名护士配合，手术医生及护士透视模式运行时位于 DSA 机房内，摄影模式运行时位于控制室内，技师位于控制室内进行隔室操作。本项目辐射工作人员及公众年受照时间见表 11-50。

表 11-50 本项目辐射工作人员及公众年受照时间

工作场所	受照人员	工作模式	单台出束时间 (min/台)	年开展工作量 (台)	年累计出束时间 (h/a)
本项目 DSA 机房	介入科手术组辐射工作 人员（单名手术医生、 护士及技师）	透视	10	500	83.3
		摄影	1	500	8.3
	机房周围公众	透视	10	500	83.3
		摄影	1	500	8.3

（3）操作方式

①造影摄影过程：

操作人员采取隔室操作的方式，医生通过铅玻璃观察窗观察手术室内病人情况，通过对讲系统与病人交流。在摄影过程中，医生位于控制室内。

DSA 摄影时间由于不同部位的手术时长不同，其范围为 2~60s 之间，进行辐射环境预测时保守取开展单台介入手术的累积最长曝光时间。

②透视过程：

为更清楚的了解病人情况，医生需进入机房内进行治疗时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视。该手术操作过程共需两名医生，此时第一手术操作位医师位于铅帘后身着铅服、戴铅眼镜等在曝光室内对病人进行直接的手术操作，距离主射线束距离约为 0.5m；第二手术位的医师身着铅服、戴铅眼镜，距离主射线束约为 1m。

本项目 DSA 投运后，介入手术过程中，手术室外四周、楼下的保护目标均受到 X 射线散射和漏射影响，楼上顶部受到主射影响；手术室内的辐射工作人员受到散射和漏射的影响。根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律，距离手术室最近关注点受到的辐射剂量可以代表最大可能受到的辐射有效剂量。

(4) 机房外环境辐射影响分析

1) 计算模式

①关注点处有用线束辐射剂量率计算

根据《辐射防护手册（第一分册）》公式 10.8，关注点周照射量计算公式为：

$$X_w = \frac{\dot{X}}{d^2} \cdot W \cdot \mu \cdot \eta \cdot f \dots \dots \dots \text{公式 11-26}$$

式中： X_w —关注点处周照射量，R；

\dot{X} —每 mA 管电流产生的 X 射线在 1m 处的照射量率， $\text{R} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；

W —周工作负荷， $\text{mA} \cdot \text{min}/\text{周}$ ； $W=I \cdot t$ ， I 为管电流，mA； t 为周工作时间， $\text{min}/\text{周}$ ；

d —X 射线机至关注点距离；

μ —利用因子；

η —对防护区的占用因子，表示人员在防护区停留的时间；

f —屏蔽墙对初级 X 射线束的减弱因子（或叫透射率）。

根据《放射防护实用手册》（赵兰才、张丹枫著）公式 3-11 可知，空气比释动能 K 与照射量 X 的转换公式如下：

$$K = 8.76X \dots \dots \dots \text{公式 11-27}$$

式中： K —空气比释动能，mGy；

X —照射量，R。

综上所述，由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）给出的 X 射线机在关注点的周照射量计算公式 10.8 及《放射防护实用手册》（赵兰才 张丹枫著）公式 3-11 进行推导，得到有用线束在关注点处的辐射剂量率 \dot{H} 的计算公式：

$$\dot{H} = \frac{\dot{X}}{d^2} \cdot I \cdot \mu \cdot \eta \cdot B \times 8.76 \times 10^3 \times 60 \times K_a \dots \dots \dots \text{公式 11-28}$$

式中： \dot{H} —关注点处有用线束辐射剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

\dot{X} —每 mA 管电流产生的 X 射线在 1m 处的照射量率， $\text{R} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；根据 NCRP147 报告，患者和接收器对初始线束的减弱倍数为 10 倍~100 倍，因此本次预测主射方向照射量率保守取主射束的 10%；

d —关注点至 X 射线源的距离；

I —管电流，mA；本项目透视、摄影模式下正常使用的最大管电流分取

20mA、300mA;

μ —利用因子, 取 1;

η —对防护区的占用因子, 保守取 1;

B —屏蔽材料对散射线的透射因子, 无量纲; 计算方法详见公式 11-1, 80kV (本项目正常运行最大管电压) 时相应的 α 、 β 、 γ 数值, 具体见表 11-1。

K_a —有效剂量与空气比释动能转换系数, Sv/Gy, 查《用于光子外照射防护的剂量转换系数》(GBZ/T 144-2002) 表 B2, 对于本项目 DSA 运行时常用最大管电压 80kV, K_a 值取 1.67。

②关注点处散射辐射剂量率计算

由《辐射防护手册 (第一分册)》(李德平 潘自强著) 给出的 X 射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式 (公式 10.10) 进行推导, 得到散射线在关注点处的辐射剂量率 \dot{H}_s 的计算公式:

$$\dot{H}_s = \frac{\dot{X}}{d_0^2 \cdot d_s^2} \cdot I \cdot \mu \cdot \eta \cdot \left(\frac{a}{400}\right) \cdot s \cdot B_s \times 8.76 \times 10^3 \times 60 \times K_a \cdots \cdots \text{公式 11-29}$$

式中: \dot{H}_s —关注点处散射辐射剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

\dot{X} —每 mA 管电流产生的 X 射线在 1m 处的照射量率, $\text{R} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$;

I —管电流, mA; 本项目透视、摄影模式下正常使用的最大管电流分别取 20mA、300mA;

a —人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值, 由《辐射防护手册 (第一分册)》表 10.1 中查取; 本项目最大常用管电压为 80kV, 对于散射线向机房四侧墙体投射的情况, 从《放射防护实用手册》表 6.26 中采用内插法查取散射角 90° 时 80kV 对应的 a 值为 0.0008 (该取值适用于机房四侧关注点相应预测计算)。对于散射线向机房底面投射的情况, 因《放射防护实用手册》中无散射角 180° 的数据, 表中所列散射角中以 135° 最接近 180°, 故从该表中散射角为 135°、管电压为 70kV、100kV 对应的 a 值采用内插法求取 80kV 对应的 a 值为 0.0016 (该取值适用于机房底面关注点相应预测计算);

S —主束在受照人体上的散射面积, 本项目取 100cm^2 ;

d_0 —源至受照点的距离, 根据设备参数确定, 本项目取 d_0 取最小值 0.45m (符合 ICRP 33 号报告第 98 段关于使用固定式 X 线透视检查设备的焦皮距的要求);

d_s —受照体至关注点的距离;

B_s —屏蔽材料对散射线的透射因子, 无量纲, 计算公式见 11-1; 此处散射线是指本项目最大常用管电压 (80kV, 即 0.08MV) 下有用线束 (初级 X 射线) 的散射线, 其能量偏保守取有用线束侧向 (散射角 $\theta=90^\circ$) 的一次散射线能量, 可借鉴康普顿散射定律计算一次散射线能量 E 与入射的初级 X 射线能量 E_0 之比值 $E/E_0=1/[1+E_0(1-\cos\theta)/0.511]=1/[1+0.08\times(1-\cos90^\circ)/0.511]=0.865$, 继而计算一次散射线能量 E 对应的 kV 值为 $80\text{kV}\times0.865=69.2\text{ kV}$, 近似取为 70kV, 再从 GBZ 130-2020 表 C.2 中查取对应于 70kV 的 α 、 β 、 γ 数值;

K_a —有效剂量与空气比释动能转换系数, Sv/Gy, 查《用于光子外照射防护的剂量转换系数》(GBZ/T 144-2002) 表 B2, 按前述 90° 方向一次散射线能量对应的 kV 值为 70kV, K_a 值取 1.60。

③关注点处泄漏辐射剂量率计算

泄漏辐射剂量率采用下式计算:

$$H_L = \frac{H_i}{d^2} \cdot B \cdot K_a \cdots \cdots \text{公式 11-30}$$

式中: H_i —距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率, mGy /h; 根据《放射防护实用手册》(赵兰才、张丹枫著) 表 6.25 “医用 X 射线及和 γ 治疗机泄漏射线的限制量”, 本项目 DSA 距焦点 1m 处的泄漏辐射空气比释动能率取 1.0mGy/h;

B —DSA 机房各屏蔽体的泄漏射线屏蔽透射因子, 本项目取 80kV (本项目正常运行最大管电压) 工况下 DSA 机房四周屏蔽墙及地面的泄漏射线屏蔽透射因子;

d —关注点至 X 射线源的距离;

K_a —有效剂量与空气比释动能转换系数, Sv/Gy, 查《用于光子外照射防护的剂量转换系数》(GBZ/T 144-2002) 表 B2, 对于本项目 DSA 运行时常用最大管电压 80kV, K_a 值取 1.67。

2) 预测点位的选取

介入科 1#DSA 机房预测点选取如下:

1# (a 点) -东侧屏蔽墙外 30cm 处, 清洁通道, 5.36m;

2# (b 点) -东侧防护门外 30cm 处, 清洁通道, 5.69m;

3# (c 点) -南侧防护门外 30cm 处, 控制室, 4.97m;

- 4# (d 点) - 观察窗外 30cm 处, 操作位, 3.70m;
 5# (e 点) - 南侧屏蔽墙外 30cm 处, 设备间, 3.55m;
 6# (f 点) - 西侧传递窗外 30cm 处, 污物通道, 3.98m;
 7# (g 点) - 西侧屏蔽墙外 30cm 处, 污物通道, 3.24m;
 8# (h 点) - 北侧屏蔽墙外 30cm 处, 无菌存放间, 3.55m;
 9# (i 点) - 北侧防护门外 30cm 处, 配药室, 5.22m;
 10# (j 点) - 下方距地面 1.7m 处, 设备间, 3.60m;
 11# (k 点) - 上方距地面 1m 处, 病房卫生间, 4.70m。共布设 11 个预测点, 预测点布设见图 11-8 和图 11-9 所示。

(3) 预测结果

根据 NCRP147 报告, 患者和接收器对初始线束的减弱倍数为 10~100 倍, 因此主射方向照射量率保守取主射束的 10%。根据上述给出的计算公式及预测参数, 在不考虑床板、人体等吸收射线的情况下, 保守计算 1#DSA 周围预测点剂量率估算结果, 计算结果见表 11-51。

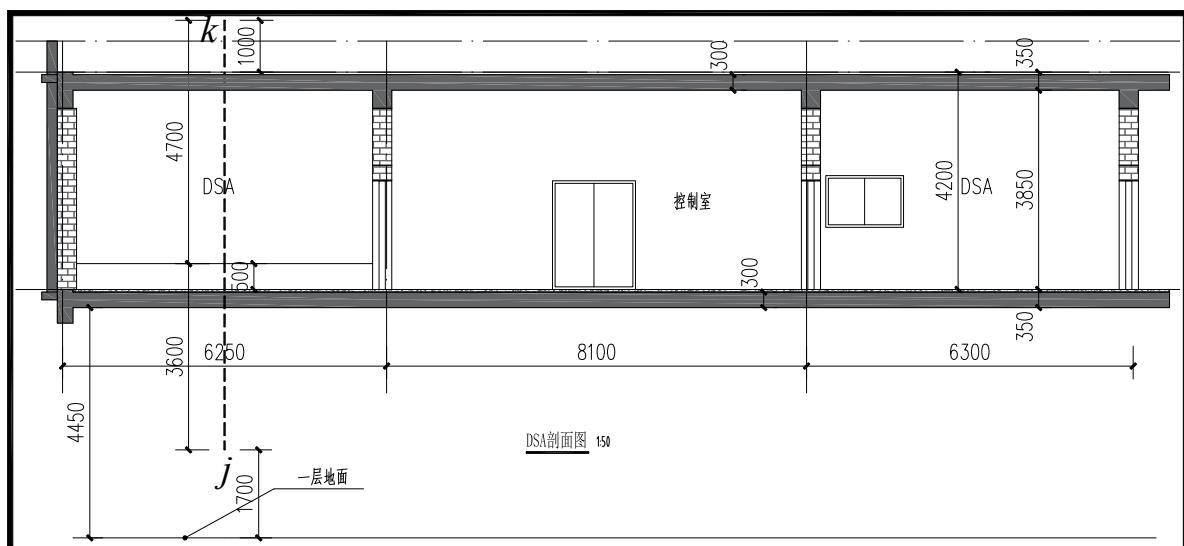


图 11-8 介入科 1#DSA 机房预测点布置示意图

图 11-8 介入科 1#DSA 机房预测点布设示意图

表 11-51 1#DSA 机房周围预测点剂量率估算结果

预测点位	减弱因子			照射类型	模式	距离 (m)	X 射线辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)			
	散射线	漏射线	有用线束				散射线	漏射线	有用线束	合计
a 点	4.15×10^{-11}	1.01×10^{-8}	/	散射、漏射	透视	5.36	1.80×10^{-8}	5.86×10^{-7}	/	6.04×10^{-7}
					摄影		2.70×10^{-7}	5.86×10^{-7}	/	8.56×10^{-7}
b 点	5.79×10^{-9}	4.15×10^{-7}	/	散射、漏射	透视	5.69	2.23×10^{-6}	2.14×10^{-5}	/	2.36×10^{-5}
					摄影		3.34×10^{-5}	2.14×10^{-5}	/	5.48×10^{-5}
c 点	5.79×10^{-9}	4.15×10^{-7}	/	散射、漏射	透视	4.97	2.92×10^{-6}	2.80×10^{-5}	/	3.10×10^{-5}
					摄影		4.38×10^{-5}	2.80×10^{-5}	/	7.19×10^{-5}
d 点	5.79×10^{-9}	4.15×10^{-7}	/	散射、漏射	透视	3.70	5.27×10^{-6}	5.06×10^{-5}	/	5.59×10^{-5}
					摄影		7.91×10^{-5}	5.06×10^{-5}	/	1.30×10^{-4}
e 点	4.15×10^{-11}	1.01×10^{-8}	/	散射、漏射	透视	3.55	4.10×10^{-8}	1.34×10^{-6}	/	1.38×10^{-6}
					摄影		6.15×10^{-7}	1.34×10^{-6}	/	1.95×10^{-6}
f 点	5.79×10^{-9}	4.15×10^{-7}	/	散射、漏射	透视	3.98	4.56×10^{-6}	4.37×10^{-5}	/	4.83×10^{-5}
					摄影		6.83×10^{-5}	4.37×10^{-5}	/	1.12×10^{-4}
g 点	4.15×10^{-11}	1.01×10^{-8}	/	散射、漏射	透视	3.24	4.92×10^{-8}	1.60×10^{-6}	/	1.65×10^{-6}
					摄影		7.38×10^{-7}	1.60×10^{-6}	/	2.34×10^{-6}
h 点	4.15×10^{-11}	1.01×10^{-8}	/	散射、漏射	透视	3.55	4.10×10^{-8}	1.34×10^{-6}	/	1.38×10^{-6}
					摄影		6.15×10^{-7}	1.34×10^{-6}	/	1.95×10^{-6}
i 点	5.79×10^{-9}	4.15×10^{-7}	/	散射、漏射	透视	5.22	2.65×10^{-6}	2.54×10^{-5}	/	2.81×10^{-5}
					摄影		3.97×10^{-5}	2.54×10^{-5}	/	6.51×10^{-5}
j 点	1.03×10^{-11}	3.53×10^{-9}	/	散射、漏射	透视	3.60	1.97×10^{-8}	4.54×10^{-7}	/	4.74×10^{-7}
					摄影		2.96×10^{-7}	4.54×10^{-7}	/	7.50×10^{-7}
k 点	/	/	8.24×10^{-8}	有用线束	透视	4.70	/	/	0.005	0.005
					摄影		/	/	0.074	0.074

第一术者位	2.84×10^{-4}	1.43×10^{-3}	/	散射、漏射	透视	0.5	14.10	9.55	/	23.66
第二术者位	2.84×10^{-4}	1.43×10^{-3}	/	散射、漏射	透视	1.0	3.53	2.39	/	5.91

- 注：1.根据表 11-1 中 80kV 管电压工况下 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，以公式 11-24 计算其有用线束及漏射线辐射透射因子；
 2.根据表 11-1 中 70kV 管电压工况下 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，以公式 11-24 计算其散射线辐射透射因子；
 3.第一术者位医生身着铅衣并立于铅屏风后（0.5mmPb+0.5mmPb），距离约 0.5m；第二术者位身着铅衣（0.5mmPb），距离约 1m。

从上表中的预测结果可知，本项目机房内 DSA 全年正常运行，经机房墙体、门屏蔽防护后，机房边界周围剂量率控制水平满足相关标准要求，本项目 1#DSA 机房屏蔽设计能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

（5）辐射工作人员及公众年有效剂量分析

1) 计算模式

根据辐射安全手册，X 射线产生的外照射人均年有效剂量计算公式如下：

$$E = H \times 10^{-3} \times q \times h \times W_T \cdots \cdots \text{公式11-31}$$

式中： E —X 射线外照射年有效剂量，mSv/a；

H —关注点处剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

q —居留因子，全部居留取 1，部分居留取 1/4，偶尔居留取 1/16；

h —年照射时间，h；

W_T —组织权重因子，取 1。

2) 预测结果

根据医院规划，本项目单台 DSA 设备年工作量约 500 台，保守考虑单台介入手术平均透视模式运行 10min，摄影模式运行 1min，项目共设 2 组辐射工作人员，则本项目单名手术医生、护士及技师年受照时间最大为 45.9h（包含透视模式 41.7h 及摄影模式 4.17h），机房周围公众受照时间最大为 92h（包含透视模式 83.3h 及摄影模式 8.33h）。

根据表 11-51 计算结果，并结合公式 11-31，本项目辐射工作人员及公众年有效剂量计算结果见表 11-52。

表 11-52 1#DSA 机房辐射工作人员及周围公众年有效剂量估算结果

保护目标预测点位	模式	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	居留 因子	受照时间 (h)	年有效剂量合 计 (mSv/a)	受照 类型
a 点-东侧屏蔽墙外 30cm 处，清洁通道	透视	6.04×10^{-7}	1/4	83.3	1.44×10^{-8}	公众
	摄影	8.56×10^{-7}	1/4	8.33		
b 点-东侧防护门外 30cm 处，清洁通道	透视	2.36×10^{-5}	1/4	83.3	6.06×10^{-7}	公众
	摄影	5.48×10^{-5}	1/4	8.33		
c 点-南侧防护门外 30cm 处，控制室	透视	3.10×10^{-5}	1/4	41.7	3.98×10^{-7}	职业
	摄影	7.19×10^{-5}	1/4	4.17		
d 点-观察窗外 30cm 处，操作位	透视	5.59×10^{-5}	1	41.7	2.87×10^{-6}	职业
	摄影	1.30×10^{-4}	1	4.17		
e 点-南侧屏蔽墙外 30cm 处，设备间	透视	1.38×10^{-6}	1/16	83.3	8.18×10^{-9}	
	摄影	1.95×10^{-6}	1/16	8.33		

<i>f</i> 点-西侧传递窗外30cm 处, 污物通道	透视	4.83×10^{-5}	1/16	83.3	3.10×10^{-7}	公众	
	摄影	1.12×10^{-4}	1/16	8.33			
<i>g</i> 点-西侧屏蔽墙外30cm 处, 污物通道	透视	1.65×10^{-6}	1/16	83.3	9.82×10^{-9}		
	摄影	2.34×10^{-6}	1/16	8.33			
<i>h</i> 点-北侧屏蔽墙外30cm 处, 无菌存放间	透视	1.38×10^{-6}	1/16	83.3	8.18×10^{-9}		
	摄影	1.95×10^{-6}	1/16	8.33			
<i>i</i> 点-北侧防护门外30cm 处, 配药室	透视	2.81×10^{-5}	1/16	83.3	1.80×10^{-7}		
	摄影	6.51×10^{-5}	1/16	8.33			
<i>j</i> 点-下方距地面1.7m 处, 设备间	透视	4.74×10^{-7}	1/16	83.3	2.86×10^{-9}		
	摄影	7.50×10^{-7}	1/16	8.33			
<i>k</i> 点-上方距地面1m 处, 病房卫生间	透视	0.005	1/16	83.3	6.39×10^{-5}		
	摄影	0.074	1/16	8.33			
第一术者位	透视	23.66	1	41.7	0.986	职业	
第二术者位	透视	5.91	1	41.7	0.247		

由上表结果可知, 本项目 DSA 机房隔室操作辐射工作人员所受到的最大年有效剂量为 2.87×10^{-6} mSv, 第一、第二术者操作位辐射工作人员透视模式运行时所受到的最大年有效剂量分别为 0.986mSv 及 0.247mSv(手术室内护士保守参照第二术者位)。机房周围公众所受到的最大年有效剂量为 6.39×10^{-5} mSv。

对于介入手术, 由于其实际工作中 DSA 透视工况及操作时间的不确定性, 辐射工作人员需要依靠佩戴个人剂量计进行跟踪性监测才能准确的测定其受照剂量的大小, 按照《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019) 要求进行佩戴, 医院应加强对介入手术工作人员的个人剂量监测管理, 在日常检测中发现个人剂量异常的, 应当对有关人员采取保护措施, 并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生部门调查处理。介入手术工作人员均按照《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 穿戴防护用品(铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等), 并充分利用自带的铅悬挂防护屏及床侧防护帘等做好自身防护, 确保其年有效剂量满足标准限值要求。

(6) 介入操作人员手部的皮肤吸收剂量估算

根据《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》(GBZ/T 244-2017), 估算 X 射线所致手部皮肤吸收剂量公式如下:

$$D_s = C_{ks}(k \cdot t) \cdot 10^{-3} \dots \dots \text{公式 11-32}$$

$$k = \frac{\dot{H}^*_{(10)}}{C_{kH}} \dots \dots \text{公式 11-33}$$

式中: D_s ——皮肤吸收剂量, mGy;

k ——X 辐射场的空气比释动能率, $\mu\text{Gy}/\text{h}$;

t ——人员累积受照时间, h;

C_{ks} ——空气比释动能到皮肤吸收剂量的转换系数, Gy/Gy, 根据 GBZ/T 244-2017 表 A.4 可查得 $C_{ks}=1.134\text{mGy}/\text{mGy}$;

$\dot{H}_{(10)}^*$ ——X 辐射场的周围剂量当量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

C_{kH} ——空气比释动能到周围剂量当量的转换系数, Sv/Gy, 查《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》(GBZ/T 244-2017) 中的附录 A 表 A.9 可得。

本项目 DSA 床旁透视常用工况为 80kV/20mA, 床旁透视时入射方式可近似地视为垂直入射, 是 AP 入射方式。医生操作时腕部距非主射束的距离取 0.5m, 医生手术位腕部皮肤约 1/5 的时间处于受照位置。

由上述数据估算可得, 本项目 DSA 机房内第一术者位手术医生腕部皮肤受到最大当量剂量为 89.6mSv/a; 神经介入第一术者位手术医生腕部皮肤受到最大当量剂量为 42.73mSv/a; 综合介入第一术者位手术医生腕部皮肤受到最大当量剂量为 93.9mSv/a。

二、叠加影响分析及结果汇总

(一) 肿瘤科-叠加影响分析

考虑肿瘤科医用电子直线加速器机房和后装治疗机机房位置相对较近，且会受到楼上核医学科的辐射影响，则需考虑辐射工作人员和周边公众的剂量叠加影响，详见表 11-53。

表 11-53 肿瘤科辐射工作人员和周边公众年有效剂量叠加情况一览表

位置	医用电子直线加速器贡献 mSv/a	后装机贡献 mSv/a	核医学科贡献 mSv/a	年有效剂量 mSv/a	照射类型
1#医用电子直线加速器机房控制室	0.84	/	6.44×10^{-11} (PET/CT 下方)	0.84	职业
2#医用电子直线加速器机房控制室	0.84	/	8.78×10^{-17} (SPECT/CT 下方)	0.84	职业
后装治疗机机房控制室	0.063 1#直加北侧	0.425	1.06×10^{-6} (VIP PET 等候)	0.488	职业
院外南侧空地	3.5×10^{-3}	4.28×10^{-7}	/	3.5×10^{-3}	公众

综上所述，医院肿瘤科投入运行后，医用电子直线加速器机房辐射工作人员受到的附加有效剂量最大为 **0.84mSv/a**，公众受到的附加有效剂量最大为 **0.063mSv/a**。

后装治疗机房辐射工作人员受到的附加有效剂量最大为 **0.488mSv/a**，公众受到的附加有效剂量最大为 **0.023mSv/a**。

院外保护目标处的公众受到的附加有效剂量最大为 **$3.5 \times 10^{-3} \text{mSv/a}$** ，均分别小于 **5mSv/a** 和 **0.1mSv/a** 的剂量约束值。

(二) 核医学科-叠加影响分析

本项目核素诊断过程中，工作人员主要受照射环节为注射过程及病人扫描诊断过程。一般情况下，注射过程约 1 分钟，扫描过程约 20 分钟。结合表 11-32 和表 11-34 计算结果，考虑使用两种核素的叠加影响，工作场所周边工作人员及公众所受的年有效剂量汇总见表 11-54。

表 11-54 核医学工作场所工作人员及公众受照剂量预测结果汇总表

序号	关注点	年总有效剂量 (mSv)				
		^{99m}Tc 贡献	^{18}F 贡献	肿瘤科	介入科	合计
1	手套箱外表面 5cm	0.009	0.107	/	/	0.116
2	分装室西墙外表面 30cm	0.003	0.007	/	/	0.010
3	分装室顶部距地面 30cm 处	3.91×10^{-4}	0.001	/	/	0.001
4	分装室下方距地面 1.7m 处	0.001	0.002	/	/	0.003
5	留观室东墙外表面 30cm 处	4.50×10^{-4}	0.004	/	/	0.004
6	留观室顶部距地面 30cm 处	0.001	0.006	0.002	/	0.010

7	留观室下方距地面 1.7m 处	4.39×10^{-17}	2.83×10^{-11}	/	/	0.001
8	控制室	1.98×10^{-5}	0.555	0.002	2.86×10^{-9}	0.557
9	核医学出口防护门外表面 30cm	2.13×10^{-16}	0.026	/	/	0.026

综上，核医学科的辐射工作人员在注射过程中受到的年有效剂量最大为 **0.178mSv (0.116+0.062)**，摆位/解除摆位过程中及扫描过程中受到的年有效剂量约为 **1.057mSv (0.557+0.500)**，能够满足职业人员年有效剂量不超过 **5mSv** 的限值要求。根据估算结果核素诊断过程中，周围公众(控制区外)年有效剂量最大为 **0.056mSv** (核素病房 2 下方距地面 **1.7m** 处)，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)对公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求：公众年有效剂量不超过 **0.1mSv**。

(三) 介入科-DSA 机房叠加影响分析

由于本项目手术中心 2 座 DSA 机房呈并排布置，且 1#和 2#机房共用控制室，且需要考虑下方核医学科对上方的辐射影响，需考虑辐射工作人员和周边公众的人员剂量叠加影响，详见下表。

表 11-55 介入科辐射工作人员和周边公众年有效剂量叠加后情况一览表

位置	1#DSA 贡献 mSv/a	2#DSA 贡献 mSv/a	PET/CT 机房上方 mSv/a	年有效剂量 mSv/a	照射类型
1#和 2#机房控制室	2.87×10^{-6}	2.87×10^{-6}	0.013	0.013	职业照射

综上所述，介入科 DSA 机房投入运行后辐射工作人员受到的附加年有效剂量最大为 **0.986mSv**，公众受到的附加年有效剂量最大为 **$6.39 \times 10^{-5}mSv$** ，分别小于 **5mSv/a** 和 **0.1mSv/a** 的剂量约束值。

三、非辐射环境影响分析

1、废水处理措施依托可行性分析

医院废水经已建的地埋式污水处理站处理达到《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005) 中的表 2 预处理标准后进行排放。外排进入市政污水管网，并最终经污水处理厂处理后外排。

2、一般固体废物和医疗废物

本项目在运营期工作人员及患者陪同家属会产生少量的生活垃圾。

成都市郫都区人民医院拟建设有垃圾处理站，本项目产生的生活垃圾集中暂存，将由市政环卫部门定期统一收集、清运至垃圾处理厂处置。

且本项目设置有放射废物暂存间（用于存放放射性废物），工作过程中产生的医疗废物在此暂存，所有放射性废物经衰变后检测符合排放标准后转移至医院医疗废物暂存间，本项目产生医疗废物约 2.5 天转运一次，约 2kg 每次，产生量较小，不会超过医院的医疗废物暂存间的暂存容量。医院产生的医疗废物最终将委托有资质单位进行统一收集、清运和处理。

3、废气

工作场所内其他区域设有机械排风装置，排风口直接排放到室外，因室内产生的臭氧氮氧化物较少，所以废气对环境几乎没有影响。

4、噪声

运营期噪声主要来源于通排风系统的风机，工作场所使用的多联机室外机为低噪声设备，根据设计院提供的相关参数多联机室外机的噪声源强声级值约为 60dB(A)，再通过橡胶垫进行减震降噪，降噪效果约 10dB(A)，处理后噪声级约为 50 dB(A)，能够满足相关标准要求。

5、射线装置报废

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

事故影响分析

一、事故分级

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，详见表 11-56。

表 11-56 辐射事故等级划分表

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

	人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故	Ⅳ类、Ⅴ类放射源丢失、被盗、失控，或放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射

二、辐射事故识别

（一）医用电子直线加速器项目

1、可能发生的辐射事故

本项目医用电子直线加速器属于Ⅱ类 X 射线装置，当设备运行时会产生 X 射线，关机时不会产生 X 射线，项目环境风险因子为 X 射线，根据其工作原理分析，考虑可能发生的事故工况主要有以下几种情况：

- ①医用电子直线加速器操作人员违反放射操作规程或误操作，造成意外照射；
- ②医用电子直线加速器机房联锁装置、声光报警系统等失效，治疗过程中工作人员或公众误留或误入治疗机房内，使其受到照射；
- ③医用电子直线加速器机房联锁装置失效，导致防护门在未完全关闭情况下出束治疗，致使射线泄漏到治疗机房外，给周围活动的人员造成不必要的照射。
- ④装置在检修、维护等过程中，检修、维护人员误操作，造成有关人员误照射。

2、事故工况估算

（1）装置在运行或检修时，人员误入或滞留机房内

①事故假设-人员误入

医务人员或病人家属还未全部撤离治疗机房，控制室工作人员启动设备，造成滞留人员的误照射。

②事故假设-检修

装置在检修、维护等过程中，检修、维护人员误操作，造成有关人员误照射。

③剂量估算

假设考虑滞留人员在无其它屏蔽的情况下处于加速器照射头外 1m 远处的主射束方向，本项目医用电子直线加速器开机治疗时，距焦点 1m 处 X 射线的最大吸收剂量率为 6Gy/min。本项目机房内设置有“紧急停止”按钮，只要按下此按钮就可以停机，则事故情况下人员在机房内距医用电子直线加速器不同距离处受到的辐射剂量见表 11-57。

表 11-57 装置在运行时，人员误入或滞留机房内所受剂量估算

与射线装置最近距离 (m)	受照时间 (s)	人员所受剂量 (mSv)
1	1	233.3
	2	466.7
	10	2333.3
	20	4666.7
	40	9333.3
	60	14000
	120	28000
2	1	58.3
	2	116.7
	10	583.3
	20	1166.7
	40	2333.3
	60	3500
	120	7000
3	1	25.9
	2	51.9
	10	259.3
	20	518.5
	40	1037.0
	60	1555.6
	120	3111.1

假设考虑误入人员在加速器启动后立即进入迷道中，根据影响分析章节中的结果，迷道内的剂量率约为 $132.2\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。迷道内设置有“紧急停止”按钮，只要按下此按钮就可以停机，受照时间保守取 20s，则事故情况下人员在迷道内受到的辐射剂量约为 $0.73\mu\text{Sv}$ ，人员受到的影响较小。

3、事故工况辐射影响分析

通过上述计算，在以上假设事故情景下，误入人员或维修人员在主射束方向 1m 处，受照射时间 1s，所受有效剂量为 $0.23\text{Sv}/\text{次}$ ，属于一般辐射事故，但是随着时间的推移，若果人员滞留时间较长，也会发生较大辐射事故。

综上，本项目射线装置一旦发生辐射事故，应立即切断电源，停止射线装置。建设单位在管理中必须认真执行安全操作规程和各项规章制度，强化安全管理，杜绝此类事故发生。

(二) 后装治疗机项目

1、可能发生的辐射事故

本项目后装治疗机内放射源属于III类放射源，当设备运行时会产生 γ 射线，根据其工作原理分析，考虑可能发生的事故工况主要有以下几种情况：

- ①由于管理不得到位，发生放射源丢失、被盗事件。
- ②装置在运行时，人员误入或滞留在治疗机房内而造成误照射：医务人员或病人家属还未全部撤离治疗机房，操作间人员启动设备，造成滞留人员的误照射；放射源卡源事故造成人员误照射。
- ③装置在检修、维护、换源等过程中，检修、维护人员误操作，造成有关人员误照射。

2、事故工况估算

(1) 放射源丢失、被盗事件

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条，III类放射源丢失、被盗、失控事件属较大辐射事故。

(2) 放射源误照射事件

①事故假设

装置在运行时，人员误入或滞留在治疗机房内而造成误照射；装置在检修、维护、换源等过程中，检修、维护人员误操作，造成有关人员误照射。

②剂量估算

本项目后装治疗机内含 ^{192}Ir 放射源一枚，出厂活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ 。本项目机房内设置有“紧急回源”按钮，只要按下此按钮就可以紧急回源，则事故情况下人员在机房内后装治疗机不同距离处受到的辐射剂量见表 11-58。

表 11-58 事故工况下人员所受剂量估算

与放射源最近距离 (m)	受照时间 (s)	人员所受剂量 (mSv)
0.5 (人员检修)	100	4.56
	110	5.02
	200	9.13
1 (人员误入或滞留)	10	0.11
	20	0.23
	30	0.34
2 (人员误入或滞留)	40	0.11
	50	0.14

	60	0.68		
③事故后果				
在上述事故情景假设条件下，受射线源误照人员年剂量已超过约束值，属于一般辐射事故，但是随着时间的推移，若果人员滞留时间较长，也会发生较大辐射事故。				
(3) 放射源卡源事件				
①事故假设				
本装置配备有 UPS 电源，在停电时，依靠 UPS 完成关闭放射源操作。当控制系统出现故障到地址自动关源系统失效时，出现卡源，可通过手动机械复位，手动机械复位时间约 3min。				
②剂量估算				
在假设事故情况下，手动处理卡源事故时所受的照射剂量约为 22.82mSv。				
③事故后果				
在上述事故情景假设条件下，受射线源误照人员年剂量已超过约束值，属于一般辐射事故，但是随着时间的推移，若果人员滞留时间较长，也会发生较大辐射事故。				
3、事故工况辐射影响分析				
上述事故其危害结果及其所引发的放射性事故等级见表 11-59。				
表 11-59 项目环境风险因子、危险因素、危害结果及事故分级表				
项目装置名称	主要环境风险因子	危险因素	危害结果	事故等级
后装治疗机(¹⁹² Ir)	γ 射线	超剂量照射	III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。	较大辐射事故
			放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。	一般辐射事故
根据分析，本项目后装治疗机可能发生的事故为一般或较大辐射事故。				
(三) 模拟定位机项目				
根据污染源分析，本项目主要环境风险因子为 X 射线，本项目可能发生的辐射事故如下：本项目模拟定位机属于III类 X 射线装置，当设备关机时不会产生 X 射线，不存在影响辐射环境质量的事故，只有当设备开机时才会产生 X 射线等危害因素。				
本次评价事故工况环境影响考虑可能发生的最大可信辐射事故，即模拟定位机运行时，检修维护时工作人员误操作和人员误入造成有关人员被误照。				
上述事故其危害结果及其所引发的放射性事故等级见表 11-60。				

表 11-60 项目环境风险因子、危险因素、危害结果及事故分级表

项目装置名称	主要环境风险因子	危险因素	危害结果	事故等级
模拟定位机	X 射线	超剂量照射	射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射	一般辐射事故

根据分析, 本项目模拟定位机可能发生的事故为一般辐射事故, 但是随着时间的推移, 若果人员滞留时间较长, 也会发生较大辐射事故。

(四) 核医学科项目

1、事故情形

本项目主要考虑电离辐射损伤、放射源和药物失控对环境的影响, 具体为以下情形:

(1) 射线装置误照射

本项目共涉及III类医用射线装置 2 台, 为低危险射线装置, 发生事故时一般不会对受照者造成永久性辐射损伤, 事故等级属一般辐射事故。III类医用射线装置主要事故是由于设备控制失灵或操作失误或质保不佳, 使被检者受到不必要的照射。

(2) 放射性药物撒漏

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

(3) 放射性药物遗失

由于未锁好核医学科进出口的大门或取用药物后未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射药剂丢失, 可能对公众和周围环境造成辐射污染。

(4) 患者呕吐造成控制区内的污染

患者服药初期将放射性药物呕吐到环境中, 可能对环境在一定范围内造成暂时性的辐射污染。

(5) 其他管理不善

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区, 可能对接近患者的人员造成附加的照射剂量。

放射性废水未经足够的时间衰变即进行排放, 使排放超出规定的限值, 可能对环境或人体造成一定的危害。

放射性固体废物: 放射性固体废物未经足够的时间衰变, 存放时间过短, 即进行

擅自处理，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

2、事故工况辐射影响分析

（1）射线装置误照射

本项目所使用的 PET/CT 和 SPECT/CT 中 CT 属于 III 类射线装置，其 X 射线能量不大，曝光时间都比较短，事故情况下，人员误入或误照射情况下，可能导致人员受到超过年剂量限值的照射。事故情况下，X 射线直接照射到人员身上，保守考虑，误入人员或病人在距离射线头 1m 处被误照射，根据《医用 X 射线治疗卫生防护标准》（GBZ131-2002），在治疗状态下，当 X 射线管额定电压 $\leq 150\text{kV}$ 时，距 X 射线管焦点 1m 处的 X 射线源组件泄漏辐射不超过 1mGy/h 。若人员误入机房内，逗留时间较长，受照剂量可能超过公众 5 个连续年的年平均剂量限值（ 1mSv ），为一般辐射事故。

（2）放射性同位素撒漏或遗失

1) 事故情况假设

本项目非密封放射性物质主要有 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 和 ^{131}I 等，本项目 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 日最大操作量为 $3.70 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，半衰期 6.02h ， ^{18}F 日最大操作量为 $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，半衰期 109.8min 。

因此：

①本次预测事故情况假设 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 试剂瓶发生丢失，丢失时内装放射性 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的活度为 1000mCi ，假设 ^{18}F 试剂瓶发生丢失，丢失时内装放射性 ^{18}F 的活度为 600mCi ，假设 ^{131}I 试剂瓶发生丢失，丢失时内装放射性 ^{131}I 的活度为 750mCi 。

②假设丢失后在整个事故持续时间内放射性药物未发生洒漏，事故持续过程中按点源考虑；

③保守假设事故持续时间内，丢失的药物被同一人随身携带，距离按 10cm 考虑；

④受照人员不考虑任何屏蔽措施；

⑤事故持续最长时间为 2h 。

2) 计算结果

根据事故情景假设条件计算得出，距源 0.1m 内不同事故持续时段的个人有效剂量，计算结果见表 11-61。

表 11-61 放射源丢失事故下不同持续时间个人有效剂量分布

类别	距源距离 (m)	事故持续时段内 γ 射线所致辐射剂量 (Gy)				
		0~10min	0~30min	0~60min	0~90min	0~120min
^{99m}Tc	0.1	0.011	0.033	0.067	0.100	0.134
^{18}F	0.1	0.007	0.021	0.042	0.063	0.084
^{131}I	0.1	0.038	0.115	0.231	0.346	0.462

3) 事故后果

由表 11-61 可以看出, 选择 ^{99m}Tc 试剂瓶在事故持续时间为 10min、30min、60min、90min 和 120min 的情况下, 距放射源 0.1m 处的 γ 射线外照射辐射剂量分别为 0.011Gy、0.033Gy、0.067Gy、0.100Gy、0.134Gy, 携带显像剂 (^{99m}Tc) 人员 (或近距离公众) 在事故持续时间内已受到超过年剂量限值的照射; ^{18}F 试剂瓶在事故持续时间为 10min、30min、60min、90min 和 120min 的情况下, 距放射源 0.1m 处的 γ 射线外照射辐射剂量分别为 0.007Gy、0.021Gy、0.042Gy、0.063Gy、0.084Gy, 携带显像剂 (^{18}F) 人员 (或近距离公众) 在事故持续时间内已受到超过年剂量限值的照射; ^{131}I 试剂瓶在事故持续时间为 10min、30min、60min、90min 和 120min 的情况下, 距放射源 0.1m 处的 γ 射线外照射辐射剂量分别为 0.038Gy、0.115Gy、0.231Gy、0.346Gy、0.462Gy, 携带放射性核素 (^{131}I) 人员 (或近距离公众) 在事故持续时间内已受到超过年剂量限值的照射; 考虑的整个事故持续周期 2h 内, 急性放射病发病率均在 1% 之下, 事故持续周期内可造成人员超剂量照射而导致一般辐射事故。由于计算过程未考虑 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 和 ^{131}I 的衰变, 计算结果偏保守。

综合上述事故其危害结果及其所引发的放射性事故等级见表 11-62。

表 11-62 项目环境风险因子、危险因素、危害结果及事故分级表

项目名称	主要环境风险因子	危险因素	危害结果	事故等级
核医学科	X 射线 γ 射线	超剂量照射	核医学科、X 射线失控导致 9 人以下急性重度放射病、局部器官残疾 射线装置失控 导致人员受到超过年剂量限值的照射	一般辐射事故

在上述事故情景假设条件下, 携带放射性核素人员或近距离公众在事故持续时间内已受到超过年剂量限值。考虑的整个事故持续周期 2h 内, 急性放射病发病率均在 1% 之下, 事故持续周期内可造成人员超剂量照射而导致一般辐射事故。由于计算过程未考虑 ^{18}F 等放射性核素衰变, 计算结果偏保守。

(五) 介入诊断项目

1、事故情形

本项目 DSA 属II类射线装置，在运行时会产生 X 射线，项目环境风险因子为 X 射线，根据其工作原理分析，可能发生的事故工况主要有以下几种情况：

- ①装置在运行时，人员误入或滞留在治疗机房内而造成误照射。
- ②医务人员或病人家属还未全部撤离治疗机房，操作间人员启动设备，造成滞留人员的误照射。
- ③装置在检修、维护等过程中，检修、维护人员误操作，造成有关人员误照射。
- ④医务人员由于缺乏操作经验和防护知识，安全观念淡薄等，违反操作规程和有关规定，在从事介入手术期间未采取穿戴个人防护用品等必要的防护措施，可能导致人员受到超过年剂量限值的照射。

2、事故工况辐射影响分析

(1) 介入手术过程中，发生介入手术人员超剂量照射。

①事故假设

- 1) 在介入手术操作中，DSA 控制系统失灵；
- 2) DSA 的 X 射线源处于“曝光”状态，介入手术人员在距 X 射线管非主射束方向进行介入手术操作；
- 3) 假定该名手术人员未穿戴铅衣、配套铅手套和铅防护眼镜等个人防护用品。

②剂量估算

假设考虑该名手术人员在无其它屏蔽的情况下处于 X 射线管非主射束方向 0.3m 或 1m 处，介入手术操作时，DSA 以透视模式运行，距离 1m 处的照射量率为 $0.8R \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$ 。本项目手术床旁及控制室内设置有“紧急停止”按钮，只要按下此按钮就可以停机，则事故工况下介入手术操作人员所受辐射剂量估算详见表 11-63。

表 11-63 事故工况下介入手术操作人员所受剂量估算

与射线装置最近距离 (m)	受照时间 (s)	人员所受剂量 (mSv)
0.3	50	0.65
	100	1.29
	387	5.01
	400	5.04
1	50	0.06
	100	0.12

	4320	5.03
	4500	5.24

③事故后果

在上述事故情景假设条件下,受X射线源误照人员年剂量已超过约束值,属于一般辐射事故,但是随着时间的推移,若果人员滞留时间较长,也会发生较大辐射事故。

(2) 维修射线装置时,人员受意外照射。

①事故情景假设

- 1) 设备维护人员在维护 DSA 射线管或测量探测器时,射线管正处于出束状态;
- 2) DSA 上的指示灯和声音装置均失效;

②剂量估算

假设考虑该名维护人员在无其它屏蔽的情况下处于 X 射线管主射束方向,假设维修时,DSA 以透视或拍片模式运行,距离 1m 处的照射量率为 $0.8 \text{R} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

本项目手术床旁及控制室内设置有“紧急停止”按钮,只要按下按钮就可以停机,则事故情况下人员在机房内距 DSA 不同距离处受到的辐射剂量估算详见表 11-64。

表 11-64 事故工况下检修人员所受剂量估算

与射线装置最近距离 (m)	透视模式运行	
	受照时间 (s)	人员所受剂量 (mSv)
1	0.1	0.1
	4	4.7
	5	5.8
	60	69.8
2	0.4	0.1
	17	4.9
	18	5.2
	60	17.5
3	1	0.1
	38	4.9
	60	7.8

③事故后果

在上述事故情景假设条件下,受X射线源误照人员年剂量已超过约束值,属于一般辐射事故,但是随着时间的推移,若果人员滞留时间较长,也会发生较大辐射事故。

3、事故后果

根据 X 射线机的工作原理可知,当设备关机时不会产生 X 射线,不存在影响辐

射环境质量的事故，只有当设备开机时才会产生 X 射线等危害因素。本项目数字减影血管造影机属于II类射线装置，其 X 射线能量不大，曝光时间都比较短，事故情况下，人员误入或误照射情况下，可能导致人员受到超过年剂量限值的照射。

上述事故其危害结果及其所引发的放射性事故等级见表 11-65。

表 11-65 项目环境风险因子、危险因素、危害结果及事故分级表

项目装置名称	主要环境风险因子	危险因素	危害结果	事故等级
介入诊断项目	X 射线	超剂量照射	射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射	一般辐射事故

根据分析，本项目介入诊断可能发生的事故为一般辐射事故。

三、事故防范措施

上述辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理规章制度和辐射事故应急措施加以防范，将辐射环境风险控制在可以接受的水平。针对在运行过程中可能发生的事故，本次评价提出以下防范措施，尽可能的减小或控制事故的危害和影响，主要体现在以下几个方面：

1、制定医用电子直线加速器、后装治疗机及其他射线装置操作规程和安全规章制度，并严格落实操作规程等制度的“制度上墙”要求（即将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置）。在放射诊断操作时，至少有 2 名操作人员同时在场，操作人员须按照操作规程进行操作，并做好个人的防护。

2、每月检查门灯连锁装置，确保安全联锁装置正常运行；每月对医用电子直线加速器、后装治疗机、射线装置的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件需及时更换。

3、定期对医用电子直线加速器、后装治疗机、射线装置采取的安全防护措施、设施的安全防护效果进行检测或检查，核实各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生。

4、加强控制区和监督区管理，在射线装置及放射源运行期间，加强对监督区公众的管理，限制公众在监督区长期滞留。

5、制定事故应急预案、完善组织、落实经费、准备物资、加强演练、时刻准备应对可能发生的各种事故和突发事件。

6、制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规

范操作，减少药物撒漏事故的发生。发生撒漏等事故后，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦拭，直到擦干污染区。

患者在初期用药后，遇到不良反应引起呕吐造成工作场所的污染，医院工作人员应立即打扫，主要的呕吐物将打扫至控制区专门设置的废物桶内，并作为固体废物处理，暂存于储源室内，地面再用专门的清洁工具清扫，此时会产生少量的放射性废水，清扫废水量较小，且该事件发生率较低，不会造成放射性废水量的显著增加。

撒漏或病人呕吐后造成的地面污染，在清洁后须用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，该污染区未达到控制标准，应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。擦拭物收集放到放射性固体废弃物衰变桶中，作为放射性固体废物进行管理。

7、在诊断过程中应注意对被检者的防护，合理使用 X 射线，实施医疗照射防护最优化的原则，实际操作中可采用“高电压、低电流、重过滤、小视野”的办法，使被检者所受的剂量，达到合理的尽可能的低水平。

8、制定和完善放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。注射间设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

9、加强对用药患者的管理，在不影响诊断的情况下，限制其服药量，限制患者出院时的放射性药物携带量，并对用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众场所活动，并避免与家人近距离密切接触。

10、加强放射性废物的管理，对储存的放射性废物在废物桶外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。放射性废水和固体废物经足够长的时间衰变后，方可排放或按照普通医疗垃圾处理，并做好监测记录。

11、核医学科个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，以及铅防护衣、防护镜等附加防护用品。工作人员进入监督区必须穿戴放射防护用品，个人计量仪佩戴于铅衣内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅衣、戴口罩、手套，必要时戴防护眼镜。尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。为病人注射放射性药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应使用注射器

屏蔽装置。科主任负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

12、严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如果监测表明防护墙外辐射水平偏高，应适当增加防护墙厚度。

四、应急措施

假若本项目发生了辐射事故，医院应迅速、有效的采取以下应急措施：

1、一旦发现有其他无关人员误入机房内，操作人员应立即利用最近的紧急停机开关切断设备电源。误入人员应在最短的时间内撤离机房，尽量缩短受照时间。同时，事故第一发现者应及时向医院的放射事件应急处理领导小组及上级领导报告。放射事件应急处理领导小组在接到事故报告后，应以最快的速度组织应急救援工作，迅速封闭事故现场，禁止无关人员进入该区域，严禁任何人擅自移动和取走现场物件（紧急救援需要除外）。

2、对可能受到超剂量照射的人员，尽快安排其接受检查和救治，并在第一时间将事故情况通报当地生态环境主管部门、卫生健康等主管部门。

3、一旦发生放射源或核素药物丢失或被盗，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的有关要求，封闭场所应按规定启动本单位辐射事故应急方案，并及时报告当地生态环境主管部门、公安部门以及卫生健康部门。

4、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。去污时佩戴有效的个人防护用品。一般核素药物为液态，若发生撒漏，可用滤纸擦拭清除，擦拭后的滤纸作为放射性固体废物。然后用温水仔细清洗。为防止污染的扩散，去污程序应先从污染轻的周围渐向污染重的部位。如经反复清洗效果不明显时，可根据放射性核素的化学性质和污染表面的性质，选用有效的去污剂进一步去污。严重污染事故时，应立即通知在场的其他人员，同时迅速标出污染范围，防止其他人员进入污染区。

污染区的人员经采取减少危害和防止污染扩散的必要措施后，要脱去污染的衣服并将其留在污染区，立即离开此区。

事故发生后，应尽快通知防护负责人和主管人员，并立即向有关监督管理部门报告。防护人员应迅速提出全面处理事故的方案，并协助主管人员组织实施。污染区经去污、监测后，经防护人员批准方可重新工作。

5、工作人员佩戴有个人剂量计，每3个月检测一次，可及时监控工作人员所受剂量，如发现超标现象应查明原因，改善防护条件或减少工作时间。

6、人员受到不必要的照射或超计划外照射时，应评估其受照剂量，并进行必要的医学处理。

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条和原国家环境保护总局环发[2006]145号文件之规定，发生辐射事故时事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告，涉及人为故意破坏的还应向公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。

成都市郫都区人民医院需修订事故应急预案，将本次新建的肿瘤科、核医学工作场所项目纳入其中，能确保事故情况下的影响处于可控范围内。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

一、关于辐射安全与环境保护管理机构

医院已根据现有核技术应用现状，按《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，成都市郫都区人民医院于 2022 年 6 月 1 日印发了《关于成立辐射安全与放射防护管理委员会的通知》的文件（详见附件 5），由院长作为组长负责全院辐射安全与环境保护监督管理工作，保障放射工作人员、社会公众的健康与安全。该文件明确了领导小组工作职责：

组长职责：全面负责医院放射源和射线装置辐射安全与放射性防护领导工作。

副组长职责：在组长领导下，协助组长负责医院放射源和射线装置辐射安全与放射防护管理和放射诊疗质量管理工作；负责协调与组织各个科室、实验室的辐射安全与放射防护相关工作；建立我院辐射安全管理与放射防护的相关制度；负责联系、协调卫生行政、执法、生态环境、疾控等部门，并组织落实有关工作；定期召开年度辐射安全与放射防护管理工作会议，解决工作中存在的问题；负责对医院发生的事件进行调查、处理并及时报告组长和卫生/生态环境主管部门。

组员职责：在组长和副组长的领导下，负责向卫生/生态环境主管部门提出建设项目卫生审查和设置、开展诊疗项目、开展实验项目的申报等工作；负责诊疗和实验室设备的购置、诊疗和实验室场所的修建和改扩建、对预(控)评等进行可行性论证、监管及竣工验收等，负责对全院诊疗设备及实验室设备的使用、维修、更新、放射防护检测和辐射环境监测等工作；负责保障放射工作人员放射津贴、休假等权益；负责组织并定期参加卫生/生态环境主管部门组织的辐射安全与防护考核和放射防护法律法规培训；负责定期组织健康体检和个人辐射剂量检测，制定放（辐）射诊疗事故紧急预案。

秘书职责：在组长和副组长的领导下，负责委员会日常会议资料准备、收集、会议纪要撰写等相关工作。

预防保健科负责宣传贯彻和执行国家和地方政府有关辐射安全与放射防护的政策与法规，结合本院特点制定、落实辐射安全与放射防护法律法规，及时组织相关人员修订完善，实现辐射防护最优化。负责全院放射工作人员年度职业健康体检、个人剂量检测，负责我院放射工作人员健康档案及个人剂量档案管理。医务部主要负责医

疗用途放射源和射线装置辐射安全、环境安全，以及放（辐）射工作人员的准入和监管。

应急管理部定期督导科室组织放辐射事件应急演练；负责对医院发生的辐射安全与放射防护事件进行调查、处理、记录、资料存档等。

院办主要负责《辐射安全许可证》《医疗机构执业许可证》及相关设备《配置许可证》等放射相关内容的申请和校验。

科教部主要负责组织辐射安全与防护培训（放射科协助）与考核，新开展的与放射相关的诊疗技术的审核。

健康管理中心负责具体安排全院放射工作人员在定点机构进行年度职业健康体检、个人剂量检测。

后勤管理部负责医院放（辐）射工作场所空间设计、维护环境监测、环评以及与生态环境部门辐射源安全监管处联系等工作，相关科室协助完成。

医学装备保障部负责本院放射诊疗设备大型设备配置许可证的办理以及设备稳定性检测，相关科室协助完成。

医院建设管理办负责新建放射诊疗场所的预评价工作，相关科室协助完成。

人力资源部负责本院放射工作人员的基础档案管理、《放射工作人员证》的办理及更新工作，以及本院放射工作人员的放射津贴发放、休假及职业防护。

保卫部负责加强夜间和节假日巡逻，做好放射源更换转运流程安全保障以及放射源贮存场所的防火、防水、防盗、防破坏措施。

放射科、各实验室负责放（辐）射工作场所的日常监督和检查工作。放射科、心·血管介入中心、外科、手术室、口腔科、其他相关临床科室及各实验室分别负责本科室/实验室的放（辐）射工作场所防护用品配备、使用及管理。各相关科室/实验室配合职能部门做好本科室/实验室从事辐射安全与放射防护工作的人员管理。

该机构的组成已经涵盖了现有核技术应用所涉及的相关部门和科室，框架符合现有辐射管理要求。明确的职责具有明确的指导性和可操作性。

成都市郫都区人民医院已开展介入科多年，本次为新建项目，本项目投入使用后，医院需新设立肿瘤科（放疗业务）和核医学科等科室。

二、辐射工作人员配置和能力分析

根据医院提供的年度评估报告（详见附件 6）可知，成都市郫都区人民医院现有

辐射工作人员 97 人，目前持证上岗的工作人员有 97 名，均持证上岗。医院拟为本项目配备辐射工作人员 40 人。

1、根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年 第 57 号）：“自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。本项目拟配置的辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，考核合格的人员，每 5 年接受一次再培训考核。

2、在辐射工作人员上岗前，医院应组织其进行岗前职业健康检查，并建立个人健康档案，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的放射工作。

3、医院应当建立并保存辐射工作人员的培训档案。

辐射安全管理规章制度

一、档案管理分类

医院将来运营时可对相关资料进行分类归档，包括以下九大类：“制度文件”“环评资料”“许可证资料”“射线装置台账”“监测和检查记录”“个人剂量档案”“培训档案”“辐射应急资料”“废物处置记录”，存放在医院相关办公室。

二、建立主要规章制度

医院可根据《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》等要求制定一系列辐射安全规章制度，具体见表 12-1。

表 12-1 项目单位辐射安全管理制度制定要求

序号	制度名称	制定制度的目的
1	辐射防护安全责任制度	已制定需将新设立的科室纳入其中
2	辐射工作设备操作规程	需增加本次新增项目的工作流程及其设备的操作程序
3	辐射工作人员管理规章 制度	已制定，需完善辐射工作人员的责任和义务，包括正确佩戴个人剂量计
4	辐射工作人员个人剂量 管理制度	已制定，需明确医院辐射工作人员个人剂量的档案管理要求。对于每季度检测数值超过 1.25mSv 的，要进一步开展调查，查明原因，撰写调查报告并由当事人在调查报告上签字确认，并与个人剂量检测报告一起存放备查。明确个人剂量计的佩戴方法

5	辐射安全和防护设施维护维修制度	已制定
6	场所分区管理规定	需完善核医学科人流（工作人员和受检者）、物流的路径规划图，实现分区管理，划定控制区和监督区
7	放射性药物管理规定（购买、领用、保管和盘存）	需完善放射性药物进出登记（包括生产单位、生产日期、到货时间、核素种类、理化性质、活度和使用情况的详细记录等），做到交接账目清楚、账物相符，记录资料完整
8	辐射事故应急预案	已制定
9	监测仪表使用与校验管理制度	已制定
10	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	已制定，需细化辐射工作场所的监测因子、监测内容、监测频次及布点方案
11	辐射工作人员岗位职责	已制定
12	射线装置台账管理制度	已制定
13	辐射工作人员培训制度	已制定
14	质量保证大纲和质量控制检测计划	已制定，需补充受检者非照射部位所采取的辐射防护措施

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

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

辐射监测

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

一、工作场所监测

年度监测：委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为1次/年；年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并提交给发证机关。

成都市郫都区人民医院已委托四川华亚科技有限公司开展了2022年度的在用核技术利用项目的年度监测，监测结果均符合国家相关标准要求，部分检测报告见附件

6。

二、个人剂量监测

个人剂量监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量片，根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）“常规监测的周期应综合考虑放射工作人员的工作性质、所受剂量的大小，剂量变化程度及剂量计的性能等诸多因素。常规监测周期一般为1个月，最长不得超过3个月”。

（1）当单个季度个人剂量超过 1.25mSv 时，建设单位要对该辐射工作人员进行干预，要进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过 5mSv 时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关。检测报告及有关调查报告应存档备查。

（2）个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度监测报告一起作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并提交给发证机关。

（3）根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019），就本项目而言，辐射主要来自前方，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般左胸前。

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

成都市郫都区人民医院已委托四川华亚科技有限公司对医院辐射工作人员进行了个人剂量监测，监测结果均未超过医院制定的目标管理值。

但医院应加强辐射管理工作，杜绝剂量计损坏或丢失的情况发生，对医院所有参与辐射工作的人员进行个人剂量检测，并建立剂量管理限值和剂量评价制度，优化实践行为，做好个人剂量档案及职业健康检查档案工作。

三、医院自我监测

医院定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行自行监测），制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案，监测周期为1次/季度。

四、监测内容和要求

（1）监测内容：X-γ 辐射周围剂量当量率，β 表面污染水平和中子辐射剂量率。

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

表 12-2 工作场所监测计划建议

场所或设备	监测内容	监测布点位置
肿瘤科	X- γ 辐射周围剂量当量率、中子辐射剂量率	机房四周、上方及下方、医生进出防护门, 医患通道, 污物通道等
核医学科 工作场所	X- γ 辐射周围剂量当量率	注射室、甲吸室、甲癌病房、抢救室、放射性废物暂存室、候诊室、留观室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、控制室等
	放射性废水	放射性废水衰变池排放口
	X- γ 辐射周围剂量当量率	PET/CT、SPECT/CT 机房相邻的房间、过道操作位和防护门
	表面污染	注射室、抢救室、放射性废物暂存室、候诊室、留观室、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、控制室、卫生间、更衣室的墙壁、地面, 辐射工作人员工作服、手套、工作鞋、手、皮肤
介入诊断 项目	X- γ 辐射周围剂量当量率	机房四周、上方及下方、医生进出防护门, 医患通道, 污物通道等
<p>(3) 监测范围: 控制区和监督区域及周围环境</p> <p>(4) 监测频次: 肿瘤科及介入诊断项目约每年 1~2 次, 核医学科每日结束后</p> <p>(5) 监测质量保证</p> <p>a、制定监测仪表使用、校验管理制度, 并利用监测部门的监测数据与医院监测仪器的监测数据进行比对, 建立监测仪器比对档案; 也可到有资质的单位对监测仪器进行校核;</p> <p>b、采用国家颁布的标准方法或推荐方法, 其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法;</p> <p>c、制定辐射环境监测管理制度。</p> <p>此外, 医院需定期和不定期对辐射工作场所进行监测, 随时掌握辐射工作场所剂量变化情况, 发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核, 制定相应的报送程序, 监测数据及报送情况存档备查。</p>		
<h2>五、年度监测报告情况</h2> <p>医院已于每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统提交上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》, 近一年(四个季度)个人剂量检测报告和辐射工作场所年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并提交给发证机关。医院应按照《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)》(川环函[2016]1400 号)规定的格式编写《安全和防护状况年度评</p>		

估报告》，2022年年度评估报告详见附件6。医院必须在“全国核技术利用辐射安全申报系统”（网址 <http://rr.mee.gov.cn/rsmsreq/login.jsp>）中实施申报登记。延续、变更许可证，新增或注销射线装置以及单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。

辐射事故应急

一、事故应急预案内容

为了应对放射诊疗中的事故和突发事件，医院须制订辐射事故应急预案。按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定，辐射事故应急方案应明确以下几个方面：

- ①应急机构和职责分工；
- ②应急的具体人员和联系电话；
- ③应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- ④辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；
- ⑤辐射事故调查、报告和处理程序。

二、应急措施

若本项目发生了辐射事故，医院应迅速、有效采取以下应急措施：

- (1)一旦发现放射性药物被盗或者丢失，及时向公安部门、生态环境主管部门和卫生健康部门报告。
- (2)发现误照射事故时，工作人员应立即切断电源，将病人撤出机房，关闭机房门，同时向医院主管领导报告。
- (3)医院根据估算的超剂量值，尽快安排误照人员进行检查或在指定的医疗机构救治；对可能受放射损伤的人员，应立即采取暂时隔离和应急救援措施。
- (4)事故发生后的2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境和公安部门报告。造成或可能造成超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。
- (5)最后查清事故原因，分清责任，消除事故隐患。

三、其他要求

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

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

表 13 结论与建议

结论
<p>一、项目概况</p> <p>项目名称: 成都市郫都区人民医院新增放射源、非密封放射性物质工作场所和医用射线装置使用项目</p> <p>项目性质: 新建</p> <p>建设单位: 成都市郫都区人民医院</p> <p>建设地点: 四川省成都市郫都区德源北路二段 666 号</p> <p>建设内容与规模:</p> <p>1、肿瘤科</p> <p>成都市郫都区人民医院拟在核医学科楼负二层肿瘤科建设 2 座医用电子直线加速器机房、1 座后装治疗机机房和 1 座模拟定位机机房及其相关辅助用房。</p> <p>本次拟新增的 2 台医用电子直线加速器设备型号待定, 但均带 CBCT 图像引导系统, 其主要参数均为: X 射线最大能量为 15MV, 15MV 时 1 米处最大输出剂量率为 6Gy/min, 电子线最大能量为 22MeV, 电子线等中心 1 米处最大剂量率为 10Gy/min, CBCT 管电压≤150kV, 管电流≤1500mA, 单台设备年工作负荷约 500h (其中以 X 射线模式运行约 450h, 电子线模式运行约为 50h), 新增的医用电子直线加速器均属 II 类射线装置。本次拟新增的后装治疗机型号待定, 内含 1 枚 ^{192}Ir 放射源, 初始装源活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$, 年出源时间约 250h, 属 III 类放射源。新增的模拟定位机型号待定, 其管电压≤140kV, 管电流≤1500mA, 属 III 类射线装置。</p> <p>2、核医学科</p> <p>成都市郫都区人民医院拟在核医学科楼一层分别建设核医学科-影像中心和核医学科-核素治疗中心及其他辅助用房等, 总占地面积约 900m², 新建的两处工作场所均为乙级非密封放射性物质工作场所。</p> <p>核医学科-影像中心拟使用放射性同位素 ^{18}F、^{68}Ga (^{68}Ga 由医院使用 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器自行淋洗所得) 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 用于开展核素显像诊断项目。成都市郫都区人民医院本次新建的核医学科-影像中心总日等效最大操作量为 $4.29 \times 10^7\text{Bq}$, 属于乙级非密封放射性物质工作场所。</p> <p>核医学科-影像中心 PET/CT 机房内拟新增使用 1 台 PET/CT (管电压≤140kV、</p>

管电流≤1000mA) 用于核素诊断, 属于III类射线装置。

核医学科-影像中心 SPECT/CT 机房内拟新增使用 1 台 SPECT/CT (管电压≤140kV、管电流≤1000mA) 用于核素诊断, 属于III类射线装置。

核医学科-核素治疗中心拟使用放射性同位素 ^{131}I 、 ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 用于开展核素诊断与治疗项目。成都市郫都区人民医院本次核医学科新建的核医学科 -核素治疗中心总日等效最大操作量为 $3.10 \times 10^9 \text{Bq}$, 属于乙级非密封放射性物质工作场所。

3、介入科

成都市郫都区人民医院拟于核医学科楼二层介入科新建 2 座 DSA 机房, 新增的 2 台 DSA 型号待定, 其管电压≤125kV, 管电流≤1250mA, 属II类射线装置, 设备常用主束方向朝上, 单台设备年工作负荷均约 120h。

二、项目产业政策符合性结论

本项目系核技术应用项目在医学领域内的运用。根据国家发展和改革委员会《产业结构调整指导目录(2019年本)》(2021年修正), 属于鼓励类中第六项“核能”的第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”, 是目前国家鼓励发展的新技术应用项目。本项目的运营可为郫都区及周边病人提供诊疗服务, 是提高人民群众生活质量, 提高全市医疗卫生水平和建设小康设备的重要内容, 本项目具有放射实践的正当性, 符合现行的国家产业政策。

三、实践正当性

成都市郫都区人民医院新增放射源、非密封放射性物质工作场所和医用射线装置使用项目的目的是为了对病人进行医学诊断和治疗。在采取了相应的辐射防护措施后, 项目所致的辐射危害可得到有效控制, 项目实施的利益大于代价, 符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 规定的辐射防护“实践的正当性”原则。

四、项目选址合理性结论

成都市郫都区人民医院本次新建项目所在地的用地性质为医疗卫生用地。从周边外环境关系可知, 医院周边规划为居民区和市政道路, 本项目 50m 评价范围除南侧和西侧部分位于医院围墙外, 其余方向均位于医院院区内, 50m 评价范围内无其他居民区、无学校等其他环境敏感点。

成都市郫都区人民医院于 2015 年 7 月完成了成都市郫都区人民医院(原郫县人

民医院）业务用房迁建项目的环评工作，并取得四川省生态环境厅（原四川省环境保护厅）关于该项目的批复文件，文号为：川环审批〔2015〕383号（见附件2）。

医院选址合理性已在相关环评报告中进行了论述，拟建的辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射通过采取相应的治理措施后对周围环境影响较小，从辐射安全防护的角度分析，本项目选址是合理的。

五、区域环境质量现状

根据监测结果，本项目拟建位置周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测值在（52~82）nGy/h之间，与中华人民共和国生态环境部《2022年全国辐射环境质量报告》中四川省 γ 辐射空气吸收剂量率范围：（61.9~151.8）nGy/h相较，本项目拟建址区域周围辐射环境监测值与四川省天然贯穿辐射水平相当，属于正常本底范围。

项目拟建位置周围中子辐射剂量率在均 $<0.001\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，属于正常水平，项目拟建位置周围 β 表面污染水平为低于仪器探测下限，属于当地正常水平。

六、代价利益分析

成都市郫都区人民医院新增放射源、非密封放射性物质工作场所和医用射线装置使用项目符合区域医疗服务需要，能有效提高区域医疗服务水平，核技术在医学上的应用有利于提高疾病的诊断正确率和治疗效果，能有效减少患者疼痛和对患者损伤，总体上大大节省了医疗费用，争取了宝贵的治疗时间，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。

为保护该项目周边其他科室工作人员和公众，对成都市郫都区人民医院新增放射源、非密封放射性物质工作场所和医用射线装置使用项目加强了防护，从剂量预测结果可知，项目致工作人员所受附加剂量小于5mSv、公众年所受附加剂量小于0.1mSv，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于“剂量限值”及本项目管理约束值的要求。因此，从代价利益分析看，该项目是正当可行的。

七、环境影响分析结论

1、施工期环境影响分析

本项目施工工程量较大，施工时间长，但随着施工结束后影响即可消除。

2、营运期正常工况下辐射环境影响

（1）辐射环境影响分析结论

在严格落实环评提出的要求后，本项目所致职业人员年剂量符合《电离辐射防护

与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)的辐射剂量限值要求,同时也符合本报告提出的照射剂量约束值要求(职业照射 5mSv/a、公众照射 0.1mSv/a)。评价结果表明本项目辐射工作场所的防护性能符合要求。

(2) 水环境影响分析

本项目工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水以及患者冲洗排便用水。通过独立的废水管道收集来自非密封放射性物质工作场所的放射性废水,进入医院新建的废水衰变池,进行衰变处理,衰变后的废水经监测合格后排入医院废水处理站进一步处理后纳入市政污水管网。

本项目其他工作人员工作时仅产生少量的生活废水,经医院污水处理站处理后纳入市政污水管网。

(3) 固体废物影响分析

本项目产生的放射性废物主要为:工作人员操作过程产生的注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料和更换下的废活性炭。医院拟将上述放射性固体废物采用专用塑料包装袋专门分类收集,按序封闭暂存于注射室内的放射性废物暂存间内的放射性衰变桶内(每袋废物表面剂量率不超过 0.1mSv/h,重量不超过 20kg),让放射性物质自行衰变,经检测符合排放标准后作为普通医疗废物处理。在整个收集、储存、处理过程中,做好台账记录,台账内容应包括:标明收贮时间、种类及数量、储存时间(不少于 30 天/180 天)、废物最终处置去向等。

(4) 噪声

运营期噪声主要来源于通排风系统的风机,工作场所使用的通排风系统为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机,其噪声值低于 60dB(A),通风机组通过橡胶垫进行减震降噪,可降噪约 10~15 dB(A),再加上医院场址内的距离衰减,噪声对周围环境影响较小。

(5) 大气环境影响分析

开机出束期间产生的 X、 γ 射线与空气中的氧气相互作用产生少量的臭氧(O_3)和氮氧化物。臭氧(O_3)和氮氧化物经空调系统抽取后排放,由于治疗过程中每次曝光时间短,产生的臭氧量较少,且臭氧极不稳定,再经大气稀释自然扩散后,对周围大气环境影响轻微。

2、事故工况下环境影响

经分析，本项目可能发生的辐射事故等级为一般辐射事故或较大辐射事故。环评认为，针对本项目可能发生的辐射事故，成都市郫都区人民医院须按相关规定完善《放射事件应急预案》后能够有效控制并消除事故影响。

八、放射源、非密封放射性物质工作场所及射线装置使用与安全管理的综合能力

成都市郫都区人民医院拥有专业的放射性医护人员和安全管理机构，有符合国家环境保护标准、职业卫生标准和安全防护要求的场所、设施和设备；拟建立较完善的辐射安全管理制度、辐射事故应急措施；在制定《辐射安全管理规定》《辐射工作设备操作规程》等相关管理制度后，认真落实并定期对辐射防护设施进行检查维护的前提下，具有对医用辐射设施的使用和安全管理能力。

九、项目环境可行性结论

综上所述，本项目符合国家产业政策，项目选址及平面布局合理。项目拟采取的辐射防护措施技术可行，措施有效；项目制定的管理制度、事故防范措施及应急方法等能够有效的避免或减少工作人员和公众的辐射危害。在认真落实项目工艺设计及本报告表提出的相应防护对策和措施，严格执行“三同时”制度，严格执行辐射防护的有关规定，辐射工作人员和公众所受照射剂量可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的剂量限值和本环评提出的剂量管理约束值。放射性“三废”及非辐射环境影响均可满足国家标准的要求。评价认为，从辐射安全与防护以及环境影响角度分析，本项目建设是可行的。

建议和承诺

- 1、落实本报告中的各项辐射防护措施和安全管理制度。
- 2、医院应加强管理，安排辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习辐射安全和防护知识并进行考试，以取得辐射安全培训合格证，今后培训时间超过5年的辐射工作人员，需进行再培训，详见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>）。
- 3、医院应于每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上年度的《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，近一年（四个季度）个人剂量检测报告和辐射工作场所年度监测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》

的重要组成内容一并上传。医院应按照《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函[2016]1400号）规定的格式编写《安全和防护状况年度评估报告》。医院必须在“全国核技术利用辐射安全申报系统”（网址 <http://rr.mee.gov.cn>）中实施申报登记。延续、变更许可证，新增放射性同位素、射线装置或单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。

4、经常检查辐射工作场所的电离辐射标志和电离辐射警告标志，工作状态指示灯，若出现松动、脱落或损坏，应及时修复或更换。

5、医院须重视控制区和监督区的管理。

6、现有射线装置在报废处置时，应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化。

7、医院今后在更换辐射安全许可证之前，需登录全国核技术利用辐射安全申报系统（网址 <http://rr.mee.gov.cn>），对相关信息进行修改。

8、本次环评放射性同位素及射线装置工作场所，日后如有变化，应另作环境影响评价。

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

（1）建设单位可登陆环境保护部网站查询建设项目竣工环境保护验收相关技术规范（<http://kjs.mee.gov.cn/hjbhbz/bzwb/other>）。

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

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

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

①本项目配套建设的环境保护设施竣工后，公开竣工日期；

②对项目配套建设的环境保护设施进行调试前，公开调试的起止日期；

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

建设单位公开上述信息的同时，应当在建设项目环境影响评价信息平台

(<http://114.251.10.205>) 中备案, 同时应当向所在地生态环境主管部门报送相关信息, 并接受监督检查。