

核技术利用建设项目

第三住院大楼新增放疗科和核医学科工 作场所项目环境影响报告表

(公示本)

达州市中心医院
二〇二一年十一月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

第三住院大楼新增放疗科和核医学科工 作场所项目环境影响报告表

建设单位名称：达州市中心医院

建设单位法人代表（签名或签章）： **

通讯地址：达州市通川区南岳庙街 56 号

邮政编码： 635099

联系人： 吴**

电子邮箱： *****@qq.com 联系电话： 135*****

目 录

表 1 项目概况.....	3
表 2 放射源.....	24
表 3 非密封放射性物质.....	24
表 4 射线装置.....	26
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	27
表 6 评价依据.....	28
表 7 保护目标与评价标准.....	31
表 8 环境质量和辐射现状.....	38
表 9 项目工程分析与源项.....	41
表 10 辐射安全与防护.....	73
表 11 环境影响分析.....	109
表 12 辐射安全管理.....	165
表 13 结论与建议.....	173

表 1 项目概况

建设项目名称		第三住院大楼新增放疗科和核医学科工作场所项目			
建设单位		达州市中心医院			
法人代表	***	联系人	吴**	联系电话	135*****
注册地址		达州市通川区南岳庙街 56 号			
项目建设地点		达州市通川区南岳庙街 56 号达州市中心医院拟建第三住院大楼			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）	***	项目保护投资（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"/> 其它		占地面积（m ² ）	约 3454
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input checked="" type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
	射线装置	<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
		<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
	其它	<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类		
其它					
<p>项目概述</p> <p>一、建设单位简介及项目由来</p> <p>达州市中心医院（125114***）始建于1921年，是国家“三级甲等”综合医院、川东区域医疗中心、国际“爱婴医院”、四川省“十佳城市医院”、省级最佳文明单位，达州市红十字医院，是集医疗、教学、科研、预防、保健为一体的川东北地区全国150强地市级大型综合性医院，担负着达州市700万和巴中、广安、万州、安康等毗邻地区1000多万人民的防病治病任务。全院占地面积166余亩，建筑面积22.9万平方米。医院分设胡家坝院区、大东街院区、西区分院(市传染病医院)，在达竹煤电集团医院托管神经专业、呼吸专业、中医康复专业。全院设有37个住院病区（其中胡家坝院</p>					

区28个、大东街院区8个、西区分院1个)；设内科、外科、全科医学科、妇产科、儿科、妇女保健科、儿童保健科、眼科、耳鼻喉科、口腔科、皮肤科、医学美容科、心身医学科、传染科、结核病科、肿瘤科、急诊医学科、康复医学科、重症医学科、麻醉科、疼痛科、中医科、中西医结合科等50多个专业专科专病门诊，设有功能、影像、高压氧、血透、放疗、介入、检验、病理、核医学、输血科等20多个检查治疗科室和体检中心。

为满足医疗需求，向患者提供高质量的医疗服务，达到预期诊疗水平。医院拟在第三住院大楼负三层设放疗科和核医学科。在放疗科内使用2台10MV医用电子直线加速器(II类射线装置)，使用1台模拟定位装置(III类射线装置)，使用1台后装机，在后装机内使用1枚 ^{60}Co 放射源(属于III类放射源)。在第三住院大楼负三层设核医学科制药区，用于放射性核素生产和质控，在制药区内使用1台11MeV的回旋加速器(II类射线装置)，在第三住院大楼负一层设核医学科诊断区，在第三住院大楼一层设核医学科治疗区，均属于乙级非密封放射性物质工作场所。在核医学科诊断区内使用1台PET-CT(III类射线装置)、2台SPECT(III类射线装置)和1台PET-MRI；使用3枚 ^{68}Ge 放射源用于对PET-CT进行校准，活度为 $9.25\times 10^7\text{Bq}\times 1$ 枚+ $4.625\times 10^8\text{Bq}\times 2$ 枚，使用5枚 ^{68}Ge 放射源用于对PET-MRI进行校准，活度为 $1.11\times 10^8\text{Bq}\times 1$ 枚+ $5.55\times 10^7\text{Bq}\times 4$ 枚，均属于V类放射源；拟在核医学科内使用 ^{131}I 、 ^{125}I 、 ^{89}Sr 、 ^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{90}Sr - ^{90}Y 放射性药品。

按照《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》、《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)和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(国家环保部令第18号)规定和要求，本项目需进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021年版)》(生态环境部 部令第16号)的相关规定，本项目属于名录中“五十五、核与辐射”中“172、核技术利用建设项目——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)”，应编制环境影响报告表，并报四川省生态环境厅审查批准。因此，医院委托四川省中栎环保科技有限公司编制该项目环境影响报告表(委托书见附件1)。

四川省中栎环保科技有限公司接受本项目环境报告表编制工作的委托后，在进

行现场踏勘、实地调查了解项目所在地环境条件和充分研读相关法律法规、规章制度、技术资料后，在项目区域环境质量现状评价的基础上，对项目的环境影响进行了预测，并按相应标准进行评价。同时，就项目对环境可能造成的影响、项目单位从事相应辐射活动的的能力、拟采取的辐射安全和防护措施及相关管理制度等进行了评价分析，在此基础上提出合理可行的对策和建议，编制完成本报告表。

本报告编制完成后，建设单位就本项目在医院官网上进行了公示，公示网址为：https://www.dzcch.com/show_news.php?ID=4131），公示网站截图如下：



关于第三住院大楼新增放疗科和核医学科工作场所项目的公示

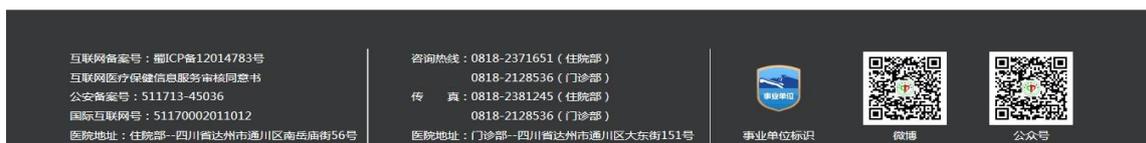
时间：2021-11-23 作者：吴乐 来源：医学装备部 浏览次数：1次

为满足医疗需求，向患者提供高质量的医疗服务，医院拟在拟建第三住院大楼设放疗科和核医学科。拟在放疗科内使用2台10MV医用电子直线加速器（II类射线装置），使用1台模拟定位机（III类射线装置），使用1台后装机，在后装机内使用1枚⁶⁰Co放射源（属于III类放射源）。拟在第三住院大楼负三层核医学科制药房内使用1台11MeV的回旋加速器（II类射线装置）。医院拟在第三住院大楼负三层核医学科制药房，用于放射性核素制备和质控，在第三住院大楼负一层设核医学科诊断区，在第三住院大楼一层设核医学科治疗区，均属于乙级非密封放射性物质工作场所。在核医学科诊断区内使用1台PET-CT（III类射线装置）、2台SPECT（III类射线装置）和1台PET-MRI；使用3枚锶-68放射源用于对PET-CT进行校准，活度为 $9.25 \times 10^7 \text{Bq} \times 1 \text{枚} + 4.625 \times 10^8 \text{Bq} \times 2 \text{枚}$ ，使用5枚锶-68放射源用于对PET-MRI进行校准，活度为 $1.11 \times 10^8 \text{Bq} \times 1 \text{枚} + 5.55 \times 10^7 \text{Bq} \times 4 \text{枚}$ ，均属于V类放射源；拟在核医学科内使用¹³¹I、¹²⁵I、⁸⁹Sr、^{99m}Tc、¹⁸F、¹¹C、¹³N、¹⁵O、⁹⁰Sr-⁹⁰Y放射性药品。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》（生态环境部 部令第16号）的相关规定，本项目需要编制环境影响评价报告表。据相关要求，建设单位在向生态环境主管部门提交建设项目环境影响报告书（表）前，应依法主动公开建设项目环境影响报告书（表）全本信息。因此本单位现将报告表进行公示，以接受公众的监督。

建设单位：达州市中心医院
项目名称：第三住院大楼新增放疗科和核医学科工作场所项目
建设地点：达州市通川区南岳庙街56号达州市中心医院拟建第三住院大楼
联系人：吴老师
联系电话：13547266653
环评单位：四川省中核环保科技有限公司
联系人：何老师
联系电话：15680665114
邮箱：635912341@qq.com

附件：第三住院大楼新增放疗科和核医学科工作场所项目环境影响报告表



公示后，未收到单位和个人有关项目情况的反馈意见。

二、产业政策符合性

本项目系核和辐射技术用于医学领域，属高新技术。根据《产业结构调整指导

目录（2019年本）（中华人民共和国国家发展和改革委员会令第29号）相关规定，本项目属于鼓励类第六项“核能”中第6条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”。符合国家产业发展政策。

三、项目概况

（一）项目名称、性质、地点

项目名称：第三住院大楼新增放疗科和核医学科工作场所项目

建设性质：新建

建设地点：达州市通川区南岳庙街56号达州市中心医院拟建第三住院大楼

（二）建设内容与规模

医院拟在第三住院大楼（拟建，地上局部22层、地下3层）负三层南侧设放疗科、北侧设核医学科制药区，负一层北侧设核医学科诊断区，一层东北侧设核医学科治疗区。

1、放疗科

放疗科占地面积约1102m²，医院拟在放疗科内新建2间直线加速器机房、1间后装机机房、1间模拟定位装置机房及其他配套用房。

（1）直线加速器机房

医院拟在第三住院大楼负三层2间直线加速器机房内，各使用1台10MV直线加速器（型号待定），属II类射线装置，用于全身肿瘤诊疗。直线加速器X射线最大能量为10MV，1m处最大剂量率为6Gy/min；电子束最大能量为15MeV，1m处最大剂量率为6Gy/min。本项目直线加速器年最大出束时间约480h/台。

直线加速器机房1和直线加速器机房2为紧邻的两个相同机房，直线加速器机房室内面积约65.6m²（L×B=8.1m×8.1m，不含迷道），四面墙体、迷道、顶部和底部均为钢筋混凝土结构。直线加速器机房西南侧、东北侧、顶部、地面为主射方向，西北侧、东南侧为漏射方向。直线加速器机房东北侧、西南侧主屏蔽墙厚为3000mm、宽为4500mm，次屏蔽墙厚为1800mm；顶部主屏蔽墙厚为3000mm、宽为4500mm，次屏蔽墙厚为1700mm；西北侧“L型”迷道内墙厚为1500mm、宽6200mm，迷道外墙厚为1700mm；东南侧墙体厚为1500mm；防护门为15mm铅当量电动推拉门。

（2）后装机机房

医院拟在负三层后装机机房内使用 1 台后装机，在后装机内使用 ^{60}Co 放射源 1 枚，装源活度为 $1.85 \times 10^{11}\text{Bq}$ （属 III 类放射源）。

后装机机房净空面积为 33.1m^2 （ $L \times B = 7.2\text{m} \times 4.6\text{m}$ ，不含迷道），四面墙体、迷道和顶部均为钢筋混凝土结构。后装机机房西北侧、东南侧墙体厚度均为 850mm；东北侧“L”型迷道内墙和迷道外墙厚均为 700mm，迷道内墙长为 2300mm；西南侧墙体厚为 1800mm（与直线加速器机房 2 东北侧次屏蔽墙共用），顶部为 800mm 厚混凝土；防护门为 10mmPb 单扇电动推拉门。后装机年出源治疗时间约 400h。

（3）模拟定位装置机房

医院拟在第三住院大楼负三层模拟定位装置机房内使用 1 台模拟定位装置，用于模拟定位。模拟定位装置型号待定，额定管电压为 140kV，额定管电流为 800mA，属于 III 类射线装置，年最大曝光时间约 90h。

模拟定位装置机房净空面积约 46.4m^2 （ $L \times B = 5.8\text{m} \times 8.0\text{m}$ ），四面墙体均采用 370mm 实心砖墙+2mmPb 硫酸钡涂料，屋顶为 260mm 混凝土，铅窗为 3mm 铅当量，防护门为 3mm 铅当量含铅门。

2、核医学科

医院拟在第三住院大楼负三层设核医学科制药区，拟在第三住院大楼负一层北侧设核医学科诊断区，拟在第三住院大楼一层东北侧设核医学科治疗区。本项目核医学科三个区域均为乙级非密封放射性物质工作场所。

（1）核医学科制药区

医院拟在第三住院大楼负三层设核医学科制药区，占地面积约 625m^2 ，拟在核医学科制药区内设回旋加速器制药区、质控区及其他配套用房，拟在核医学科制药区内生产 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 四种放射性药品，为乙级非密封放射性物质工作场所。

1) 回旋加速器制药区

在回旋加速器制药区内新建回旋加速器机房、热室、操作间及其他配套用房各 1 间，其中回旋加速器机房净空面积为 61.4m^2 （ $L \times B = 6.9\text{m} \times 8.9\text{m}$ ）。拟在回旋加速器机房内使用 1 台回旋加速器（11MeV， $60\mu\text{A}$ ），型号待定，属于 II 类射线装置，用于生产正电子核素药物。本项目回旋加速器制药区拟生产放射性核素 ^{18}F （年最大生产量为 $1.16 \times 10^{13}\text{Bq}$ ，日最大生产量为 $4.63 \times 10^{10}\text{Bq}$ ）、 ^{11}C （年最大生产量为 $1.85 \times 10^{13}\text{Bq}$ ，日最大生产量为 $7.40 \times 10^{10}\text{Bq}$ ）、 ^{13}N （年最大生产量为 $2.22 \times 10^{13}\text{Bq}$ ，

日最大生产量为 $8.88 \times 10^{10} \text{Bq}$ ）、 ^{15}O （年最大生产量为 $2.22 \times 10^{13} \text{Bq}$ ，日最大生产量为 $8.88 \times 10^{11} \text{Bq}$ ），均用于 PET 诊断区显像诊断。

回旋加速器机房东北侧、西北侧墙体均为800mm 厚混凝土，西南侧墙厚为900mm 厚混凝土；东南侧墙体预留设备进出口（ $L \times B = 3.1\text{m} \times 3.7\text{m}$ ），设备入场后砌筑800mm 厚实心砖墙，其余部分采用800mm 厚混凝土；顶部为800mm 厚混凝土，底部为2000mm 厚混凝土；防护门为20mm 铅板+120mm 含硼聚乙烯；固体热靶室净空面积为 28.2m^2 （ $L \times B = 4.7\text{m} \times 6.0\text{m}$ ），东北侧、东南侧、西南侧均为370mm 厚实心砖墙，西北侧为800mm 厚实心砖墙（与回旋加速器东南侧共用墙体），顶部为300mm 混凝土，防护门为20mm 铅当量铅门；分装热室呈梯形布局，净空面积为 64.5m^2 ，西北侧、东北侧、东南侧均为370mm 厚实心砖墙，西南侧为800mm 厚混凝土墙体（与回旋加速器东侧角墙体共用），顶部为300mm 厚混凝土，西南侧防护门为20mm 铅当量铅门，其他两侧防护门为15mm 铅当量铅门。

2) 质控区

在回旋加速器制药区东侧设质控区，占地面积约 63.9m^2 ，日最大操作量为 $1.85 \times 10^7 \text{Bq}$ ，年最大操作量为 $4.63 \times 10^9 \text{Bq}$ ，用于对回旋加速器制药区内生产的放射性药品进行质控。

拟在质控区内设全质质控室、洗消间、无菌检测室、阳性对照室及其他配套用房，其中，全质质控室、无菌检测室、阳性对照室四周墙体均为240mm 实心砖墙，楼顶采用150mm 厚混凝土，全质质控室防护门为10mmPb。

(2) 核医学科诊断区

医院拟在第三住院大楼负一层北侧设核医学科诊断区，占地面积约 1108m^2 ，在核医学科诊断区内设 SPECT 诊断区、PET 诊断区、敷贴治疗区、甲吸检查区、放免分析区及其他配套区域，在核医学科诊断区内使用放射性核素 ^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{131}I 、 ^{125}I 和放射源 ^{90}Sr - ^{90}Y ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

1) SPECT 诊断区

医院拟在第三住院大楼负一层核医学科诊断区内设 SPECT 诊断区，占地面积约 568m^2 ，拟在 SPECT 诊断区内设储源室、分装室、注射室、抢救室、运动室、观察等候室、放射性废物间及其他配套用房各 1 间，设 SPECT-CT 机房（净空面积均约 43m^2 ）、注射后等候室各 2 间，患者专用卫生间 3 间。拟在 SPECT-CT 机房内各使

用1台 SPECT-CT，型号待定，额定管电压为130kV，额定管电流为345mA，属于Ⅲ类射线装置。拟在 SPECT 诊断区内使用^{99m}Mo、^{99m}Tc、¹³¹I 三种放射性核素。其中^{99m}Mo 用于淋洗制^{99m}Tc，^{99m}Tc、¹³¹I 用于显像诊断。拟使用钼铯发生器制备^{99m}Tc，^{99m}Mo 年最大操作量为 9.77×10^{12} Bq，日最大操作量为 4.07×10^{10} Bq，根据建设单位提供资料单次钼铯发生器购买的规格为1.11Ci（ 4.10×10^{10} Bq）；^{99m}Tc 年最大用量为 9.84×10^{12} Bq，日最大操作量为 4.10×10^{10} Bq；¹³¹I 计划年最大操作量为 2.78×10^{11} Bq，计划日实际最大操作量为 1.11×10^9 Bq。

SPECT-CT 机房四周墙体为240mm 实心砖墙+1mmPb 硫酸钡涂料，顶部为220mm 厚混凝土（与核医学科治疗区病房地面重叠部分为260mm 混凝土），地面为260mm 厚混凝土，防护窗、防护门均为3mm 铅当量。储源室、分装室、注射室、抢救室、运动室、观察等候室、放射性废物间、注射后等候室四周墙体均为240mm 实心砖墙，顶部为220mm 厚混凝土，地面为180mm 厚混凝土，防护门均为2mm 铅当量。拟在注射室设防护窗，储源室内设储源柜，在分装室内设通风厨，均为10mmPb。

2) PET 诊断区

医院拟在第三住院大楼负一层核医学科诊断区内设 PET 诊断区，占地面积约460m²，拟在 PET 诊断区内，设核素专用传药梯、储源室、分装室、注射室、抢救室、放射性废物间、PET-CT 机房（净空面积约50m²）、PET-MRI 机房（净空面积约49.7m²）、注射后等候室、观察等候室及其他配套用房各1间，患者专用卫生间3间。拟在 PET-CT 机房内使用1台 PET-CT，型号待定，额定管电压为140kV，额定管电流为800mA，属于Ⅲ类射线装置，使用3枚⁶⁸Ge 放射源分别对 PET-CT 进行校准，活度为 9.25×10^7 Bq×1枚+ 4.625×10^8 Bq×2枚；拟在 PET-MRI 机房内使用1台 PET-MRI，型号为待定，使用5枚⁶⁸Ge 放射源用于对 PET-MRI 进行校准，活度为 1.11×10^8 Bq×1枚+ 5.55×10^7 Bq×4枚；拟在 PET 诊断区内拟使用¹⁸F、¹¹C、¹³N、¹⁵O 四种放射性核素，用于显像诊断。PET 诊断区内使用放射性同位素¹⁸F 计划年最大操作量为 1.83×10^{12} Bq，日实际最大操作量为 9.25×10^9 Bq；¹¹C 计划年最大操作量为 2.31×10^{11} Bq，日实际最大操作量为 1.85×10^9 Bq；¹³N 计划年最大操作量为 2.78×10^{11} Bq，计划日实际最大操作量为 2.22×10^9 Bq；¹⁵O 计划年最大操作量为 2.78×10^{11} Bq，计划日实际最大操作量为 2.22×10^9 Bq。

传药井起于负三层核医学科制药区核素通道，止于负一层核医学科 PET 诊断区，

核素专用传药井东北侧为 200mm 实心砖墙+240mm 实心砖墙；西南侧、西北侧为 240mm 实心砖墙；东南侧为传药梯药品进出门，在传药井内传药梯四周（含门）采用 50mm 厚钢板。储源室、分装室、抢救室、放射性废物间四周墙体均为 240mm 实心砖墙结构，观察等候室东南侧为 450mm 实心砖墙、注射室东南侧为 370mm 实心砖墙，观察等候室和注射室其余三侧均为 240mm 实心砖墙。注射后等待室、观察等候室顶部均为 300mm 厚混凝土，地面均为 180mm 厚混凝土；储源室、分装室、注射室、注射后等待室、观察等候室、防护门均为 15mm 铅当量，抢救室防护门为 5mmPb，放射性废物间、缓冲区、医护走道防护门均为 10mmPb；除注射后等待室、观察等候室、PET-CT、PET-MRI 机房地面和顶部外，PET 诊断区其他区域地面均为 180mm 厚混凝土，顶部均为 220mm 厚混凝土。PET-CT、PET-MRI 机房四周墙体均为 240mm 实心砖墙+1mmPb 硫酸钡涂料；顶部均为 220mm 厚混凝土，地面均为 260mm 厚混凝土；防护门、防护窗均为 15mm 铅当量。拟在储源室内设 50mmPb 储源柜，在分装室内设 50mmPb 的通风厨；注射室防护窗为 50mmPb。

3) 敷贴治疗区

医院拟在第三住院大楼负一层核医学科诊断区内设敷贴治疗室1间，占地面积约 14m²，拟在敷贴治疗室内使用放射源⁹⁰Sr-⁹⁰Y，用于敷贴治疗，属于 V 类放射源。单枚放射源活度为 9.25×10^7 Bq，年最大使用约750枚。敷贴治疗室四周墙体为240mm 实心砖墙，地面为180mm 厚混凝土，屋顶为220mm 厚混凝土，防护门为2mm 铅当量。

4) 甲吸检查区

医院拟在第三住院大楼负一层核医学科诊断区内设甲吸室1间，占地面积约 14m²，在甲吸室内使用放射性核素¹³¹I，用于甲吸检查。¹³¹I 计划年最大操作量为 1.11×10^8 Bq，计划日实际最大操作量为 3.70×10^6 Bq。甲吸室四周墙体为240mm 实心砖墙，地面为180mm 厚混凝土，屋顶为220mm 厚混凝土，防护门为2mm 铅当量。

5) 放免分析区

医院拟在第三住院大楼负一层核医学科内设放免分析区，占地面积约52m²，在放免分析区内设更衣室、沐浴室、放免分析实验室、废物暂存室等。在放免实验室内，设样本接收区、样本处理区、试剂库、低活性区等，在低活性区内使用放射性核素¹²⁵I 进行放免分析。

拟在放免分析区内使用核素 ¹²⁵I，最大日使用量 8.00×10^4 Bq，未超过 1.0×10^6 Bq，

根据原环境保护部《关于实施碘-125 放射免疫体外诊断试剂使用有条件豁免管理的公告》（公告 2013 年第 74 号），对医院放射免疫体外诊断使用的 ^{125}I 实行豁免管理。

（3）核医学科治疗区

医院拟在第三住院大楼一层东北侧设核医学科治疗区，占地面积约 619m^2 ，拟设有储源室、给药室、抢救室各 1 间，双人间病房 7 间（其中每间病房内设有 1 个独立患者卫生间）及其他医护人员办公用房，拟在核医学科治疗区使用放射性核素 ^{131}I 、 ^{89}Sr 。 ^{131}I 拟用于甲癌和甲亢治疗， ^{89}Sr 拟用于骨转移治疗。其中，用于甲癌治疗的 ^{131}I ，计划年最大操作量为 $2.59 \times 10^{12}\text{Bq}$ ，计划日实际最大操作量为 $2.96 \times 10^{10}\text{Bq}$ ；用于甲亢治疗的 ^{131}I ，计划年最大操作量为 $7.40 \times 10^{11}\text{Bq}$ ，计划日实际最大操作量为 $9.25 \times 10^9\text{Bq}$ ；用于骨转移治疗 ^{89}Sr ，计划年最大操作量为 $4.44 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，日实际最大操作量为 $7.40 \times 10^8\text{Bq}$ 。

储源室与给药室紧邻，其中储源室西北侧、东南侧均为 370mm 实心砖墙，西南侧为 240mm 实心砖墙，储源室东北侧与给药室西南侧共用墙体为 450mm 实心砖墙 + 6mmPb 硫酸钡涂层，给药室西北侧、东南侧均为 370mm 实心砖墙 + 6mmPb 硫酸钡涂层，东北侧为 240mm 实心砖墙 + 6mmPb 硫酸钡涂层。储源室东北侧与给药室西南侧共用墙上的给药窗为 50mmPb 含铅玻璃，抢救室四周墙体均为 370mm 实心砖墙；储源室、给药室、抢救室防护门均为 15mmPb ，病房走道防护门均为 20mmPb ；在核医学科治疗区除病房外的区域，楼顶均为 450mm 混凝土，地面均为 220mm 混凝土。

在核医学科治疗区设有无窗户双人病房 2 间，带窗户病房 5 间。无窗户病房东北侧墙体为 300mm 厚现浇混凝土 + 8mmPb 硫酸钡涂层，其余三侧均为 370mm 实心砖墙 + 8mmPb 硫酸钡涂层。带窗户病房东北侧均为 450mm 实心砖墙 + 8mmPb 硫酸钡涂层，防护窗为 25mmPb 含铅玻璃，其余三侧均为 370mm 实心砖墙 + 8mmPb 硫酸钡涂层。地面均为 260mm 混凝土；楼顶均为 450mm 混凝土；防护门为 15mmPb 含铅门。

项目组成及主要环境问题见表 1-1。

表 1-1 建设项目组成及主要的环境问题表

名称	场所	建设内容及规模		可能产生的环境问题	
				施工期	营运期
	直线加速器机房 1、	设备、数量	10MV 医用电子直线加速器，2 台		X 射线、电子线、
		设备型号	待定		

主体工程	放疗科	直线加速器机房 2	管理类别	II类	噪声、扬尘、废水、废气、固体废物	臭氧、噪声			
			使用场所	第三住院大楼负三层直线加速器机房 1、直线加速器机房 2					
			年曝光时间	480h/台					
			1m 处剂量率	X 射线能量最大为 10MV, 1m 处剂量率为 6Gy/min					
				电子束最大能量 15MeV, 1m 处剂量率为 6Gy/min					
			主射方向	西南侧、东北侧、顶部、地面					
	后装机机房	放射源数量	1 枚 ⁶⁰ Co 放射源	噪声、扬尘、废水、废气、固体废物	γ射线、臭氧、噪声、退役放射源				
		放射源活度	1.85×10 ¹¹ Bq						
		放射源种类	III类源						
		使用场所	第三住院大楼负三层后装机机房						
		年出源时间	400h						
	模拟定位装置机房	设备、数量	模拟定位装置, 1 台	噪声、扬尘、废水、废气、固体废物	X 射线、臭氧、噪声				
		设备型号	待定						
		管理类别	III类						
		使用场所	第三住院大楼负三层模拟定位装置机房						
年曝光时间		90h							
额定管电压/电流		140kV/800mA							
主体工程	核医学科制药区	回旋加速器制药区	设备、数量	11MeV 回旋加速器, 1 台	噪声、扬尘、废水、废气、固体废物	X 射线、γ射线、β射线、α粒子、放射性废气、放射性废水、放射性固废、β表面污染、感生放射性物质			
			设备型号	待定					
			管理类别	II类					
			使用场所	第三住院大楼负三层回旋加速器机房					
			最大能量/束流	11MeV/60μA					
			计划生产产额	拟生产放射性核素 ¹⁸ F (年最大生产量为 1.16×10 ¹³ Bq, 日最大生产量为 4.63×10 ¹⁰ Bq)、 ¹¹ C(年最大生产量为 1.85×10 ¹³ Bq, 日最大生产量为 7.40×10 ¹⁰ Bq)、 ¹³ N (年最大生产量为 2.22×10 ¹³ Bq, 日最大生产量为 8.88×10 ¹⁰ Bq)、 ¹⁵ O (年最大生产量为 2.22×10 ¹³ Bq, 日最大生产量为 8.88×10 ¹¹ Bq)					
	核医学科	质控区	设全质质控室、洗消间、无菌检测室、阳性对照室等, 拟在质控区内对回旋加速器制药区生产的放射性药品进行质控, 日最大操作量为 7.4×10 ⁷ Bq, 年最大操作量为 1.85×10 ¹⁰ Bq		噪声、扬尘、废水、废气、固体废物	γ射线、放射性废气、放射性废水、放射性固废、β表面污染			
			S	SP			设备、数量	SPECT-CT 机 2 台	噪声、X 射线、β

主体工程	核医学科	核医学科诊断区	PET-CT 机房	EC	设备型号	待定	扬尘、 废水、 废气、 固体废物	射线、 γ 射线、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物、使用后钨钨发生器
				管理类别	III类			
				额定管电压/电流	130kV/345mA			
				使用场所	第三住院大楼负三层 SPECT-CT 机房 1、SPECT-CT 机房 2			
				使用核素	^{99m}Tc 、 ^{131}I			
			非密封放射性物质工作场所	储源室、分装室、注射室、抢救室、运动室、观察等候室、注射后等候室等				
			PET-CT 机房	设备、数量	PET-CT 机 1 台	X 射线、 β 射线、 γ 射线、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物、废放射源		
				设备型号	待定			
				管理类别	III类			
				额定管电压/电流	140kV/800mA			
		使用场所		第三住院大楼负三层 PET-CT 机房				
		使用核素	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O					
		使用校准放射源	3 枚 ^{68}Ge 放射源，活度为 $9.25 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$ 枚 + $4.625 \times 10^8 \text{Bq} \times 2$ 枚					
		PET-MRI 机房	设备、数量	PET-MRI 机 1 台				
			设备型号	待定				
			使用场所	第三住院大楼负三层 PET-MRI 机房				
			使用核素	^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O				
			使用校准放射源	5 枚 ^{68}Ge 放射源， $1.11 \times 10^8 \text{Bq} \times 1$ 枚 + $5.55 \times 10^7 \text{Bq} \times 4$ 枚				
		非密封放射性物质工作场所	储源室、分装室、注射室、抢救室、运动室、观察等候室、注射后等候室等					
		核医学科治疗区	敷贴治疗区	设敷贴治疗室 1 间，在敷贴治疗室内使用放射源 ^{90}Sr - ^{90}Y ，属于 V 类放射源	噪声、 扬尘、 废水、 废气、 固体废物	β 射线、 γ 射线、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物		
甲吸检查区	甲吸室 1 间，在甲吸室内使用放射性核素 ^{131}I							
放免分析区	放免分析室 1 间，在放免分析室内使用放射性核素 ^{125}I							
核医学科治疗区	设储源室、给药室、抢救室、双人间病房、患者卫生间等，在核医学科治疗区使用放射性核素 ^{131}I 、 ^{89}Sr							
辅助工程	控制室、水冷机房、设备间、污物暂存间、配套建设候诊区、诊室和护士站等配套辅助用房					废水、固废		
公用工程	市政水网、市政电网、配电系统、废水处理站、通排风系统					/		

办公及生活设施	医生办公室、卫生间等	生活垃圾、生活污水
环保设施	<p>新建放射性废水处理设施：拟新建放射性废水衰变池 3 座及放射性废水排污管道若干，分别用于对核医学科制药区、诊断区、治疗区产生的放射性废水进行暂存，达到暂存时间要求后，排入既有污水处理站处理。</p> <p>新建放射性废气处理设施：拟在放疗科、核医学科制药区、核医学科诊断区、核医学科治疗区设独立排放系统，排风口位于裙房 5 层楼顶，排放口朝向滨河东路。此外，拟在核医学科制药区、核医学科诊断区、核医学科治疗区排风管道末端设高效排风过滤器+活性炭吸附装置。</p> <p>新建放射性固废处理设施：拟在核医学科制药区、SPECT 诊断区、PET 诊断区、核医学科治疗区内分别设 1 间放射性废物暂存间，用于暂存各区域内产生的放射性固体废物，待达到解控要求后，作为医疗废物交由医院医疗废物暂存间。</p> <p>依托其他设施：新建非放射性废水管道若干，经收集后排入医院既有污水处理站进行处理；本项目产生的办公、生活垃圾经统一收集后，交由医院已有的办公生活垃圾暂存间暂存，交由环卫部门进行处理。</p>	废水、固废

(三) 本项目主要原辅材料及能耗情况

本项目主要原辅材料及能耗情况见表 1-2。

表 1-2 主要原辅材料及能耗情况表

类别	名称	使用量	来源	用途
主要原辅材料	^{131}I	年使用量为 $2.78 \times 10^{11}\text{Bq}$	外购	显像诊断
		年使用量为 $2.59 \times 10^{12}\text{Bq}$	外购	甲癌治疗
		年使用量为 $7.40 \times 10^{11}\text{Bq}$	外购	甲亢治疗
		年使用量为 $1.11 \times 10^8\text{Bq}$	外购	甲吸检查
	^{125}I	年使用量为 $2.08 \times 10^7\text{Bq}$	外购	放免分析
	^{89}Sr	年使用量为 $4.44 \times 10^{10}\text{Bq}$	外购	骨转移治疗
	^{99}Mo	年使用量为 $9.84 \times 10^{12}\text{Bq}$	外购	制备 $^{99\text{m}}\text{Tc}$
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	年使用量为 $9.77 \times 10^{12}\text{Bq}$	外购	显像诊断
	^{18}F	年使用量为 $1.16 \times 10^{13}\text{Bq}$	回旋加速器生产	显像诊断
	^{11}C	年使用量为 $1.85 \times 10^{13}\text{Bq}$	回旋加速器生产	显像诊断
	^{13}N	年使用量为 $2.22 \times 10^{13}\text{Bq}$	回旋加速器生产	显像诊断
	^{15}O	年使用量为 $2.22 \times 10^{13}\text{Bq}$	回旋加速器生产	显像诊断
	$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$	年使用量为 $6.94 \times 10^{10}\text{Bq}$	外购	敷贴治疗
	^{68}Ge	$9.25 \times 10^7 \times 1$ 枚 + $4.625 \times 10^8 \times 2$ 枚 $1.11 \times 10^8 \times 1$ 枚 + $5.55 \times 10^7 \times 4$ 枚	外购	设备校准
^{60}Co	$1.85 \times 10^{11} \times 1$ 枚	外购	放射治疗	
能源	煤 (t)	-	-	-
	电(度)	5×10^5	市政电网	-
	气 (Nm ³)	-	-	-
水	地表水 (m ³)	1000	-	-

量	地下水	-	-	-
---	-----	---	---	---

(四) 本项目所涉及的射线装置

本项目涉及的设备参数见下表：

表 1-3 本项目射线装置清单

序号	装置名称	数量	型号	设备参数	管理类别	使用场所	备注
1	医用电子直线加速器	2 台	待定	X 射线：10MV，1m 处最高剂量率：6Gy/min 电子射线：15MeV，1m 处最高剂量率：6Gy/min	II类	第三住院大楼负三层直线加速器机房	拟购
2	模拟定位装置	1 台	待定	额定管电压 140kV、额定管电流 800mA	III类	第三住院大楼负三层模拟定位装置机房	拟购
3	回旋加速器	1 台	待定	11MeV，60 μ A	II类	第三住院大楼负三层回旋加速器机房	拟购
4	PET-CT	1 台	待定	额定管电压 140kV，额定管电流 800mA	III类	第三住院大楼负三层 PET-CT 机房	拟购
5	SPECT-CT	2 台	待定	额定管电压 130kV，额定管电流 345mA	III类	第三住院大楼负三层 SPECT-CT 机房	拟购

(五) 本项目医用核素及使用情况一览表

表 1-4 本项目涉及核素特性

序号	使用核素	半衰期	状态	毒性分组	衰变方式	主要射线及能量
1	¹⁸ F	109.8min	液态	低毒	EC、 β^+	0.64MeV/ β 射线 0.511MeV/ γ 射线
2	¹¹ C	20.39min	液态	低毒	EC、 β^+	511keV/ γ 射线
3	¹³ N	10.0min	液态	低毒	EC、 β^+	511keV/ γ 射线
4	¹⁵ O	2min	液态	低毒	EC、 β^+	511keV/ γ 射线
5	⁹⁹ Mo	66h	液态	中毒	β^-	1.23MeV/ β 射线 0.78MeV/ γ 射线
6	^{99m} Tc	6.02h	液态	低毒	IT、 β^-	0.002MeV/ β 射线 0.14051MeV/ γ 射线
7	¹²⁵ I	59.4d	液态	中毒	EC	35.5keV/ γ 射线
8	¹³¹ I	8.02d	液态	中毒	β^-	606keV/ β 射线 364keV/ γ 射线
9	⁸⁹ Sr	50.53d	液态	中毒	β^-	1.495MeV/ β 射线

表 1-5 本项目使用核素诊疗用药情况

场所	使用核素	年最大诊/治疗人数	日最大诊/治疗人数	单人次最大用量	年用量 (Bq)	最大日使用量(Bq)	给药方式
----	------	-----------	-----------	---------	----------	------------	------

SPECT 诊断区	¹³¹ I	1500	6	185MBq (5mCi)	2.78E+11	1.11E+09	静脉注射	
	^{99m} Tc	12000	50	814MBq (22mCi)	9.77E+12	4.07E+10	静脉注射	
PET 诊 断区	¹⁸ F	PET-CT	3750	20	370MBq (10mCi)	1.39E+12	7.40E+09	静脉注射
		PET-MRI	1200	5	370MBq (10mCi)	4.44E+11	1.85E+09	静脉注射
	¹¹ C	250	2	925MBq (25mCi)	2.31E+11	1.85E+09	静脉注射	
	¹³ N	250	2	1110MBq(30mCi)	2.78E+11	2.22E+09	静脉注射	
	¹⁵ O	250	2	1110MBq(30mCi)	2.78E+11	2.22E+09	静脉注射	
甲吸检 查	¹³¹ I	300	10	0.37MBq(0.01mCi)	1.11E+08	3.70E+06	口服	
放免分 析区	¹²⁵ I	2000	10	5次/周, 1个试剂 盒/周, <0.08MBq	2.08E+07	8.00E+04	/	
核医学 科治疗 区	¹³¹ I	甲癌治疗	350	4	7400MBq (200mCi)	2.59E+12	2.96E+10	口服
		甲亢治疗	400	4	1850MBq(50mCi)	7.40E+11	7.40E+09	口服
	⁸⁹ Sr	300	5	148MBq (4mCi)	4.44E+10	7.40E+08	静脉注射	

核医学科制药区每日制药根据核医学科 PET 诊断区的需求核素进行制药, 但是回旋加速器制药过程中存在制药合成效率和衰变损失, 回旋加速器药物制备量计算参数取值及制药量见下表 1-6:

表 1-6 核医学科制药参数取值及制药量

核素 名称	日最多生 产次数	日最大操作 量(Bq)	综合损失 倍数	日最大制药 量 (Bq)	年最大制药 量 (Bq)	质控区日最大 用药量 (Bq)
¹⁸ F	2	9.25E+09	5	4.63E+10	1.16E+13	1.85E+7
¹¹ C	2	1.85E+09	40	7.40E+10	1.85E+13	1.85E+7
¹³ N	2	2.22E+09	40	8.88E+10	2.22E+13	1.85E+7
¹⁵ O	2	2.22E+09	40	8.88E+10	2.22E+13	1.85E+7

表 1-7 放射源基本参数情况

放射源 种类	活度 (Bq)	放射源类 别	放射源数 量	半衰期	辐射类型	辐射最大 能量	备注
⁶⁸ Ge	9.25×10 ⁷ ×1 枚 +4.625×10 ⁸ ×2 枚 1.11×10 ⁸ ×1 枚 +5.55×10 ⁷ ×4 枚	V类	8 枚	29.1a	β射线	E _β =0.546MeV	放射源活度 不能达到要 求时, 联系放 射源厂家更 换放射源
⁶⁰ Co	1.85×10 ¹¹	III	1 枚	5.27a	β射线 γ射线	E _γ =1.332MeV、 E _β =0.318MeV	
⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	9.25×10 ⁷ /枚	V类	750 枚	64.08h	β射线	E _β =0.546MeV	/

(六) 本项目放射性核素及工作场所分级

1、工作场所分级依据

根据中华人民共和国原环境保护部办公厅文件《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), 满足以下 3 个特点的放射性药

物使用场所，应当作为一个单独场所进行日等效操作量核算：A、有相对独立、明确的监督区和控制区划分；B、工艺流程连续完整；C、有相对独立的辐射防护措施。

根据本项目布局特点，本项目所在住院大楼负三层核医学科制药区、负一层核医学科诊断区、一层核医学科治疗区相对独立、有明确的监督区和控制区划分，各个非密封放射性物质工作场所工艺流程连续完整，且各场所有相对独立的辐射防护措施，辐射工作人员也不存在交叉情况。因此，本次将核医学科制药区、核医学科诊断区、核医学科治疗区分别作为一个非密封放射性物质工作场所进行评价。

依据按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C，非密封放射性物质工作场所的分级判据如表 1-8。

表 1-8 非密封放射性物质工作场所分级表

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

放射性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等效最大操作量确定。毒性组别和操作方式与放射源状态修正因子见表 1-9、表 1-10。

表 1-9 放射性核素毒性组别修正因子表

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 1-10 放射性核素操作方式修正因子表

操作方式	放射性物质状态			
	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
简单的操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），非密封放射性物质工作场所应按放射性核素日等效最大操作量的大小分为甲、乙、丙三级，日等效操作量计算公式为：

日等效操作量=实际日操作量×核素毒性因子÷操作方式的修正因子

2、本项目工作场所分级

根据本项目核医学科使用放射性同位素的毒性组别、操作方式和日等效操作量，确定本项目核医学科工作场所级别，具体见表 1-11。

表 1-11 本项目核医学科非密封放射性物质工作场所分级表

工作场所	使用核素名称	日实际最大操作量 (Bq)	毒性组别及其修正因子	操作方式及其修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	场所内最大日等效操作量 (Bq)	工作场所级别	
核医学科制药区	¹⁸ F	4.63E+10	0.01	10	4.63E+07	2.56E+09	乙级非密封放射性物质工作场所	
	¹¹ C	7.40E+10	0.01	1	7.40E+08			
	¹³ N	8.88E+10	0.01	1	8.88E+08			
	¹⁵ O	8.88E+10	0.01	1	8.88E+08			
核医学科诊断区	SPECT 诊断区	¹³¹ I	2.44E+09	0.1	1	1.11E+08	3.48E+08	乙级非密封放射性物质工作场所
		^{99m} Tc	4.10E+10	0.1	100	4.10E+07		
		^{99m} Tc	4.07E+10	0.01	10	4.07E+07		
	PET 诊断区	¹⁸ F	9.25E+09	0.01	1	9.25E+07		
		¹¹ C	3.70E+09	0.01	1	3.70E+07		
		¹³ N	4.44E+09	0.01	1	4.44E+07		
		¹⁵ O	4.44E+09	0.01	1	4.44E+07		
	甲吸检查区	¹³¹ I	3.70E+06	0.1	1	3.70E+05		
放免分析区	¹²⁵ I	8.00E+04	0.1	1	8.00E+03			
核医学科治疗区	¹³¹ I	3.70E+10	0.1	1	3.70E+09	3.77E+09	乙级非密封放射性物质工作场所	
	⁸⁹ Sr	7.40E+08	0.1	1	7.40E+07			

根据表 1-11 可知，本项目三个非密封放射性物质工作场所均为乙级非密封放射性物质工作场所。

(七) 本项目放射性核素及工作场所分类

1、工作场所分级依据

按照《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)附录 G，核医学工作场所分类见表 1-12。

表 1-12 核医学工作场所分类一览表

分类	日操作最大量放射性核素的加权活度/MBq
I	> 50000

II	50~50000
III	<50

放射性同位素加权活度根据其毒性权重因子、操作性质修正因子确定。毒性权重因子见表 1-13、表 1-14。

表 1-13 核医学常用放射性核素的毒性权重因子表

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

表 1-14 核医学常用放射性核素操作性质修正因子表

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

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），核医学工作场所应按日操作最大放射性核素的加权活度的大小分为 I、II、III 类，加权活度计算公式为：

$$\text{加权活度} = \frac{\text{计划的日操作最大活度} \times \text{核素的毒性权重因子}}{\text{操作性质修正因子}}$$

2、本项目工作场所分级

本评价项目核医学场所共有三个乙级非密封放射性物质工作场所的分区，各个工作场所中的各个功能用房可以按照各自的核素日实际操作最大活度以及各核素毒性权重因子、操作性质修正因子核算加权活度，进行场所的辐射防护设计，核算见表 1-15。

表 1-15 各功能区核素加权活度分类

核医学科制药区							
工作场所	核素	毒性权重因子	操作性质修正因子	日操作最大活度(MBq)	放射性核素加权活度(MBq)	总加权活度(MBq)	场所分类
回旋加速器机房、固体靶热室、合成热室	¹⁸ F	1	1	4.63E+04	4.63E+04	1.35E+05	I 类
	¹¹ C	0.01	1	2.78E+04	2.78E+02		
	¹³ N	1	1	4.44E+04	4.44E+04		
	¹⁵ O	1	1	4.44E+04	4.44E+04		
放射性废物暂存间、核素通道、传药梯、	¹⁸ F	1	10	1.85E+01	1.85E+00	5.57E+00	III 类
	¹¹ C	0.01	10	1.85E+01	1.85E-02		

质控室等		¹³ N	1	10	1.85E+01	1.85E+00			
		¹⁵ O	1	10	1.85E+01	1.85E+00			
核医学科诊断区									
SPECT T 诊 断区	储源室、分装 室、注射室	¹³¹ I	100	100	1.11E+03	1.11E+03	4.25E+04	II类	
		^{99m} Tc	100	100	4.10E+04	4.10E+04			
		^{99m} Tc	1	100	4.07E+04	4.07E+02			
	放射性废物暂 存间、 SPECT-CT 机 房、注射后等待 区、观察等候 室、运动负荷室	¹³¹ I	100	10	1.11E+03	1.11E+04	1.52E+04	II类	
		^{99m} Tc	1	10	4.07E+04	4.07E+03			
	患者走廊	¹³¹ I	100	10	1.11E+03	1.11E+04	1.52E+04	II类	
^{99m} Tc		1	10	4.07E+04	4.07E+03				
PET 诊 断 区	储源室、分装 室、注射室	¹⁸ F	1	100	9.25E+03	9.25E+01	1.37E+02	II类	
		¹¹ C	0.01	100	1.85E+03	1.85E-01			
		¹³ N	1	100	2.22E+03	2.22E+01			
		¹⁵ O	1	100	2.22E+03	2.22E+01			
	放射性废物暂 存间、PET-CT 机房、PET- MRI 机房、注 射后等待区、观 察等候室	¹⁸ F	1	10	1.11E+04	1.11E+03	1.56E+03	II类	
		¹¹ C	0.01	10	3.70E+03	3.70E+00			
		¹³ N	1	10	4.44E+03	4.44E+02			
		¹⁵ O	1	10	4.44E+00	4.44E-01			
	患者走廊	¹⁸ F	1	10	1.11E+04	1.11E+03	2.00E+03	II类	
		¹¹ C	0.01	10	3.70E+03	3.70E+00			
		¹³ N	1	10	4.44E+03	4.44E+02			
		¹⁵ O	1	10	4.44E+03	4.44E+02			
甲吸检查区		¹³¹ I	100	1	3.70E+00	3.70E+02	3.70E+02	II类	
放免分析区		¹²⁵ I	100	1	8.00E-02	8.00E+00	8.00E+00	III类	
核医学科治疗区									
工作场所		核素	毒性权 重因子	操作性质 修正因子	日操作最大 活度 (MBq)	放射性核素加 权活度 (MBq)	总加权活度 (MBq)	场所分 类	
储源室		¹³¹ I	甲癌	100	100	2.96E+04	2.96E+04	3.77E+04	II类
			甲亢	100	100	7.40E+03	7.40E+03		
		⁸⁹ Sr	100	100	7.40E+02	7.40E+02			
给药室		¹³¹ I	甲癌	100	1	7.40E+03	7.40E+04	9.40E+04	I类
			甲亢	100	1	1.85E+03	1.85E+04		

	⁸⁹ Sr		100	1	1.48E+02	1.48E+03		
放射性废物暂存间、核医学病房走道、抢救室	¹³¹ I	甲癌	100	10	1.48E+04	1.48E+06	1.88E+06	I类
		甲亢	100	10	3.70E+03	3.70E+05		
	⁸⁹ Sr	100	10	2.96E+02	2.96E+04			
核医学科病房	¹³¹ I	甲癌	100	1	1.48E+04	1.48E+06	1.48E+06	I类

注：①加权活度=（计划最大日操作量×核素的毒性权重因子）/操作性修正因子；②按照《核医学放射防护要求》GBZ 120-2020 表1 的分类依据，加权活度>50000MBq 的属于 I 类工作场所；加权活度 50MBq~50000MBq 的属于 II 类工作场所；加权活度<50MBq 的属于 III 类工作场所；③回旋加速器制药配套其他区域（质控、核素通道、放射性废物暂存等）每日各核素操作量保守按照 100μCi 进行考虑。

（四）本项目外环境及选址合理性

1、选址合理性

本项目所在医院已在“达州市中心医院住院部改扩建二期项目”进行了环境影响评价并取得批复（通环审批[2021]024号，附件9），本项目所在的第三住院大楼选址合理性已在相关环评报告中进行了论述。本项目用地取得了由达州市自然资源和规划局核发的《建设项目选址意见书》（选字第【2019】68号），本项目仅为其配套建设项目，不新增用地，且拟建的各辐射工作场所有良好的实体屏蔽设施和防护措施，产生的辐射经屏蔽和防护后对辐射工作人员和公众的照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求，并满足报告表确定的剂量管理约束值的要求。本项目地理位置图见附图1。

达州市中心医院已建成投用数十年，项目选址周围基础配套设施完善，给排水等市政管网完善，电力、电缆等埋设齐全，为项目建设提供良好条件。

综上，从辐射防护安全和环境保护角度分析，本项目选址是合理的。

2、本项目外环境关系

本项目涉及的辐射工作场所均位于达州市中心医院拟建的第三住院大楼内。第三住院大楼位于医院东南侧，本项目西南侧约25m~50m为丽水翠苑小区；西侧41m~50m为已建高压氧仓；东北侧约5m~30m为已建污水处理站，30m~50m为空地；东侧约17m~50m为南北走向的滨江东路，本项目所在医院外环境关系及平面布局见附图2。

（五）劳动定员及工作制度

劳动定员：本项目共配置辐射工作人员 58 人，均为医院现有辐射工作人员，具体如表 1-16 所示。

工作制度：实行 8 小时工作制，年工作日以 250 天计。

表 1-16 本项目工作人员构成表

功能区域	设备/项目	配备人数	人员构成	
放疗科	10MV 直线加速器	13	医师 5 人、技师 4 人、物理师 2 人、护士 2 人	
	模拟定位装置	5	医师 1 人、技师 3 人、护士 1 人	
	后装机	9	医师 4 人、技师 3 人、物理师 1 人、护士 1 人	
核医学科	核医学科 制药区	回旋加速器制药区	3	化学师 1 人、物理师 2 人
	制药区	质控区	2	化学师 1 人、物理师 1 人
	核医学科 诊断区	PET 诊断区	7	医师 1 人、技师 2 人、护士 4 人
		SPECT 诊断区	7	医师 1 人、技师 2 人、护士 4 人
		敷贴治疗区	2	医师 1 人、护士 1 人
		甲吸检查区	2	医师 1 人、护士 1 人
	核医学科治疗区		8	医师 3 名、护士 5 名

（六）本项目依托的环保工程设施

本项目依托的达州市中心医院拟建第三住院大楼已取得达州市生态环境局关于《达州市中心医院住院部改扩建二期项目环境影响报告书的审查批复》（通环审批[2021]024 号，附件 9）。本项目依托的主要环保设施有：

- （1）项目运营期间产生的污水依托达州市中心医院的污水处理站处理；
- （2）产生的生活垃圾收集后由市政环卫部门统一清运；产生的放射性废物经衰变解控后，作为医疗废物依托院区危废暂存间暂存。

四、原有核技术利用情况

1、医院原有项目辐射安全许可情况

在接到建设单位关于本项目的环评评价委托后，四川省中栎环保科技有限公司对建设单位原有核技术核技术利用情况进行了调查，调查结果如下：

（1）达州市中心医院已取得四川省生态环境厅核发的《辐射安全许可证》（川环辐证[00250]），许可的种类和范围为：使用 I 类、III 类放射源；乙级非密封放射性物质工作场所；使用 II 类、III 类射线装置；发证日期：2020 年 9 月 27 日，有效期至 2025 年 9 月 26 日（附件 3），在有效期内。达州市中心医院已获许可使用的 III 类医用 X 射线装置 28 台，II 类医用 X 射线装置 3 台，III 类放射源 3 枚，非密封放射性物质工作场所 1 个。

2、辐射管理规章制度管理情况

根据相关文件的规定，结合医院实际情况，医院已调整了辐射（放射）安全管

理委员会，并制定有相对完善的管理制度，包括《辐射工作场所安全管理要求》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射安全和防护设施维护维修制度》、《放射源与射线装置台账管理制度》、《场所分区管理规定》、《辐射工作人员培训计划》、《辐射工作设备操作规程》、《辐射工作人员个人剂量管理制度》、《辐射事故处理、应急处置规章制度》、《辐射工作场所和环境辐射水平监测方案》等。建设单位辐射安全管理机构健全，有领导分管，人员落实，责任明确，在落实辐射事故应急预案与安全规章制度后，可满足防护实际需要。对现有场所而言，建设单位也已具备辐射安全管理的综合能力。医院应严格落实台账管理制度，对本次项目建设内容补充完善，并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。

3、医院其他核技术利用情况

(1) 医院向四川省生态环境厅提交了“2020 年度四川省核技术利用单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告”，对医院 2020 年度的辐射场所的安全和防护状况以及辐射管理情况进行了说明。

(2) 据了解，达州市中心医院自取得《辐射安全许可证》以来，未发生过辐射安全事故，具体情况见（附件 2）。

(3) 达州市中心医院现有辐射工作人员318人，目前医院已有229人已取得了辐射安全与防护培训合格证（见附件13）。

(4) 医院具有污水处理站、指定的垃圾集中收集点等环保设施。医院医疗废水和生活污水经过医院现有污水处理站预处理后，达标排放到市政污水管网，进入达州市鲜家坝污水处理厂处理；生活垃圾通过集中收集后，统一由环卫拖运到指定的地方进行集中处理，医疗废弃物由达州佳境医疗废物处理有限公司进行回收处理；衰变池废水经过衰变处理后，排入医院现有的污水处理站进行处理。

综上所述，本项目所在医院无环境遗留问题。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度(Bq)/ 活度(Bq)×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	⁶⁸ Ge	1.02×10 ⁹ /9.25×10 ⁷ ×1+4.625×10 ⁸ ×2	V	使用	PET-CT 校准源	负一层核医学科 PET-CT 机房	负一层核医学科储源室	本次新增
2	⁶⁸ Ge	3.33×10 ⁸ /1.11×10 ⁸ ×1+5.55×10 ⁷ ×4	V	使用	PET-MRI 校准源	负一层核医学科 PET-MRI 扫描室	负一层核医学科储源室	本次新增
3	⁶⁰ Co	1.85×10 ¹¹ /1.85×10 ¹¹ ×1	III	使用	后装机治疗	负三层后装机机房	后装机内	本次新增
4	⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	6.94×10 ¹⁰ /9.25×10 ⁷ ×750	V	使用	敷贴治疗	敷贴治疗室	储源室	本次新增

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大 操作量（Bq）	日等效最大 操作量（Bq）	年最大用 量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与 地点
1	¹³¹ I	液态、半衰期 109.8min	使用	1.11E+09	1.11E+08	2.78E+11	甲吸检查、 影像检查	简单的操作	核医学科 SPECT 诊断区	负一层储源室
2	⁹⁹ Mo	液态、半衰期 66h	使用	4.10E+10	4.10E+07	9.84E+12	制备 ^{99m} Tc	贮存	核医学科 SPECT 诊断区	负一层储源室
3	^{99m} Tc	液态、半衰期 6.02h	使用	4.07E+10	4.07E+07	9.77E+12	影像检查	很简单操作	核医学科 PET 诊断 区	负一层分装室
4	¹⁸ F	液态、半衰期 109.8min	使用	9.25E+09	9.25E+07	1.83E+12	影像检查	很简单操作	核医学科 PET 诊断 区	负一层分装室
5	¹¹ C	液态、半衰期 20.39min	使用	1.85E+09	1.85E+07	2.31E+11	影像检查	简单的操作	核医学科 PET 诊断 区	负一层分装室

6	^{13}N	液态、半衰期 10.0min	使用	2.22E+09	2.22E+07	2.78E+11	影像检查	简单的操作	核医学科 PET 诊断区	负一层分装室
7	^{15}O	液态、半衰期 2min	使用	2.22E+09	2.22E+07	2.78E+11	影像检查	简单的操作	核医学科 PET 诊断区	负一层分装室
8	^{125}I	液态、半衰期 59.4d	使用	8.00E+04	8.00E+03	2.08E+07	放免分析	简单的操作	核医学科诊断区放免分析室	负一层储源室
9	^{131}I	液态、半衰期 8.02d	使用	3.89E+10	3.70E+09	3.33E+12	甲亢、甲 癌治疗	简单的操作	核医学科治疗区	一层储源室
10	^{89}Sr	液态、半衰期 50.53d	使用	7.40E+08	7.40E+07	4.44E+10	骨转移治疗	简单的操作	核医学科治疗区	一层储源室
11	^{18}F	液态、半衰期 109.8min	生产	4.63E+10	3.70E+07	1.16E+13	影像检查	很简单操作	核医学科制药区	医院回旋加速器生产
12	^{11}C	液态、半衰期 20.39min	生产	7.40E+10	7.40E+08	1.85E+13	影像检查	简单的操作	核医学科制药区	医院回旋加速器生产
13	^{13}N	液态、半衰期 10.0min	生产	8.88E+10	8.88E+08	2.22E+13	影像检查	简单的操作	核医学科制药区	医院回旋加速器生产
14	^{15}O	液态、半衰期 2min	生产	8.88E+10	8.88E+08	2.22E+13	影像检查	简单的操作	核医学科制药区	医院回旋加速器生产

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	最大电流 (mA) /剂量率 (Gy/min)	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II	2	待定	电子	最大 X 射线能量 10MV、最大电子束能量 15MeV	X 射线 1m 处剂量率为 6Gy/min 电子线 1m 处剂量率为 6Gy/min	肿瘤治疗	医院第三住院大楼负三层直线加速器机房内	本次拟购
2	回旋加速器	II	1	待定	电子束	最大电子束能量为 11MeV，最大电子束流为 60 μ A	屏蔽体外 1m 处最大中子辐射剂量率为 15.06 μ Sv/h，屏蔽体外 1m 处最大 γ 射线辐射剂量率为 25.15 μ Sv/h	核素制备	医院第三住院大楼负三层回旋加速器机房内	本次拟购

(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	模拟定位装置	III	1	待定	140	800	模拟定位	第三住院大楼负二层模拟定位装置机房	本次拟购
2	PET-CT	III	1	待定	140	800	影像检查与诊断	第三住院大楼负三层 PET-CT 机房	本次拟购
3	SPECT	III	2	待定	130	345	影像检查与诊断	第三住院大楼负三层 SPECT-CT 机房	本次拟购
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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 (mA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氡靶情况			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	排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
核医学科：放射性废水（制药区、工作台面、地面清洁时产生的废水，工作人员产生的清洗废水，受检者产生的废水）	液态	^{131}I 、 ^{125}I 、 ^{89}Sr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F 、 ^{90}Sr - ^{90}Y	898m ³ /a	总 α <1Bq/L 总 β <10Bq/L	放射性废水衰变池暂存	制药区废水暂存 1 个月、 诊断区废水暂存 5 个月、 治疗区废水暂存 6 个月 后排入医院污水处理站
核医学科：放射性固废（沾染放射性药物的注射器、注射针头及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、废活性炭等）	固态	^{131}I 、 ^{125}I 、 ^{89}Sr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F 、 ^{90}Sr - ^{90}Y	1435kg/a	/	放射性废物暂存间暂存	分类收集，达到清洁解控水平后作为普通医疗废物处置；病人服装、被褥重复清洗后使用
退役 ^{68}Ge 、 ^{60}Co 放射源	固态	^{68}Ge 、 ^{60}Co	/	/	不暂存，厂家回收	不暂存，厂家回收
回旋加速器产生的放射性废气	气态	^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F	$2.98 \times 10^6 \text{Bq/d}$	$< 3.31 \text{Bq/m}^3$	经专用通排风系统过滤后排放	排向大气环境
核医学科诊断区放射性废气	气态	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F	$5.62 \times 10^5 \text{Bq/d}$	$< 0.254 \text{Bq/m}^3$	经专用通排风系统过滤后排放	排向大气环境
核医学科治疗区放射性废气	气态	^{131}I	$3.70 \times 10^5 \text{Bq/d}$	$< 0.247 \text{Bq/m}^3$	经专用通排风系统过滤后排放	排向大气环境
感生放射性物质	气态	/	/	/	经专用通排风系统过滤后排放	排向大气环境
加速器产生的臭氧	气态	/	/	$< 0.2 \text{mg/m}^3$	经专用通排风系统过滤后排放	排向大气环境
废弃活性炭	固态	/	200kg/a	/	放射性废物暂存间暂存	暂存，清洁解控后作为普通医疗废物处置
使用完的钨钨发生器、加速器废靶件、准直器、束流阻止器等	固态	/	/	/	放射性废物暂存间暂存	有资质的单位收贮

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/m³，年排放总量用 kg。

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

表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（2014 年 4 月 24 日修订）；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月 29 日修订）；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日实施）；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第 682 号，2017 年 7 月 16 日修订）；</p> <p>(5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，生态环境部 部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(6) 《四川省辐射污染防治条例》（四川省十二届人大常委会第二十四次会议第二次全体会议审议通过，2016 年 6 月 1 日起实施）；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第 449 号令，2019 年 3 月 2 日第二次修订）；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部第 18 号令，2011 年 5 月 1 日实施）；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原环境保护部令第 31 号，2021 年 1 月 4 日修订）；</p> <p>(10) 《射线装置分类办法》（原环境保护部公告 2017 年第 66 号）；</p> <p>(11) 《放射源分类办法》（原国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号）；</p> <p>(12) 《建设项目环境影响评价信息公开机制方案》（环发[2015]162 号）；</p> <p>(13) 《关于建设放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号，原国家环境保护总局、公安部、卫生部文件，2006 年 9 月 26 日）；</p> <p>(14) 《关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知》（环发[2012]77 号，原环境保护部文件，2012 年 7 月 3 日）；</p> <p>(15) 《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 公告 2019 年第 57 号）；</p> <p>(16) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部公告 公告 2021 年第 9 号）。</p>
-------------	--

<p>技术标准</p>	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容与格式》(HJ10.1-2016);</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);</p> <p>(3) 《环境γ辐射剂量率测定规范》(HJ 1157-2021);</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021);</p> <p>(5) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分: 一般原则》(GBZ/T201.1-2007);</p> <p>(6) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011);</p> <p>(7) 《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/T201.3-2014);</p> <p>(8) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020);</p> <p>(9) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020);</p> <p>(10) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019);</p> <p>(11) 《电子辐射工程技术规范》(GB50752-2012);</p> <p>(12) 《医用 X 射线治疗卫生防护标准》(GBZ131-2017);</p> <p>(13) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GBZ11930-2010);</p> <p>(14) 《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》(GBZ/T244-2017);</p> <p>(15) 《公众成员的放射性核素年摄入量限值》(WST613-2018);</p> <p>(16) 《医用放射性固废的卫生防护管理》(GBZ133-2009);</p> <p>(17) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020);</p> <p>(18) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021);</p> <p>(19) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 环评委托书;</p> <p>(2) 达州市通川生态环境局关于《达州市中心医院住院部改扩建二期项目环境影响报告表的批复》(通环审批[2021]024 号);</p> <p>(3) 《辐射安全与防护监督检查技术程序》(原环保部, 2012 年 3 月);</p> <p>(4) 《实用辐射安全手册》, 从慧玲主编, 原子能出版社;</p> <p>(5) 《辐射防护手册》(第一分册、第三分册), 李德平、潘自强主</p>

编，原子能出版社；

(6) 《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)；

(7) 达州市中心医院提供的工程设计图纸及相关技术参数资料。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

本项目产生的电离辐射经实体防护屏蔽和距离衰减后，对公众的影响较小。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》（HJ10.1-2016）中“核技术利用建设项目环境影响评价报告表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”，确定本次评价范围为非密封放射性物质工作场所及医用射线装置使用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。

保护目标

根据本项目确定的评价范围，环境保护目标主要是医院辐射工作人员和周围停留的公众，由于电离辐射水平随着距离的增加而衰减，因此选取离辐射工作场所较近、有代表性的环境保护目标进行分析，具体环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标

项目	保护目标及相对位置	相对方位	保护目标	照射类型	与辐射源最近距离(m)	人数(人/d)	剂量约束值(mSv/a)
放疗科	控制室 1、控制室 2、控制室 3、模拟定位装置控制室内的医护人员	西北侧	职业人员	职业	3.0	27	5.0
	服务器室、设备间的维保人员	西北侧	公众人员	公众	2.5	2	0.1
	水冷机房、恢复室内的维保人员	东北侧	公众人员	公众	3.0	2	0.1
	医生办公室、诊室内的医护人员及维保人员	西北侧	公众人员	公众	4.3	30	0.1
	运营商机房、预留设备用房维保人员及其他人员	正上方	公众人员	公众	4.9	50	0.1
	住院大楼负二层的维保人员及其他人员	上方	公众人员	公众	4.9	200	0.1
	放疗科内的病人及其他人员	周围	公众人员	公众	/	500	0.1
	核医学科制药区	北侧	公众人员	公众	39	20	0.1
	丽水翠苑小区内的居民	西南侧	公众人员	公众	20	600	0.1
核医学科制药	回旋加速器操作间、固体靶热室、合成热室内的工作人员	/	职业人员	职业	0.5	5	5.0
	全质质控室内的工作人员	东南侧	职业人员	职业	0.5	2	5.0

区	制药区的其他工作人员	周围	公众人员	公众	/	10	0.1
	低压配电机房、值班室	正上方	公众人员	公众	4.9	10	0.1
	负二层的其他区域人员	正上方	公众人员	公众	4.9	800	0.1
	负三层其他区域人员	周围	公众人员	公众	/	1000	0.1
核医学科 诊断区	核医学科 SPECT 诊断项目的医护人员	/	职业人员	职业	0.5	7	5.0
	核医学科 PET 诊断项目的医护人员	/	职业人员	职业	0.5	7	5.0
	核医学科诊断区内的维保人员	/	职业人员	职业	1.0	3	5.0
	核医学科办公、值班区域内的医护人员	东北侧	公众人员	公众	1.8	20	0.1
	候诊厅内的候诊人员	西南侧	公众人员	公众	4.0	200	0.1
	日间诊疗病房内的医护人员及患者	西南侧	公众人员	公众	15	100	0.1
	日间诊疗病房区域内办公区域的医护人员及及其他人员	西侧	公众人员	公众	24	30	0.1
	负一层的其他人员	周围	公众人员	公众	/	200	0.1
	核医学科治疗区内的医护人员	上方	职业人员	职业	6.0	10	5.0
	核医学科治疗区内的维保人员	上方	公众人员	公众	6.0	2	0.1
	第三住院大楼一层的其他人员	上方	公众人员	公众	6.0	2000	0.1
	第三住院大楼负二层的流动人员及其他人员	下方	公众人员	公众	5.0	850	0.1
	核医学科 治疗区	核医学科治疗区内的医护人员	/	职业人员	职业	0.5	8
核医学科治疗区内的维保人员		/	职业人员	职业	1.0	2	5.0
医保科集中办公区内的医护人员及维保人员		西南侧	公众人员	公众	10	15	0.1
收费、候诊、诊室内的医护人员及其他人员		东南侧	公众人员	公众	5.0	500	0.1
第三住院大楼一层的其他人员		周围	公众人员	公众	/	200	0.1
第三住院大楼负一层核医学科诊断区内的医护人员、维保人员		下方	职业人员	职业	6.0	200	5.0
第三住院大楼负一层的其他人员		下方	公众人员	公众	6.0	1800	0.1
第三住院大楼外的流动人员		周围	公众人员	公众	/	3000	0.1
污水处理站内的维保人员		东北侧	公众人员	公众	10	5	0.1
第三住院大楼 2 层~13 层内的医护人员、患者、维保及其他人员		上方	公众人员	公众	5.4	5000	0.1
外科大楼及内科大楼内的人员	北侧	公众人员	公众	5.4	800	0.1	
其他区域	本项目评价范围内的其他区域	周围	公众人员	公众	/	2000	0.1
评价标准							

一、环境质量标准

- (1) 大气环境质量执行《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 二级标准；
- (2) 地表水环境质量执行《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) III类标准；
- (3) 声环境执行《声环境质量标准》(GB3096-2008) 2 类标准。

二、污染物排放标准

- (1) 大气污染物排放执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 二级标准；
- (2) 水污染物：本项目污水排入院区设置有污水处理站处理后达到执行《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005) 中表 2 (综合医疗机构和其他医疗机构) 的预处理排放标准；
- (3) 噪声：①施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011) 中标准限值；②运营期执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 2 类标准；
- (4) 固废：《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB 18599-2020)、《医疗废物处理处置污染控制标准》(GB39707-2020)。

三、电离辐射剂量

职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 第 4.3.3.1 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。

本项目环评取上述标准中规定的职业照射年有效剂量限值的 1/4 (即 5mSv/a) 作为职业人员年剂量约束值。

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。

本项目环评取上述标准中规定的公众年有效剂量限值的 1/10 (即 0.1mSv/a) 作为公众的年剂量约束值。

四、辐射工作场所边界周围剂量率控制水平

1、放射治疗机房

根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198—2021），治疗（直线加速器、后装机）机房周围和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平采用以下方法来进行确定：

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

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

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

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

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

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

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

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

c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100 \mu\text{Sv/h}$ 加以控制。

2、X 射线诊断装置机房

参照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）有关规定，本项目 III 类医用射线装置使用场所在距离机房屏蔽体外表面 30cm 外，周围辐射剂量率应满足：控制目标值不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

3、操作非密封放射性物质工作场所

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1198-2021），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 μ 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；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 μ Sv/h。

五、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》（GB18871-2002）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 (Bq/cm ²)
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	40
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		0.4

六、表面污染解控

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B2 表面污染控制水平：“工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 B11 中所列设备类的控制水平的五分之一以下时（即 0.8Bq/cm²），经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用”。

七、放射性废物清洁解控水平

表 7-3 本项目涉及放射性核素的清洁解控水平

核素	活度浓度 (Bq/g)	活度/Bq
⁹⁹ Mo	1E+02	1E+06
^{99m} Tc	1E+02	1E+07
¹³¹ I	1E+02	1E+06
⁸⁹ Sr	1E+03	1E+06
¹⁸ F	1E+01	1E+06
¹¹ C	1E+01	1E+07

¹³ N	1E+02	1E+09
¹⁵ O	1E+02	1E+09

备注：其中 ¹¹C、¹³N 摘自《国际辐射防护和辐射源安全的基本安全标准》表I-1，其他核素摘自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“附录 A 中表 A1”。

八、放射性废水排放标准

1、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；

2、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 GB18871 中 8.6.2“不得将放射性废液排入普通下水道,除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液,方可直接排入流量大于 10 倍排放注量的普通下水道,并应对每次排放做好记录:①每月排放的总活度不超过 10ALImin (ALImin 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者);②每一次排放的活度不超过 1ALImin,并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗”规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 浓度不大于 1Bq/L、总 β 浓度不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

3、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 GB18871 附录 A 表 A1 的要求。

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

九、放射性固废排放标准

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 Bq/cm²、 β 表面污染小于 0.8 Bq/cm² 的,可对废物清洁解控并作为医疗废物处理:

①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;

②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;

③含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

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

3、固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

十、放射性废气排放管理

参照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）第 5.2.4 款，合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s，排气口应高于本建筑屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目位置、布局和周边环境

本项目选址于达州市通川区南岳庙街56号达州市中心医院拟建第三住院大楼，根据现场踏查，本项目的周边环境关系如下：

本项目涉及的辐射工作场所均位于医院待建的第三住院大楼内，第三住院大楼位于医院东南侧，本项目西南侧约25m~50m为丽水翠苑小区；西侧41m~50m为已建高压氧仓；东北侧约5m~30m为已建污水处理站，30m~50m为空地；东侧约17m~50m为南北走向的滨江东路。根据医院设计图纸，医院拟建放疗中心、核医学科制药区、核医学科诊断区、核医学科治疗区均位于待建的第三住院大楼，目前大楼暂未开工建设。

项目现场情况见图8-1。



拟建的医院第三住院大楼场址现状

图 8-1 项目现场照片

二、监测方法及仪器

为掌握项目所在地的辐射环境现状，评价过程中，四川省中栎环保科技有限公司委托四川省永坤环境监测有限公司于 2021 年 10 月 12 日对项目拟建场所进行了现场监测，监测报告见附件 12，其监测项目、分析方法及来源见表 8-1。

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
X-γ辐射剂量率	《环境γ辐射剂量率测定规范》	HJ 1157-2021

	《辐射环境监测技术规范》	HJ 61-2021
β表面污染	《表面污染测定第一部分β发射体（最大β能量大于 0.15MeV）和α发射体》	GB/T14056.1-2008

监测使用仪器及环境条件见表 8-2。

表 8-2 监测使用仪器表

监测项目	监测设备			使用环境
	名称及编号	测量范围	检定/校准情况	
环境 X-γ辐射剂量率	AT1123 型 X-γ剂量率仪 编号： YKJC/YQ-36	50nSv/h~10Sv/h 15keV~10MeV	检定/校准单位： 中国计量科学研究院 检定/校准有效期： 2021.03.22~2022.03.21 校准因子：0.99	天气：阴 温度： 17℃ 湿度：85%
α、β表面污染	CoMo170 表面污染监测仪 编号： YKJC/YQ-06	表面发射率响应 $R_{\alpha}=0.37$ $R_{\beta}=0.46$	检定/校准单位： 中国测试技术研究院 检定/校准有效期至： 2021.07.23~2022.07.22	

三、质量保证

四川省永坤环境监测有限公司，通过了计量认证，具备完整、有效的质量控制体系。

(1) 计量认证

从事监测的单位四川省永坤环境监测有限公司通过了原四川省质量技术监督局的计量认证（计量认证号：182312050067）。

(2) 仪器设备管理

①管理与标准化；②计量器具的标准化；③计量器具、仪器设备的检定。

(3) 记录与报告

①数据记录制度；②报告质量控制。

四、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；测量方法按国家相关标准实施；测量不确定度符合统计学要求；布点合理、人员合格、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。

具体监测结果如下所述：

表 8-3 拟建辐射工作场所及周围环境 X-γ辐射剂量率 单位：μSv/h

编号	监测位置	X-γ辐射剂量率	
		测量值	标准差

1	拟建第三住院大楼所在位置	110	5.1
2	拟建第三住院大楼西侧高压氧仓办公楼	108	1.6
3	拟建第三住院大楼西南侧丽水翠苑	103	1.6
4	拟建第三住院大楼东南侧滨河东路人行走道	100	1.6
5	拟建第三住院大楼西北侧污水处理站	101	0.8
6	拟建第三住院大楼西北侧天使花园小区旁	102	1.1
8	拟建第三住院大楼北侧外科大楼旁	103	1.6

表 8-4 拟建核医学科工作场所及周围环境 β 表面污染水平监测结果 单位: Bq/cm²

编号	监测位置	β 表面污染水平
1	拟建第三住院大楼所在位置	<LLD β
2	拟建第三住院大楼西侧高压氧仓办公楼	<LLD β
3	拟建第三住院大楼西南侧丽水翠苑	<LLD β
4	拟建第三住院大楼东南侧滨河东路人行走道	<LLD β
5	拟建第三住院大楼西北侧污水处理站	<LLD β
6	拟建第三住院大楼西北侧天使花园小区旁	<LLD β
7	拟建第三住院大楼北侧外科大楼旁	<LLD β

注: β 表面污染探测下限 $LLD_{\beta}=1.14\times 10^{-1}Bq/cm^2$

由表 8-3 监测结果可知, 项目所在区域的 X- γ 辐射空气吸收剂量率背景值为 100~110nSv/h, 在普通生活环境状态下, 辐射环境权重因子按 1 进行考虑, 则拟建场所内 γ 辐射剂量率背景值为 100~110nGy/h。根据四川省生态环境厅发布《2020 年四川省生态环境状况公报》(2021 年 5 月), 本项目拟建区域内空气吸收剂量率水平与公报中全省环境电离辐射水平 ($\leq 130nGy/h$) 基本一致, 属于当地正常天然本底辐射水平。

由表 8-4 监测结果可知, 项目拟建核医学科场所周围环境 β 表面污染检测结果均低于检测限值。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、施工期

本项目辐射工作场所土建工程属于“达州市中心医院住院部改扩建二期项目”建设内容之一，其施工期环境影响包含在《达州市中心医院住院部改扩建二期项目环境影响报告书》中，批复文号为通环审批[2021]024号（附件9）。

本项目机房还需进行设备安装、管线敷设、铅玻璃窗、铅防护门及其他环境保护设施的安裝，核医学科治疗区病房、PET-MRI机房、PET-CT机房、SPECT-CT机房等还将进行硫酸钡抹面，施工期将产生少量扬尘、噪声、生活污水及固体废物。施工期工艺流程及污染物产生环节见图9-1。

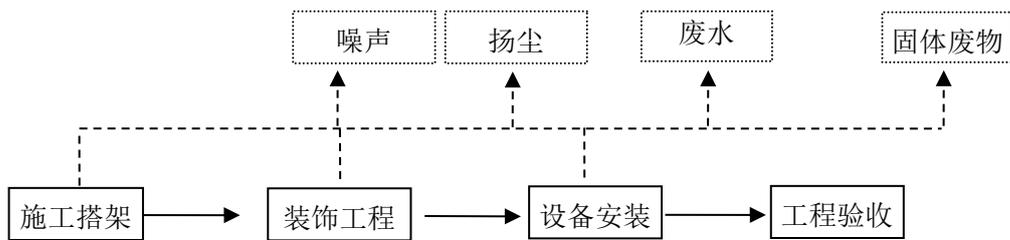


图 9-1 施工期工艺流程及污染物产生环节图

1、扬尘

施工过程中产生的扬尘，主要是装修过程中产生的扬尘，属于无组织排放，在主体墙体粉刷装饰后，设备安装及管线敷设过程中几乎不产生扬尘。

2、噪声

由于主体工程施工期间已预留有管线沟槽，施工期噪声主要为装修产生的噪声，由于施工范围小，施工期较短，项目通过合理布局，合理安排施工时间，建筑隔声选用低噪设备等措施后，施工噪声对周围环境的影响较小。

3、固体废物

施工过程中，固体废物主要为主体施工、装修和设备安装过程中，产生的固体垃圾主要为建筑弃渣、废砂石、废木料、废纸皮等；施工过程中产生的生活垃圾。项目产生的建筑垃圾由施工单位集中分类收集，运送到指定的建筑垃圾堆放场；生活垃圾通过集中收集后，运送到环卫部门指定的临时转运点，由环卫部门转运处理；

包装垃圾通过集中分类收集，由废品回收站进行处理。因施工量较小，施工周期较短，对周围环境的影响较小。

4、废水

本项目施工期废水主要为施工人员的生活污水，生活污水经预处理池（化粪池）处理后排入城市污水管网。

二、运营期

（一）放疗科

1、直线加速器工艺分析

（1）设备组成及工作原理

本项目医用直线加速器属治疗类射线装置，主要用于肿瘤病人的放射性治疗，其治疗机理是根据肿瘤的不同情况通过模拟定位，采用 X 射线束（深部治疗）进行照射，使细胞分裂和代谢遭到破坏，杀死或者抑制细胞的繁殖生长，从而达到治疗的目的。物理师对肿瘤病人治疗计划设计时，严格按照相关标准，为病人的正常组织和医务人员的受照剂量进行计算-复核-模拟检测-实施中监测和健康监护等，并做好照射记录。根据病灶位置与性质及目的不同，给予的照射总剂量有所不同；治疗方法不同，给予的每野次剂量亦不同。

医用直线加速器的核心部位由电子枪、加速管和束流控制三个主要部分组成，由于直线加速器结构简单、造价低、不使用放射源，目前已成为医院放射治疗的主要手段。医院拟购买 10MV 直线加速器 2 台，属 II 类射线装置，其结构图见图 9-2，具体参数见表 9-1；

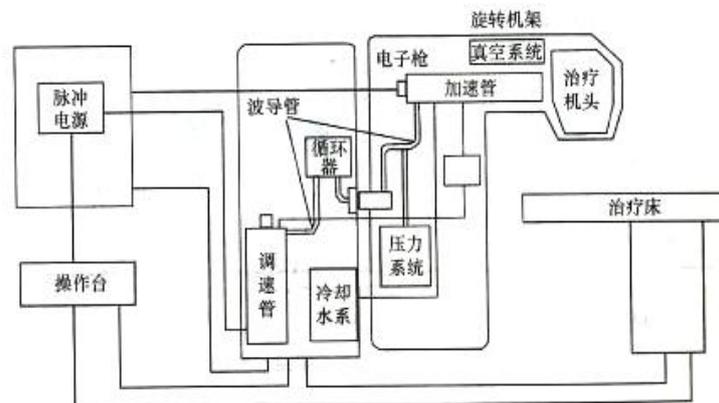


图 9-2 医用直线加速器结构示意图

表 9-1 10MV 医用直线加速器参数

厂家、型号	待定
最大 X 射线能量	10MV
最大电子线能量	15MeV
X 射线泄漏率	≤0.1%
X 射线 1m 处最大剂量率	6Gy/min
电子束 1m 处最大剂量率	6Gy/min
治疗角	0-360°
正常治疗距离	100cm
主射线最大出束角度	28°
最大照射野 (SSD=1 米)	40cm×40cm

(2) 项目流程及产污环节

直线加速器治疗流程为：病人进行放射治疗的确诊并向患者告知可能受到辐射危害→职业人员佩戴个人剂量计，携带个人剂量报警仪→模拟定位（CT 机）、进行体表标记→制定治疗计划、确定照射位置和剂量→病人进入加速器机房→关闭屏蔽门并开启安全联锁→加速器出束治疗、实施治疗→治疗完毕。本项目所使用的直线加速器治疗流程及产污位置见图 9-3。

通过分析可知，产污环节为：模拟定位时产生的 X 射线，加速器治疗过程中产生的 X 射线、电子线、臭氧以及风机、水冷机房水泵产生的噪声。

年出束时间：根据医院提供资料，医院全年最大治疗患者 19200 名，每名患者治疗时间 1~3min，则本项目电子加速器年最长出束时间约 480h/台。

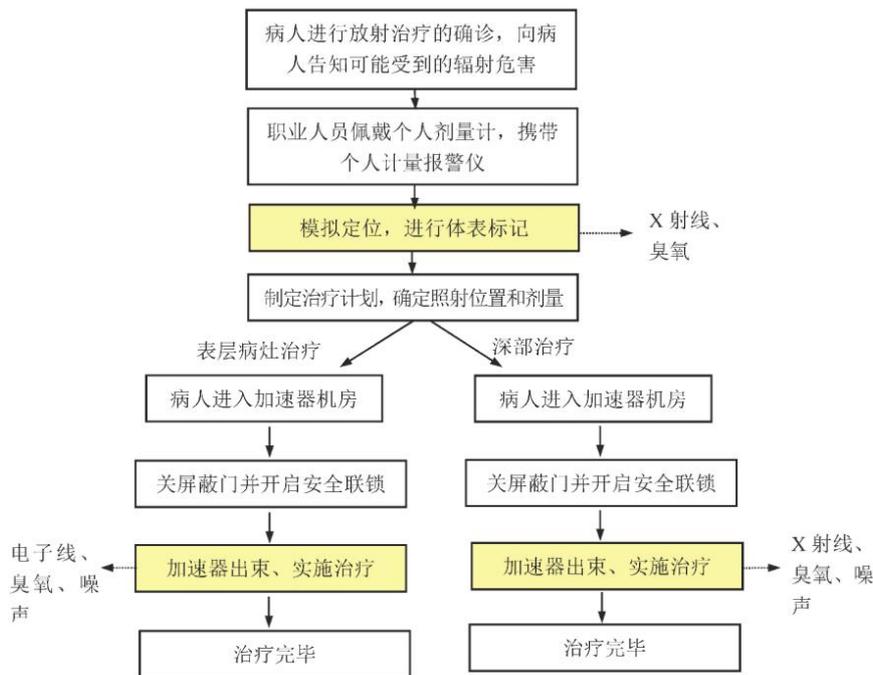


图 9-3 医用电子直线加速器治疗流程及产污环节图

2、后装机工艺分析

(1) 设备组成及工作原理

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，按计划由电脑控制进行照射治疗，照射完毕即自动将放射源收回到贮源器内。

后装机是采用后装技术（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，本项目用于腔内肿瘤的后装治疗。

(2) 主要技术参数

放射源种类： ^{60}Co

放射源数量及活度：本项目后装机内含有 1 枚 ^{60}Co 放射源，出厂活度为 $1.85 \times 10^{11} \text{Bq}$ (5Ci)，属 III 类放射源。

表 9-2 ^{60}Co 放射源的主要参数

核素	半衰期	毒性	γ 光子能量	空气比释动能常数	十分之一值层厚度
^{60}Co	5.27 年	高毒	1.17MeV 与 1.33MeV, 平均为 1.25MeV	0.308 $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	混凝土: 218mm, 铅: 41mm

年出束时间：根据医院提供资料，医院全年最大治疗患者 2400 名，每名患者治疗时间 5~10min，后装机年出源治疗最长时间约 400h。

换源频率：5~8 年更换一次。

(3) 操作流程

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肿瘤科预约登记，以确定模拟定位和治疗时间。

②预约病人首先通过模拟定位装置进行肿瘤定位，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，肿瘤病人进入机房，技师实施摆位，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。

本项目后装机贮源装置安装在机房内，驱动装置控制系统安装在控制室内，在对病人进行治疗时由辐射工作人员在控制室隔室操作。

后装机的治疗过程及其产污环节见图 9-4。

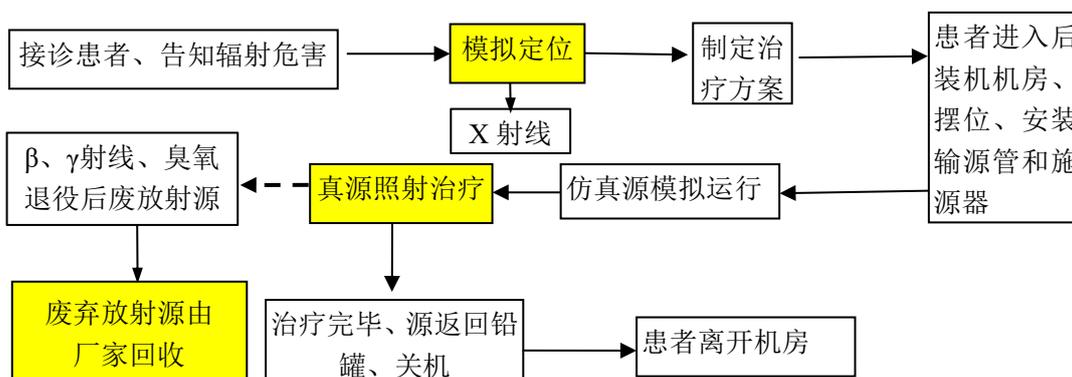


图 9-4 后装机治疗工艺流程及产污环节图

(4) 污染因子

主要污染因子为β射线、γ射线及治疗过程中产生的少量臭氧和退役后的废放射源。根据医院实际治疗情况，医院购买的后装治疗设备首次导源由厂家负责，后期放射源的购买由医院申购，向四川省生态环境厅提交《放射性同位素转让审批表》，购买后，委托有资质的单位派专业技术人员更换放射源，退役后的废放射源由放射源生产厂家进行回收处理，废放射源不在医院内暂存。

3、人流、物流路径规划

(1) 直线电子加速器治疗

1) 工作人员路径：辐射工作人员先进入模拟 CT 控制室，然后进入模拟 CT 机房，协助患者进行模拟定位工作，模拟定位完成后，进入直线加速器机房协助患者进行摆位，摆位后进入操作室，待患者治疗完毕后，离开工作区域，沿走廊原路返

回。

2) 患者路径: 患者根据安排的时间由候诊大厅先进入模拟 CT 定位机房进行体表标记, 标记完成后, 进入直线加速器机房, 根据指定的治疗计划和方案进行出束治疗, 治疗完毕后, 通过迷道离开机房, 沿走廊离开返回至候诊大厅, 乘电梯离开治疗区域。

(2) 后装机治疗

医护人员路径: 从控制室通过后装机机房防护门经迷路进入后装机机房, 指导病人摆位、安装输源管和施源器后沿原路返回控制室。

病人路径: 从候诊区通过后装机机房防护门经迷路进入后装机机房接受治疗, 治疗完成后离开后装机机房。

放疗科医护人员和病人路径如下图所示。

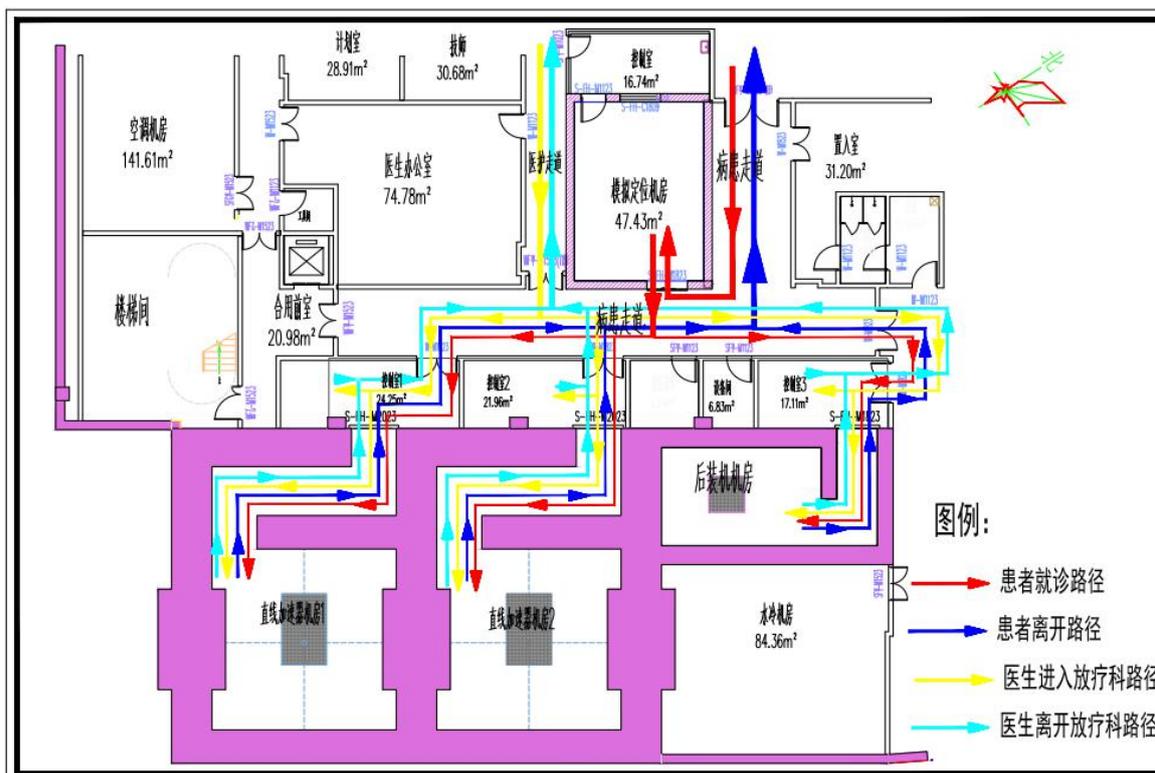


图 9-5 放疗科区域人流、物流路径示意图

(二) 核医学科

1、核医学科制药

(1) 回旋加速器技术参数

设备数量：1台；型号：待定；能量： $\leq 11\text{MeV}$ ；束流： $\leq 60\mu\text{A}$ 。

(2) 制药规划

回旋加速器药物制备项目，每年工作 250 天，每周工作 5 天。根据 PET 诊断项目的临床使用需求，生产 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 。 ^{18}F 为主要使用核素，每个工作日都进行核素生产，各核素最大日产量及其相关技术参数见表 9-3。

表9-3 拟制备放射性核素的相关信息

核素	物理状态	毒性	半衰期	日产额 (Bq)	主要射线和能量 (MeV)
^{18}F	液态	低毒	109.8min	4.63E+10	$\gamma 0.511$
^{11}C	液态	低毒	20.39min	7.40E+10	$\gamma 0.511$
^{15}O	液态	低毒	2min	8.88E+10	$\gamma 0.511$
^{13}N	液态	低毒	10min	8.88E+10	$\gamma 0.511$

(3) 回旋加速器设备组成

回旋加速器一般由磁场系统、射频系统、真空系统、离子源系统、束流提取系统、诊断系统、靶系统和冷却系统等组成，各系统的主要作用如下：

磁场系统：由上下磁轭、线路极片、磁场线圈、磁场电源等组成，其作用就是提供偏转力使束流维持在上下磁极之间中心平面的准环形轨迹上。磁场线圈使束流在上下磁极之间加速。磁场非匀场，而是采用深谷设计，对束流粒子在加速的中心层面提供了强聚焦力，引导粒子返回中心层面，产生高的束流引出效率。

射频系统：包括监测与控制元件、频率合成器、中级放大器、RF 电源振幅器、共轴透射线、耦合网络和 D 型盒结构等，其作用就是对 D 型盒提供一交替的高电压电势，并将能量转至 H 离子。随着束流加速得到能量，其轨道半径逐渐增加，这种轨迹被称为准螺旋形。当束流到达提取半径时，其能量也将达到预定能量。正常工作时，射频频率自动受 RF 控制元件调整以维持 D 型盒结构的共振。

真空系统：包括真空室、排气泵、仪表和控制元件等。真空仪表和控制元件用于监测并显示真空室的压力以及在系统出现故障时对仪器起到保护作用。真空室需要连续不断地抽气以排除来源于离子源及真空室内表面的气体。

离子源系统：包括离子源、ARC 源、偏向电源与氢气流量控制器等。离子源产生 H 离子，在正常操作中不需要进行调试或干预性操作。离子源存在电势差，用于电离氢气形成等离子浓聚体。进入离子源的氢气流量由电子质流控制器调控以与变化的离子源和加速器运行条件相匹配。等离子体的电源（或 ARC）由电流调节的开

关型电源提供，在正常运行时，控制系统调节离子源的 ARC 电流以维持期望的靶电流。

束流提取系统：包括一个或者两个束流提取器，其作用就是当 H⁻通过碳提取膜时，剥离其与氢核结合松散的两个电子，从而使束流由负电性变成正电性。

靶系统：是完成特定核反应而产生正电子核素的装置，一般包括靶体、准直器、靶膜、管路阀门等。靶材料包括液态、气态和固态靶三种类型，其中气态靶是由气瓶间通过管道自动输送到回旋加速器；固体靶是装在靶面板上，可重复使用；液态靶（制备 ¹⁸F、¹⁵O、¹³N）需要工作人员定期进入回旋加速器机房添加靶水。

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

化学合成系统：该系统包括合成分装模块以及相应的仪器设备，用于合成和分装核素的药物。回旋加速器生产的放射性药品通过固体靶热室打靶产生的放射性核素由屏蔽输送管道直接输送到合成热室内的合成分装模块中，由自动合成装置进行药物合成，化学合成系统是在计算机控制下自动化完成药物的合成。

（4）回旋加速器制药原理

回旋加速器通过电流和磁场使带电粒子得到加速轰击靶核后引起的核反应生产放射性核素。在回旋加速器中心部位的离子源（IonSource）经高压电弧放电而使气体电离发射出粒子束流，该粒子束流在称为 Dees 的半圆形电极盒（简称 D 型盒）中运动。D 型盒与高频振荡电源相联为加速粒子提供交变的电场。在磁场和电场的作用下被加速的粒子在近似于螺旋的轨道中运动飞行。带电粒子经多次加速后，圆周轨道直径达到最大而接近 Dees 的边缘并具有最大的能量，在该点粒子经过束流提取系统的剥离碳膜。被加速的负粒子在通过碳膜期间被脱去二个电子，变成带正电的阳离子，此时，在磁场中粒子的运行轨道是逆时针方向偏转，直接将具有最大能量的带电粒子从真空室引出，通过调整提取膜的位置使引出的束流引导进入所确定的同位素生产靶系统，以一定的初始速度轰击靶体内填充的物质引发核反应。根据靶物质的不同，该系统在离子加速打靶后可完成临床上所需要的 ¹¹C、¹⁸F 等放射性同位素。其中 ¹⁸F 是目前临床使用标记示踪剂最多的正电子放射性核素。**回旋加速器工作原理见图 9-6。**

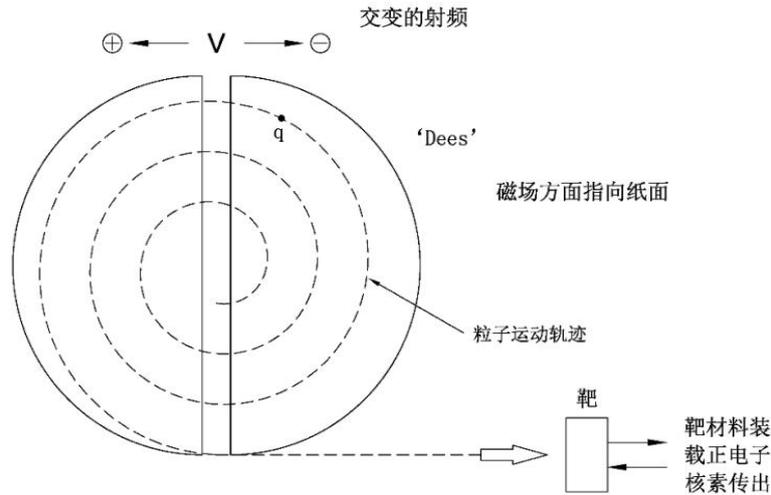


图 9-6 回旋加速器工作原理示意图

(5) 回旋加速器制药工艺流程

回旋加速器可完成临床上所需要的 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 等放射性同位素，其中 ^{18}F 是目前临床使用标记示踪剂最多的正电子放射性核素。回旋加速器制药主要包含药物制备、固体靶提纯、药物合成分装、药物质控、药物传递五个流程。

① 药物制备

医院核医学科 PET 诊断区提前一天根据患者预定的药物数量，向回旋加速器室预定安排第二天的放射性药物生产量。回旋加速器运行期间，工作人员不进入加速器室内，仅在加速器控制室内操作。回旋加速器在每次正式制备放射性同位素前均进行预处理，先清洗靶并用纯氦吹干药物传递管道，然后注入靶物质，以一定的束流轰击一定时间（视所需制备量而定）后，将制备的核素通过专用防护管道系统，在氦气推动下输送至合成热室的药物合成器内。其中 ^{18}F 制备核反应如下，生产采用液体靶。



生产前对回旋加速器进行调试，根据需要生产的放射性核素种类设置相应参数。回旋加速器运行期间，工作人员不进入回旋加速器室内，仅在控制室操作。核素生产时间为平均为 2.5h/次。

产污环节：回旋加速器在生产核素的同时伴随产生大量中子，成为瞬时辐射源，由于高能带电粒子直接轰击加速器有关部件导致有关原件被活化从而产生中子活化产物，中子在慢化吸收过程中产生高能射线和放射性废物，另外回旋加速器长期运行会产生废靶。加速器室内的空气受中子照射后生成放射性活化气体，主要有 ^{11}C 、

^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar 等感生放射性物质，以及回旋加速器在开机时会产生少量的非放射性有害气体，主要是臭氧和氮氧化物。

②放射性药物提纯分装

回旋加速器机房的核素离子生产完成后，通过专门的防护管道系统传输到热室内的相应模块箱中，放射性核素在洁净固体靶模块中进行自动提纯，放射性药品在固体靶热室模块中完成提纯完成后，再在相应模块箱中进行分装。放射性药品在提纯、合成、分装过程中，无需人员干预，均采用计算机程序自动控制。

产污环节：药物提纯、合成、分装过程中核素衰变发出 β^+ 射线、因发生正电子湮灭而产生的 γ 射线、合成分装模块内药物的挥发产生含放射性核素的废气。

③药物质控

放射性药物生产完成后，工作人员进入合成热室将合成分装模块内装有少量质检药物的铅罐取出，经传递窗送至外包间，再由外包间工作人员通过核素通道送至质控室进行质量检验，质控室设通风橱，工作人员在通风橱内将待检药物注射器吸取微量抽检样品，检验药物的 pH 值、形态等，经检验满足《药品管理法》和《放射性药品管理办法》等相关法律法规要求后，方开展后续工作。

产污环节：药物质控过程中核素衰变发出 β^+ 射线；因发生正电子湮灭而产生的 γ 射线；操作过程中可能会引起工作场所（工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等）产生放射性沾污，造成放射性表面污染；发生药品泄露后医务人员去污、应急洗消、场所清洗时可能产生少量放射性废水；通风橱药物的挥发产生含放射性核素的废气；作业产生废棉签、口罩、手套等放射性固废。

④传递

PET 药物制备完成后，工作人员进入热室将合成分装模块内装有药物的铅罐取出，将放射性药物放置到不锈钢长臂小车上，通过核素通道送入专用传药梯，通过电动传药梯进入负一层 PET 诊断区。

⑤工艺流程汇总

以上整个过程（提纯、合成、分装）为计算机全自动控制，工作人员不进入机房内参与操作，只是监控整个过程的执行情况，质控环节由工作人员在通风橱内操作。回旋加速器生产场所流程及污染物产生环节见图 9-7 所示。

图 9-7 回旋加速器制药场所流程及产污环节图

2、核医学科诊断区

达州市中心医院拟在第三住院大楼核医学科 SPECT 诊断区内，使用 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 两种放射性核素，用于显像诊断；在 PET 诊断区内拟使用 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 四种放射性核素，用于显像诊断；在甲吸室内使用 ^{131}I ，用于甲吸检查；在敷贴治疗室内使用放射源 ^{90}Sr - ^{90}Y 用于敷贴治疗；在核医学科治疗区使用放射性核素 ^{131}I 、 ^{89}Sr ，其中 ^{131}I 用于甲癌治疗和甲亢治疗， ^{89}Sr 用于骨转移治疗。

拟在 PET-CT 机房内使用 1 台 PET-CT，配套使用 3 枚 ^{68}Ge 校准源，活度为 $9.25 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$ 枚 + $4.625 \text{Bq} \times 10^8 \times 2$ 枚，均属于 V 类放射源；拟在 PET-MRI 机房内使用 1 台 PET-MRI，配套使用 5 枚 ^{68}Ge 放射源， $1.11 \times 10^8 \text{Bq} \times 1$ 枚 + $5.55 \times 10^7 \text{Bq} \times 4$ 枚，均属于 V 类放射源；SPECT-CT 不使用校准源。

(1) SPECT 诊断工艺分析

1) 钼铯发生器淋洗原理

本项目显像诊断使用的铯-99m 由钼铯发生器淋洗而成，该发生器属于裂变色层发生器，基本部件是钼酸铯柱/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。铯-99m 由钼酸铯柱内钼-99 不断衰变产生，并被钼酸铯柱吸附，当加入适当的淋洗剂时，铯-99m 便以 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 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，一般情况下，发生器每隔 23 小时可淋洗一次，发生器发生器的内部结构及实景见图 9-8。

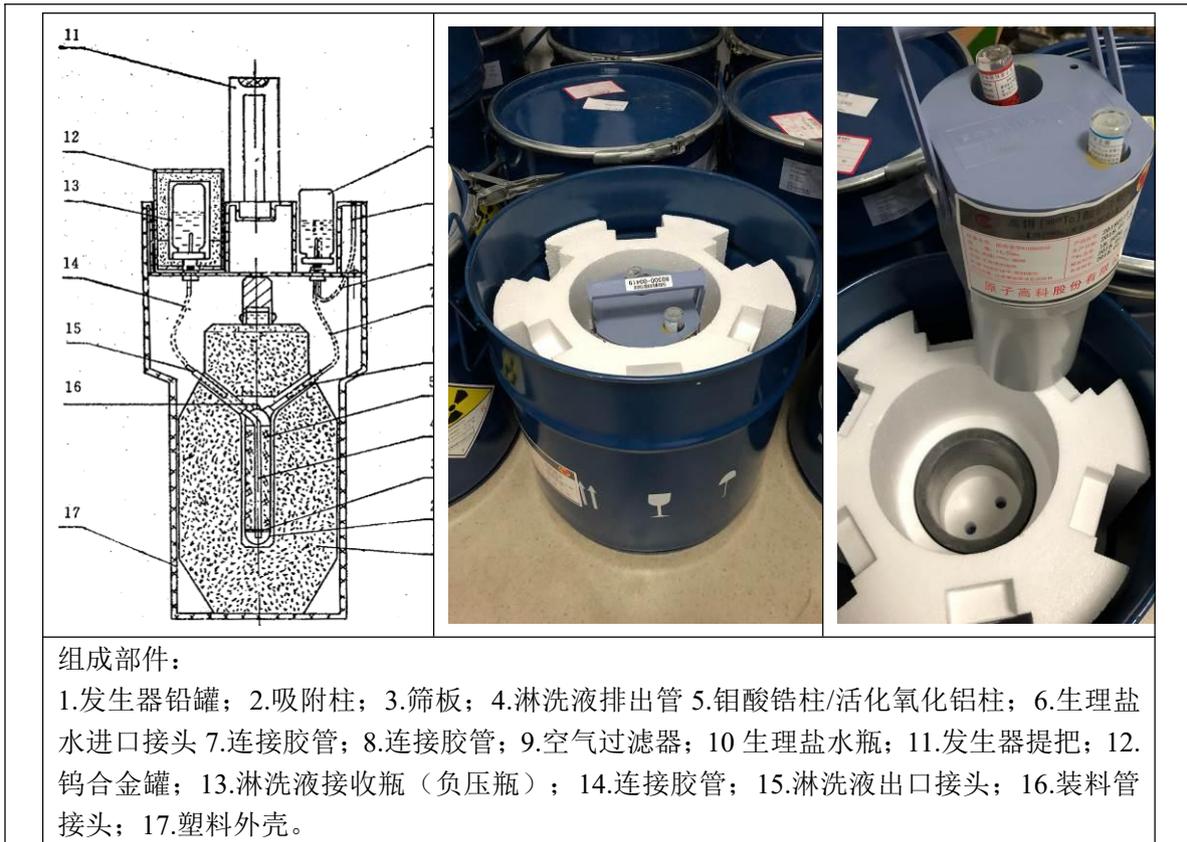


图 9-8 发生器的内部结构及实景图

2) 设备组成及工作原理

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

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

图 9-9 SPECT 诊断项目的工作流程与产污环节图

3) 工作流程及产污环节

①诊断规划

SPECT 诊断项目正式开展后,使用 2 台 SPECT-CT 开展工作,每年工作 250 天,每周工作 5 天,每天工作 8h,拟使用钼铯发生器制备 ^{99m}Tc 。2 台 SPECT-CT 开展 ^{99m}Tc 核素每日最多诊断 50 人; ^{131}I 为核医学科治疗区甲癌、甲亢项目出院前患者诊断,日患者最多为 8 人。

②工作流程

A、药物制备

本项目计划使用放射性核素 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 进行 SPECT 诊断检查,所使用的 ^{99m}Tc 核素为外购钼铯发生器制备而来。工作人员根据临床诊断所需药物 ^{99m}Tc 的使用量通过钼铯发生器在 SPECT 诊断区分装内进行制备和分装,钼铯发生器暂存于 SPECT 诊断区储源室内; ^{131}I 为核医学科治疗区内服药/注射后出院前的检查。

药物制备流程:

a、先把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:测量活度铯-99m 在分装室通风橱内进行,由负责标记的工作人员完成。工作人员用注射器吸取上一步制得的少量淋洗液,垂直放入活度计中,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:标记铯-99m 在分装室通风橱内进行,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分装室通风橱内。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。

B、注射

病人给药采用注射方式进行给药，工作人员（作好防护措施，穿铅衣、铅手套等）将装有放射性药物的铅罐转移至注射室注射窗口操作台，注射室内的注射窗口操作台安装 10mm 铅当量含铅防护窗，注射药物时，工作人员从铅罐内吸取药物进行注射。

C、扫描诊断

病人注射后在 SPECT 休息室内静躺候诊（注射药物候诊时间为 15min），待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 SPECT-CT 机房。医生在控制室内进行语音提示摆位，必要时进入机房指导（个别病人需医生进入机房进行现场摆位），摆位完成后离开机房返回控制室。医生隔室操作对患者进行 SPECT 扫描诊断，SPECT-CT 机房每次扫描 15min。扫描完成后病人在观察等候室等候 15min 后，确定无不良反应后，从患者出口离开核医学科。

甲癌患者根据工作人员指导，在甲癌病房内等候，再通过语音呼叫患者通过 SPECT 病患廊西北侧进入 SPECT-CT 机房。医生在控制室内进行语音提示摆位，必要时进入机房指导（个别病人需医生进入机房进行现场摆位），随后离开机房返回控制室。医生隔室操作对患者实施扫描诊断，扫描时间约为 15min。扫描结束后，甲癌患者从原路返回至甲癌病房。

③产污环节

工作人员注射完毕后的一次性注射器、棉签等放入专用放射性废物铅桶内。患者候诊时产生的尿液、粪便、呕吐物均冲入专用卫生间，纳入衰变池内衰变，SPECT 诊断项目的工作流程与产污环节详见图 9-9。

（2）PET 诊断工艺分析

1) 设备组成及工作原理

PET 正电子发射断层扫描（Positron Emission Tomography, PET）的工作原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，藉此诊断疾病，又称为生化显像或功能因子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术。

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

PET-MRI 是将 PET 与 MRI 联合在一起组成的大型功能代谢与分子影像诊断设备, 扫描过程中 PET 对进入体内的正电子核素进行扫描并显像, 可获得代谢显像, 而 MRI 可对 PET 图像做放射性的衰减校正, 提供解剖学和组织学特征, 两者结合可以看到组织功能和新陈代谢, 提供比传统成像方式更优质的影像结果。该系统还可以分别收集 PET 和 MR 影像。

2) 诊疗流程与产污环节

- ①医护人员在注射室给病人注射放射性药物 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{11}N 、 ^{13}O ;
- ②病人在 PET-CT 注射后等候室内静坐规定的时间, 待药物代谢至靶器官;
- ③病人进入 PET-CT 机房, 躺在扫描床上, 接受扫描检查;
- ④得到最终的扫描图像。

接受扫描检查的患者, 均在注射室接受静脉注射。本项目 ^{18}F 给药量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ /每人, 每日最大治疗人数为 25 人, 注射时间约为 1min 每人。注射时, 医生穿戴铅衣、带防护手套, 医生与患者分别位于铅玻璃两侧, 医生距患者约 30cm。注射完成后, 接受注射的患者在注射后等候室观察 5-30min。待药物在身体内有一定程度的代谢后, 再到扫描室进行扫描检查, 检查时间为 15-20min, 在观察等候室经观察无不良反应即可离开。检查流程及污染物产生环节见图 9-10。

图 9-10 PET-CT 显像诊断及产污流程图

在核素显像检查过程中, 主要的环境影响为注射、检前休息观察过程对工作人

员产生外照射；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液体废物，如洗涤废水、使用放射性药物患者的排泄物。

(3) 敷贴治疗工艺分析

1) 设备组成及工作原理

放射性核素敷贴治疗主要用于某些皮肤病和眼科疾病，本项目治疗用敷贴器的放射源为 ^{90}Sr - ^{90}Y ，本项目使用 ^{90}Sr - ^{90}Y 放射源具有半衰期较短，制作、使用方便等特点。

放射性核素敷贴治疗的原理是将一定活度的 ^{90}Sr - ^{90}Y 放射性核素，通过一定的方式密封一起，制成具有不同形状和面积的面状源，作为敷贴用的放射源。 ^{90}Sr - ^{90}Y 皮肤敷贴器是将 ^{90}Sr - ^{90}Y 不溶性化合物均匀滚轧在银底与金面之间，装在铝合金壳内。 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器除铝合金外壳外，还配有长约100mm的铝合金手柄和一块厚10mm的有机玻璃防护屏，使用时将手柄插入有机玻璃防护屏中心孔内，并拧入铝合金源壳螺栓孔中。

2) 诊疗流程与产污环节

- ①接诊患者，确认需要实施敷贴治疗；
- ②根据诊断情况，预订成品敷贴药品；
- ③供货商药物送到后，病人到医院登记后，接受敷贴治疗；
- ④医生告知患者可能受到的辐射危害后，为病人敷贴放射性药品；
- ⑤医生为病人完成敷贴，病人沿就诊路线离开医院。

图 9-11 敷贴治疗的工作流程与产污环节图

(4) 甲吸检查工艺分析

1) 检查原理

甲状腺吸碘率检查，简称“甲吸”，碘是甲状腺合成甲状腺激素的重要原料之一，

而检查中的用药 ^{131}I 与人所需的稳定性的碘具有相同的生化性质和生物学特性。口服 ^{131}I 后可被甲状腺滤泡上皮细胞摄取、浓聚。此时，在体外利用甲状腺功能仪探测甲状腺 ^{131}I 发射的 γ （伽玛）射线，获得不同时间甲状腺部位的放射性计数率，根据甲状腺摄取 ^{131}I 的数量和速度、释放的速率来判定甲状腺功能状态。目前主要用于指导甲亢患者 ^{131}I 治疗前用药剂量的计算。

2) 诊疗流程与产污环节

①接诊患者，预约检查；

②病人登记，医生给药；

③患者空腹口服 Na^{131}I （碘化钠）胶囊，活度为 $9\mu\text{Ci}$ （可认为是极微量，相当于其他核医学科诊断的几千份之一），且继续禁食1~2小时；

③进行甲吸检查，服药后每2、4、6、24小时（也可选择服药后2、4、24小时或2、6、24小时）分别测定本底、标准源计数及甲状腺部位的放射性计数率，按照特殊公式算出对应时间的甲状腺摄 ^{131}I 率，绘制甲状腺摄 ^{131}I 率曲线图；

④患者离开医院。

图 9-12 甲吸检查的工作流程与产污环节图

(5) 核医学科治疗区工艺分析

1) 甲癌、甲亢治疗项目

①工作原理

甲癌：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，而邻近的正常组织吸收剂量很低，从而达到治疗目的。

甲亢：甲状腺具有高度选择性摄取 ^{131}I 的能力，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多，可高达血浆的几百倍，且在甲状腺内停留的时间较长，有效半衰期可达 3.5~

5.5 天。在患者服用 ^{131}I 后，90%以上的 ^{131}I 都会聚集到患者的甲状腺，其余的 ^{131}I 随代谢排出体外。 ^{131}I 衰变为 ^{131}Xe 时放射出 95%的 β 射线，该射线能量低，在甲状腺内的平均射程仅有 0.5mm，一般不会造成甲状腺周围组织例如甲状旁腺、喉返神经等的辐射损伤。因此， ^{131}I 治疗可使部分甲状腺组织受到 β 射线的集中照射，使部分甲状腺细胞发炎症、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的功能恢复正常，达到治疗的目的。

②工作流程及产污环节

A、诊断规划

甲癌治疗项目正式开展后，拟使用放射性核素 ^{131}I 进行治疗。医院每周一至周四安排甲癌患者就诊住院，单日最大就诊住院人数为 4 人，每周最大就诊住院人数为 14 人。甲癌患者需住院 5 天后出院，待有床位空余后安排下一批次甲癌患者就诊。甲癌治疗核素单人次最大使用量为 $7.40\times 10^9\text{Bq}$ 。

甲亢治疗项目正式开展后，规划使用放射性核素 ^{131}I 进行治疗。每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h，单日最大就诊人数为 4 人。甲亢治疗核素单人次最大使用量为 $1.85\times 10^9\text{Bq}$ 。

B、工作流程

a、外购药物

本项目计划使用放射性核素 ^{131}I 进行甲癌、甲亢治疗，工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前一天向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物以货包形式送达核医学科治疗区，专人接收放射性药品，经确认无误完成相关交接手续后暂存在储源室内。

b、药物分装

开展甲癌、甲亢治疗时，工作人员在上班前将药罐放在给药室的碘自动分装仪内。

c、指导服药/注射

接受甲癌、甲亢治疗的患者进入给药室，医护人员在西侧护士办公室通过电脑控制系统操作碘自动分装仪自动分装药物，通过监控装置，语音指导患者在给药室服药。

d、服药后治疗/诊断

甲癌患者在给药室内服药后，医护人员的指导下进入双人隔离病房住院治疗，甲癌患者一般住院 5 天，甲癌患者出院前需在 SPECT-CT 机房进行甲扫检查；甲亢患者服药后即可离开核医学科。

e、出院

根据《临床核医学患者防护要求》WS533 表 G.2 中要求：甲癌患者经检测患者体内放射性活度降低至 400MBq 后可离开隔离病房出院。甲癌患者与甲亢患者均从核医学科治疗区东南侧病人出口离开核医学科。

2) 骨转移治疗项目

①工作原理

放射性药物锶-89 主要用于缓解前列腺癌、乳腺癌、肺癌、鼻咽癌、神经内分泌肿瘤等晚期恶性肿瘤骨转移所致骨痛，用于治疗肿瘤转移的放射性药物都是趋骨性的，骨组织代谢活跃的部分浓聚更多的放射性药物。骨肿瘤病灶部位由于骨组织受到破坏，成骨细胞的修复作用极其活跃，所以浓聚大量的放射性药物。由于不是肿瘤细胞直接浓聚放射性药物，是肿瘤部位骨组织代谢活跃形成的放射性药物浓聚，因此是一种间接的浓聚机制。骨肿瘤病灶浓聚的放射性药物靶/非靶比值很高，非密封放射性物质衰变过程中发射 β 射线，辐射作用引起肿瘤组织内毛细血管扩张、水肿，细胞结构不清；染色体淡或固缩，炎细胞浸润；进一步肿瘤细胞核消失或空泡形成，坏死或纤维化形成，从而治疗骨肿瘤。

②工作流程及产污环节

骨转移治疗项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，使用放射性核素 ^{89}Sr ，每日最多治疗 5 人， ^{89}Sr 核素单人次最大使用量为 $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

根据医院提供的资料，骨癌患者需提前预约治疗，用于治疗的药物是直接进行静脉注射，每份用于治疗的放射性液体由供药商事先分装，预约病人后按约定用量和时间发货，治疗时不需再分装。骨癌患者与甲癌、甲亢患者共用给药室与就诊通道，在给药室对患者进行注射治疗后，如无异常情况，患者可离开医院。

③工作流程及产污环节图

甲癌治疗项目的工作流程详见图 9-13，甲亢治疗的工艺流程及产污环节图见图 9-14，骨转移治疗的工艺流程及产污环节如图 9-15 所示。

图 9-13 甲癌治疗项目的工作流程及产污环节图

图 9-14 甲亢治疗流程图

图 9-15 骨转移治疗流程图

(6) 核医学科人流、物流路径

1) 核医学科制药区

①工作人员进、出路径

控制室工作人员进、出入回旋加速器控制室及机房的的路径：通过工作人员专用电梯到达地下三层回旋加速器区域后经医护人员专用通道到达控制室内，如需要手动更换靶材料，则需进入回旋加速器内进行更换。

工作人员进、出入热室路径：通过工作人员专用电梯到达地下三层回旋加速器区域后经工作人员专用通道到达控制室内通过控制回旋加速器制备放射性核素，核素制备完成后通过计算机系统控制，从预埋管道将放射性核素控制进入热室进行提纯、合成、分装制成需要的正电子药物。

质控路径：工作人员在热室抽取少量药物通过传递窗送至质控室进行质控操作，经质控检测合格后，采用防护罐把分装好的正电子药物通过核素通道和核素专用传药梯传送到负一层核医学科。

工作人员离开热室路径：经缓冲间进入退更检测间使用表面污染仪进行表面污染检测并在卫生淋浴间淋洗后通过一更、换鞋间离开。

②放射性药物运输路径

^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 药物经回旋加速器打靶生成后，由化学师将少量药物送入质控室进行质控，确认满足使用及质控要求的药物由医护人员在热室内根据受检者用量分装药物，放入药物转运防护罐，通过转运车经过核素通道和核素专用传药梯运送到负一层核医学科 PET 诊断区。

③放射性废物运输路径

核医学科制药区所产生的放射性废物，经收集后转运至专用放射性废物间的放射性废物桶中暂存，待达到解控标准后，进行解控处理。

本项目核医学科制药区路径图详见附图 19。

2) 核医学科诊断区

核医学可布局应通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源(放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者)的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与医护人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理；便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。所涉及路径主要包括：医护人员路径、患者路径、放射性药物运输路径、放射性废物暂存及运输路径 4 个

方面。

A、医护人员路径：主要包括医师、技师、护士、物理师、化学师等放射医护人员进出控制区的相应路径；

B、患者路径：主要包括接受 PET-CT、PET-MRI、SPECT-CT 检查受检者和核素治疗患者接受药物注射或服用、诊断检查、住院治疗及离开核医学科的路径；

C、放射性药物运输路径：主要指回旋加速器自制药物和外购药物的运送路径；

D、放射性废物存储及运输路径：主要指使用后的放射性废物（主要指固体废物）的暂存及运输路径。

本项目核医学科诊断区路径图详见附图 20。

①医护人员进、出路径

A、诊断区及敷贴治疗区医护人员沿着东侧进口进入诊断区域，经医护走廊、缓冲间，进入更衣室、淋浴间、二更衣室，分别至储源室及给药室，开展诊断及治疗工作，结束工作后沿原路返回。

B、放免分析区医护人员经核医学科东侧生物通道、东门进入核医学科内，在更衣室内更换衣物后可通过缓冲间进入放免实验室内进行操作。

②SPECT 诊断区受检者进、出路径

SPECT 受检者，经分诊大厅，待预约登记后，至西北侧 SPECT 区域候诊，待接到语音通知后，至接诊台预埋留置针，埋好后由西北侧通道进入 SPECT 诊断区域，进入诊断区域后，在注射室外窗口接受药物注射接受药物注射，至西北侧注射后等候室等候，待语音通知后，沿患者走廊，进入 SPECT-CT 扫描室进行扫描。扫描结束后，在观察等候室进行留观，待影像确认且受检者无不良反应后，经语音提示，沿西北侧患者通道，离开 SPECT 诊断区域。

③PET 诊断区受检者进、出路径

PET 受检者，经分诊大厅，待预约登记后，至东南侧 PET 区域候诊，待接到语音通知后，至接诊台预埋留置针，埋好后由南侧通道进入 PET 诊断区域。进入诊断区域后，在注射室外窗口接受药物注射，至东南侧注射后等候室等候，待语音通知后，沿患者走廊，进入 PET-CT 扫描室或 PET-MRI 扫描室进行扫描，扫描结束后，在观察等候室进行留观，待影像确认且受检者无不良反应后，经语音提示，沿东南侧通道，离开 PET 诊断区域。

④敷贴治疗区患者进、出路径

需接受敷贴治疗的患者，经分诊大厅，待预约登记后，在候诊区等待，待接到语音通知后，至敷贴室开展敷贴治疗。治疗结束后，沿原路返回，离开核医学区域。

⑤甲吸检查患者进、出路径

需接受甲吸检查的患者，经分诊大厅，待预约登记后，进入甲吸室内服药、等候、进行甲吸检查。甲吸检查结束后，沿原路返回，离开核医学科诊断区。

⑥放射性药物运输路径

A、SPECT 诊断区所需使用的放射性药物，SPECT 区域的药物 ^{99m}Tc 拟由医院在分装室内进行淋洗， ^{131}I （显像）药物拟外购。 ^{99m}Tc 药物由医生在 SPECT 储源室通风柜内经过淋洗、标记、质控、分装后，放入药物转运防护罐内送到 SPECT 注射室，外购药物可由厂家运输医护人员按照医院当天预约使用需求，在客流量较少，尚未开展诊疗工作的早上时间段进行送入核医学科。厂家核素运输人员从医护人员入口进入 SPECT 诊断区域，在将药物存入分装室通风橱内，经医护人员确认无误后，可在检测无污染情况后，沿原路离开 SPECT 区域。

B、PET 诊断区所需使用的放射性药物，PET 区域的药物 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F 拟由医院负三层的回旋加速器进行制备，制备后药物经传药梯送至 PET 诊断区，医护人员转运至 PET 分装室，按照受检者诊断用量需求，进一步进行分装使用。 ^{13}N 、 ^{15}O 药物由于半衰期短，分装后放入药物转运防护罐内直接送入 PET-CT 或 PET-MRI 扫描室进行床边注射。

C、敷贴治疗区域敷贴治疗的所使用的 ^{90}Sr - ^{90}Y 敷贴器，平时存放于 PET 诊断区储源室，每日使用时，由医护人员转运至敷贴室进行使用。

D、放免分析区方面分析区所使用的 ^{125}I 外购试剂盒，由医护人员，经医护走廊，送至实验室进行使用。

⑦放射性废物运输路径

SPECT 诊断区、PET 诊断区、甲吸室所产生的放射性废物，均暂存于各个功能房间的放射性废物桶中暂存，定期统一转运至各功能区的放射性废物储存间进行暂存。待达到解控标准后，进行解控处理。敷贴室产生的使用后的敷贴器应进行回收并放至治疗室内放射性废物桶中暂存，待达到解控标准后，进行解控处理。放免分析区所产生的放射性废物应妥善统一保存，集中进行处理。

3) 核医学科治疗区

核素治疗区人员路径分为医护人员、核素治疗患者人员路径、药物路径涉及药物的运输及废物（主要指固体废物）的运输路径见附图 21。

①医护人员进、出路径

医护人员沿着西北侧医护人员入口或医护电梯进入核医学科治疗区，经医护走廊，进入更衣室、淋浴间、二更衣室，至储源室及给药室，开展治疗工作，结束后沿原路返回。

②甲亢患者和甲癌患者进、出路径

甲亢患者和甲癌患者从等候区经缓冲区，患者走廊到达给药室进行服药，因甲癌患者所需注射的药物量较甲亢治疗患者较高，为避免甲癌患者与甲亢治疗患者的直接接触，拟通过时间交叉控制，来减少不必要的照射。核素治疗区域拟在每天开展的治疗计划中，先安排甲亢患者服用药物，服用后经患者走廊出口离开。待甲亢患者离开后，再安排甲癌患者进行服药，服用后经患者走廊到达各自病房住院观察，应在其体内的放射性活度降至 400MBq 或距离患者体表 1m 处的周围剂量当量率不大于 25 μ Sv/h 方可由出院，以控制该患者家庭与公众成员可能受到的照射。

③放射性核素治疗骨转移癌患者进、出路径

常规开展放射性核素治疗骨转移癌患者人数较少，因此，拟通过时间交叉控制，避免与甲癌患者或甲亢治疗患者的直接接触。核素治疗区域拟在每周开展的治疗计划中，固定某一天开展放射性核素治疗骨转移癌患者的治疗工作。由医护人员进行静脉注射，注射后如无明显不良反应，不需要住院治疗直接出院。

④放射性药物运输路径

治疗区所需放射性药物，拟按照提前预约的治疗计划及安排，清晨或人流量较少的非工作时间段，送入治疗区给药室或储源室供当天使用。放射性药物由药物厂家运输医护人员经候诊区、缓冲区送入给药室或储源室，药物放置且验收完毕无误后，厂家运输医护人员沿原路返回，在缓冲区进行监测未发现污染情况后，可离开核素治疗区域。核素治疗药物，由化学师或护士在核素治疗区域分源储源室通风柜内经过操作、分装后，放入储源罐内暂存备用。

⑤放射性废物运输路径

核素治疗区域产生的放射性废物可运输至西北侧放射性废物储存间进行暂存，

解控后，再作为医疗废物进行处理。病房中患者所使用过的被服也通过患者走廊运输至西北侧污染被服存放间进行存放，至少一个半衰期后，再在旁边污洗间进行清洁。

污染源项描述

（一）建设期

1、污染源项

本项目施工期没有辐射污染源项，施工期主要是对机房进行装修，工程量小，施工时间短，非放射性物质产生量较小。

2、非放环境影响因子

施工期非放环境影响因子主要是：废气、废水、噪声和固体废物。

（二）运行期

1、放疗科污染源项分析

（1）直线加速器污染源项分析

1) 正常工况

①X射线

由上述产污环节可知，加速器运行期间高能电子束与靶物质相互作用时将产生高能X射线，X射线随机器的开、关而产生和消失。

②臭氧和氮氧化物

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

③废靶件

直线加速器的金属靶件更换时会有废靶件产生，废靶件属于放射性固体废物，废靶件由加速器供应商回收，不在医院存储。

综上，开机期间，其他直线加速器主要污染因子为X射线、废靶件、少量臭氧、微量氮氧化物。

2) 事故工况

①放疗过程加速器运行时，辐射安全措施故障，无关人员误入治疗室，发生超

剂量照射。

②维修直线加速器系统时发生异常出束，维修人员受到超剂量照射。

(2) 后装治疗污染源项分析

本评价项目的后装机拟使用的辐射源为微型单枚⁶⁰Co放射源，主要辐射危害因素是放射源的初始辐射及其杂散辐射。该项目在正常工况和事故工况下的污染源项分别如下：

1) 正常工况

使用放射源后装治疗机时主要的环境影响来自放射源，由于放射源是密封源，正常情况下源活性物质不会泄露，因此在正常情况下，主要的影响因子是放射源发射的 γ 射线，对周围环境影响途径为外照射，无放射性“三废”排放。

由于放射性衰变，随着放射性活度的降低，密封源在一定时间以后将无法继续满足放射治疗要求，需要更换新的放射源。而旧的放射源依然具有一定的放射性强度，依然存在对环境保护和人类健康的不利影响的可能性，因此对于废旧放射源需要妥善处理。

2) 事故工况

- ①后装机的放射源丢失或被盗。
- ②治疗过程中，发生卡源事故，需要人工处理时导致人员受到额外照射。
- ③安全联锁装置失效，人员误入治疗室而导致的误照射。

2、核医学科污染源项分析

(1) 核医学科工作人员配备和工作负荷

根据医院提供的资料，第三住院大楼核医学科正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h。核医学运行过程中各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见下表 9-4。

表9-4 各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

核医学科制药				
工作场所	工艺	操作内容	操作时间	人员数量
回旋加速器控制室、合成热室控制室	制药	核素制备	2小时/次	2人轮岗
质控室	质控	质控	5分钟/次	2人轮岗
核素通道	转运	药物转运	5分钟/次	2人轮岗

SPECT诊断				
工作场所	工艺	操作内容	操作时间	人员数量
分装室	药物制备	利用钼锝发生器淋洗制备 ^{99m} Tc+标记+测活	3分钟/天	2人轮岗
	分装	^{99m} Tc药物分装	1分钟/份	
注射室	注射	给患者注射药剂	30秒/次	
SPECT-CT机房	摆位	指导患者躺至正确的位置	1分钟/次	2人轮岗
SPECT-CT机房控制室（2间）	扫描	技师在控制室操纵设备进行扫描	15分钟/次	2人/间轮岗
PET诊断				
工作场所	工艺	操作内容	操作时间	人员数量
分装室	分装	药品自动分装	1分钟/次	2人轮岗
注射室	注射	给患者注射药剂	30秒/次	
PET-CT机房	摆位	指导患者躺至正确的位置	1分钟/次	4人轮岗
PET-MRI机房	摆位	指导患者躺至正确的位置	1分钟/次	
PET-CT控制室	扫描	技师在控制室操纵设备进行扫描	5分钟/次	2人轮岗
PET-MRI控制室	扫描	技师在控制室操纵设备进行扫描	15分钟/次	2人轮岗
敷贴治疗				
工作场所	工艺	操作内容	操作时间	人员数量
敷贴治疗室	敷贴	将已制成的放射源敷贴到患者患处	30秒/次	1人
甲吸检查				
工作场所	工艺	操作内容	操作时间	人员数量
甲吸室	测活	对甲状腺处的放射性核素活度进行测定	30秒/次	1人
甲癌治疗、甲亢治疗				
工作场所	工艺	操作内容	操作时间	人员数量
储源室	指导服药	在西侧护士办公室通过监控装置，并通过语音系统指导患者在给药间服药，药品自动分装	1分钟/次	2人轮岗
骨转移治疗				
工作场所	工艺	操作内容	操作时间	人员数量
分装室	测活	对药品测活	1分钟/次	SPECT诊断项目分装注射人员兼任
注射室	注射	给患者注射药剂	30秒/次	

(2) 核医学科最大日操作量

核素制备、核素诊断、治疗场所所有核素使用情况详见表9-5和表9-6。

表9-5 核医学科核素生产量

序号	核素	最大日生产量 (Bq)	年生产天数 (天)	年最大生产量 (Bq)	备注
1	¹⁸ F	4.63E+10	250	1.16E+13	仅用于达州市中心医院核医学科内使用，不对外销售
2	¹¹ C	7.40E+10	250	1.85E+13	
3	¹⁵ O	8.88E+10	250	2.22E+13	
4	¹³ N	8.88E+10	250	2.22E+13	

表 9-6 诊断、治疗场所放射性核素使用量

PET诊断项目							
序号	核素	单人最大用量 (MBq)	日最大诊疗人数 (人)	日实际最大操作量 (Bq)	年诊疗天数 (天)	一年诊断的病人数量 (人)	年最大操作量 (Bq)
1	¹⁸ F	370	25	9.25E+09	250	4950	9.25E+09
2	¹¹ C	925	2	1.85E+09	250	250	1.85E+09
3	¹⁵ O	1110	2	2.22E+09	250	250	2.22E+09
4	¹³ N	1110	2	2.22E+09	250	250	2.22E+09
SPECT诊断项目							
序号	核素	单人最大用量 (MBq)	日最大诊疗人数 (人)	日实际最大操作量 (Bq)	年诊疗天数 (天)	一年诊断的病人数量 (人)	年最大操作量 (Bq)
5	⁹⁹ Mo	/	/	4.10E+10	250	/	9.84E+12
6	^{99m} Tc	800	50	4.07E+10	250	12000	9.77E+12
7	¹³¹ I	185	8	1.11E+09	250	1500	2.78E+11
甲吸检查项目							
序号	核素	单人最大用量 (MBq)	日最大诊疗人数 (人)	日实际最大操作量 (Bq)	年诊疗天数 (天)	一年诊断的病人数量 (人)	年最大操作量 (Bq)
8	¹³¹ I	0.37	10	3.70E+06	250	300	1.11E+08
甲癌、甲亢治疗项目							
序号	核素	单人最大用量 (MBq)	日最大诊疗人数 (人)	日实际最大操作量 (Bq)	年诊疗天数 (天)	一年治疗的病人数量 (人)	年最大操作量 (Bq)
9	¹³¹ I 甲癌	7400	4	2.96E+10	250	350	2.59E+12
10	¹³¹ I 甲亢	1850	4	7.40E+09	250	400	7.40E+11
骨转移治疗项目							
序号	核素	单人最大用量 (MBq)	日最大诊疗人数 (人)	日实际最大操作量 (Bq)	年诊疗天数 (天)	一年疗的病人数量 (人)	年最大操作量 (Bq)
11	⁸⁹ Sr	148	5	7.40E+08	250	300	4.44E+10

(3) 非密封放射性核素相关放射性属性

本项目拟生产/使用非密封放射性核素的有关参数见表9-7。

表 9-7 非密封放射性核素的相关放射性属性

SPECT 诊断						
核素名称	状态	半衰期	毒性级别	衰变方式	主要射线和能量(MeV)	用途
⁹⁹ Mo	液态	66h	中毒	β ⁻	β1.23	制备 ^{99m} Tc
^{99m} Tc	液态	6.02d	低毒	IT	γ0.140	使用
¹³¹ I	液态	8.02d	中毒	β ⁻	γ0.364	使用
PET 诊断/核素制备						
核素名称	状态	半衰期	毒性级别	衰变方式	主要射线和能量(MeV)	用途
¹⁸ F	液态	109.8min	低毒	EC (3.27) β ⁺ (96.73)	γ0.511	生产/使用
¹¹ C	液态	20min	低毒	β ⁺ (100)	γ0.511	生产/使用
¹⁵ O	液态	2min	低毒	β ⁺ (100)	γ0.511	生产/使用
¹³ N	液态	10min	低毒	β ⁺ (100)	γ0.511	生产/使用
甲癌治疗、甲亢治疗						
核素名称	状态	半衰期	毒性级别	衰变方式	主要射线和能量(MeV)	用途
¹³¹ I	液态	8.02d	中毒	β ⁻	γ0.364	使用
骨转移治疗						
⁸⁹ Sr	液态	50.55d	中毒	β ⁻ (100)	β1.49	使用

注：衰变方式栏中 EC 表示轨道电子俘获；IT 表示同质异能跃迁。

(4) 核医学科制药污染源项分析

回旋加速器制药过程中污染因子主要为放射性核素生产过程中产生的中子、γ射线和β表面污染等，还有含放射性核素的气态、液态和固体废物，此外还会产生少量的臭氧及氮氧化物。根据工艺流程，具体分析污染物和污染途径如下：

1) 贯穿辐射

回旋加速器在制备药物过程中，高速质子与靶物质作用伴随产生中子，中子与靶、部件、屏蔽体等物质相互作用会放出γ射线，中子和γ射线具有较强的穿透力，如果对其屏蔽不好则可以穿过屏蔽墙、防护门、屋顶等对工作人员和公众产生一定辐射危害。

在进行药物合成分装、交接、传输等操作时，核素衰变时会发出β⁺射线以及发

生正电子湮灭产生的 γ 射线， β^+ 的最大能量为 1.190MeV， β^+ 在空气中存在时间极短，极易与空气的电子结合（湮灭）而转化为两个 γ 射线光子（能量为 0.511MeV）。

核素制备、合成分装均为自动控制，以上过程中工作人员在加速器控制室进行监控，受到的辐射影响较小，贯穿辐射主要来自质控及传递运输放射性同位素药物过程中。

制药区无公众进入，加速器运行及在药物转运过程中周围公众活动量很小，对公众造成影响的可能性较小。

2) 空气活化产物

粒子与稳定的非放射性核素作用发生核反应，生成放射性的核素，称该非放射性核素被活化。活化产物决定因素主要包括：中子发生率和能量、空气的组成、核反应截面、粒子在空气中的行径（自靶点至墙内表面的距离）。回旋加速器在运行期间，中子活化空气产生的活化产物主要为： ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{41}Ar 。

这些核素均为 β 、 γ 衰变体，其中 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 半衰期很短，在很短时间内即可发生衰变，故可以不予考虑。主要考虑 ^{41}Ar 的影响，由于空气中可以生成 ^{41}Ar 的 ^{40}Ar 含量仅为 1.3%，加上产生 ^{41}Ar 的活化反应截面很小，所以 ^{41}Ar 的生成率极其微小。

3) 表面污染

工作人员在对含有放射性核素制剂的各种操作中，可能会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等发生放射性沾污，造成放射性表面污染。

4) 放射性废物

①放射性废气

在放射性药物合成分装、质控时，药物挥发产生的含放射性核素的废气。

②放射性废水

核素制备场所中回旋加速器制备放射性核素的过程是在密闭系统中进行的，回旋加速器的水冷系统使用循环水，冷却水不外排不产生废水。药物医务人员去污、应急洗消、场所清洗时产生一定量的放射性废水。

(5) 核素诊断、治疗项目污染源项分析

1) X射线和 γ 射线

PET-CT、SPECT-CT扫描时产生的X射线；药物在分装、测活、注射、注射后候诊、扫描、留观、病房住院等过程中产生的 γ 射线及 β 射线。

2) β 放射性表面污染

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

3) 放射性废气

在放射性药物合成、质控、分装、测活时，药物挥发产生的含放射性核素的废气。

4) 放射性废水

含有放射性核素的病人排泄物；工作场所清洗废水等。

5) 放射性固废

本项目放射性固废主要为工作人员操作过程产生的服药杯子、污染物的注射器、针头、手套、棉签、纱布、破碎杯皿、擦拭污染物地面的物品和更换的废活性炭等放射性废弃物。

(6) III类射线装置污染源项分析

本项目使用的III类医用射线装置为模拟定位装置、PET-CT、SPECT-CT，在设备运行期间，主要产生的污染物为X射线、臭氧以及辐射工作人员及患者产生的生活垃圾和生活污水。

因III类医用射线装置影响较小，产生的X射线经过墙体和距离的防护后，对周围环境影响小；本项目在核医学科诊断区PET-CT机房、SPECT-CT机房设置了专用排风管道，产生的废气经专用管道引至五层裙楼楼顶排放，模拟定位装置与直线加速器机房后装机机房产生的废气经统一收集后，经管道引至五层裙楼楼顶排放，对周围环境影响较小；生活污水和生活垃圾经统一收集后，依托医院现有的污水处理站和生活垃圾处理系统进行处理，对周围环境影响较小。

(7) 非放射性污染物

本项目废气为电离辐射产生的 O_3 、 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办公垃圾；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。

3、小结

表 9-8 本项目营运期主要辐射污染源项

项目场所	使用场所	主要污染因子
------	------	--------

放疗科	10MV医用电子直线加速器	第三住院大楼负三层直线加速器机房	X射线、电子束、臭氧、加速器废靶件	
	后装机	第三住院大楼负三层放疗科后装机机房	γ 射线、臭氧、废放射源	
	模拟定位装置	第三住院大楼负三层放疗科模拟定位装置机房	X射线、臭氧	
核医学科	核医学科制药区	第三住院大楼负三层回旋加速器制药区	X射线、中子、 β 射线、臭氧、感生放射性物质、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物	
		第三住院大楼负三层核医学科制药质控区	β 射线、 γ 射线、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物	
	核医学科诊断区	SPECT诊断区	第三住院大楼负一层核医学科SPECT诊断区	X射线、 β 射线、 γ 射线、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物
		PET诊断区	第三住院大楼负一层核医学科PET诊断区	X射线、 β 射线、 γ 射线、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物
		敷贴治疗区	第三住院大楼负一层核医学科敷贴治疗室	β 射线、放射性固体废物
		甲吸检查区	第三住院大楼负一层核医学科甲吸室	β 射线、 γ 射线、放射性固体废物
核医学科治疗区	第三住院大楼负一层核医学科诊断区	β 射线、 γ 射线、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物		

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、工作场所布局与分区

本项目涉及的辐射工作场所均位于医院待建的第三住院大楼内，第三住院大楼位于医院东南侧，在拟建第三住院大楼西南侧约20m~50m为丽水翠苑小区；西侧8m~35m为已建高压氧仓；东北侧约4m~30m为已建污水处理站，45m~50m为已建天使花园小区；东侧约20m~50m为南北走向的滨江东路。根据医院设计图纸，医院拟建放疗中心、核医学科制药区、核医学科诊断区、核医学科治疗区均位于待建的第三住院大楼，第三住院大楼各楼层平面布局具体如下：

1、第三住院大楼负三层

在第三住院大楼负三层，南侧为放疗科，东侧为停车场区域，北侧为核医学科制药区，西侧为放射科集中办公区。在放疗科内，东南侧自南向北依次为直线加速器 1 室、直线加速器 2 室、后装机室及对应操作室；东侧为水冷机房及恢复室；西南侧为楼梯间、空调机房、会议示教室；西侧自东向西依次为医生办公室、计划师、技师办公室、模具间等；北侧由西向东依次为模具间、抢救室、模拟定位室及机房；东北侧为走道。在核医学科制药区，南侧为净化机房、核素通道、传药井等；西南侧为固体靶热室、合成热室；西侧为回旋加速器机房；西北侧自西向东依次为配电间、操作室、气瓶间等；北侧依次为水冷机房、沐浴室、更衣室、电梯井等；东北侧依次为缓冲区、仓库、衰变池等；东侧依次为放射性废物暂存间、全质质控室等。在放射科集中办公区内，排风机房位于中间，南侧为植入室；西南侧为诊室；西北侧为谈话间、库房、接待室、护士站等；北侧为放射科门厅候诊区；东北侧为值班室、监控室、卫生间等；东侧为楼梯间、排烟机房，详见附图 3。

2、第三住院大楼负二层

在第三住院大楼负二层为设备用房区域和停车区域。在第三住院大楼负二层中部为低压配电机房和值班室；南侧为排风机房、进风机房、运营商机房、直线加速器房等；西南侧紧邻停车区，由近及远依次为水泵房、负压吸引站、消防泵房等；西侧为集中电梯厅区域；西北侧为停车区域；东北侧自北向南为新风系统机房、排风机房、库房、柴

油应急发电机房；东侧为回风机房、雨水回用原水池，详见附图 4。

3、第三住院大楼负一层

在第三住院大楼入院公共走道将大楼负一层分为两个部分，西南侧为日间诊疗病房和办公区，东北侧为核医学科诊断区。在核医学科诊断区外，西南侧（东南-西北走向）依次为楼梯间、核医学科病案采集室、接待办公室、核医学科诊断候诊区、候诊卫生间等；西北侧（西南-东北走向）依次为候诊卫生间、新风机房、医护电梯厅、楼梯间、医生办公区；东北侧（西北-东南走向）依次为主任办公室、护士长办公室、住院总办公室、值班室、卫生间、医护门厅、放免实验室、放射性废物间、核医学科患者出口等；东南侧为核医学科诊断区外墙。在核医学科诊断区内，西南-东北走向（传药井-医生走道-控制廊-医护门厅）走道将核医学科诊断区分为 SPECT 诊断区、PET 诊断区两个部分，其中在 PET 诊断区南侧紧邻甲吸室和敷贴治疗室，详见附图 5。

在 SPECT 诊断区内，外侧纵向东南-西北走向依次为诊断区缓冲间、强电间、运动负荷室、SPECT 诊断区患者走道、注射后等待室；内侧纵向东南-西北走向依次为更衣室、储源室、分装室、注射室、患者走道、注射后等待室等；内侧为医生走道；横向西南-东北走向内侧依次为分装室、储源室、抢救室、SPECT-CT 机房；横向西南-东北走向外侧依次为注射后等待室、新风机房、电梯厅、楼梯间、放射性废物间、更衣间、医生办公区等。

在 PET 诊断区内，外侧纵向东南-西北走向依次为患者走道、敷贴治疗室、甲吸室、缓冲区；纵向内侧东南-西北走向依次为客梯、PET 诊断区患者走道、注射室、分装室、储源室、更衣间等；横向西南-东北走向外侧为依次为客梯、注射后等待室（含卫生间）2 间、柴油发电机排风井、楼梯间；横向西南-东北走向内侧依次为抢救室、技术办公室、PET-CT 室、设备间、PET-MRI 室、医生走道、放免实验室等。

4、第三住院大楼一层

在第三住院大楼东南-西北走向的住院大厅将其分为两个部分，西南侧部分为放射科，东北侧部分为医生办公区和核医学科治疗区。其中，医生办公区位于住院大厅东北侧与核医学科治疗区之间，主要为医生办公、会议及其他辅助用房，详见附图 6。

在放射科内，西南-东北走向的 DR2 室、放射科候诊区、公共走道、体检电梯厅将其分为两个部分。东南侧部分为由外向内依次为 CT 机控制廊、CT 室内（CT1 室、CT2

室并列)、患者走道、MRI1室、DR1室、备用库房等;西北侧部分由外向内依次为公共卫生间、乳腺钼靶室、骨密度室、扩大前室、楼梯间、集中电梯厅等。

在患者走道将核医学科治疗区分为西南和东北两个部分。患者走道西北侧为核医学科治疗区患者入口,患者走道东南侧底部东侧角为核医学科患者出口。在核医学科治疗区西南部分外侧纵向东南-西北走向依次为诊室、空调机房、缓冲区、护士站、治疗准备室、物品库、治疗准备室、医护走廊;在横向核医学病房走道与横向医护人员通道之间,西南-东北走向依次为护士站、更衣室、沐浴室、二更衣室、储源室、给药室,其西北侧紧邻治疗准备室、抢救室。在核医学科治疗区东北部分,东南-西北走向依次为紧邻7间核医学科治疗双人病房(含卫生间),在西北侧(西南-东北走向)依次为污洗室、污染被服室、放射性废物暂存间。

本项目各辐射工作场所设有专用的候诊区域,就诊通道,医生用房独立成区,病人、医生流线尽量互不交叉。医院总图布置时已考虑了项目特点和周围环境对本项目可能存在的影响,使各科室病人能够就近诊疗,这样既方便了诊疗,又使辐射工作场所相对集中,以便于医院对医用射线装置和放射源的集中统一管理。

二、辐射工作场所两区划分

为了便于加强管理,切实做好辐射安全防范和管理工作,项目应当按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)要求在辐射工作场所内划出控制区和监督区。

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

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

结合项目诊治、辐射防护和环境情况特点,将射线装置机房划分为控制区,而控制室及与机房相邻的相关工作室划为监督区。其项目控制区和监督区划分情况见表10-1,

两区划分示意图见附图 14~附图 17。

表 10-1 项目控制区和监督区划分情况

项目		控制区	监督区	
放疗科	10MV医用电子直线加速器	直线加速器机房 1 及迷道、直线加速器机房 2 及迷道	控制室 1、控制室 2、水冷机房	
	后装机	后装机机房及迷道	控制室 3、服务器室、设备间	
	模拟定位装置	模拟定位装置机房	控制室	
核医学科	核医学科制药区	回旋加速器制药区	准备缓冲间、配电间、控制室、医生走道	
		质控区	/	
	核医学科诊断区	SPECT诊断区	储源室、分装室、注射室、抢救室、运动负荷室、注射后等待室、SPECT-CT 机房、观察等候室、患者走道、放射性废物暂存间等	换鞋室、女更衣间、储藏室、强电间、新风机房、清洁间等
		PET诊断区	储源室、分装室、注射室、抢救室、注射后等待室、PET-CT 机房、PET-MRI 机房、观察等候室、患者走道、放射性杂物间、衰变池 2 等	换鞋室、男更衣室、强电间、PET 走道、弱电井、新风机房、柴发排风井、水井、清洁间等
		敷贴治疗区、甲吸检查区、放免分析区	敷贴治疗室、甲吸室	放免实验室、更衣室、沐浴室等
	核医学科治疗区	储源室、给药室、抢救室、病房、核医学科病房走道、衰变池 1 等	缓冲区、护士站、治疗准备室、物品库、沐浴室、扩大前室、污洗室、放射性废物暂存间等	

医院需重视控制区和监督区的管理，进行分区管理。

三、辐射防护设施及措施

本项目直线加速器、模拟定位装置、SPECT-CT、PET-CT 主要辐射为 X 射线，后装机主要辐射影响为 γ 射线；回旋加速器主要辐射影响为 γ 射线、中子射线；核医学科制药过程中主要为 γ 射线、中子、表面沾污及放射性废水、废气的影响。对 X、 γ 、中子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；表面沾污主要通过及时去污；放射性废气通过集中收集过滤进行处理；放射性废水主要通过集中收集、衰变后再进行处置。

(一) 放疗科辐射防护屏蔽设计

1、医用电子直线加速器

(1) 辐射屏蔽措施

医用直线加速器采用混凝土防护，具体屏蔽防护设计见表 10-2。

表 10-2 直线加速器机房屏蔽防护设计

场所	机房面积	辐射防护建筑情况
直线加速器机房 1、 直线加速器 2	62.5m ² (不含 迷道)	直线加速器机房1和直线加速器机房2为紧邻的两个相同设计机房。直线加速器机房东北侧、西南侧主屏蔽墙厚为3000mm、宽为4500mm，次屏蔽墙厚为1800mm；顶部主屏蔽墙厚为3000mm、宽为4500mm，次屏蔽墙厚为1700mm；西北侧“L型”迷道内墙厚为1500mm、宽6200mm，迷道外墙厚为1700mm；东南侧墙体厚为1500mm；防护门为15mm铅当量电动推拉门。
《放射治疗放射防护 要求》 (GBZ121-2020)	≥45m ²	/

注：直线加速器机房地下无其他建筑，人员无法进入，故不考虑辐射防护设，混凝土密度 2.35g·cm⁻³。

(2) 对 X 射线的防护措施

①穿过直线加速器治疗室屏蔽墙的各种管道和电缆线弯成 S 形或 U 形，不要正对工作人员经常停留的地点，如下图：

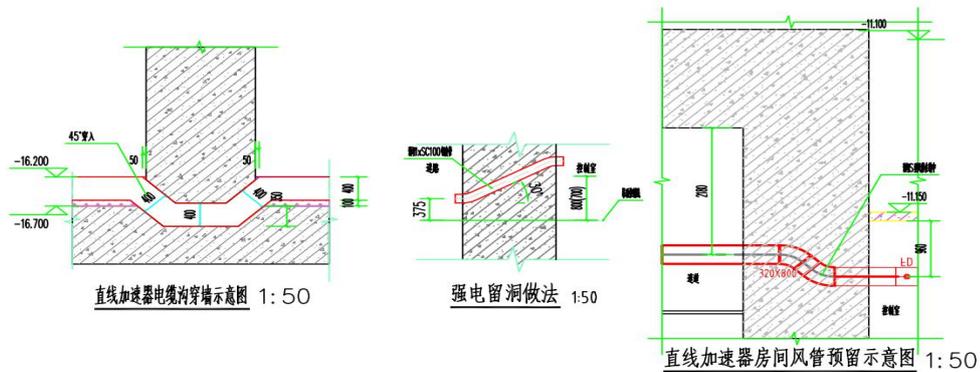


图10-1 直线加速器机房管线穿墙做法示意图

②为防止辐射泄漏，防护门与墙的重叠宽度至少为空隙的 10 倍，门的底部与地面之间的重叠宽度至少为空隙的 10 倍；

③为防止排风口排出的气体反流污染进气口，进风口和排风口对角线布置。进、排风口附近应尽量禁止有人员活动；

④操作人员采取隔室操作方式，控制室与治疗室之间以墙体隔开，通过电视图像观察病人情况，通过对讲机与病人交流；

⑤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；

⑥操作加速器的辐射工作人员每人佩戴个人剂量计；

⑦治疗前对放疗计划剂量进行核对，每次照射时体位都须一致。采用恰当的个人防护用品（如铅衣、铅围裙、三角巾等）屏蔽肿瘤周围的健康组织。

（3）对电子线的屏蔽防护

本项目 10MV 直线加速器在按电子束模式工作时，最大电子线能量为 15MeV，根据《辐射防护手册》第三分册 4.1.5 加速器的辐射源（P₉₅），能量为 E（MeV）的单能电子束，在低 Z 物质中的射程（单位为 g·cm⁻²）约为能量（单位为 MeV）的 0.6 倍。本项目 10MV 直线加速器以电子档工作时最大电子线能量为 15MeV，射程为 15×0.6=9.0g/cm²，可以估算出 15MeV 的电子在密度为 2.35g·cm⁻³ 的混凝土中的深度约为 3.8cm，而本项目屏蔽体厚度最小的为 150cm 混凝土，对电子线能完全屏蔽，可不再作特殊的防护要求，可不再考虑对电子束模式对周围环境的影响。

（4）通风系统

直线加速器机房 1 和直线加速器机房 2 机房内排风拟采用风机排风，设计通风量为 4400m³/h。直线加速器机房进风和排风管道在机房铅门上方采用 S 形穿墙管道进入直线加速器机房，加速器机房和后装机机房排风管道在直线加速器机房西侧一起进入排风井，然后经通风井最终引至大楼裙楼 5 层楼顶进行排放。直线加速器机房内通排风均采用“上送风、下排风”的方式，通排风管道均为镀锌钢管道。

2、后装机

（1）辐射屏蔽措施

后装机四周墙体和顶部均采用混凝土防护，具体屏蔽防护设计见表 10-3。

表 10-3 后装机机房实体防护设施表

场所名称	辐射防护建筑情况
后装机机房	后装机机房西北侧墙体厚度为 850mm；东北侧“L”型迷道内墙和迷道外墙厚均为 700mm，迷道内墙长为 2300mm；东南侧墙体厚度为 850mm；西南侧墙体厚为 1800mm（与直线加速器机房 2 东北侧次屏蔽墙共用），顶部为 800mm 厚混凝土；防护门为 10mmPb 单扇电动推拉门。

注：现浇钢筋混凝土密度为 2.35g/cm³。

（2）管线辐射防护措施

穿过后装机机房屏蔽墙的各种管道和电缆线弯成 S 形或 U 形，不正对工作人员经常

停留的地点，如下图所示：

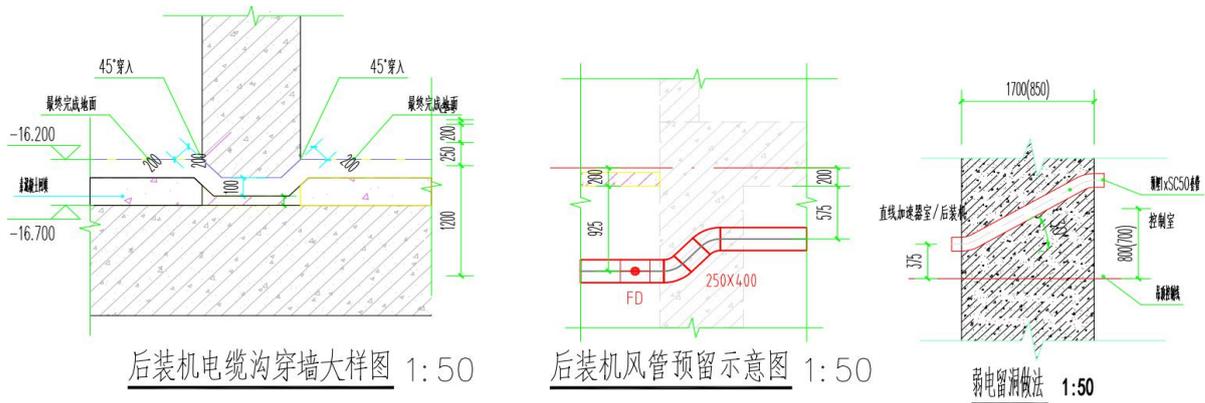


图10-2 后装机机房管线穿墙做法示意图

(3) 通风系统穿墙防护措施

后装机机房排风系统拟采用专用风机排风，设计排风量为 2100m³/h。后装机机房进风和排风管道在机房铅门上方采用 S 形穿墙管道进入后装机机房；后装机机房和加速器机房排风管道在直线加速器机房西侧一起进入排风井，然后经通风井最终引至第三住院大楼 5 层裙楼楼顶（距地面约 27m）进行排放。后装机机房内通排风采用“上送风、下排风”的方式，通排风管道均采用镀锌钢管道。

3、模拟定位装置

本项目使用的模拟定位装置机房屏蔽设计见下表。

表 10-4 模拟定位装置机房屏蔽防护设计

机房	面积 (m ²)	四周墙体	屏蔽门	观察窗	楼顶	地面
		结构及厚度			结构及厚度	
模拟定位装置机房	46.4m ² (最小单边长度 5.8m)	370mm 实心砖墙+2mmPb 硫酸钡涂料(5mm 铅当量)	3mm铅当量铅门	3mm铅当量铅玻璃	260mm 混凝土 (>3mm 铅当量)	机房地下无楼层设计, 不考虑辐射防护设计
放射诊断放射防护要求	最小有效使用面积30m ² , 最小单边长度4.5m	不低于2.5mmPb				
是否满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

(二) 核医学科辐射防护屏蔽设计

根据《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)的相关要求，核医学的工作场所按照核医学工作场所分类的加权活度计算方法见附录 G 进行分级（见表 10-6），不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的放射防护要求见表 10-7。

表 10-6 各功能区核素加权活度分类

工作场所		总加权活度 (MBq)	场所分类
核医学科制 药区	回旋加速器机房、固体靶热室、合成热室	2.25E+05	I类
	放射性废物暂存间、核素通道、传药梯、质控室等	5.57E+00	III类
SPECT 诊断 区	储源室、分装室、注射室	4.25E+04	II类
	放射性废物暂存间、SPECT-CT 机房、注射后等待区、观察等候室、运动负荷室	1.52E+04	II类
	患者走廊	1.52E+04	II类
PET 诊断区	储源室、分装室、注射室	1.37E+02	II类
	放射性废物暂存间、PET-CT 机房、PET-MRI 机房、注射后等待区、观察等候室	1.56E+03	II类
	患者走廊	2.00E+03	II类
其他诊断区	甲吸检查区	3.70E+02	II类
	放免分析区	8.00E+00	III类
核医学科治 疗区	储源室	3.77E+04	II类
	给药室	9.40E+04	I类
	放射性废物暂存间、核医学病房走道、抢救室	1.88E+06	I类
	核医学科病房	1.48E+06	I类

表 10-7 核医学科工作场所的室内表面及装备结构要求

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

备注：^a下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测；^b洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）具体要求如下：

①核医学工作场所的通风按表 10-7 要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证

工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

②I类核医学工作场所应设有放射性污水池，以存放放射性污水直至符合排放要求时方可排放，废原液和高污染废液应专门收集存放。

③收集放射性废液的容器上应有放射性标志。放射性废液按照长半衰期和短半衰期分别收集，并给与适当屏蔽，固体废物和污染针头、注射器和破碎的玻璃器皿等应贮于不泄露、较牢固、并有合适屏蔽的容器内。

④在放射性核素的操作区域（分装室和注射室）地面和墙体表面应使用光滑、耐腐蚀及易去污的材料，地板与墙壁接缝无缝隙，并在工作场所内设置通风实施，保证工作场所的通风良好。

1、核医学科制药区辐射防护屏蔽设计

(1) 回旋加速器制药区墙体防护

表 10-8 回旋加速器制药区墙体防护屏蔽设计

功能用房	屏蔽体	屏蔽材料	屏蔽材料厚度
回旋加速器机房	西南侧墙	混凝土	900mm
	东北侧、西北侧	混凝土	800mm
	东南侧	混凝土	800mm
		实心砖墙	800mm
	防护门（东北墙上双扇门）	铅板	20mmPb
	楼顶	混凝土	800mm
控制室	西北墙、东北墙	混凝土	400mm
	西南墙、东南墙	实心砖	240mm
	防护门（东南墙上双扇门）	普通门	——
固体靶热室	西北侧	混凝土	800mm
		实心砖	800mm
	其他侧墙体	实心砖	370mm
	防护门（东北墙上单扇平开门）	铅板	20mmPb
	楼顶	混凝土	300mm
合成热室	西南墙（机房部分）	混凝土	800mm

	西南墙（固体靶室部分）	实心砖	370mm
	其他墙体	实心砖	370mm
	防护门（西南墙上单扇平开门）	铅板	20mmPb
	防护门（东北墙上单扇平开门）	铅板	15mmPb
	防护门（东南墙上单扇平开门）	铅板	15mmPb
	合成柜	铅板	75mmPb
	分装柜	铅板	75mmPb
	传递窗	铅玻璃	15mmPb
	楼顶	混凝土	300mm

(2) 回旋加速器制药区穿墙管道

穿过回旋加速器机房、固体靶热室和合成热室屏蔽墙的各种管道和电缆线弯成S形或U形，不正对工作人员经常停留的地点，如下图所示：

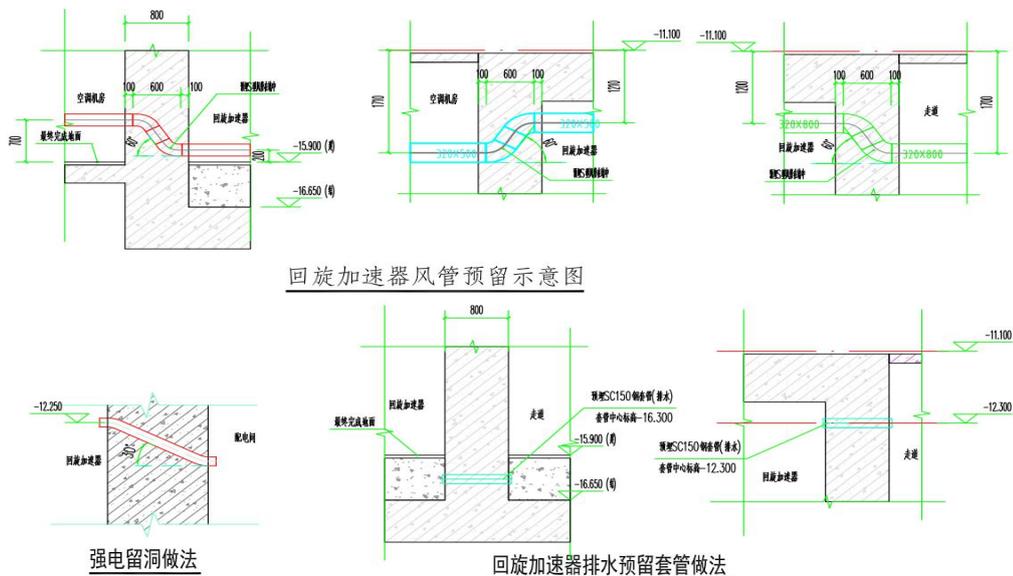


图10-3 回旋加速器制药区管线穿墙做法示意图

(3) 核医学科制药其他区域墙体防护

表10-9 核医学科制药配套区屏蔽设计

功能用房	屏蔽体	屏蔽材料	屏蔽材料厚度
核素通道	西北墙	实心砖	370mm
	其他墙体	实心砖	240mm
	防护门（西北侧单扇平开门）	铅板	15mmPb
	防护门(西南侧双扇门)	铅板	15mmPb
	防护门（东南墙上单扇平开门）	普通门	/
外包间	楼顶	混凝土	150mm
	西北侧墙	实心砖	370mm

	其他墙体	实心砖	240mm
	防护门（西南墙上单扇平开门）	铅板	10mmPb
	楼顶	混凝土	150mm
传药梯	四周墙体	实心砖	200mm
	电梯门	钢结构	50mm
放射性废物间	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门（北墙上单扇平开门）	铅板	10mmPb
	楼顶	混凝土	150mm
质控室	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门（西北墙上双扇门）	铅板	10mmPb
	内部普通门（6扇单扇平开门）	普通门	——
	通风厨	铅玻璃	15mmPb
	楼顶	混凝土	150mm

2、核医学科诊断区墙体防护

表10-10 核医学科SPECT诊断区屏蔽设计

功能用房	屏蔽体	屏蔽材料	屏蔽材料厚度
患者走廊	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门（西南侧、东北侧墙上双开门）	铅板	2mmPb
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm
医护走廊	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门（注射室和放免实验室旁）	铅板	2mmPb
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm
运动负荷室	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门	铅板	2mmPb
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm
注射室	四周墙体	实心砖	240mm
	注射窗（北墙上）	铅玻璃	10mmPb
	防护门	铅板	2mmPb
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm
分装室	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门	铅板	2mmPb
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm
通风橱	柜体	铅板	10mmPb

		铅玻璃	10mmPb
储源室	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门	铅板	2mmPb
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm
换鞋室	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门	铅板	2mmPb
注射后等候室 (2间)	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门	铅板	2mmPb
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm
抢救室	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门	铅板	2mmPb
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm
SPECT-CT 机房 (2间)	四周墙体	实心砖+硫酸钡涂层	240mm+2mmPb 硫酸钡涂料
	患者进出防护门	铅板	3mmPb
	控制室防护门	铅板	3mmPb
	观察窗(西北侧控制室)	铅玻璃	3mmPb
	地面	混凝土	260mm
	楼顶	混凝土	220mm
缓冲区(东北侧)	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门(西墙上双扇门)	铅板	2mmPb
	普通门(东北侧双扇门)	普通门	/
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm
观察等候室	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门(南墙上单扇平开门)	铅板	2mmPb
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm
清洁间	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门(东北墙上单扇平开门)	铅板	2mmPb
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm
放射性废物间	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门(西南侧)	铅板	2mmPb
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm

表10-11 核医学科PET诊断区屏蔽设计

功能用房	屏蔽体	屏蔽材料	屏蔽材料厚度
传药梯	西南侧、西北侧墙体	实心砖	240mm
	东北侧墙体	实心砖	200mm+240mm
	传药梯门	钢结构	50mm 钢板
传药梯外侧缓冲区	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门（东北墙上双扇门）	铅板	10mmPb
	西南、东南、东北侧墙体	实心砖	240mm
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm
医护走廊	西南侧墙体	实心砖	370mm
	东北墙体	实心砖	240mm
	防护门（放免实验室旁）	铅板	10mmPb
	防护门（注射室旁）	铅板	10mmPb
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm
换鞋室	西南侧墙体	实心砖	240mm
	防护门（西南墙上单扇平开门）	铅板	15mmPb
储源室	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门（南墙上单扇平开门）	铅板	15mmPb
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm
分装室	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门（西北墙上单扇平开门）	铅板	15mmPb
	防护门（西南墙上单扇平开门）	铅板	15mmPb
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm
通风橱	柜体	铅板	50mmPb
		铅玻璃	50mmPb
注射室	东南侧	实心砖	370mm
	其他三面墙体	实心砖	240mm
	防护门（西南侧单扇平开门）	铅板	15mmPb
	注射窗（东南墙）	铅玻璃	50mmPb
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm
患者走廊	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门（西南墙上双扇门）	铅板	15mmPb
	普通门（东北墙上双扇门）	铅板	15mmPb
	地面	混凝土	180mm

	楼顶	混凝土	220mm
抢救室	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门（南墙上双扇门）	铅板	5mmPb
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm
注射后等候室 （2间）	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门（西北墙上双扇门）	铅板	15mmPb
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	300mm
PET-CT室、 PET-MRI室	四周墙体	实心砖+硫酸钡涂层	240mm+2mmPb 硫酸钡涂料
	患者进出防护门	铅板	15mmPb
	控制室防护门	铅板	15mmPb
	观察窗（西北墙）	铅玻璃	20mmPb
	地面	混凝土	260mm
	楼顶	混凝土	220mm
观察等候室	东南墙	实心砖	450mm
	其他三侧墙体	实心砖	240mm
	西南墙上双扇门	普通门	/
	防护门（西北侧双扇门）	铅板	15mmPb
	防护门（东北墙上双扇门）	铅板	15mmPb
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	300mm
观察等候室卫生间	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门（西墙上单扇平开门）	铅板	15mmPb
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm
放射性废物暂存间	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门（南墙上单扇平开门）	铅板	10mmPb
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm

表10-12 核医学科诊断区其他功能区域防护屏蔽设计

功能区域	屏蔽体	屏蔽材料	屏蔽材料厚度
敷贴治疗室	东北侧墙体	实心砖	370mm
	其他三侧墙体	实心砖	240mm
	防护门（西南侧、东北侧墙上单开门）	铅板	10mmPb
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm
甲吸室	东北侧墙体	实心砖	370mm

	其他三侧墙体	实心砖	240mm
	防护门（西南侧、东北侧墙上单开门）	铅板	2mmPb
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm
放免实验室	东北侧墙体	混凝土	300mm
	东南侧墙体	实心砖	240mm
	其他两侧墙体	空心砖	200mm
	普通门	普通门	/
	地面	混凝土	180mm
	楼顶	混凝土	220mm

3、核医学科治疗区墙体防护

表10-13 核医学科治疗区防护屏蔽设计

功能用房	屏蔽体	屏蔽材料	屏蔽材料厚度
缓冲区(护士站旁)	东北侧墙体	实心砖	450mm
	其他三侧墙体	实心砖	240mm
	防护门（东北上双扇门）	铅板	20mmPb
	普通门（西南侧双扇门）	普通门	——
	地面	混凝土	220mm
	楼顶	混凝土	450mm
更衣区	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门（东南侧双扇门）	铅板	15mmPb
	地面	混凝土	220mm
	楼顶	混凝土	450mm
淋浴室	西北侧墙体	实心砖	370mm
	其他三侧墙体	实心砖	240mm
	防护门（东北侧单扇平开门）	铅板	5mmPb
	防护门（西南墙上单扇平开门）	普通门	——
	地面	混凝土	220mm
	楼顶	混凝土	450mm
二更衣室	西北侧墙体	实心砖	370mm
	其他三侧墙体	实心砖	240mm
	防护门（东北墙上单扇平开门）	铅板	10mmPb
	防护门（西南墙上单扇平开门）	铅板	5mmPb
	地面	混凝土	220mm
	楼顶	混凝土	450mm
储源室	东北墙、西北侧	实心砖	370mm
	其他两侧墙体	实心砖	240mm
	防护门（东北墙上单扇平开门）	铅板	10mmPb

	防护门（西南墙上单扇平开门）	铅板	15mmPb
	地面	混凝土	220mm
	楼顶	混凝土	450mm
通风橱	柜体	铅板	40mmPb
给药室	西北侧、西南侧	实心砖	370mm
	其他两侧墙体	实心砖	240mm
	防护门（西南墙上单扇平开门）	铅板	15mmPb
	防护门（东南墙上单扇平开门）	铅板	15mmPb
	防护窗（西南侧）	铅玻璃	50mmPb
	地面	混凝土	220mm
	楼顶	混凝土	450mm
抢救室	四周墙体	实心砖	370mm
	防护门（西南墙上双扇门）	铅板	15mmPb
	防护门（东北墙上双扇门）	铅板	15mmPb
	地面	混凝土	220mm
	楼顶	混凝土	450mm
患者走廊	西南侧墙体	实心砖	450mm
		实心砖墙	370mm
	东北侧	实心砖墙	370mm
	防护门（西北侧双扇门）	铅板	20mmPb
	东北侧防护铅门	铅板	20mmPb
	地面	混凝土	220mm
	楼顶	混凝土	450mm
病房 (双人间 7 间)	东北侧墙体	实心砖（5 间）	450mm
		混凝土（2 间）	300mm
		铅玻璃窗（5 间）	25mmPb
	其他三侧墙体	实心砖+硫酸钡涂层	370mm+6mmPb
	防护门（西南单扇平开门）	铅板	15mmPb
	地面	混凝土	260mm
	楼顶	混凝土	450mm
污洗间	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门（西南侧）	铅板	20mmPb
	地面	混凝土	220mm
	楼顶	混凝土	450mm
污染被服存放间、放 射性废物暂存间	四周墙体	实心砖	240mm
	防护门（3 扇单扇平开门）	铅板	5mmPb
	地面	混凝土	220mm
	楼顶	混凝土	450mm

(四) 辐射防护措施

1、放疗科

(1) 医用电子直线加速器

1) 设备固有安全性

①加速器只有在通电开机时才有 X 射线、电子线产生，断电停机即停止出束；通过多叶准直器定向出束，其他方向的射线被自带屏蔽材料所屏蔽。

②条件显示连锁：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，并当机房与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行。

③控制台上蜂鸣器，在加速器工作时发出声音以警示人员防止误入。

④治疗床旁、加速器主机和控制台上安装紧急制动按钮。

⑤有控制超剂量连锁装置：当剂量超过预选值时，可自动终止照射。有剂量分布监测装置与辐照终止系统连锁，当剂量分布偏差超过预选值时，可自动终止照射。

⑥有时间控制连锁，当预选照射时间定时，定时器能独立地使照射停止。

⑦有防止非工作人员操作的锁定开关。

从加速器固有安全性能可以看出，加速器在防止事故发生方面，设有相应措施。只要操作人员按照加速器说明书要求严格执行，就能够减少 X 射线、电子线对人员的辐射危害和降低辐射事故的发生率。

2) 辐射防护措施

①操作人员隔室操作：本项目直线加速器控制室与机房之间以墙体和过道隔开，机房内拟安装电视监控、对讲装置，控制室能通过电视监控观察机房内患者治疗的情况，并通过对讲机与机房内患者沟通。机房内墙体交叉口、迷道口处安装有监控装置，确保机房内监控全覆盖。

②门机连锁装置：加速器与屏蔽门之间拟设连锁装置。屏蔽门未关好，加速器不能出束；加速器工作期间屏蔽门不能打开。

③紧急停机装置和紧急开门按钮：除了加速器治疗床、加速器主机上以及控制台上自带的紧急停机按钮外，机房内墙非主射线位置上设置有紧急停机按钮，以使误入人员按动紧急停机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：加速器机房防护门外顶部拟设置工作状态指示灯。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；当加速器处于非出束状态，指示灯为绿色。加速器机房屏蔽门上设置明显的电离辐射警告标志。

⑤固定式剂量报警仪（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视频监视系统、对讲系统：直线加速器机房配备有电视监控、对讲装置。

⑦个人防护：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加速器将由生产厂家进行质保维修，医院设备科人员仅对加速器进行日常维护（如电路、开关、机电等维护）。

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，直线加速器安全联锁逻辑示意图如下所示：

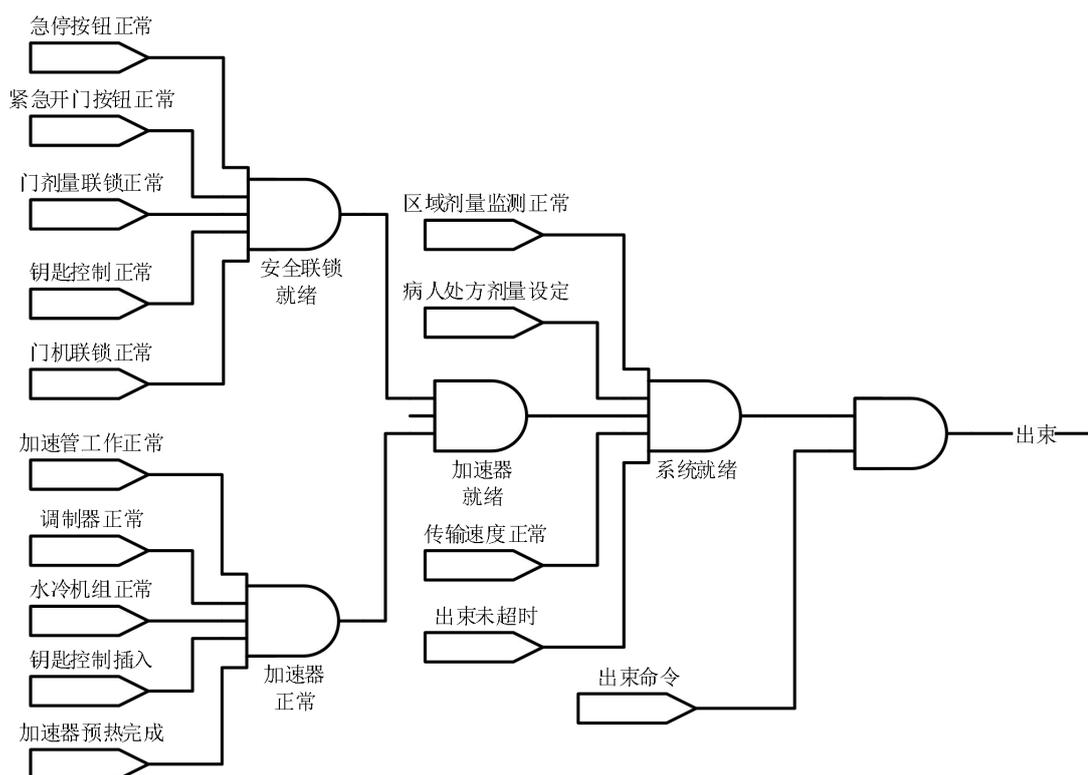


图 10-4 直线加速器工作场所安全联锁系统逻辑示意图

3) 其他防护措施

- ①直线加速器机房需配备个人剂量报警仪 1 支，每名辐射工作人员均应配备个人剂量计；
- ②控制室上张贴相应的放射工作制度、操作规程、岗位职责等；
- ③机房受检者出入口门外 1m 处应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近；

④直线加速器机房安装了通排风系统，产生废气通过专用排风管道引出后至第三住院大楼裙楼 5 层楼顶排放。

本项目直线加速器的防护措施、设备的配备符合《环保部辐射安全与防护监督检查技术程序》的相关要求和国家其他相关标准的要求。

(2) 后装机

1) 项目辐射安全措施

①隔室操作：本项目后装机控制室与机房之间以墙体和过道隔开，机房内拟安装电视监控、对讲装置，控制室能通过电视监控观察机房内患者治疗的情况，并通过对讲机与机房内患者沟通。机房内墙体交叉口、迷道口处拟安装监控装置，确保机房内监控全覆盖。

②后装机机房门上拟设工作状态显示的指示灯，辐射工作场所有电离辐射警示标志；拟在机房门上张贴电离辐射警示标志；配备停电或意外中断照射时声光报警。

③施源器与放射源联锁：施源器连接好后，才能出源治疗。

④拟设门源连锁，出源时后装机机房门关闭，源回到贮存位后才能开启，但可从后装机机房内开启；实行双人双锁，配备防盗门窗。

⑤控制台上拟设放射源位置显示装置，并与治疗机上显示同步；控制台设紧急停止照射按钮；控制台上设防止工作人员操作的锁定开关；设置仿真源模拟运行系统。

⑥后装机机房拟配备电视监控、对讲装置，后装机机房拟设置固定式剂量监测仪。

⑦后装机机房内拟设置紧急回源开关、放射源返回储源器的应急开关、管道遇堵自动回源装置、手动回源装置、停电或意外中断照射时自动回源装置等。

⑧个人防护：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后装机由生产厂家进行质保维修，医院设备科人员仅对后装机进行日常维护。

⑩在负三层后装机机房内拟安装放射源在线监控系统，该监控系统具备定位功能，与生态环境主管部门联网，确保放射源的安全。

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，直线加速器安全连锁逻辑示意图如下所示：

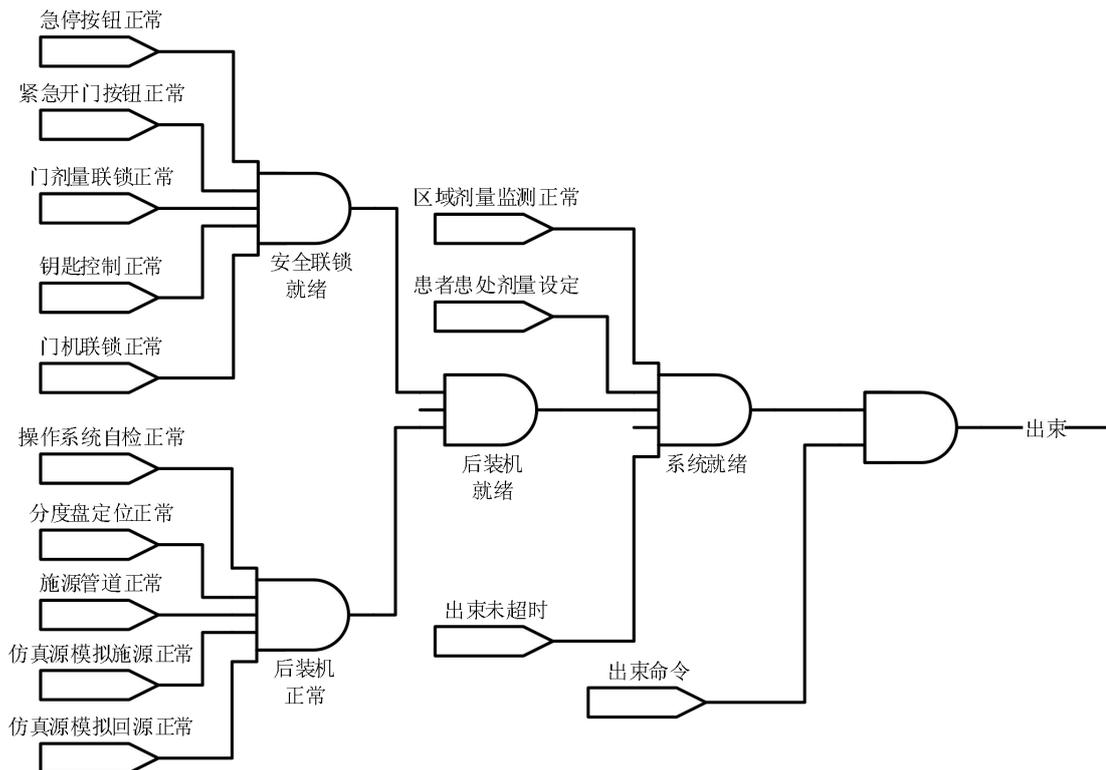


图 10-5 后装机安全联锁系统逻辑示意图

2) 后装机固有安全措施

本项目钴-60 后装机贮源装置拟设置铅屏蔽体，铅屏蔽体外为特制的防护钢壳，不易损坏。机器本身设有如下安全保护措施：

①内置检测器验证源每次进出的完整性：采用固定治疗方式驱动装置、步进治疗方式驱动装置，在控制源辫的运动中，同时备有闭环检测的轴编码器监控工作电机的运动状态，另设置通道检测光电编码器、出源检测光电开关、源辫到位碰撞开关，通过后装治疗控制程序的控制，保证源每次进出的完整性。

②导管未被正确连接时，放射源不能送出：在正式治疗前，系统通过通道检测光电编码器、施源器导管接头检测光电开关，检查各放射源导管的连接情况，未按治疗参数文件要求连接施源器导管时，放射源不能送出。

3) 放射源的贮存及处理措施

放射源的贮存：放射源在非使用期间贮存在后装治疗机储源容器内，储源器位于后装治疗机房内。同时在后装治疗机房内配置 1 个备用应急贮源罐，用于非正常状况下放射源的贮存。

后装机机房不得存放易燃、易爆物品，配备专门的灭火器材。一旦发生火灾，应优先对放射源进行灭火并抢离火灾现场，防止放射源屏蔽体破坏，防止放射源失控。

放射源的实体保卫：后装治疗机房的防护门应具有防盗功能，并实施“双人双锁”管理。在后装治疗机房的防护门外的适当位置安装实时摄像装置，由医院保安人员 24h 视频监控以防放射源被盗。

换源、倒源：由放射源生产厂家或有相应辐射安全资质单位负责。放射源生产厂家派专车、专业技术人员将新的放射源运到现场。在后装治疗机房内将储源器内的废旧放射源倒出并装入新的放射源。换源应通过专用换源导管，以免误操作造成卡源。换源、倒源过程中应加强放射源的安全保卫工作。

废旧放射源处理：由放射源生产厂家负责。放射源生产厂家的专业技术员在后装治疗机房内将储源器内的废旧放射源倒出之后，装入铅罐并运回，按废旧源处理规定进行相应处理；若放射源生产厂家无法回收废源，则应联系有收贮废旧放射源辐射安全许可证的单位现场收贮。

2、核医学科

(1) 核医学科制药

1) 回旋加速器机房安全设施

①安全连锁：回旋加速器室的防护门与回旋加速器的高压拟设置连锁，当防护门未关闭到位时，回旋加速器室无法开启高压出束；当回旋加速器工作过程中误操作打开防护门时，回旋加速器室立即停止出束；辐射报警装置与回旋加速器室准备出束状态连锁，准备出束时发出警示；

②钥匙控制：控制台和回旋加速器室防护门采用钥匙控制；

③工作指示灯：回旋加速器机房防护门外拟设置红、黄、绿三色工作指示灯信号，用于提示机房内设备的运行状态。其中，红灯亮表示回旋加速器室正在出束工作；黄灯亮表示回旋加速器已停机，回旋加速器室屏蔽门处于打开状态，非职业工作人员禁止入内；绿灯亮表示回旋加速器室已停机，屏蔽门处于关闭状态；

④电离辐射警告标志：回旋加速器机房入口醒目位置设置电离辐射警告标志；

⑤紧急开门开关：拟在回旋加速器机房入口门内侧及外侧，靠近防护门处各设置 1 个紧急开门开关，当人员被关在机房内紧急情况下按下开关，可实现防护门从内部打开，同时回旋加速器室停止出束；

⑥急停开关：回旋加速器机房进出口、控制台、操作台合适位置上各设置 1 个急停

开关，人员滞留在机房内时就可以按下开关，实现回旋加速器室停止出束；

⑦固定式剂量监测：回旋加速器机房防护门内侧设置固定式剂量率仪监测探头；

⑧视频监控：回旋加速器机房内拟安装视频监控，监视器设置于控制室内，工作人员可及时掌握回旋加速器机房内部情况；

⑨延时开门：回旋加速器操作系统拟设延时系统，在加速器正常制药结束后，通过系统开启防护门，防护门将延迟执行开门指令。

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回旋加速器安全联锁逻辑示意图如下所示：

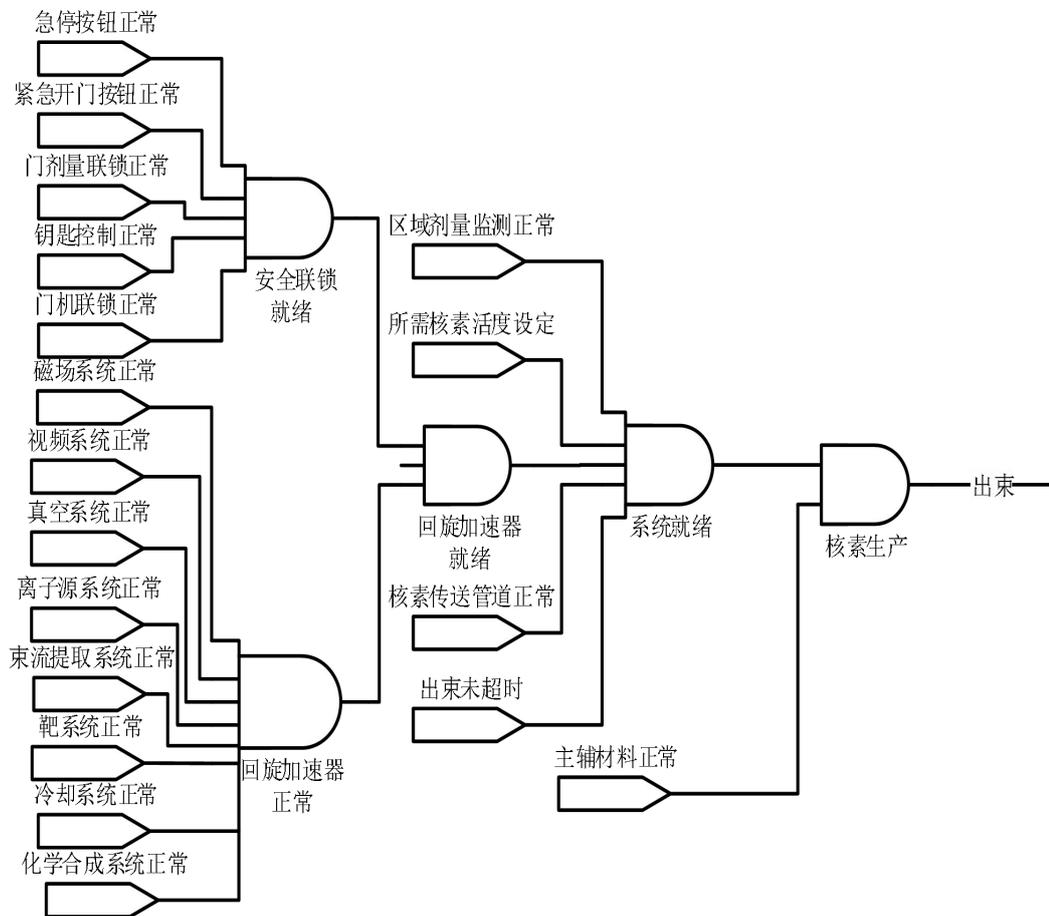


图 10-6 回旋加速器安全联锁系统逻辑示意图

2) 热室工作场所安全设施

①电离辐射警告标志：拟在热室入口醒目位置设置电离辐射警告标志；

②当回旋加速器室制备出核素之后，放射性核素传输之前，热室设备将根据程序设定，自动检测合成热室和固体靶热室的门是否已经关闭，合成热室和固体靶热室里面的压力是否满足负压要求；只有这两项条件均满足的情况下，放射性核素才能通过管道进

行传送，同时在控制室内操作台上有相应的核素传输工作状态指示灯；

③剂量监测：在合成热室、固体靶热室内安装固定式多探头辐射剂量率仪，当探测到剂量率超过设置阈值时，则有声光报警，人员马上撤离；

④视频监控：拟在机房内安装视频监控系统，便于辐射工作人员观察操作场所内及周边的情况。

3) 质控室工作场所安全设施

①电离辐射警告标志：质控室入口醒目位置设置电离辐射警告标志；

②通风厨：质控室内设置通风厨，所有药物质控检测均在通风厨内进行；

③剂量监测：质控室定期进行表面沾污和工作场所 γ 辐射剂量监测，当探测到监测数值超过设置阈值时，立即采取去污措施。

4) 核医学科制药区拟配防护用品

表 10-14 核医学科制药区拟配防护用品一览表

序号	防护用品名称	配置场所	数量	铅当量
1	转运药品铅罐	合成热室	2 个	50mmPb
2	废物衰变桶	固体靶热室、热室、质控室	3 个	20mmPb
		放射性废物暂存间	2 个	10mmPb
3	去污工具	洁具室	1 套	/
4	多探头固定式剂量率仪	回旋加速器机房、固体靶热室、合成热室内、控制室，质控室	2 个	/
5	表面污染监测仪	退更检测室	1 台	/
6	一次性工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	更衣室	若干	/
7	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	操作间、全质质控室	3 套	0.5mmPb
8	便携式 X- γ 辐射监测仪	医学装备部	1 台	/
9	中子剂量仪	医学装备部	1 台	/
10	个人剂量报警仪	控制室人员随身携带	2 台	/
11	个人剂量计	辐射工作人员随身携带	1 套/人	/

(2) 核医学科诊断区、治疗区

1) 辐射安全防护措施

①警告设施：拟在核医学科控制区各房间防护门外设置明显的电离辐射警告标志，

警示人员注意安全。拟在 PET-CT 机房、PET-MRI 机房和 SPECT-CT 机房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：在控制台上、射线装置机房内、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、SPECT 能立即停止运行。

③操作警示装置：PET-CT 和 SPECT 扫描时，控制台上的指示灯变亮，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、核医学科工作场所进出/口情况；PET-CT 机房、SPECT-CT 机房与该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扫描间内受检者联系。

⑤门禁系统：在核医学科受检者入口处设置专用门禁系统，对受检者的出入进行控制。

⑥表面沾污监测：在控制区出口处，配置表面沾污仪，从控制区离开的人员和物品均进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。

2) 放射性药物的存放措施

①钼铯发生器的储存

本项目外购的钼铯发生器规格为 1.11Ci，钼铯发生器货包进厂前按《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）规定货包的要求进行包装，货包表面任意一点的最高辐射水平为 $0.005\text{mSv/h} < H \leq 0.5\text{mSv/h}$ ，同时钼铯发生器设计满足《裂变钼 99-铯 99m 色层发生器》（GB1317-2009）的相关要求，其屏蔽防护体厚度为 27mm 贫铀+15mm 铅。订购的钼铯发生器由生产厂家先运至核医学科诊断区 SPECT 诊断区储源室内，为保证钼铯发生器的安全储存，该储源室内设置 10mm 铅当量的储源铅柜，每天分装结束后由工作人员转运至该存储室中暂存，并建立放射性药物使用台账。

②放射性药品的存储

本项目核医学科治疗区内使用的 ^{131}I 药品由供应单位派专人送至给药室自动分装仪内， ^{89}Sr 送至储源室铅柜内暂存；SPECT 诊断区内使用的钼铯发生器由供应单位直接派专人分别直接送至相应的储源室铅柜内；核医学科 PET 诊断区内使用的放射性核素均由第三住院大楼负三层回旋加速器进行制药，制药完成后通过核素通道经传药梯传送至

负一层 PET 诊断区内，由工作人员送至分装柜内；甲吸检查和敷贴治疗所用核素由放射性药物供应单位将分装好的药物直接送至 PET 诊断区内的储源室铅柜内；PET 检查项目校准源放置在储源室的铅柜内。

注射室/给药室、分装室、储源室防护门均为含铅防护门，采用双人双锁管理模式，并安装红外报警装置。日常期间由值班人员巡视检查，出入口安装摄像头，并入医院监控系统。

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《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，环评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，须在有负压的分装柜内进行，防止放射性物质飞散；
- 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《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）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有害辐射；为核素操作人员配备铅防护手套、铅橡胶围裙等个人防护用品，注射器配备注射防护套。

时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少扫描时间，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受检者的防护

为减少受检者的照射剂量，主要采取屏蔽防护、时间防护和距离防护措施。

屏蔽防护：PET-CT 扫描间内拟为受检者配备个人防护用品，如铅防护围裙等。

时间防护：在满足检查要求的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

距离防护：尽可能增加受检者与射线源的距离，减少受检者的受照剂量。

③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) 其它防护措施

①设置淋浴卫生通过间，辐射工作人员操作后离开辐射工作场所前洗手和进行表面污染监测，如污染水平超过规定值要求，采取相应的去污措施；

②注射窗口的药品操作台上及托盘内，在操作过程中垫上一次性、容易吸附溅洒液体的厚纸，每次完成注射工作后，将其放入放射性废物桶内，这样便于保持操作台免受放射性沾污；

③核医学科工作场所产生的含放射性物质废水均排入废水衰变池内，注射后等待室、观察等候室、核医学科病房内均设有专用卫生间，专用卫生间下水道通往废水衰变池；

④核医学科工作人员及时检查分装柜的通风效果，定期检查通风设施工作的有效性和稳定性了，定期更换活性炭，不得随意丢弃；

⑤核医学科工作场所设置电离辐射警告标志，核医学科工作场所划分控制区和监督区，同时在地面设置行走箭头标识，严格规定各类人员的活动路径；

⑥核医学科控制区受检者活动场所设置监控装置和对讲装置，便于指导受检者就诊；

⑦注射放射性药物的受检者在 PET-CT、SPECT 注射后等待室内等待扫描，核医学科治疗区病人在住院期间不得随意“串门”；

⑧衰变池四周设置隔离，并设置电离辐射警示标志及中文说明，以提醒无关人员不

要靠近和停留；

⑨PET-CT、PET-MRI、SPECT 扫描间的电缆穿墙后，采用软铅皮进行辐射防护，防止射线泄露。

6) 核医学科诊断、治疗区拟配防护用品

表 10-15 核医学科诊断区内拟配防护用品一览表

序号	防护用品名称	配置场所	数量	铅当量
1	储源铅柜	SPECT 诊断区储源室	1 个	10mmPb
		PET 诊断区储源室	1 个	50mmPb
2	通风橱	SPECT 分装室	1 个	10mmPb
		PET 分装室	1 个	50mmPb
3	注射铅窗	SPECT 注射室	1 个	10mmPb
		PET 注射室	1 个	50mmPb
4	注射器防护套	SPECT 注射室	若干	5mmPb
		PET 注射室	若干	10mmPb
5	注射器防护提盒	SPECT 诊断区分装室	1 个	5mmPb
		PET 诊断区分装室	2 个	10mmPb
6	放射性废物暂存桶	SPECT 分装室、SPECT 注射室	2 个	10mmPb
		PET 分装室、PET 注射室	2 个	20mmPb
		甲吸室、放免分析室、敷贴治疗室	3 个	2mmPb
7	放射性废物衰变桶	SPECT 诊断区放射性废物暂存间、PET 诊断区放射性废物暂存间	各 2 个	10mmPb
8	铅防护屏风	SPECT 诊断区注射后等待室、观察等候室、SPECT-CT 机房	各 1 扇	2mmPb
		PET 诊断区注射后等待室、观察等候室、PET-CT 机房、PET-MRI 机房	各 1 扇	10mmPb
9	去污工具组	清洁间	2 套	/
10	一次性工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	更衣室	若干	/
11	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	SPECT 诊断区更衣室、PET 诊断区更衣室	8 套	0.5mmPb
		甲吸室	1 套	0.5mmPb

12	表面污染监测仪	SPECT 诊断区、PET 诊断区病 员走道末端	2 台	/
13	便携式 X-γ辐射 监测仪	医学装备部	1 台	共用
14	个人剂量报警仪	SPECT 诊断区和 PET 诊断区的 注射、摆位工作人员随身佩戴	12 台	/
15	个人剂量计	辐射工作人员随身佩戴	1 套/人	/

表 10-16 核医学科治疗区内拟配防护用品一览表

序号	防护用品名称	配置场所	数量	铅当量
1	自动分装仪	给药室	1 个	40mmPb
2	铅窗	储源室	1 个	50mmPb
3	注射器防护套	给药室	若干	10mmPb
4	放射性废物暂存桶	核医学科病房	7 个	30mmPb
		给药室	1 个	30mmPb
5	放射性废物衰变桶	放射性废物暂存间	3 个	10mmPb
6	铅防护屏风	核医学科病房	7 扇	10mmPb
7	去污工具组	污洗室	1 套	/
8	铅防护衣、铅橡胶颈套、 铅橡胶帽子、铅防护眼 镜	核医学科治疗区更衣室	4 套	0.5mmPb
9	表面污染监测仪	核医学科治疗区患者走 道出口	1 台	/
10	便携式 X-γ辐射监测仪	医学装备部	1 台	共用
11	个人剂量报警仪	给药室辐射工作人员随 身佩戴	2 台	/
12	个人剂量计	辐射工作人员随身佩戴	1 套/人	/

(3) III 类射线装置

本项目 III 类射线装置主要为模拟定位装置、SPECT-CT 机和 PET-CT 机，根据设计文件，目前设计的主要安全防护措施如下：

1) 安全防护措施

- ①具有安全设备，当设备出现错误或故障时，能中断照射，并有相应故障显示。
- ②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，才能由"启动"键启动照射。

③紧急止动装置：控制台设置紧急止动按钮（各按钮分别与 X 射线系统连接）。X 射线系统出束过程中，一旦出现异常，按动紧急止动按钮，可停止 X 射线系统出束。

④门灯连锁：机房防护门外顶部设置工作状态指示灯。指示灯为红色，以警示人员注意安全；当防护门打开时，指示灯灭。

⑤警告标志：机房的防护门外的醒目位置，设置明显的电离辐射警告标志。

2) 其他防护措施

①机房操作室上张贴相应的岗位规章制度、操作规程；

②机房门外应有电离辐射警告标志、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句；装置应有“紧急止动”按钮，机房门应有闭门装置，工作状态指示灯与机房门连锁等安全设施；

③机房受检者出入口门外应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近；

④为患者和陪护人员配备个人防护用品；

⑤辐射工作人员必须配备个人剂量计。

四、辐射安全防护设施对照分析

综上所述辐射安全防护分析及措施，医院需对下表所列设施进行配置：

表 10-17 本项目辐射安全防护设施对照分析表

项目	应具备的条件	落实情况	备注
10MV 医用电子直线加速器			
实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	已设计	/
	铅防护门	已设计	/
控制台及安全连锁	防止非工作人员操作的锁定开关	仪器自带	/
	加速器治疗床、加速器主机上以及控制台上应具备紧急停机按钮	仪器自带	/
	条件显示连锁、控制超剂量的连锁装置、时间控制连锁	仪器自带	/
	门机、门灯连锁	已设计	/
警示装置	入口电离辐射警示标志	已设计	/
	入口加速器工作状态显示	已设计	/
	机房内准备出束音响提示	仪器自带	/
	控制台上蜂鸣器	仪器自带	/
紧急设施	紧急开门按钮	已设计	迷道出口处的铅门内侧墙上，按钮高 1.2~1.5m
	监控、对讲装置	已设计	保证机房全覆盖
	紧急停机按钮	已设计	机房内非主射面墙上、迷道口有按钮，高 1.2~1.5m

监测设备	机房内固定式剂量报警仪	计划配备	探头朝向迷道内
	便携式 X- γ 辐射监测仪器仪表	计划配备	/
	个人剂量报警仪	计划配备	/
	个人剂量计	计划配备	/
防护器材	灭火器材	计划配备	/
	火灾报警仪	计划配备	/
其他	通风系统	已设计	/
后装机			
实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	已建成	/
装置安全设施	防止非工作人员操作的锁定开关	设备自带	/
	施源器与源连锁	设备自带	/
	管道遇堵自动回源	设备自带	/
	仿真源模拟运行系统	设备自带	/
	主机外表电离辐射警示标志	设备自带	/
	控制台显示放射源位置	设备自带	/
	控制台紧急停止照射按钮	设备自带	/
	停电或意外中断照射时自动回源装置	设备自带	/
	手动回源装置	设备自带	/
	铅防护门、防盗门	已设计	/
	通风系统	已设计	/
应急、连锁	放射源返回储源器的应急开关	已设计	机房内拟设应急按钮,高度 1.2m
	机房门与源连锁	已设计	/
	紧急开门按钮	已设计	迷道出口处的铅门内侧墙上,按钮高度 1.2m
	备用应急贮源罐	已设计	/
警示装置	停电或意外中断照射时声光报警	已设计	/
	机房电视监控、对讲装置	已设计	保证机房全覆盖
	电离辐射警示标志和工作状态指示灯	已设计	/
监测设备	便携式X- γ 辐射监测仪	已有	/
	后装机机房内固定式剂量监测仪	计划配备	监测探头位于迷道内,剂量显示器位于后装机控制室内
	个人剂量报警仪	计划配备	/
	个人剂量计	计划配备	/
模拟定位装置			
实体防护	墙体、铅防护门、观察窗	已设计	/
警示装置	工作状态指示灯	已设计	/
	电离辐射警告标志	已设计	/
紧急设施	门灯连锁装置	已设计	/
	室内安装紧急止动装置	已设计	/
	对讲装置	已设计	/
监测设备	个人剂量计	计划配备	/

防护设施	病人、陪护人员防护	计划配备	/
防护器材	火灾报警仪	计划配备	/
	灭火器材	计划配备	/
其他	通风系统	已设计	/
核医学科制药区			
实体防护	墙体、铅防护门	已设计	/
装置安全设施	隔室操作	已设计	/
	通风设施	拟设置	将回旋加速器机房、固体靶热室、合成热室管道采用 6mmPb 包裹
	单向门禁系统	已设计	/
	入口处电离辐射警告标志	拟设置	/
	入口处工作状态显示	拟设置	/
	正电子药物制备场所内分区	已设计	/
	地下沟管铅砖防护	拟设置	/
应急、连锁	门机连锁	拟设置	/
	紧急停机开关	拟设置	/
	紧急开门按钮	拟设置	/
警示装置	电视监控、对讲装置	拟设置	包含回旋加速器机房、固体靶热室、合成热室
	广播系统	拟设置	/
监测设备	多探头 γ 辐射剂量率仪	拟设置	/
	便携式表面污染监测仪	拟设置	/
	个人剂量报警仪	拟配置	/
其他	火灾报警仪	拟配置	/
	灭火器材	拟配置	/
	衰变池	已设计	/
	放射性废物暂存间，防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄露措施	已设计	/
核医学科诊断区、治疗区			
场所设施	墙体、观察窗、机房防护门	已设计	/
	场所门外电离辐射警示标志、通道标志	已设计	/
	独立的通风设施（流向）	已设计	/
	有负压和过滤的工作箱/通风柜（乙级场所）	已设计	/
	注射用屏蔽设施	已设计	/
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料	已设计	/
	移动放射性液体时容器不易破裂或有不易破裂套	已设计	/
	病人专用卫生间	已设计	/
	放射性同位素暂存库或设施	已设计	/
	放射性固体废物收集容器和放射性标识	已设计	/
	安全保卫设施（贮存场所必须）	已设计	/

	人员出口配备污染监测仪	计划配备	/
	发生器辐射屏蔽	已设计	/
	操作位屏蔽防护措施	已设计	/
	放射性废液暂存设施	已设计	/
	工作状态指示灯	拟设置	SPECT-CT 机机房、 PET-CT 机房、PET-MRI 机房
	门灯联锁装置	拟配置	
	室内安装紧急止动装置	拟设置	
	对讲装置	拟配置	
监测设备	储源室安装固定式剂量报警仪	计划配备	/
	便携式X-γ辐射监测仪（污染、辐射水平等）	共用	/
	个人剂量计	计划配备	/
	个人剂量报警仪	计划配备	/
	放射性活度计	计划配备	/
放射性废物 和废液	放射性下水系统（衰变池）及标识	已设计	/
	放射性固体废物暂存间（设施）	已设计	/
	废物暂存间屏蔽措施	已设计	/
	废物暂存间通风系统	已设计	/
防护器材	通道铅隔板、门禁、监控装置	计划配备	/
	场所门外电离辐射警示及禁止串门的标志	计划配备	/
	个人防护用品	计划配备	/
	放射性表面去污用品和试剂	计划配备	/
	火灾报警仪	计划配备	/
	灭火器材	计划配备	/

五、环保投资

本项目总投资***万元，环保投资***万元，占总投资的***%。本项目环保投资估算见下表。

表 10-18 环保设施及投资估算一览表

辐射安全防护设施		数量（套/个）	投资金额（万元）
10MV 直线加速器（2 台）			
实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	各 1 套	计入大楼主体建设
	铅防护门	各 1 扇	
场所安全设置	防止非工作人员操作的锁定开关	设备自带	**
	加速器治疗床、加速器主机上以及控制台上应具备紧急停机按钮	设备自带	**
	条件显示连锁、控制超剂量的联锁装置、时间控制连锁	设备自带	**
	门机连锁、门灯连锁	各 1 套	**
警示装置	入口电离辐射警示标志	2 个	**
	入口加速器工作状态显示	2 个	**
	机房内准备出束音响提示	设备自带	/

	控制台上蜂鸣器	设备自带	**
紧急设施	紧急开门按钮	2 个	**
	视频监控系统	2 套	**
	对讲装置	2 套	**
	紧急停机按钮	3 个	**
	机房内固定式剂量报警仪	2 台	**
监测设备	便携式 X-γ 辐射监测仪	1 台	**
	个人剂量计	1 人/套	**
其他	通排风系统	2 套	**
后装机			
实体防护	四周墙体+迷道+屋顶屏蔽	1 套	计入大楼主体建设
	铅防护门	1 扇	
安全设施	防止非工作人员操作的锁定开关	设备自带	**
	施源器与源联锁	设备自带	**
	管道遇堵自动回源	设备自带	**
	仿真源模拟运行系统	设备自带	**
	主机外表电离辐射警示标志	设备自带	**
	控制台显示放射源位置	设备自带	**
	控制台紧急停止照射按钮	设备自带	**
	停电或意外中断照射时自动回源装置	设备自带	**
	手动回源装置	设备自带	**
	门与源联锁	1 套	**
	门灯联锁	1 套	**
紧急设施	放射源返回储源器的应急开关	1 套	**
	紧急开门按钮	1 套	**
	备用应急贮源罐	1 套	**
警示装置	停电或意外中断照射时声光报警	1 套	**
	视频监控对讲装置	1 套	**
	工作状态指示灯	1 套	**
	电离辐射警示标识	1 套	**
监测设备	便携式 X-γ 辐射监测仪	1 套	**
	固定式剂量监测仪	1 套	**
	放射源在线监控系统	1 套	**
防护用品	个人剂量报警仪	2 台	**
	个人剂量计	1 人/套	**
	铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾（0.5mm 铅当量）等	2 套	**
其他	通风系统	1 套	**
模拟定位装置			
实体防护	墙体+硫酸钡涂层	1 套	计入大楼主体建设
	铅防护门、观察窗	1 套	
警示装置	工作状态指示灯	1 套	**

	电离辐射警告标志	1 套	**
紧急设施	门灯联锁装置	1 套	**
	紧急止动装置	1 套	**
	对讲装置	1 套	**
监测设备	个人剂量计	1 人/套	**
防护设施	铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾(0.25mm 铅当量)等	1 套	**
	通风系统	1 套	**
核医学科制药区			
实体防护	四周墙体+屋顶屏蔽	/	计入大楼主体建设
	铅防护门	1 扇	
场所设施	靶热室屏蔽罩	1 个	**
	药物分装设备	1 台	**
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料	1 套	**
	地下沟管	1 套	**
	铅砖(50mmPb)	若干	**
	药物转运铅罐(50mmPb)	2 个	**
	不锈钢转运推车	2 个	**
	质控室通风厨(15mmPb)	1 个	**
	视频监控对讲装置	1 套	**
	放射性废物暂存间	1 间	**
警示装置	放射性废水衰变池	1 座	**
	工作状态指示灯	1 套	**
紧急设施	电离辐射警示标识	1 套	**
	紧急停机按钮	1 套	**
紧急设施	紧急开门按钮	1 套	**
	便携式 X-γ 辐射监测仪	1 台	**
监测设备	多探头固定式剂量率仪	1 套	**
	放射性活度计	1 台	**
	表面污染监测仪	1 台	**
	中子剂量仪	1 台	**
	个人剂量报警仪	2 台	**
个人防护用品	个人剂量计	1 人/套	**
	铅防护服、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护 眼镜	3 套	**
放射性废物 和废液	放射性废水衰变池	1 座	**
	独立下水系统及排水管道屏蔽设施	1 套	**
	放射性废物铅桶	5 个	**
其他	放射性表面去污用品和试剂	若干	**
	独立排风系统(6mmPb 铅皮包裹)	1 套	**
	排风过滤器+活性炭吸附装置	1 套	**
核医学科诊断区			
实体防护	防护墙体、铅防护门、注射铅窗	/	计入大楼主体建设

场所设施	储源铅柜	2 个	**
	通风厨	2 个	**
	注射器防护提盒（5mmPb）	1 个	**
	注射器防护提盒（10mmPb）	2 个	**
	注射防护套（5mmPb）	若干	**
	注射防护套（10mmPb）	若干	**
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料	1 套	**
	储源室防盗铅门	2 扇	**
	不锈钢转运推车	2 台	**
	铅屏风（2mmPb）	5 扇	**
	铅屏风（10mmPb）	5 扇	**
	工作状态指示灯	4 套	**
	门灯联锁装置	4 套	**
	室内安装紧急制动装置	4 套	**
	对讲装置	4 套	**
警示标识	电离辐射警示标识	1 套	**
	监督区、控制区标识	若干	**
	患者就诊路径标识	若干	**
安全设施	病员通道、患者通道门禁系统	2 套	**
	视屏监控系统	1 套	**
	语音广播系统	1 套	**
监测设备	储源室固定式剂量报警仪	2 台	**
	放射性活度计	3 台	**
	表面污染监测仪	2 套	**
	便携式X-γ辐射监测仪	1 套	**
个人防护用品	个人剂量报警仪	12 台	**
	个人剂量计	1 人/套	**
	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	9 套	**
放射性废物和废液	放射性废水衰变池	2 座	**
	放射性固体废物暂存间	2 间	**
	放射性废物铅桶	11 个	**
	独立下水系统及排水管道屏蔽设施	1 套	**
其他	放射性表面去污用品和试剂	若干	**
	独立排风系统	2 套	**
	排风过滤器+活性炭吸附装置	2 套	**
核医学科治疗区			
实体防护	防护墙体、防护门	/	计入大楼主体建设
	给药室铅窗（50mmPb）	1 扇	**
	病房铅窗（25mmPb）	5 扇	**
场所设施	储源铅柜（50mmPb）	1 个	**
	通风厨(40mmPb)	1 个	**

	储源室防盗铅门	1 扇	**
	铅屏风（10mmPb）	7 个	**
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料	1 套	**
警示标识	电离辐射警示标识	若干	**
	监督区、控制区标识	若干	**
	患者治疗路径标识	若干	**
安全设施	病员通道、患者通道门禁系统	1 套	**
	视屏监控系统	1 套	**
	语音广播系统	1 套	**
	对讲系统	1 套	**
	注射器防护套（10mmPb）	若干	**
	一体化注射装置（50mmPb）	1 套	**
监测设备	储源室固定式剂量报警仪	2 台	**
	放射性活度计	1 台	**
	表面污染监测仪	1 套	**
	便携式X-γ辐射监测仪	1 套	**
个人防护用品	个人剂量报警仪	2 台	**
	个人剂量计	1 人/套	**
	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜（0.5mmPb）	4 套	**
放射性废物和废液	放射性废水衰变池	1 座	**
	放射性固体废物暂存间	1 间	**
	放射性废物铅桶	11 个	**
	独立下水系统及排水管道屏蔽设施	1 套	**
其他	放射性表面去污用品和试剂	若干	**
	独立排风系统	1 套	**
	排风过滤器+活性炭吸附装置	1 套	**
合计			***

今后医院在项目实践中，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。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目辐射工作场所土建工程属于“达州市中心医院住院部改扩建二期项目”建设内容之一，其施工期环境影响包含在《达州市中心医院住院部改扩建二期项目环境影响报告书》中。施工期主要防护措施有：

1、大气污染防治措施

①施工场地扬尘可用洒水和清扫措施予以抑止。

②施工期内多加注意施工设备的维护，使其能够正常的运行，从而可以避免施工机械因故障而使产生的废气超标的现象发生。

③加强对施工人员的环保教育，提高全体施工人员的环保意识，坚持文明施工、科学施工、减少施工期的大气污染。

2、噪声防治措施

①施工单位通过文明施工、加强有效管理，材料堆放必须轻拿轻放；

②加强现场运输车辆出入的管理，车辆进入现场禁止鸣笛；

③选用低噪声设备，按操作规范操作机械设备；

④对工人进行环保方面的教育，合理安排施工时间午间和夜间休息时间、合理布局、确保施工期间等措施。

3、固废防治措施

①产生的装修垃圾、建筑垃圾运至政府指定的渣土堆放场，施工人员产生的生活垃圾市政环卫统一清运。

②在工程竣工以后，施工单位应同时拆除各种临时施工设施，做到“工完、料尽、场地清”。建设单位应负责督促施工单位的固体废物处置清理工作。

4、水污染防治措施

施工期机械冲洗废水循环使用，不外排；施工人员生活污水产量较小，进入医院的污水处理站进行处理，处理后的废水排入市政污水管网。

医院强化施工期环境管理，严格落实施工期各项环保措施，采取有效措施，尽可能减缓施工期对环境产生的影响。

运行阶段对环境的影响

医院拟在第三住院大楼负三层南侧设放疗科、北侧设核医学科制药区；负一层北侧设核医学科诊断区；在一层东北侧设核医学科治疗区。

在放疗科内新建 2 间直线加速器机房、1 间后装机机房和 1 间模拟定位装置机房，分别在直线加速器机房内各使用 1 台 10MV 直线加速器；在负三层后装机机房内使用 1 台后装机，在后装机内使用 ^{60}Co 放射源 1 枚，装源活度为 $1.85 \times 10^{11} \text{Bq}$ （属 III 类放射源）；在模拟定位装置机房内使用 1 台模拟定位装置；在核医学科制药区内新建回旋加速器机房、固体靶热室、合成热室、质控室等，在回旋加速器机房内使用 1 台 11MeV 回旋加速器，用于生产放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 。

在核医学科诊断区内设 SPECT 诊断区、PET 诊断区、甲吸检查区、敷贴治疗区、放免分析性等，在 SPECT 诊断区内使用钼铯发生器制备的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 核素和 2 台 SPECT-CT 机，在 PET 诊断区内使用 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 四种核素和 1 台 PET-CT 机，在甲吸室开展甲吸检查项目，在敷贴治疗区内使用 ^{90}Sr - ^{90}Y 放射源用于敷贴治疗。

在核医学科治疗区内，使用 ^{131}I 、 ^{89}Sr 两种核素，其中 ^{131}I 用于开展甲癌、甲亢治疗项目， ^{89}Sr 用于开展骨转移治疗项目。

项目在运行阶段，直线加速器主要对环境的影响为 X 射线、电子线、臭氧，后装机主要环境影响为 γ 射线、臭氧，回旋加速器主要对环境的影响为中子、电子线、X 射线、 β 射线、感生放射性物质、放射性固体废物、放射性废水等；核医学科诊断区和治疗区主要环境影响为 γ 射线、 β 表面污染、放射性固体废物、放射性废水等。

一、放疗科环境影响分析

（一）放疗科辐射环境影响分析

1、直线加速器辐射环境影响分析

（1）电子束环境影响分析

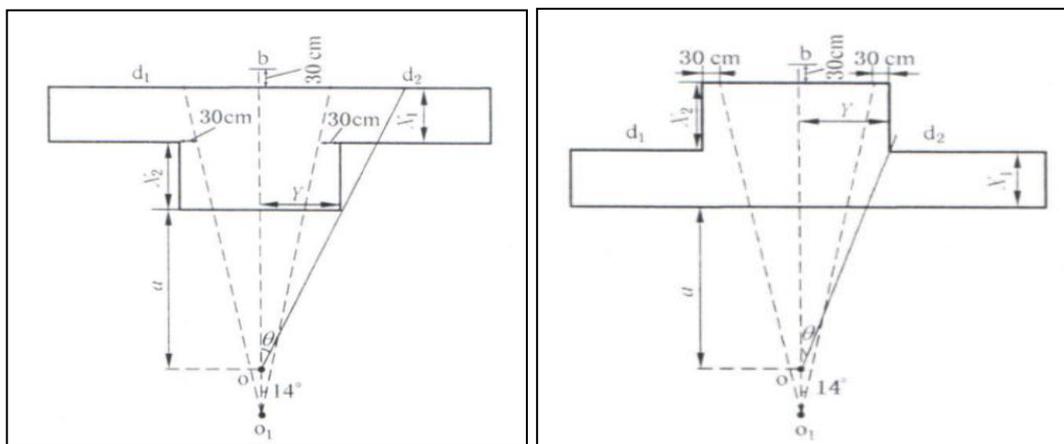
本项目 10MV 直线加速器在按电子束模式工作时，最大电子线能量为

15MeV，根据《辐射防护手册》第三分册 4.1.5 加速器的辐射源（P₉₅），能量为 E（MeV）的单能电子束，在低 Z 物质中的射程（单位为 g·cm⁻²）约为能量（单位为 MeV）的 0.6 倍。本项目 10MV 直线加速器以电子档工作时最大电子线能量为 15MeV，射程为 15×0.6=9.0g/cm²，可以估算出 15MeV 的电子在密度为 2.35g·cm⁻³ 的混凝土中的深度约为 3.8cm，而本项目屏蔽体厚度最小的为 150cm 混凝土，对电子线能完全屏蔽，可不再作特殊的防护要求，可不再考虑对电子束模式对周围环境的影响。

(2) 直线加速器 X 射线环境影响分析

1) 加速器机房主屏蔽区宽度校核

本项目拟新建 2 座紧邻的 10MV 直线加速器机房，因直线加速器机房 1 和直线加速器机房 2 尺寸和屏蔽层厚度相同，在机房内使用的直线加速器也相同，主射线的最大出束角度均为 28°，因此本次预测仅需分析 1 座直线加速器机房即可。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/T201.2-2011）附录 D，加速器主屏蔽区宽度计算分为以下两种情况，对应的主屏蔽半宽度 Y 的计算公式如下：



主屏蔽区内凸

主屏蔽区外凸

$$Y = (100 + a + X_2) \operatorname{tg} 14^\circ + 30$$

$$Y = (100 + a + X_1 + X_2) \operatorname{tg} 14^\circ + 30$$

本项目直线加速器机房设计中，西南侧和东北侧的主屏蔽墙体内外均有凸起，本次保守按照外凸进行预测。顶部主屏蔽为内凸，因此对应的主屏蔽区宽度校核见表11-1。10MV直线加速器主射线束主屏蔽区示意图见图11-1，主屏蔽宽度校核结果见表11-1。

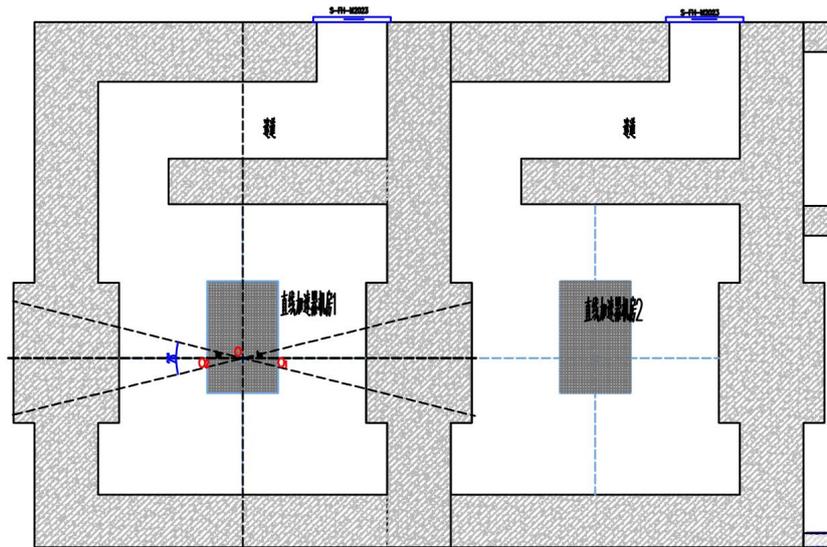


图 11-1 本项目加速器机房主射屏蔽范围计算示意图（平面）

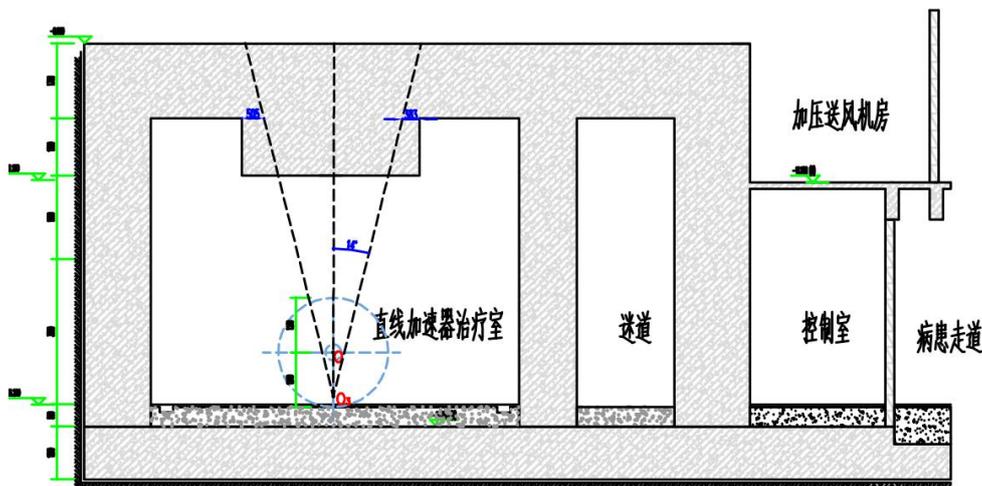


图 11-2 本项目加速器机房主射屏蔽范围计算示意图（立面）

表 11-1 本项目主屏蔽区宽度校核表

焦点距主屏蔽区距离(mm)	主屏蔽区宽度计算值(m)	主屏蔽区宽度设计值(m)	结论
西南侧主屏蔽墙体 7.50	$2 \times (7.50 \text{tg} 14^\circ + 0.3) = 4.3$	4.50	满足要求
东北侧主屏蔽墙体 7.50	$2 \times (7.50 \text{tg} 14^\circ + 0.3) = 4.3$	4.50	满足要求
距顶部主屏蔽墙体 6.31	$2 \times (6.30 \text{tg} 14^\circ + 0.3) = 3.74$	4.00	满足要求

根据表 11-1 可知，本项目加速器机房主屏蔽宽度均满足要求，设备厂家和建设单位在进行直线加速器安装时，必须严格按照既定的方案进行安装，杜绝安装后主射束超出主屏蔽范围的情况出现。

2) 10MV 直线加速器机房关注点设立及剂量率参考水平

① 加速器机房关注点设立

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/T201.2-2011），本项目加速器机房建在负三层，无地下负四层，故机房地下不作为关注点。

本项目加速器机房关注点设立及主要照射路径图见图 11-2、11-3。

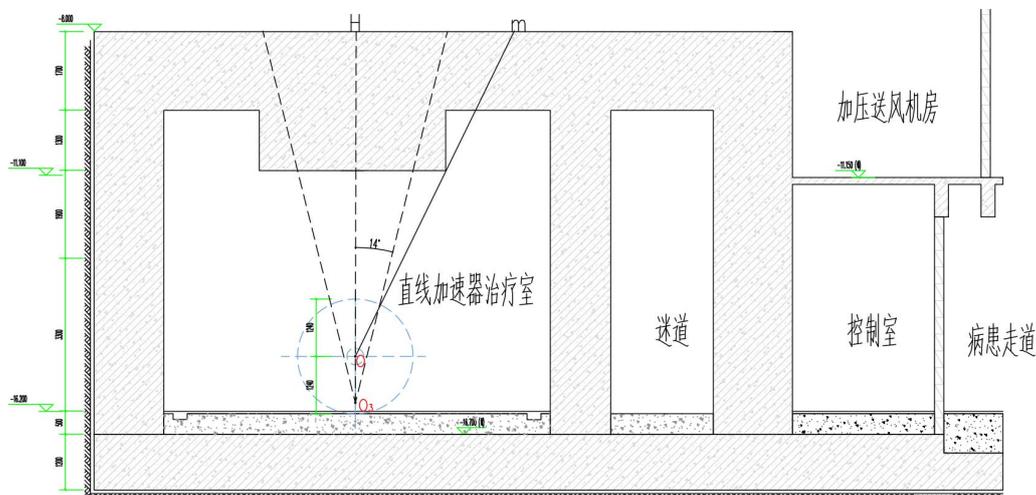


图 11-3 本项目加速器机房关注点及主要照射路径示意图（立面）

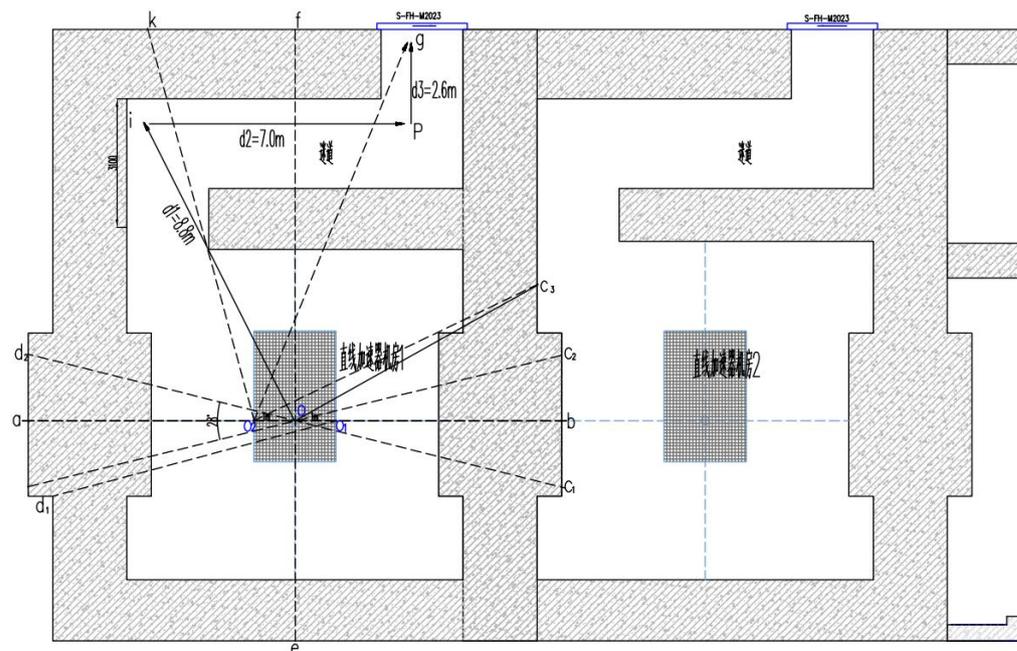


图 11-4 本项目关注点及主要照射路径示意图（平面）

② 剂量率参考控制水平

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/T201.2-2011），机房外各关注点的剂量率参考控制水平 H_c 由以下方法确定：

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，可以依照附录 A，由式中周剂量参考水平 (H_c) 求得关注点的导出剂量率参考控制水

平 ($H_{c,d}$) :

$$H_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots(\text{式 11-1})$$

式中:

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

H_c —周剂量参考控制水平, 放射治疗机房外控制区的工作人员: $H_c \leq 100\mu\text{Sv/周}$;

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

U —关注位置方向照射的使用因子, 偏保守考虑, 有用射线束方向均取 1, 非有用射线束方向均取 5;

T —人员在相应关注点驻留的居留因子;

t —周治疗照射时间, 根据医院提供资料, 直线加速器年最大出束治疗时间为 480h/台, 年工作 50 周, 则周治疗时间为 9.6h。

②关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$:

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

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

③取①、②中较小者作为关注的剂量率参考控制水平 (H_c)。

根据 4.3.2.5.2c, 迷道门外关注点 (g 点) 的最高剂量率应为参考控制水平的一个分数 (应小于 1/4), 因此取 $0.625\mu\text{Sv/h}$; 本次评价各关注点 (除迷道门外 $H_{c,max}$ 取 $0.625\mu\text{Sv/h}$) 的最高剂量率偏保守考虑, 参考控制水平 $H_{c,max}$ 均取 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。由此确定的各关注点的剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束见下表。

表 11-2 治疗室外各关注点剂量率参考控制水平

关注点	受照类型	照射途径	周剂量率控制水平 ($\mu\text{Sv/周}$)	居留因子	$H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	关注点的最高剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	本项目剂量率参考控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)
a	公众	有用线束	5	1/4	2.1	2.5	2.1
b	公众	有用线束	5	1/4	2.1	2.5	2.1
c	公众	泄漏辐射、散射辐射束	5	1/4	0.4	2.5	0.4
d	公众	泄漏辐射、散射辐射束	5	1/8	0.8	2.5	0.8
e	公众	泄漏辐射束、散射辐射束	5	1/8	0.8	2.5	0.8

f	职业	泄漏辐射束、 散射辐射束	100	1	2.1	2.5	2.1
g	职业	泄漏辐射、 散射辐射束	100	1	2.1	0.625	0.625
H	公众	有用线束	5	1/4	2.1	2.5	2.1
m	公众	泄漏辐射、 散射辐射束	5	1/4	0.4	2.5	0.4

3) 10MV 直线加速器机房屏蔽体厚度校核

①主屏蔽区、迷道内墙和外墙厚度校核

由于本项目直线加速器机房建在负三层，无地下负四层，故加速器机房地面屏蔽厚度不进行校核。

本次评价利用 GBZ/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。

$$B = \frac{He}{H_0} \times \frac{R^2}{f} \dots\dots\dots(\text{式 11-2})$$

$$Xe = TVL \times \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \dots\dots\dots(\text{式 11-3})$$

$$X_1 = Xe \cos \theta \dots\dots\dots(\text{式 11-4})$$

式中：

B—屏蔽透射因子；

He—剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H₀—直线加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv.m}^2/\text{h}$ ；本项目为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv.m}^2/\text{h}$ （最高剂量率为 6Gy/min）；

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

f—有用束为 1；泄漏辐射为主射射线比率（0.1%）

θ —斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角；

TVL₁（cm）和 TVL（cm）—辐射在屏蔽物质中的第一个半值层厚度和平衡半值层厚度；

Xe—墙体有效屏蔽厚度，cm；

X₁—墙体屏蔽厚度，cm。

表 11-3 直线加速器机房屏蔽区、迷道内墙和外墙厚度校核

②与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽厚度核算

根据 GBZ/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。泄漏辐射所需厚度按照式 11-2、11-3、11-4 进行计算，散射辐射的透射因子按式 11-3、11-4、11-5 进行计算（TVL1（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）。

$$B_1 = \frac{H_e \times R^2}{H_0 \times \alpha_{ph} \times (F / 400)} \dots\dots\dots \text{式(11-5)}$$

式中：

α_{ph} —患者 400cm² 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 400cm² 面积上的散射因子；

F—治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积，cm²。

表 11-4 直线加速器机房与主屏蔽区相连的次屏蔽区辐射屏蔽厚度核算

③防护门厚度校核

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/T201.2-2011），防护门铅厚度校核公式为：

$$X=TVL \times \log B^{-1} \dots\dots\dots (\text{式 11-6})$$

$$B = \frac{\dot{H}_e - \dot{H}_{og}}{\dot{H}_g} \dots\dots\dots (\text{式 11-7})$$

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

式中：

X —防护门铅当量厚度，mm；

TVL —单位 mm，根据（GBZ/T201.2-2011）中 5.2.6.1c）可知，入口处散射辐射能量约为 0.2MeV，对应的铅 TVL 取值为 5mm；

B —辐射屏蔽透射因子；

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

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

\dot{H}_0 —加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

\dot{H}_{og} — O_2 位置穿过迷路内墙的泄露辐射在 g 处的剂量率，根据公式 11-9、公式 11-10 计算而得；

α_{ph} —患者 400cm^2 面积上的散射因子，通常取 45° 散射角的值（本项目取 1.35×10^{-3} ）；

α_2 —砧墙入射的患者散射辐射的散射因子，通常取 i 处的入射角为 45° ，散

射角为 0°, 查得混凝土墙 45°入射、0°散射、1m² 的散射因子 $\alpha_2=22.0\times 10^{-3}$ (查附录 B 表 B.6) ;

A—i 处的散射面积, m²; 经计算本项目约为 10.2m²;

R₁—“o—i”之间的距离; R₁=8.8m;

R₂—“i—p—g”之间的距离; R₂=9.6m;

F—治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积, cm²; 本项目等中心处最大治疗野为 40cm×40cm=1600cm²;

经计算: $\dot{H}_{og}=6.03\times 10^{-3}\mu\text{Sv/h}$, $\dot{H}_g=61.1\mu\text{Sv/h}$, $B=1.85\times 10^{-6}$

最终得到防护门的铅当量厚度为: $X=\text{TVL}\cdot\log B^{-1}=6.9\text{mm}$ 。

由理论计算可知, 机房入口铅防护门屏蔽厚度为 6.9mm, 实际设计为 15mm, 可满足屏蔽要求。

小结: 经过对直线加速器机房屏蔽厚度校核, 直线加速器机房墙体厚度、迷道厚度、顶部厚度和防护门厚度均满足要求。

4) 电子直线加速器对关注点产生的剂量估算

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/T201.2-2011), 本项目医用直线加速器在运行过程中对关注点处人员受到的最大剂量可根据以下公式进行计算:

主射线束和泄露辐射剂量估算 (式中各符号含义同前文):

$$H = \frac{H_0 \times f}{R^2} \times B \dots\dots\dots \text{(式 11-9)}$$

$$B = 10^{-\frac{(Xe+TVL_1-TV L)}{TVL}} \dots\dots\dots \text{(式 11-10)}$$

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

患者一次散射辐射剂量估算:

$$H = \frac{H_0 \times \alpha_{ph} \times (F/400)}{R^2} \times B \dots\dots\dots \text{(式 11-12)}$$

机房迷道入口处 X 射线散射辐射剂量率 \dot{H}_g , 迷道入口处综合剂量率 \dot{H} :

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \times (F/400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A}{R_2^2} \times H_0 \dots\dots\dots \text{(式 11-13)}$$

$$\dot{H} = \dot{H}_g \times 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \dots\dots\dots \text{(式 11-14)}$$

由此估算的主射线束和泄露辐射对各关注点产生的剂量见表 11-5，由患者一次散射对各关注点产生的剂量见表 11-6，机房迷道入口处由散射辐射产生的剂量见表 11-7。

表 11-5 直线加速器主射线束和泄露辐射对关注点的剂量估算表

表 11-6 直线加速器机房患者一次散射对关注点的剂量估算表

表 11-7 直线加速器机房迷道入口处由散射辐射产生的剂量估算表

对于 g 点（机房迷道口）而言，既要受 X 射线漏射影响，亦要受 X 射线散射影响，机房四周、顶部 m 点既要受 X 射线漏射影响，亦要受机房患者一次散射影响，通过剂量叠加得到上述关注点的最终年剂量如下表所示：

表 11-8 直线加速器机房 1 周围关注点综合剂率叠加结果

由表 11-8 可知，在本项目直线加速器机房四周和顶部最大附加剂量为 $6.11\text{E-}02\mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）中规定的关注点剂量率控制水平的要求。

2、后装机辐射环境影响分析

根据医院提供信息，达州市中心医院拟建第三住院大楼负三层后装机机房内拟安装使用 1 台后装机，并在后装机内使用 1 枚装源活度为 $1.85\times 10^{11}\text{Bq}$ 的 ^{60}Co 放射源。 ^{60}Co 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屏蔽防护设施屏蔽后，在环境辐射方面已无影响，故本次环评中重点分析 ^{60}Co 产生的 γ 射线的环境影响问题。

后装机为一铸钢容器，内填充金属钨和贫化铀以及铅作防护材料，使源在容器内时其泄漏辐射符合国家标准要求。根据《医用电气设备第二部分： γ 射束治疗设备安全专用要求》（GB9706.17-2009）中 29.4.2 中规定的“关束状态下的距离防护屏蔽表面 5cm 处的杂散辐射引起吸收剂量率不得超过 $200\mu\text{Sv/h}$ ，距离防护屏蔽表面 1m 处的杂散辐射引起吸收剂量率不得超过 $20\mu\text{Sv/h}$ ”。

建设单位在购得 ^{60}Co 放射源后，须由放射源生产厂家进行安装，并邀请第三方有资质的单位对设备防护效果开展验收监测，后装机贮源器表面空气比释动能率必须满足《医用电气设备第二部分： γ 射束治疗设备安全专用要求》（GB9706.17-2009）的相关要求，才能通过验收。

（1）后装机机房屏蔽体厚度校核

当放射源处于贮存状态时，机体的漏射线经过屏蔽墙的屏蔽作用和距离衰减后，对机房外的人员几乎没有影响，因此本次评价不考虑后装机非工作状态

下对机房外其他人员的影响，对于后装机治疗项目的评价分析如下：

1) 后装机关注点及剂量率参考水平

表 11-9 后装机机房外主要关注点布置

位置编号	位置	照射途径	备注
A	西南屏蔽墙外 0.3m (加速器 2 机房迷道)	初级辐射	公众
B	东南侧屏蔽墙外 0.3m (水冷机房)	初级辐射	公众
C	东侧屏蔽墙外 0.3m (医务人员走道)	初级辐射	公众
D	东北侧屏蔽墙外 0.3m (医务人员走道)	初级辐射	公众
E	西北侧屏蔽墙外 0.3m (控制室 3、设备间)	初级辐射	职业
F	屋顶上 0.3m (预留设备用房)	初级辐射	公众
G	防护门外 0.3m (控制室内)	散射辐射	公众

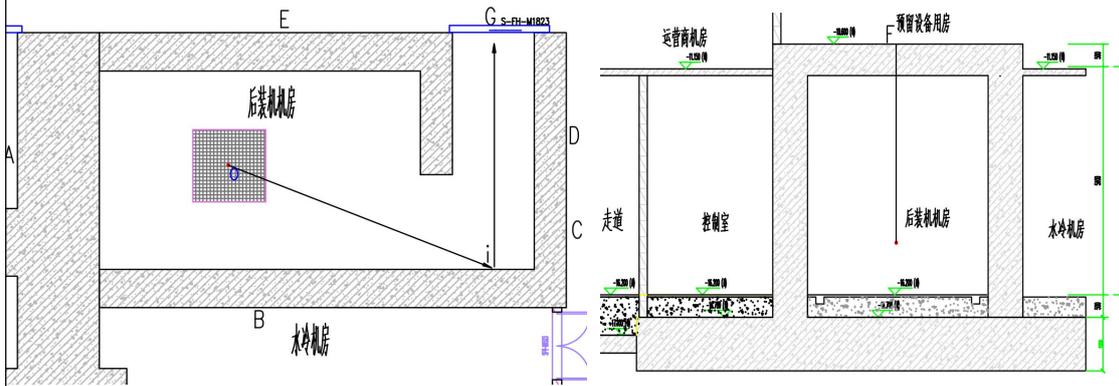


图 11-5 后装机关注点位示意图

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/T201.3-2014)，机房外各关注点的剂量率参考控制水平 H_c 由以下方法确定：

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，求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ ：

$$H_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots \text{(式 11-15)}$$

式中：

$H_{c,d}$ —导出剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

H_c —周剂量参考控制水平；根据《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 提出剂量约束值为职业人员 $5\text{mSv}/\text{a}$ 、公众 $0.1\text{mSv}/\text{a}$ ，年工作 50 周，则职业人员 $H_c=100\mu\text{Sv}/\text{周}$ 、公众 $H_c=5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

U—关注位置方向照射的使用因子；本项目取 1；

T—人员在相应关注点驻留的居留因子；

t—周治疗照射时间，h；根据医院提供的资料，后装机预估年有效出束时间最长约 400h，年工作 50 周，则周治疗照射时间 t=8h；

②关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$ ：人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所， $H_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所， $H_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

③取①、②中较小者作为关注的剂量率参考控制水平 (H_c)。由此确定的各关注点的剂量率参考控制水平见下表。

表 11-10 后装机房外各关注点剂量率参考控制水平

关注点	居留因子	剂量率参考控制水平 (H_c) $\mu\text{Sv/h}$		
		$H_{c,d}$	$H_{c,max}$	H_c
A	1/4	2.50	10	2.5
B	1/4	2.50	10	2.5
C	1/4	2.50	10	2.5
D	1/4	2.50	10	2.5
E	1	12.50	2.5	2.5
F	1/4	2.50	10	2.5
G	1	12.50	2.5	2.5

2)、屏蔽体厚度校核

①后装机机房周围屏蔽体厚度校核

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014)，采用什值层计算屏蔽厚度，计算公式如下：

$$X = X_e \cdot \cos \theta \dots\dots\dots(\text{式 11-16})$$

$$X_e = TVL \cdot \lg B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \dots\dots\dots(\text{式 11-17})$$

$$B_1 = \frac{\dot{H}_c}{\dot{H}_0} \times \frac{R^2}{f} \dots\dots\dots(\text{式 11-18})$$

$$H_0 = A \times K_\gamma \dots\dots\dots(\text{式 11-19})$$

式中：

X—屏蔽物质的屏蔽厚度，mm；

X_e —射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度，mm；

θ —斜射角，即入射线与物质平面的法线夹角；

TVL_1 —辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度, $TVL_1=245\text{mm}$;
 TVL —辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度, mm; 查 GBZ/T201.3-2014 的附录 C 表 C.1, 对于 ^{60}Co 放射源, 在混凝土中的 $TVL=218\text{mm}$;
 B_1 —屏蔽物质的屏蔽透射因子;
 H_c —剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv/h}$;
 R —辐射源至关注点的距离, m;
 f —利用因子, 对有用线束为 1, 对 γ 射线远距治疗装置的漏射辐射取 0.1%;
 H_0 —放射源在距其 1m 处的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;
 A —放射源的活度, MBq; 本项目 ^{60}Co 取初始活度 $1.85 \times 10^5 \text{MBq}$;
 K_γ —放射源的空气比释动能率常数, $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$; 查 GBZ/T201.3-2014 的附录 C 表 C.1, ^{60}Co 的空气比释动能率常数取 $0.308 \mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ 。

根据上述公式, 机房墙体屏蔽厚度核算结果如下:

表 11-11 后装机房墙体屏蔽厚度核算

根据计算结果, 本项目后装机四周墙体和机房顶部的建筑厚度能满足屏蔽防护要求。

②铅防护门厚度校核(机房入口)

根据 GBZ/T201.3-2014, 机房入口处的散射辐射剂量率 $\dot{H}_{散}$ 采用下式计算:

$$\dot{H}_{散} = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot S_w \cdot a_w}{R_1^2 \cdot R_2^2} \dots\dots\dots(\text{式 11-20})$$

式中:

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看见的墙区面

积, 16.5m²;

a_w —散射体的散射因子, 查表附录 C 中表 C.5 可得, 7.79×10^{-3} ;

R_1 —散射源至散射体中心点的距离, 6.3m;

R_2 —散射体中心点至计算点的距离, 5.3m。

经计算, 机房入口处 g 点的散射辐射剂量率 $\dot{H}_{散}$ 为 $6.6 \mu\text{Sv/h}$ 。

在给定迷道内墙屏蔽物质的厚度为 700mm 时, 可按下列公式计算屏蔽体外关注点 g 的漏射剂量率 $\dot{H}_{漏}$ 。

$$X_e = X \cdot \sec\theta \dots\dots\dots(\text{式 11-21})$$

$$B_2 = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \dots\dots\dots(\text{式 11-22})$$

$$\dot{H}_{漏} = \frac{H_0 \cdot f}{R_3^2} \cdot B \dots\dots\dots(\text{式 11-23})$$

式中:

R_3 —放射源距离关注点的距离, 取 6.7m;

其余同上。

经计算, 机房入口处 g 点的漏射辐射剂量率 $\dot{H}_{漏}$ 为 $2.9 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$;

防护门需要的屏蔽因子 B_3 , 可以根据公式 11-25, 结合公式 11-18 进行计算:

$$B_3 = \frac{H_c - \dot{H}_{漏}}{\dot{H}_{散}} \dots\dots\dots(\text{式 11-24})$$

经计算, 铅门需要的屏蔽因子 $B_3=0.376$, 入口处散射辐射平均能量约 0.2MeV, 铅的 TVL 取值为 5mm, 则防护门铅厚度 $X=TVL \cdot \lg B_3^{-1}=2.12\text{mm}$, 后装机房防护铅门实际设计值为 10mmPb, 故满足屏蔽要求。

小结: 经过对机房屏蔽校核, 后装机机房墙体厚度、迷道厚度、顶部厚度和防护门厚度均满足要求。

(2) 后装机对周围职业人员和公众的影响

1) 后装机未出源状态下给病患摆位时对医务人员的影响

在进行治疗前, 医务人员将病患推入后装机室, 并在机房内做治疗前的准备, 每次在后装治机房内停留时间为 1min, 此时后装机处于非工作状态, 放射

源处于贮源罐内，医务人员一般距放射源 1m 左右的位置。

后装机为一铸钢容器，内填充金属钨和贫化铀以及铅作防护材料，使源在其贮源容器内时泄漏辐射符合国家标准要求。根据《医用电气设备第二部分：γ射束治疗设备安全专用要求》（GB9706.17-2009）中 29.4.2 中规定“关束状态下的距离防护屏蔽表面 5cm 处的杂散辐射引起吸收剂量率不得超过 200μSv/h，距离防护屏蔽表面 1m 处的杂散辐射引起吸收剂量率不得超过 20μSv/h”的要求，医院每年约 2400 人次接受后装治疗，则估算出辐射工作人员在做治疗前的摆位过程中接受的年有效剂量为 0.8mSv/a。

2) 后装机出源状态下机房屏蔽体外辐射剂量估算

当放射源处于贮存状态时，贮源器泄漏辐射经过贮源器及机房墙体、防护门等屏蔽体的屏蔽后，对机房外的人员几乎没有影响，因此本次评价主要考虑后装机出源状态下对机房外的辐射影响。

根据 GBZ/T201.3-2014，在给定屏蔽物质厚度时，屏蔽体外关注点的剂量率计算公式：

$$\dot{H} = \frac{H_0 \cdot f}{R^2} \cdot B_4 \dots\dots\dots(\text{式 11-25})$$

$$B_4 = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \dots\dots\dots(\text{式 11-26})$$

$$X_e = X \cdot \sec\theta \dots\dots\dots(\text{式 11-27})$$

式中各符号含义同前。

根据 GBZ/T201.3-2014，在给定防护门的铅屏蔽厚度时，防护门外的辐射剂量率计算公式：

$$\dot{H}_{\text{门}} = H_g \cdot 10^{-(X/TVL)} + H_{\text{og}} \dots\dots\dots(\text{式 11-28})$$

式中：H_g—入口处的散射辐射剂量率，μSv/h；

H_{og}—泄露辐射在 g 处的剂量率，μSv/h。

经过计算预测，后装机机房外关注点处辐射剂量率见下表：

表 11-12 后装机机房外关注点处辐射剂量率

表 11-13 后装机机房防护门外关注点处剂量估算表

3、模拟定位装置辐射环境影响分析

在放疗科内使用 1 台模拟定位装置，用于直线加速器和后装机模拟定位，属于Ⅲ类射线装置。本项目所用模拟定位装置为数字成像，无废显定影液及废胶片产生，其主要影响为设备工作时产生 X 射线。

根据医院提供资料，本项目模拟定位装置每年累计曝光时间不超过 100 小时。模拟定位装置机房四周墙体为 370mm 实心页岩砖墙，屏蔽门为 3mm 铅门，屏蔽铅窗为 3mm 铅当量，楼顶为 260mm 混凝土。根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）表 3，结合附录 C 中表 C.7 可知，模拟定位装置机房周围屏蔽防护能够满足 3mmPb 的要求，机房周围屏蔽体外 30cm 处辐射剂量率不超过 2.5μSv/h。

4、放疗科保护目标辐射影响综合分析

(1) 放疗科保护目标附加辐射剂量率分析

达州市中心医院拟建第三住院大楼负三层设有放疗科和核医学科制药区，核医学科制药区距离放疗科约 40m，根据辐射剂量率与距离的平方成反比的规律，核医学科制药区产生的射线经过距离衰减后，对放疗科的影响可忽略不计；在放疗科内分别在直线加速器机房 1、直线加速器机房 2 内各使用 1 台 10MV 直线加速器，在直线加速器机房 2 旁紧邻的后装机机房内使用 1 台后装机，在后装机和直线加速器机房西北侧约 7.5m 处模拟定位装置机房。因此，在放疗科周围各保护目标受到其他射线装置的剂量叠加。在剂量叠加保护目标综合预测过程中，不考虑建筑屏蔽，仅考虑距离衰减，本项目放疗科设备机房周围保护目标最大辐射剂量率如下表所示。

(2) 放疗科保护目标年附加辐射剂量综合分析

保护目标年附加辐射剂量由下式进行计算：

$$E = H \times 10^{-3} \times q \times h \times W_T \dots\dots\dots \text{（式 11-29）}$$

式中：

H—关注点的剂量当量($\mu\text{Sv/h}$);

E—关注点的年剂量 (mSv/a) ;

h—年工作负荷 (h/a) ;

q—居留因子, 经常有人员停留的地方取 1, 有部分时间有人员停留的地方取 1/4, 偶然有人员经过的地方取 1/8;

W_T —组织权重因数, 全身为 1。

表 11-14 放疗科射线装置最近各保护目标辐射剂量率综合分析

备注: 上述环境保护目标所受年剂量均为附加剂量值。

由上表可知, 在医院第三住院大楼负三层放疗科的实体防护后, 职业人员受年附加有效剂量最大为 $8.35\text{E-}01\text{mSv/a}$, 公众受年附加有效剂量最大为 $7.32\text{E-}02\text{mSv/a}$, 分别低于职业人员 5.0mSv/a 和公众 0.1mSv/a 的剂量约束值, 远低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中规定的职业人员 20mSv/a 和公众 1mSv/a 的剂量限值。

根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律, 距离放疗科射线装置机房最近的关注点可以代表最大可能辐射有效剂量。在放疗科射线装置投入运营后, 产生的X、 γ 射线经混凝土墙体、铅门屏蔽和距离衰减后, 机房周围环境保护目标年受照剂量远低于预测剂量, 对放疗科和第三住院大楼周围公众影响更小。

(二) 放疗科臭氧环境影响分析

在放疗科内，新建 2 间直线加速器机房、1 间后装机机房和 1 间模拟定位装置机房，分别在直线加速器机房内各使用 1 台 10MV 直线加速器；在负三层后装机机房内使用 1 台后装机，在后装机内使用 ^{60}Co 放射源 1 枚，装源活度为 $1.85 \times 10^{11}\text{Bq}$ （属 III 类放射源）；在模拟定位装置机房内使用 1 台模拟定位装置。射线装置辐照在出束期间，机房内空气中的氧受 X/ γ 射线电离会产生臭氧，主要产生臭氧的射线装置为直线加速器和后装机，模拟定位装置产生的臭氧可忽略不计。

1、直线加速器产生臭氧环境影响分析

本项目使用 2 台直线加速器均为 10MV，加速器机房 1 和直线加速器机房 2 尺寸和布局均相同，因此本次仅对其中 1 台进行计算。直线加速器具有两种治疗模式，机房内空气中的氧分别受 X 射线和电子束不同模式下电离空气而产生臭氧。

(1) X 射线治疗模式

直线加速器采用 X 射线治疗模式时，其产率和浓度可用下面公式进行计算：

$$Q_o = 6.5 \times 10^{-3} \times G \times S_o \times R \times g \dots\dots\dots \text{式 (11-30)}$$

式中：

Q_o —臭氧产率 mg/h；

G —射束在距离源点 1m 处的剂量率 $\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，10MV 直线加速器取 360；

S_o —射束在距离源点 1m 处的照射面积 m^2 ，本项目取 0.16；

R —射束径迹长度 m，取 1；

g —空气每吸收 100eV 辐射能量产生 O_3 的分子数，本项目取 10。

经计算，10MV 直线加速器机房臭氧产额为 3.74mg/h。

室内臭氧饱和浓度由下式计算：

$$C = Q_o \cdot T_v / V \dots\dots\dots \text{式 (11-31)}$$

式中：

C —室内臭氧浓度， mg/m^3 ；

Q_o—臭氧产额 mg/h;

T_v—臭气有效清除时间, h;

V—机房空间体积, 10MV 直线加速器机房体积 325m³;

本项目直线加速器机房设计有专用排风系统, 设计通风量为 4400m³/h, 机房体积按照 325m³ 进行计算, 则每小时通风次数为 13 次, 每次换气需要 0.07h。

$$Tv = \frac{t_v \cdot t_a}{t_v + t_a} \dots\dots\dots \text{式 (11-32)}$$

t_v—每次换气时间, 0.07h;

t_a—臭氧分解时间, 取值为 0.83h。

经计算, 10MV 直线加速器机房臭氧产额为 3.74mg/h, 则 10MV 直线加速器机房内的臭氧平衡浓度为 7.81×10⁻⁴mg/m³。

本项目直线加速器在采用 X 射线束治疗过程中产生的臭氧通过经排风管道引至裙楼 5 层顶部排入环境大气后, 经自然分解和稀释, 能够满足《环境空气质量标准》(GB3095—2012) 中臭氧小时平均浓度二级标准 (0.20mg/m³) 的要求, 不会对环境空气造成明显影响。

(2) 电子束治疗模式

直线加速器在使用电子束治疗过程中所产生的臭氧分析, 根据《辐射防护手册》(第三分册) 4.6.1, 产生的臭氧浓度可由下式进行估算。

$$Co_3 = 3.25 \left[\frac{S_{coj} I t d}{V} \right] \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots \text{式 (11-33)}$$

式中:

Co₃—臭氧浓度 (重量比), ppm;

S_{coj}—电子在空气中的线碰撞阻止本领, keV/cm, 其数值与电子能量有关, 取 2.5keV/cm;

d—器外电子束在空气中所通过的距离, 本项目取 100cm;

I—器外电子束流强度, 取 2mA;

t—辐照时间, 取单次最长照射时间为 180s;

V—治疗室空间体积, 直线加速器治疗室体积 325m³。

经计算，本项目直线加速器运行期间，治疗室内臭氧浓度为 0.9ppm，为使治疗室内臭氧浓度能满足《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）中臭氧浓度限值的标准限值（≤0.16mg/m³）：

治疗室通风时间 T 由下面公示计算：

$$T = \sqrt{\frac{V \ln \frac{C'_{o_3}}{C_{o_3}}}{f}} \dots\dots\dots \text{式 (11-34)}$$

式中：

T—通风时间，s；

C' o₃—臭氧浓度标准限值，取 0.07ppm（0.16mg/m³）；

f—通风量，取 1.22m³/s。

经计算，在直线加速器机房采用电子束治疗模式下，通风时间大于 26s 后即可使机房内臭氧浓度达标，产生的臭氧经排风管道引至裙楼楼顶排放后，经自然分解和稀释，能够满足《环境空气质量标准》（GB3095—2012）中臭氧小时平均浓度二级标准（0.20mg/m³）的要求，不会对环境空气造成明显影响。

2、后装机产生臭氧环境影响分析

后装机机房内空气中的氧受γ射线电离而产生臭氧，假设机房为密闭，则臭氧产生率按下式计算：

$$Q_0 = 6.2 \times 10^{-3} A G V^{1/3} \dots\dots\dots \text{式 (11-35)}$$

$$C = Q_0 \times T_v / V \dots\dots\dots \text{式 (11-36)}$$

$$T_v = \frac{t_v \cdot t_a}{t_v + t_a} \dots\dots\dots \text{式 (11-37)}$$

式中：

Q—臭氧产生率，mg/h；

A—放射源活度，0.185TBq；

G—空气吸收γ射线能量产生臭氧分子数，对γ源取 10；

V—机房空间体积，143.6m³；

C—室内臭氧饱和浓度，mg/m³；

Q₀—臭氧产额 mg/h；

T_v —臭气有效清除时间, h;

t_v —每次换气时间, 根据设计资料, 后装机机房设计排风量为 $2100\text{m}^3/\text{h}$, 则每次换气时间为 0.068h ;

t_a —臭氧分解时间, 取值为 0.83h 。

由公式 11-35~11-37 计算, 臭氧产额为 $6.01\times 10^{-2}\text{mg}/\text{h}$, 最终计算出的后装机机房内臭氧平衡浓度为 $2.6\times 10^{-5}\text{mg}/\text{m}^3$ 。

3、小结

根据预测计算得知, 直线加速器机房内的臭氧平衡浓度为 $2.69\times 10^{-3}\text{mg}/\text{m}^3$, 后装机机房内臭氧平衡浓度为 $2.6\times 10^{-5}\text{mg}/\text{m}^3$, 远低于《工作场所有害因素职业接触限值第1部分: 化学有害因素》(GBZ2.1-2019)中臭氧最高允许浓度 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 的规定, 本项目放疗科内产生的臭氧采用换气系统排入环境大气后, 经自然分解和稀释, 符合《环境空气质量标准》(GB3095-2012)的二级标准 ($0.20\text{mg}/\text{m}^3$) 的要求。

根据设计方案得知, 直线加速器机房 1、直线加速器机房 2 机房、后装机机房均设计有专用排风管道, 机房内产生的臭氧通过排风管道引出经过排风井, 在裙楼五层楼顶排放。

(三) 噪声环境影响分析

在第三住院大楼负三层放疗科内通排风风机工作时将产生一定的噪声, 噪声源位于机房内, 且源强不高于 $60\text{dB}(\text{A})$, 通过机房实体防护和距离衰减后, 厂界噪声可满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 2类标准限值要求。

(四) 水环境影响分析

本项目放疗科运行后, 废水主要为医院工作人员、患者产生的生活污水和 水冷机房产生的废水。生活污水进入医院现有的的医疗污水处理站, 经污水处理站处理后的废水进入市政污水管网; 水冷机房废水循环利用, 不外排。

(五) 固体废物环境影响分析

本项目放疗科运营期主要固体废物为退役放射源、工作人员及患者生活垃圾及办公垃圾。其中, 工作人员及患者生活垃圾及办公垃圾经过统一收集后交

由环卫部门处置；后装机所使用的⁶⁰Co放射源在不进行治疗时贮存于后装机机房内的后装机圆柱形铅贮源器中，有良好的外屏蔽设施。⁶⁰Co放射源半衰期为5.27年，使用一定时间后，其活度不能满足放射治疗需要时，需要更换放射源，退役源应及时通知生产厂家回收处理，不得擅自处理。更换放射源时，须向生态环境主管部门提交《放射性同位素转让审批表》，申请更换放射源。换源时，须委托有相应资质能力的单位进行处理，不得自行操作。

二、核医学科环境影响分析

（一）回旋加速器制药环境影响分析

在核素生产过程中，工作人员将原料送入回旋加速器机房后，回到操作室内设置相关参数，观察运行状态，在回旋加速器运行期间，不进入机房内。回旋加速器制药场所建设后，医院实现PET用药自给自足，在制药区完成合成分装、质控后，再通过传药梯送至负一层PET储源室。每天制药最多4次，制药时工作人员仅在控制室操作，不进入机房。在核素生产过程中，主要环境影响因子为中子、 γ 射线、放射性废水、感生放射性物质、放射性固体废物等。

1、回旋加速器制药辐射剂量水平分析

达州市中心医院拟采购型号为待定的自屏蔽回旋加速器，最大能量为11MeV，最大电子束流为60 μ A，主射线束竖直向下，该设备生产厂家为四川玖谊源粒子科技有限公司，该公司提供了11MeV、100 μ A的回旋加速器 γ 、中子漏射辐射剂量率（图11-6）。根据回旋加速器设备原理，相同能量下，电子束流越大，漏射剂量率越大，因此设备生产厂家提供的漏射辐射剂量率可保守体现屏蔽体外的辐射剂量率。

图11-6 中子剂量率、伽马剂量率等高线分布图

（1）计算公式

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录I.3中公式I.2可预测回

回旋加速器机房周围关注点的辐射剂量率，公式如下：

$$\dot{H}_R = \left(\frac{r_0}{R}\right)^2 \cdot (H_n \times 10^{-x/TVL_n} + H_r \times 10^{-x/TVL_r}) \dots\dots\dots \text{式 (11-38)}$$

式中：

\dot{H}_R —回旋加速器室外关注点剂量率，uSv/h；

r_0 —参考点与靶心的距离，m；

R —屏蔽墙外关注点距离靶心的距离，m；

H_n —参考点 r_0 处的中子剂量率，15.06uSv/h；

x —屏蔽墙厚度，cm；

TVL_n —中子射线的十分之一减弱层厚度，cm，铅和混凝土通过查表，砖通过密度拟合得出；

H_r —参考点 r_0 处的 γ 射线剂量率，25.15uSv/h；

TVL_γ — γ 射线的十分之一减弱层厚度，cm，铅和混凝土通过查表，砖通过密度拟合得出。

(2) 回旋加速器机房外关注点预测

本项目回旋加速器机房各位置的屏蔽体材质及厚度已知，根据设备生产厂家提供的漏射剂量率，回旋加速器周围最近的关注点辐射剂量率见下表。

表11-15 回旋加速器机房周围关注点辐射剂量率预测

由上表可知，本项目回旋加速器机房周围屏蔽体表面 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的“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 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/h”的相关要求。

(3) 热室周围辐射剂量率预测

根据医院提供的资料，对拟配固体靶热室模块、合成分装模块自身的屏蔽防护四面均为75mmPb；固体靶热室和分装热室西南、东南、东北侧均为370mm实心砖墙；固体靶热室西北侧局部为800mm钢筋混凝土、其余为800mm实心砖墙、热室西北侧为370mm实心砖墙；顶部均为300mm厚钢筋混凝土；在回旋加速器机房和固体靶热室、分装热室之间拟设“U形”穿墙的放射性药品沟管，沟管上方采用50mmPb的铅砖屏蔽；分装热室内拟配置50mmPb的转运铅箱和不锈钢转运车。

回旋加速器生产的核素有 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O ，各种正电子放射性核素产生的 γ 射线能量、照射量常数接近，但是合成 ^{18}F 放射性药物量相对较多，因此，本报告以 ^{18}F 进行分析评价，防护措施满足对 ^{18}F 的辐射防护要求，即可同时满足对其余核素的辐射防护要求。

按照点源模式进行估算，参考《放射防护实用手册》（赵兰才，张丹枫主编）给出的计算公式，放射性药品活度按照生产量最大的 ^{18}F ，预测结果见表11-16。

表11-16 热室周围辐射剂量率预测

由表 11-16 可知，正常工作状态下，合成分装模块表面 5cm 处的辐射剂量率最大为 $0.80\mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》6.1 中“放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ”的要求；固体靶热室墙体外 30cm 处最大辐射剂量率为 $4.66\text{E-}03\mu\text{Sv/h}$ ，分装热室屏蔽墙外 30cm 处最大辐射剂量率为 $7.74\text{E-}03\mu\text{Sv/h}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的“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 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的相关要求”。

2、放射性废水影响分析

核医学科制药区产生的废水、生活污水均统一收集至负3层衰变池3内进行衰变处置，产生的放射性废水主要含 ^{18}F 核素，以及少量 ^{11}C 、 ^{15}O 、 ^{13}N 核素，均为短半衰期放射性核素，根据满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）7.3.3中规定的“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”的相关要求，核医学科制药产生的含放射性核素废水在衰变池3内衰变30天后，可直接排入医院污水处理站进一步处理，对周围环境影响较小。

3、感生放射性物质影响分析

本项目回旋加速器以高射线能量运行（ $>10\text{MeV}$ ）时，光-核反应产生的中子与回旋加速器结构材料和空气发生的（ n, γ ）反应产生感生放射性，空气中会产生少量感生放射性气体。回旋加速器在开机运行过程中因射线强辐射作用，在空气中会产生极少量臭氧和微量氮氧化物等有害气体，还会产生少量 ^{11}C 、 ^{15}O 、 ^{13}N 、 ^{41}Ar 等放射性废气。这些物质浓度过高会影响辐射工作人员健康。在回旋加速器运行期间，由于加速器机房有足够的结构屏蔽，其部件产生的感生放射性不会危害屏蔽体外的工作人员，且本项目回旋加速器机房内除设备检修及更换靶材料外无人员进入，因此不考虑其对工作人员影响。

根据建设单位提供的资料，回旋加速器机房排气量为 $1800\text{m}^3/\text{h}$ ，排气次数可达7次/h，排放口位于裙楼东南侧楼顶。产生的感生放射性物质其中 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 半衰期很短，在很短时间内即可发生衰变，故可以不予考虑。主要考虑 ^{41}Ar 的影响，由于空气中可以生成 ^{41}Ar 的 ^{40}Ar 含量仅为1.3%，加上产生 ^{41}Ar 的活化反应截面很小，所以 ^{41}Ar 的生成率极其微小。因此，排出的感生放射性气体对周围公众的影响可以忽略不计。

4、放射性固体废物影响分析

核医学科制药区设置有1个放射性废物暂存间用于暂存放射性固废，位于回旋加速器制药区东北侧东南侧全质控室阳性对照室旁，设置废物间用于存放制备PET诊断项目所用核素产生的放射性废物，放射性废物暂存间四周墙体采用实心砖墙，防护门为铅防护门，具有较好的屏蔽效果，且制备的核素均为短半衰期核素；此外，回旋加速器固体靶片可重复使用，在意外损坏需要更换

时，换下的废靶片按固体放射性废物处理。

在核医学科制药区产生的所有放射性废物均在放射性废物暂存间内暂存至30天后，按普通医疗废物进行处理。因此，回旋加速器制药产生的放射性废物均得到了妥善处置，对周围环境影响较小。

(二) 核医学科其他区环境影响分析

1、β射线的辐射影响分析

本项目涉及使用的¹³¹I、⁸⁹Sr、⁹⁹Mo、^{99m}Tc、¹⁸F、¹¹C、¹³N、¹⁵O核素和⁹⁰Sr-⁹⁰Y放射源在衰变过程中会有β粒子，但由于¹⁸F、¹¹C、¹³N、¹⁵O产生的是正电子，迅速发生湮灭反应所以本次不考虑β射线影响。根据《放射卫生学》（章仲侯主编，P171），β粒子在不同介质中的射程按下式计算：

$$d = \frac{I}{2\rho} \cdot E_{MAX} \dots\dots\dots \text{式 (11-39)}$$

式中：

d ——β射线在介质中的射程，cm；

ρ ——介质的密度，空气密度为 $1.29 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$ ；铅密度为 11.34g/cm^3 ；铅玻璃密度为 4.6g/cm^3 ；

E_{MAX} ——β射线的最大能量，MeV。

表 11-17 各核素β射线在空气中理论最大射程

综上所述，本项目涉及使用的⁹⁹Mo、^{99m}Tc、¹³¹I、⁸⁹Sr核素和⁹⁰Sr-⁹⁰Y放射源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职业人员还穿戴有0.5mm铅当量的防护铅服，且公众与放射性核素之前还采取了距离隔离措施，因此β射线对职业人员和公众辐射影响是很小的。

2、韧致辐射（X射线）影响分析

由于β粒子在遇到重质材料（如：铅、铁等原子序数大于 56 的材质）屏蔽时，才会产生轫致辐射，因此本次评价主要考虑分装/操作过程中有铅屏蔽时的轫致辐射影响，本项目涉及分装的主要为 ¹⁸F、^{99m}Tc 和 ¹³¹I 三种核素，根据《辐射防护导论》（P133），轫致辐射在空气中的吸收剂量率计算公式如下：

$$D = 4.58 \times 10^{-14} \cdot A \cdot Z \cdot (\mu_{en}/\rho) \cdot (E_b/r)^2 \dots\dots\dots \text{式 (11-40)}$$

式中：D—屏蔽层中β粒子产生的轫致辐射在 r(0.5m)处空气中的吸收剂量率，Gy/h；

μ_{en}/ρ —是平均能量为 E_b ($E_b=1/3E_{max}$) 的轫致辐射在屏蔽材料中质量能量吸收系数， $m^2 \cdot kg^{-1}$ ，由《辐射防护导论》附表 2 查得；

A—放射源活度，Bq；

Z—电子屏蔽材料的有效原子序数，根据《辐射防护导论》表 4.4 查得铅有效原子序数为 82。

根据《辐射防护导论》（P134）经屏蔽体衰减后，屏蔽体外剂量当量率由下式计算：

$$E = D \cdot 0.1^{(d/TVL)} \dots\dots\dots \text{式 (11-41)}$$

式中：

E—屏蔽体外剂量当量率，Gy/h，

D—屏蔽层中β粒子产生的轫致辐射在 r(0.5m)处空气中的吸收剂量率，Gy/h；

d—屏蔽层厚度；

TVL—屏蔽层在β粒子平均能量下的什值层厚度，cm，由《辐射防护导论》表 3.5 查得。

β粒子所致轫致辐射空气吸收剂量率及屏蔽体外辐射剂量当量率计算结果见表 11-18。

表 11-18 轫致辐射空气吸收剂量率及屏蔽体外剂量率计算表

*注：对照《辐射防护导论》表3.5，保守按较高能量查得什值层厚度。

经计算，本项目操作位距离辐射源0.5m处韧致辐射剂量当量率最大为 $3.53 \times 10^{-16} \mu\text{Sv/h}$ ，因此韧致辐射为周围辐射剂量率贡献值很小，本次评价可以忽略。

3、辐射工作场所 γ 辐射水平分析

辐射工作人员在放射性药物操作区进行相关放射性药物的分装和给病人注射放射性核素，这个过程主要是放射性核素产生的 γ 射线引起的辐射照射。当病人注射了放射性药物之后，病人又成为一个活动的辐射体，其所在的工作场所则要考虑来自病人身体的射线辐射。

将注射后的患者视为“点状辐射源”，参考《放射防护实用手册》（赵兰才，张丹枫）中对 γ 剂量估算的经验公式。

$$H_R = A \times f \times R^{-2} \times 10^{-X/TVL} \dots\dots\dots \text{式 (11-42)}$$

式中：

H_R —经屏蔽材料屏蔽后，关注点的剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A —药物的放射性活度，MBq；

f —1m处的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2 \cdot (\text{hMBq})^{-1}$ ；

R —关注点到辐射源的距离，m；

X —拟采用的屏蔽厚度，cm；

TVL — γ 射线在相应屏蔽材料中的十值层，cm。

SPECT诊断项目使用的放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{131}I 中， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的日操作量相对于 ^{131}I 核素更大，且核素诊断流程相同，因此，对该工作场所的影响分析按照 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行辐射屏蔽分析；除外还需分析SPECT-CT机房内扫描病人对周边环境的影响；PET诊断项目使用的放射性核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 中， ^{18}F 核素诊断人数最多，日使用量最大，且各核素诊断流程相同，因此PET诊断用核素对工作场所的辐射影响分析均按照 ^{18}F 核素进行辐射屏蔽分析；在核医学科治疗区内使用 ^{131}I 、 ^{89}Sr 两种核素，其中使用 ^{89}Sr 核素进行骨转移治疗，使用 ^{131}I 核素进行甲癌、甲亢治疗，其中使用 ^{131}I 日用量最大，人数最多，因此对核医学科治疗区按照 ^{131}I 进行辐射屏蔽分析。此外，根据表1-11放免分析区属于Ⅲ类核医学科场所，不需要进行结构屏蔽，不需要设置分装柜，一般自然通风即可，因此，不再进

行预测计算。

表11-19 使用放射性药物工作场所辐射屏蔽计算参数

根据医院诊疗流程可知，SPECT诊断患者注射药物后等待15分钟即可进行扫描；SPECT-CT每15分钟扫描一个病人，共有2间SPECT-CT机房；扫描完后需留观15分钟。本项目SPECT-CT诊断区设有2间注射后等待室，1间观察等候室，注射后等待室、观察等候室内分别最多等候2人，观察等候室每天最多可容纳64人；SPECT诊断区日最大诊断人数为56人，因此本项目SPECT诊断区内注射后等待室及观察等候室患者容量满足本项目就诊人数需求。

PET诊断区内诊断患者注射药物后等待15分钟即可进行扫描；PET-CT每5分钟扫描一个病人，PET-MRI每15分钟扫描一个病人；扫描完后需留观15分钟。本项目设有2间注射后等待室，每间注射后等待室最多2人，注射后等待室每天最多可容纳64人；设有1间观察等候室，最多4人同时留观，留观室每天最多可容纳128人，PET诊断项目日最大诊断人数为31人，因此本项目PET休息室及留观室患者容量满足本项目就诊人数需求。

甲癌、甲亢、骨转移患者共用给药室和患者通道，甲癌患者在给药室内服药后，医护人员的指导下进入双人隔离病房住院治疗，一般住院5天；甲亢患者服药后，即可离开核医学科，骨转移患者注射后放射性核素后，住院1天即可离开核医学科，同时间在患者通道内最多2人。

注射室（给药室）最多容纳1人，因此，SPECT诊断区注射室单次源强为814MBq（22mCi），PET诊断区使用核素 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O ，其中 ^{18}F 的半衰期最长（109.8min）且年用量最大，因此采用 ^{18}F 进行计算，注射室单次源强为370MBq（10mCi）；甲吸室单次最大为0.37MBq（0.01mCi）；质控一般按照微居级用量进行质控的，每次质控保守按照100 μCi 进行考虑；核医学治疗区内使用 ^{89}Sr 用于治疗骨转移， ^{89}Sr 为纯 β 衰变，因此，仅考虑 ^{131}I 用于治疗甲亢、甲癌，

单次最大7400MBq（200mCi）。因本项目使用多种核素，在不考虑注射(服药)等待的时间对药物的衰变影响，本项目核医学科内各关注点最大有效剂量见下表。

表11-20 核医学科内各关注点辐射剂量率预测结果

由上表各关注点估算结果可知，核医学科控制区外人员可到达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值不大于 2.5 μ Sv/h；控制区内屏蔽体外表面 0.3m 的周围剂量当量率控制目标值不大于 2.5 μ Sv/h；核医学科通风橱外表面 0.3m 处人员操作位处的周围剂量当量率控制目标值不大于 2.5 μ Sv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）的相关要求。

实际上，病人在注射后候诊室等待过程中，由于衰变作用导致病人体内核素的活度不断减少，因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

4、辐射工作人员及公众个人剂量估算

(1) 工作负荷及计算参数

1) 回旋加速器核素制备

PET药物制备完成后，工作人员将制备的药物送入固体靶热室，每次约5分钟；药物在固体靶热室模块内自动提纯后，工作人员从模块中取出药品并转运至热室后，将药物放入合成分装模块中进行合成，每次约5分钟；工作人员进入热室将合成分装模块内装有药物的铅罐取出，质控药物通过药物传递窗送达质控室，每次约5分钟。转运期间，诊断药物均使用长柄转运小推车进行药物转运，身体与转运铅罐（50mmPb）的直线距离取1.2m，转运时间取5分钟。质控取100 μ Ci药物在通风橱（15mmPb）中进行质控，每种核素每次质控时间为5分钟，身体与药物的直线距离取0.3m。

2) SPECT诊断

根据药物的使用方法和医务人员行走路径，医务人员一般不会长时间接触SPECT诊断显影病人，但在扫描时医务人员会近距离接触服药患者并协助摆位，因此职业照射估算分析按照患者均注射 ^{99m}Tc 对工作人员的辐射影响。

工作负荷及计算参数：SPECT诊断显影药物为钼铯发生器制备的 ^{99m}Tc ，淋洗、测活、标记、分装均在10mmPb通风橱内进行。每天淋洗、测活、标记一次，约3min；SPECT诊断显影药物 ^{99m}Tc 在通风橱中分装时，操作人员位于通风橱外表面5cm处，该操作时间按照单份1min计。护士注射药物是在10mmPb当量的屏蔽窗口进行，每次注射用时约30秒，身体与注射器的直线距离约0.5m。受检者在摆位技师的辅助下（直线距离约0.5m）进行扫描检查，摆位时间约30秒，摆位人员接触受检者的整个过程中均穿戴0.5mmPb个人防护用具。

3) PET诊断

根据药物的使用方法和医务人员行走路径，医务人员一般不会长时间接触PET诊断显影病人，但在扫描时医务人员会近距离接触服药患者并协助摆位，因此职业照射估算分析按照患者均注射 ^{18}F 对工作人员的辐射影响。

工作负荷及计算参数：PET诊断项目分装给药拟采用PET自动分装仪与人工注射。PET诊断显影药物的分装可在50mmPb通风橱中进行，分装时辐射剂量率取通风橱外表面5cm处的值，该操作时间按照单份60秒计。护士注射药物是在50mmPb当量的屏蔽窗口进行，每次注射用时约30秒，身体与注射器的直线距离约0.5m。患者在接受药物注射后进入PET休息室候诊，约15分钟后进入PET-CT机房或PET-MRI机房扫描，并在摆位技师的辅助下进行扫描检查，这一过程摆位人员与受检者的直线距离取0.5m，摆位时间按30秒考虑，摆位人员接触受检者的整个过程中均穿戴0.5mmPb个人防护用具。

4) 甲吸检查

本项目购买已分装好的碘 ^{131}I 化钠药品，由医生取药后供患者口服，甲吸病人每天最多10例，取药时间按照单份30秒计，患者服药按照30秒计。甲吸病人在甲吸室药后，在甲吸室完成检查，甲亢病人用药后进行一定时间的观察，如无异常情况，可以离开医院。

5) 甲癌治疗、甲亢治疗项目

工作负荷及计算参数：本项目 ^{131}I 药品采用碘自动分装仪自动分装。碘自动

分装仪安装在给药室内，药物在给药室内自动分装。在药物分装和病人服药过程中，辐射工作人员全程待在储源室西南侧的护士站内，使用计算机程序操作碘自动分装仪进行分装，通过监控系统指挥患者服药，不近距离接触药品。医护人员指导患者服药的过程中受到短暂的外照射影响。

6) 骨转移治疗项目

工作负荷及计算参数：医院根据与病人情况提前向药物供货商订⁸⁹Sr注射液品，无分装流程。患者在护士站登记后，进入给药室，医生按照配送的药物直接给每个病人注射，每天最多5名患者，每次注射时间约30s，患者注射后在病房内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。

(2) 辐射工作人员受照剂量预测

根据上述核医学科内屏蔽体外剂量率预测结果，个人年最大有效剂量估算公式如下：

$$H_r = H \cdot t \cdot T \cdot 10^3 \dots\dots\dots \text{式 (11-43)}$$

式中：

H_r —辐射外照射人均年有效剂量，mSv；

H —辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t —年工作时间，h；

T —居留因子，职业人员保守按照1考虑，公众人员根据NCRP144中的取值进行考虑。

表11-21 核医学科所致辐射工作人员个人年有效剂量估算

核医学科制药区内的辐射工作人员受到的年最大有效剂量为1.67mSv/人；PET诊断区与SPECT诊断区域共用控制室（廊），控制室内的辐射工作人员受

到PET、SPECT诊断的剂量叠加，控制室内的技师最大年有效剂量为0.89mSv/人，SPECT摆位护士在控制室内受到的最大年有效剂量为1.42mSv/人；PET摆位护士在控制室内受到的最大年有效剂量为1.78mSv/人；此外，骨转移患者与甲癌、甲亢治疗共用注射台与通道，由相同的辐射工作人员负责对患者进行治疗，因此，核医学科治疗区辐射工作人员最大年有效剂量为甲癌、甲亢、骨转移治疗项目剂量叠加，经叠加后核医学科治疗区年有效剂量为0.98mSv/人。

由本项目设计方案可知，核医学科诊断区内辐射工作人员受到上方核医学科治疗区的剂量贡献，根据11-19可知，核医学科治疗区正下方最大剂量率为1.26 μ Sv/h，工作时间按照每天8小时，年工作时间250天进行计算，正下方的辐射工作人员每人受到核医学科治疗区的附加剂量为2.52mSv/a；核医学科治疗区内受到核医学科诊断区的附加最大辐射剂量率为9.57E-02 μ Sv/h，工作时间按照每天8小时，年工作时间250天进行计算，核医学科治疗区内辐射工作人员受到核医学科诊断区的附加年最大有效剂量为0.19mSv/a。

综上所述，本项目核医学科制药区内辐射工作人员年最大附加有效剂量为1.67mSv/a；核医学科诊断区内辐射工作人员年最大附加有效剂量为4.30mSv/a，核医学科治疗区内辐射工作人员年最大附加有效剂量为1.17mSv/a。第三住院大楼核医学科内辐射工作人员的年有效剂量均能满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的“一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过5 mSv/a”要求。

（3）公众受照剂量估算

根据表11-20可知，各辐射工作场所最近的关注点的辐射剂剂量率，在不考虑其他墙体的屏蔽效果，根据关注点辐射剂量率与保护目标的距离成反比的规律，可得出经过距离衰减后关注点的最大辐射剂量率，由此可得出距离核医学科最近的保护目标年最大有效剂量，详见下表。

表11-22 核医学科所致公众人员年有效剂量

由上表可知，核医学科治疗区辐射工作场所周围公众的年有效剂量最大为 $5.26\text{E-}02\text{mSv/a}$ ；核医学科制药区上方与SPECT诊断区局部存在部分重叠，因此负二层公众存在剂量叠加，经叠加后年最大有效剂量为 $6.61\text{E-}03\text{ mSv/a}$ ；核医学诊断区与核医学科治疗区存在部分重叠，但核医学科诊断区和核医学科治疗区内无无关人员经过，因此不存在公众受照射。综上所述，本项目辐射工作场所周围公众的年有效剂量最大为 $5.26\text{E-}02\text{mSv/a}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的“公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a ”要求。

（4）小结

综上所述，本项目投入运营后，核医学科所致辐射工作场所内职业人员年最大附加有效剂量为 4.30mSv/年 ，核医学科周围最近的公众年最大附加有效剂量为 $5.26\text{E-}02\text{mSv/a}$ ，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的“一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5 mSv/a ，公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a ”；也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

根据电离辐射水平随着距离的增加而衰减的规律，距离核医学科最近的关注点可以代表最大可能辐射有效剂量。在实际工作中，核医学科使用的核素随着时间衰变、且产生的 γ 射线经墙体、门窗屏蔽、距离衰减后，核医学科周围环境保护目标受照剂量远低于预测剂量，对第三住院大楼周围公众影响更小。

5、 β 表面沾污的防护措施

β 表面沾污的影响主要来源于医生操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对职业人员和公众造成辐射影响，因此，为了使本项目非密封放射性物质工作场所的 β 表面污染水平达到GB18871-2002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培训，具备相应的技能与防护知识；

②开瓶、转移、标记、分离纯化等易产生放射性物质逸出或飞散的操作，其操作须在通风柜内进行；

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

④吸取液体的操作必须用合适的器具，严禁用口吸取；

⑤不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；

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

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

⑧做好就诊病人的管理，特别是已服药和注射放射性药品的病人管理工作，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动。

⑨如β表面污染水平超过GB18871-2002规定值，医院应暂停开展核医学活性区的相关业务，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（超过 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）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）。

6、“三废”影响分析

（1）放射性废水

本项目敷贴治疗不产生放射性废水；甲吸检查用药量很小，且服药后立即离开医院，产生的放射性废水可以忽略；甲亢、甲癌病人在服药/注射后均只能在核医学科治疗区上卫生间，且甲亢患者不住院治疗，服药/注射后经影像诊断后直接离开医院；骨转移治疗患者服药/注射后直接离开医院，不产生放射性废水。根据设计方案，医院拟在第三住院大楼拟建3个衰变池，其中在第三住院大楼西北侧拟建紧邻的衰变池1和衰变池2，在核医学科制药区拟建衰变池3。衰变池1接收核医学科治疗区（一层）甲癌、甲亢项目产生的放射性废水，含有的核素为 ^{131}I ；衰变池2接收核医学科诊断区内SPECT诊断项目、PET诊断项目产生的放射性废水，含有的核素为 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O ；衰变池3接收核医学科制药区产生的放射性废水，主要含有的核素为 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 。

本项目PET诊断项目中使用 ^{18}F 用量远大于其余核素，其半衰期最长，因此PET诊断项目及PET药物制备项目废水核素排放考虑核素 ^{18}F ；SPECT诊断项目

所使用核素主要为 ^{99m}Tc ；核医学科治疗项目使用 ^{131}I 核素，因此甲癌治疗项目废水核素排放考虑 ^{131}I ；PET药物制备项目所生产使用核素中， ^{18}F 用量远大于其余核素，且 ^{18}F 半衰期最长，因此PET药物制备项目废水核素排放考虑 ^{18}F 。

1) 核医学科制药区放射性废水影响分析

核医学科制药区产生的废水均统一收集至负3层衰变池3内，衰变池3总有效容积为 $3\times 4=12\text{m}^3$ 的三级并联衰变池进行衰变处置，满足排放要求后排入医院污水处理站进一步处理。核医学科制药区产生的放射性废水主要含 ^{18}F 核素，以及少量 ^{11}C 、 ^{15}O 、 ^{13}N 核素。日产生废液量为制备药物产生微量废水、工作人员清洗淋浴废水以及应急洗消，平均每天废水产生量约为 $0.25\text{m}^3/\text{d}$ ，周产水量为 $1.25\text{m}^3/\text{周}$ ，本项目衰变池为三级并联，偏保守的角度，放射性废水待放满第1格衰变池起才计算衰变时间，直到放满其余2格衰变池，再排放第1格衰变池废水，注满2格衰变池需要32d，根据《核医学辐射防护与安全要求》7.3.3.1中规定，核医学科制药区内核素最长半衰期为1.83h，半衰期小于24h，衰变池3内的放射性废水暂存超过30天后，可以直接解控排放。因此，核医学科制药区放射性废水排入衰变池3可行，因此本项目衰变池的容积满足放射性废水在衰变池贮存30天的要求，则废水的排放情况见下表。

表11-23 核医学科制药区放射性废水中核素活度

表11-24 衰变池3放射性废水中主要核素活度

由上表可知，核医学科制药区放射性废水衰变池（衰变池3）单次排放浓度为 $7.06\text{E}-107\text{Bq/L}$ ，经衰变池后废水中总 β 浓度远小于《医疗机构水污染物排放标准》中规定的总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ 的要求，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）中关于放射性废液排放的规定。

放射性注满衰变池3第二格后，便可将第一格衰变池内废水排放至院内污

水处理站进一步处理达标后纳入市政管网。医院应制定衰变池3每月进行一次放射性废水排放，每次排放应做好排放时间、排放量等应详细记录，设置专门的废水排放台账，台账应有专人管理，存档保存。

2) 核医学科诊断区放射性废水影响分析

核医学科PET诊断区和SPECT诊断区废水均统一收集至第三住院大楼西北侧衰变池2。因PET诊断项目和SPECT诊断项目均不需要进行住院观察，所以在注射或者服药后候诊过程中产生的废水主要来源于少量排泄废水、清洗废水。根据设计文件，衰变池2单格衰变池有效容积为71m³，衰变池2总有效容积为3×71=213m³的三级并联衰变池进行衰变处置，在衰变池内衰变至满足排放要求后排入医院污水处理站进一步处理。

根据《综合医院建筑设计规范》（GB51039-2014），门诊患者每人每天用水定额取10L，核医学科诊断区内产生放射性废水患者最多81人，患者废水产生量约为0.65m³/d；每日对核医学科诊断区去污共产生废水约0.1m³/d；核医学科诊断区每日清洗废水应急废水约0.1m³/d。因此，核医学科诊断区每天废水产生量为0.85m³/d，周产生放射性废水量为4.25m³/周。

本项目衰变池2为三级并联，偏保守的角度，放射性废水待放满第1格衰变池起才计算衰变时间，直到放满三格衰变池，再排放第1格衰变池废水，注满其余2格衰变池需要167d，根据《核医学辐射防护与安全要求》7.3.3.1中规定，核医学科诊断区内核素最长半衰期为6.02h，半衰期小于24h，衰变池2内的放射性废水暂存超过30天后，可以直接解控排放。因此，核医学科诊断区放射性废水排入衰变池2可行，衰变池2容积能够满足放射性废水暂存30天的要求。

偏保守预测，患者体内核素100%排入了放射性废水中，则废水的排放情况见下表。

表11-25 核医学科诊断区放射性废水中主要核素活度

表11-26 衰变池2放射性废水中主要核素活度

由上表可知，核医学科诊断区放射性废水衰变池（衰变池2）内放射性废水暂存30天后，放射性核素浓度远小于《医疗机构水污染物排放标准》规定总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ 的规定，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）中关于放射性废液排放的规定。

医院应结合废水在衰变池2中的储存周期，制定每个月进行一次的排水计划，按照计划定期将废水排放至院内污水处理站进一步处理达标后纳入市政管网。每次排放应做好排放时间、排放量等应详细记录，设置专门的废水排放台账，台账应有专人管理，存档保存。

3) 核医学科治疗区（甲癌治疗、甲亢、骨转移治疗项目）放射性废水影响分析

核医学科治疗区甲癌治疗、甲亢治疗和骨转移治疗共用一个区域，放射性废水均统一收集至第三住院大楼西北侧衰变池1。因甲亢和骨转移治疗项目的患者服药后，就离开核医学科治疗区，不需要住院治疗，但甲癌治疗项目需要住院观察。因此，本项目主要产生的废水主要考虑甲癌治疗项目产生的废水。在注射或者服药后候诊过程中产生的废水主要来源于观察期间产生的废水主要来源为排泄废水、洗澡用水、清洗废水。根据设计文件，衰变池1单格衰变池有效容积为 213m^3 ，衰变池1总有效容积为 $3 \times 213 = 639\text{m}^3$ 的三级并联衰变池进行衰变处置，在衰变池内衰变至满足排放要求后排入医院污水处理站进一步处理。

根据《综合医院建筑设计规范》（GB51039-2014），住院患者每人每天用水定额取 200L ，根据现有核医学科隔离病房的设计，核医学科共设7间隔离病房，最多可容纳14名患者，则患者产生废水产生量为 $2.2\text{m}^3/\text{d}$ ；每日去污、清洗共产生废水 $0.1\text{m}^3/\text{d}$ 。则核医学科治疗区每天废水产生量为 $2.3\text{m}^3/\text{d}$ 。

本项目衰变池为三级并联，偏保守的角度，放射性废水待放满第1格衰变池起才计算衰变时间，直到放满其余2格衰变池，再排放第1格衰变池废水，注满2格衰变池需要185d。根据《核医学辐射防护与安全要求》7.3.3.1中规定，“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”。因此，本项目衰变池 1 的容积满足放射性废水在衰变池 1 内贮存 180 天的要求。偏保守预测，患者体内核素 100%排入了放射性废水中，则废水的排放情况见下表。

表11-27 核医学科治疗区放射性废水中核素活度

表11-28 衰变池1放射性废水中主要核素活度

由上表可知，核医学科治疗区放射性废水衰变池（衰变池1）单次排放浓度最大为0.54Bq/L，经衰变池后废水中总 β 满足《医疗机构水污染物排放标准》中总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ 的规定，也满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）中关于放射性废液排放的规定。

放射性废水衰变池 1 拟设废水取样口和检修口，每次排放前应对放射性废水进行取样监测，监测结果符合排放标准经审管部门认可后方可排放。结合废水在衰变池中的储存周期，制定每 6 个月进行一次的排水计划，按照计划定期将废水排放至院内污水处理站进一步处理达标后纳入市政管网。每次排放应做好详细记录所含核素名称、体积、废液产生的起始日期、责任人员、排放时间和监测结果，设置专门的废水排放台账，台账应有专人管理，存档保存。

4) 衰变池排放废水浓度可行性结论

查 GB18871-2002 附录表 B3，根据工作人员吸入 $e(g)_{1\mu\text{m}}$ 、吸入 $e(g)_{5\mu\text{m}}$ 和食入 $e(g)$ ，取工作人员吸入或食入的待积有效剂量的最大值 E_j ，计算 ALI_{min} ： $ALI_{\text{min}}=20\text{mSv}/E_j$ ，计算结果见表 11-29。

表 11-29 放射性废水中排放导出限值

根据表11-29可知，本项目3个衰变池不同核素单次排放浓度均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的放射性废液排放活度小于单次排放的活度 $1ALI_{\text{min}}$ 和单月排放活度 $10ALI_{\text{min}}$ ，同时满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）中规定的总 β 浓度小于10Bq/L的要求，

废水排入医院污水处理站进一步处理后纳入市政污水管网排放，本项目废水对周边水环境影响是可以接受的。

(2) 放射性固废

①核医学科制药区放射性固废

核医学科制药区设置有1个放射性废物暂存间用于暂存放射性固废，位于回旋加速器制药区东北侧东南侧全质控室阳性对照室旁，设置废物间用于存放制备PET诊断项目所用核素产生的放射性废物。

回旋加速器固体靶片可重复使用，在意外损坏需要更换时，换下的废靶片按固体放射性废物处理，同样在废物间内暂存至其放射性比活度低于相应核素的解控水平，经审管部门确认或批准，按普通医疗废物处理。

合成分装、质控等操作时，产生的操作手套、口罩、棉签、滤纸、清洁去污时用过的抹布等含短半衰期核素的废物，年产生量约50kg；另外有放射性废气过滤装置更换下来的活性炭等，产生量为50kg/a，根据批次分类收集，进行衰变贮存。

根据《核医学辐射防护与安全要求》7.2.3.1 中的规定，本项目回旋加速器制药产生的放射性固体废物，医院应统一收集后，采用专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋及时转送至放射性废物间内暂存超过 30 天，经过监测辐射剂量率处于环境本底水平， α 表面污染小于 0.08 Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8 Bq/cm^2 后，作为医疗废物进行处理。

②核医学科诊断区、治疗区放射性固废

核医学科诊断区内共设置有2个放射性废物暂存间用于暂存放射性固废，在核医学科治疗区内设置1个放射性废物暂存间。其中，PET诊断区观察等候室旁设置放射性废物间用于暂存PET诊断项目所用核素产生的放射性固体废物；SPECT诊断区北侧观察等候室旁设置放射性废物间用于暂存SPECT诊断项目、敷贴治疗项目和甲吸检查项目所用核素产生的放射性固体废物；在核医学科治疗区域北侧骨转移治疗病房旁设置放射性废物暂存间，用于存放甲癌、甲亢治疗、骨转移治疗项目产生的放射性废物。

开展核素诊断治疗时，放射性废物主要是工作人员操作过程产生的服药杯子、注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料等，按照每人每天0.02kg产生量进

行估算，正常情况下，核医学科诊断区年放射性固体废物的产生量为510kg。

甲癌住院患者产生的废物主要是住院患者产生的医疗废物，按照每人0.5kg产生量进行估算。本项目甲癌治疗年治疗患者350人，患者单人单床，每名患者平均住院5天，则核素住院治疗放射性固废产生量为875kg/年。

此外，有放射性废气过滤装置更换下来的活性炭等，产生量为150kg/a，根据核素类型分类收集，进行衰变暂存。

根据《核医学辐射防护与安全要求》7.2.3.1中的规定，本项目核医学科诊断区和治疗区产生的放射性固体废物，医院应根据放射性核素的半衰期进行分类收集。对核医学科诊断区内产生的放射性固体废物，核素半衰期均小于24h，放射性固体废物暂存时间超过30天，经过监测辐射剂量率处于环境本底水平， α 表面污染小于0.08 Bq/cm²、 β 表面污染小于0.8 Bq/cm²后，作为医疗废物进行处理；对核医学科治疗区产生的含有碘-131的放射性固体废物，经过统一收集后，采用专用塑料袋收纳、装满、密封，及时转运至放射性废物暂存间内暂存，经暂存超过180天后，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， α 表面污染小于0.08 Bq/cm²、 β 表面污染小于0.8 Bq/cm²的，作为医疗废物进行处理；对核医学科治疗区内含核素锝-89的放射性固体废物，经过统一收集后，采用专用塑料袋收纳、装满、密封，及时转运至放射性废物暂存间内暂存，经暂存超过506天后，经监测辐射剂量率处于环境本底水平， α 表面污染小于0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于0.8 Bq/cm²的，作为医疗废物进行处理。

(3) 放射性废气

核医学科产生的废气主要为放射性废气、臭氧。其中，本项目核医学内臭氧产生量较小，经排风系统引出经群落楼顶排放，经自然稀释分解后对环境的影响可以忽略不计，本次主要对放射性废气进行分析。

因甲吸检查和敷贴治疗项目均采购已分装好的成品放射性药品，不涉及分装，且操作时间较短，医生为患者给药、检查后就直接离开核医学科场所，因此不产生放射性废气；PET诊断项目使用的放射性核素中，¹⁸F核素诊断人数最多，日使用量最大，因此PET分装室内通风橱仅考虑¹⁸F药物挥发产生的含放射性核素的废气；SPECT诊断项目使用的放射性核素中，^{99m}Tc核素诊断人数最多，日使用量最大，因此SPECT分装室内通风橱仅考虑^{99m}Tc药物挥发产生的含放射

性核素的废气；核医学科制药区内，制备的放射性核素中 ^{18}F 的生产量最大，因此，合成分装模块、回旋加速器制药仅考虑 ^{18}F 药物挥发产生的含放射性核素的废气；质控室内放射性核素中 ^{18}F 的公众人员外照射剂量转换因子最大，其余核素保守按照 ^{18}F 药物挥发产生的含放射性核素的废气分析；核医学科治疗区内主要使用 ^{131}I 、 ^{89}Sr 核素开展治疗， ^{89}Sr 核素为采购的已分装好的放射性核素不产生放射性废气，在给药分装室内产生仅含 ^{131}I 核素的放射性废气。

本项目各个工作场所放射性废气的产生量保守按照操作核素总活度的1‰考虑。本项目拟采用高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施，去除效率为99%，每天操作核素时间2h。本项目核医学科全年工作250d，假设人呼吸量为 $1.2\text{m}^3/\text{h}$ 。各场所的计算结果见下表。

表11-30 各场所排气口核素所致公众年吸入量预测结果

由表可知，各场所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》（WST613-2018）规定的公众成员吸入放射性气溶胶年摄入量限值。

本项目核医学科治疗区和核医学科诊断区拟设排风口位于第三住院大楼西南侧裙楼五层楼顶，核医学科制药区排风口位于塔楼楼顶，在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11-31 各场所排气口核素所致公众受照预测结果

由上表可知，各场所排气口核素所致公众年受照射剂量低于对公众照射剂量约束值 0.1mSv/a ，因此本项目产生的放射性废气对周围环境影响较小。

活性炭过滤装置的过滤使用寿命一般为8~12个月，医院需每半年对过滤

效率进行校核，如果有必要需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。

(4) 非放射性污染物环境影响分析

1) 水环境影响分析

本项目核医学科运行期间产生的生活污水经医院现有的生活污水处理站预处理达标后，经市政污水管网进入达州市鲜家坝污水处理厂处理，对项目所在地水环境影响较小。

2) 大气环境影响分析

本项目回旋加速器废气为电离辐射产生的O₃、NO_x等废气。回旋加速器连续开机时间最大为2.5h，O₃产生浓度较小，通过通风换气等措施后，对工作人员的影响可控制在合理可接受范围内，不会对周围环境及公众造成明显影响。

PET-CT与SPECT-CT产生的X射线能量较小，每次扫描时间短，运行过程产生的O₃量少。经机房排风系统排入大气环境稀释后，对工作人员和公众不会造成危害，不会对周围环境及公众造成明显影响。

3) 声环境影响分析

本项目运行过程中产生的噪声，经房间隔声、距离衰减措施后，对项目区域外的声环境影响很小。

4) 固体废弃物影响分析

本项目运行期间产生的生活垃圾和医疗废物经分类收集后，纳入医院现有的处理系统，由当地环卫部门和具有医疗废物处理资质的单位及时处理，不直接排入环境，对当地环境影响程度较小。

三、III类医用射线装置环境影响分析

1、模拟定位装置环境影响

本项目所用III类射线装置均为数字成像，无废显定影液及废胶片产生，其主要危害为设备工作时产生的X射线。

根据医院提供资料，模拟定位装置机房四面墙体均采用370mm 实心砖墙+2mmPb 硫酸钡涂料，屋顶为260mm 混凝土，铅窗为3mm 铅当量，防护门为3mm 铅当量含铅门。本项目III类医用射线装置屏蔽体能够满足《放射诊断放射

防护要求》（GBZ130-2020）要求。根据类似射线装置现状监测数据，经机房墙体、门屏蔽后，III类医用射线装置工作时对机房外公众和辐射工作人员影响较小。

2、SPECT-CT、PET-CT环境影响

对于PET-CT、SPECT-CT机房主要环境影响除考虑放射性核素外，还需考虑PET-CT、SPECT-CT运行时产生的X射线。拟建PET-CT、SPECT-CT机房四面墙体、顶棚、防护门以及观察窗的建设均采取了辐射屏蔽，充分考虑邻室（含楼上下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度满足放射性核素防护要求，均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从X射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本评价项目的各机房的防护设施技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关防护设施的技术要求。因此，可进一步得知本次评价的射线装置在正常运行时可满足“周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求，射线装置工作时对机房外公众和辐射工作人员影响较小。

四、校准用密封源的环境影响

PET-CT 设备使用 3 枚 ^{68}Ge 校准源，PET-MRI 使用 5 枚 ^{68}Ge 校准源。一般情况下放射源储存在储源室的保险柜内，进行图片质量校准时从储源室中取出放置在需要校准的设备上采集信息。放射源处于贮存状态时，贮存容器和储源室的屏蔽设施能够完全屏蔽掉 γ 射线对周围环境的影响。校准状态时，使用场所做了专门防护的扫描间内，且校准时，源需放置在设备自带屏蔽体内部，对周围环境影响可忽略不计。

校准时间选择在非运营时间，故不会有非相关人员的进入。专门负责的校准工作人员穿着专门的铅衣在扫描间对机器进行校准，且本项目使用的校准源活度较低，因此校准源使用过程中对周围环境影响很小，对工作人员的剂量贡献较低。

事故影响分析

一、环境风险评价的目的

环境风险评价的目的是分析和预测建设项目存在的潜在危害和有害因素，

以及项目在建设、运营期间可能发生的事故（一般不包括自然灾害与人为破坏），引起有毒、有害（本项目为电离辐射）物质泄漏，所造成的环境影响程度和人身安全损害程度，并提出合理可行的防范、应急与减缓措施，以使项目事故发生率、损失和环境影响达到可以接受的水平。

二、风险识别

（一）放疗科风险识别

1、直线加速器可能发生的事故

直线加速器不运行时不存在放射性事故，也不存在影响辐射环境质量事故，只有当加速器运行期间才会产生 X 射线、电子束等危害因素，而且最大可能的事故主要有两种：

- ①医用直线加速器运行时其它无关人员误入或滞留于加速器机房；
- ②检修时，检修人员触动直线加速器开关，造成检修人员受到误照射。

2、后装机可能发生的辐射安全事故

后装机中含有放射源 ^{60}Co 一枚，按其出厂活度划分，属于 III 类放射源， ^{60}Co 衰变时会释放 β 和 γ 射线，如无正当防护会造成放射性事故，最大可能发生的事故如下：

- ①放射源丢失、被盗；
- ②人员在负三层后装机机房误照射事故；
- ③卡源。治疗过程中出现卡源情况，源体无法复位至屏蔽状态，造成病人受到过量照射，引发辐射事故。

（二）核医学科可能发生的事故

1、回旋加速器制备放射性核素时，回旋加速器打靶期间时人员误入回旋加速器机房，造成人员误照射事故；

2、放射性药物丢失、被盗、撒漏或工作场所失火，均可能使放射性药物释放到环境中，这样就会使室内的设备、地面等受到放射性污染；

3、校准源丢失、被盗、失控。

（三）III类医用射线装置可能发生的辐射事故

本项目共涉及Ⅲ类医用射线装置4台，分别为1台模拟定位装置、1台PET-CT、2台SPECT，本项目所用射线装置均为数字成像，无废显定影液及废胶片产生，其主要危害为设备工作时产生X射线。最大可能发生的事故为射线装置曝光期间人员误入。

三、源项分析及事故等级分析

医用直线加速器会产生 X 射线、电子线、臭氧，臭氧经通风设施换气，对大气环境基本无影响，电子线经治疗室屏蔽体的材料和厚度屏蔽后，在环境辐射方面已无影响，故医用直线加速器可能发生的风险事故中，其风险因子主要为 X 射线；后装机使用 ^{60}Co 放射源，其主要风险因子为 γ 射线；核医学科非密封放射性物质工作场所中所用的核素，产生 α 、 β 和 γ 射线，由于 α 、 β 辐射在空气中射程较短，易于防护，故核医学科可能发生的风险事件中，其风险因子为 γ 射线；Ⅲ类医用射线装置主要风险因子为 X 射线。

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 11-32 中。

表 11-32 项目的风险因子辐射伤害程度与事故分级

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。

根据《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系（表 11-33）：

表 11-33 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

辐射剂量/Gy	急性放射病发生率/%	辐射剂量/Gy	死亡率/%
0.70	1	2.00	1
0.90	10	2.50	10

1.00	20	2.80	20
1.05	30	3.00	30
1.10	40	3.20	40
1.20	50	3.50	50
1.25	60	3.60	60
1.35	70	3.75	70
1.40	80	4.00	80
1.60	90	4.50	90
2.00	99	5.50	99

四、后果计算

(一) 放疗科

1、10MV 直线加速器事故的后果计算

(1) 人员误入机房，人员受到意外照射

1) 事故情景假设

在对病人进行治疗时，10MV直线加速器主射束1m处剂量率为最大值6Gy/min，假设考虑安全联锁失效，有人员误入机房，人员在无其它屏蔽的情况下处于加速器照射头射束1m处的散射方向，X射线漏射束的空气比释动能率取主射束方向的1‰，每次误入照射时间为2min。

2) 剂量估算

根据上述事故情景，经计算，随时间和距离的变化，最大可能受到的剂量见下表：

表 11-34 直线加速器事故状态下非主射方向不同时间、距离处有效剂量情况表 (mSv)

3) 事故等级

通过计算，在以上假设事故情景下，人员误入 180s 受到直线加速器非主射方向 1m 处的辐射影响，其有效剂量为 18mSv，根据表 11-32、11-33，假如本项目发生此种事故，事故等级为一般辐射事故。

(2) 维修射线装置时，人员受意外照射

1) 事故情景假设

在维修人员进行检修时，检修人员必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，假设触动直线加速器开关，造成维修人员在无其它屏蔽的情况下处于加速器照射头射束 0.5m 处的直射方向，10MV 直线加速器主射束 1m 处剂量率为最大值 6Gy/min，检修人员被误照射开始至听报警仪报警关闭加速器停止出束时间为 5 秒。

2) 剂量估算

在假设事故情境下，不同时间和距离的剂量情况见下表。

表 11-35 事故状态下主射方向不同时间、距离处有效剂量情况表 (mSv)

3) 事故等级

通过计算，在以上假设事故情景下，则维修人员受到直线加速器主射方向 0.5m 处 10 秒钟的辐射影响，其有效剂量为 1Sv/次，根据表 11-32、11-33，其急性放射病发生率为 20%，假如本项目发生此种事故，事故等级为较大辐射事故。

2、后装机事故的后果计算

假设本项目相关人员均未穿戴防护服，根据人员与放射源不同距离随着时间的推移，最大可能受到的剂量见下表：

表 11-36 后装机内放射源随不同时间、距离处有效剂量情况表 (mSv)

(1) 放射源丢失、被盗

参照表11-32，本项目放射源丢失、被盗可造成较大辐射事故。

此外，根据表11-36，III类放射源丢失、被盗、失控，假如在放射源丢失、被盗失控时，24小时内寻回，则最大可能受到的剂量为5.5Sv，根据表11-34可

知，引起人员死亡率为99%，为重大辐射事故。

(2) 人员在负三层后装机机房误照射事故

在假设事故情况下，人员误入后装机机房内，与放射源距离大于等于 1m，操作室内技师在 30min 内发现并立即停止放射治疗，受到最大有效剂量为 28mSv/次，其有效剂量将超过人员年剂量限值（20mSv），为一般辐射事故。

(3) 卡源

自动回源功能装置失效，维修人员进入后装机机房内采取手动回源措施，距离放射源位置最近为 0.5m，10min 内完成手动回源，受到最大有效剂量为 38mSv/次，结合表 11-35，其有效剂量超过人员年剂量限值（20mSv），为一般辐射事故。

小结，本项目后装机一旦发生辐射安全事故，最大可造成重大辐射事故。

(二) 核医学科

1、回旋加速器制药过程中人员误入事故

本项目核素制药加速器为自屏蔽回旋加速器，在设备制药过程中，回旋加速器自屏蔽体外 1m 处最大中子辐射剂量为 15.06 μ Sv/h，最大 γ 辐射剂量率为 25.15 μ Sv/h，假设误入人员位于回旋加速器机体外 1m 处，事故持续最长时间为 30min，则受到的综合有效剂量约为 0.09mSv/次，未超过（GB18871-2002）中特殊情况下职业人员 5 个连续年的年平均剂量限值（20mSv），公众 5 个连续年的年平均剂量限值（1mSv），不构成辐射事故。

2、放射性药物意外泄漏或丢失事故

(1) 事故情景假设

①本项目使用核素主要为 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 三种放射性核素，事故情况假设以上三种放射性核素试剂瓶发生丢失或药物泼洒，发生事故时放射性核素的活度为 ^{18}F ($9.25 \times 10^9 \text{Bq}$)、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ($4.07 \times 10^{10} \text{Bq}$)、 ^{131}I ($3.89 \times 10^{10} \text{Bq}$)。假设事故持续过程中按点源考虑，受照人员不考虑任何屏蔽措施，事故持续最长时间为 2h；②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 20cm 考虑；③携带人员无任何屏蔽措施，不考虑放射性核素随着时间的衰变。

(2) 剂量估算

在假设事故情景下，计算携带人员在事故持续时间内的受照剂量，计算结果见表 11-37。

表 11-37 放射性核素丢失或泼洒后不同时间内个人受照剂量表

(3) 事故后果

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放射性核素衰变，计算结果偏保守。

3、校准源丢失、被盗、失控

(1) 事故情景假设

- ① 1 枚 ^{68}Ge 校准源丢失、被盗、失控，活度最大为 $4.625 \times 10^8 \text{Bq}$;
- ② 距离最近的人员为 0.2m;
- ③ 从丢失、被盗、失控至找到放射源的时间为 4h。

(2) 剂量估算

在假设事故情境下，人员在事故持续时间内的受照剂量为 3.98mSv/次，超过公众外照射年剂量限值。

(3) 事故等级

根据根据表 11-32、11-33，假如本项目发生校准源丢失、被盗、失控情况，事故等级为一般辐射事故。

(三) III类医用射线装置的后果计算

模拟定位装置、PET-CT、SPECT-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射线源组件泄露辐射不超过 1mGy/h 。人员误入受照射时间按检查1个患者的扫描时间（15min）计算，则机房内误入人员所受的X射线辐射剂量率最大为 0.25mSv/次 ，不构成辐射事故。

五、事故防范措施

1、直线加速器事故防范措施

①直线加速器运行时其它无关人员误入或滞留于加速器机房。

应对措施：加速器自身有多种安全防护措施，如辐射启动装置与控制台上显示的辐射参数预选值联锁，选择参数前辐照不能启动；安装有两套独立的剂量监测系统，每套皆可单独终止照射；有门机安全联锁，机房门关闭后辐射才能启动。

②医务人员误操作，导致病人受超剂量照射或受其它的额外照射；

应对措施：加速器的控制台上显示有辐射类型、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。

2、后装机事故防范措施

①放射源丢失、被盗，且放射源屏蔽体可能被人为破坏，放射源对人员造成近距离照射。一定时间内，可能导致人员急性重度放射病、局部器官残疾甚至死亡。

应对措施：医院应该采取各种行之有效的措施，防止被盗或者丢失。特别是定期对放射源要进行核实，确保其处于指定位置，对放射源实行24小时监控。

②人员受误照射。治疗过程中人员误入或滞留于机房，造成有关人员被误照射，引发辐射事故。

应对措施：工作人员遵守相关操作规程，治疗过程中任何人员不得进入机房。每次开机治疗前必须确认所有人员全部撤出机房。一旦发生辐射事故，必须马上停机收源，对受照人员进行身体检查，确定是否有伤害，以便采取相应救护措施。

③卡源。治疗过程中出现卡源情况，源体无法复位至屏蔽状态，造成病人受到过量照射，引发辐射事故。

应对措施：若出现卡堵源情况，首先迅速将病人撤出机房，医院关闭机房，专业技术人员到来前不得开启，同时派专人职守，防止无关人员进入事故现场，及时联系生产厂家或指定维修单位进行处理。专业技术人员排除事故时，应配备铅衣、铅手套、铅眼镜等防护措施和必要的剂量监测设备，并严格控制与放射源近距离操作的时间。

后装机使用的⁶⁰Co放射源为Ⅲ类放射源，按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，发生辐射事故时，医院应当立即启动本单位的应急方案，采取应急措施，并立即向当地生态环境主管部门报告，生态环境主管部门接到辐射事故报告后，应当立即派人赶赴现场，进行现场调查，采取有效措施，控制并消除事故影响，同时将辐射事故信息报告本级人民政府和上级人民政府生态环境主管部门。发生重大辐射事故后，事故发生地省政府和国务院有关部门应当在4h内报告国务院；特殊情况下，事故发生地人民政府及其有关部门可以直接向国务院报告，并同时报告上级人民政府及其有关部门。

3、核医学科可能发生的事故及应对措施

本项目涉及的核医学科诊断场所均属于乙级非密封放射性物质工作场所。按国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，应参照Ⅱ类密封型放射源工作场所的相关要求，实施辐射安全管理。由于核素的操作量较大，一旦发生事故有可能导致环境的放射污染。核医学科诊治过程中较常见的事故有：

（1）回旋加速器制备放射性核素时，回旋加速器打靶期间时人员误入回旋加速器机房，造成人员误照射事故；

应对措施：回旋加速器机房与防护门实现门机联锁保护装置，防护门打开时加速器自动停止出束，回旋加速器室防护门外设置了工作状态指示灯和悬挂电离辐射警示标识，相关场所的出入口均设置了门禁及视频监控系统，回旋加速器室、入口间及控制室均需设置应急停止按钮，张贴应急预案，放射防护注意事项、设备操作规程、紧急处理措施等。热室内部配备辐射剂量监控系统，可调节监控剂量，当热室内部剂量值大于设定值时，热室门将被联锁装置锁

死，不允许打开；热室所在房间内安装固定式剂量率监测探头，当探测到剂量率超过设置阈值时，则有声光报警，人员马上撤离。

(2) 放射性药物或放射源丢失、被盗、撒漏或工作场所失火，均可能使放射性药物释放到环境中，这样就会使室内的设备、地面等受到放射性污染；

应对措施：医院应当在放射源和放射性药物的签收、储存和发放等环节有详细的程序和记录，实行专人专锁专管，切实做好防火防盗，以此避免此类事故的发生；对大剂量的治疗用量必须格外小心，要严格按照操作规程进行，尽量避免污染事故的发生，操作台面应有防治污染用的塑料覆面，在操作放射性核素和药物后应进行表面污染监测；在核医学工作中，遇到放射性药品抛洒的意外情况时尽快进行处理，争取在最短的时间内将事故排除，事故处理时应穿戴防护用品，以避免不必要的污染。

(3) 在放射性药物的给药过程中，因为多种原因导致工作人员获得高剂量照射。

应对措施：医院应制定针对放射性核素紧急情况的应急程序，放射性职业人员应进行辐射防护的培训，并且对辐射工作人员进行个人剂量的监测。

4、III类医用射线装置事故分析与防范应对措施

本项目共涉及III类医用射线装置4台，均为低危险射线装置，发生事故时一般不会受照者造成辐射损伤，不构成辐射事故。

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。因此，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。同时，按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，当导致一般辐射事故时，医院即时上报当地生态环境局。

5、事故综合防范应对措施

医院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，避免各辐射工作场所出现人员滞留事故发生；定期检查各辐射工作场所的门机联锁等辐射安全环保设施是否有效，同时应当加强控制区和监督区的管理，避免人员误入事故的发生。

当事故发生时应当立即启动事故应急程序，对于可能发生的各种事故，医院方面除在硬件上配齐、完善各种防范措施外，在软件设施上也注意了建设、补充和完善，使之在安全工作中发挥约束和规范作用，其主要内容有：

①建立安全管理领导小组，组织管理医院的安全工作。

②加强人员的培训，考试（核）合格、持证上岗。

③建立岗位的安全操作规程和安全规章制度，注意检查考核，认真贯彻实施。

④制定医院重大事故处理预案、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。

以上各种事故的防范与对策措施，可减少或避免放射性事故的发生，从而保证项目正常运营，也保障工作人员、公众的健康与安全。

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、辐射防护与安全管理机构

达州市中心医院已成立了辐射（放射）安全管理委员会，对全院的辐射安全管理工作进行管理，并于 2017 年 8 月调整了辐射（放射）安全管理委员会（达市医[2017]182 号），由分管院长担任主任，办公地点设在医学装备部。文件明确了委员会的职责要求。

1、领导小组文件已包含内容：

1)领导小组人员组成，包括院领导、医务科、医学装备部、放射科、肿瘤科、介入科等组成；

2)委员会办公地点设在医学装备部。

3)委员会的主要职责：

①根据国家辐射（放射）安全与防护法律法规制定全院辐射（放射）防护管理制度和流程；

②负责全院辐射（放射）安全与防护监督管理工作。监督检查全院执行辐射（放射）安全与防护法律法规、规章制度的落实情况，监督检查全院依法开展辐射（放射）诊疗活动的情况，监督指导辐射（放射）诊疗工作场所的安全管理工作；

③组织实施全院辐射（放射）工作人员的职业健康体检、个人剂量监测及职业健康监护档案管理工作；

④负责全院辐射（放射）诊疗设备、诊疗场所的监测与申报工作；

⑤负责全院辐射（放射）诊疗场所辐射（放射）监测工作；

⑥负责辐射(放射)事故的应急处置指挥工作；

⑦指导涉及辐射（放射）的科室制定相应的管理制度和流程；

⑧负责组织实施辐射（放射）安全与防护法律法规知识的培训工作。

2、根据医院机构调整和相关文件要求，医院在以后工作中还需做到：

①调整辐射安全与防护管理委员会最高负责人，由法人代表对全院辐射安全与防护管理工作直接负责；

②细化医院辐射（放射）安全管理委员会成员职能分工，明确全院日常辐射安全管理执行部门；

③增加辐射（放射）安全管理委员会应急电话和上级环保主管部门联系电话；

④定期修订、检查辐射安全管理领导小组机构成员名单，确保领导小组的实效性；

⑤落实辐射工作场所安全设施设备的定期维护管理，并严格执行日常维护工作。

医院应进一步完善细化辐射安全与环境保护管理机构的职能，补充小组成员联系方式，若辐射安全与环境保护管理机构人员有调整或变动，应及时更新、修正，每个科室需将各自的职责落到实处。

二、辐射工作人员配置和能力分析

1、本项目共涉及辐射工作人员58名，均为医院现有辐射工作人员。

2、目前医院共有辐射工作人员 318 名，有 229 人均已经参加了辐射安全与防护培训，取得了培训合格证，涉及本项目的 58 名辐射工作人员均已参加培训。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关规定，辐射工作人员和辐射防护负责人均应通过辐射安全与防护的考核，医院应尽快其他相关人员在国家核技术利用辐射安全与防护学习平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）学习辐射安全与防护知识并通过考核；已取得辐射安全培训合格证的，合格证到期前，需进行再次考核，辐射安全与防护成绩报告单有效期为五年。

三、射线装置处理报废

医院报废的射线装置在报废前必须做去功能化处理，应采取去功能化的措施（如拆除电源或拆除高压零部件），确保装置无法再次通电使用，并上报到生态环境主管部门作备案登记。

辐射安全档案资料管理和规章管理制度

一、档案管理分类

医院应将相关资料进行分类归档妥善放置，包括以下九大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“放射源和射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“辐射应急资料”和“废物处置记录”。

二、辐射安全管理规章制度

根据医院实际情况，医院辐射安全管理规章制度落实情况见下表 12-1：

表 12-1 本项目辐射管理制度汇总对照分析表

序号	制度名称	对照分析
1	辐射工作场所安全管理规定	已制定，需上墙
2	辐射工作人员个人剂量管理制度	应明确“个人剂量档案须终身保存”、“个人剂量计配戴位置”
3	辐射工作设备操作规程	已制定，需悬挂于辐射工作场所墙上
4	辐射工作人员岗位职责	应增加“辐射工作人员应参加辐射安全专业知识的学习、持证上岗”，需悬挂于辐射工作场所墙上
5	监测仪表使用与校验管理制度	应增加“监测仪表定期送检定或者比对”的相关内容
6	射线装置台账管理制度	应增加“新增射线装置和报废射线装置的台账模板”
7	分区管理制度	已制定
8	质量保证大纲和质量控制检测计划	已制定
9	辐射安全防护设施维护维修制度	已制定
10	辐射工作人员培训制度	需完善 应明确“所有从事放射诊疗类的工作人员和管理人员，应自觉进行辐射安全与防护专业知识的学习。学习网址为 fushe.mec.gov.cn ，考试成绩单超过 5 年的辐射工作人员，需进行再进行学习和考核”的相关内容
11	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	需完善 监测方案应包含年度监测和自行监测两个部分，本项目具体的监测执行科室，监测因子、监测内容、监测频次及布点方案，参考本章辐射监测方案

12	辐射事故预防措施及应急处理预案	需完善	预案中应明确“应急物资的准备和应急责任人员、环保主管部门应急电话及射线装置发生事故时的辐射事故处理”的内容，辐射安全事故应急响应程序需悬挂于辐射工作场所墙上
----	-----------------	-----	--

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。

1、工作场所监测

自主验收监测：医院在取得《辐射安全许可证》后三个月内，应委托有资质的单位开展1次辐射工作场所验收监测，编制自主验收监测（调查）报告。

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《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

据调查，达州市中心医院委托了成都同洲科技有限责任公司分别对医院在用射线装置辐射工作场所开展了2020年年度辐射环境现状监测。在监测报告中，未发现屏蔽体外0.3m处X-γ辐射剂量当量率超过2.5μSv/h的情况。

日常自我监测：定期自行开展辐射监测（也可委托有资质的单位进行监测），制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案，监测频次根据医院的实际工作量自行确定。

2、个人剂量监测

个人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计，监测周期为1次/季。

据调查，医院有专人负责个人剂量档案管理工作，达州市中心医院全院共有318名辐射工作人员，医院为每一名辐射工作人员配备了个人剂量计，委托了成都同洲科技有限责任公司进行个人剂量检测工作，医院提供了全院连续四个季度个人剂量统计表（见附件11），未发现个每季度人剂量数据超标情况。

3、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/月。

4、监测内容和要求

（1）监测内容：X-γ辐射剂量率、中子剂量率、总β、β表面沾污。

（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，建立监测数据台账。

表 12-2 本项目监测布点方案表

场所或设备	监测内容	监测周期	监测布点位置
10MV 直线加速器	X-γ空气吸收剂量率	验收监测1次，委托有资质的单位监测，频率为1次/年；自行开展辐射监测	墙体四周外侧、技师操作位、防护门外、迷道内墙外、机房正上方
后装机	X-γ空气吸收剂量率		机房墙外30cm处、技师操作位、防护门外、机房正上方
核医学科器制药区	X-γ空气吸收剂量率		回旋加速器机房四周、热室四周、操作间、核素通道、传药井四周、放射性废物暂存间、全质质控室四周、全质质控室内通风橱、回旋加速器机房上方、热室上方、质控室上方等
	β表面放射性污染	回旋加速器机房、热室、操作间、核素通道、传药梯、传药推车、铅罐、放射性废物暂存间、全质质控室墙壁、地面，通风橱、辐射工作人员工作服、手套、工作鞋、手、皮肤等	
	放射性废气中总β	验收监测1次	核医学科制药区废气排放口

核医学科 诊断区	X-γ空气吸 收剂量率	验收监测 1 次, 委托 有资质的单位监测, 频率为 1 次/年; 自 行开展辐射监测	储源室、分装室、注射室、抢救室、运动室、 观察等候室、放射性废物间、SPECT-CT 机房、 注射后等候室、患者专用卫生间, 传药梯、甲 吸室、敷贴治疗室、PET-CT 机房、PET-MRI 机房、放免分析室四周及正上方, 正下方等
	β表面放射 性污染		储源室、分装室、注射室、抢救室、运动室、 观察等候室、放射性废物间、SPECT-CT 机房、 注射后等候室、患者专用卫生间, 传药梯、甲 吸室、敷贴治疗室、PET-CT 机房、PET-MRI 机房、更衣室、放免分析室、医护通道、患者 通道的墙壁、地面、防护门, 辐射工作人员工 作服、手套、工作鞋、手、皮肤等
	放射性废水 中总β	验收监测 1 次, 排放 前委托有资质的单 位检测 1 次	衰变池 2 排放口
	放射性废气 中总β	验收监测 1 次	核医学科诊断区废气排放口
核医学科 治疗区	X-γ空气吸 收剂量率	验收监测 1 次, 委托 有资质的单位监测, 频率为 1 次/年; 自 行开展辐射监测	储源室、给药室、抢救室、病房、患者专用卫 生间四周及正上方、正下方等
	β表面放射 性污染		储源室、给药室、抢救室、病房、患者专用卫 生间、更衣室、患者通道、医生通道的墙壁、 地面、防护门, 辐射工作人员和患者工作服/ 病员服装、手套、工作鞋、手、皮肤等
	放射性废水 中总β	验收监测 1 次, 排放 前委托有资质的单 位检测 1 次	衰变池 1 排放口
	放射性废气 中总β	验收监测 1 次	核医学科治疗区废气排放口、核医学科诊断区 废气排放口
模拟定位 装置	X-γ空气吸 收剂量率	委托有资质的单位 监测, 频率为 1 次/ 年	铅窗、操作位、防护门、与机房相邻的房间或 过道

(3) 监测范围: 控制区和监督区域及周围环境

(4) 监测质量保证

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;

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;

c、制定辐射环境监测管理制度。

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。

5、年度评估报告情况

医院应于每年1月31日前向发证机关提交上年度的《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》的重要组成部分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估报告》。医院必须在“全国核技术利用辐射安全申报系统”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

1、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，医院应制订辐射事故应急预案，应包含以下内容：

（1）应急机构和职责分工，应急和救助的装备、资金、物资准备，辐射事故应急处理程序，辐射事故分级与应急响应措施，辐射事故调查、报告和处理程序，辐射事故的调查、预案管理；

（2）应急组织体系和职责、应急处理程序、上报电话；

（3）应急人员的培训；

（4）环境风险因子、潜在危害、事故等级等内容；

（5）辐射事故调查、报告和处理程序中相关负责人员及联系电话；

（6）发生辐射事故时，应当立即启动应急预案，采取应急措施，并按规定向所在地县级地方人民政府及其生态环境、公安、卫健等部门报告。

2、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、放射源被盗或者丢失，及时向公安部门、生态环境主管部门和卫健部门报告。

（2）放射源工作或者贮存过程中发生火灾、爆炸等可能影响放射源的安全，在

现场允许情况下，应优先对放射源进行灭火并抢离火灾现场，防止放射源屏蔽体破坏。

(3) 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。

(4) 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。

(5) 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行政部门报告。

(6) 最后查清事故原因，分清责任，消除事故隐患。

3、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

一、项目概况

项目名称：第三住院大楼新增放疗科和核医学科工作场所项目

建设单位：达州市中心医院

建设性质：新建

建设地点：达州市通川区南岳庙街 56 号达州市中心医院拟建第三住院大楼

本项目建设内容与规模为：医院拟在第三住院大楼负三层 2 间直线加速器机房内，各使用 1 台 10MV 直线加速器（型号待定），属 II 类射线装置，拟在负三层后装机机房内使用 1 台后装机，在后装机内使用 ^{60}Co 放射源 1 枚，装源活度为 $1.85 \times 10^{11} \text{Bq}$ （属 III 类放射源），直线加速器和后装机均用于放射治疗；拟在模拟定位装置机房内使用 1 台模拟定位装置（III 类射线装置），用于模拟定位；拟在第三住院大楼负三层核医学科制药区回旋加速器机房内使用 1 台回旋加速器（11MeV，60 μA ）（II 类射线装置），用于生产正电子核素药物 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O ；拟在第三住院大楼负一层核医学科诊断区使用钼铈发生器制备放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，使用放射性核素 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 用于显像诊断，使用 V 类放射源 ^{90}Sr - ^{90}Y 用于敷贴治疗，使用放射性核素 ^{131}I 用于甲吸检查，使用放射性核素 ^{125}I 用于放免分析，配套使用 2 台 SPECT、1 台 PET-CT 机（均为 III 类射线装置），使用 8 枚 V 类放射源用于校准，其中 3 枚 ^{68}Ge 放射源（活度为 $9.25 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$ 枚 + $4.625 \times 10^8 \text{Bq} \times 2$ 枚）对 PET-CT 进行校准、5 枚 ^{68}Ge 放射源（活度为 $1.11 \times 10^8 \text{Bq} \times 1$ 枚 + $5.55 \times 10^7 \text{Bq} \times 4$ 枚）对 PET-MRI 进行校准；拟在第三住院大楼一层核医学科治疗区开展甲癌、甲亢、骨转移治疗项目，其中甲癌、甲亢项目使用核素 ^{131}I 、骨转移治疗项目使用核素 ^{89}Sr 。核医学科制药区、核医学科诊断区和核医学科治疗区工作场所均属于乙级非密封放射性物质工作场所。

二、本项目产业政策符合性分析

本项目系核和辐射技术用于医学领域，属高新技术。根据《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 29 号）相关规定，本项目属于鼓励类第六项“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术

开发”。符合国家产业发展政策。

三、本项目选址合理性分析

本项目位于达州市中心医院内，项目运营对环境基本无影响。本评价认为其选址是合理的。

四、所在地区环境质量现状

根据四川省永坤环境监测有限公司的监测报告，项目所在地的 γ 辐射空气吸收剂量率背景值属于正常天然本底辐射水平，拟建核医学科场所周围环境 β 表面污染检测结果均低于检测限值。

五、环境影响评价分析结论

（一）施工期环境影响分析

本项目土建工程已在《达州市中心医院住院部改扩建二期项目环境影响报告书》中进行评价分析，建设单位在落实报告书提出的各项污染防治措施后，对周围环境的影响较小。

（二）营运期环境影响分析

1、辐射环境影响分析

（1）放疗科辐射环境影响分析

在医院第三住院大楼负三层放疗科的职业人员受年附加有效剂量最大为 $8.35E-01\text{mSv/a}$ ，公众受年附加有效剂量最大为 $7.32E-02\text{mSv/a}$ ，分别低于职业人员 5.0mSv/a 和公众 0.1mSv/a 的剂量约束值。

（2）核医学科辐射环境影响分析

本项目投入运营后，核医学科所致辐射工作场所内职业人员年最大附加有效剂量为 4.30mSv/a ，周围公众的年最大附加有效剂量最大为 $5.26E-02\text{mSv/a}$ ，均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中规定的“一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a ，公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a ”的规定，也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的相关要求。

（3）辐射环境影响综合分析

综上所述，本项目投入运营后，所致辐射工作人员年最大有效剂量为

4.30mSv/a；公众年最大有效剂量为 7.32E-02mSv/a，满足本次评价确定的职业照射个人年有效剂量约束值为 5mSv 和公众人员个人年有效剂量约束值为 0.1mSv，也满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的职业人员 20mSv/a 和公众 1mSv/a 的剂量限值的规定。

2、大气的环境影响分析

(1) 放疗科对大气的影响分析

经预测分析，放疗科机房内臭氧平衡浓度远低于《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）中臭氧最高允许浓度 0.3mg/m³ 的规定，本项目放疗科内产生的臭氧采用专用排风管道引出在裙楼五层楼顶排放，经自然分解和稀释，能够满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）的二级标准（0.20mg/m³）的要求。

(2) 核医学科对大气的影响分析

1) 核医学科制药对大气的影响分析

回旋加速器产生的废气主要为含放射性核素的废气和臭氧。医院拟设置专用排气管道，拟采用高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施进行处理，处理后废气在第三住院大楼塔楼楼顶排放，经过预测分析，能够满足相关标准的要求，项目产生的放射性废气对周围环境影响较小；回旋加速器制药产生臭氧较少，通过通风换气等措施后，对工作人员的影响可控制在合理可接受范围内，不会对周围环境及公众造成明显影响。

2) 核医学科诊断、治疗对大气的影响分析

本项目核医学科诊断、治疗产生的废气主要为含放射性核素废气，医院拟设置专用排气管道，在排气口采用高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施进行处理，处理后废气在第三住院大楼西南侧裙楼五层楼顶朝向滨河东路排放，经过预测分析，能够满足相关标准的要求，对周围环境影响是可接受的，不会对周围公众造成明显影响。

(3) 大气环境影响综合分析

综上所述，本项目投入运营后，达州市中心医院拟建第三住院大楼内放疗科、核医学科对周围环境影响是可接受的，不会对周围环境和公众造成明显影响。

3、声环境影响分析

本项目噪声源主要为风机、空调噪声，所有设备选用低噪声设备，均处于室内，通过建筑墙体隔声及距离衰减后，运行期间厂界噪声可达到《工业企业厂界噪声标准》（GB12348-2008）2类标准要求。

4、水环境影响分析

本项目投入运营后，废水主要为放射性废水和医院工作人员、患者产生的生活污水及医疗废水。本项目产生的放射性废水通过专用管道收集至衰变池内衰变处置。其中，核医学科制药区产生的废水，1个月/次直接排入医院污水处理站处理；核医学科诊断区内放射性废水，1个月/次直接排入医院污水处理站处理；核医学科治疗区内放射性废水衰变6个月后，委托第三方有资质的单位监测达标后，经当地生态环境主管部门认可后，排入医院污水处理站处理。医院工作人员、患者产生的生活污水及医疗废水经过院内的污水处理站处理达预处理标准后，排入市政污水管网。

5、固体废物影响分析

本项目产生的医疗废物，按照危废管理相关要求，进行分类收集；核医学科诊断区和核医学科制药区产生的放射性废物分别分类暂存于放射性废物暂存间，待暂存超过30天，经过监测达到清洁解控水平后作为普通医疗废物处置；核医学科治疗区内产生的含碘-131的放射性固体废物暂存超过180天后，经监测达到清洁解控水平后作为普通医疗废物处置；核医学科治疗区内产生的含镅-241的放射性固体废物暂存超过506天，经监测达到清洁解控水平后作为普通医疗废物处置；医院医疗废物统一交由有废处理资质的单位收运处理；本项目工作人员和患者会产生少量的办公垃圾和生活垃圾，经统一收集后交由环卫部门定期清运。

六、环保设施与保护目标

按照环评报告落实后，医院环保设施配置较全，总体效能良好，可使保护目标所受年剂量低于本次确定的剂量约束值。

七、事故风险与防范

医院制订的辐射事故应急预案和安全规章制度内容较全面、措施可行，应认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

八、辐射安全管理的综合能力

医院按照环评要求完善相关内容后，对本项目辐射设备和场所而言，其具备辐射安全管理的综合能力。

九、环境影响评价报告信息公开

在本项目环境影响报告表送审前，建设单位在医院官网上进行了公示，截至报告送审前，未收到单位和个人有关项目情况的反馈意见。

十、项目环保可行性结论

在坚持“三同时”的原则，采取切实可行的环保措施，落实本报告提出的各项污染防治措施，本评价认为从环境保护和辐射防护角度看，本项目在达州市通川区南岳庙街 56 号达州市中心医院拟建第三住院大楼内的建设是可行的。

建议和要求

- 1、建设单位应加强与周边公众的沟通，做好解释协调工作。
- 2、落实本报告中的各项辐射防护措施和安全管理制度的。
- 3、定期组织辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的学习与考核，成绩合格单到期，应再次考核。
- 4、每年要对射线装置使用情况进行年度评估，每年 1 月 31 日前将评估结果报送省生态环境厅和当地生态环境部门，安全和防护状况年度评估报告要按照《四川省核技术利用单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》固定的格式进行编制；并且年度评估报告的电子档还应上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。
- 5、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。
- 6、医院须重视控制区和监督区的管理。
- 7、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。
- 8、医院在更换辐射安全许可证之前，需登录通过四川政务服务网进入全国核技术利用辐射安全申报系统，对相关信息进行修改。
- 9、本次环评仅涉及核医学科及工作场所，射线装置及其工作场所，日后如有变化，应另作环境影响评价。

10、若今后该核医学科不再使用，医院必须经生态环境主管部门监测并进行乙级非密封放射性工作场所退役环评后，方可再行使用。

11、加速器退役时，应对加速器部件的感生放射性进行一次调查，测定辐射水平，高于豁免值的部件应作为放射性固体废物进行处理。

12、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）建设单位可登陆生态环境部网站查询建设项目竣工环境保护验收相关技术规范（<http://www.mee.gov.cn>）。

（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/#/pub-message>）中备案，且向项目所在地生态环境主管部门报送相关信息，并接受监督检查。