

# 核技术利用建设项目

## 西充县城南医疗康养中心（县人民医院 城南院区）新增辐射工作场所项目

### 环境影响报告表

（公示本）

西充县德恒医疗投资有限责任公司  
二〇二二年八月

生态环境部监制

## 目 录

表 1 项目概况.....	1
表 2 放射源.....	19
表 3 非密封放射性物质.....	19
表 4 射线装置.....	20
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） ..	21
表 6 评价依据.....	22
表 7 保护目标与评价标准.....	25
表 8 环境质量和辐射现状.....	31
表 9 项目工程分析与源项.....	36
表 10 辐射安全与防护.....	56
表 11 环境影响分析.....	81
表 12 辐射安全管理.....	141
表 13 结论与建议.....	149

## 附图：

- 附图 1 项目地理位置图；
- 附图 2 项目外环境关系图；
- 附图 3 医院总平面布置及评价范围内敏感目标分布图
- 附图 4 放疗科（D 楼负一层）平面布置图
- 附图 5 核医学科（D 楼一层）平面布置图
- 附图 6-1 放疗科和核医学科上下层对应位置关系图（平面）
- 附图 6-2 核医学科和放疗科上下层对应位置关系图(立面)
- 附图 7 放疗科射线装置机房平面结构及辐射安全设施布置图
- 附图 8 直线加速器机房剖面结构图
- 附图 9 后装机机房剖面结构图
- 附图 10 放疗科两区划分图
- 附图 11 放疗科医患分流示意图
- 附图 12 核医学科放射性废水走向图
- 附图 13 核医学科放射性废水衰变池平剖面图
- 附图 14 核医学科两区划分图
- 附图 15 核医学科医患、药物分流示意图
- 附图 16 核医学科辐射场所辐射安全设施布置示意图
- 附图 17 放疗科通排风管道平面示意图
- 附图 18 放疗科通排风管道剖面示意图
- 附图 19 核医学科排风管布置示意图

## 附件：

- 附件 1 环评委托书；
- 附件 2 无辐射事故说明；
- 附件 3 西充县人民医院辐射安全许可证；
- 附件 4 辐射安全环境保护机构文件；
- 附件 5 南充市生态环境局《关于西充县德恒医疗投资有限责任公司西充县城南医疗康养中心（县人民医院城南院区）项目环境影响报告书的批复》（南市环审[2021]7 号）；

- 附件 6 西充县人民医院原有核技术利用项目环评批复文件；
- 附件 7 西充县人民医院核技术利用项目验收文件；
- 附件 8 西充县人民医院连续四个季度个人剂量统计表；
- 附件 9 西充县人民医院辐射工作人员辐射安全与防护学习考核统计表；
- 附件 10 本项目拟建辐射工作场所辐射环境监测报告；
- 附件 11 西充县城南医疗康养中心（县人民医院城南院区）不动产权证；
- 附件 12 环评内容确认单。



## 核技术利用建设项目

# 西充县城南医疗康养中心（县人民医院 城南院区）新增辐射工作场所 环境影响报告表

建设单位名称：西充县德恒医疗投资有限责任公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：南充市西充县晋城镇安汉大道四段商务大厦

邮政编码：637200

联系人：马俊

电子邮箱：492736261@qq.com

联系电话：13990748096



表 1 项目概况

建设项目名称		西充县城南医疗康养中心（县人民医院城南院区） 新增辐射工作场所			
建设单位		西充县德恒医疗投资有限责任公司			
法人代表	蒲海东	联系人	马俊	联系电话	13990748096
注册地址		南充市西充县晋城镇安汉大道四段商务大厦			
项目建设地点		西充县常林镇石板河社区张澜路西充县城南医疗康养中心（县人民医院城南院区）D 楼			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）	80000	项目保护投资（万元）	118.56	投资比例（环保投资/总投资）	0.15%
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 <sup>2</sup> ）	1060
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 type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类		
其它	/				
<p><b>项目概述</b></p> <p><b>一、项目由来</b></p> <p>西充县德恒医疗投资有限责任公司是经县委、县政府同意成立的县属国有企业，承担本项目的建设和融资任务。本项目由西充县德恒医疗投资有限责任公司投资建设，建设完成后交由西充县人民医院进行运营管理。</p> <p>西充县人民医院现有院区 1 处，地址位于西充县安汉大道二段 98 号，该院始建于 1945 年，是全县唯一一所集医疗、预防、保健、教学、科研为一体的国家“三级乙等”综合医院、“爱婴医院”、省级文明单位和省级卫生先进单位，是中华医院协会会员单位、中级医院管委会常务理事单位，是第三军医大学新桥医院技术指导</p>					

医院、四川大学华西医学中心网络联盟医院和川北医学院临床教学实习基地，是西充县医、教、研中心和南充市“120”急救分中心，医院承担着全县近70万人口的医疗、保健任务。目前西充县人民医院占地总面积占地54亩。随着门诊患者的急剧增加，工作量也随之加重，但目前西充县人民医院存在住院病房面积不足、住院条件简陋、医疗设备落后、培训场地不足等状况，无法给患者和学员提供良好的就医和学习环境。

为了改善就医环境，西充县人民医院拟在西充县常林镇石板河社区张澜路建设“西充县城南医疗康养中心（县人民医院城南院区）项目”，项目于2021年2月完成了环境影响报告书并取得了南充市生态环境局批复（南市环审[2021]7号）。目前城南院区正在建设中。待城南院区建设完成后，西充县人民医院将进行整体搬迁，待全部搬迁完成后，西充县人民医院原址另做他用。

本项目为与医院主体搬迁项目配套的核技术利用建设项目，新增了放疗科和核医学科辐射工作场所并开展放疗和核医学诊断业务，新增的辐射工作场均位于城南院区D楼，D楼的非放部分内容已包含在“西充县城南医疗康养中心（县人民医院城南院区）项目环境影响报告书”中，本次不再进行评价。本次评价不涉及医院原有辐射工作场所的搬迁。原有辐射工作场所应根据医院整体搬迁进度安排，按照《环境影响评价法》的要求另行环境影响评价。

本项目辐射工作场所设有放疗科和核医学科，其中放疗科位于D楼负一层，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台后装机，在后装机内使用1枚 $^{192}\text{Ir}$ 放射源（属于III类放射源）。核医学科位于D楼一层，本次仅进行诊断，不开展治疗业务。属于乙级非密封放射性物质工作场所。在核医学科内使用1台PET/CT（III类射线装置），1台SPECT（III类射线装置），拟使用2枚 $^{68}\text{Ge}$ 校准源用于PET/CT日常维护，活度为 $5.25 \times 10^7 \text{Bq} \times 1 \text{枚} + 7.4 \times 10^7 \text{Bq} \times 1 \text{枚}$ ，属于V类放射源。拟在核医学科内使用 $^{99}\text{Mo}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 等放射性药品，用于开展显像诊断和甲吸检查。

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，医院委托四川羽嘉环境技术有限公司编制该项目环境影响报告表（委托书见附件1）。

四川羽嘉环境技术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、项目运营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。

## 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：西充县城南医疗康养中心（县人民医院城南院区）新增辐射工作场所

建设性质：新建

建设地点：西充县常林镇石板河社区张澜路西充县城南医疗康养中心（县人民医院城南院区）D楼

### （二）建设内容与规模

医院拟在西充县城南医疗康养中心（县人民医院城南院区）D楼（地下一层、地上一层，共2层）负一层设放疗科、一层设核医学科。

#### 1、放疗科

放疗科占地面积约 1060m<sup>2</sup>，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、模拟定位机房及其他配套用房。

### **(1) 直线加速器机房**

医院拟在 D 楼负一层 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 250h/台。

直线加速器机房 1 和直线加速器机房 2 紧邻对称布置，单间直线加速器机房室内面积约 89.28m<sup>2</sup>，净空高度 4.5m。四面墙体、迷道和屋顶均为钢筋混凝土结构，主射方向朝向北侧、南侧、地面和屋顶。其中，北侧、南侧主屏蔽区厚 2800mm（宽 4600mm），相连次屏蔽区厚 1500mm；屋顶主屏蔽区厚 2700mm（宽 4600mm），相连次屏蔽区厚 1500mm；西侧墙体厚 1500mm；东侧迷道内墙厚 1500mm；迷道外墙厚 1200mm；迷道防护门为 15mm 铅当量电动钢板夹芯防护门。

### **(2) 后装机机房**

医院拟在 D 楼负一层后装机机房内使用 1 台后装机，在后装机内使用 <sup>192</sup>Ir 放射源 1 枚，总装源活度为 3.7×10<sup>11</sup>Bq（属 III 类放射源），年出源治疗时间约 167h。

后装机机房室内面积约为 48.66m<sup>2</sup>，净空高 4.0m。四面墙体、迷道和顶部均为钢筋混凝土结构。后装机房西侧、东侧、北侧墙体均为 800mm 厚混凝土，南侧墙体为 1500mm 厚混凝土（与直线加速器机房 2 东侧主屏蔽墙共用，主屏蔽区为 2800mm），迷道内墙和迷道外墙均为 800mm 厚混凝土，屋顶为 1400mm 厚混凝土，迷道防护门为 10mm 铅当量电动钢板夹芯防护门。

### **(3) 模拟定位机房**

医院拟在 D 楼负一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、参数暂未确定。根据《射线装置分类》模拟定位装置属于 III 类射线装置，属于豁免管理，建设单位拟另行办理《射线装置豁免备案证明文件》。因此不纳入本次评价。

## **2、核医学科**

医院拟在 D 楼一层设置核医学科，核医学科仅进行诊断，不开展治疗业务，不设治疗区。设有 SPECT 诊断区、PET 诊断区、甲吸检查区、放免治疗区及其他配套

区域，在核医学科内使用放射性核素  $^{99}\text{Mo}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{131}\text{I}$  和放射源  $^{68}\text{Ge}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。本项目核医学科涉及放射性药物均外购，不设置制药区。环评要求：本项目涉及的放射性核素  $^{99}\text{Mo}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{131}\text{I}$  等均需购买自有相应核素销售资质的单位。

### (1) SPECT 诊断区

SPECT 诊断区包括 SPECT/CT 机房、控制室、设备间、SPECT 候诊室和诊断公共用房（与 PCT 诊断区共用，包括：储源室、分装室、注射室、抢救室、留观室、更衣室、放射性废物暂存间等）。SPECT 机房（室内面积均约  $34.11\text{m}^2$ ，净空高  $4.74\text{m}$ ），使用 1 台 SPECT/CT，型号待定，额定管电压为  $130\text{kV}$ ，额定管电流为  $345\text{mA}$ ，属于 III 类射线装置。

拟在 SPECT 诊断区内使用  $^{99}\text{Mo}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  两种放射性核素。其中  $^{99}\text{Mo}$  用于淋洗制  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$  用于显像诊断（主要是心肌、骨、肾脏、内脏显像）。拟使用钼铯发生器（ $^{99}\text{Mo}$ ）制备  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ， $^{99}\text{Mo}$  年最大操作量  $4.17\times 10^{12}\text{Bq}$ ，计划日最大操作量  $1.67\times 10^{10}\text{Bq}$ ，日等效最大操作量  $1.67\times 10^7\text{Bq}$ 。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  年最大用量  $4.07\times 10^{12}\text{Bq}$ ，计划日最大操作量  $1.63\times 10^{10}\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $1.63\times 10^8\text{Bq}$ 。

SPECT/CT 机房四周墙体为  $240\text{mm}$  实心砖墙，顶部为  $300\text{mm}$  厚混凝土，地面为  $300\text{mm}$  厚混凝土，观察窗、防护门均为  $3\text{mm}$  铅当量。

SPECT 候诊室东、南侧墙体为  $370\text{mm}$  实心砖墙，其他两面墙体为  $240\text{mm}$  实心砖墙，顶部为  $300\text{mm}$  厚混凝土，地面为  $300\text{mm}$  厚混凝土，防护门为  $20\text{mm}$  铅当量。

### (2) PET 诊断区

PET 诊断区包括 PET/CT 机房、控制室、设备间、PET 候诊室和诊断公共用房（与 SPECT 诊断区共用）。PET/CT 机房（室内面积均约  $40.76\text{m}^2$ ，净空高  $4.74\text{m}$ ），使用 1 台 PET/CT，型号待定，额定管电压为  $140\text{kV}$ ，额定管电流为  $800\text{mA}$ ，属于 III 类射线装置。拟使用 2 枚  $^{68}\text{Ge}$  放射源对 PET/CT 进行校准，活度为  $5.5\times 10^7\text{Bq}\times 1+7.4\times 10^7\text{Bq}\times 1$  枚。

拟在 PET 诊断区内拟使用放射性核素  $^{18}\text{F}$ ，用于显像诊断。本项目院内不制药， $^{18}\text{F}$  全部外购。根据建设单位提供资料，PET/CT 诊断项目投入使用后，每天进行显像诊断的患者最多 15 人，每人注射的放射性药物最多为  $3.7\times 10^8\text{Bq}$ ，则每日实施注射时的有效活度为  $5.55\times 10^9\text{Bq}$ ，医院每天分两批次送药。对于  $^{18}\text{F}$ ，由于其半衰期较短，计算时需考虑用药量和备药量，每天送两次药，按照日用量的 2 倍量备药，则

备药量为  $1.11 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。医院年工作时间为 250d，则  $^{18}\text{F}$  的年用量为  $4.17 \times 10^{12} \text{Bq}$ 。

PET/CT 机房四周墙体均为 370mm 厚实心砖墙，顶部为 220mm 厚混凝土，地面为 300mm 厚混凝土，防护门为 20mm 铅当量，观察窗为 20mm 铅当量。

PET 候诊室四面墙体均为 370mm 实心砖墙，顶部为 300mm 厚混凝土，地面为 300mm 厚混凝土，防护门为 20mm 铅当量。

### (3) 诊断公共用房

本项目 PET 诊断区和 SPECT 诊断区共用储源室、分装室、注射室、抢救室、留观室、更衣室和放射性废物暂存间。诊断公共用房屏蔽体情况见表 1-1。

表 1-1 诊断公共用房屏蔽体情况一览表

	位置	屏蔽体材料及厚度
储源室	东侧、南侧、西侧、北侧墙体	240mm 实心砖墙
	南侧传药窗	15mm 铅当量防护窗
	防护门	15mmPb 铅防护门
	楼顶板	300mm 混凝土
	楼底板	300mm 混凝土
分装室	东侧、南侧、西侧、北侧墙体	240mm 实心砖墙
	防护门	15mmPb 铅防护门
	楼顶板	300mm 混凝土
	楼底板	300mm 混凝土
注射室	注射位屏蔽窗	50mmPb 玻璃
	北侧墙体、南侧墙体	370mm 实心砖墙
	东侧进出口防护门	20mmPb 铅防护门
	东侧储源室、分装室墙体	240mm 实心砖墙
	东侧储源室、分装室防护门	15mmPb 铅防护门
	楼顶板	300mm 混凝土
	楼底板	300mm 混凝土
抢救室	东侧、南侧、西侧、北侧墙体	370mm 实心砖墙
	西侧防护门	20mmPb 铅防护门
	南侧防护门	20mmPb 铅防护门
	楼顶板	300mm 混凝土
	楼底板	300mm 混凝土
留观室	西侧墙体	480mm 实心砖墙
	东侧、南侧、北侧墙体	370mm 实心砖墙
	西侧防护门	30mmPb 铅防护门
	东侧防护门	20mmPb 铅防护门
	楼顶板	300mm 混凝土
	楼底板	300mm 混凝土

### (4) 甲吸检查区

医院拟在 D 楼一层核医学科内设甲吸室 1 间（室内约  $9.34 \text{m}^2$ ，净空高  $4.74 \text{m}$ ）在

甲吸室内使用放射性核素<sup>131</sup>I，用于甲吸检查。<sup>131</sup>I 计划年最大操作量为 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ ，计划日最大操作量为 $4.62 \times 10^8 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.85 \times 10^5 \text{Bq}$ 。甲吸室东侧墙体为370mm 实心砖墙，其余三面墙体为240mm 实心砖墙，地面为300mm 厚混凝土，屋顶为300mm 厚混凝土，防护门为2mm 铅当量。

### (5) 放免分析区

医院拟在 D 楼一层核医学科内设放免分析区，室内面积约 $9.24 \text{m}^2$ ，在放免实验室内使用放射性核素<sup>125</sup>I 进行放免分析。

拟在放免分析区内使用核素 <sup>125</sup>I，计划年最大使用量  $1.00 \times 10^7 \text{Bq}$ ，最大日使用量  $4.00 \times 10^4 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为  $4.00 \times 10^3 \text{Bq}$ ，日最大操作量未超过  $1.0 \times 10^6 \text{Bq}$ ，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 <sup>125</sup>I 实行豁免管理。

项目组成及主要环境问题见表 1-1。

表 1-2 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	运营期	
主体工程	放疗科	直线加速器机房 1、直线加速器机房 2	设备、数量	10MV 医用电子直线加速器，2 台	噪声、扬尘、废水、废气、固体废物	X 射线、电子线、臭氧、噪声
			设备型号	待定		
			管理类别	II 类		
			使用场所	D 楼负一层直线加速器机房 1、直线加速器机房 2		
			年曝光时间	250h/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	东侧、西侧、顶部、地面				
	后装机机房	放射源数量	1 枚 <sup>192</sup> I 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	$3.7 \times 10^{11} \text{Bq} \times 1$ 枚			
		放射源种类	III 类源			
		使用场所	D 楼负一层后装机机房			
		年出源时间	167h			
	SPECT/CT	SP EC T/	设备、数量	SPECT/CT 机 1 台	噪声、扬尘、废水、	X 射线、β 射线、γ 射线、放
设备型号			待定			
管理类别			III 类			

主体工程	核医学科	CT 机房	额定管电压/电流	130kV/345mA	废气、固体废物	放射性废气、放射性废水、放射性固体废物、使用后钼铈发生器	
			使用场所	D 楼一层 SPECT/CT 机房			
			使用核素	<sup>99m</sup> Mo、 <sup>99m</sup> Tc			
		非密封放射性物质工作场所		SPECT/CT 机房、SPECT 候诊室、患者走廊、储源室、注射室、抢救室、留观室、更衣室、放射性废物暂存间等			
		PET/CT 机房	设备、数量	PET/CT 机 1 台			
			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	D 楼负一层 PET/CT 机房			
			使用核素	<sup>18</sup> F			
			使用校准放射源	2 枚 <sup>68</sup> Ge 放射源，活度为 5.5×10 <sup>7</sup> Bq×1 枚+7.4×10 <sup>7</sup> Bq×1 枚			
非密封放射性物质工作场所		PET/CT 机房、PET 候诊室、患者走廊、储源室、分装室、注射室、抢救室、留观室、更衣室、放射性废物暂存间等					
甲吸检查区		甲吸室 1 间，在甲吸室内使用放射性核素 <sup>131</sup> 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 <sup>125</sup> I					
辅助工程	控制室、水冷机房、准备室、设备间、新风机房、电器间、污水提升间、电气间、诊室、预留用房等				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><b>新建放射性废水处理设施：</b>拟新建放射性废水衰变池 2 座，容积分别为 81m<sup>3</sup> 和 27m<sup>3</sup> 及放射性废水排污管道，用于对核医学科产生的放射性废水进行暂存，达到暂存时间要求后，排入医院拟建污水处理站处理。</p> <p><b>新建放射性废气处理设施：</b>拟在放疗科 1 套、核医学科设独立排风系统 2 套，排风口位于 D 楼顶，排放口朝向北侧。此外，拟在核医学科 3 根排风管道末端分别设 3 套活性炭吸附装置+高效排风过滤器。</p> <p><b>新建放射性固废处理设施：</b>拟在核医学科设 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，按医疗废物环境管理要求进行无害化处理，并报生态环境主管部门备案。</p> <p><b>依托其他设施：</b>新建非放射性废水管道若干，经收集后排入医院拟建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 1-3。

表 1-3 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	<sup>131</sup> I	年使用量为 4.62×10 <sup>8</sup> Bq	外购	甲吸检查
	<sup>125</sup> I	年使用量为 1.00×10 <sup>7</sup> Bq	外购	放免分析
	<sup>99m</sup> Mo	年使用量为 4.17×10 <sup>12</sup> Bq	外购	制备 <sup>99m</sup> Tc
	<sup>99m</sup> Tc	年使用量为 4.07×10 <sup>12</sup> Bq	外购	显像诊断
	<sup>18</sup> F	年使用量为 4.17×10 <sup>13</sup> Bq	外购	显像诊断
	<sup>68</sup> Ge	5.5×10 <sup>7</sup> ×1 枚+7.4×10 <sup>7</sup> ×1 枚	外购	设备校准
	<sup>192</sup> Ir	3.7×10 <sup>11</sup> Bq×1 枚	外购	放射治疗

### (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 1-4 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	D 楼负一层直线加速器机房	拟购
2	PET/CT	1 台	待定	额定管电压 140kV, 额定管电流 800mA	III类	D 楼一层 PET/CT 机房	拟购
3	SPECT/CT	1 台	待定	额定管电压 130kV, 额定管电流 345mA	III类	D 楼一层 SPECT/CT 机房	拟购

### (五) 本项目医用核素及使用情况一览表

表 1-5 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	<sup>18</sup> F	109.8min	液态	低毒	EC、β <sup>+</sup>	0.64MeV/β射线 0.511MeV/γ射线
2	<sup>99m</sup> Mo	66h	液态	中毒	β <sup>-</sup>	1.23MeV/β射线 0.78MeV/γ射线
3	<sup>99m</sup> Tc	6.02h	液态	低毒	IT、β <sup>-</sup>	0.002MeV/β射线 0.14051MeV/γ射线
4	<sup>125</sup> I	59.4d	液态	中毒	EC	35.5keV/γ射线
5	<sup>131</sup> I	8.02d	液态	中毒	β <sup>-</sup>	606keV/β射线 364keV/γ射线

表 1-6 本项目使用核素诊疗用药情况

场所	使用核素	日最大 诊/治疗 人数	诊疗 天数	年最大诊/治疗 人数	单人次最大 用量	计划年用 量 (Bq)	最大日 使用量 (Bq)	给药方式
SPECT 诊断区	<sup>99m</sup> Tc	20	250	5000	814MBq (22mCi)	4.07E+12	1.63E+10	静脉注射
PET 诊断区	<sup>18</sup> F	15	250	3750	370MBq (10mCi)	1.39E+12	5.55E+09	静脉注射
甲吸检 查	<sup>131</sup> I	5	250	1250	0.37MBq (0.01mCi)	4.62E+08	1.85E+06	口服
放免分 析区	<sup>125</sup> I	5	250	1250	5 次/周, 1 个 试剂盒/周, <0.08MBq	1.00E+07	4.00E+04	/

本项目核医学科拟使用的非密封放射性核素 <sup>18</sup>F、<sup>131</sup>I 根据患者情况提前预约登记, 向厂家进行定量订购。其中, <sup>18</sup>F 药物用于显像检查, 由厂家经传药窗送入分装室, 根据用药需求进行分装。<sup>131</sup>I 药物用于甲吸检测, 出厂时已由厂家分装好, 由厂家经传药窗送入储源室的储源柜内储存, 使用时送入甲吸室使用。<sup>99m</sup>Tc 由医院自购 Mo-<sup>90m</sup>Tc 发生器进行淋洗制备, 将分装好的药物给患者进行注射, 然后进行 SPECT/CT 显像检查。

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
<sup>68</sup> Ge	5.5×10 <sup>7</sup> Bq×1 枚 +7.4×10 <sup>7</sup> Bq×1 枚	V类	1 枚	29.1a	β射线	E <sub>β</sub> =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
<sup>192</sup> Ir	3.7×10 <sup>11</sup> Bq×1 枚	III	1 枚	74.2d	β射线 γ射线	E <sub>β</sub> =0.675MeV E <sub>γ</sub> =0.468MeV	

## (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 D 楼一层核医学科相对独立、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：

$$\text{日等效操作量} = \text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子} \div \text{操作方式的修正因子}$$

## 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	计划年用量 (Bq)	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	核素的贮存	<sup>131</sup> I	4.62E+08	1.85E+06	0.1	100	1.85E+03	3.99E+07	乙级非密封放射性物质工作场所
		<sup>99</sup> Mo	4.17E+12	1.67E+10	0.1	100	1.67E+07		
		<sup>18</sup> F (备)	2.78E+12	1.11E+10	0.01	100	1.11E+06		
	SPECT 诊断	<sup>99m</sup> Tc	4.07E+12	1.63E+10	0.01	10	1.63E+07		
	PET 诊断	<sup>18</sup> F	1.39E+12	5.55E+09	0.01	10	5.55E+06		
	甲吸检查	<sup>131</sup> I	4.62E+08	1.85E+06	0.1	1	1.85E+05		
	放免分析	<sup>125</sup> I	1.00E+07	4.00E+04	0.1	1	4.00E+03		

根据表 1-11 可知，本项目非密封放射性物质工作场所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	<sup>75</sup> Se、 <sup>89</sup> Sr、 <sup>125</sup> I、 <sup>131</sup> I、 <sup>32</sup> P、 <sup>90</sup> Y、 <sup>99</sup> Mo、 <sup>153</sup> Sm	100
B	<sup>14</sup> C、 <sup>13</sup> N、 <sup>15</sup> O、 <sup>18</sup> F、 <sup>51</sup> Cr、 <sup>67</sup> Ga、 <sup>99m</sup> Tc、 <sup>123</sup> I、 <sup>111</sup> In、 <sup>113m</sup> In、 <sup>201</sup> Tl	1
C	<sup>11</sup> C、 <sup>3</sup> H、 <sup>81m</sup> Kr、 <sup>127</sup> Xe、 <sup>133</sup> 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

大量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一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								
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	
SPECT 诊断区	SPECT/CT 机房、SPECT 候诊室	<sup>99m</sup> Tc	1	10	1.63E+04	1.63E+03	1.63E+03	II类
PET 诊断区	PET/CT 机房、PET 候诊室	<sup>18</sup> F	1	10	5.55E+03	5.55E+02	5.55E+02	II类
留观室		<sup>99m</sup> Tc	1	10	1.63E+04	1.63E+03	2.19E+03	II类
		<sup>18</sup> F	1	10	5.55E+03	5.55E+02		
放射性废物暂存间		<sup>131</sup> I	100	10	1.85E+00	1.85E+01	2.20E+03	II类
		<sup>99m</sup> Tc	1	10	1.63E+04	1.63E+03		
		<sup>18</sup> F	1	10	5.55E+03	5.55E+02		
储源室		<sup>131</sup> I	100	100	1.85E+00	1.85E+00	1.67E+04	II类
		<sup>99</sup> Mo	100	100	1.67E+04	1.67E+04		
分装室		<sup>99</sup> Mo	100	100	1.67E+04	1.67E+04	3.87E+04	II类
		<sup>99m</sup> Tc	1	1	1.63E+04	1.63E+04		
		<sup>18</sup> F	1	1	5.55E+03	5.55E+03		
		<sup>18</sup> F(备)	1	100	1.11E+04	1.11E+02		
注射室		<sup>99m</sup> Tc	1	1	1.63E+04	1.63E+04	2.19E+04	II类
		<sup>18</sup> F	1	1	5.55E+03	5.55E+03		
患者走廊		<sup>99m</sup> Tc	1	10	1.63E+04	1.63E+03	2.19E+03	II类
		<sup>18</sup> F	1	10	5.55E+03	5.55E+02		

甲吸检查区	<sup>131</sup> I	100	1	1.85E+00	1.85E+02	1.85E+02	II类
豁免分析区	<sup>125</sup> I	100	1	4.00E-02	4.00E+00	4.00E+00	III类

注：①加权活度=（计划最大日操作量×核素的毒性权重因子）/操作性质修正因子；②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；

## （四）本项目外环境及选址合理性

### 1、项目外环境关系

#### （1）医院外部环境

西充县城南医疗康养中心（县人民医院城南院区）位于西充县常林镇石板河社区张澜路，医院西侧紧邻安石路，安石路西侧距离医院厂界现为空地（规划为住宅用地），西侧 320m 处为西充河，属于III类水体。医院厂界北侧紧邻公园一路，公园一路对面距离医院厂界 40m 为空地（规划为城镇绿地），距离医院厂界 300m 处为政府安置房（10F，约 300 人）；西南侧距离医院厂界 220m 处有 36 户安置户；东北侧距离医院厂界 160m 处为在建的西充县公安局办公大楼；项目南侧现为空地（规划住宅用地）。医院周围主要以规划城镇绿地和商住区为主的城居环境，本项目建设不新增用地。医院外距离本项目辐射场所实体屏蔽 50m 范围内除公园一路流动人员外无其他环境保护目标。

#### （2）辐射场所周边环境关系

本项目涉及的辐射工作场所均位于医院 D 楼内。放疗科位于 D 楼负一层，其中直线加速器机房、后装机房呈“一字型”靠北布置；核医学科位于 D 楼一层。D 楼东侧为肿瘤专科 A 楼和门诊医技 B 楼（距离 D 楼 7m，距离核医学科辐射场所为 7m，距离放疗科辐射场所实体屏蔽为 22m）；D 楼西侧为待建污水处理站（距离 D 楼 100m，距离核医学科辐射场所 106m，距离放疗科实体屏蔽 100m）；D 楼南侧为停车场（距离 D 楼 20m，距离核医学科辐射场所 26m，距离放疗科实体屏蔽 26m）。D 楼北侧 30m 为医院北厂界，医院北厂界紧邻公园一路（距离 D 楼 30m，距离核医学科辐射场所 33m，距离放疗科实体屏蔽 30m）。

本项目辐射工作场所位于已取得土地手续的医院占地范围内，不新增占地。医院周边以居民住宅、城市绿地、商业设施为主，周边无自然保护区、保护文物、风景名胜等特殊环境保护目标。项目选址无大的环境制约因素。

### 2、选址合理性分析

根据《不动产权证》（川 2020）西充县不动产权第 0014244 号），医院所在区域用地性质属于医疗卫生用地。医院已经进行了环境影响评价并取得批复（南市环审[2021]7 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。

项目选址基础配套设施完善，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。

#### （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 37 人，均为医院新增辐射工作人员，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
		后装机	8	医师 4 人、技师 2 人、物理师 1 人、护士 1 人
核医学科	核医学科	PET 诊断	7	医师 1 人、技师 2 人、护士 4 人
		SPECT 诊断	7	医师 1 人、技师 2 人、护士 4 人
		甲吸检查	2	医师 1 人、护士 1 人

#### （六）本项目依托的环保工程设施

本项目依托的西充县人民医院“西充县城南医疗康养中心（县人民医院城南院区）项目”D 楼的建设已包含在《西充县城南医疗康养中心（县人民医院城南院区）项目环境影响报告书》中，已取得南充市生态环境局关于《西充县城南医疗康养中心（县人民医院城南院区）项目环境影响报告书的批复》（南市环审[2021]7 号）。本项目依托的主要环保设施有：

项目运营期间产生的污水依托西充县城南医疗康养中心（县人民医院城南院区）的污水处理站处理。

### 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委托后，四川羽嘉环境技术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) 西充县人民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[00783]），许可的种类和范围为：使用II类、III类射线装置；发证日期：2020年9月7日，有效期至2025年9月6日，在有效期内。西充县人民医院已获许可使用的活动种类和范围具体情况见下表 1-17。

表 1-17 医院目前涉及射线装置汇总表

序号	射线装置名称	类别	型号	数量	活动种类	工作场所名称	备注
1	CT 机	III类	SOM ATOM Persp ectiv	1	使用	CT1 号扫描室	已上证
2	DR（飞利浦）	III类	Digital Diang nost	1	使用	DR1 检查室	已上证
3	碎石机	III类	Hk.ESWL-V	1	使用	碎石机房	已上证
4	日本岛津 X 光机	III类	SF-15F	1	使用	胃肠造影检查室	已上证
5	移动 C 臂	III类	PLX112B	1	使用	5 手术室	已上证
6	DR（西门子）	III类	YSIO	1	使用	DR2 检查室	已上证
7	乳腺钼靶机 （CR）	III类	HAWK-2M CR-35-X	1	使用	乳腺、 口腔检查室	已上证
8	口腔曲金断层 X 光机	III类	PROMAX	1	使用	乳腺、 口腔检查室	已上证
9	CT 机	III类	CTSOMATOM .go.no w	1	使用	CT2 扫描室	已上证
10	DR （深圳安健）	III类	ADR-1600	1	使用	DR 检查室（多扶新区医 院）	已上证
11	DSA	II类	artistona	1	使用	介入治疗中心：手术室	已上证

经调查，医院目前在用III类射线装置共计10台，在用II类医用 X 射线装置1台。

## 2、辐射工作人员培训情况

医院现有 35 名辐射工作人员，均已经取得了辐射安全与防护培训合格证，辐射工作人员培训统计情况见附件 9。

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参加辐射安全与防护知识的学习，医院应尽快安排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

试；已取得辐射安全培训合格证的，合格证到期前，需进行再培训。

根据中华人民共和国生态环境部关于进一步优化辐射安全考核的公告（公告2021年第9号），对于仅从事III类射线装置销售、使用活动的辐射工作人员无需参加集中考核，由核技术利用单位自行组织考核。已参加集中考核并取得成绩报告单的，原成绩报告单继续有效。自行考核结果有效期五年，有效期届满的，应当有核技术利用单位组织再培训和考核。

### 3、年度评估报告

医院在全国核技术利用辐射安全申报系统（<http://rr.mee.gov.cn>）中提交了“2021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”，医院对2021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评估说明。

### 4、是否发生过辐射安全事故

据了解，医院自取得《辐射安全许可证》以来，未发生过辐射安全事故，情况说明见附件2。

### 5、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。运营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，运营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。

### 6、医院其他核技术利用情况

西充县人民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污水处理站预处理后，达标排放到市政污水管网，进入西充县城市污水处理厂处理；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，医疗废物中感染性废物及损伤性废物及污水处理产生污泥送南充市洁源环保服务有限公司处置，化学性废物和药物性废物交由阆中市时代安全处置有限公司处理。病理性废物交由南充万隆商务有限公司西充殡葬服务站处理。

**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	<sup>68</sup> Ge	1.29×10 <sup>8</sup> Bq/5.5×10 <sup>7</sup> Bq×1+7.4×10 <sup>7</sup> Bq×1	V	使用	PET/CT 校准源	D 楼一层核医学科 PET/CT 机房	D 楼一层核医学科 储源室	本次新增
2	<sup>192</sup> Ir	3.7×10 <sup>11</sup> Bq×1	III	使用	后装机治疗	D 楼负一层核医学科 后装机机房	后装机内	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	实际计划日 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	<sup>131</sup> I	液态、半衰期 8.02d	使用	1.85E+06	1.85E+05	4.62E+08	甲吸检查	简单的操作	核医学科 SPECT 诊断区	一层储源室
2	<sup>99</sup> Mo	液态、半衰期 66h	使用	1.67E+10	1.67E+07	4.17E+12	制备 <sup>99m</sup> Tc	贮存	核医学科 SPECT 诊断区	一层储源室
3	<sup>99m</sup> Tc	液态、半衰期 6.02h	使用	1.63E+10	1.63E+07	4.07E+12	影像检查	很简单操作	核医学科 SPECT 诊断区	一层储源室
4	<sup>18</sup> F	液态、半衰期 109.8min	使用	1.67E+10	6.66E+06	4.17E+12	影像检查	很简单操作	核医学科 PET 诊断区	一层分装室
5	<sup>125</sup> I	液态、半衰期 59.4d	使用	4.00E+04	4.00E+03	4.00E+03	放免分析	简单的操作	核医学科放免分析 室	一层储源室

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 D 楼负一层直线加速器机房内	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	PET/CT	III	1	待定	140	800	影像检查与诊断	D 楼一层 PET/CT 机房	本次拟购
2	SPECT	III	1	待定	130	345	影像检查与诊断	D 楼一层 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	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	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（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	$^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$	$137.5\text{m}^3/\text{a}$	总 $\alpha < 1\text{Bq/L}$ 总 $\beta < 10\text{Bq/L}$	放射性废水衰变池暂存	诊断区废水暂存 1 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	$^{131}\text{I}$ 、 $^{125}\text{I}$ 、 $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、	$225\text{kg/a}$	/	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 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{192}\text{Ir}$ 放射源	固态	$^{68}\text{Ge}$ 、 $^{192}\text{Ir}$	/	/	不暂存，厂家回收	不暂存，厂家回收
核医学科放射性废气	气态	$^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{131}\text{I}$	$1.64 \times 10^{10}\text{Bq/a}$	$< 137\text{Bq/m}^3$	经专用通排风系统过滤后排放	排向大气环境
加速器、后装机产生的臭氧	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	/	$75\text{kg/a}$	/	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
使用完的钨铍发生器、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/m<sup>3</sup>，年排放总量用 kg。

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

表 6 评价依据

<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<math>\gamma</math>辐射剂量率测定技术规范》(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:<math>\gamma</math>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) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GBZ11930-2010);</p> <p>(13) 《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》(GBZ/T244-2017);</p> <p>(14) 《公众成员的放射性核素年摄入量限值》(WST613-2018);</p> <p>(15) 《医用放射性固废的卫生防护管理》(GBZ133-2009);</p> <p>(16) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020);</p> <p>(17) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021);</p> <p>(18) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020);</p> <p>(19) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)。</p>
<p>其他</p>	<p>(1) 环评委托书;</p> <p>(2) 南充市生态环境局关于《西充县城南医疗康养中心(县人民医院城南院区)项目环境影响报告书的批复》(南市环审[2021]7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）西充县人民医院“西充县城南医疗康养中心（县人民医院城南院区）”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	与辐射源相对方位	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 的医护人员	东侧	职业人员	职业	9.1	13	5.0
	控制室 3 的医护人员	东侧	职业人员	职业	8.6	8	5.0
	放疗科护士站护士	东侧	职业人员	职业	13.1	3	5.0
	直线加速器准备室人员	东侧	公众人员	公众	9.35	流动人群	0.1
	后装机机房入口通道人员	东侧	公众人员	公众	10.5	流动人群	0.1
	衰变池维护检修人员	南侧	公众人员	公众	8	2	0.1
	衰变池机房操作维修人员	南侧	公众人员	公众	9.75	2	0.1
	公共通道、污水提升泵间电气间、医生办公室下沉庭院等	南侧	公众人员	公众	10.9	流动人群	0.1
	水冷机房 1 操作维修人员	东侧	公众人员	公众	9.49	2	0.1

	水冷机房 2 操作维修人员	东侧	公众人员	公众	10.4	2	0.1
	放疗科候诊大厅陪护人员	东侧	公众人员	公众	13.1	流动人群	0.1
	放疗科内的病人及其他人员	周围	公众人员	公众	/	流动人群	0.1
	一层核医学科东侧墙体外公众	侧上方	公众人员	公众	16	流动人群	0.1
	一层核医学科南侧墙体外公众	侧上方	公众人员	公众	6.52	流动人群	0.1
	一层核医学科西侧墙体外公众 (核医学科患者进出口)	正上方	公众人员	公众	5.2	流动人群	0.1
	一层核医学科北侧墙体外公众	侧上方	公众人员	公众	8.13	流动人群	0.1
	核医学候诊大厅陪护人员	侧上方	公众人员	公众	8.13	流动人群	0.1
	肿瘤专科 A 楼和门诊医技 B 楼 医护及病患	东侧	公众人员	公众	31.1m	500	0.1
	公园一路流动人群	北侧	公众人员	公众	34.8m	流动人群	0.1
核医 学科	核医学科医护人员	/	职业人员	职业	/	16	5.0
	核医学科南侧墙体外公众	南侧	公众人员	公众	2.2	流动人群	0.1
	核医学科东侧墙体外公众	东侧	公众人员	公众	9.15	流动人群	0.1
	核医学科西侧墙体外公众 (一层核医学科进出口)	西侧	公众人员	公众	1.3	流动人群	0.1
	核医学科北侧墙体外公众	北侧	公众人员	公众	2.1	流动人群	0.1
	肿瘤专科 A 楼和门诊医技 B 楼 医护及病患	东侧	公众人员	公众	16.2	500	0.1
	核医学科北侧公园一路 流动人群	北侧	公众人员	公众	33	流动人群	0.1
	核医学科楼顶公众 (可上人屋面)	上方	职业人员	职业	3.5	流动人群	0.1
	核医学科下方放疗科陪护人员	下方	公众人员	公众	4.4	流动人群	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

## 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  $30\text{cm}$  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  $30\text{cm}$  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  $30\text{cm}$  处的周围剂量当量率应小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ,如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域,其周围剂量当量率应小于  $10\mu\text{Sv/h}$ ;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  $30\text{cm}$  处人员操作位的周围剂量当量率小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ,放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于  $25\mu\text{Sv/h}$ ;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  $30\text{cm}$  处的周围剂量当量率小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

## 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		$\beta$ 放射性物质 (Bq/cm <sup>2</sup> )
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/cm<sup>2</sup>），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
<sup>99</sup> Mo	1E+02	1E+06
<sup>99m</sup> Tc	1E+02	1E+07
<sup>131</sup> I	1E+02	1E+06
<sup>18</sup> F	1E+01	1E+06

备注：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 $\alpha$ 浓度不大于 1Bq/L、总 $\beta$ 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， $\alpha$  表面污染小于 0.08 Bq/cm<sup>2</sup>、 $\beta$  表面污染小于 0.8 Bq/cm<sup>2</sup> 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 $\beta$ 和 $\gamma$ 发射体以及低毒性 $\alpha$ 发射体应小于 4Bq/cm<sup>2</sup>、其他 $\alpha$ 发射体应小于 0.4 Bq/cm<sup>2</sup>。

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

本项目选址于西充县常林镇石板河社区张澜路西充县德恒医疗投资有限责任公司拟建D楼，根据现场踏查，本项目的周边环境关系如下：

西充县城南医疗康养中心（县人民医院城南院区）位于西充县常林镇石板河社区张澜路，医院西侧紧邻安石路，安石路西侧距离医院厂界现为空地（规划为住宅用地），西侧 320m 处为西充河，属于III类水体。医院厂界北侧紧邻公园一路，公园一路对面距离医院厂界 40m 为空地（规划为城镇绿地），距离医院厂界 300m 处为政府安置房（10F）；西南侧距离医院厂界 220m 处有 36 户安置户；东北侧距离医院厂界 160m 处为在建的西充县公安局办公大楼；项目南侧现为空地（规划住宅用地）。医院周围主要以规划城镇绿地和商住区为主的城居环境，本项目建设不新增用地。医院外距离本项目辐射场所实体屏蔽 50m 范围内除公园一路流动人员外无其他环境保护目标。本项目涉及的辐射工作场所均位于医院 D 楼内。根据医院设计图纸，医院拟建放疗科、核医学科均位于待建的 D 楼，目前大楼暂未开工建设。

项目现场情况见图8-1。



D楼东侧肿瘤专科A楼（在建）



D楼拟建位置

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，四川羽嘉环境技术有限公司委托四川同佳检测有限责任公司于2022年3月22日对项目拟建场所进行了现场监测，监测报告见附件10，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

项目	监测方法	检出限	备注
X-γ 辐射 剂量率	《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)	10nGy/h	/
	《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)		
α、β 表面 污染水平	《辐射环境监测技术规范》HJ 61-2021	LLD α : 0.01S <sup>-1</sup> LLD β : 0.01S <sup>-1</sup>	检出限为本次测量使用方法和仪器的综合技术指标
	《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	技术指标			校准情况
X-γ 辐射 剂量率	名称: 环境监测用 X-γ 辐射空气比释动 能率仪 型号:NT6101 编号: TJHJ2021-49	①能量响应: 48KeV~3MeV		校准单位:中国测 试技术研究院 校准字号: 202107001906 校准日期: 2021年07月07日 有效期至: 2022年07月06日	
		②测量范围: 10nGy/h~200 μ Gy/h			
		③X 射线剂量当量校准因子 $C_F$ , 单位: $\mu Sv/h \cdot (\mu Gy/h)^{-1}$			
		校准因子 $C_F$	不确定度 $U_{rel}/\% (k=2)$		
		1.49	N-60		6
		1.97	N-80		6
		1.56	N-100		6
1.32	N-120	6			
1.39	N-150	6			
			天气:阴 温度: 18.2℃ 湿度:64%		

		①能量响应：48KeV~3MeV ②测量范围： 10nGy/h~200 μ Gy/h ③校准用 γ 辐射源： <sup>137</sup> Cs ④校准结果：	校准单位：中国测试技术研究院 校准字号： 202107000160 校准日期： 2021年07月01日 有效期至： 2022年06月30日													
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>校准系数 <math>C_F</math></th> <th></th> <th>不确定度 <math>U_{rel}</math> (%) (<math>k=2</math>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.80</td> <td>≤7.4</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>0.82</td> <td>≤34.0</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>0.86</td> <td>≤185</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table>	校准系数 $C_F$		不确定度 $U_{rel}$ (%) ( $k=2$ )	0.80	≤7.4	7	0.82	≤34.0	7	0.86	≤185	7		
校准系数 $C_F$		不确定度 $U_{rel}$ (%) ( $k=2$ )														
0.80	≤7.4	7														
0.82	≤34.0	7														
0.86	≤185	7														
α、β 表面 污染 水平	名称：α、β 表面污染仪 型号： TDC-9101+ADC1121 编号： TJHJ2016-10	①量程 α : 0~10ks <sup>-1</sup> 0~100kmin <sup>-1</sup> β : 0~10ks <sup>-1</sup> 0~300kmin <sup>-1</sup> ②探测面积：100cm <sup>2</sup> ③表面活度响应 R (s <sup>-1</sup> .Bq <sup>-1</sup> .cm <sup>2</sup> ) : α =17.34; β =26.66	检定单位： 中国测试技术研究院 证书编号：检定字 第 202104001268 号 检定日期： 2021年04月08日 有效期至： 2022年04月07日	天气：阴 温度： 18.2℃ 湿度：64%												

### 三、质量保证

四川同佳检测有限责任公司，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同佳检测有限责任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：162312050547）。

#### (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。

## 五、监测布点合理性

本项目所在 D 楼目前未开工建设，本项目在 D 楼负一层设放疗科，在 D 楼一层设核医学科。评价范围内无其他辐射源的干扰。本项目监测点位选取拟建 D 楼所在所在位置和周围最近的保护目标所在位置，具有代表性，根据辐射剂量率与距离的平方成反比的规律，能够体现项目建设前的辐射环境现状。因此，本项目监测布点合理。

## 六、监测结果

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：nGy/h

点位	测量位置	测量值	标准差(S)
1	拟建 D 楼所在位置	67	3
2	拟建 D 楼东侧 A 楼（急诊、肿瘤专科）旁	70	5
3	拟建 D 楼东南侧 B 楼（门诊、医技）旁	70	5
4	拟建 D 楼南预留专科大楼用地旁 （现设计已更改为停车场）	63	2
5	拟建 D 楼西侧污水处理站旁	65	3
6	拟建 D 楼北侧花园一路	58	8
7	拟建 D 楼北侧厂界外人行道	63	4

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/cm<sup>2</sup>

点位	测量位置	测量值	
		α 表面污染测量值	β 表面污染测量值
1	拟建 D 楼所在位置	<LLD α	0.30
2	拟建 D 楼东侧 A 楼（急诊、肿瘤专科）旁	<LLD α	0.23
3	拟建 D 楼东南侧 B 楼（门诊、医技）旁	<LLD α	0.21
4	拟建 D 楼南预留专科大楼用地旁 （现设计已更改为停车场）	<LLD α	0.20
5	拟建 D 楼西侧污水处理站旁	<LLD α	0.23
6	拟建 D 楼北侧车行道	<LLD α	0.21
7	拟建 D 楼北侧厂界外人行道	<LLD α	0.23

注：本次采用直接测量法。

由表 8-3 监测结果可知，本项目拟建场所内 X- $\gamma$ 辐射剂量率背景值为 58~70 nGy/h，与生态环境部《2020 年全国辐射环境质量报告》中四川省空气吸收剂量率年均值范围（67.5nGy/h~121.3nGy/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 $\beta$ 表面污染检测结果为 0.20~0.30Bq/cm<sup>2</sup>，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 B11 给出的工作场所放射性表面污染控制水平（4Bq/cm<sup>2</sup>），属正常环境本底水平。

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“西充县城南医疗康养中心(县人民医院城南院区)项目”建设内容之一，其施工期环境影响包含在《县人民医院城南院区)项目环境影响报告书》中，批复文号为南市环审[2021]7号。本项目涉及辐射工作场所土建工程在施工过程中应采用连续浇筑施工工艺并满足本次评价经批准后的屏蔽要求。

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装，PET/CT机房、SPECT/CT机房等还将进行室内装饰，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。

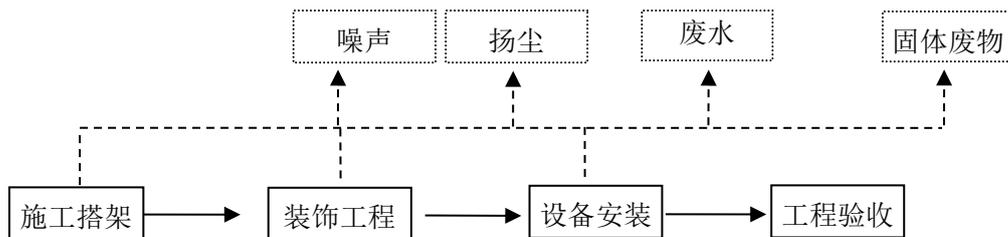


图 9-1 施工期工艺流程及污染物产生环节图

#### 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。

#### **5、设备安装调试**

本项目医用电子直线加速器、后装机装置的安装调试阶段，会产生X、 $\gamma$ 射线，造成一定的辐射影响。设备安装完成后，会有少量的废包装材料产生。

## **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；

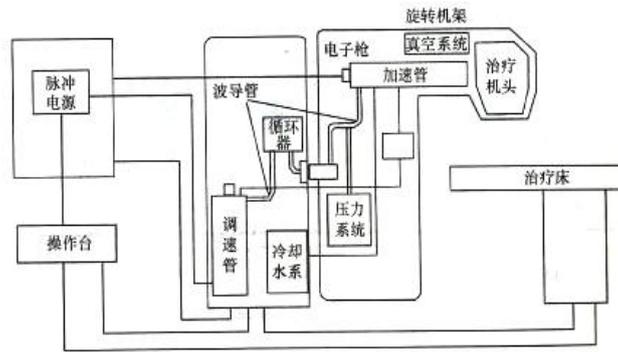


图 9-2 医用直线加速器结构示意图

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) 项目流程及产污染环节

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（另行办理射线装置豁免备案证明文件）、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，本项目产污环节为：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，本项目 10MV 医用直线加速器的运营时间为每年 50 周，每周 5 天，每天治疗 40 人，每野次照射时间约 1.5min，年曝光时间约 250h/台。

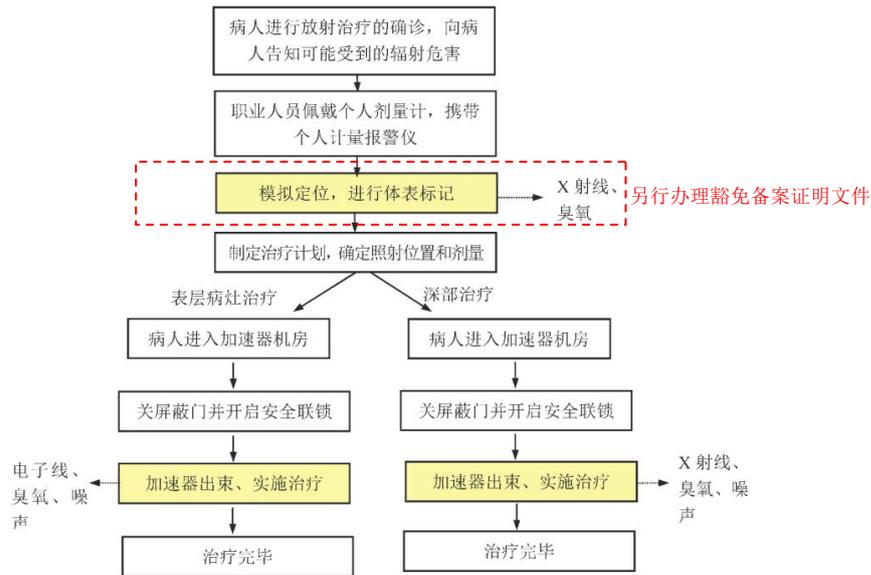


图 9-3 医用电子直线加速器治疗流程及产污环节图

## 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，按治疗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 $\gamma$ 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

本项目后装机拟使用 1 枚铯-137 放射源，设计装源活度为  $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$  (10Ci)，属Ⅲ类放射源。半衰期为 74.2 天，衰变过程会发出的 $\beta$ 、 $\gamma$ 射线；当放射源衰变至其活度不能满足放射治疗需要时，将更换放射源，从而产生退役后的废放射源。

### (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放疗科预约登记，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（另行办理射线装置豁免证明文件）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。

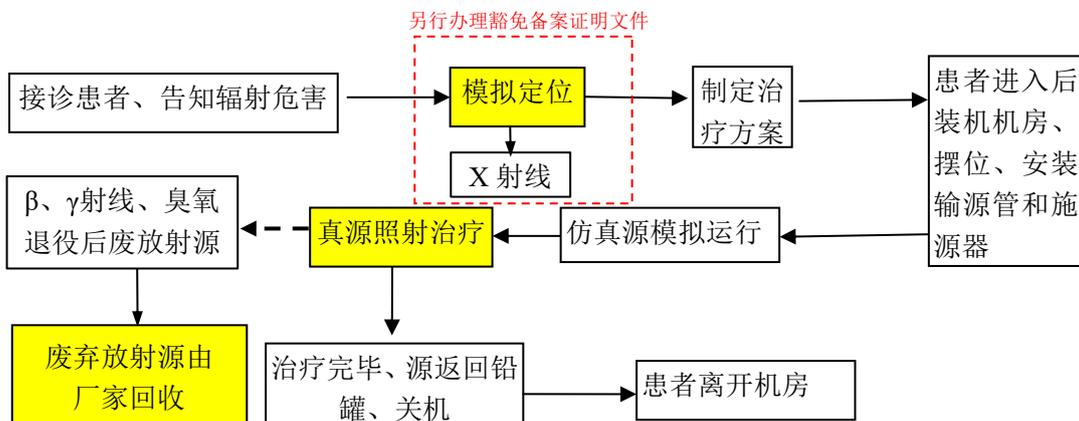


图 9-4 后装机治疗工艺流程及产污环节图

#### (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：辐射工作人员进入直线加速器机房协助患者进行摆位，摆位后通过准备室进入控制室，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，通过迷道沿准备室离开机房返回至候诊大厅，然后离开治疗区域。

#### (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1机机房。

放疗科医护人员和病人路径如下图所示。

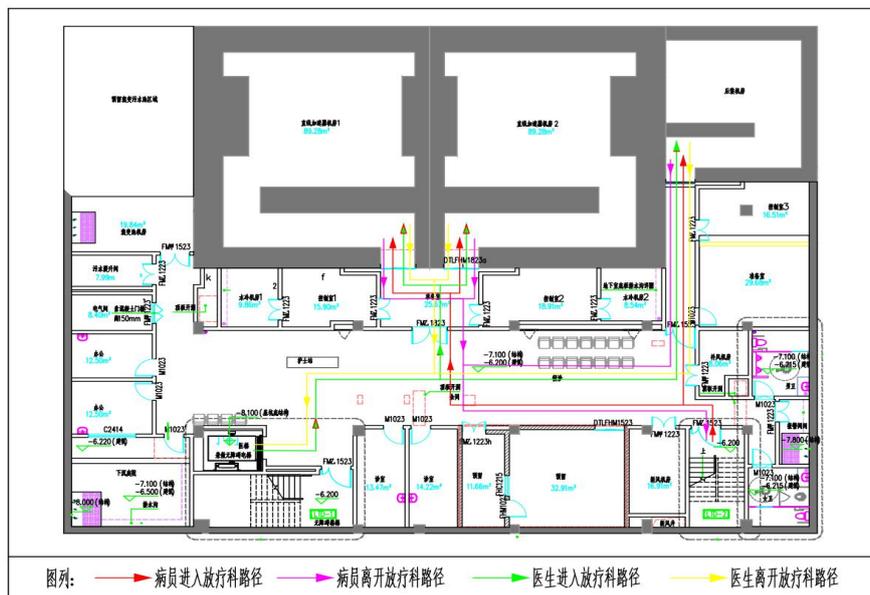


图 9-5 放疗科区域人流、物流路径示意图

#### (二) 核医学科

西充县人民医院拟在 D 楼核医学科 SPECT 诊断区内，使用  $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$  两种放射性核素，用于显像诊断；在 PET 诊断区内拟使用  $^{18}\text{F}$  一种放射性核素，用于显像诊断；在甲吸室内使用  $^{131}\text{I}$ ，用于甲吸检查。

拟在 PET/CT 机房内使用 1 台 PET/CT，配套使用 2 枚  $^{68}\text{Ge}$  校准源，活度为  $5.5 \times 10^7 \text{Bq} \times 1 \text{枚} + 7.4 \times 10^7 \text{Bq} \times 1 \text{枚}$ ，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) 钼铈发生器淋洗原理

本项目显像诊断使用的铈-99m 由钼铈发生器淋洗而成，该发生器属于裂变色层发生器，基本部件是钼酸铈柱/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。铈-99m 由钼酸铈柱内钼-99 不断衰变产生，并被钼酸铈柱吸附，当加入适当的淋洗剂时，铈-99m 便以  $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$  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。



组成部件：

1.发生器铅罐；2.吸附柱；3.筛板；4.淋洗液排出管 5.钼酸铈柱/活化氧化铝柱；6.生理盐水进口接头 7.连接胶管；8.连接胶管；9.空气过滤器；10 生理盐水瓶；11.发生器提把；12.钨合金罐；13.淋洗液接收瓶（负压瓶）；14.连接胶管；15.淋洗液出口接头；16.装料管接头；17.塑料外壳。

图 9-6 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  $\gamma$  射线，穿过组织器官后到达 SPECT 探测器。SPECT 使用低能准直器对  $\gamma$  射线进行准直，通过闪烁体将  $\gamma$  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。

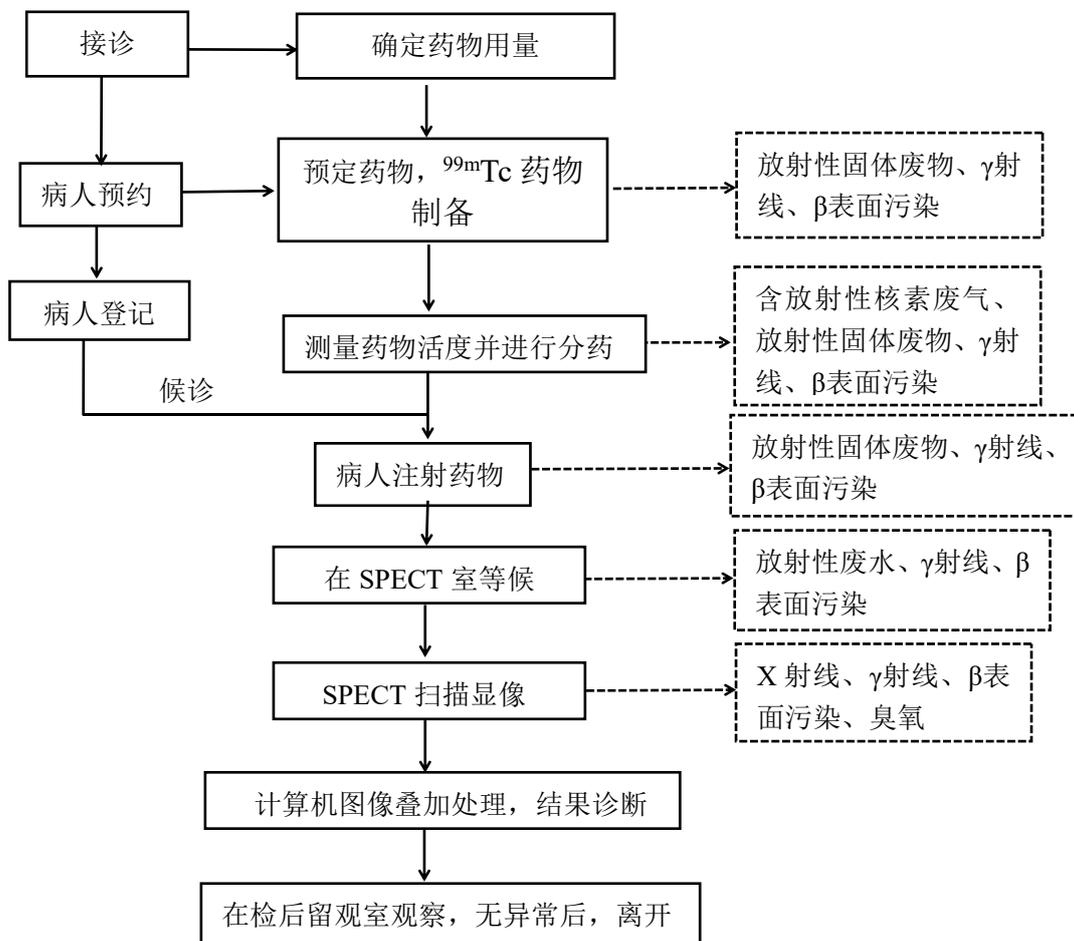


图 9-7 SPECT 诊断项目的工作流程与产污环节图

### 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 1 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  $^{99m}\text{Tc}$ ，每日最多诊断 20 人。

#### ② 工作流程

## A、药物制备

本项目计划使用放射性核素  $^{99m}\text{Tc}$  进行 SPECT 诊断检查，所使用的  $^{99m}\text{Tc}$  核素为外购钼铈发生器制备而来。钼铈发生器暂存于储源室内，使用时，由专人移至分装室内，工作人员根据临床诊断所需药物  $^{99m}\text{Tc}$  的使用量通过钼铈发生器在分装室内进行制备和分装。

### 铈- $^{99m}\text{Tc}$ 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：测量活度铈- $^{99m}\text{Tc}$  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：标记铈- $^{99m}\text{Tc}$  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 50mm 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 候诊室内候诊（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。扫描完成后病人在留观室等候 15min 后，确定无不良反应后，从患者出口离开核医学科。

## 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 9-7。

## **(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。

### **2) 备药流程**

核医学科根据预约的受检者量向药物供货商订购核素  $^{18}\text{F}$ ，药物供货商将订购的核素  $^{18}\text{F}$  运输至核医学科的分装室通风橱的铅罐内暂存，运输过程由药物供货商负责。由于  $^{18}\text{F}$  的半衰期极短 (109.8min)，每天送药次数为 2 次。每次使用时，护士在通风橱内对厂家药物进行活度测定，测量后根据受检者所需核素的量在分装室通风橱内进行分装取药。

### **3) 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  $^{18}\text{F}$ ；
- ②病人在 PET/CT 注射后在 PET 候诊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  $^{18}\text{F}$  给药量为

3.7×10<sup>8</sup>Bq/每人次，每日最大治疗人数为 15 人，注射时间约为 1min 每人次。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 PET 候诊室内观察。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，在留观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 9-8。

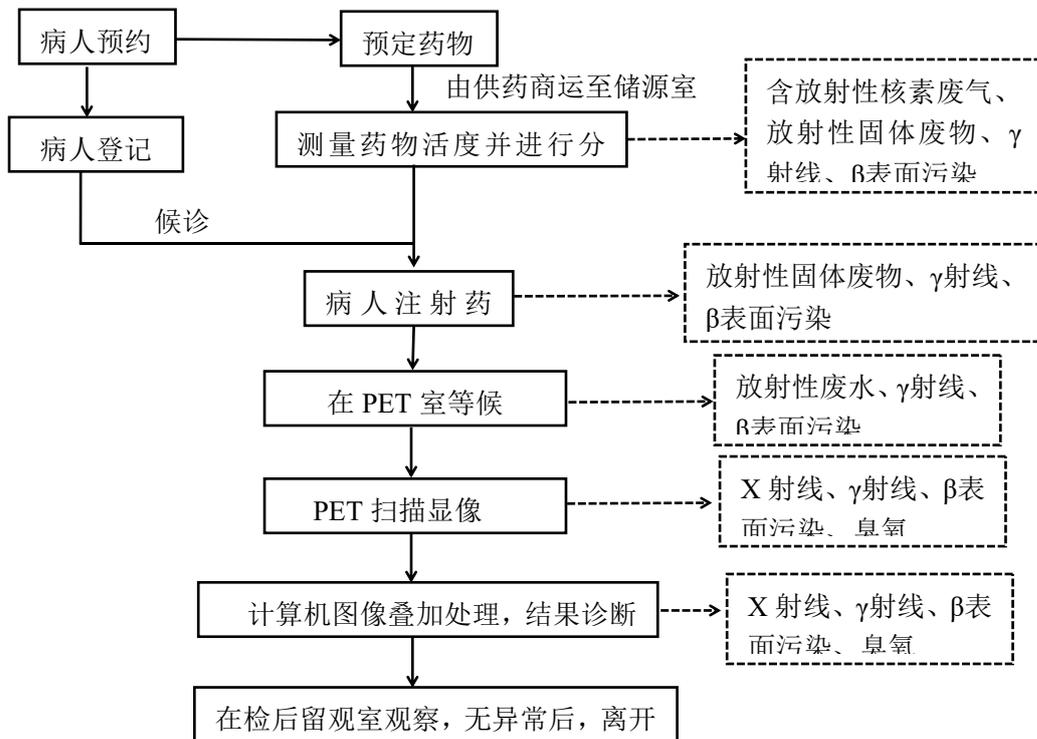


图 9-8 PET/CT 显像诊断及产污流程图

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) 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 <sup>131</sup>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 <sup>131</sup>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 <sup>131</sup>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 <sup>131</sup>I 的数量和速度、释放的速率来判定甲状腺功能状态。

## 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 $\text{Na}^{131}\text{I}$ （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 $^{131}\text{I}$ 率，绘制甲状腺摄 $^{131}\text{I}$ 率曲线图；

④患者离开医院。

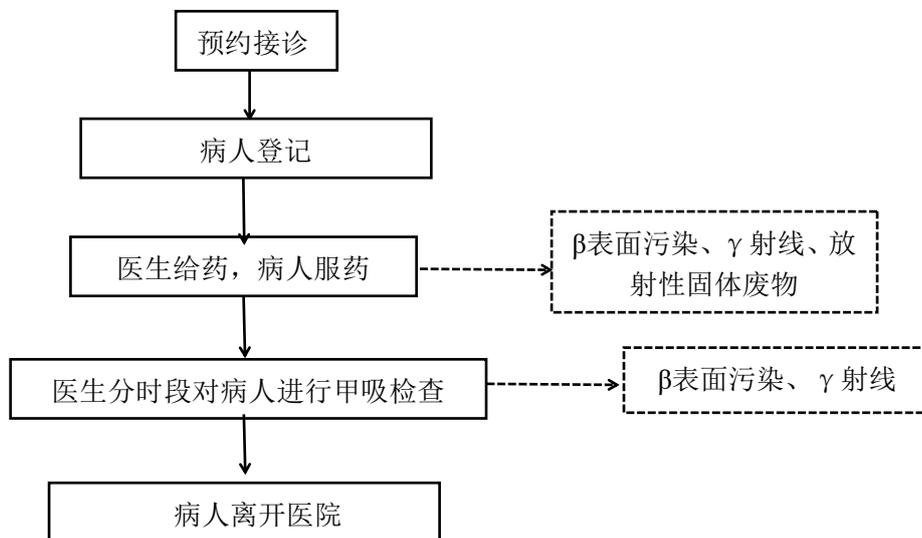


图 9-9 甲吸检查的工作流程与产污环节图

### (4) 核医学科放射性废气处理

本项目拟在核医学科内及分装室通风橱安装专用排气管道，采用活性炭吸附装置+高效排风过滤器二级处理设施进行处后，在 D 楼塔楼楼顶排放。

为达到放射性废气预期处理效果，建设单位采购的活性炭吸附装置+高效排风过滤器二级处理对放射性核素的去除效率不得低于 99%，并在高活性操作量的管道处设置铅皮进行屏蔽。活性炭吸附装置内的活性炭应半年左右定期更换一次，确保吸附过滤装置的有效性。

### (6) 核医学科人流、物流路径

核医学科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给药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。同时，通过就诊时间管理、视频监控等措施确保 PET/CT、SPECT/CT 检查受检者注射药物不同时进行，给药后患者或受检者（PET/CT 或 SPECT/CT 诊断前）与 PET/CT 或 SPECT/CT 诊断后患者或受检者不交叉，即通过管理措施确保任何时候患者通道上均只有 1 名患者。

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、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。

#### ①医护人员进、出路径

A、甲吸诊断及放免分析区医护人员从西侧经候诊大厅、公共走廊进入甲吸室和放免室，开展诊断和治疗工作，结束工作后沿原路返回。

B、注射室医护人员经核医学科东侧核医学科医护入口经医护通道，在更衣室内更换衣物后进入注射室工作。

C、PET 和 SPECT 医护人员经核医学科东侧核医学科医护入口经医护通道，进入控制室工作。

#### ②SPECT 诊断区受检者进、出路径

SPECT 受检者，从核医学科入口进入候诊大厅，待接到语音通知后，至接诊台预埋留置针，埋好后由公共通道进入诊断区域，进入诊断区域后，在注射室外窗口接受药物注射，至 SPECT 候诊室等候，待语音通知后，进入 SPECT/CT 扫描室进行扫描。扫描结束后，在留观室进行留观，待影像确认且受检者无不良反应后，经语音提示，离开 SPECT 诊断区域。

#### ③PET 诊断区受检者进、出路径

PET 受检者，从核医学科入口进入候诊大厅，待接到语音通知后，至接诊台预

埋留置针，埋好后由公共通道进入诊断区域，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 PET 候诊室等候，待语音通知后，进入 PET/CT 扫描室进行扫描。扫描结束后，在留观室进行留观，待影像确认且受检者无不良反应后，经语音提示，离开 PET 诊断区域。

#### ④甲吸检查患者进、出路径

需接受甲吸检查的患者，从核医学科入口进入候诊大厅，待预约登记后，经公共通道进入甲吸室内服药、等候、进行甲吸检查。甲吸检查结束后，经南侧安全出口离开核医学科。

#### ⑤放射性药物运输路径

SPECT 诊断所需使用的放射性药物，SPECT 区域的药物  $^{99m}\text{Tc}$  拟由医院在分装室通风柜内进行淋洗。 $^{99m}\text{Tc}$  药物由医生在分装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注射室。

PET 诊断所需药物  $^{18}\text{F}$ （显像）由储源室传药窗口送入储源室，再转到分装室通风橱的铅罐内暂存，由于  $^{18}\text{F}$  的半衰期极短（109.8min），每天送药次数为 2 次。每次使用时，护士在通风橱内对厂家药物进行活度测定，测量后根据受检者所需核素的量在分装室通风橱内进行分装取药。

甲吸收区的药物  $^{131}\text{I}$  拟外购，外购药物分装好后由厂家运输医护人员按照医院当天预约使用需求，由储源室传药窗口送入储源室储源柜储存，使用时由医护人员转入甲吸检查区使用，甲吸收区用  $^{131}\text{I}$  已由厂家分装好，无需二次分装。

#### ⑥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，定期统一转运至放射性废物储存间进行暂存，经监测达到解控标准后，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。

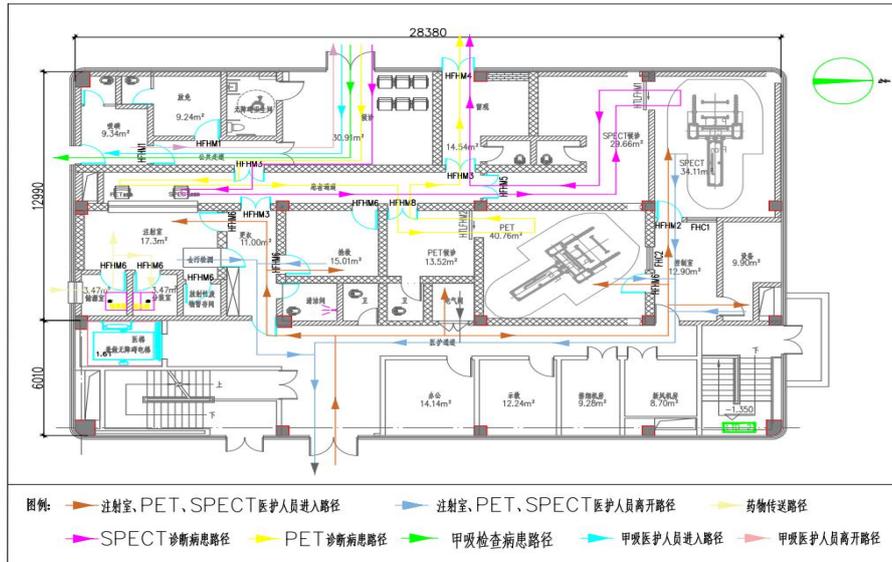


图 9-10 核医学科医患分流示意图

## 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  $^{192}\text{Ir}$  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 $\gamma$ 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，D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9-3。

表 9-3 各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

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	利用钼铈发生器淋洗制备 99mTc+标记+测活	3分钟/天	2人轮岗
	分装	99mTc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

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	2人轮岗
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
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

## (2) 核医学科最大日操作量

核素诊断场所所有核素使用情况详见表 9-4。

表 9-4 诊断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	<sup>18</sup> F	370	15	5.55E+09	250	3750	1.39E+12
2	<sup>18</sup> F(备)	/	/	1.11E+10	/	/	2.78E+12
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	<sup>99</sup> Mo	/	/	2.59E+10	250	/	6.48E+12
6	<sup>99m</sup> Tc	800	30	2.44E+10	250	7500	6.11E+12
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	<sup>131</sup> I	0.37	5	1.85E+06	250	1250	4.62E+08

## (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 9-5。

表 9-5 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
<sup>99</sup> Mo	液态	66h	中毒	β-	β1.23	制备 <sup>99m</sup> Tc
<sup>99m</sup> Tc	液态	6.02d	低毒	IT	γ0.140	使用
PET 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
18F	液态	109.8min	低毒	EC (3.27) β+ (96.73)	γ0.511	生产/使用
甲吸检查						
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
<sup>131</sup> I	液态	8.02d	中毒	β-	γ0.364	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。

#### (5) 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 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；本项目在核医学科设置了专用排风管道，产生的废气经专用管道引

至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。

### (6) 非放射性污染物

本项目废气为电离辐射产生的 O<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub> 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 9-6 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	D楼负一层直线加速器机房	X 射线、电子束、臭氧、加速器废靶件
	后装机	D楼负一层放疗科后装机机房	γ射线、臭氧、退役放射源
核医学科	核医学科	SPECT诊断 D楼一层核医学科 SPECT诊断区、注射室、留观室、储源室、抢救室、患者通道、放射性废物暂存间	X 射线、β表面污染、γ射线、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物、使用钼铯发生器
		PET诊断 D楼一层核医学科 PET诊断区、注射室、留观室、储源室、抢救室、患者通道、放射性废物暂存间	X 射线、β表面污染、γ射线、放射性废气、放射性废水、放射性固体废物、退役放射源
	甲吸检查	D楼一层核医学科甲吸室	γ射线、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

#### 1、放疗科工作场所布局

后装机、医用直线加速器位于医院 D 楼负一层，后装机机房、直线加速器 2 机房、直线加速器 1 机房由北向南线性排列，机房西面和北面为地下土体，南面为衰变池机房、公共通道（污水提升间、电气间、医生办公室位于通道南侧），机房东侧为水冷机房、准备室、护士站、候诊大厅等，正上方为一层核医学科进出口大门。

**符合性分析：**①本项目所使用的后装机、医用直线加速器均位于医院 D 楼负一层，属于 D 楼的底层；②直线加速器机房、后装机房均设有迷道，机房与迷道设置为控制区，其他需经常检查其职业照射条件的区域设置为监督区；③机房和控制室分开设置。

综上所述，放疗科工作场所布局满足《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）中 6.1 款相关要求。

#### 2、核医学科工作场所布局

核医学科工作场所位于医院 D 楼一层，从北到南依次为 SPECT 机房、设备间、控制室、SPECT 候诊室、PET 机房、PET 候诊室、候诊大厅、抢救室、更衣室、放免室、甲吸室、注射室、放射性废物暂存间、分装室、储源室。核医学科工作场所西侧为进出口大门和东侧为医护人员进出门，正上方为可上人屋面。

**符合性分析：**①医院核医学科不与产科、儿科、食堂等部门相邻，且在医院 D 楼一层独立布置，采用单独的出入口，出口避开了门诊大厅、收费处等人群稠密区域；②在核医学科控制区的入口和出口设置了门锁权限控制和单向门等安全措施，限制了受检者的随意流动，保证工作人员内工作人员和公众免受不必要的照射；③在注射操作间出口处设置了卫生通过间，可以进行污染检测；④本项目核医学科属于诊断工作场所，设置了更衣室、卫生间、卫生通过间等；⑤对核医学科进行了人流、物流路径规划，注射药物后的受检者与注射放射性药物前的受检者不交叉，注射药物后的受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，合理设置了放射性物质的运输通道。

综上所述，核医学科工作场所布局满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中 5.1 款相关要求。

## 二、辐射工作场所两区划分

### 1、分区原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范和管理工作，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。

### 2、控制区与监督区的划分

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。

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（含迷道）、直线加速器机房 2（含迷道）	控制室 1、控制室 2、水冷机房 1、水冷机房 2、直加准备室
	后装机	后装机机房（含迷道）	控制室 3、后装机准备室、后装机入口通道
核 医 学 科 诊 断 区	SPECT和PET 诊断区	储源室、分装室、注射室、抢救室、留观室、放射性废物暂存间、PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、PET 候诊室、SPECT 候诊室、患者通道、衰变池等	更衣室、清洁间、SPECT 控制室、PET 控制室、设备间、医生通道、医生办公室、示教室、新风机房、排烟机房等
	甲吸检查区、放免分析区	甲吸室、放免分析室	公共通道、候诊大厅

### 3、控制区防护手段与安全措施

①控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志，见图 10-1；

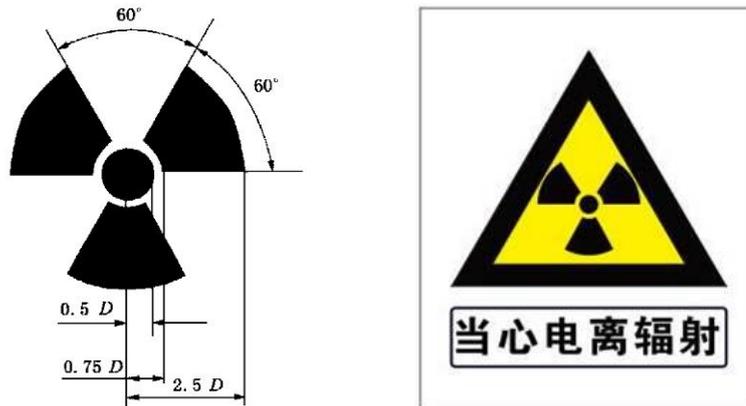


图 10-1 电离辐射标志和电离辐射警告标志

②制定职业防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门禁）限制进出控制区；

④在卫生通过区域配备个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜等；

⑤定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施。

#### 4、监督区防护手段与安全措施

①以黄线警示监督区为边界；

②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

③定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

医院应在控制区进出口处应设立醒目的警告标志，制定适用于控制区的职业防护与安全管理措施，运用行政管理程序和实体屏障限制进出控制区；监督区进出口处应设立表明监督区的标牌，以黄线警示监督区的边界。医院需重视控制区和监督区的管理，进行分区管理。

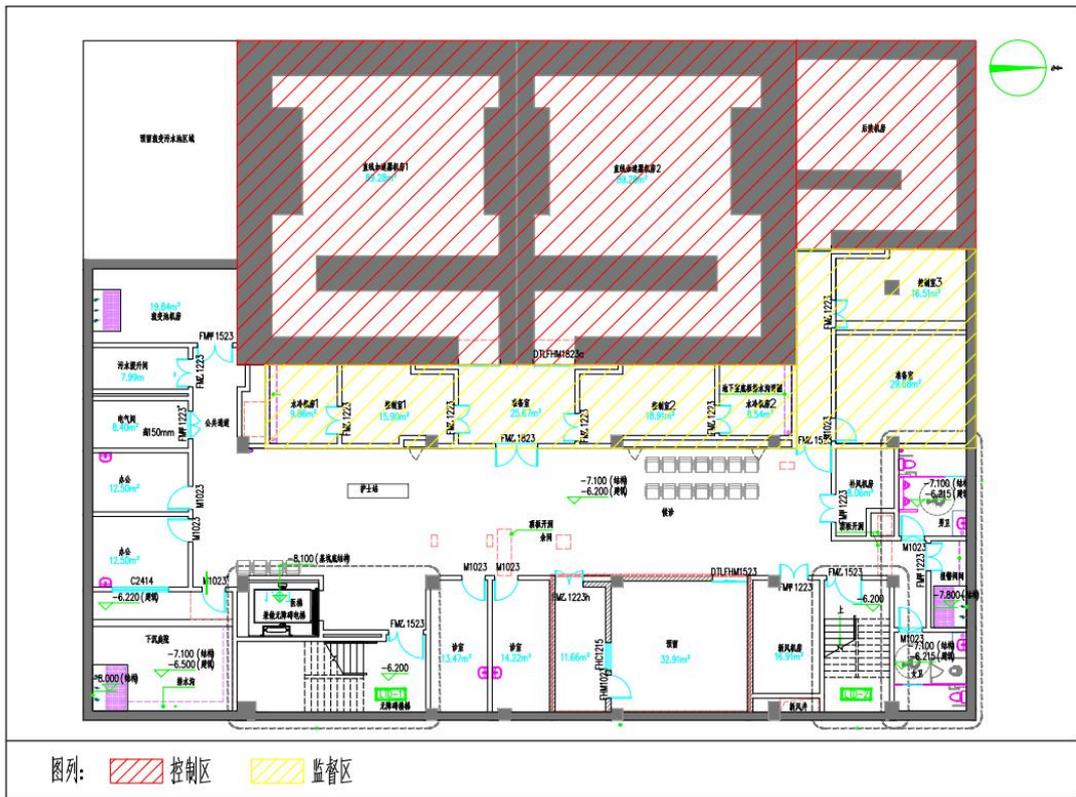


图 10-2 放疗科控制区、监督区划分示意图

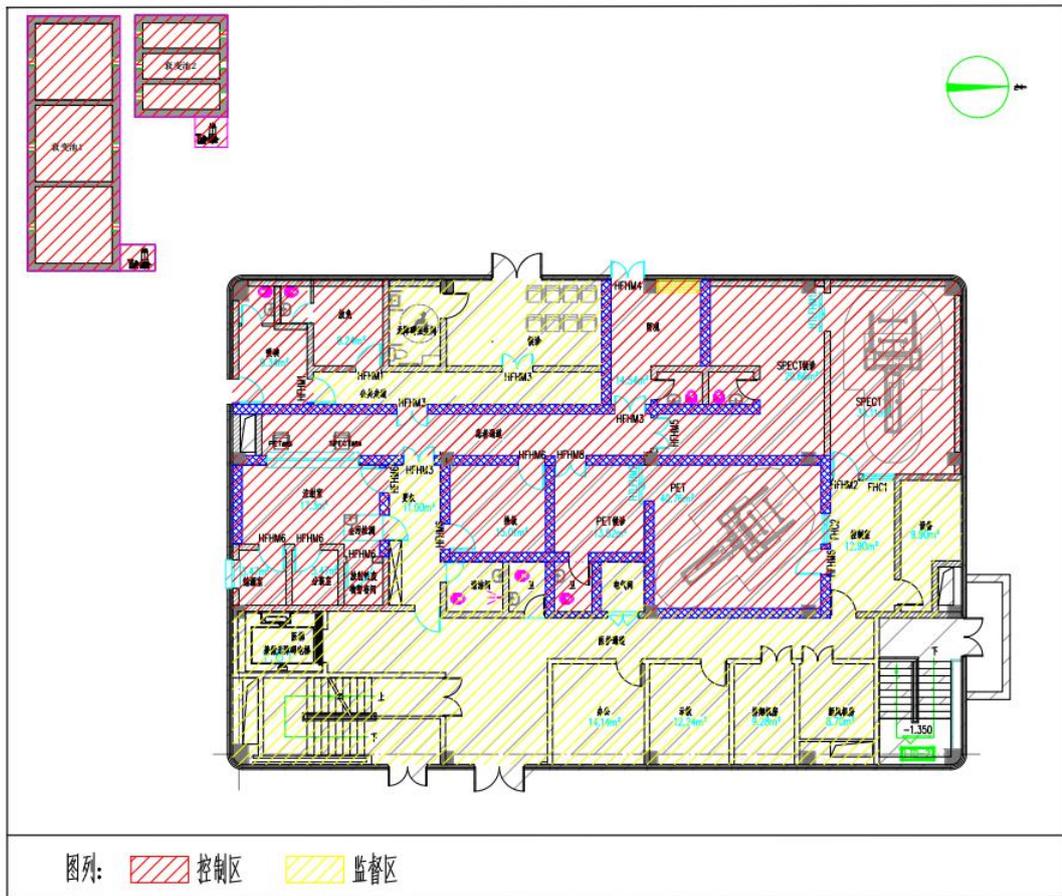


图 10-3 核医学科控制区、监督区划分示意图

## 二、辐射防护设施及措施

本项目直线加速器、SPECT/CT、PET/CT 主要辐射为 X 射线，后装机主要辐射影响为 $\gamma$ 射线。对 X、 $\gamma$ 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；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、衰变后再进行处理。

### (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	89.28m <sup>2</sup>	四面墙体、迷道和屋顶均为钢筋混凝土结构，主射方向朝向东侧、西侧、地面和屋顶。其中，东侧、西侧主屏蔽区厚 2700mm(宽 4600m)，相连次屏蔽区厚 1500mm；屋顶主屏蔽区厚 2700mm(宽 4600mm)，相连次屏蔽区厚 1500mm；西侧墙体厚 1500mm；南侧迷道内墙厚 1500mm，南侧迷道外墙厚 1200mm；迷道防护门为 15mm 铅当量电动钢板夹芯防护门。
《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)	≥45m <sup>2</sup>	/

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<sup>-3</sup>。

##### (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：

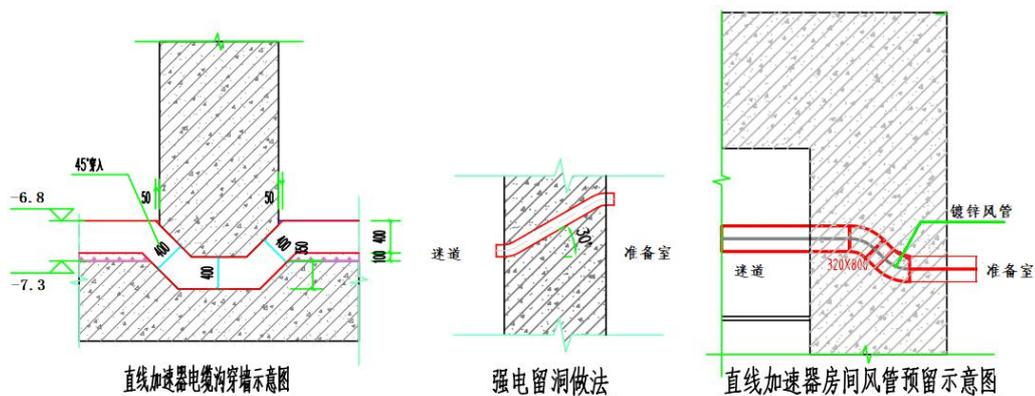


图10-1 直线加速器机房管线穿墙做法示意图

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（P<sub>95</sub>），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<sup>-2</sup>）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/cm<sup>2</sup>，可以估算出 15MeV 的电子在密度为 2.35g·cm<sup>-3</sup> 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 120cm 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，设计通风量均为 2050m<sup>3</sup>/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东南侧一起进入排风井，然后经通风井最终引至 D 楼楼顶通过离地高度 15m 的排气筒进行排放。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	四面墙体、迷道和顶部均为钢筋混凝土结构。后装机房北侧、西侧、东侧墙体均为 800mm 厚混凝土，南侧墙体为 1500mm 厚混凝土（与直线加速器机房 2 东侧主屏蔽墙共用，其中主屏蔽区域厚 2700mm），东侧迷道内墙和外墙均为 800mm 厚混凝土，屋顶为 1400mm 厚混凝土，迷道防护门为 10mm 铅当量电动钢板夹芯防护门。

注：现浇钢筋混凝土密度为 2.35g/cm<sup>3</sup>。

### (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：

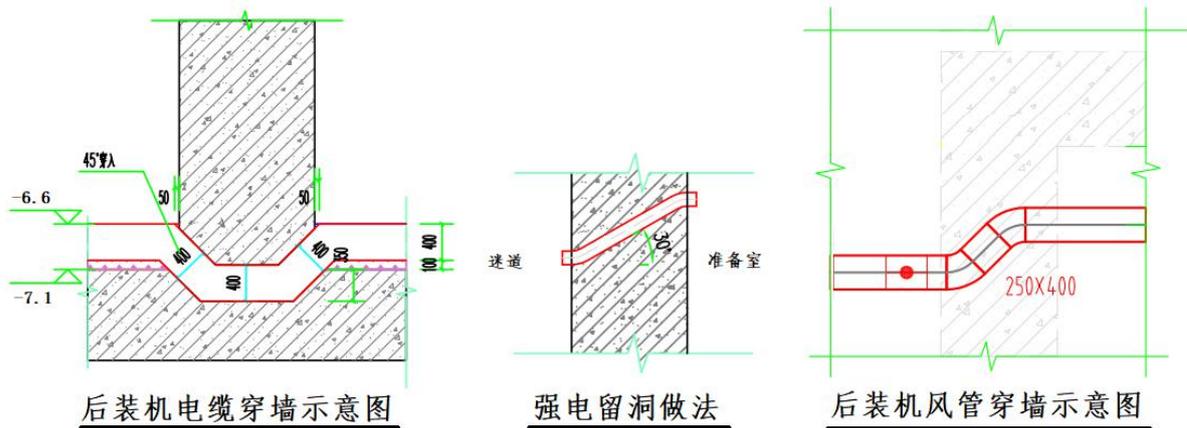


图10-2 后装机机房管线穿墙做法示意图

### (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 860m<sup>3</sup>/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南侧一起进入排风井，然后经通风井最终引至 D 楼楼顶通过离地高度 15m 的排气筒进行排放。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。

## (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 10-4。

表 10-4 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
SPECT-CT 机房、SPECT 候诊室、SPECT 留观室	1.63E+03	II类
PET/CT 机房、PET 候诊室	5.55E+02	II类
留观室	2.19E+03	II类
放射性废物暂存间	2.20E+03	II类
储源室	1.67E+04	II类
分装室	3.87E+04	II类
注射室	2.19E+04	II类
患者走廊	2.19E+03	II类
甲吸检查区	1.85E+02	II类
放免分析区	4.00E+00	III类

表 10-5 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 <sup>a</sup>	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备	洗手盆 <sup>b</sup> 和去污设备	洗手盆

备注：<sup>a</sup>下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测；<sup>b</sup>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 10-5 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。

表10-6 核医学科SPECT诊断区屏蔽设计

	位置	屏蔽体材料及厚度
储源室	东侧、南侧、西侧、北侧墙体	240mm 实心砖墙
	南侧传药窗	15mm 铅当量防护窗
	防护门	15mmPb 铅防护门
	楼顶板	300mm 混凝土
	楼底板	300mm 混凝土
通风橱	观察窗	50mmPb 玻璃
	四周屏蔽	50mmPb 铅版
分装室	东侧、南侧、西侧、北侧墙体	240mm 实心砖墙
	防护门	15mmPb 铅防护门
	楼顶板	300mm 混凝土
	楼底板	300mm 混凝土
注射室	注射位屏蔽窗	50mmPb 玻璃
	北侧墙体、南侧墙体	370mm 实心砖墙
	北侧进出口防护门	20mmPb 铅防护门
	东侧储源室、分装室墙体	240mm 实心砖墙
	东侧储源室、分装室防护门	15mmPb 铅防护门
	楼顶板	300mm 混凝土
	楼底板	300mm 混凝土
SPECT候诊室	北侧、西侧墙体	240mm 实心砖墙
	南侧、东侧墙体（PET 机房西墙）	370mm 实心砖墙
	南侧防护门	20mmPb 铅防护门
	楼顶板	300mm 混凝土
	楼底板	300mm 混凝土
PET候诊室	东侧、南侧、西侧、北侧墙体	370mm 实心砖墙
	西侧防护门	20mmPb 铅防护门
	楼顶板	300mm 混凝土
	楼底板	300mm 混凝土
抢救室	东侧、南侧、西侧、北侧墙体	370mm 实心砖墙
	西侧防护门	20mmPb 铅防护门
	南侧防护门	20mmPb 铅防护门
	楼顶板	300mm 混凝土
	楼底板	300mm 混凝土
SPECT/CT机房	东侧、南侧、西侧、北侧墙体	240mm 实心砖墙

	南侧防护门	3mmPb 铅防护门
	东侧控制室防护门	3mmPb 铅防护门
	东侧控制室观察窗	3mmPb 铅防护窗户
	楼顶板	300mm 混凝土
	楼底板	300mm 混凝土
PET/CT机房	东侧、南侧、西侧、北侧墙体	370mm 实心砖墙
	南侧防护门	20mmPb 铅防护门
	北侧控制室防护门	20mmPb 铅防护门
	北侧控制室观察窗	20mmPb 铅防护门
	楼顶板	300mm 混凝土
	楼底板	300mm 混凝土
留观室	西侧墙体	480mm 实心砖墙
	东侧、南侧、北侧墙体	370mm 实心砖墙
	西侧防护门	30mmPb 铅防护门
	东侧防护门	20mmPb 铅防护门
	楼顶板	300mm 混凝土
	楼底板	300mm 混凝土
患者通道	西侧防护门	20mmPb 铅防护门
	东侧防护门	20mmPb 铅防护门
	北侧墙体	370mm 实心砖墙
	楼顶板	300mm 混凝土
	楼底板	300mm 混凝土
<b>甲吸检查区</b>		
甲吸室	东侧墙体	370mm 实心砖墙
	南侧、西侧、北侧墙体	240mm 实心砖墙
	南侧防护门	2mmPb 防护门
	北侧防护门	2mmPb 防护门
	楼顶板	300mm 混凝土
	楼底板	300mm 混凝土

表10-7 核医学科其他功能区域防护屏蔽设计

功能区域	屏蔽体	屏蔽材料及厚度
放免实验室	四面墙体	240mm 实心砖
	普通门	普通门
	地面	300mm 混凝土
	楼顶	300mm 混凝土

#### (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视频监控系统、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：

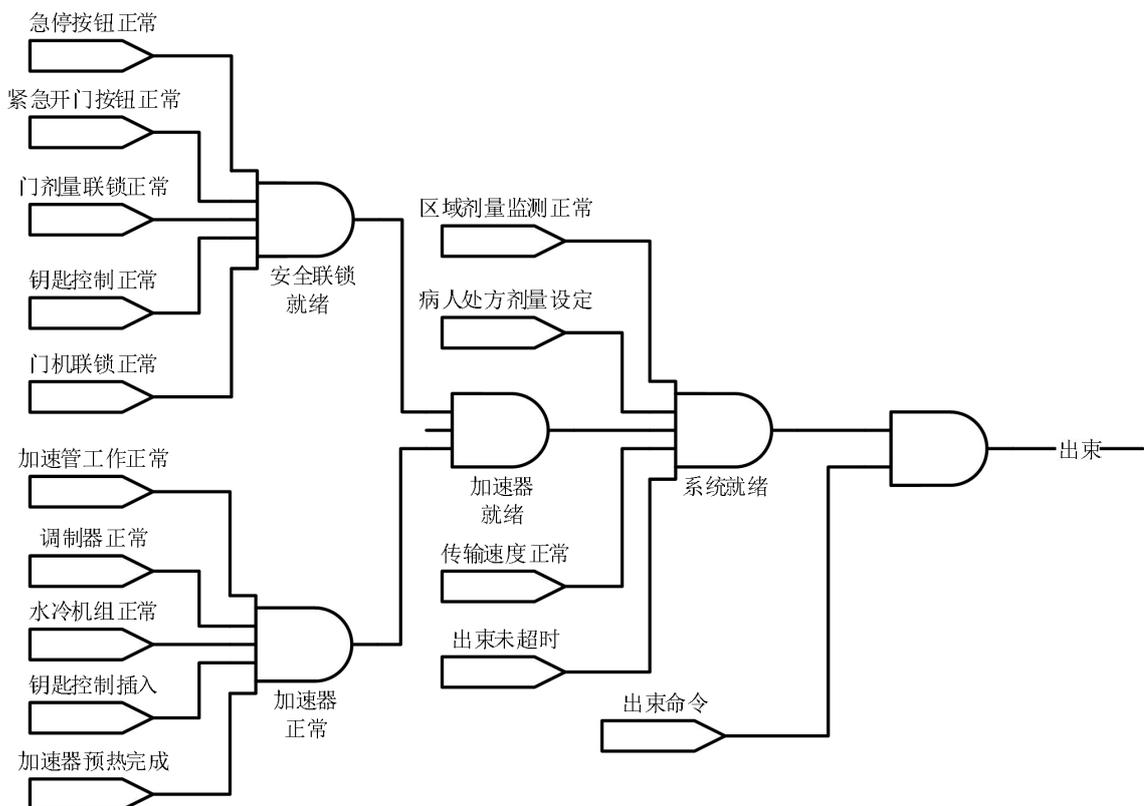


图 10-3 直线加速器工作场所安全联锁系统逻辑示意图

### 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 D 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在负一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；

⑪紧急开门按钮：建设单位拟在后装机机房内安装紧急开门按钮，人员在机房内可以通过按动紧急开门按钮打开后装机机房防护门。

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：

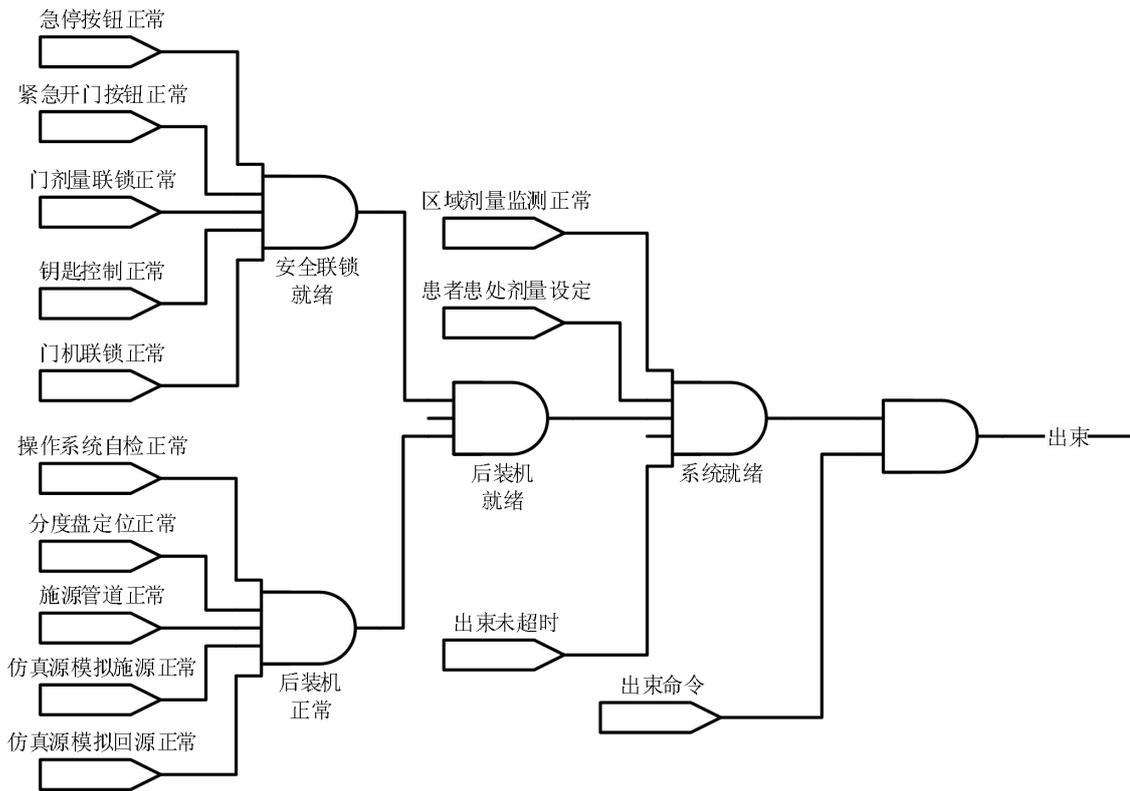


图 10-4 后装机安全联锁系统逻辑示意图

## 2) 后装机固有安全措施

本项目铱-192 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) 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/CT 能立即停止运行。

③**操作警示装置：**PET/CT 和 SPECT/CT 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。

⑦放射性废水管道：放射性废水排水管拟采用柔性接口含铅铸铁管，具有内壁光滑、少弯曲、扭拐等特点。放射性废水排水管(包括重力排水管及压力排水管)均水平横向敷设在垫层内或专用防辐射吊顶内。医院拟在放射性废水管道裸露部分外增加 3mmPb 铅皮包裹。

⑧放射性废气排风系统：核医学科内拟设 3 套独立的专用排风系统，共 3 个排气筒，均在 D 楼楼顶通过离地高度 15m 的排气筒排放，其中核医学科通风橱（分装柜等密闭设备）单独设置 1 套排风系统，最小排风量为 1500m<sup>3</sup>/h，废气经活性炭吸附+高效过滤装置过滤后经排气筒 1#（离地高度 15m）在 D 楼楼顶排放；分装室、注射室、储源室、放射性废物暂存间共用 1 套排放系统，最小排风量 800m<sup>3</sup>/h，废气经活性炭吸附+高效过滤装置过滤后经排气筒 2#（离地高度 15m）在 D 楼楼顶排放；核医学科的其他区域共用 1 套排气系统，最小排风量为 3000m<sup>3</sup>/h，废气经活性炭吸附+高效过滤装置过滤后经排气筒 3#（离地高度 15m）在 D 楼楼顶排放。

合理性分析：本项目通风橱（手套箱、分装柜等密闭设备）单独设置排风系统，本项目核医学科 3 个排风口均朝向北侧，远离东侧肿瘤专科 A 楼和西侧人员进出口，满足 HJ1188-2021 中规定的“碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑”、“手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置”。因此，核医学科排风管道设置合理。

## 2) 放射性药物的存放措施

### ①钼铯发生器的储存

本项目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 0.005mSv/h<H≤0.5mSv/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

SPECT 诊断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，使用的  $^{131}\text{I}$  药品由供应单位派专人送至分装室自动分装仪内；核医学科 PET 诊断使用的  $^{18}\text{F}$  由供应单位派专人送至储源室自动分装仪内，备用的  $^{18}\text{F}$  送入储源室储源铅柜内储存，待使用时由专人送至分装室自动分装仪内。甲吸检查所用核素  $^{131}\text{I}$  由放射性药物供应单位将分装好的药物直接送至储源室铅柜内；PET 检查项目校准源放置在储源室的铅柜内。

注射室、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，PET 候诊室、SPECT 候诊室、留观室均设有专用卫生间，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 候诊室内等待扫描；

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、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) 核医学科拟配防护用品

表 10-15 核医学科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	储源室	1 个	10mmPb
2	通风橱	分装室	1 个	50mmPb
3	注射铅窗	注射室	1 个	50mmPb
4	注射器防护套 (SPECT 注射)	注射室	若干	5mmPb
5	注射器防护提盒 (SPECT 诊断)	分装室	1 个	5mmPb
6	注射器防护套 (PET 注射)	注射室	若干	10mmPb
7	注射器防护提盒 (PET 诊断)	分装室	1 个	10mmPb
8	放射性废物暂存桶	分装室、注射室	2 个	20mmPb
		甲吸室、放免分析室	2 个	2mmPb
9	放射性废物衰变桶	放射性废物暂存间	2 个	10mmPb
10	铅防护屏风	PET/CT 机房、PET 候诊室、留观室	各 1 扇	10mmPb
		SPECT 候诊室、SPECT/CT 机房	各 1 扇	2mmPb
11	去污工具组	清洁间	1 套	/
12	一次性工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	更衣室	若干	/
13	铅防护服、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	更衣室	8 套	0.5mmPb
		甲吸室	1 套	0.5mmPb
14	表面污染监测仪	留观室出口	1 台	/
15	便携式 X-γ辐射监测仪	医学装备部	1 台	共用
16	个人剂量报警仪	SPECT 诊断和 PET 诊断的注射、摆位工作人员随身佩戴	8 台	/
17	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 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门灯联锁：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联锁等安全设施；

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 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
		后装机	8	医师 4 人、技师 2 人、物理师 1 人、护士 1 人
核医学科	核医学科	PET 诊断	7	医师 1 人、技师 2 人、护士 4 人
		SPECT 诊断	7	医师 1 人、技师 2 人、护士 4 人
		甲吸检查	2	医师 1 人、护士 1 人

**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
<b>10MV 医用电子直线加速器</b>			
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	/
<b>后装机</b>			
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	/
<b>核医学科</b>			
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	/
	独立的排风设施（流向）	拟设计	/
	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	拟设计	/
	移动放射性液体时容器不易破裂或有不易破裂套	拟设计	/
	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
	门灯联锁装置	拟配置	
	室内安装紧急止动装置	拟设置	
监测设备	对讲装置	拟配置	
	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	/
放射性废物和废液	放射性活度计	计划配备	/
	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	/
防护器材	废物暂存间通风系统	拟设计	/
	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 80000 万元，环保投资 118.56 万元，占总投资的 0.15%。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）
<b>10MV 直线加速器（2 台）</b>			
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、控制超剂量的连锁装置、时间控制连锁	设备自带	/
	门机连锁、门灯连锁	2 套	2.0
警示装置	入口电离辐射警示标志	2 个	0.1
	入口加速器工作状态显示	2 个	0.1
	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	0.1
	视频监控系统	2 套	2.0
	对讲装置	2 套	1.0
	紧急停机按钮	2 套（6 个）	0.6
监测设备	机房内固定式剂量报警仪	2 台	2.0
	便携式辐射监测仪	1 台	1.5
	个人剂量计	1 人/套	0.5
其他	通排风系统	2 套	2.0
<b>后装机</b>			
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	/
	门与源连锁	1 套	0.5
	门灯连锁	1 套	0.2

紧急设施	放射源返回储源器的应急开关	1套	1.2
	紧急开门按钮	1套	1
	备用应急贮源罐	1套	0.5
警示装置	停电或意外中断照射时声光报警	1套	4.0
	视频监控对讲装置	1套	2.0
	工作状态指示灯	1套	0.1
	电离辐射警示标识	1套	1.2
监测设备	便携式辐射监测仪	1套	共用
	固定式剂量监测仪	1套	2
	放射源在线监控系统	1套	1.5
防护用品	个人剂量报警仪	2台	1.0
	个人剂量计	1人/套	2.3
	铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾（0.5mm铅当量）等	2套	1.0
其他	通风系统	1套	1.0
<b>核医学科</b>			
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	12
	通风厨	2个	15
	注射器防护提盒（5mmPb）	1个	0.5
	注射器防护提盒（10mmPb）	1个	1.0
	注射防护套（5mmPb）	若干	0.5
	注射防护套（10mmPb）	若干	1.0
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料	1套	5.0
	储源室防盗铅门	1扇	1.5
	不锈钢转运推车	1台	0.5
	铅屏风（10mmPb）	3扇	3.0
	铅屏风（2mmPb）	2扇	1.0
	工作状态指示灯	2套	0.26
	门灯联锁装置	2套	0.25
	室内安装紧急制动装置	2套	0.6
警示标识	对讲装置	4套	0.5
	电离辐射警示标识	1套	0.5
	监督区、控制区标识	若干	0.1
安全设施	患者就诊路径标识	若干	0.1
	患者通道门禁系统	1套	0.5
	视屏监控系统	1套	4.0
监测设备	语音广播系统	1套	0.5
	储源室固定式剂量报警仪	1台	2.0
	放射性活度计	2台	2.0
	表面污染监测仪	1套	1.5
	便携式X-γ辐射监测仪	1套	共用

个人防护用品	个人剂量报警仪	12 台	5.0
	个人剂量计	1 人/套	1.85
	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜 (0.5mmPb)	9 套	6.5
放射性废物和废液	放射性废水衰变池	1 座	10
	放射性固体废物暂存间	1 间	计入大楼主体建设
	放射性废物铅桶	4 个	4
	独立下水系统及排水管道屏蔽设施	1 套	计入大楼主体建设
其他	放射性表面去污用品和试剂	若干	1.0
	通风橱、分装柜等独立排风系统	1 套	1.0
	储源、分装、注射室高活区域排风系统	1 套	1.0
	其他区域排风系统	1 套	1.0
	排风过滤器+活性炭吸附装置	3 套	2.0
合计			118.56

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“西充县城南医疗康养中心(县人民医院城南院区)项目”建设内容之一,其施工期环境影响包含在《西充县城南医疗康养中心(县人民医院城南院区)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。

#### 5、设备安装调试期间的污染分析

本项目医用电子直线加速器、后装机装置的安装调试阶段，会产生X、 $\gamma$ 射线，造成一定的辐射影响。设备安装完成后，会有少量的废包装材料产生。

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

**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D楼负一层设放疗科；一层设核医学科。

在放疗科内新建2间直线加速器机房、1间后装机机房，分别在直线加速器机房内各使用1台10MV直线加速器；在后装机机房内使用1台后装机，在后装机内使用 $^{192}\text{Ir}$ 放射源1枚，总装源活度为 $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ （属III类放射源）。

在核医学科内设SPECT诊断区、PET诊断区、甲吸检查区、放免分析性等，在SPECT诊断区内使用钼铯发生器制备的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 核素和1台SPECT/CT机，在PET诊断区内使用 $^{18}\text{F}$ 一种核素和1台PET/CT机，在甲吸室开展甲吸检查项目。

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 $\gamma$ 射线、臭氧等；核医学科主要环境影响为 $\gamma$ 射线、 $\beta$ 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

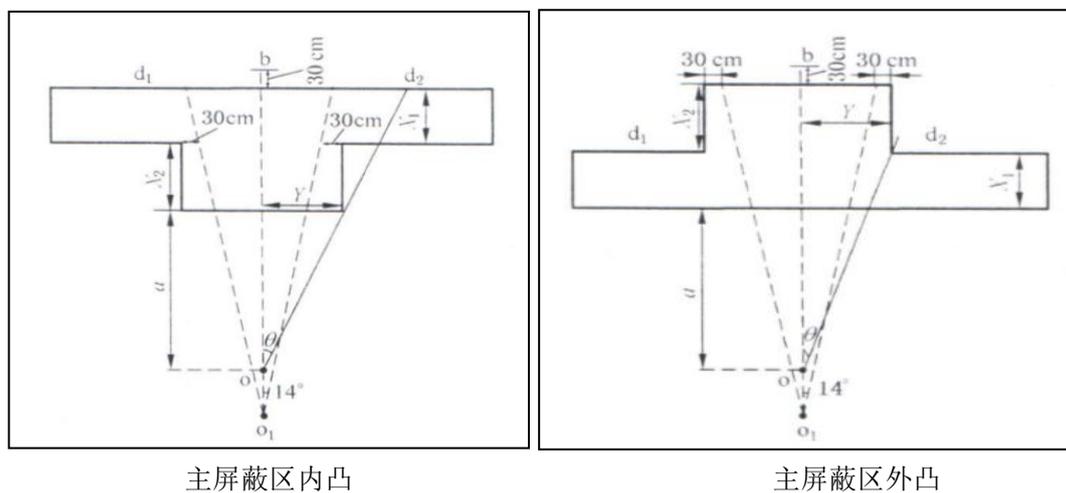
##### （1）电子束环境影响分析

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（P<sub>95</sub>），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<sup>-2</sup>）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/cm<sup>2</sup>，可以估算出 15MeV 的电子在密度为 2.35g·cm<sup>-3</sup> 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 130cm 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：



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

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

图11-1 主屏蔽计算图

本项目直线加速器机房设计中，南侧的主屏蔽墙体为内凸，北侧和顶部主屏蔽内外均有凸起，本次保守按照外凸进行预测。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11-2、11-3。

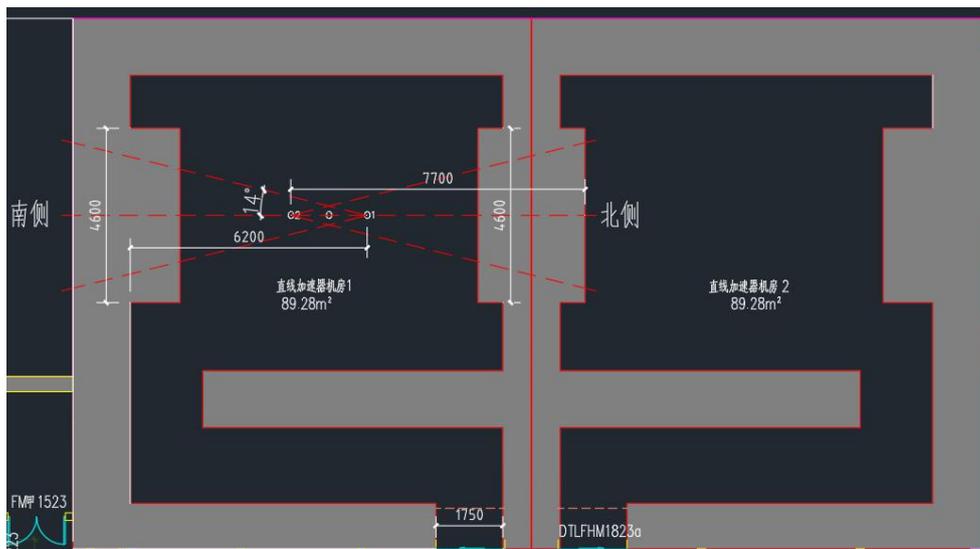


图 11-2 本项目加速器机房主射屏蔽范围计算示意图（平面）

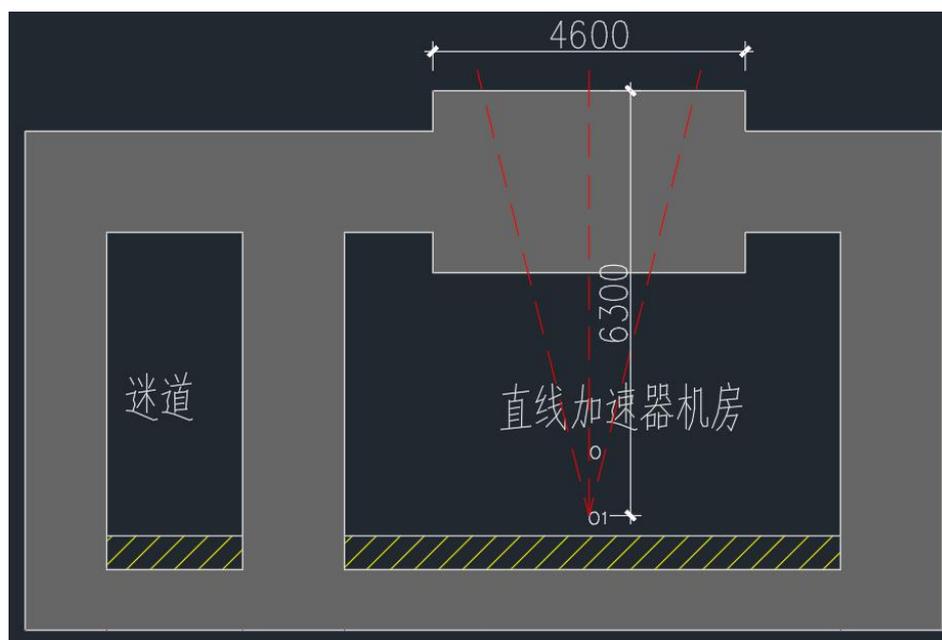


图 11-3 本项目加速器机房主射屏蔽范围计算示意图（立面）

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

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
北侧屏蔽墙体	$2 \times (7.7 \operatorname{tg} 14^\circ + 0.3) = 4.44$	4.6	满足要求
南侧屏蔽墙体	$2 \times (6.2 \operatorname{tg} 14^\circ + 0.3) = 3.69$	4.6	满足要求
屋顶	$2 \times (6.3 \operatorname{tg} 14^\circ + 0.3) = 3.74$	4.6	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

本项目直线加速器机房 1 和直线加速器机房 2 尺寸、屏蔽体形式完全一样，但因机房外关注点受辐射影响类型和居留因子不同，因此分别对直线加速器机房 1 和直线加速器机房 2 预测。

### 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 1 建在负一层，无地下负二层，故机房地下不作为关注点。

本项目加速器机房 1 关注点设立及主要照射路径图见图 11-4、11-5。

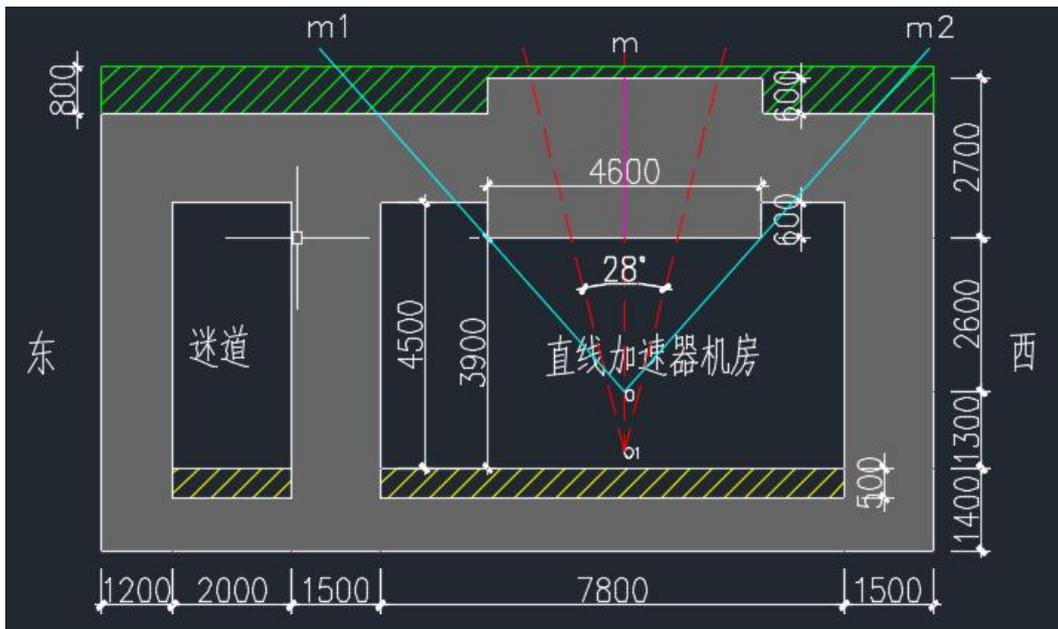
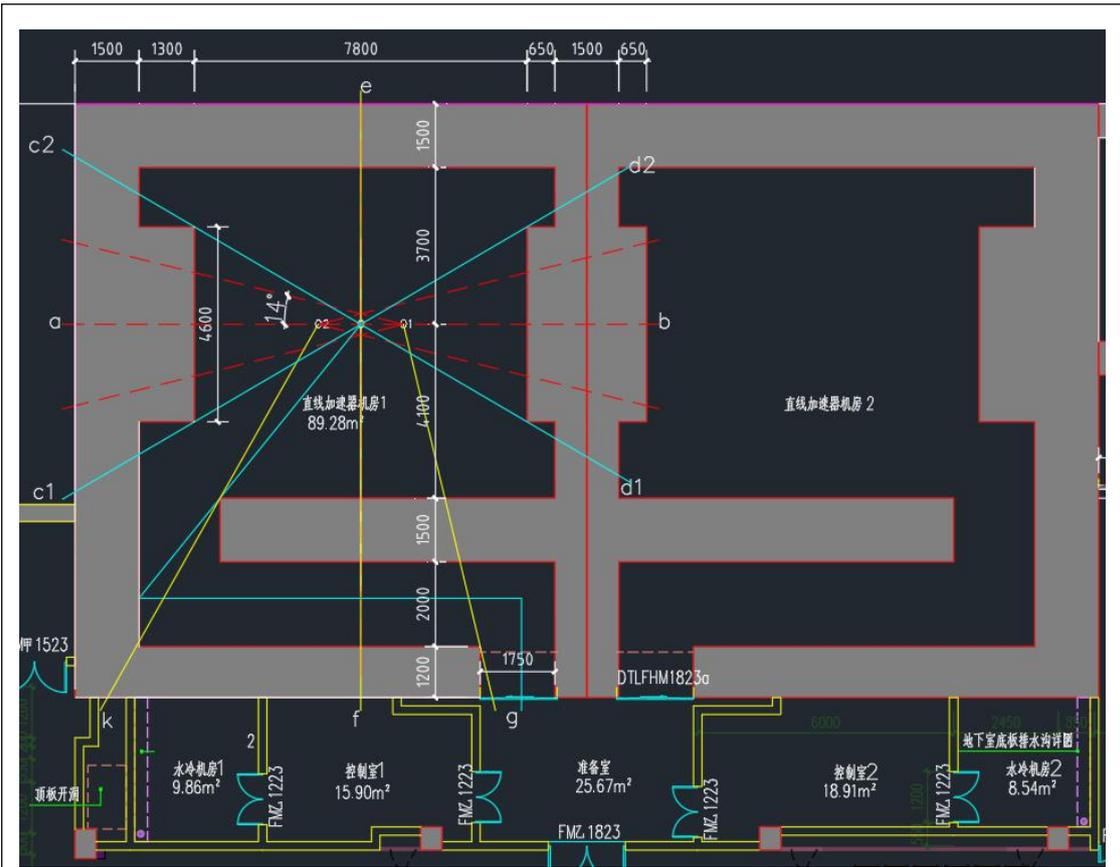


图 11-4 本项目加速器机房 1 关注点及主要照射路径示意图 (立面)



有用线束照射方向      散射辐射照射方向      泄漏辐射照射方向

图 11-5 直线加速器 1 关注点及主要照射路径示意图（平面）

本项目加速器机房 2 关注点设立及主要照射路径图见图 11-6、11-7。

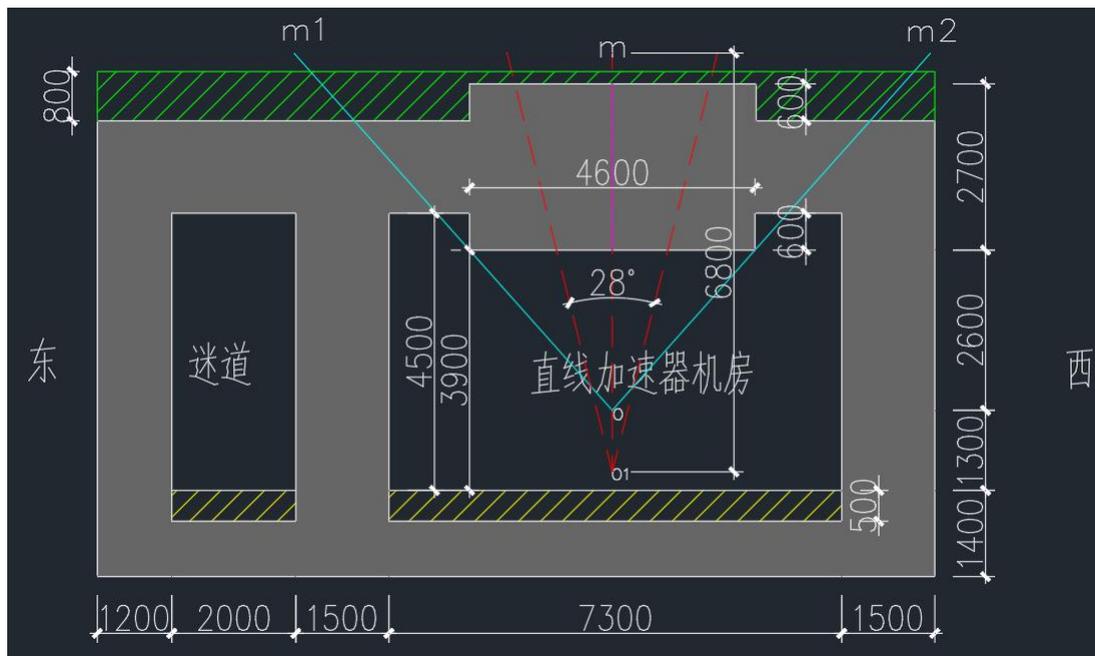
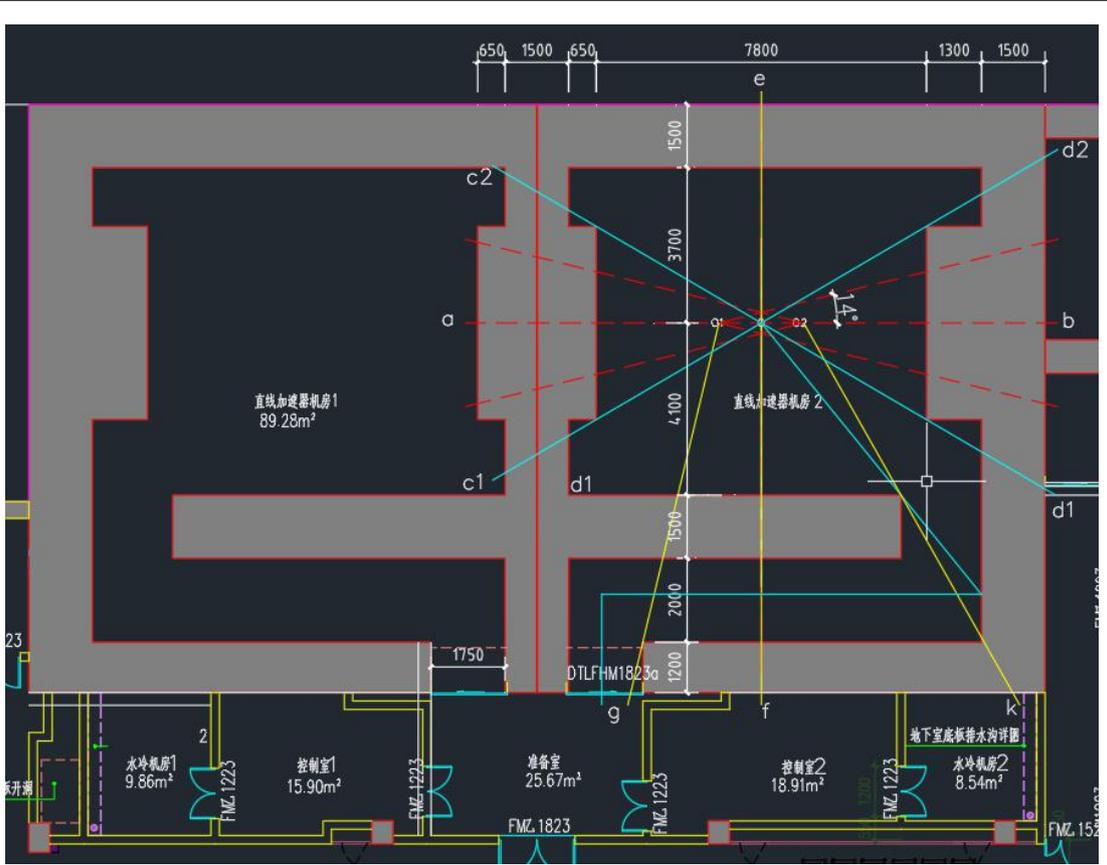


图 11-6 本项目加速器机房 2 关注点及主要照射路径示意图（立面）



有用线束照射方向      散射辐射照射方向      泄漏辐射照射方向

图 11-7 直线加速器 2 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

参考 GBZ/T201.2-2011，治疗室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使用放射治疗年工作负荷、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  $H_{c,d}$ ；

$$\text{对于主射线束: } H_{c,d} = \frac{H_c}{t \times U \times T} \quad (\text{式11-1})$$

$$\text{对于漏射射线: } H_{c,d} = \frac{H_a}{t \times N \times T} \quad (\text{式11-2})$$

式中：

$H_{c,d}$ —导出剂量率参考控制水平；

$H_c$ —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： $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ ；

$U$ —主射线束向关注位置的方向照射的使用因子；根据医院计划的治疗

情况，射线投向地面、南、北墙体和屋顶的比例均约占 25%；

T—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 1/16；

N—调强放射治疗因子，取 5；

t—一年治疗照射时间，根据医院提供资料，直线加速器预计放射治疗工作量为 40 人·次/天，每周工作 5 天，年平均工作 50 周，每次照射时间 1.5min（不含摆位时间），直线加速器年照射时间 250h，则周治疗时间为 5h。

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（ $H_c$ ）。

由此确定的直线加速器 1 机房各关注点的剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束见表 11-2。

表 11-2 加速器机房 1 外各关注点剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束

关注点位	居留因子	类型	屏蔽区	剂量率参考控制水平 ( $H_c$ ) $\mu\text{Sv/h}$			主要考虑的辐射束
				$H_{c,d}$	$H_{c,max}$	$H_c$	
a (衰变池区域)	1/16	公众	有用线束主屏蔽墙	64	10	10	有用线束
c1 (衰变池区域)	1/16	公众	与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区	3.2	10	1.6	漏射线束
						5	散射线束
c2 (衰变池区域)	1/16	公众	与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区	3.2	10	1.6	漏射线束
						5	散射线束
b (加速器机房2)	1/4	公众	有用线束主屏蔽墙	16	10	10	有用线束
d1 (加速器机房2)	1/4	公众	与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区	0.8	10	0.4	漏射线束
						5	散射线束
d2 (加速器机房2)	1/4	公众	与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区	0.8	10	0.4	漏射线束
						5	散射线束
e (回填土)	/	/	侧屏蔽墙	/	10	10	漏射辐射
f (控制室1)	1	职业	侧屏蔽墙	4	2.5	2.5	漏射辐射

g (防护门入口)	1/16	公众	有用线束不向迷道照射时的迷道入口	3.2	10	0.5	散射、漏射线束
k (预留排风烟道)	/	公众	侧屏蔽墙	/	10	10	漏射辐射
m (一层核医学科进出口)	1/16	公众	有用线束主屏蔽墙	64	2.5	2.5	有用线束
m1 (一层核医学科候诊室)	1/16	公众	与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区	3.2	2.5	0.4	漏射线束
						1.25	散射线束
m2 (一层核医学科进出口)	1/16	公众	与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区	3.2	2.5	0.4	漏射线束
						1.25	散射线束

注：因关注点 e 处为填土方侧，k 处为预留排风烟道，无人员通过，以  $H_{e,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$  为其剂量率参考控制水平；a、c1、c2 处为衰变池区域，考虑道衰变池检修时可能存在人员居留，因此居留因子按 1/16 考虑。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)，取  $0.5\mu\text{Sv/h}$ 。本项目机房顶立体角区域内有一层核医学科,因此最高参考剂量率按  $H_{e,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

直线加速器 2 机房各关注点的剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束见表 11-3。

表 11-3 加速器机房 2 外各关注点剂量率参考控制水平和主要考虑的辐射束

关注点位	居留因子	类型	屏蔽区	剂量率参考控制水平 ( $H_c$ ) $\mu\text{Sv/h}$			主要考虑的辐射束
				$H_{c,d}$	$H_{c,max}$	$H_c$	
a (加速器机房1)	1/4	公众	有用线束主屏蔽墙	16	10	10	有用线束
c1 (加速器机房1)	1/4	公众	与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区	0.8	10	0.4	散射、漏射线束
						5	
c2 (加速器机房1)	1/4	公众	与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区	0.8	10	0.4	散射、漏射线束
						5	
b (后装机机房)	1/4	公众	有用线束主屏蔽墙	16	10	10	有用线束
d1 (后装机机房)	1/4	公众	与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区	0.8	10	0.4	漏射线束
						5	散射线束
d2 (后装机机房防护门入口)	1/16	公众	与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区	3.2	10	0.5	漏射线束
						5	散射线束
e (回填土)	/	/	侧屏蔽墙	/	10	10	漏射辐射
f (控制室2)	1	职业	侧屏蔽墙	4	2.5	2.5	漏射辐射

g (防护门入口)	1/16	公众	有用线束不向迷道照射时的迷道入口	3.2	10	0.5	散射、漏射线束
k (水冷机房2)	1/16	公众	侧屏蔽墙	3.2	10	3.2	漏射辐射
m (一层核医学科进出口)	1/16	公众	有用线束主屏蔽墙	64	2.5	2.5	有用线束
m1 (一层核医学科候诊室)	1/16	公众	与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区	3.2	2.5	0.4	漏射线束
						1.25	散射射线束
m2 (一层核医学科进出口)	1/16	公众	与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区	3.2	2.5	0.4	漏射线束
						1.25	散射射线束

注：因关注点 e 处为填土方侧，无人员通过，以  $H_{e,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$  为其剂量率参考控制水平；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)，取  $0.5 \mu\text{Sv/h}$ 。本项目机房顶立体角区域内有一层核医学科，因此最高参考剂量率按  $H_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

### 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一层，无地下负二层，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。

$$B = \frac{H_e}{H_0} \times \frac{R^2}{f} \dots \dots \dots \text{(式 11-3)}$$

$$Xe = TVL \times \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \dots \dots \dots \text{(式 11-4)}$$

$$X_1 = Xe \cos \theta \dots \dots \dots \text{(式 11-5)}$$

式中：

B—屏蔽透射因子；

$H_e$ —剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$H_0$ —直线加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；本项目为  $3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$  (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%)

$\theta$ —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什值层厚度和平衡什值层厚度;

X<sub>e</sub>—墙体有效屏蔽厚度, cm;

X<sub>1</sub>—墙体屏蔽厚度, cm。

表 11-4 直线加速器机房 1 屏蔽区、迷道内墙和外墙厚度校核

参数	主屏蔽区			迷道内墙 (g 点)	侧屏蔽墙 体(e 点)	侧屏蔽墙 体 (f 点)	侧屏蔽墙 体 (k 点)
	a 点	b 点	m 点				
He (μSv/h)	10	10	2.5	0.5	10	2.5	3.2
R (m)	8	8	6.8	9.35	5.5	9.1	10.4
H <sub>0</sub> (μSv.m <sup>2</sup> /h)	3.6E+08	3.6E+08	3.6E+08	3.6E+08	3.6E+08	3.6E+08	3.6E+08
f	1	1	1	0.001	0.001	0.001	0.001
B	1.78E-06	1.78E-06	3.21E-07	1.21E-04	8.40E-04	5.75E-04	3.00E-03
TVL1 (cm)	41	41	41	35	35	35	35
TVL (cm)	37	37	37	31	31	31	31
X <sub>e</sub> (cm)	217	217	245	125	99	104	82
斜射角θ (°)	0	0	0	13 (以 0° 考虑)	0	0	29 (以 0° 考虑)
X <sub>1</sub> (cm)	217	217	244	125	99	104	82
设计厚度 (cm)	280	280	270	150	150	150+120	120
是否满足 要求	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

表 11-5 直线加速器机房 2 屏蔽区、迷道内墙和外墙厚度校核

参数	主屏蔽区			迷道内墙 (g 点)	侧屏蔽墙 体(e 点)	侧屏蔽墙 体 (f 点)	侧屏蔽墙 体 (k 点)
	a 点	b 点	m 点				
He (μSv/h)	10	10	2.5	0.5	10	2.5	3.2
R (m)	8	8	6.8	9.35	5.5	9.1	10.4
H <sub>0</sub> (μSv.m <sup>2</sup> /h)	3.6E+08	3.6E+08	3.6E+08	3.6E+08	3.6E+08	3.6E+08	3.6E+08
f	1	1	1	0.001	0.001	0.001	0.001
B	1.78E-06	1.78E-06	3.21E-07	1.21E-04	8.40E-04	5.75E-04	9.61E-04
TVL1 (cm)	41	41	41	35	35	35	35
TVL (cm)	37	37	37	31	31	31	31
X <sub>e</sub> (cm)	217	217	245	125	99	104	82
斜射角θ (°)	0	0	0	13 (以 0° 考虑)	0	0	29 (以 0° 考虑)
X <sub>1</sub> (cm)	217	217	244	125	99	104	98
设计厚度 (cm)	280	280	270	150	150	150+120	120
是否满足 要求	满足	满足	满足	满足	满足	满足	满足

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）。

$$B_1 = \frac{He \times R^2}{H_0 \times \alpha_{ph} \times (F / 400)} \dots\dots\dots \text{式(11-6)}$$

式中：

$\alpha_{ph}$ —患者 400cm<sup>2</sup> 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm<sup>2</sup> 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，cm<sup>2</sup>。

直线加速器 1 机房主屏蔽区相连的次屏蔽区辐射屏蔽厚度核算见表 11-6-11-8。

表 11-6 直线加速器机房 1 与主屏蔽区相连的次屏蔽区漏射辐射屏蔽厚度核算

参数	次屏蔽区 (墙体d1、d2点)	次屏蔽区 (墙体c1、c2点)	次屏蔽区 (屋顶 m1、m2 点)
剂量率参考控制水平 He (μ Sv/h)	1.6	0.4	0.4
R (m)	8.12	8.12	7.74
H <sub>0</sub> ( μ Sv · m <sup>2</sup> /h)	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08
f	0.001	0.001	0.001
透射因子 B	2.93E-04	7.33E-05	6.66E-05
TVL1 (cm)	35	35	35
TVL (cm)	31	31	31
有效屏蔽厚度 Xe (cm)	114	132	133
斜射角 θ	31° (按 30°计算)	31° (按 30°计算)	41.5° (按 30°计算)
屏蔽厚度 X1 (cm)	98	114	116

注：根据 GBZ/201.2-2011，对于“与主屏蔽区相连的次屏蔽区泄露辐射所需屏蔽厚度”核算时，剂量率参考控制水平取 H<sub>c,d</sub> 的一半

表 11-7 直线加速器机房 1 与主屏蔽区相连的次屏蔽区散射辐射屏蔽厚度核算表

参数	次屏蔽区 (墙体d1、d2点)	次屏蔽区 (墙体c1、c2点)	次屏蔽区 (屋顶 m1、m2 点)
----	--------------------	--------------------	----------------------

剂量率参考控制水平 He ( $\mu\text{Sv/h}$ )	5	5	1.25
R (m)	8.12	8.12	7.74
H0( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ )	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08
$\alpha_{\text{ph}}$	3.18E-03	3.18E-03	3.18E-03
F ( $\text{cm}^2$ )	1600	1600	1600
透射因子 B1	7.20E-05	7.20E-05	1.64E-05
TVL (cm)	28	28	28
有效屏蔽厚度 Xe (cm)	116	116	134
斜射角 $\theta$	31° (按 30°计算)	31° (按 30°计算)	41.5° (按 30°计算)
屏蔽厚度 X1 (cm)	100	100	116

根据 GBZ/201.2-2011, 对于“与主屏蔽区相连的次屏蔽区散射辐射所需屏蔽厚度”核算时, 剂量率参考控制水平取 H<sub>max</sub> 的一半

直线加速器1机房与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽厚度核算汇总情况见下表:

表 11-8 直线加速器机房 1 与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽厚度核算表

厚度	次屏蔽区 (墙体d1、d2 点)	次屏蔽区 (墙体 c1、c2 点)	次屏蔽区 (屋顶 m1、m2 点)
漏射辐射屏蔽所需厚度 (cm)	98	114	116
散射辐射屏蔽所需厚度 (cm)	100	100	116
屏蔽厚度 (cm)	100	114	116
设计屏蔽厚度 (cm)	150	150	150
是否满足要求	满足要求	满足要求	满足要求

直线加速器 2 机房主屏蔽区相连的次屏蔽区辐射屏蔽厚度核算见表 11-9-11-11。

表 11-9 直线加速器机房 2 与主屏蔽区相连的次屏蔽区漏射辐射屏蔽厚度核算

参数	次屏蔽区 (墙体d1 点)	次屏蔽区 (墙体d2 点)	次屏蔽区 (墙体c1、c2 点)	次屏蔽区 (屋顶 m1、m2 点)
剂量率参考控制水平 He ( $\mu\text{Sv/h}$ )	0.4	0.5	0.4	0.4
R (m)	8.12	8.12	8.12	7.74
H <sub>0</sub> ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ )	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08
f	0.001	0.001	0.001	0.001
透射因子 B	7.33E-05	9.16E-05	7.33E-05	6.66E-05

TVL1 (cm)	35	35	35	35
TVL (cm)	31	31	31	31
有效屏蔽厚度 Xe (cm)	132	129	132	133
斜射角 $\theta$	31° (按 30°计算)	31° (按 30°计算)	31° (按 30°计算)	41.5° (按 30°计算)
屏蔽厚度 X1 (cm)	114	112	114	116

注：根据 GBZ/201.2-2011，对于“与主屏蔽区相连的次屏蔽区泄露辐射所需屏蔽厚度”核算时，剂量率参考控制水平取  $H_{c,d}$  的一半

表 11-10 直线加速器机房 2 与主屏蔽区相连的次屏蔽区散射辐射屏蔽厚度核算表

参数	次屏蔽区 (墙体d1 点)	次屏蔽区 (墙体d2 点)	次屏蔽区 (墙体c1、c2 点)	次屏蔽区 (屋顶 m1、m2 点)
剂量率参考控制水平 He ( $\mu$ Sv/h)	5	5	5	1.25
R (m)	8.12	8.12	8.12	7.74
H0 ( $\mu$ Sv $\cdot$ m <sup>2</sup> /h)	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08
$\alpha$ ph	3.18E-03	3.18E-03	3.18E-03	3.18E-03
F (cm <sup>2</sup> )	1600	1600	1600	1600
透射因子 B1	7.20E-05	7.20E-05	7.20E-05	1.64E-05
TVL (cm)	28	28	28	28
有效屏蔽厚度 Xe (cm)	116	116	116	134
斜射角 $\theta$	31° (按 30°计算)	31° (按 30°计算)	31° (按 30°计算)	41.5° (按 30°计算)
屏蔽厚度 X1 (cm)	100	100	100	116

根据 GBZ/201.2-2011，对于“与主屏蔽区相连的次屏蔽区散射辐射所需屏蔽厚度”核算时，剂量率参考控制水平取  $H_{cmax}$  的一半

直线加速器1机房与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽厚度核算汇总情况见下表：

表 11-11 直线加速器机房 2 与主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽厚度核算表

厚度	次屏蔽区 (墙体d1 点)	次屏蔽区 (墙体d2 点)	次屏蔽区 (墙体 c1、c2 点)	次屏蔽区 (屋顶 m1、m2 点)
漏射辐射屏蔽所需厚度 (cm)	114	112	114	116
散射辐射屏蔽所需厚度 (cm)	100	100	100	116
屏蔽厚度 (cm)	114	112	114	116
设计屏蔽厚度 (cm)	150	150	150	150

是否满足要求	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求
--------	------	------	------	------

### ③防护门厚度校核

本项目直线加速器机房 1 和直线加速器机房 2 尺寸、防护门形式完全一样，因此，不必重复计算，直线加速器机房防护门厚度校核如下：

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：

$$X=TVL \times \log B^{-1} \dots\dots\dots \text{(式 11-7)}$$

$$B = \frac{\dot{H}_e - \dot{H}_{og}}{\dot{H}_g} \dots\dots\dots \text{(式 11-8)}$$

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \times (F/400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A}{R_2^2} \times \dot{H}_0 \dots\dots\dots \text{(式 11-9)}$$

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 11-10、公式 11-11 计算而得；

$\alpha_{ph}$ —患者  $400\text{cm}^2$  面积上的散射因子，通常取  $45^\circ$  散射角的值（本项目取  $1.35 \times 10^{-3}$ ）；

$\alpha_2$ —砼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  $45^\circ$ ，散射角为  $0^\circ$ ，查得混凝土墙  $45^\circ$  入射、 $0^\circ$  散射、 $1\text{m}^2$  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， $\text{m}^2$ ；经计算本项目约为  $15.75\text{m}^2$ ；

$R_1$ —“o—i”之间的距离； $R_1=8.29\text{m}$ ；

$R_2$ —“i—p—g”之间的距离； $R_2=11.6\text{m}$ ；

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

经计算： $H_{og}=0.154\mu\text{Sv/h}$ ， $H_g=76.3\mu\text{Sv/h}$ ， $B=4.53\times 10^{-3}$

最终得到防护门的铅当量厚度为： $X=\text{TVL}\cdot\log B^{-1}=11.7\text{mm}$ 。

由理论计算可知，机房入口铅防护门屏蔽厚度为  $11.7\text{mm}$ ，实际设计为  $15\text{mm}$ ，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）：

$$H = \frac{H_0 \times f}{R^2} \times B \dots\dots\dots \text{（式 11-10）}$$

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

$$Xe = X / \cos \theta \dots\dots\dots \text{（式 11-12）}$$

患者一次散射辐射剂量估算：

$$H = \frac{H_0 \times \alpha_{ph} \times (F/400)}{R^2} \times B \dots\dots\dots \text{（式 11-13）}$$

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  $\dot{H}$ ：

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \times (F/400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A}{R_2^2} \times H_0 \dots\dots\dots \text{（式 11-14）}$$

$$\dot{H} = \dot{H}_g \times 10^{-(X/TVL)} + \dot{H}_{og} \dots\dots\dots \text{（式 11-15）}$$

本项目直线加速器机房 1 和直线加速器机房 2 尺寸、屏蔽体形式完全一样，各关注点经屏蔽后辐射剂量相同，因此，不必重复计算。主射线束和泄露辐射对各关注点产生的剂量见表 11-12，由患者一次散射对各关注点产生的剂量见

表 11-13，机房迷道入口处由散射辐射产生的剂量见表 11-14。

表 11-12-1 直线加速器主射线束和泄露辐射对关注点的剂量估算表

计算参数	主屏蔽区			迷道内墙 (g 点)	非主射 墙体 (e 点)	非主射 墙体 (f 点)	非主射 墙体 (k 点)
	墙体 (a 点)	墙体 (b 点)	屋顶 (m 点)				
设计屏蔽体厚度 X (cm)	280	280	270	150	150	270	120
斜射角 $\theta$ ( $^{\circ}$ )	0	0	0	13	0	0	29
Xe (cm)	280	280	280	154	150	270	137
TVL1 (cm)	41	41	41	35	35	35	35
TVL (cm)	37	37	37	31	31	31	31
透射因子 B	2.11E-08	2.11E-08	2.11E-08	8.03E-06	1.08E-05	1.45E-09	2.79E-05
H <sub>0</sub> ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )	3.60E+08	3.60E+08	3.93E-08	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08
f	1	1	1	0.001	0.001	0.001	0.001
R (m)	8	8	6.8	9.35	5.5	9.1	10.4
剂量当量 H( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	1.19E-01	1.19E-01	3.06E-01	3.31E-02	1.28E-01	6.30E-06	9.28E-02

表 11-12-2 直线加速器主射线束和泄露辐射对关注点的剂量估算表

计算参数	次屏蔽区		
	(墙体d1、d2 点)	(墙体 c1、c2 点)	(屋顶 m1、m2 点)
设计屏蔽体厚度 X (cm)	150	150	150
斜射角 $\theta$ ( $^{\circ}$ )	31 $^{\circ}$ (按 30 $^{\circ}$ 计算)	31 $^{\circ}$ (按 30 $^{\circ}$ 计算)	41.5 $^{\circ}$ (按 30 $^{\circ}$ 计算)
Xe (cm)	173	173	173
TVL1 (cm)	35	35	35
TVL (cm)	31	31	31
透射因子 B	1.92E-06	1.92E-06	1.92E-06
H <sub>0</sub> ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08
f	0.001	0.001	0.001
R (m)	8.12	8.12	7.74
剂量当量 H( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	1.05E-02	1.05E-02	1.15E-02

表 11-13 直线加速器机房患者一次散射对关注点的剂量估算表

计算参数	次屏蔽区		
	(墙体d1、d2 点)	(墙体 c1、c2 点)	(屋顶 m1、m2 点)
设计屏蔽体厚度 X (cm)	150	150	150
斜射角 $\theta$ ( $^{\circ}$ )	31 $^{\circ}$ (按 30 $^{\circ}$ 计算)	31 $^{\circ}$ (按 30 $^{\circ}$ 计算)	41.5 $^{\circ}$ (按 30 $^{\circ}$ 计算)
Xe (cm)	173	173	173
TVL (cm)	28	28	28
透射因子 B	6.52E-07	6.52E-07	6.52E-07
H <sub>0</sub> ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ )	3.60E+08	3.60E+08	3.60E+08

$\alpha_{ph}$	3.18E-03	3.18E-03	3.18E-03
F(cm <sup>2</sup> )	1600	1600	1600
R (m)	8.12	8.12	7.74
剂量当量 H( $\mu$ Sv/h)	4.53E-02	4.53E-02	4.98E-02

表 11-14 直线加速器机房迷道入口处综合剂量估算表

计算参数	迷道入口处 (关注点 g)
机房入口处的散射辐射剂量率 $\dot{H}_g$ ( $\mu$ Sv/h)	76.3
屏蔽厚度 X (mm)	15
TVL (mm)	5
辐射剂量当量 $\dot{H}$ ( $\mu$ Sv/h)	2.30E-01

对于机房次屏蔽区 c1、c2、d1、d2、顶部 m1、m2 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 11-15 直线加速器机房周围关注点综合剂率叠加结果

计算参数	主射方向(单位: $\mu$ Sv/h)			非主射方向(单位: $\mu$ Sv/h)						
	a 点	b 点	m 点	g 点	e 点	f 点	k 点	c1、c2 点	d1d2 点	m1m2 点
综合剂量率	1.19E-01	1.19E-01	3.25E-01	2.30E-01	1.28E-01	6.30E-06	9.28E-02	5.58E-02	5.58E-02	6.13E-02

综上，在本项目直线加速器机房 1 和直线加速器机房 2 四周和顶部关注点最大附加剂量满足《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，本项目 D 楼负一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 <sup>192</sup>Ir 放射源，总装源活度为  $3.7 \times 10^{11}$  Bq。<sup>192</sup>Ir 放射源虽有  $\beta$ 、 $\gamma$  两种辐射，但  $\beta$  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 <sup>192</sup>Ir 产生的  $\gamma$  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： $\gamma$  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  $200 \mu$ 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 $\mu$ Sv/h”。

建设单位在购得  $^{192}\text{Ir}$  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： $\gamma$ 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 11-16 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	西侧屏蔽墙外 0.3m（填土区）	初级辐射	不可到人区域
B	北侧屏蔽墙外 0.3m（填土区）	初级辐射	不可到人区域
C	北侧屏蔽墙外 0.3m（填土区）	初级辐射	不可到人区域
D	东侧屏蔽墙外 0.3m（控制室 3）	初级辐射	职业
E	防护门外 0.3m（控制室内）	初级辐射	公众
F	南侧屏蔽墙外 0.3m（直线加速器 2 机房）	初级辐射	公众
M	屋顶上 0.3m（一层核医学科进出口）	初级辐射	公众

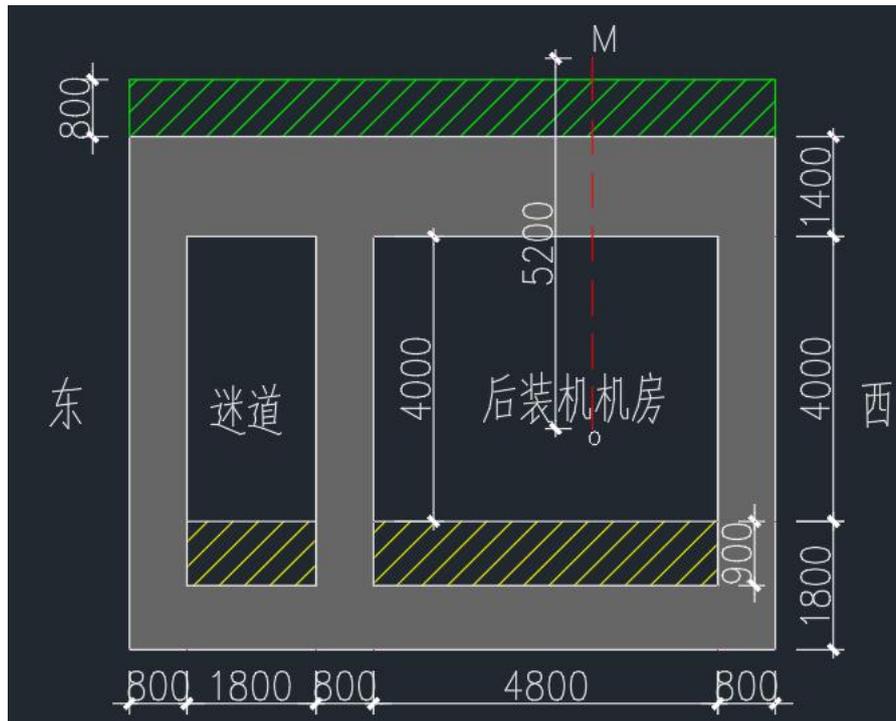
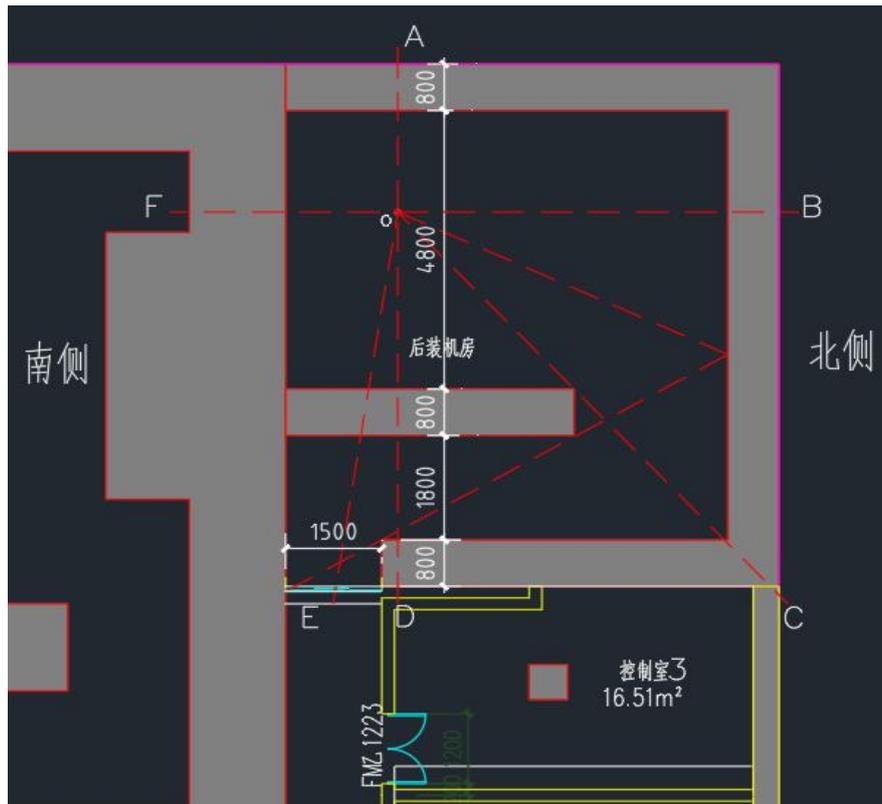


图 11-8 后装机关注点位示意图

参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： $\gamma$ 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  $H_{c,d}$ ：

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

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， $\text{h}$ ；根据医院提供的资料，后装机预估年有效出束时间最长约 167h，年工作 50 周，则周治疗照射时间  $t=3.34\text{h}$ ；

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， $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；人员居留因子  $T < 1/2$  的场所， $H_{c,max} \leq 10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

③关注点取①、②中较小者作为关注的剂量率参考控制水平 ( $H_c$ ) 即  $H_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。由此确定的各关注点的剂量率参考控制水平见下表。

表 11-17 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 ( $H_c$ ) $\mu\text{Sv}/\text{h}$		
		$H_{c,d}$	$H_{c,max}$	$H_c$
D	1	29.94	2.5	2.5
E	1/16	23.95	2.5	2.5
F	1/4	5.99	2.5	2.5
M	1/16	23.95	2.5	2.5

## 2) 屏蔽体厚度校核

### ①后装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： $\gamma$ 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：

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

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

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

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

式中：

X—屏蔽物质的屏蔽厚度，mm；

X<sub>e</sub>—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<sub>1</sub>—辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度；

TVL—辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度，mm；当未指明时 TVL<sub>1</sub> 时，TVL<sub>1</sub>=TVL；查 GBZ/T201.3-2014 的附录 C 表 C.1，对于 <sup>192</sup>Ir 放射源，在混凝土中的 TVL=152mm；

B<sub>1</sub>—屏蔽物质的屏蔽透射因子；

H<sub>c</sub>—剂量率参考控制水平，μSv/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<sub>0</sub>—放射源在距其 1m 处的剂量率，μSv/h；

A—放射源的活度，MBq；本项目 <sup>192</sup>Ir 取初始活度 3.7×10<sup>5</sup>MBq；

K<sub>γ</sub>—放射源的空气比释动能率常数，μSv/（h·MBq）；查 GBZ/T201.3-2014 的附录 C 表 C.1，<sup>192</sup>Ir 的空气比释动能率常数取 0.111μSv/（h·MBq）。

根据上述公式，机房墙体屏蔽厚度核算结果如下：

表 11-18 后装机房墙体屏蔽厚度核算

关注点	点位描述	距离放射源距离 (m)	剂量率参考控制水平 (μSv/h)	透射因子 (B <sub>1</sub> )	斜射角θ (°)	理论计算厚度 (mm)	建筑混凝土屏蔽厚度 (mm)	核算结果
D	东侧屏蔽墙外 0.3m(控制室 3)	6.75	2.5	2.77E-03	0	389	内墙800+ 外墙800	满足要求
F	南侧屏蔽墙外 0.3m(直线加速器 2 机房)	3.55	2.5	7.67E-04	0	473	1500	满足要求
M	屋顶上 0.3m(一层核医学科进出口)	5.2	2.5	1.65E-03	0	423	1400	满足要求

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：

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

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视见的墙区面积，14.96m<sup>2</sup>；

$a_w$ —散射体的散射因子，查表附录 C 中表 C.5 可得， $3.39 \times 10^{-2}$ ；

$R_1$ —散射源至散射体中心点的距离，5.7m；

$R_2$ —散射体中心点至计算点的距离，8.0m。

经计算，机房入口处 g 点的散射辐射剂量率  $\dot{H}_{散}$  为 10μSv/h。

在给定迷道内墙屏蔽物质的厚度为 800mm 时，可按下列公式计算屏蔽体外关注点 g 的漏射剂量率  $\dot{H}_{漏}$ 。

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

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

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

式中：

$R_3$ —放射源距离关注点的距离，取 6.82m；

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  $4.82 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ；

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：

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

经计算，铅门需要的屏蔽因子  $B_3=0.25$ ，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  $X=TVL \cdot \lg B_3^{-1}=3.01\text{mm}$ ，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射线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 1000 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 0.34mSv/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:

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

式中:  $H_g$ —入口处的散射辐射剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

$H_{og}$ —泄露辐射在  $g$  处的剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ 。

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 11-19 后装机机房外关注点处辐射剂量率

关注点	关注点位描述	距放射源距离(m)	建筑屏蔽体厚 (mm)	利用因子 $f$	透射因子 B4	屏蔽体外关注点剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
D	东侧屏蔽墙外0.3m (控制室)	8.6	内墙800+ 外墙800	1	2.98E-11	1.65E-08
F	西南侧屏蔽墙外0.3m (加速器2机房)	5.5	1500	1	1.35E-10	1.84E-07
M	屋顶上0.3m (一层核医学科进出口)	5.2	1400	1	6.16E-10	9.36E-07

表 11-20 后装机机房防护门外关注点处剂量估算表

关注点	关注点位描述	散射面积 ( $S_w$ )	散射因子 ( $a_w$ )	迷道内散射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	迷道内漏射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	铅门体外关注点剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
G	后装机机房门口	14.96	3.39E-02	10	4.82E-03	1.05E-01

## (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, 2 间直线加速器机房内各使用 1 台 10MV 直线加速器; 在后装机房内使用  $^{192}\text{Ir}$  放射源 1 枚, 总装源活度为  $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$  (属 III 类放射源)。射线装置辐照在出束期间, 机房内空气中的氧受 X/ $\gamma$  射线电离会产生臭氧。

### 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, 直线加速器机房 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 Gy.m<sup>2</sup>/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<sup>2</sup>，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<sub>3</sub> 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<sup>3</sup>；

$Q_o$ —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 268m<sup>3</sup>（装饰层吊顶高度 3m×净面积 89.28m<sup>2</sup>）；

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 2050m<sup>3</sup>/h，机房体积按照 268m<sup>3</sup> 进行计算，则每小时通风次数为 7.64 次，每次换气需要 0.13h。

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

$t_v$ —每次换气时间，0.13h；

$t_a$ —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 1.56×10<sup>-3</sup>mg/m<sup>3</sup>。

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 D 楼楼顶通过离地高度 15m 的排气筒排入环境大气后，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/m<sup>3</sup>）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。

$$C_{O_3} = 3.25 \left[ \frac{S_{coj} I t d}{V} \right] \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots \text{式 (11-33)}$$

式中：

$C_{O_3}$ —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 268m<sup>3</sup>。

经计算，本项目直线加速器运行期间，治疗室内臭氧浓度为 1.1ppm，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/m<sup>3</sup>）：

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；

$C'_{O_3}$ —臭氧浓度标准限值，取 0.07ppm（0.16mg/m<sup>3</sup>）；

$f$ —通风量，取 0.57m<sup>3</sup>/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 36s 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 D 楼楼顶通过离地高度 15m 的排气筒排放后，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/m<sup>3</sup>）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：

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

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

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

式中：

$Q$ —臭氧产生率，mg/h；

$A$ —放射源活度，0.37TBq；

$G$ —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，146m<sup>3</sup>（装饰层吊顶高度 3m×净面积 48.66m<sup>2</sup>）；

$C$ —室内臭氧饱和浓度，mg/m<sup>3</sup>；

$Q_0$ —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 860m<sup>3</sup>/h，则每次换气时间为 0.17h；

$t_a$ —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 1.67×10<sup>-1</sup>mg/h，最终计算出的后装机机房内臭氧平衡浓度为 1.60×10<sup>-4</sup>mg/m<sup>3</sup>。

## 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1.56×10<sup>-3</sup>mg/m<sup>3</sup>，后装机机房内臭氧平衡浓度为1.60×10<sup>-4</sup>mg/m<sup>3</sup>，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/m<sup>3</sup>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（0.20mg/m<sup>3</sup>）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 D 楼楼顶通过离地高度 15m 的排气筒排放。

### （三）噪声环境影响分析

在D楼负一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60dB(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 <sup>192</sup>Ir 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。<sup>192</sup>Ir 放射源半衰期为 74.2 天，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

### 1、β射线的辐射影响分析

本项目涉及使用的<sup>131</sup>I、<sup>99m</sup>Mo、<sup>99m</sup>Tc、<sup>18</sup>F核素在衰变过程中会有β粒子，但

由于<sup>18</sup>F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：

$$d = \frac{1}{2\rho} \cdot E_{MAX} \dots\dots\dots \text{式 (11-39)}$$

式中：

$d$ ——β射线在介质中的射程，cm；

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

$E_{MAX}$ ——β射线的最大能量，MeV。

表 11-21 各核素β射线在空气中理论最大射程

核素	<sup>99</sup> Mo	<sup>99m</sup> Tc	<sup>131</sup> I
β射线能量(MeV)	1.23	0.002	0.606
空气密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.29×10 <sup>-3</sup>		
空气中的射程 (cm)	477	0.78	233
砖墙密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.8		
砖墙中的射程 (cm)	0.34	5.56×10 <sup>-4</sup>	0.17
铅玻璃密度(g/cm <sup>3</sup> )	7.36		
铅玻璃中射程 (cm)	0.08	1.36×10 <sup>-4</sup>	0.04

综上所述，本项目涉及使用的<sup>99</sup>Mo、<sup>99m</sup>Tc、<sup>131</sup>I核素在整个过程中均采取了有效的屏蔽措施屏蔽β射线，同时在整个使用过程中职业人员还穿戴有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、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。

$$H_R = A \times f \times R^{-2} \times 10^{-X/TVL} \dots\dots\dots \text{式 (11-40)}$$

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；

$TVL$ — $\gamma$ 射线在相应屏蔽材料中的十值层，cm。

SPECT诊断项目使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，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 $^{18}\text{F}$ ，因此PET诊断用核素对工作场所的辐射影响分析按照 $^{18}\text{F}$ 核素进行辐射屏蔽分析。此外，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 11-22 使用放射性药物工作场所辐射屏蔽计算参数

核素	周围剂量当量率常数（裸源） ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ )	周围剂量当量率常数（患者体内） ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ )	$TVL$ (mm)		
			铅 ( $11.3\text{g}/\text{cm}^3$ )	实心砖 ( $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ )	混凝土 ( $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ )
$^{18}\text{F}$	0.143	0.092	16.6	263	176
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.0303	0.0207	1	160	110
$^{131}\text{I}$	0.0595	0.0583	11	240	170

备注：周围剂量当量率常数来源于核医学放射防护要求（GBZ120-2020）附录L中表L.1和附录H中H.1，TVL取值来源于表L.1。

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；扫描完后需留观15分钟。本项目SPECT诊断区设有1间SPECT候诊室，候诊室内最多等候1人，SPECT候诊室每天最多可容纳32人；SPECT诊断项目日最大诊断人数为20人，因此本项目SPECT候诊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30分钟即可进行扫描；PET/CT每5分钟扫描一个病人；扫描完后需留观15分钟。本项目设有1间PET候诊室，最多1人，PET候诊室每天最多可容纳16人；PET诊断项目日最大诊断人数为15人，因此本项目PET候诊室患者容量满足本项目就诊人数需求。

本项目PET诊断区和SPECT诊断区共用1间留观室，最多同时2人，留观室每天最多可容纳64人；本项目PET诊断和SPECT诊断合计最大诊断人数35人。因此，留观室满足本项目就诊人数需求。

SPECT 诊断时使用核素  $^{99}\text{Tc}$ ，最大单次源强为 814MBq (22mCi)。甲吸诊断单次最大为 0.37MBq (0.01mCi)，PET 诊断时使用核素  $^{18}\text{F}$ ，最大单次源强为 370MBq (10mCi)。不考虑注射(服药)等待的时间对药物的衰变影响进行计算。此外，备用药物放置在通风橱的铅罐中，经过铅罐和通风橱的屏蔽，对周围环境影响很小，所以按单个患者的  $^{18}\text{F}$  用量进行计算。

本项目，由于 PET 诊断和 SPECT 诊断共用一个分装柜，不同时分装，因此分装时，不同核素分别单独计算。PET 诊断和 SPECT 诊断共用 1 间注射室，注射室最多容纳 1 人，不同时注射，因此注射时按不同核素单次注射考虑。

本项目核医学科内各关注点最大有效剂量见下表。

表11-23 核医学科内各关注点辐射剂量率预测结果

SPECT诊断区					
位置		最近距离 (m)	屏蔽厚度	辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	备注
储源室 (源强16700MBq)	南侧墙体外 30cm 处	1.7	10mmPb 储源铅柜 +5mmPb 药物铅罐 +240mm 实心砖墙	2.82E-15	D楼南侧墙外
	南侧传药窗 30cm 处	1.7	10mmPb 储源铅柜 +5mmPb 药物铅罐+15mm 铅当量防护窗	8.93E-29	D楼南侧墙外
	北侧墙体外 30cm 处	1.2	10mmPb 储源铅柜 +5mmPb 药物铅罐 +240mm 实心砖墙	5.67E-15	分装室
	东侧墙体外 30cm 处	1.7	10mmPb 储源铅柜 +5mmPb 药物铅罐 +240mm 实心砖墙	2.82E-15	D楼电梯间
	防护门 30cm 处	2.0	10mmPb 储源铅柜 +5mmPb 药物铅罐 +15mmPb 铅防护门	6.45E-29	注射室
	楼上 30cm 处	3.5	10mmPb 储源铅柜 +5mmPb 药物铅罐 +300mm 混凝土	3.95E-17	可上人屋面
	楼下距地面 1.8m 处	4.4	10mmPb 储源铅柜 +5mmPb 药物铅罐	2.50E-17	放疗科

			+300mm 混凝土		
通风橱 <sup>18</sup> F分装 (源强370MBq)	通风橱 外表面	0.3	50mmPb 通风橱	5.72E-01	分装室内
		1.0	50mmPb 通风橱	5.15E-02	分装室内
通风橱 <sup>99</sup> Tc分装 (源强814MBq)	通风橱 外表面	0.3	50mmPb 通风橱	5.88E-48	分装室内
		1.0	50mmPb 通风橱	5.29E-49	分装室内
分装室 (源强370MBq)	南侧墙体外 30cm 处	1.2	50mmPb 通风橱+240mm 实心砖墙	2.23E-03	储源室
	北侧墙体外 30cm 处	1.7	50mmPb 通风橱+240mm 实心砖墙	1.11E-03	危废间
	东侧墙体外 30cm 处	1.7	50mmPb 通风橱+240mm 实心砖墙	1.11E-03	D楼 电梯间
	防护门 30cm 处	2.0	50mmPb 通风橱+15mmPb 铅防护门	6.56E-18	注射室
	楼上 30cm 处	3.5	50mmPb 通风橱+300mm 混凝土	4.23E-05	可上人屋面
	楼下距地面 1.8m 处	4.4	50mmPb 通风橱+300mm 混凝土	2.68E-05	放疗科
注射室 ( <sup>18</sup> F源强370MBq)	<sup>18</sup> F 注射位	0.5	50mmPb 注射窗	2.06E-01	患者通道
	南侧墙体外 30cm 处	2.2	370mm 实心砖墙	4.28E-01	D楼南侧 墙外
	北侧墙体外 30cm 处	4.5	370mm 实心砖墙	1.02E-01	更衣室
	北侧进出口防护门 30cm 处	4.5	20mmPb 铅防护门	1.63E-01	更衣室
	东侧储源室、分装室 墙体外 30cm 处	3.6	240mm 实心砖墙	4.99E-01	储源室、分 装室
	东侧储源室、分装室 防护门 30cm 处	3.6	15mmPb 铅防护门	2.55E-01	储源室、分 装室
	楼上 30cm 处	3.5	300mm 混凝土	8.53E-02	可上人屋面
	楼下距地面 1.8m 处	4.4	300mm 混凝土	5.40E-02	放疗科
注射室 ( <sup>99</sup> Tc源强 814MBq)	<sup>99</sup> mTc 注射位	0.5	50mmPb 注射窗	9.87E-49	患者通道
	南侧墙体外 30cm 处	4.5	370mm 实心砖墙	5.93E-03	D楼南侧 墙外
	北侧墙体外 30cm 处	2.2	370mm 实心砖墙	2.48E-02	更衣室
	北侧进出口防护门 30cm 处	2.2	20mmPb 铅防护门	5.10E-20	更衣室

	东侧分装室墙体 30cm 处	3.6	240mm 实心砖墙	6.02E-02	储源室、分装室
	东侧废物间防护门 30cm 处	4.1	15mmPb 铅防护门	1.47E-15	危废间
	楼上 30cm 处	3.5	300mm 混凝土	3.77E-03	可上人屋面
	楼下距地面 1.8m 处	4.4	300mm 混凝土	2.39E-03	放疗科
SPECT候诊室 (源强 814MBq)	西侧墙体外 30cm 处	1.8	240mm 实心砖墙	1.64E-01	D楼西侧 墙外
	南侧墙体外 30cm 处	1.3	370mm 实心砖墙	4.86E-02	留观室
	北侧墙体外 30cm 处	3.0	240mm 实心砖墙	5.92E-02	SPECT 机房
	东侧墙体外 30cm 处	4.8	240mm 实心砖墙	2.31E-02	PET机房
	南侧防护门表面 30cm 处	4.3	20mmPb 铅防护门	9.11E-21	患者通道
	楼上 30cm 处	3.5	300mm 混凝土	2.58E-03	可上人 屋面
	楼下距地面 1.8m 处	5.0	300mm 混凝土	1.26E-03	放疗科
PET候诊室(源 强370MBq)	北侧墙体外 30cm 处	1.8	370mm 实心砖墙	4.12E-01	PET机房
	东侧墙体外 30cm 处	1.8	370mm 实心砖墙	4.12E-01	电气间
	西侧墙体外 30cm 处	1.8	370mm 实心砖墙	4.12E-01	患者通道
	南侧墙体外 30cm 处	1.8	370mm 实心砖墙	4.12E-01	抢救室
	西侧防护门表面 30cm 处	1.8	20mmPb 铅防护门	6.56E-01	患者通道
	楼上 30cm 处	3.5	300mm 混凝土	5.49E-02	可上人屋面
	楼下距地面 1.8m 处	4.4	300mm 混凝土	3.47E-02	放疗科
PET诊断病人 在抢救室(源 强370MBq)	抢救位	1.0	0.5mmPb 铅衣	3.18E+01	抢救室内
	西侧、北侧墙体外 30cm 处	1.3	370mm 实心砖墙	7.89E-01	患者通道、 PET候诊
	南侧、东侧墙体外 30cm 处	1.3	370mm 实心砖墙	7.89E-01	更衣室、医 护卫生间
	西侧防护门表面 30cm 处	1.3	20mmPb 铅防护门	1.26E+00	患者通道
	南侧防护门表面 30cm 处	1.3	20mmPb 铅防护门	1.26E+00	更衣室
	楼上 30cm 处	3.5	300mm 混凝土	5.49E-02	可上人 屋面
	楼下距地面 1.8m 处	4.4	300mm 混凝土	3.47E-02	放疗科

SPECT诊断病人在抢救室 (源强814MBq)	抢救位	1.0	0.5mmPb 铅衣	1.57E+01	抢救室内
	西侧、北侧墙体外30cm处	1.3	370mm 实心砖墙	4.86E-02	患者通道、PET候诊
	北侧、东侧墙体外30cm处	1.3	370mm 实心砖墙	4.86E-02	更衣室、医护卫生间
	西侧防护门30cm处	1.3	20mmPb 铅防护门	6.22E-01	患者通道
	南侧防护门30cm处	1.3	20mmPb 铅防护门	6.22E-01	更衣室
	楼上30cm处	3.5	300mm 混凝土	2.58E-03	可上人屋面
	楼下距地面1.8m处	4.4	300mm 混凝土	1.63E-03	放疗科
SPECT/CT机房 (源强814MBq)	摆位	1.0	0.5mmPb 铅衣	5.33E+00	机房内
	西侧墙体外30cm处	1.7	240mm 实心砖墙	1.84E-01	D楼西侧墙外
	南侧墙体外30cm处	2.1	240mm 实心砖墙	1.21E-01	SPECT候诊室
	北侧墙体外30cm处	2.1	240mm 实心砖墙	1.21E-01	D楼北侧墙外
	东侧墙体外30cm处	4.7	240mm 实心砖墙	2.41E-02	控制室、设备间
	南侧防护门30cm处	2.1	3mmPb 铅防护门	3.82E-03	SPECT候诊室
	东侧控制室防护门30cm处	2.2	3mmPb 铅防护门	3.48E-03	控制室
	东侧控制室观察窗30cm处	2.2	3mmPb 铅防护窗户	3.48E-03	控制室
	楼上30cm处	3.5	300mm 混凝土	2.58E-03	可上人屋面
	楼下距地面1.8m处	5.0	300mm 混凝土	1.26E-03	放疗科
PET/CT机房 (源强370MBq)	摆位	1.0	0.5mmPb 铅衣	3.18E+01	机房内
	西侧墙体外30cm处	1.8	370mm 实心砖墙	4.12E-01	患者通道
	南侧墙体外30cm处	3.3	370mm 实心砖墙	1.22E-01	PET候诊室
	东侧墙体外30cm处	1.8	370mm 实心砖墙	4.12E-01	电气间
	北侧墙体外30cm处	1.8	370mm 实心砖墙	4.12E-01	控制室
	东侧墙体外30cm处	2.7	370mm 实心砖墙	1.83E-01	医护通道

	南侧防护门 30cm 处	1.8	20mmPb 铅防护门	6.56E-01	患者通道
	北侧控制室防护门 30cm 处	1.8	20mmPb 铅防护门	6.56E-01	控制室
	北侧控制室观察窗 30cm 处	1.8	20mmPb 铅防护门	6.56E-01	控制室
	楼上 30cm 处	3.5	300mm 混凝土	5.49E-02	可上人屋面
	楼下距地面 1.8m 处	4.4	300mm 混凝土	3.47E-02	放疗科
PET诊断病人在留观室（源强370MBq）	西侧墙体外 30cm 处	1.3	480mm 实心砖墙	3.01E-01	核医学科患者进出口大门外
	南侧墙体外 30cm 处	2.1	370mm 实心砖墙	3.02E-01	候诊大厅
	北侧墙体外 30cm 处	1.3	370mm 实心砖墙	7.89E-01	SPECT候诊室
	东侧墙体外 30cm 处	3.0	370mm 实心砖墙	1.48E-01	患者通道
	西侧防护门表面 30cm 处	1.3	30mmPb 铅防护门	3.14E-01	核医学科患者进出口大门外
	东侧防护门表面 30cm 处	3.0	20mmPb 铅防护门	2.36E-01	患者通道
	楼上 30cm 处	3.5	300mm 混凝土	5.49E-02	可上人屋面
	楼下距地面 1.8m 处	5.0	300mm 混凝土	2.69E-02	放疗科
SPECT诊断病人在留观室（源强814MBq）	西侧墙体外 30cm 处	1.8	480mm 实心砖墙	5.20E-03	核医学科患者进出口大门外
	南侧墙体外 30cm 处	2.1	370mm 实心砖墙	1.86E-02	候诊大厅
	北侧墙体外 30cm 处	1.3	370mm 实心砖墙	4.86E-02	SPECT候诊室
	东侧墙体外 30cm 处	3.0	370mm 实心砖墙	9.12E-03	患者通道
	西侧防护门 30cm 处	1.8	30mmPb 铅防护门	5.20E-30	核医学科患者进出口大门外
	东侧防护门表面 30cm 处	3.0	20mmPb 铅防护门	1.87E-20	患者通道
	楼上 30cm 处	3.5	300mm 混凝土	2.58E-03	可上人屋面

	楼下距地面 1.8m 处	5.0	300mm 混凝土	1.26E-03	放疗科
PET诊断病人在患者通道 (源强 370MBq)	西侧防护门 30cm 处	1.3	20mmPb 铅防护门	1.26E+00	公共通道
	东侧防护门 30cm 处	1.3	20mmPb 铅防护门	1.26E+00	更衣室
	西侧墙体外 30cm 处	1.3	370mm 实心砖墙	7.89E-01	公共通道
	楼上 30cm 处	3.5	300mm 混凝土	5.49E-02	可上人屋面
	楼下距地面 1.8m 处	4.4	300mm 混凝土	3.47E-02	放疗科
SPECT诊断病人在患者通道 (源强 814MBq)	西侧防护门 30cm 处	1.3	20mmPb 铅防护门	9.97E-20	公共通道
	东侧防护门 30cm 处	1.3	20mmPb 铅防护门	9.97E-20	更衣室
	西侧墙体外 30cm 处	1.3	370mm 实心砖墙	4.86E-02	公共通道
	楼上 30cm 处	3.5	300mm 混凝土	2.58E-03	可上人屋面
	楼下距地面 1.8m 处	4.4	300mm 混凝土	1.63E-03	放疗科
<b>甲吸检查区</b>					
甲吸室(源强 0.37MBq)	给药	0.5	0.5mmPb 铅衣	7.93E-02	/
	东侧墙体外 30cm 处	1.3	370mm 实心砖墙	3.74E-04	患者通道
	其余三面墙体外 30cm 处	1.3	240mm 实心砖墙	1.30E-03	D楼南侧墙外、放免室
	南侧防护门 30cm 处	1.3	2mmPb 防护门	8.57E-03	D楼南侧墙外
	北侧防护门 30cm 处	1.3	2mmPb 防护门	8.57E-03	公共通道
	楼上 30cm 处	3.5	300mm 混凝土	3.09E-05	可上人屋面
	楼下距地面 1.8m 处	5.0	300mm 混凝土	1.51E-05	放疗科
<p>通过就诊时间管理、视频监控等措施确保 PET/CT、SPECT/CT 检查受检者注射药物不同时进行, 给药后患者 (PET/CT 或 SPECT/CT 诊断前) 与 PET/CT 或 SPECT/CT 诊断后患者不交叉, 即通过管理措施确保任何时候患者通道上均只有 1 名患者。因此, 仅留观室可能存在 SPECT 诊断和 PET 诊断病人同时在一个区域的情况, 计算其复合影响如下:</p>					

表11-24 核医学科内各关注点辐射剂量率预测结果（考虑PET和SPECT复合影响时）

位置		屏蔽厚度	辐射剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	备注
留观室	西侧墙外 30cm 处	480mm 实心砖墙	3.07E-01	核医学科患者进 出口大门外
	南侧墙外 30cm 处	370mm 实心砖墙	3.21E-01	候诊大厅
	北侧墙外 30cm 处	370mm 实心砖墙	8.38E-01	SPECT候诊室
	东侧墙外 30cm 处	370mm 实心砖墙	1.57E-01	患者通道
	西侧防护门 30cm 处	30mmPb 铅防护门	3.14E-01	核医学科患者进 出口大门外
	东侧防护门 30cm 处	20mmPb 铅防护门	2.36E-01	患者通道
	楼上 30cm 处	220mm 混凝土	5.74E-02	可上人屋面
	楼下距地面 1.8m 处	300mm 混凝土	2.81E-02	放疗科

由表 11-23 和 11-24 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  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；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  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，距核医学工作场所各控制区内屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于  $10\mu\text{Sv/h}$ ；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  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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) 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  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  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  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，淋

洗、测活、标记、分装均在50mmPb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<sup>99m</sup>Tc在通风橱中分装时，操作人员位于通风橱外表面0.3m处，该操作时间按照单份1min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。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。

## 2) 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<sup>18</sup>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0.3m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，然后进入PET/CT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。

## 3) 甲吸检查

本项目购买已分装好的碘<sup>[131]</sup>I化钠药品，由医生取药后供患者口服，甲吸病人每天最多5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。

## (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11-25 核医学科所致辐射工作人员个人年有效剂量估算**

操作	工作负荷		年工作负荷 (h)	辐射剂量 率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	年有效剂量 (mSv)	
	次	次/年				
<b>PET诊断项目</b>						
PET 分装	60s	3750	62.5	5.72E-01	3.58E-02	4.22E-02
PET 注射	30s	3750	31.25	2.06E-01	6.44E-03	
PET/CT 摆位	30s	3750	31.25	2.32E+01	7.25E-01	0.37/人 (2名 护士轮岗)
PET/CT 扫描	5min	3750	312.5	4.78E-01	1.49E-01	1.49E-01
抢救室	次抢救按0.5 小时，一年最 多抢救10次	10	5.00	3.18E+01	1.59E-01	1.59E-01
<b>SPECT诊断项目</b>						
SPECT淋洗、 标记、测活	3min	250	12.5	5.88E-48	7.35E-50	6.047E-49
SPECT分装	60s	5000	83.3	5.88E-48	4.90E-49	
SPECT注射	30s	5000	41.7	9.87E-49	4.12E-50	
SPECT摆位	30s	5000	41.7	5.33E+00	2.22E-01	0.11 (2名护 士轮岗)
SPECT扫描	15min	5000	1250	3.48E-03	4.35E-03	4.35E-03
抢救室	次抢救按0.5小时，一年最 多抢救10次		5	1.57E+01	7.85E-02	7.85E-02
<b>甲吸检查项目</b>						
给药、患者服 药	60s	1250	20.8	7.93E-02	1.65E-03	1.65E-03

PET诊断区与SPECT诊断区域共用控制室，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0.153mSv/人，SPECT摆位护士在机房内受到的最大年有效剂量为0.11mSv/人；PET摆位护士在机房内受到的最大年有效剂量为0.37mSv/人，注射分装的护士受到的最大年有效剂量为0.0422mSv/人。

由本项目设计方案可知，核医学科内辐射工作人员受到下方放疗科的剂量

贡献，根据11-26可知，放疗科对核医学科附加年最大剂量率为0.00494mSv/a，因此，核医学科内辐射工作人员年最大附加有效剂量为0.375mSv/人。

综上，本项目核医学内辐射工作人员年最大附加有效剂量为0.375mSv/a。核医学科内辐射工作人员年有效剂量能满足《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5mSv/a”要求。

### （3）环境保护目标辐射影响分析

本项目环境保护目标受到放疗科和核医学科的剂量叠加。在剂量叠加保护目标综合预测过程中，仅考场所屏蔽和距离衰减，不考虑其他建筑屏蔽。

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(μSv/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 1/16；

W<sub>T</sub>—组织权重因数，全身为 1。

表 11-26 环境保护目标辐射剂量率综合分析表

最近保护目标位置	贡献剂量射线装置	与射线装置最近距离(m)	衰减后剂量率(μSv/h)	年最大照射时间(h)	居留因子	年最大辐射剂量(mSv/a)	综合年辐射剂量(mSv/a)	照射类型
控制室 1 (直线加速器 1)	直线加速器 1	9.1	6.30E-06	250	1	1.58E-06	1.09E-01	职业照射
	直线加速器 2	13.6	3.74E-03	250	1	9.35E-04		
	后装机	22	4.55E-20	167	1	7.60E-21		
	核医学科	4.4	5.40E-02	2000	1	1.08E-01		
控制室 2 (直线加速器 2)	直线加速器 1	13.6	3.74E-03	250	1	9.35E-04	1.09E-01	职业照射
	直线加速器 2	9.1	6.30E-06	250	1	1.58E-06		
	后装机	13.5	9.08E-10	167	1	1.52E-10		
	核医学科	4.4	5.40E-02	2000	1	1.08E-01		
控制室 3(后)	直线加速器 1	19.8	1.31E-02	250	1	3.28E-03	1.13E-01	职业

装机)	直线加速器 2	10.1	6.78E-03	250	1	1.70E-03		照射
	后装机	8.6	1.65E-08	167	1	2.76E-09		
	核医学科	4.4	5.40E-02	2000	1	1.08E-01		
衰变池 (检修时)	直线加速器 1	8	1.19E-01	250	1/16	1.86E-03	8.95E-03	公众照射
	直线加速器 2	18.6	2.20E-02	250	1/16	3.44E-04		
	后装机	26.1	8.17E-09	167	1/16	8.53E-11		
	核医学科	4.4	5.40E-02	2000	1/16	6.75E-03		
衰变池 机房	直线加速器 1	9.75	7.28E-03	250	1/16	1.14E-04	7.04E-03	公众照射
	直线加速器 2	19.2	1.11E-02	250	1/16	1.73E-04		
	后装机	27.1	3.03E-09	167	1/16	3.16E-11		
	核医学科	4.4	5.40E-02	2000	1/16	6.75E-03		
公共通道	直线加速器 1	10.9	5.82E-03	250	1/4	3.64E-04	2.75E-02	公众照射
	直线加速器 2	20.4	1.66E-03	250	1/4	1.04E-04		
	后装机	28.3	4.99E-19	167	1/4	2.08E-20		
	核医学科	4.4	5.40E-02	2000	1/4	2.70E-02		
水冷机房 1	直线加速器 1	9.49	2.32E-06	250	1/16	3.63E-08	6.78E-03	公众照射
	直线加速器 2	17.9	2.16E-03	250	1/16	3.38E-05		
	后装机	24.7	9.23E-20	167	1/16	9.63E-22		
	核医学科	4.4	5.40E-02	2000	1/16	6.75E-03		
水冷机房 2	直线加速器 1	17.9	2.16E-03	250	1/16	3.38E-05	8.26E-03	公众照射
	直线加速器 2	10.4	9.28E-02	250	1/16	1.45E-03		
	后装机	13.5	2.58E-03	167	1/16	2.69E-05		
	核医学科	4.4	5.40E-02	2000	1/16	6.75E-03		
直加 准备室	直线加速器 1	9.35	2.30E-01	250	1/16	3.59E-03	1.39E-02	公众照射
	直线加速器 2	9.35	2.30E-01	250	1/16	3.59E-03		
	后装机	16.5	8.09E-20	167	1/16	8.44E-22		
	核医学科	4.4	5.40E-02	2000	1/16	6.75E-03		
后装机 入口通道	直线加速器 1	22.4	1.38E-03	250	1/16	2.16E-05	6.85E-03	公众照射
	直线加速器 2	11.7	5.05E-03	250	1/16	7.89E-05		
	后装机	10.5	1.11E-08	167	1/16	1.16E-10		
	核医学科	4.4	5.40E-02	2000	1/16	6.75E-03		
放疗科 护士站	直线加速器 1	13.1	1.68E-02	250	1	4.20E-03	1.17E-01	职业照射
	直线加速器 2	13.1	1.68E-02	250	1	4.20E-03		
	后装机	15.5	1.39E-03	167	1	2.32E-04		
	核医学科	4.4	5.40E-02	2000	1	1.08E-01		
放疗科候诊 大厅陪护 人员	直线加速器 1	13.1	1.68E-02	250	1/4	1.05E-03	2.92E-02	公众照射
	直线加速器 2	13.1	1.68E-02	250	1/4	1.05E-03		
	后装机	15.5	1.39E-03	167	1/4	5.80E-05		
	核医学科	4.4	5.40E-02	2000	1/4	2.70E-02		

核医学内辐射工作人员	直线加速器 1	8.37	9.88E-03	250	1	2.47E-03	3.75E-01	职业照射
	直线加速器 2	8.37	9.88E-03	250	1	2.47E-03		
	后装机	10.79	8.17E-09	167	1	1.36E-09		
	核医学科	/		2000	1	3.7E-01		
核医学内候诊区陪护人员	直线加速器 1	8.37	9.88E-03	250	1/16	2.47E-03	4.04E-02	公众照射
	直线加速器 2	8.37	9.88E-03	250	1/16	2.47E-03		
	后装机	10.79	8.17E-09	167	1/16	1.36E-09		
	核医学科	1.3	3.21E-01	2000	1/16	2.70E-02		
核医学科东侧墙外公众	核医学科	9.15	1.59E-02	2000	1/16	1.99E-03	2.29E-03	公众照射
核医学科南侧墙体外公众	直线加速器 1	8.43	9.74E-03	250	1/16	1.52E-04	5.38E-02	公众照射
	直线加速器 2	8.43	9.74E-03	250	1/16	1.52E-04		
	后装机	6.52	2.24E-08	167	1/16	2.34E-10		
	核医学科	2.2	4.28E-01	2000	1/16	5.35E-02		
核医学科西侧墙体外公众（核医学科患者进出口）	直线加速器 1	6.8	3.06E-01	250	1/16	4.78E-03	4.79E-02	公众照射
	直线加速器 2	6.8	3.06E-01	250	1/16	4.78E-03		
	后装机	5.2	9.36E-07	167	1/16	9.77E-09		
	核医学科	1.3	3.07E-01	2000	1/16	3.84E-02		
核医学科北侧墙体外公众	直线加速器 1	8.43	9.74E-03	250	1/16	1.52E-04	1.54E-02	公众照射
	直线加速器 2	8.43	9.74E-03	250	1/16	1.52E-04		
	后装机	8.13	1.44E-08	167	1/16	1.50E-10		
	核医学科	2.1	1.21E-01	2000	1/16	1.51E-02		
核医学科可上人屋面	直线加速器 1	14	3.53E-03	250	1/16	5.52E-05	1.08E-02	公众照射
	直线加速器 2	14	3.53E-03	250	1/16	5.52E-05		
	后装机	14.9	1.41E-03	167	1/16	1.47E-05		
	核医学科	3.5	8.53E-02	2000	1/16	1.07E-02		
东侧肿瘤专科 A 楼和门诊医技 B 楼	直线加速器 1	31.1	5.40E-07	250	1	1.35E-07	1.02E-02	公众照射
	直线加速器 2	31.1	5.40E-07	250	1	1.35E-07		
	后装机	35.6	9.65E-10	167	1	1.61E-10		
	核医学科	16.2	5.08E-03	2000	1	1.02E-02		
南侧停车场流动人群	核医学科	27.9	2.66E-03	2000	1/16	3.33E-04	3.33E-04	公众照射
北侧公园一路流动人群	核医学科	34.8	4.40E-04	2000	1/4	5.50E-05	5.50E-05	公众照射

备注：上述环境保护目标所受年剂量均为附加剂量值。由于一层核医学科进出口建筑方案不确定，屋顶预测按最不利情况，均未考虑覆土层对射线的屏蔽。因受到核医学科的屏蔽，核医学科东侧墙体外受到直线加速器和后装机射线影响可以忽略不计。南侧停车场和北侧公园一路处于放疗科射线装置所张立体角以外。

#### (4) 小结

综上所述，本项目投运后，评价范围内职业人员受到的附加有效剂量最大为 0.375mSv/a，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的职业人员 20mSv/a，且满足职业人员 5mSv/a 的剂量约束值；公众受到的附加有效剂量最大为 0.0538mSv/a，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的公众 1mSv/a 剂量限值，且满足公众 0.1mSv/a 的剂量约束值。

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和核医学科辐射场所最近的关注点可以代表最大可能辐射有效剂量。在项目投入运营后，放疗科和核医学科产生的X、 $\gamma$ 射线经混凝土墙体、铅门屏蔽和距离衰减，核医学科使用的核素随着时间衰变后，周围环境保护目标年受照剂量远低于预测剂量，对放疗科和核医学科内以及D楼周围公众影响更小。

## 5、 $\beta$ 表面沾污的防护措施

$\beta$ 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 $\beta$ 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 $\beta$ 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

#### 1) 衰变池的设置

医院拟建 2 个衰变池，设在 D 楼西南角地下，为三格并联结构。用于接收核医学科内 SPECT 诊断项目、PET 诊断、甲吸项目产生的放射性废水，含有的核素为  $^{131}\text{I}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 。其中，衰变池 1 有效容积为  $3 \times 27 = 81\text{m}^3$ ，用于存放核医学科产生的半衰期低于 24 小时的放射性废水（含有核素  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ ）；衰变池 2 有效容积为  $3 \times 27 = 81\text{m}^3$ ，用于存放核医学科产生的  $^{131}\text{I}$  放射性废水。

根据设计资料，本项目衰变池池底和四周池壁拟先刷 15mm 厚水泥砂浆保护层，再在保护层的基础上在池底刷 1.5mm 厚、四周刷 1.2mm 厚防水涂料，最后在防水涂料的基础上在池底采用 15~40mm 厚水泥砂浆找坡、四周池壁采用 20mm 厚水泥砂浆找平。建设单位应严格要求工程质量，衰变池池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀，放射性衰变池应加以密封，应有防雨、防渗和防漏的措施，确保放射性废水衰变池和放射性固体废物暂存间地面的达到等效黏土防渗层  $M_b \geq 6.0\text{m}$ ，渗透系数  $\leq 10^{-10} \text{cm/s}$ 。

#### 2) 衰变池 1 合理性分析

核医学科 PET 诊断区和 SPECT 诊断区废水均统一收集至 D 楼西南角衰变池 1。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，衰变池单格衰变池有效容积为  $27\text{m}^3$ ，总有效容积为  $3 \times 27 = 81\text{m}^3$  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），PET诊断和SPECT诊断患者每人每次每天用水定额取10L，核医学科内产生放射性废水患者最多35人，患者废水产生量约为0.35m<sup>3</sup>/d；每日对核医学科（不含甲查室）去污共产生废水约0.1m<sup>3</sup>/d；核医学科（不含甲查室）每日清洗废水应急废水约0.1m<sup>3</sup>/d。因此，核医学科（不含甲吸室）每天废水产生量为0.55m<sup>3</sup>/d，周产生放射性废水量为3.85m<sup>3</sup>/周。

本项目衰变池1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98d，根据《核医学辐射防护与安全要求》7.3.3.1中规定，PET诊断和SPECT诊断用核素最长半衰期为6.02h，半衰期小于24h，衰变池1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PET诊断和SPECT诊断放射性废水排入衰变池可行，衰变池容积能够满足放射性废水暂存30天的要求。能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）中关于“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”的规定。

医院应结合废水在衰变池1中的储存周期，制定每个月进行一次排水计划，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。

## 2) 衰变池2合理性分析

本项目甲吸检查废水均统一收集至D楼西南角衰变池2。甲吸检查用药量很小，且服药后立即离开医院，所以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，衰变池单格衰变池有效容积为9m<sup>3</sup>，总有效容积为3×9=27m<sup>3</sup>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），甲吸检查患者每人每次每天用水定额取10L，核医学科内产生放射性废水患者最多5人，患者废水产生量约为0.05m<sup>3</sup>/d；每日对甲吸室去污共产生废水约0.02m<sup>3</sup>/d；甲吸室每日清洗废水应急废水约0.02m<sup>3</sup>/d。因此，甲吸室每天废水产生量为0.09m<sup>3</sup>/d，周产生放射

性废水量为0.63m<sup>3</sup>/周。

本项目衰变池 2 为三级并联，偏保守的角度，甲吸检查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 200d。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 2 的容积满足放射性废水在衰变池 2 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，从注满第 1 格后开始考虑核素衰变。则废水的排放情况见下表。

表11-27 核医学科甲吸室放射性废水中核素活度

核素名称	日最大用量 (Bq)	体内核素日排入废水比例 (%)	单日衰变池核素最大排入量 (Bq)	注满1格衰变池核素活度 (Bq)
<sup>131</sup> I	1.85E+06	20	3.7E+05	3.7E+07

表11-28 衰变池2放射性废水中主要核素活度

核素名称	半衰期	注满1格衰变池核素活度 (Bq)	衰变时间 (d)	衰变后单次排放活度 (Bq)	衰变后单次排放浓度 (Bq/L)
<sup>131</sup> I	8.02d	3.7E+07	200	1.15E+00	4.73E-04

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 0.00047Bq/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β≤10Bq/L 的规定，也满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188—2021）中关于放射性废液排放的规定。

放射性废水衰变池 2 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 200 天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。

## （2）放射性固废

核医学科内共设置有1个放射性废物暂存间用于暂存放射性固废。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，核医学科年放射性固体废物的产生量为225kg。

此外，有放射性废气过滤装置更换下来的活性炭等，产生量约为75kg/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， $\alpha$ 表面污染小于0.08 Bq/cm<sup>2</sup>、 $\beta$ 表面污染小于0.8 Bq/cm<sup>2</sup>后，按医疗废物环境管理要求进行无害化处理，并报生态环境主管部门备案。医疗废物的转运，应严格按照卫健和生态环境主管部门的规定进行。

### (3) 放射性废气

核医学科产生的废气主要为放射性废气，放射性废气经排风系统引出经D楼顶15m高排气筒排放。

因甲吸检查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诊断项目使用放射性核素<sup>18</sup>F，因此PET分装室内通风橱考虑<sup>18</sup>F挥发产生的含放射性核素废气；SPECT诊断项目使用<sup>99m</sup>Tc，因此SPECT分装室内通风橱考虑<sup>99m</sup>Tc挥发产生的含放射性核素的废气。

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。本项目拟采用活性炭吸附装置+高效排风过滤器二级处理设施，去除效率为99%，每天操作核素时间约2h。本项目核医学科全年工作250d，假设人呼吸量为1.2m<sup>3</sup>/h。各场所的计算结果见下表。

表11-29 各场所排气口核素所致公众年吸入量预测结果

序号	所含核素名称	操作场所	年最大操作量 (Bq)	废气中含核素量 (Bq)	年排放总量 (Bq)	操作期间最小排风量 (m³/h)	排气口气溶胶浓度 (Bq/m³)	各排气管道致公众最大吸入量 (Bq)	公众年最大摄入量限值 (Bq)
1	通风橱 (不含 <sup>18</sup> F 备用)	<sup>99m</sup> Tc、 <sup>18</sup> F	5.46E+12	5.46E+09	1.64E+10	1500	7.28E+01	8.74E+01	9.92E+04
2	分装室、储源室、注射室、注射性废物暂存间	<sup>99m</sup> Tc、 <sup>18</sup> F	5.46E+12	5.46E+09		800	1.37E+02	1.64E+02	8.19E+04
3	其他区域	<sup>99m</sup> Tc、 <sup>18</sup> F	5.46E+12	5.46E+09		3000	3.64E+01	4.37E+01	2.18E+04

经计算，各场所排气口核素所致公众年吸入总量小于《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含<sup>18</sup>F气溶胶摄入量限值 $2.3 \times 10^6$ Bq，<sup>99m</sup>Tc气溶胶摄入量限值 $7.6 \times 10^6$ Bq。

本项目排气筒1#、排气筒2#、排气筒3#均位于D楼楼顶，排气筒距离地面高度均为15m，朝向北侧排放，在排气口附近无公众长期停留，且远离东侧肿瘤专科A楼和南侧停车场。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11-30 排气口气溶胶中核素所致公众受照预测结果

序号	操作场所	所含核素名称	各排气管道致公众最大吸入量 (Bq)	核医学科排气筒最大贡献量 (Bq)	摄入量所致待积有效剂量转换因子 (Sv/Bq)	气溶胶致公众年受照总剂量 (mSv/a)
1	通风橱 (不含 <sup>18</sup> F 备用)	<sup>99m</sup> Tc、 <sup>18</sup> F	9.92E+04	2.03E+05	2.80E-11	5.68E-06
2	分装室、储源室、注射室、注射性废物暂存间	<sup>99m</sup> Tc、 <sup>18</sup> F	8.19E+04			
3	其他区域	<sup>99m</sup> Tc、 <sup>18</sup> F	2.18E+04			

注：以摄入量所致待积有效剂量转换因子较大的<sup>18</sup>F计算

经计算，气溶胶中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。

活性炭吸附+高效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**

本项目运行期间产生的生活污水排入院区污水处理站进行处理，院区污水处理站与西充县城南医疗康养中心（县人民医院城南院区）项目主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。本项目是为主体工程配套的核技术利用项目，因此，投运时间晚于院区污水处理站。本项目核医学科运行期间产生的生活污水经医院污水处理站预处理达标后，经市政污水管网进入西充县污水处理厂处理，对项目所在地水环境影响较小。

### **2) 大气环境影响分析**

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O<sup>3</sup>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**

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 2 枚  $^{68}\text{Ge}$  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 $\gamma$ 射线对周围环境的影响。校准状态时，使用场所在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  $^{192}\text{Ir}$  共计 1 枚，放射源活度为  $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ，按其出厂活度划分，属于Ⅲ类放射源， $^{192}\text{Ir}$  衰变时会释放 $\beta$ 和 $\gamma$ 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人员在负一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、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；

2、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2台，分别为1台PET/CT、1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  $^{192}\text{Ir}$  放射源，其主要风险因子为 $\gamma$ 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 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\gamma$ 射线，由于 $\alpha$ 、 $\beta$ 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 $\gamma$ 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 11-31 中。

**表11-31 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11-32）：

**表11-32 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3min。

## 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 11-33 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)**

时间 (s) \ 距离 (m)	5	10	20	40	90	180
1	0.50	1.00	2.00	4.00	9.00	18.0
2	0.13	0.25	0.50	1.00	2.25	4.50
3	0.06	0.11	0.22	0.44	1.00	2.00
4	0.03	0.06	0.13	0.25	0.56	1.13

## 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 11-31、11-32，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 1m 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 10 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 11-34 事故状态下主射方向不同时间、距离处有效剂量情况表 (mSv)**

时间 (s) \ 距离 (m)	1	2	3	5	7	10
1	100	200	300	500	700	1000
2	25	50	75	125	175	250
3	11.11	22.22	33.33	55.55	77.78	111.1
4	6.25	12.5	18.75	31.25	43.75	62.5

### 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1m处10秒钟的辐射影响，其有效剂量为1Sv/次，根据表11-31、11-32，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、后装机情景假设事故的后果计算

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 11-35 后装机内放射源随不同时间、距离处有效剂量情况表 (mSv)

时间(min) 距离	0.5	1	2	5	10	15	30	1450
0.5	1.4	2.7	5.5	1.4E+01	2.7E+01	4.1E+01	8.2E+01	4.0E+03
1	3.4E-01	6.8E-01	1.4	3.4	6.8	1.0E+01	2.1E+01	9.9E+02
2	8.6E-02	1.7E-01	3.4E-01	8.6E-01	1.7	2.6	5.1	2.5E+02
5	1.4E-02	2.7E-02	5.5E-02	1.4E-01	2.7E-01	4.1E-01	8.2E-01	4.0E+01

### (1) 放射源丢失、被盗

参照表11-31，本项目放射源丢失、被盗可造成较大辐射事故。

### (2) 人员在负一层后装机机房误照射事故

在假设事故情况下，人员误入后装机房内，与放射源距离大于等于1m，控制室内技师在2min内发现并立即停止放射治疗，受到最大有效剂量为1.4mSv/次，其有效剂量将超过人员年剂量限值（1mSv），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27mSv/次，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，最大可造成较大辐射事故。

## (二) 核医学科

### 1、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  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$  三种放射性核素，事故情况假设以上三种放射性核素发生丢失或药物泼洒，发生事故时放射性核素的活度为  $^{18}\text{F}$  ( $1.67 \times 10^{10}\text{Bq}$ )、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  ( $1.63 \times 10^{10}\text{Bq}$ )、 $^{131}\text{I}$  ( $1.85 \times 10^6\text{Bq}$ )。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 11-34。

表 11-34 放射性核素丢失或泼洒后不同时间内个人受照剂量表

核素	辐射剂量率 (mSv/h)	各事故持续时间段 $\gamma$ 射线所致最大辐射有效剂量 (mSv)				
		10min	30min	60min	90min	120min
$^{18}\text{F}$	5.97E+01	9.95E+00	2.99E+01	5.97E+01	8.96E+01	1.19E+02
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1.23E+01	2.06E+00	6.17E+00	1.23E+01	1.85E+01	2.47E+01
$^{131}\text{I}$	6.61E-03	1.10E-03	3.31E-03	6.61E-03	9.92E-03	1.32E-02

## (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。

## 2、校准源丢失、被盗、失控

### (1) 事故情景假设

- ①1 枚  $^{68}\text{Ge}$  校准源丢失、被盗、失控；活度最大为  $7.4 \times 10^7\text{Bq}$ ；
- 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 0.64mSv/次，超过公众外照射年剂量限值。

### (3) 事故等级

根据表 11-29，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**

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CT机房内被误照射，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130- 2020）表E.2 典型成年受检者常见CT检查项目的辐射剂量和诊断参考水平可知，最大CTDIvol为60mGy/次，则机房内误入/误照射人员所受的X射线辐射剂量率最大为60mSv/次，超过公众外照射年剂量限值，事故等级为一般辐射事故。

## **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，设置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<sup>192</sup>Ir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）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2台，均为低危险射线装置，发生事故时一般不会对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

西充县人民医院已成立了辐射安全与环境保护管理领导小组，对全院的辐射安全管理工作进行管理，并于 2022 年 3 月调整了辐射安全与环境保护管理领导小组（[2022]35 号）（见附件 4）

#### 1、领导小组文件已包含内容：

领导小组成员如下：

组 长：李扬帆 院长

副组长：罗宗怀 副院长

刘小莉 副院长

成 员：蒲洪山、张晓波、张碧芬、范志伟、曹坤明、杨逸敏、李明、任旭东、曲辉、张鹏群

辐射安全与环境保护管理领导小组办公室下设于后勤管理科,负责医院辐射安全与环境保护相关工作的协调与处理。

领导小组的主要职责：

（1）组织贯彻落实国家和地方政府有关辐射安全与环境保护工作的方针、政策。

（2）组织制定和完善放射源、非密封放射性物质和射线装置管理制度和操作规程,监督检查各项规章制度的执行,督促整改辐射事故隐患。

（3）定期召开会议,听取辐射安全与环境保护工作情况汇报,讨论决定辐射安全与环境保护工作中的重大问题和采取的措施。

（4）组织开展放射源、非密封性物质和射线装置安全检查活动,组织处理、通报事故。

领导小组下设工作小组，成员如下：

组 长：蒲洪山 医学影像科主任

副组长：张晓波 后勤管理科科长

成 员：曲辉、张鹏群、张碧芬、范志伟、杨逸敏、任旭东

### **工作小组的主要职责：**

(1) 遵守放射性同位素或射线装置各项规章制度,严格执行其操作规程,坚持原则,制止使用违章操作等行为。检查、督促本科室(或部门)人员正确使用放射性安全防护用品,做好辐射安全防护设备设施的管理及日常维护保养工作,做好三类仪器的工作人员培训。

(2) 检查工作设备及岗位辐射安全生产情况,落实预防辐射事故安全措施。发现隐患及时组织整改,暂时不能整改的应采取防范措施,并立即向上级报告。

(3) 发生辐射安全事故后立即向上级报告,要及时采取措施,迅速识别辐射事故现场危害因素,采取相应的辐射防护措施组织抢救并保护好现场。

### **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；

②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；

③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、目前医院现共有辐射工作人员35名,均已经参加了辐射安全与防护培训,取得了培训合格证。本项目共涉及辐射工作人员37名,均为新增辐射工作人员。

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	执行情况	备注
1	辐射安全与环境保护管理机构文件	已制定	—
2	辐射工作场所安全管理规定	已制定	—
3	辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定,需完善	应明确“个人剂量档案须终身保存”、“个人剂量计配戴位置”
4	辐射工作设备操作规程	已制定,需完善	需悬挂于辐射工作场所墙上，明确医用直线加速器、PCET/CT、SPECT/CT、后装机工作流程及设备的操作程序，除此之外还应包括核医学科去污规程
5	辐射工作人员岗位职责	已制定,需完善	需悬挂于辐射工作场所墙上，明确医院具体的辐射管理工作，辐射管理人员的相关职责及分工
6	监测仪表使用与校验管理制度	已制定,需完善	需根据新增项目完善
7	放射源与射线装置台账管理制度	已制定，需完善	需增加直线加速器、后装机及放射源管理台账
8	分区管理制度	已制定,需完善	需增加医用直线加速器、后装机医护人员和患者通道；需增加核医学科应包含医护通道、患者通道和药物通道；需补充本项

			目新增场所两区划分管理要求
9	质量保证大纲和质量控制检测计划	已制定，需完善	需补充受检者非照射部位所采取的辐射防护措施
10	辐射安全防护设施维护维修制度	已制定，需完善	需增加明确医用直线加速器、后装机的维修过程
11	辐射工作人员培训制度	已制定，需完善	需补充参加辐射安全与防护专业知识的学习、考核的要求及频次
12	辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	已制定，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
13	辐射事故预防措施及应急处理预案	已制定，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
14	放射性“三废”管理规定	本次制定	内容应包括放射性废气、放射性废水、放射性固体废物（包括废放射源）的处理处置
15	放射源管理制度	本次制定	内容应包括更换、返回、送贮过程的责任划分

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，西充县人民医院委托了西弗测试技术成都有限公司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- $\gamma$ 辐射剂量当量率超过 2.5 $\mu$ Sv/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，西充县人民医院全院现共有 35 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，进行了个人剂量检测工作，医院提供了全院连续四个季度个人剂量统计表，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- $\gamma$ 辐射剂量率、中子剂量率、总 $\beta$ 、 $\beta$ 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	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	机房墙外 30cm 处、技师操作位、防护门外、机房正上方
核医学科	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、注射室、抢救室、留观室、放射性废物暂存间、SPECT/CT 机房、SPECT 候诊室、患者专用卫生间，甲吸室、PET/CT 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	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、注射室、抢救室、留观室、放射性废物暂存间、SPECT/CT 机房、SPECT 候诊室、卫生间，甲吸室、PET/CT 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	衰变池排放口
	放射性废气中总β	验收监测 1 次	核医学科废气排放口（排气筒 1#、排气筒 2#、排气筒 3#）

(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：西充县城南医疗康养中心（县人民医院城南院区）辐射工作场所

建设单位：西充县德恒医疗投资有限责任公司

建设性质：新建

建设地点：西充县常林镇石板河社区张澜路西充县城南医疗康养中心（县人民医院城南院区）拟建 D 楼

本项目建设内容与规模为：医院拟在 D 楼负一层 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；拟在负一层后装机机房内使用 1 台后装机，在后装机内使用  $^{192}\text{Ir}$  放射源 1 枚，总装源活度为  $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$ （属 III 类放射源），直线加速器和后装机均用于放射治疗；拟在 D 楼一层核医学科使用放射性核素  $^{99\text{m}}\text{Mo}$ （钼钨发生器）用于制备放射性核素  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，并使用放射性核素  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$  用于显像诊断，使用放射性核素  $^{131}\text{I}$  用于甲吸检查，使用放射性核素  $^{125}\text{I}$  用于放免分析，配套使用 1 台 SPECT/CT、1 台 PET/CT 机（均为 III 类射线装置），使用 2 枚  $^{68}\text{Ge}$ ，活度为  $5.5 \times 10^7\text{Bq} \times 1$  枚 +  $7.4 \times 10^7\text{Bq} \times 1$  枚（V 类放射源）用于校准。核医学科工作场所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 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

本项目位于西充县城南医疗康养中心（县人民医院城南院区）拟建 D 楼内，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

根据四川同佳检测有限责任公司的监测报告，项目所在地的 $\gamma$ 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 $\beta$ 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《西充县城南医疗康养中心（县人民医院城南院区）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 D 楼负一层放疗科的职业人员受年附加有效剂量和公众受年附加有效剂量均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“一般情况下，从事放射治疗的工作人员职业照射的剂量约束值为 5mSv/a，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。

##### （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，周围公众的年最大附加有效剂量均满足《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 5 mSv/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，公众年最大有效剂量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 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 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到D楼楼顶，通过排气筒4#（离地高度15m）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（ $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ ）的要求。

### (2) 核医学科对大气的影响分析

本项目核医学科通风橱产生的废气通过专用排风管道引出到D楼楼顶，采用活性炭吸附装置+高效排风过滤器二级处理设施进行处后由排气筒1#（离地高度15m）排放；分装室、储源室、注射室和放射性废物暂存间产生的废气共用一根排风管道引出到D楼楼顶，采用活性炭吸附装置+高效排风过滤器二级处理设施进行处后由排气筒2#（离地高度15m）排放；核医学科其他区域产生的废气共用一根排风管道引出到D楼楼顶，采用活性炭吸附装置+高效排风过滤器二级处理设施进行处后由排气筒3#（离地高度15m）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，D楼内放疗科、核医学科对周围环境的影响是可接受的，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。核医学科内放射性废水通过铅皮包裹的管道排入衰变池中衰变1个

月后，直接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；核医学科产生的放射性废物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；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，本项目在西充县常林镇石板河社区张澜路西充县城南医疗康养中心（县人民医院城南院区）拟建 D 楼内建设是可行的。

## 建议和要求

1、本项目涉及的放射性核素  $^{99}\text{Mo}$ 、 $^{18}\text{F}$ 、 $^{131}\text{I}$  等均需购买自有相应核素销售资质的单位。

2、建设单位应加强与周边公众的沟通，做好解释协调工作。

3、落实本报告中的各项辐射防护措施和安全管理制度的。

4、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。

5、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。

6、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。

7、医院须重视控制区和监督区的管理。

8、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。

9、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。

10、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。

11、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。

12、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。

13、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。