

编号：ZFHK-FB18220134

核技术利用建设项目

成都华霖蓉北医院

新增核医学科及医用电子直线加速器建设项目

环境影响报告表

(公示稿)

成都华霖蓉北医院有限公司

2019年10月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

成都华霖蓉北医院

新增核医学科及医用电子直线加速器建设项目

环境影响报告表

建设单位名称：成都华霖蓉北医院有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：四川省成都市金牛区蓉北商贸大道二段 189 号

邮政编码：610000

联系人：

电子邮箱：

联系电话：

编制单位和编制人员情况表

建设项目名称	成都华霖蓉北医院新增核医学科及医用电子直线加速器建设项目		
环境影响评价文件类型	环境影响评价报告表		
一、建设单位情况			
建设单位（签章）	成都华霖蓉北医院有限公司		
法定代表人或主要负责人（签字）			
主管人员及联系电话			
二、编制单位情况			
主持编制单位名称（签章）	中辐环境科技有限公司		
社会信用代码	91330000MA27U0414T		
法定代表人（签字）			
三、编制人员情况			
编制主持人及联系电话	李亚飞 0571-87889666		
1.编制主持人			
姓名	职业资格证书编号	签字	
李亚飞	00016672		
2.主要编制人员			
姓名	职业资格证书编号	主要编写内容	签字
李亚飞	00016672	项目基本情况、评价依据、保护目标与评价标准、环境质量与辐射现状、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理、结论与建议护	
四、参与编制单位和人员情况			
无			

环评项目负责人职业资格证书（复印件）



目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	10
表 3 非密封放射性物质	10
表 4 射线装置	10
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	12
表 6 评价依据	13
表 7 保护目标与评价标准	15
表 8 环境质量和辐射现状	18
表 9 项目工程分析与源项	24
表 10 辐射安全与防护	34
表 11 环境影响分析.....	53
表 12 辐射安全管理	72
表 13 结论与建议	94
表 14 审批	100

表 1 项目基本情况

建设项目名称		成都华霖蓉北医院新增核医学科及医用电子直线加速器建设项目			
建设单位		成都华霖蓉北医院有限公司			
法人代表		余英	联系人		联系电话
注册地址		成都市金牛区蓉北商贸大道二段 189 号			
项目建设地点		成都市金牛区蓉北商贸大道二段 189 号院内地下一层			
建设项目总投资 (万元)		3000	项目环保投资 (万元)	60	投资比例 (环保投资/总投资)
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积(m ²)
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 type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input 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 type="checkbox"/> 乙 <input checked="" type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
<input checked="" type="checkbox"/> 使用		<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类			
其他	/				

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位情况

成都华霖蓉北医院是新成立的一家民营三级综合医院，于 2018 年 8 月 1 日取得成都市卫生和计划生育委员会设置医疗机构批准书（成卫计行审[2018]10 号）。医院位于成都市金牛区蓉北商贸大道二段 189 号，租用成都华霖商贸有限责任公司商业用房 A 座（-3F~23F）及裙楼（1F~4F），租赁面积为 41500m²。成都华霖商贸有限责任公司商业用房、绿化工程及附属设施项目总建筑面积 57865.11m²，该项目于 2015 年 7 月 31 日取得了成都市环境保护局《关于成都华霖商贸有限责任公司商业用房、绿化工程及附属设施项目环境影响报告表的审查批复》（成环建评[2015]212 号）。除本项目租赁面积外，B 座（5 层以上）剩余 16365.11 m² 作为写字楼对外出售。

《成都华霖蓉北医院环境影响报告书》已于 2019 年 1 月 24 日取得成都市生态环境局批复，同意将租赁用房装修改造为医疗综合楼，其中地下三层为机动车库；地下二层

设置机动车库、医疗废物暂存间、压缩空气机房、负压吸引机房等；地下一层设置营养食堂、物资库房、核医学科、放射科等；1F~23F为医院各科室门诊、病房等。

本项目为医院新增核医学科和医用电子直线加速器，位于医院地下负一层，属于《成都华霖蓉北医院环境影响报告书》批复内容，目前医院正在对租赁用房进行装修改造，尚未建成投产。

1.1.2 项目由来

为推动全市优质医疗资源共享，提高全市医疗服务能力，更好惠及全市人民群众，并提高医疗机构的医学影像诊断技术能力和服务水平，满足患者的诊疗需要，成都华霖蓉北医院拟在医疗综合楼地下负一层建设核医学科工作场所和新增1台医用电子直线加速器。拟在地下负一层建设1间加速器机房，购置1台10MV医用直线加速器，配套1台CT模拟定位机；核医学科新增1台PET-CT，使用 ^{18}F 放射性同位素用于显像诊断， ^{18}F 日等效最大操作量为 $7.40\times 10^6\text{Bq}$ ，为丙级非密封放射性物质工作场所，PET-CT为III类射线装置，其中衰变池拟设置在地下负二层，放射性废水在衰变池经贮存10个半衰期后，将由提升泵提升至已建成的医院污水处理系统进一步处理。

为加强辐射环境管理，防止放射性污染和意外事故的发生，确保非密封放射性物质和射线装置的使用不对周围环境和工作人员及公众产生不良影响，根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素和射线装置安全和防护条例》的规定和要求，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》（环境保护部令第44号）及《关于修改〈建设项目环境影响评价分类管理名录〉部分内容的决定》（生态环境部令第1号）中规定，本项目应编制环境影响报告表，并在环评批复后及时向四川省生态环境厅申领辐射安全许可证。

为保护环境，保障公众健康，成都华霖蓉北医院有限公司委托中辐环境科技有限公司对该项目进行辐射环境影响评价。评价单位在现场踏勘和收集有关资料的基础上，并结合项目特点，按照《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）等规定要求编制了本环评报告表，供环保审批部门审查。

1.2 项目概况

1.2.1 项目名称、性质、建设地点

(1) 项目名称：成都华霖蓉北医院新增核医学科及医用电子直线加速器建设项目

(2) 建设单位：成都华霖蓉北医院有限公司

(3) 建设性质：新建

(4) 建设地点：四川省成都市金牛区蓉北商贸大道二段 189 号

1.2.2 项目建设内容与建设规模

1.2.2.1 直线加速器建设内容及规模

本项目加速器拟建于医疗综合楼负一层北侧，为新建机房。直线加速器用房建筑面积为约 175m²，由加速器机房、控制室及水冷机房组成，其中加速器机房有效面积 68.3m²（不含迷道），控制室面积约 15.8m²，水冷机房面积约 48.7m²。

加速器机房南侧拟新建模拟定位机房，新增 1 台 CT 模拟定位机位用于加速器治疗前的定位，CT 机房有效面积为 40.3m²，控制室面积为 19.1m²。

加速器机房各墙体为现浇混凝土屏蔽，主屏蔽墙为南侧墙、北侧墙体及顶棚，东侧墙体为次屏蔽墙。南墙主屏蔽为 3000mm 混凝土，屏蔽长度为 4000mm，次屏蔽为 1800mm 混凝土，长度为 10800mm；北墙主屏蔽为 2900mm 混凝土，屏蔽长度为 4000mm，次屏蔽为 1700mm 混凝土，屏蔽长度为 17600mm；顶棚主屏蔽为 2800mm 混凝土，屏蔽长度 4000mm，次屏蔽为 2050mm 混凝土，长度为 13900mm；东侧次屏蔽墙为 1600 混凝土，长度为 11800mm；西侧迷道内墙为 1300mm 混凝土，长度为 8500mm，迷道外墙为 1500mm 混凝土，长度为 12700mm；防护门为 20mm 铅板+150mm 含硼 5%的聚乙烯材料。加速器楼下为封闭空间。

CT 机房四侧墙体为 370mm 页岩实心砖墙，防护门为内衬 4mm 厚铅板，观察窗为 4mmPb 当量铅玻璃。顶棚为 120mm 混凝土+2mmPb 当量硫酸钡防护涂料，地坪为 180mm 混凝土+1mmPb 当量硫酸钡防护涂料。

新增射线装置参数等情况见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 直线加速器装置情况表

装置名称	型号	数量	安装位置	最大能量	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	类别	备注
直线加速器	待定	1 台	医疗综合楼地下负一层	X 射线能量： 10MV 电子线能量： 22MeV	距靶 1m 处的主束辐射剂量率为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$	II 类	新增

表 1-2 CT 模拟定位机情况表

装置名称	型号	数量	安装位置	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	类别	备注
CT	待定	1 台	医疗综合楼地下负一层	140	800	III 类	新增

1.2.2.2 核医学科建设内容及规模

本项目核医学科拟建于医疗综合楼负一层南端，建筑面积约为 445m²，为新建场所，拟新增 1 台 PET-CT，使用放射性核素 ¹⁸F 用于显像诊断。核医学科建设内容包括 PET-CT 扫描间 46.6m²、控制室 14.3m²、注射室（含储源室）15.3m²、废物间 5.8m²、1 号注射后休息室（含专用卫生间）18.8m²、2 号注射后休息室（含专用卫生间）21.3（m²）、留观室（含专用卫生间）16.2m²、患者通道 44.2m²，配套建设候诊大厅、卫生通过间等辅助工作场所。放射性废水处理设施为三个并联衰变池组成，设置于核医学科楼下负二层。衰变池为 300mm 厚混凝土结构，总有效容积为 12.5m³，衰变池设置在 240mm 砖墙房内。

核医学工作场所各侧墙体为 370mm 页岩实心砖墙+3mmPb 当量硫酸钡防护涂料，地坪为 180mm 混凝土+3mmPb 当量硫酸钡防护涂料，顶棚为 120mm 混凝土+3mmPb 当量硫酸钡防护涂料（局部为 5mmPb 硫酸钡防护涂料），防护门为 8~10mm 的铅板，观察窗为 10mmPb 当量铅玻璃。

PET-CT 扫描间拟安装 1 台 PET-CT，型号待定，属 III 类射线装置，用于恶性肿瘤早期诊断。PET-CT 使用显像剂 ¹⁸F-FDG，PET-CT 使用 ¹⁸F 日最大操作量为 7.40×10⁹Bq，日等效操作量为 7.40×10⁶Bq，年用量 1.85×10¹²Bq，属于丙级非密封放射性物质工作场所。PET-CT 的 CT 部分最大管电压 140kV，最大管电流为 420mA。本项目 PET-CT 拟配置校准源，由于 PET 型号未定，校准源枚数及活度暂未确定，因此本环评不做进一步评价。待医院确定校准源枚数及活度，投入使用前应在建设项目环境影响登记备案系统登记备案。

本项目主要组成内容及可能产生的环境问题见表 1-3。

表 1-3 项目组成及主要的环境问题表

名称	建设内容及规模		可能产生的环境问题	
			施工期	运营期
主体工程	核医学科工作场所	建筑面积约为 445m ² ，为新建场所，包括 PET-CT 扫描间、注射室、1 号及 2 号注射后休息室；留观室；废物间、患者通道等。拟在 PET-CT 扫描间内安装一台 PET-CT，额定管电压为 140kV，额定管电流为 420mA，属于 III 类射线装置；并使用 ¹⁸ F 非密封放射性物质，日最大操作量为 7.40×10 ⁹ Bq（200mCi），最大年用量为 1.85×10 ¹² Bq（50Ci）。核医学科工作场所计划日等效最大操作量 7.40×10 ⁶ Bq，属于丙级非密封放射性物质工作场所。	施工噪声、施工废水、扬尘、建筑垃圾，设备包装固废、射线装置安装调试阶段产生 X 射线等	X 射线、γ 射线、放射性废水、放射性固废、β 表面污染、放射性废气
	直线加速器	加速器机房（含迷道）建筑面积约为 175m ² ，新增 1 台直线加速器，属于 III 类射线装置；直线加速器 X 射线最大能量为 10MV，电子束最大能量为 22MeV，距靶 1m 处的主束辐射剂量率为 1.44×10 ⁹ μGy·m ² /h。		X 射线、电子射线、臭氧和氮氧化物
	模拟定位机	CT 机房有效面积 40.3m ³ （6.5m×6.2m），新增 1 台 CT 模拟定位机，最大管电压 140kV，最大管电流 800mA。		X 射线
辅助工程	核医学科工作场所	卫生通过间；扫描间控制室；候诊大厅等辅助工作场所。	施工噪声、施工废水、扬尘、建筑垃圾，设备包装固废、射线装置安装调试阶段产生 X 射线等	/
	直线加速器	加速器机房控制室，面积约为 15.8m ² 。水冷机房 48.7m ² 。		
	模拟定位机	控制室 19.1m ² 。		
环保设施	<p>◆放射性废水处理设施：新建 3 个并联混凝土结构衰变池（总有效容积为 12.5m³），位于核医学科楼下负二层；设置在 240mm 砖墙房内。</p> <p>◆放射性固废收集设施：注射后休息室、注射室各设 1 个容积 10L，10mmPb 当量的脚踏式铅桶；设污物间，污物间设 1 个 10mmPb 当量的衰变铅箱。</p> <p>◆废气处理设施：核医学科通风橱单独设置通风管道，风速不低于 1m/s，活性区域设置独立通风管道，总风量为 2000m³/h；废气经高效过滤器+活性炭过滤装置二级处置后由医疗综合楼楼顶排放。加速器机房排风量为 18000m³/h，废气管道接地下车库原有排放系统。</p> <p>◆放射性废水经衰变池衰变后依托医院医疗废水处理站进一步处理后纳入市政污水管网；放射性废物经铅桶衰变后依托医院医疗废物暂存间等处理设施进一步处理。</p>		γ 射线、放射性废水、放射性固废、β 表面污染、放射性废气	
公用工程	配电、供电和通讯系统等依托医疗综合楼现有设施；医疗废物库位于医疗综合楼负二层。医院综合废水处理站位于医疗综合楼西北角，采用“预处理+生化处理+二氧化氯消毒”工艺，设计处理能力 250m ³ /d。		生活垃圾，生活废水	
办公生活设施	医生办公室等		生活垃圾，生活废水	

1.2.3 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 1-4。

表 1-4 主要原辅材料及耗能情况

类别	名称	使用量	来源	主要化学成分
主要原辅材料	^{18}F	年用量为 $1.85 \times 10^{12}\text{Bq}$	有资质供货单位	-
能源	煤(T)	-	-	-
	电(kW)	50000 度	市政网络	
	气(Nm^3)	-	-	-
水量	地表水	$512.5\text{m}^3/\text{a}$	市政管网	-
	地下水	-	-	-

1.2.4 本项目所涉及的医用射线装置

本项目涉及医用射线装置的情况见表 1-5。

表 1-5 本项目射线装置清单

序号	装置名称	型号	生产厂家	设备参数	管理类别	使用场所
1	PET-CT	待定	待定	140kV/420mA	III 类	PET-CT 扫描间
2	医用电子直线加速器	待定	待定	距靶 1m 处的主束辐射剂量率: $2400\text{cGy}/\text{min}$ (即 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$) 最大能量: 10MV	II 类	直线加速器机房
3	CT 模拟定位机	待定	待定	140kV/800mA	III 类	CT 机房

1.2.5 本项目医用核素及使用一览表

本项目使用医用核素及其特性见表 1-6 和表 1-7。

表 1-6 本项目涉及核素特性

使用核素	半衰期	衰变方式(分支比/%)	粒子强度 /MeV(强度/%)	主要 γ 射线能量 /MeV (强度)
^{18}F	109.8min	EC (3.27) β^+ (96.73)	0.64	0.511

表 1-7 本项目使用核素诊疗用药情况

使用核素	物理状态	诊断治疗项目	每天最大诊断人次	年治疗人数	使用最大量	给药方式
^{18}F	液体	糖代谢、全身肿瘤诊断	20 人	5000 人	$3.7 \times 10^8\text{Bq}/\text{人次}$ (10mCi)	静脉注射

1.2.6 核医学科使用核素及工作场所分级

本项目核医学科位于医疗综合楼负一层的南侧，新增 1 台 PET-CT，使用 ^{18}F 核素用于显像诊断。整个核医学科工作场所用房相对独立，整个诊断流程连续完整，有相对

独立的辐射防护措施，有明确的监督区和控制区划分，且人流及物流具有自己的独立通道，不与其他人流交叉。因此，可认为核医学科工作场所为一个独立的非密封放射性物质工作场所。

PET-CT 使用核素 ^{18}F 进行扫描显像检查。本项目核医学科计划每日最大诊断 20 人次，年工作 250 天，因此每年治疗人数为 5000 人，每人每次最大用药量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，则日最大操作量 $7.40 \times 10^9 \text{Bq}$ 。根据 GB18871-2002 非密封源工作场所的分级原则，经计算核医学科工作场所日等效最大操作量 $7.40 \times 10^6 \text{Bq}$ ，属于豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7 \text{Bq}$ 的范围，故本项目核医学科工作场所属于丙级非密封放射性物质工作场所。计算表见表 1-8。

表 1-8 工作场所分级计算表

工作场所	核素名称	计划最大日操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	计划日等效最大操作量 (Bq)	分级
核医学科工作场所	^{18}F	7.40×10^9	0.01	10	7.40×10^6	丙级

注：根据环办辐射函[2016]430 号规定：医疗机构使用 ^{18}F 相关活动视为“很简单的操作”，操作方式修正因子取 10； ^{18}F 为低毒，毒性修正因子取 0.01。

1.2.7 工作人员配置情况

工作制度：年工作日 250d，每天工作 8h。医院定岗定责，不存在剂量叠加问题。

人员配置：本项目拟配置辐射工作人员 18 人，均为新增人员。其中直线加速器工作人员 6 人（医生 2 人，技师 2 人，物理师 2 人），分两组，轮班上岗；核医学科工作人员 8 人，其中分装注射 2 人，显像诊断医生 2 人，技师 2 人，护士 2 人，分两组轮班上岗。CT 模拟定位机工作人员 2 人，医生和技师各 1 人。

医院安排辐射工作人员在上岗前参加辐射安全与防护初级培训，并取得培训合格证书，持证上岗。医院可根据承担诊疗、教学科研任务、开展的项目和工作量等实际情况适当增减人员编制。

本项目直线加速器及 CT 模拟定位机由放射科进行管理；PET-CT 显像诊断由核医学科进行管理，设备维护工作由设备科统一管理。

1.3 本项目产业政策及实践的正当性

本项目为核与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（2011 年本）（修正）》（国家发展改革委 2013 年第 21 号令），本项目属鼓励类第六项“核能”第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”项目，符合国家产业政策。

本项目实施目的在于开展放射诊疗工作，最终目的是为了治病救人，实践过程采取了可能的辐射防护措施，在受检者得到预期诊疗效果的同时，对周围环境、公众的辐射危害满足国家辐射防护安全标准的要求，其获得的利益远大于辐射所造成的损害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

1.4 本项目选址、外环境关系、布局合理性及实践正当性分析

1.4.1 外环境关系分析

（1）医院外环境关系

本项目位于成都市金牛区蓉北商贸大道二段189号，租赁成都华霖商贸有限责任公司部分商业用房改建成医疗综合楼。医疗综合楼东侧为蓉北商贸大道及在建地铁5号线（地铁距地下室边界为5m），隔路40m处为西部医院集团；南侧为宏达加油站；西侧隔内部道路（有围墙）邻芙蓉幸福彼岸小区，距离其住宅楼最近为13m；北侧5m为城市绿化带沙河公园。医院地理位置详见附图1，周边环境概况详见附图2。

（2）项目外环境关系

本项目直线加速器机房及模拟定位机房位于医疗综合楼负一层北侧。加速器机房东侧5m为蓉北商贸大道和在建地铁5号线，隔路45m为西部医院集团；南侧15m为放射科机房及候诊区；西侧紧邻消防水池，距离西侧最近幸福彼岸小区居民楼约62m；北侧为土层，北侧地面为沙河公园；楼上为中心花园及内部道路；楼下为封闭空间。

直线加速器机房实体屏蔽体外50m范围主要为医院内部建筑、沙河公园、道路（在建地铁）及周边企业，无居民楼等敏感点。

本项目核医学科位于医疗综合楼负一层南侧。东侧7m处为蓉北商贸大道和在建地铁5号线，隔路47m为西部医院集团；南侧为车道，隔车道8m为B座写字楼，加油站距离核医学科边界为60m；西侧为排风井和排风机房，距离核医学科边界35m为幸福彼岸小区居民楼；北侧为库房，隔库房15m为营养食堂，再北侧为放射科；核医学科楼上为急诊大厅和急诊诊室，楼下为地下车库。

项目核医学科工作场所实体屏蔽体外50m范围内主要为医院内部建筑、道路（在建地铁）、周边企业及西侧的幸福彼岸小区，周围制约因素较少。

（3）项目布局合理性分析

①加速器机房布局

加速器用房主要由加速器机房、控制室、水冷机房组成。加速器机房由治疗室和迷道组成。控制室位于治疗室南侧，与治疗室分离，机房治疗室的设计有效使用面积 68.3m²（不含迷道）；治疗室西侧为迷道，迷道口设有防护门；有用线束向北墙、南侧、地面及屋顶照射。加速器机房布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定及《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“新建治疗室不应小于 45m²”、“治疗室入口处必须设置防护门和迷道”等规定，因此加速器机房布局是合理的。

②核医学科工作场所布局

本项目核医学科工作场所拟设置卫生通过间、PET-CT控制室、PET-CT扫描间、注射室（含储源室）、废物间、2 间注射后休息室（含专用卫生间）、留观室等工作用房。

本项目核医学科工作场所位于地下负一层的南端，PET扫描间与控制室分开，并设置有观察窗观察病人，布局合理。控制区走廊出入口防护门设置有单向门禁系统，设有患者专用出口通道和放射源专用通道，满足GBZ120-2006“控制区内走廊应避免无关人员通过。控制区除医务人员外，其他无关人员不得入内，患者也不应随便离开该区。”的要求。核医学科工作场所药物分装注射与扫描检查分开，注射后休息室内设有注射后病人专用卫生间，满足《临床核医学卫生防护标准》（GBZ120-2006）中关于临床核医学工作场所对于布局的要求以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GBZ11930-2010）中关于安全操作的要求。

环评认为，本项目辐射工作场所PET-CT机房和配套房间集中布置，相对独立且人流较少，降低了公众受到照射的可能性，且周围无明显环境制约因素。从便于放射诊疗工作、便于辐射安全管理 的角度而言，项目平面布局是合理的。

1.5 原有核技术利用许可情况

成都华霖蓉北医院为新建医院，本项目为医院首次开展核技术利用项目，无原有核技术利用项目。

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	生产或使用场所	贮存方式与地点
1	¹⁸ F	液态低毒半衰期109.8min	使用	7.40×10 ⁹	7.40×10 ⁶	1.85×10 ¹²	显像诊断	很简单操作	医疗综合楼负一层核医学科	按需订购，储源室暂存

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	装置名称	类别	数量	型号	加速粒籽	最大能量 (MeV)	活动种类	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用电子直线加速器	II类	1	待定	电子	X射线：10 MV 电子线能量：22MeV	使用	距靶 1m 处的主束辐射剂量率为 2400cGy/min（即 1.44×10 ⁹ μGy·m ² /h）	放射治疗	医疗综合楼负一层加速器机房	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	装置名称	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类	1	待定	140	420	医疗诊断	医疗综合楼负一层核医学科 PET-CT 扫描间	拟购
2	CT 模拟定位机	III类	1	待定	140	800	医疗诊断	医疗综合楼负一层放射科	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 (μA)	中子强度(n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
核医学科放射性废水	液态	^{18}F	/	<0.01 Bq	<0.01 Bq	总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$	设置 3 个并联衰变池（衰变池总有效容积为 12.5m^3 ）	衰变后满足排放标准后进入医院污水处理站进一步处理。
放射性固废	固态	^{18}F	/	/	/	$<1 \times 10^1 \text{ Bq/g}$	设 4 个 10L 脚踏式铅桶，收集后置于废物间衰变箱暂存	经衰变 10 个半衰期以上后达到清洁解控水平，作为一般医疗废物处理。
废气	气态	臭氧 (O_3)、氮氧化物	/	少量	少量	/	机械通风通风换气次数不小于 4 次/h	排放至大气外环境中

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

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

表 6 评价依据

<p>法 规 文 件</p>	<p>(1)《中华人民共和国环境保护法》(中华人民共和国主席令第 9 号, 2014 年), 自 2015 年 1 月 1 日起施行;</p> <p>(2)《中华人民共和国环境影响评价法》(中华人民共和国主席令第 24 号, 2018 年), 自 2018 年 12 月 29 日起施行;</p> <p>(3)《中华人民共和国放射性污染防治法》(中华人民共和国主席令第 6 号, 2003 年), 自 2003 年 10 月 1 日起实施;</p> <p>(4)《建设项目环境保护管理条例》(中华人民共和国国务院令第 682 号, 2017 年), 自 2017 年 10 月 1 日起施行;</p> <p>(5)《建设项目环境影响评价分类管理名录》(环境保护部令第 44 号, 2017 年), 自 2017 年 9 月 1 日起施行;</p> <p>(6)《关于修改<建设项目环境影响评价分类管理名录>部分内容的决定》(生态环境部令 第 1 号, 2018 年), 自 2018 年 4 月 28 日起施行;</p> <p>(7)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第 709 号修订, 2019 年 3 月 2 日起施行);</p> <p>(8)《放射性废物安全管理条例》(国务院令第 612 号, 2012 年), 自 2012 年 3 月 1 日起施行;</p> <p>(9)《关于发布《放射性废物分类》的公告》(环境保护部 工业和信息化部 国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号, 2017 年), 2018 年 1 月 1 日起施行;</p> <p>(10)《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);</p> <p>(11)《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(2019 年修订), 自 2019 年 8 月 22 日起施行;</p> <p>(12)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(环境保护部令第 3 号, 2008 年), 自 2008 年 12 月 6 日起施行, 2017 年 12 月进行修正;</p> <p>(13)《关于发布《射线装置分类》的公告》(环境保护部 国家卫生计生委公告 2017 年第 66 号, 2017 年), 自 2017 年 12 月 5 日起施行;</p> <p>(14)《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的</p>
----------------------------	---

	<p>通知》(环发[2006]145号,原国家环保总局、公安部、卫生部文件),自2006年9月26日起施行;</p> <p>(15)《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),自2016年6月1日起施行。</p>
<p style="text-align: center;">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和格式》(HJ 10.1-2016);</p> <p>(2)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);</p> <p>(3)《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61-2001);</p> <p>(4)《环境地表γ辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93);</p> <p>(5)《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2016);</p> <p>(6)《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006);</p> <p>(7)《医疗照射防护基本要求》(GB179-2006);</p> <p>(8)《医用X射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013);</p> <p>(9)《医用X射线CT机房的辐射屏蔽规范》(GBZ180-2006);</p> <p>(10)《放射性废物管理规定》(GB14500-2002);</p> <p>(11)《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009);</p> <p>(12)《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005);</p> <p>(13)《操作非密封源的辐射防护规定》(GBZ11930-2010);</p> <p>(14)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分:一般原则》(GBZ/T 201.1-2007);</p> <p>(15)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分:电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011);</p> <p>(16)《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)。</p>
<p style="text-align: center;">其 他</p>	<p>(1)《辐射防护导论》,方杰主编;</p> <p>(2)《简明放射性同位素应用手册》,卢玉楷主编;</p> <p>(3)《辐射防护手册》(第一分册),李德平、潘自强主编;</p> <p>(4)《放射防护实用手册》,赵兰才、张丹枫;</p> <p>(5)医院提供的其它与本项目有关的技术资料;</p> <p>(6)《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)》(川环函[2016])。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目主要涉及非密封放射性物质工作场所和 II、III 类射线装置，根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)的规定，结合本项目特点，确定本项目评价范围为：辐射工作场所实体屏蔽墙体外周边 50m 范围内，具体范围见附图 2。

7.2 环境保护目标

本项目环境保护目标为医院内的辐射工作人员、周围其他非辐射工作人员和以及公众。具体详见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标一览表

序号	场所名称	保护目标名称	方位	照射类型	距辐射工作场所实体边界最近距离 (m)		规模
					水平	垂直	
1	核医学科工作场所	本项目辐射工作人员	内部	职业照射	-		8 人
		候诊大厅	东侧	公众照射	0	0	流动人群
		地面道路及在建地铁公众	东侧	公众照射	7	0	流动人群
		周边商业及企业公众	东侧	公众照射	47	6	流动人群
		写字楼公众	南侧	公众照射	8	6	约 200 人
		幸福彼岸小区居民	西侧	公众照射	35	6	约 100 人
		负一层其他公众	北侧	公众照射	0	0	流动人群
		楼上急诊大厅及以上公众	楼上	公众照射	0	0	流动人群
2	直线加速器机房及 CT 机房	地下负二层车库公众	楼下	公众照射	0	0	流动人群
		加速器控制室	南侧	职业照射	0	0	6 人
		CT 控制室	东侧	职业照射	0	0	2 人
		地面道路及在建地铁公众	东侧	公众照射	5	6	流动人群
		周边商业及企业公众	东侧	公众照射	45	6	流动人群
		负一层其他公众	南侧	公众照射	0	0	流动人群
		中心花园及内部道路公众	楼上	公众照射	0m	6	流动人群
沙河公园公众	北侧	公众照射	5m	6	流动人群		

7.3 评价标准

本项目执行标准如下：

7.3.1 环境质量标准

- (1) 地表水：执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III类标准。
- (2) 声环境：执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）2类标准。
- (3) 大气环境：执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二类标准。

7.3.2 污染物排放标准

(1) 废水：医疗废水执行《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)表 2 中预处理标准，即衰变池排放口总 β 满足 10Bq/L。

(2) 噪声：施工期噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）中标准限值；运行期噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2类标准。

(3) 大气：执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中的二级标准以及《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）表 3 要求。

(4) 固体废物：执行《一般工业固体废物储存、处置场污染物控制标准》(GB18599-2001)及其修改单相关标准；如有危险废物产生，执行《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2001)及其修改单相关标准。

7.3.3 电离辐射标准

辐射标准执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的工作人员接受年剂量不超过20 mSv，公众接受的年剂量不超过1mSv。

项目单位根据该标准规定，制定本项目管理剂量约束值，见表7-2。核医学科工作场所 β 放射性表面污染控制水平见表7-3。

表7-2 本项目辐射环境影响评价标准 mSv/a

分类	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB18871-2002)基本限值标准	剂量约束值/评价标准
职业照射	20	5
公众照射	1	0.1

表7-3 核医学科工作场所 β 放射性表面污染控制水平 Bq/cm²

表面类型	β 放射性物质	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	40
	监督区	4

7.3.4 剂量控制水平

(1) PET-CT 扫描间和 CT 模拟定位机房：PET-CT 扫描间和 CT 模拟定位机房边界周

围剂量率控制水平参照《医用 X 射线诊断辐射防护要求》(GBZ130-2013)有关规定,本项目 PET-CT 扫描间和模拟定位机机房屏蔽体外表面 30cm 外,周围辐射剂量率应满足:控制目标值不大于 2.5 μ Sv/h。CT 机房有效使用面积及最小单边长应满足下表要求。

表7-4 X射线设备机房(照射室)使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 m ²	机房内最小单边长度 m
CT 机	30	4.5

(2) 直线加速器机房: 直线加速器工作场所边界周围剂量率控制水平参照《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)有关规定,本项目加速器机房门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处,周围辐射剂量率应满足:控制目标值不大于 2.5 μ Sv/h。同时应符合《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)中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定及《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)中“新建治疗室不应小于 45m²”、“治疗室入口处必须设置防护门和迷道”等规定。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 环境质量和辐射现状

8.1.1 本项目所在地 γ 辐射空气吸收剂量现状监测

为了解本项目评价范围内的辐射环境质量现状，受中辐环境科技有限公司的委托，浙江建安检测研究院有限公司监测人员于 2019 年 6 月 25 日对本项目拟建场址进行了 γ 辐射空气吸收剂量率和 β 表面污染环境监测，监测报告见附件 6。

8.1.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

(一) 环境现状评价对象

辐射工作场所周围环境贯穿辐射水平及 β 表面污染水平。

(二) 监测因子

空气吸收剂量率、 β 表面污染

(三) 监测点位

根据《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61-2001) 有关布点原则进行布点，共计布点 25 个，分别布置在拟建核医学科工作场、直线加速器机房及 50m 评价范围内敏感点。

8.1.3 监测方案和结果、质量保证措施

(一) 监测方案

①监测单位：浙江建安检测研究院有限公司

②监测日期：2019 年 6 月 25 日

③监测方式：现场监测

④监测依据：GB/T 14583-93 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》

HJ/T61-2001 《环境监测技术规范》

GB/T 14056.1-2008 《表面污染测定 第 1 部分： β 发射体 ($E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$) 和 α 发射体》

⑤监测频次：依据 GB/T14583-93 标准予以确定

⑥监测工况：辐射环境本底

⑦天气环境条件：温度：26℃；相对湿度：57%。

表 8-1 X-γ 剂量率监测仪器相关信息

仪器型号	XH-2020 环境级 X-γ 剂量仪
生产厂家	西核实业
仪器编号	05033004
能量范围	45KeV~3MeV(±30%)
量 程	0.001~1000μ Gy/h
检定单位	上海市计量测试技术研究院
校准证书	2019H21-20-1710243001
校准日期	2019 年 01 月 24 日~2020 年 01 月 23 日

表 8-2 β 表面污染监测仪器相关信息

仪器型号	CoMo 170 型 α、β 表面污染仪
生产厂家	S.E.A
仪器编号	05034889
最低探测限	α: 0.02Bq/cm ² , β: 0.27Bq/cm ²
检定单位	上海市计量测试技术研究院
检定证书	2019H21-20-1727084002
检定有效期	2019 年 02 月 25 日~2020 年 02 月 24 日

(二) 质量保证措施

- (1) 在拟建项目场地内及评价范围内工作人员活动区域、公众人员相对密集区域布设监测点位，充分考虑监测点位的代表性，以保证监测结果的科学性和可比性；
- (2) 监测方法采用国家有关部门颁发的标准，监测人员经考核并持合格证书上岗；
- (3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用；
- (4) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常，并用检验源对仪器进行校验；
- (5) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- (6) 监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。

(三) 监测结果

本项目核医学科拟建场所 X-γ 空气吸收剂量率和β 表面污染监测结果详见表 8-3 和表 8-4，监测点位详见图 8-1。加速器拟建场所 X-γ 剂量率监测结果详见表 8-5，监测点位图详见图 8-2。本项目 50m 评价范围内周围环境 X-γ 空气吸收剂量率和β 表面污染监测结果详见表 8-6 和表 8-7，监测点位详见图 8-3。

表 8-3 核医学科工作场所 X-γ 空气吸收剂量率监测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果 (nGy/h)	备注
1#	拟建 PET-CT 机房	61	室内
2#	拟建机房控制室	59	室内
3#	拟建抢救留观室	78	室内
4#	拟建休息室①	68	室内
5#	拟建休息室②	72	室内
6#	拟建储源室	71	室内
7#	拟建核医学科等候大厅	75	室内
8#	拟建病员入口	66	室内
9#	拟建核医学科场所北侧	71	室内
10#	拟建核医学科场所南侧	68	室内
11#	拟建核医学科场所东侧	71	室内
12#	拟建核医学科场所西侧	75	室内
13#	拟建核医学科楼下停车场	75	室内
14#	拟建核医学科楼上急诊中心	73	室内

注：1、测量时探头距离地面约 1m；2、所有测量值均未扣除宇宙射线；3、测量值经校准因子修正。

表 8-4 核医学科工作场所β 表面污染监测结果

序号	检测点位置	检测结果 (Bq/cm ²)
1#	拟建 PET-CT 机房	<0.27
2#	拟建机房控制室	<0.27
3#	拟建抢救留观室	<0.27
4#	拟建休息室①	<0.27
5#	拟建休息室②	<0.27
6#	拟建储源室	<0.27
7#	拟建核医学科等候大厅	<0.27
8#	拟建病员入口	<0.27
9#	拟建核医学科场所北侧	<0.27
10#	拟建核医学科场所南侧	<0.27
11#	拟建核医学科场所东侧	<0.27
12#	拟建核医学科场所西侧	<0.27
13#	拟建核医学科楼下停车场	<0.27
14#	拟建核医学科楼上急诊中心	<0.27

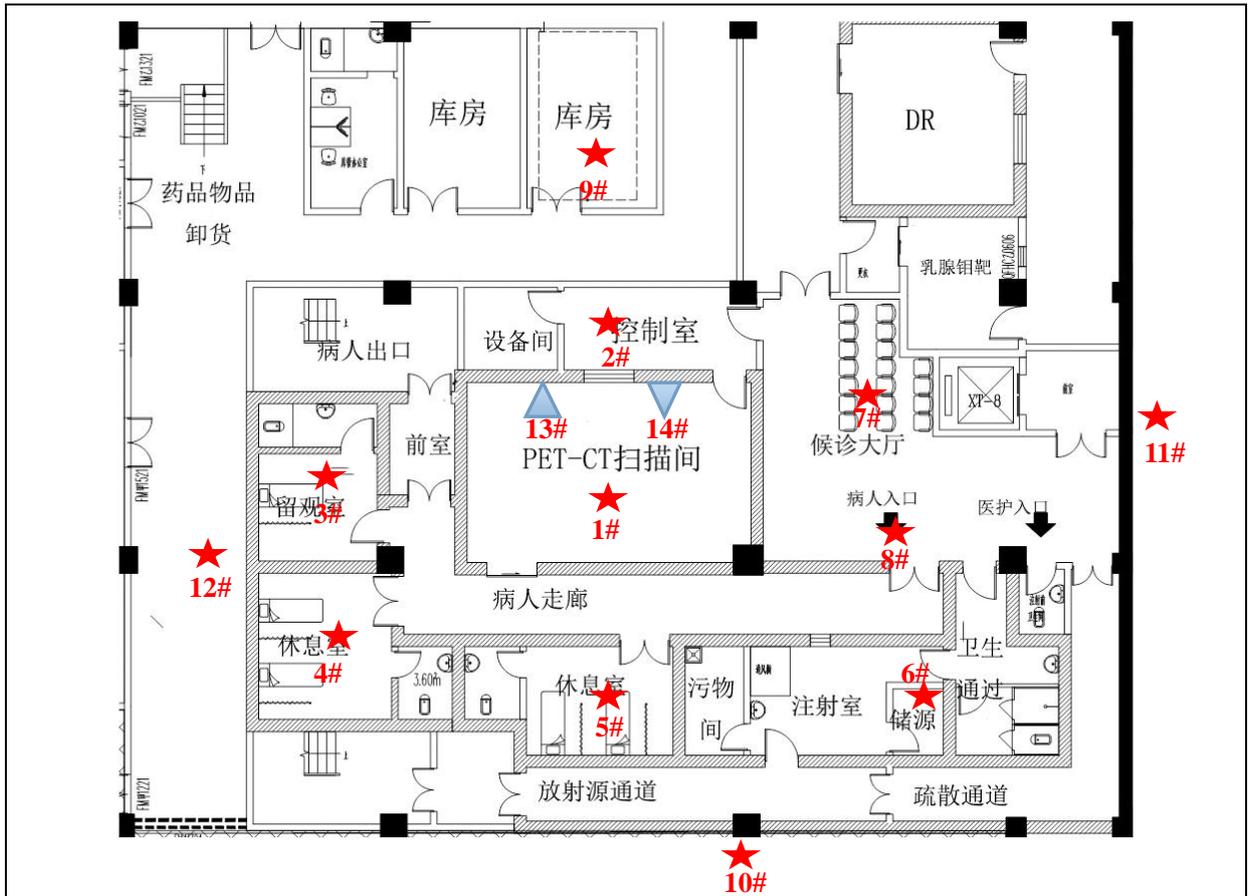


图 8-1 核医学科监测点位图

表 8-5 加速器工作场所 X-γ 剂量率监测结果

检测点编号	检测点位置	检测结果 (nSv/h)	备注
1#	拟建直线加速器机房	66	室内
2#	拟建核磁共振机房	71	室内
3#	拟建加速器机房南侧	75	室内
4#	拟建机房楼上室外空地	91	室外
5#	拟建机房楼下停车场	71	室内

注：1、测量时探头距离地面约 1m；2、所有测量值均未扣除宇宙射线；3、测量值经校准因子修正。

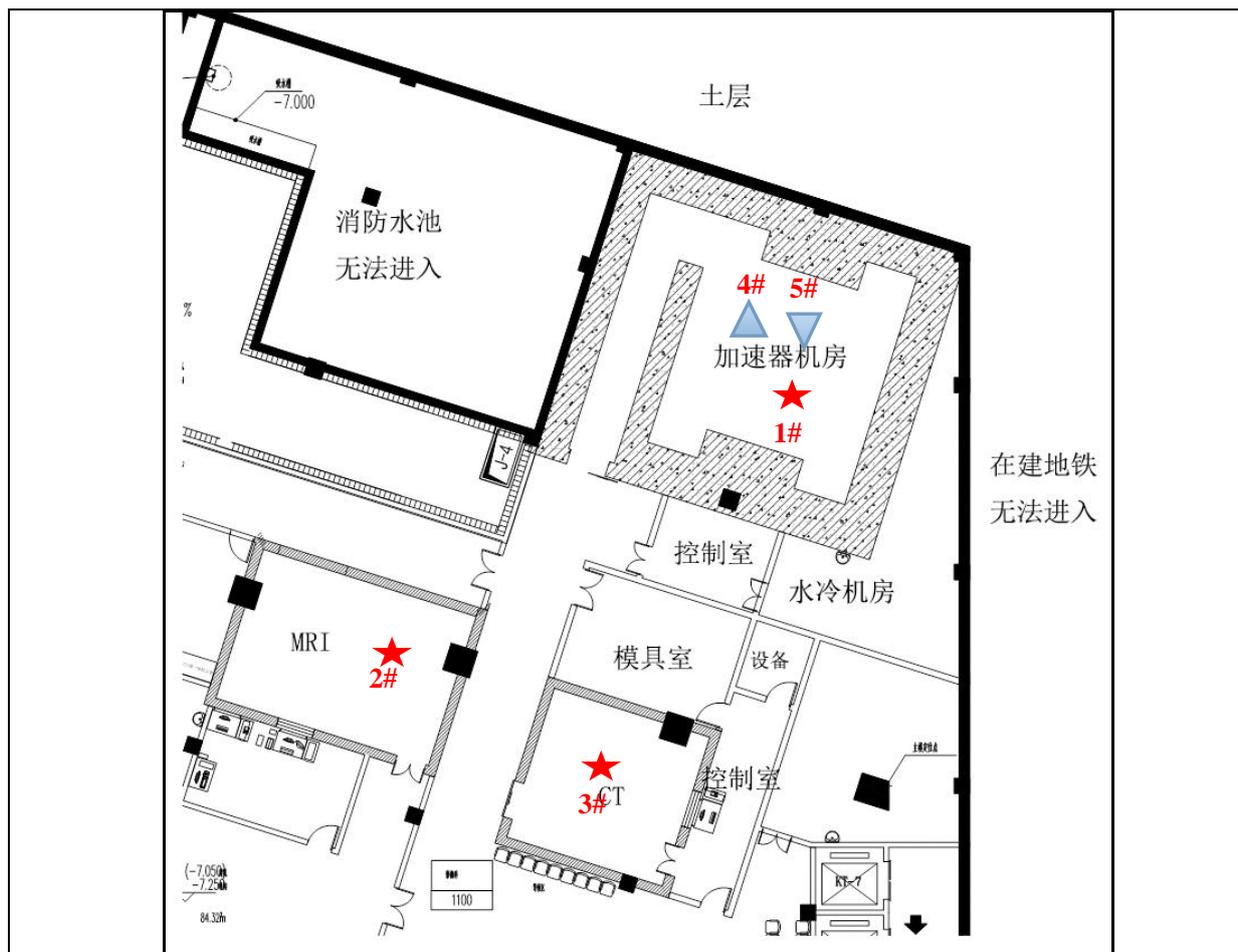


图 8-2 加速器拟建场所监测点位图

表 8-6 评价范围内周围环境 X-γ 剂量率监测结果

检测点编号	检测点位置	检测结果 (nSv/h)	备注
1#	商贸大厦外①号点位	80	室外
2#	商贸大厦外②号点位	87	室外
3#	商贸大厦外③号点位	82	室外
4#	商贸大厦外④号点位	85	室外
5#	居民楼南侧⑤号点位	92	室外
6#	居民楼南侧⑥号点位	87	室外

注：1、测量时探头距离地面约 1m；2、所有测量值均未扣除宇宙射线；3、测量值经校准因子修正。

表 8-7 评价范围内周围环境β 表面污染监测结果

序号	检测点位置	检测结果 (Bq/cm ²)
1#	商贸大厦外①号点位	<0.27
2#	商贸大厦外②号点位	<0.27
3#	商贸大厦外③号点位	<0.27
4#	商贸大厦外④号点位	<0.27
5#	居民楼南侧⑤号点位	<0.27
6#	居民楼南侧⑥号点位	<0.27



图 8-3 周围环境监测点位图

8.2 环境现状调查结果的评价

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。

由表 8-3 的监测结果可知：本项目拟建场所及周边 γ 辐射剂量率在 59~92nGy/h 之间，处于《2018 年成都市环境质量公报》中当地天然本底涨落范围内。另外，本项目拟建场址及周边敏感点各监测点 β 表面污染均小于检测限，未见异常。

表 9 项目工程与源项分析

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 施工期环境影响分析

成都华霖蓉北医院环境影响报告书已获得成都市生态环境局批复，批复文号为成环评审[2019]19号，见附件。因此本项目施工期主要是对已有建筑物内部进行防护改造和装饰施工、设备安装，最后进行竣工验收，施工期工艺流程及产污环节如下：

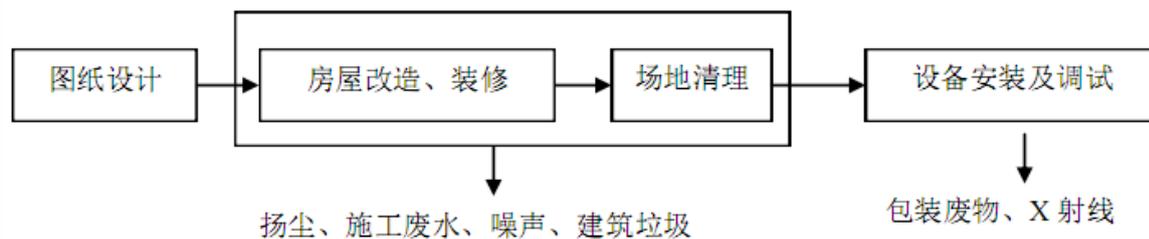


图 9-1 施工期工艺流程及产污环节图

本项目施工期污染物主要包括：

（一）扬尘

由于本项目施工期工程量较小，均为防护改造和装修装饰，故产生扬尘量较小。建设单位应加强施工场地管理，施工采取湿法作业，尽量降低建筑粉尘对周围环境的影响，现场堆积建筑原料或建筑垃圾应采取一定的遮盖措施，避免风力扬尘。

（二）噪声

施工期噪声包括各类机械、运输车辆的噪声以及土建施工产生的噪声，由于施工范围小，施工噪声对周围环境的影响较小。施工设备应考虑选择低噪音设备，施工过程防止机械噪声的超标。

（三）废水

施工期产生的废水主要包括施工废水和施工人员的生活污水，施工废水循环使用，生活污水产量较小，可依托医院现有化粪池等生活污水处理设施处理后纳入市政污水管网，不得随意排放。

（四）固体废物

装修过程中产生的装修垃圾和施工人员产生的生活垃圾可依托市政垃圾收运系统收集处理。施工产生的废弃物应妥善保管，及时回收处理。

（五）X射线

本项目射线装置安装调试不涉及放射性药物的使用，仅调试阶段直线加速器及 CT 会产生 X 射线，同时设备安装完成后，会有少量的废包装材料产生。调试阶段应在已经做好辐射防护的机房内进行，张贴辐射警示标识，避免无关人员靠近，经墙体的屏蔽及距离衰减后对环境的影响可以接受的。

9.1.2 直线加速器设备及工艺分析

(1) 直线加速器设备组成

医用直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，射线装置主要由加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统及控制保护系统组成，其整体外观示意图如图 9-2 所示。

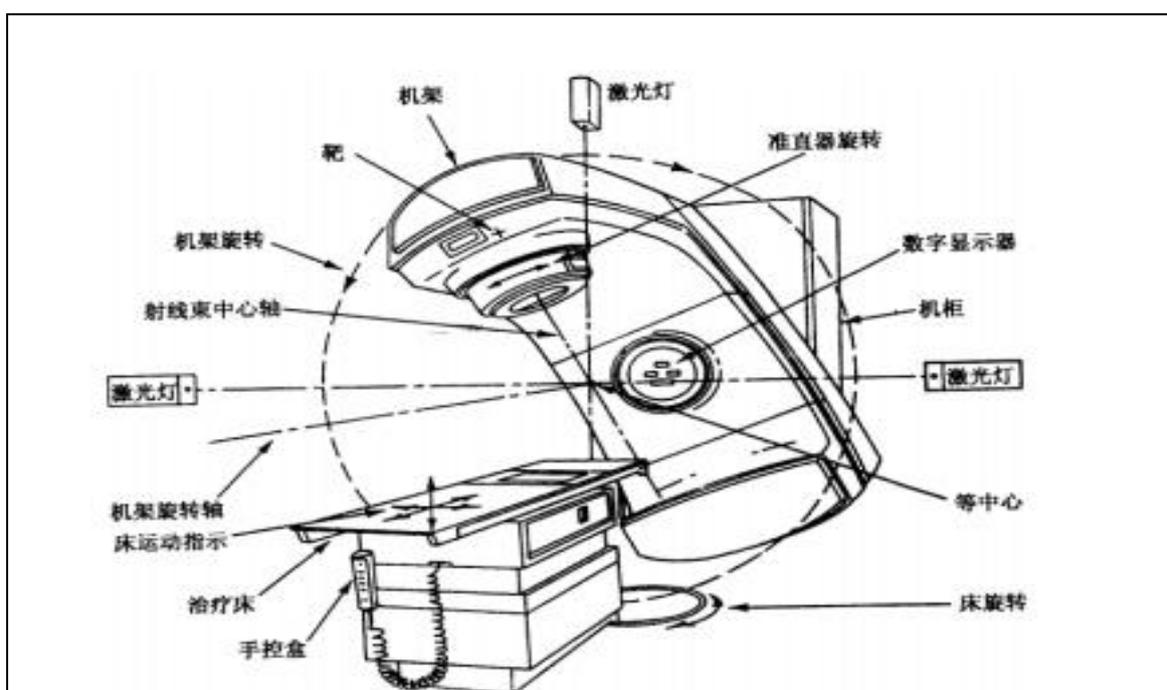


图 9-2 医用直线加速器结构示意图

根据医院提供的资料，医用电子直线加速器的主要参数见表 9-1。

表 9-1 本项目医用电子直线加速器的主要参数表

参数名称	参数值
能量	X 射线能量: $\leq 10\text{MV}$ 电子线能量: $\leq 22\text{MeV}$
X 射线泄漏率	$\leq 0.1\%$
源轴距 SAD	1m
距靶 1m 处的束辐射剂量率	$1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$
最大照射野大小	40cm*40cm
机架旋转角度	$\pm 180^\circ$
靶点离地面高度	1.24m
治疗束最大张角	28°

(2) 直线加速器工作原理

直线加速器电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。典型医用直线加速器内部结构见图 9-3。

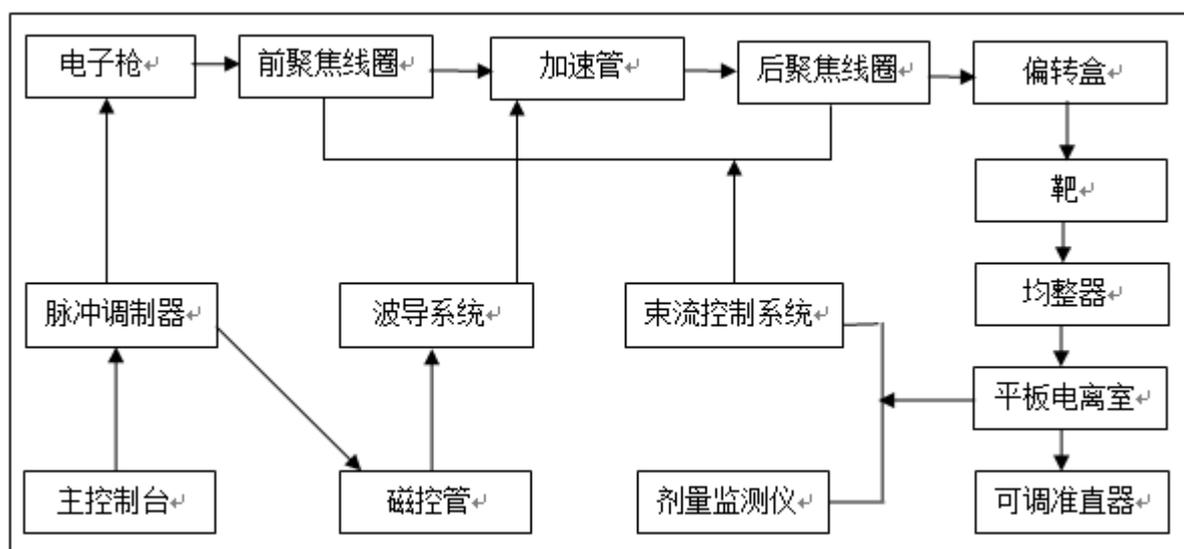


图 9-3 典型医用直线加速器原理方框图

(3) 直线加速器操作流程及产污环节

直线加速器具体治疗操作流程如下：

①医生确认，并告知可能受到的辐射危害，治疗前先模拟定位机进行扫描进行体表标记。

②医生引导患者进入治疗室，放置并查对患者辅助摆位固定装置，按照医嘱使患者处于治疗体位；

③摆位结束后，医生及随行人员出门，确保治疗室中非治疗者全部出门，之后关闭治疗室电动门；

④治疗开始时控制人员按照医嘱调好出束时间、角度、剂量；

⑤治疗结束后加速器关机，机架归位，患者离开治疗室。

医用直线加速器的操作流程及产污环节如图 9-4 所示。

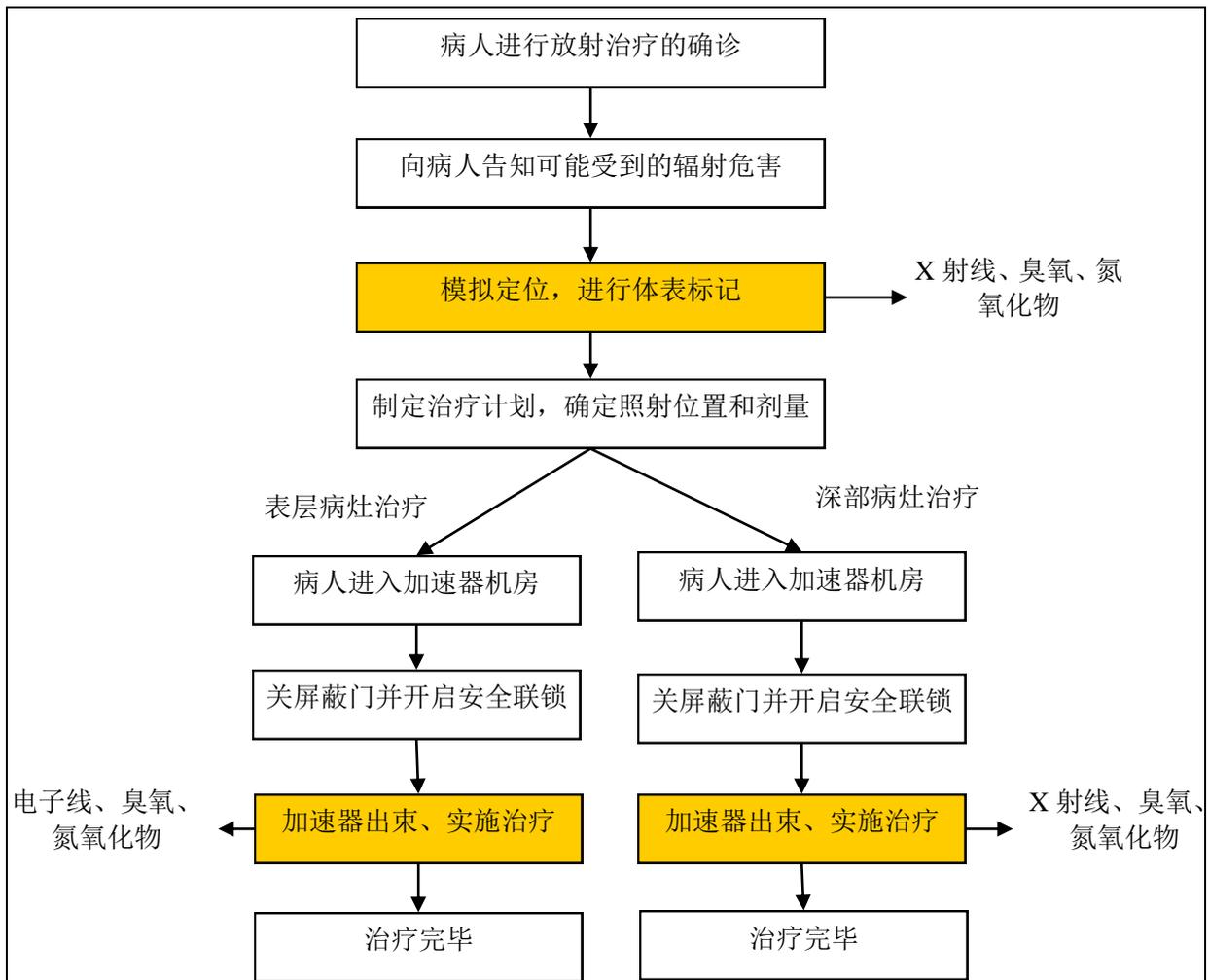


图9-4 医用直线加速器 ($\leq 10\text{MV}$) 的操作流程及产污环节示意图

直线加速器进行放射治疗时，主要污染因子为深部治疗产生 X 射线，表层病灶治疗产生的电子线。同时在加速器开机运行时，产生的 X 射线与空气作用可产生少量臭氧 (O_3) 和氮氧化物，它们是具有刺激性作用的非放射性有害气体，通过机械通风换气且通风次数达到不小于每小时 4 次，可以有效减少有害气体对环境造成的影响。

CT 开机运行时主要污染因子为 X 射线，并伴随少量臭氧和氮氧化物产生。

9.1.3 核医学科设备及工艺分析

(1) PET-CT 设备组成

PET-CT 扫描仪由 PET 扫描仪和 CT 扫描仪组成。PET 扫描系统主要由扫描仪、显像床、电子柜、操作工作站、分析工作站和影像硬拷贝等组成，它是决定图像质量的基础。CT 扫描仪位于 PET 扫描仪的前方，两者组合在一个机架内，后配 PET、CT 融合对位工作站，一次成像同时完成 CT 及 PET 扫描。

(2) PET-CT 诊断工作原理

PET-CT (Positron Emission Tomography and Computer Tomography), 全称正电子发射断层与计算机断层诊断技术, 是在 PET 和 CT 的基础上发展起来的新设备, 充分结合了 PET 高灵敏度和 CT 高分辨率的优势。其原理是通过正电子核素其标记的示踪剂, 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; 同时结合应用高档多排 CT 技术进行精确定位, 可以精确地提供靶器官的解剖和功能双重信息, 并能够独立完成多排螺旋 CT 的临床显像, 大大提高临床使用价值。

本项目核医学科拟配置的 PET-CT, 使用的 CT 部分最大管电压不超过 140kV, 最大管电流不超过 420mA。PET-CT 拟使用放射性核素为 ^{18}F 。放射性核素的相关性状如表 9-2 所示。 ^{18}F 每人每次最大使用量为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq/人次}$ (10mCi), 主要用于糖代谢、全身肿瘤显像。本项目所使用的 ^{18}F 外购, 鉴于其半衰期仅 109.8min, 使用时根据需要现买现用。 ^{18}F 在注射室进行分装和注射给药。分装在通风橱中完成, 医生隔通风橱进行分装; 注射时, 医生与病人分别位于注射窗的两侧, 距患者约 50cm。给药后的病人根据需要在注射后休息室候诊 40min 后, 在扫描间进行核素显像, 一般扫描时间为 15min, 扫描结束后在留观室留观 10~15min 即可从患者出口离开核医学科。

表 9-2 放射性核素 ^{18}F 的相关性状

核素	半衰期	衰变类型及分支比 (%)	主要 β 辐射能量 (MeV)	主要 γ 、X 射线能量 (MeV)	空气比释动能率常数 ($\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \text{MBq}^{-1} \text{h}^{-1}$)
^{18}F	109.8min	EC (3.27) β^+ (96.73)	0.64	0.511	0.143

(3) 工艺流程及污染因子

PET-CT 诊断具体工作流程如下:

- ①预约检查, 核医学科接收患者, 并告知患者诊断过程存在的辐射危害;
- ②医生根据病情确定使用核素的剂量;
- ③病人通过注射将放射性药物摄入。在药品摄入过程中存在 γ 射线污染, 同时会产生放射性废水、固废(注射器、棉球、一次性手套等);

④病人摄入药品后通过仪器进行器官显像和病情检查。在此过程中病人带有 γ 射线。整个检查过程大约要 15min, 检查完毕后无异常情况后经指定路线离开核医学科。

本项目 PET-CT 拟配置校准源, 但由于 PET 型号未定, 校准源枚数及活度暂未确定,

因此本环评不做进一步评价。

PET-CT 系统诊断工艺流程及产污位置图如图 9-5 所示。

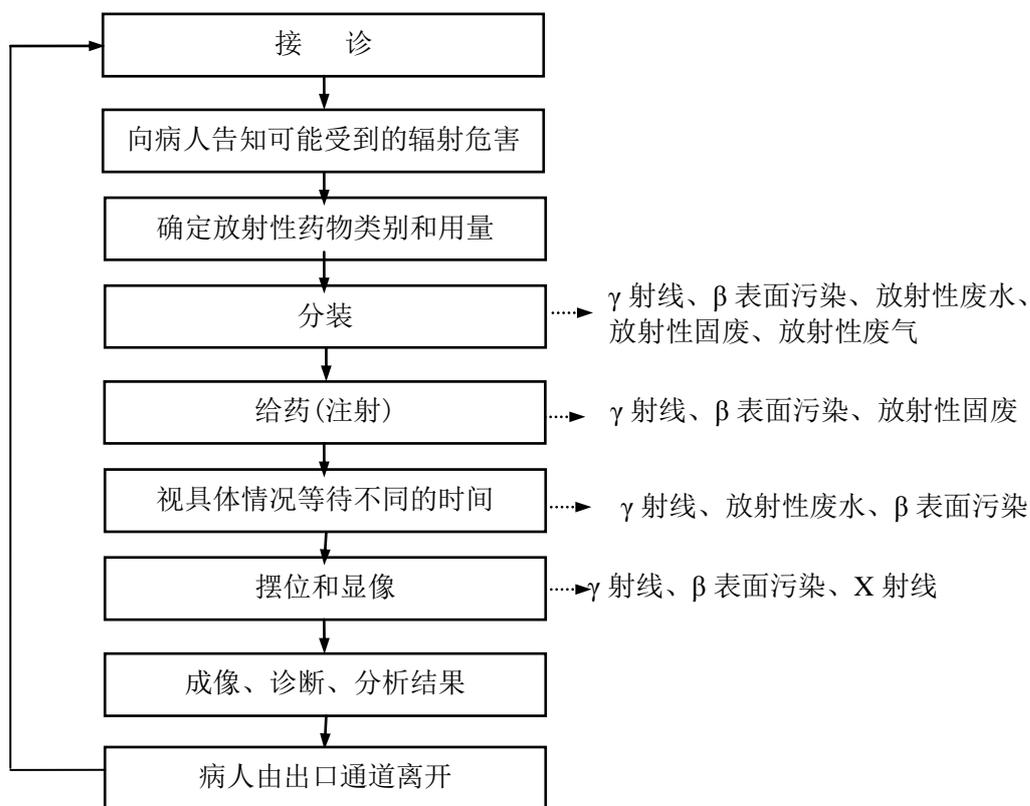


图 9-5 核医学科 PET-CT 诊断工艺流程及产污位置图

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

9.1.4 核医学科人流、物流路径规划

(1) 辐射工作人员路径：

核素分装注射工作人员从候诊大厅医护入口经卫生通过间进入注射室内进行核素分装、注射操作，核素分装在通风橱内进行，注射通过注射窗对患者进行隔室注射，工作结束后经卫生通过间淋浴更衣、表面污染监测确认无污染后原路返回办公区域或离开核医学科。PET-CT 操作工作人员直接由候诊大厅进入控制室，进行扫描检查。

该路径上卫生通过间包含更衣、淋浴及放射性表面污染检测功能，配置有表面污染监测设备及去污工具组，设置有感应式洗手池和淋浴设施。

(2) PET患者路径:

受检者按预约日期首先经由急诊大厅医用电梯达到地下一层的候诊大厅, ^{18}F 受检者在候诊大厅内接受宣讲和告知, 之后通过患者入口单向门禁(只进不出)后到达注射窗, 接受给药后进入 PET 注射后休息室静卧候诊, 按叫号顺序前往 PET-CT 扫描间内接受检查, 检查结束后进入留观室内留观, 而后从留观室旁单向门禁(只出不进)经患者专用楼梯离开核医学科。

该路径上, 患者入口和患者出口处均设置为单向门禁, 仅允许患者单向通行, 注射后休息室均设有独立的卫生间, 患者在注射后候诊室内静卧候诊, 在专用卫生间内如厕, 不随意走动。

(3) PET放射性药物路径:

^{18}F 放射性药物由有资质厂商按照约定时间将药物经专用楼梯由地面送至地下一层, 再经核医学科南侧放射源专用通道送至注射室储源室暂存。

(4) 放射性废物流出路径:

放射性同位素操作过程产生的如一次性注射器、手套、棉签、吸水纸等固体废弃, 由注射室内铅废物桶收集后, 转移至污物间的衰变箱进行贮存衰变, 经衰变 10 个半衰期达到清洁解控水平后由南侧放射源专用通道运至医疗废物库, 按普通医疗废物处置。

患者在就诊过程由于排便、冲厕产生的放射性废水和工作场所清洗废水等均由专用污水管道汇入核医学科楼下的衰变池, 衰变 10 个以上半衰期, 符合排放标准后抽排至医院污水处理站进一步处理。

9.1.5 PET-CT配套CT及CT模拟机设备及工艺分析

(1) 工作原理

CT是计算机断层X射线摄影术(Computed Tomography)的简称, 它使用了精确准直的 X射线从各种不同的离散角度扫描所关注的平面, 利用探测器记录透射光束的衰减量, 并经过数学运算, 电子计算机处理相应数据, 从而产生一个以检查层的相对衰减系数为依据的躯体横断面的影像。

(2) 设备组成

由产生X射线的X线管、供给X线管灯丝电压及管电压的高压发生器、控制X线的“量”和“质”及曝光时间的控制装置, 以及为满足诊断需要而装配的各种机械装置和辅助装置即外围设备组成。

(3) 操作流程

确定患者体层摄影的体位，扫描定位，投照摆位，屏气曝光。扫描过程中，X线球管连续地发射X线，扫描床持续同步前移，实现无间断容积数据采集。

(4) 污染因子

由X射线装置的工作原理可知，X射线是随机器的开、关而产生和消失。因此，CT装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出X射线。

由于X射线与空气电离作用，同时会产生少量的臭氧和大氧化物。

9.2 污染源项描述

9.2.1 建设期

(一) 污染源项

本项目施工期没有辐射污染源项，施工期主要为防护改造和装饰装修、设备安装调试，工程量小，施工时间段，非放射性污染物产生量较小，设备调试阶段不涉及放射性同位素使用，仅直线加速器及CT调试时会产生X射线。

(二) 非放射性污染源环境影响因子

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。

9.2.2 运行期放射性污染源项

(一) 核医学科运行期污染源项

(1) γ 射线

正电子药物在取药、分装、注射等操作过程和患者注射后候诊、扫描及留观等过程中产生的 γ 射线。以上射线会造成医务人员和公众的外照射。

(2) β 放射性表面污染

医生在对含有放射性同位素 ^{18}F 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

本项目核医学科使用的 ^{18}F 在专业供应商放置在铅罐中直接送到注射室的储源室，使用时，工作人员连同铅罐放置于通风橱内进行核素的分装操作，整个过程无开放液面，空气中挥发散逸的放射性同位素非常少，其对医护人员和公众的内照射影响可以忽略。

(4) 放射性废水

体内含有放射性核素的病人排泄物；工作人员及工作场所清洗废水等。

(5) 放射性固体废物

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

(二) 直线加速器运行期污染源项

加速器以 X 射线模式运行时，从加速器电子枪里发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到钨金靶上，产生 X 射线。

当加速器按电子线模式运行时，从电子枪里发出来的电子线经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗病人。电子线模式产生的电子属初级辐射，贯穿物质时受物质库仑场的影响，贯穿深度有限。

电子线贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在加速器电子束治疗时间时，主要考虑 X 射线的辐射影响。

(三) PET-CT 及 CT 模拟定位机运行期污染源项

PET-CT 和 CT 模拟定位机均为 III 类射线装置，射线装置在开机状态下主要辐射为 X 射线，在不开机状态下不产生 X 射线。

9.2.3 运行期非放射性污染源项

(1) 废气

加速器在运行过程中产生的 X 射线与空气作用可产生少量臭氧和氮氧化物，它们是具有刺激性作用的非放射性有害气体。通过机房内通风换气，通风换气次数应满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011) 中规定的不小于每小时 4 次的要求，如此，则产生的非放射性废气对周围大气环境的影响是可以接受的。

另外 PET-CT 及 CT 模拟定位机在开机运行时也会产生少量的臭氧和氮氧化物，机房内均设置机械通风装置，经排风装置排出机房外废气对周围大气环境的影响是可以接受的。

(2) 废水

本项目非放射性废水主要为工作人员产生生活污水，产生量约 360t/a，经医院现有生活污水处理设施处理后纳入市政污水管网，对周围地表水环境影响很小。

(3) 固废

本项目非放射性固废主要为工作人员产生的办公垃圾，产生量约 2.3t/a，经收集后由当地环卫部门统一清运。

(4) 噪声

本项目噪声主要为风机、空调等噪声,经建筑和距离衰减后对周围声环境影响很小。

三、运行期事故情况污染源项

本项目运行期间存在着风险和潜在危害以及事故隐患,可能出现概率较大或后果较严重的误照射辐射事故如下:

1、直线加速器

(1) 门机联锁装置发生故障,人员误入正在运行的加速器机房导致误照射;

(2) 其他医护人员还未全部撤离机房,即进行出束治疗,致使人员受到不必要的照射;

(3) 门机联锁装置发生故障,在防护门未关闭的情况下即开始出束治疗,给工作人员和周围公众造成不必要的照射。

(4) 维修人员在维修期间加速器误出束致使维修人员误照射。

加速器事故状态下污染源项主要为 X 射线。

2、CT

(1) 门灯联锁装置发生故障,人员误入正在运行的 CT 机房导致误照射;

(2) 在防护门未关闭的情况下即开始曝光,给工作人员和周围公众造成不必要的照射。

CT 事故状态下污染源项主要为 X 射线。

3、核医学科工作场所

(1) PET-CT 机房门灯联锁装置发生故障时,人员误入正在运行的射线装置机房,对人员造成误照射。

(2) 显像剂 (^{18}F) 发生丢失或被盗,以及显像剂在操作使用过程中发生意外洒漏时,会对周围环境及人员造成辐射影响。

核医学科事故状态下污染源项主要为 X 射线、 γ 射线、 β 表面污染。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目辐射安全防护设施

10.1.1 加速器及模拟定位机辐射安全防护措施

1、加速器及模拟定位机房平面布局

本项目加速器及 CT 模拟定位机位于医疗综合楼负一层北侧。直线加速器机房及 CT 机房工作场所六面情况（东、南、西、北、上、下）如表 10-1 所示。

表 10-1 工作场所周边布局一览表

序号	所在区域	辐射场所	方位	周边房间及场所
1	医疗综合楼 负一层	直线加速器机 房	东	在建地铁及道路
			南	控制室及水冷机房
			西	消防水池
			北	地下土层
			楼上	中心花园及内部道路
			楼下	封闭空间
2	医疗综合楼 负一层	CT 模拟定位 机房	东	控制室
			南	候诊区
			西	拟建磁共振机房
			北	模具间
			楼上	门诊大厅
			楼下	地下二层车库

2、工作场所分区原则和区域划分情况

(一) 分区依据和原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（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，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。运用行政管理程序如进入控制区的工作许可证和实体屏蔽（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区，放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

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

区的边界。

(二) 本项目控制区和监督区划分

(1) 直线加速器机房：拟将直线加速器治疗室（包括迷道）划为控制区；将直线加速器控制室、水冷机房及直线加速器治疗室防护门外一米内作为辐射防护监督区。

(2) CT模拟定位机房：拟将机房内部划为控制区，控制室划为监督区。

在加速器工作场所醒目位置安装辐射指示灯，规范张贴电离辐射警告标志及中文警示说明，门外设置明显的警戒线。本项目辐射分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。

表 10-2 本项目控制区和监督区划分情况

场所	控制区	监督区
直线加速器	直线加加速器治疗室及迷道	控制室，水冷机房、治疗室防护门外一米内
CT模拟定位机	CT机房	控制室

(三) 环评要求

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，建设单位应做到：

(1) 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；

②制定辐射防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

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

④定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

(2) 监督区防护手段与安全措施

①以黄线警示监督区的边界；

②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

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

3、直线加速器及 CT 模拟定位机工作场所屏蔽设计

直线加速器用房主要由加速器机房、控制室和水冷机房组成。加速器机房由治疗室和迷道组成。本项目加速器机房与控制室分离，机房治疗室的设计有效使用面积 68.3m²（不含迷道）；治疗室西侧为迷道，迷道口设有防护门；有用线束向北墙、南墙、地面及

屋顶照射。加速器机房的屏蔽防护设计详见表 10-3。

表 10-3 加速器机房辐射防护屏蔽设计参数表

场所名称	分类		屏蔽厚度	屏蔽长度
直线加速器机房	北墙	主屏蔽	2900mm 混凝土	4000mm
		次屏蔽	1700mm 混凝土	14100mm
	南墙	主屏蔽	3000mm 混凝土	4000mm
		次屏蔽	1800mm 混凝土	10800mm
	东墙		1600mm 混凝土	11800mm
	西墙	迷道内墙	1300mm 混凝土	8500mm
		迷道外墙	1500mm 混凝土	12700mm
	顶盖	主屏蔽	2800mm 混凝土	4000mm
		次屏蔽	2050mm 混凝土	13400mm
	防护门		20mm 铅板+150mm 含硼 5% 的聚乙烯材料	
	机房净高		4000mm	
	迷道	迷道宽度		1900mm
内入口宽度		1900mm		
外入口宽度		1600mm (门洞)		

注：本项目加速器机房楼下为封闭空间。混凝土密度不低于 2.35g/cm³。

为保证机房辐射屏蔽效果，环评要求加速器机房在建设时应进行一次性整体连续浇筑，并保证混凝土含水率不低于 5.5%。

模拟定位机房屏蔽设计详见表 10-4。

表 10-4 模拟定位机房辐射防护屏蔽设计

机房类型 (数量)	防护设施	屏蔽材料及厚度 (铅当量: mmPb)	标准要求	符合性 评价
模拟定位 机房	四侧墙体	370mm 实心砖墙 (3.3)	一般工作量：有用与非 有用线束方向铅当量应 ≥2mmPb 当量； 较大工作量：有用与非 有用线束方向铅当量应 ≥2.5mmPb 当量。	符合
	顶棚	120mm 混凝土+2mmPb 当量 硫酸钡防护涂料 (3.5)		符合
	地坪	180mm 混凝土+1mmPb 当量 硫酸钡防护涂料 (3.4)		符合
	防护门	内衬 4mm 铅板 (4.0)		符合
	观察窗	20mm 厚铅玻璃 (4.0)		符合

注：混凝土密度不低于 2.35g/cm³；实心砖密度不低于 1.65g/cm³；硫酸钡防护涂料密度不低于 2.79 g/cm³；混凝土和实心砖折算铅当量参考《放射防护实用手册》(主编赵兰才、张丹枫)表 6.14。

表 10-5 各机房面积及单边长度一览表

序号	机房名称	拟设置情况		标准要求		符合性 评价
		最小单边 长度 (m)	有效使用 面积 (m ²)	最小单边长 度 (m)	有效使用面 积 (m ²)	
1	加速器治疗室	/	68.3m ²	/	45	符合
2	模拟定位机房	6.2	40.3m ²	4.5	30	符合

4、直线加速器辐射安全和防护、环保相关设施

本项目射线装置主要辐射为 X 射线，对 X 射线的基本防护原则是减少照射时间、远离射线源以及加以必要的屏蔽。本项目对 X 射线外照射的防护措施主要有以下几方面。

(1) 辐射安全防护措施

为保障电子加速器安全运行，避免在加速器治疗期间人员误留或误入治疗机房内而发生误照射事故，加速器治疗机房拟设置相应的辐射安全装置和保护措施，主要有：

①钥匙开关联锁：操作台有操纵钥匙开关，只有当钥匙开关插入钥匙孔打开锁定，加速器各项功能才能启动。

②辐照启动与辐照参数预选数联锁：控制台设有辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、吸收剂量率、治疗方式、楔形过滤器类型及规格等辐射参数显示标识，只有当各项参数给出预选值显示，辐照才能启动，否则辐射不得启动。

③计时器与辐射联锁：控制台配置有时间显示的辐照控制计时器，并独立于其它控制辐照系统，当辐照中断或终止后，必须保留计时器读数，只有将计时器复零后，才能启动下一次辐照。

④病人剂量与治疗控制的安全联锁。为保证病人治疗剂量准确，不致出现超剂量照射，系统设置了治疗剂量联锁、治疗时间联锁和治疗中旋转机架角度联锁。当治疗剂量、时间及治疗机头旋转角度其中之一到达设定值时，联锁装置会自动停止照射。

⑤防护门与照射联锁：只有将加速器机房门完全关闭，照射才能启动。在照射过程，如将门开启，闭合处脱离限位开关，照射立即自动停止。

⑥紧急停机开关：拟在控制室、治疗床两侧，治疗机房内关键部位墙面及迷道内墙面处分别安装紧急停机开关，并设置明显的标志。当遇到意外情况，可不必穿越主射线束随时按动急停开关，切断设备电源，停止出束。治疗室迷道外入口处安装防护门应急启闭开关，遇到紧急情况可在治疗室内开启防护门。

⑦迷道门外安装工作状态指示灯，门外拟设置醒目、规范的电离辐射警告标志。

⑧控制室设置监控及对讲系统：对治疗室全景及治疗病员的状况进行实时监控，此外，有对讲系统便于操作人员与患者对话，指导患者配合治疗。

⑨工作人员通过监视系统实时监控，防止无关人员误入。

⑩加速器机房配置固定式辐射剂量率监测仪 1 个，其检测结果在加速器控制室实时

显示，便携式个人剂量报警仪 2 个，每个辐射工作人员均应配备个人剂量计。

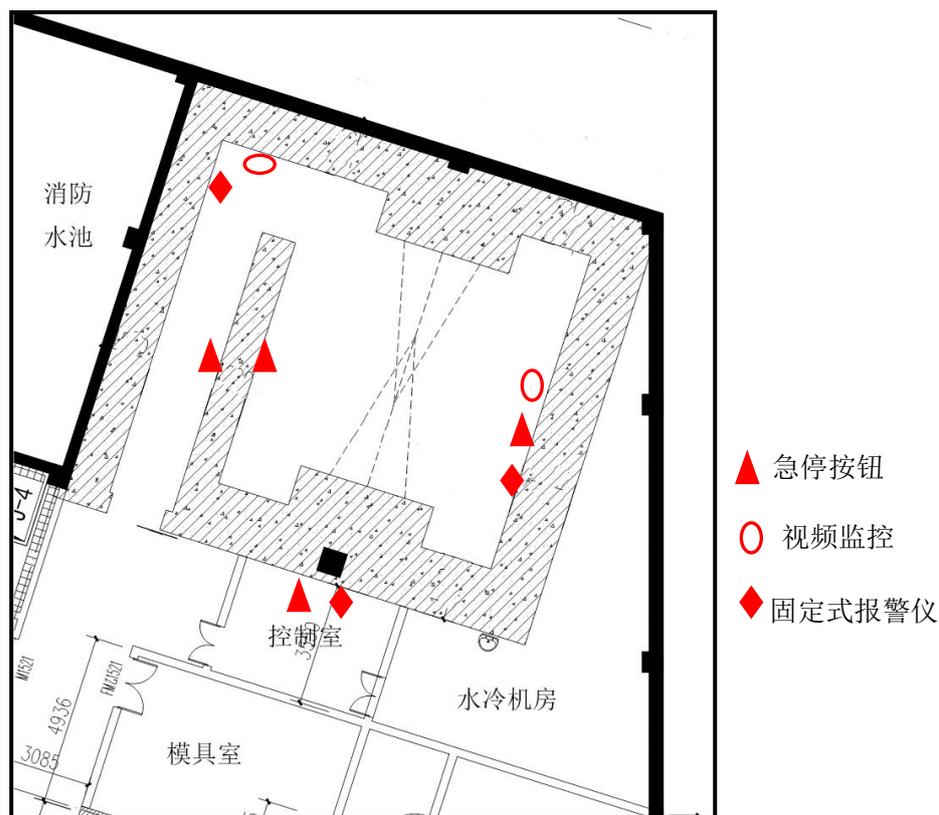


图 10-1 加速器机房安全设施位置示意图

(2) 电缆布设及排风系统

①本项目加速器机房与控制室操作台之间的各种电缆管线均以地沟形式在地坪以下部位布设，并拟以“U”型从地坪下方穿越墙体。

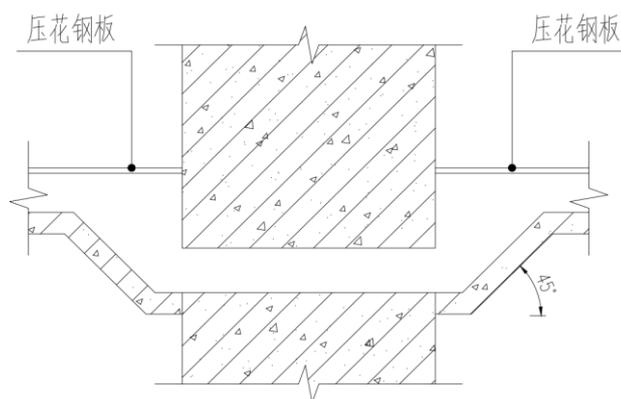


图 10-2 加速器机房电缆穿墙示意图

②加速器机房通风系统拟采用上送下排，机械通风换气，送风管道由上方经机房西墙进入加速器机房，穿墙部分采用“Z”型，送风口设置于天花板处，由上向下送风；机房东侧防护墙下方据地坪约 30cm 左右处设置两个排风口，排风管经治疗室上方南侧墙体穿墙而出，穿墙部分采用“Z”型。

(3) 电子线的防护措施

本项目 10MV 医用电子直线加速器在按电子模式工作时，最大电子线能量为 22MeV，根据《辐射防护导论》，能量为 E (MeV) 的单能电子束，在低 Z 物质中的射程（单位为 g/cm²）约为能量（单位为 MeV）的 0.6 倍。本项目以电子档工作时最大电子线能量为 22MeV，射程为 18×0.6=13.2g/cm²，可以估算出 22MeV 的电子在密度为 2.35g/cm³ 的混凝土中的深度约为 5.6cm，而本项目屏蔽体厚度最小的亦为 130cm 混凝土，对电子线能产生完全屏蔽，可不再作为特殊的防护要求，不考虑对电子模式产生的辐射的屏蔽。

5、CT 模拟定位机房辐射安全和防护、环保相关设施

(1) 安全防护措施

①具有安全设备，当设备出现错误或故障时，能中断照射，并有相应故障显示。

②正常情况下，必须按规定程序并经控制台确认验证设置无误时，才能由"启动"键启动照射。

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

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

⑤警告标志：机房的防护门外的醒目位置，设置明显的电离辐射警告标志。

(2) 其他安全防护措施

①机房操作室上张贴相应的岗位规章制度、操作规程。

②辐射工作人员必须配备个人剂量计。

③模拟定位机房应配备相应的防护用品与辅助防护设施，其配置要求需安装 GBZ130-2013 的要求进行配制。

表 10-6 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

场所类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
CT	—	—	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子各 1 件	或可调节防护窗口的立未防护屏；固定特殊受检者体位的各种设备

④机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风。

10.1.2 核医学科工作场所屏蔽设计

1、核医学科工作场所平面布局

本项目核医学科工作场所位于医疗综合楼负一层南侧。核医学科工作场所六面情况（东、南、西、北、上、下）如表 10-7 所示。

表 10-7 工作场所周边布局一览表

序号	所在区域	辐射场所	方位	周边房间及场所
1	医疗综合楼 负一层	核医学科工作 场所	东	在建地铁
			南	车道
			西	走廊及排风机房
			北	库房
			楼上	急诊大厅和急诊诊室
			楼下	地下车库

从项目布局看，辐射工作场所相对独立，与其他场所有明显隔断，辐射场所内各功能用房布局分区明确，不相互穿插、干扰。辐射场所设有屏蔽门和工作人员进出门进出口均设有屏蔽门，既方便工作人员和病人的进出，又利于辐射防护辐射工作场所与周围环境设有一定的辐射安全防护距离。从环境保护和辐射安全与防护的角度来看，核医学科辐射工作场所的平面布置是合理的。

2、核医学科工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“两区”划分原则，本项目核医学科工作场所监督区和控制区划分详见表 10-8。

表 10-8 核医学科控制区和监督区划分情况

场所	控制区	监督区
核医学科工作场所	PET-CT扫描间、注射室（储源室）、废物间、注射后休息室（包括专用卫生间）、留观室、患者走廊	PET-CT控制室，设备间、卫生通过间、放射源专用通道及前室

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，建设单位应做到：

（1）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；

②制定辐射防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

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

④在淋浴/更衣室备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；

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

(2) 监督区防护手段与安全措施

①以黄线警示监督区的边界；

②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

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

3、核医学科工作场所屏蔽设计

本项目核医学科工作场所辐射防护屏蔽设计参数表见表 10-9。

表 10-9 核医学科工作场所屏蔽设计参数

名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
PET-CT 扫描间	四面墙体	370mm 页岩实心砖+3mmPb 当量硫酸钡防护涂料
	顶棚	120mm 混凝土+3mmPb 当量硫酸钡防护涂料
	地坪	180mm 混凝土+3mmPb 当量硫酸钡防护涂料
	受检者防护门	8mm 铅板
	工作人员防护门	8mm 铅板
	观察窗	10mmPb 当量铅玻璃
注射室（含储源室、污物间）	四面墙体	370mm 页岩实心砖+3mmPb 当量硫酸钡防护涂料
	顶棚	120mm 混凝土+3mmPb 当量硫酸钡防护涂料
	地坪	180mm 混凝土+3mmPb 当量硫酸钡防护涂料
	防护门（4 个）	8mm 铅板
	给药窗	20mmPb 当量铅玻璃
	通风橱	40mmPb 当量
注射后休息室（含卫生间）（2 间）	四面墙体	370mm 页岩实心砖+3mmPb 当量硫酸钡防护涂料
	屋顶	120mm 混凝土+5mmPb 当量硫酸钡防护涂料
	地坪	180mm 混凝土+3mmPb 当量硫酸钡防护涂料
	防护门	8mm 铅板
留观室（含卫生间）	四侧墙体	370mm 页岩实心砖+3mmPb 当量硫酸钡防护涂料
	屋顶	120mm 混凝土+5mmPb 当量硫酸钡防护涂料
	地坪	180mm 混凝土+3mmPb 当量硫酸钡防护涂料
	防护门	8mm 铅板
患者通道	北侧墙体（入口处）	370mm 页岩实心砖+5mmPb 当量硫酸钡防护涂料
	屋顶	120mm 混凝土+3mmPb 当量硫酸钡防护涂料
	地坪	180mm 混凝土+3mmPb 当量硫酸钡防护涂料
	出入口防护门	10mm 铅板
放射源专用通道	南侧墙体	370mm 页岩实心砖

注：混凝土密度不低于 2.35g/cm³，硫酸钡防护涂料密度不低于 2.79g/cm³。

4、核医学科辐射安全和防护、环保相关设施

(1) 辐射安全措施

①PET-CT扫描间防护门上方安装工作状态指示灯，设置门灯连锁装置，机房与控制室之间拟设置对讲装置与监视器。

②在PET-CT扫描间防护门、注射后休息室防护门、注射室防护门、储源室、废物间及衰变桶、通风橱等处设置电离辐射警告标志。

③射线装置运行过程中，X射线与空气作用会产生少量臭氧、氮氧化物等有害气体，机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风。

④注射后休息室及留观室均设置患者专用厕所，废水直接流向核医学科楼下衰变池，废水管线图详见附图 4。

(2) 防护设备与防护用品

本项目核医学科防护设备与防护用品设置情况详见表 10-10。

表 10-10 核医学科防护设备及防护用品设置情况表

序号	种类名称	设置场所	数量	规格
1	通风橱	注射室	1 个	40mmPb
2	脚踏式铅桶	注射室、休息室等	4 个	10mmPb
3	铅衰变箱	污物间	1 个	10mmPb
4	注射器防护套	注射室通风橱内	2 个	5mmPb (2ml、5ml 各 1 个)
5	注射器防护提盒	注射室	1 个	10mmPb
6	手动分装装置	注射室通风橱内	1 个	40mmPb
7	药物转运防护罐	注射室（储源室）	1 个	50mmPb
8	移动铅屏风	PET-CT 机房	1 件	10mmPb
9	移动铅屏风	注射后休息室	2 件	10mmPb
10	给药防护车	注射室	1 台	20mmPb
11	注射窗口	注射室与过道隔墙	1 套	20mmPb
12	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	PET-CT 控制室	2 套	0.5mmPb
13	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	卫生通过间	2 套	0.5mmPb
14	一次性工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	卫生通过间	按需购买	/
15	表面污染监测仪	卫生通过间	1 台	/
16	X、 γ 剂量率检测仪	卫生通过间	1 台	/
17	个人剂量报警仪	人员随身携带	2 台	/
18	个人剂量计	人员随身携带	8 个	/

(3) 放射性药物的存放控制措施

本项目核医学科使用的 ^{18}F 核素药物放至在铅罐中由有资质供应单位派专人由放射

源专用通道直接送至注射室源库暂存,药物按需订购。储源室防护门拟设计为铅防护门,钥匙由专人负责保管;日常期间由值班人员巡视检查;出入口安装摄像头、红外报警系统。建设单位必须配备专(兼)职人员负责放射性药物的管理并建立健全放射性物质的保管、领用、注销登记和定期检查制度。要求设置专门的台账(如交收账、库存帐、消耗账),加强对放射性药物的管理,严防丢失。放置放射性物质的容器,必须容易开启和关闭,容器外必须有明显的标签(注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起止时间、存放负责人等)。放射性药物要设有专门可靠的防火防盗等安全设施的贮存场所,且不得将放射性药物与易燃易爆及其他危险物品放在一起。

(4) 表面污染控制措施

为保证非密封源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,须在有负压的通风橱内进行,防止放射性物质撒漏;
- ③放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训,具备相应的技能与防护知识,并配备有适当的防护用品;

④操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质,并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测,并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污,以满足《电离辐射防护源安全基本标准》(GB18871-2002)中规定的标准值。

(5) 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、铅衣等个人防护用品,注射器配备注射防护套和注射器防护提盒。

时间防护:在满足工作质量的前提下,尽量减少扫描时间,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。

（6）操作过程中的防护措施

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

^{18}F 放射性药物的注射是在 ^{18}F 注射窗口，在注射过程中医生均要做好个人防护措施，包括穿戴铅衣、铅帽、铅手套和铅围脖等，均具备 0.5mmPb 当量，注射操作台拟采用 20mmPb 当量的铅玻璃防护，并在注射位挡一厚度约 20mmPb 当量的挡板。注射操作时，医生（采取相应防护措施）与病人及药物分别位于铅玻璃的两侧。 ^{18}F 病人注射后进入注射后休息室等候候诊。

（7）核医学科对服药和注射后病人防护措施

首先告知病人及家属辐射可能带来的危害性， ^{18}F 注射病人要与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在注射后休息室内驻留，医院需要划定专门的陪护人员等候区并尽量远离非密封源工作场所，同时需要求病人在注射后在注射后休息室静候，禁止随意走动，呕吐物和排泄物要排入注射后休息室内专用厕所，最终排入本项目衰变池。病人扫描结束后，需在留观室留观，留观无恙后方可由核医学科单向门禁离开。本项目设有两个注射后休息室，每个休息室容纳 2 名病人，床位之间用移动铅屏风隔开；留观室容纳 1 人，本项目核医学每日工作 8h，预计每天诊断 20 人，候诊时间约 40min，扫描时间约 15min，留观时间 10~15min，因此本项目注射后休息室及留观室患者容量满足本项目就诊人数需求。

10.2 辐射安全防护措施的可行性

结合《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序（第三版）》和《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）中的相关检查内容，将本项目在设计阶段拟采取的上述防护措施汇总列入表 10-11。

表 10-11 本项目设计阶段拟采取的安全防护措施汇总表

一、直线加速器工作场所			
项目	检查内容	设计内容	符合情况
场所设施	墙体屏蔽+迷道	已设计	符合
	铅防护门	已设计	符合
	防止非工作人员操作的锁定开关	仪器自带	符合
	加速器治疗床、加速器主机上及控制台上具备紧急停机按钮	仪器自带	符合
	电视监控与对讲系统	仪器自带	符合
	条件显示联锁、控制超剂量的联锁装置、时间控制联锁	仪器自带	符合
	门机联锁、门灯联锁	拟配备	符合
	入口处电离辐射警告标志	拟设置	符合
	入口处加速器工作状态显示	拟设置	符合
	机房内准备出束音响提示	仪器自带	符合
	控制台蜂鸣器	仪器自带	符合
	紧急开门按钮	拟配备	符合
	监控、对讲装置	拟配备	符合
	机房内紧急停机按钮	拟配备	符合
其他	个人剂量计	拟增配	符合
	机房内固定式剂量报警仪	拟配备	符合
二、PET-CT 及 CT 模拟定位机工作场所			
项目	检查内容	设计内容	符合情况
场所设施	隔室操作	已设计	符合
	观察窗防护	已设计	符合
	门防护	已设计	符合
	候诊位设置	已设置	符合
	辅助防护用品	拟配备	符合
	通风设施	拟设置, PET-CT 扫描间和 CT 机房设置机械排风系统	符合
	入口处电离辐射警告标志	拟设置	符合
	入口处工作状态显示	拟设置	符合
其它	个人剂量计	拟增配	符合
三、非密封放射性物质			

场所设施	分区管理	拟执行	符合
	场所门外电离辐射警示标志	已设计	符合
	通风设施	已设计,且通风橱风速不低于1m/s	符合
	注射用屏蔽设施	已设计	符合
	病人专用卫生间	已设计	符合
	患者进出口单向门禁	已设计	符合
其它	门外电离辐射警示标志	拟设置	符合
	储源场所防火、防水、防盗、防丢失、防破坏措施	设置储源室	/
	通风橱	拟设置,通风橱风道连接机械排风系统,抽排至楼顶部	符合
四、其它			
监测设备	便携式辐射剂量仪 (污染、辐射水平等)	拟配置	符合
	个人剂量计	拟配置	符合
放射性废液和放射性废物	放射性下水及标识(衰变池)	已设计	符合
	放射性废物暂存间,防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏措施	拟设置	符合
	放射性固体废物收集容器、标识、标签	拟配备	符合
防护器材	个人防护用品	拟增配	符合
	放射性表面去污用品和试剂	拟配备	符合

从表 10-11 可见,本次环评涉及的辐射设备、工作场所及其人员拟采取的辐射安全措施符合中华人民共和国环境保护部令第 18 号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序(第三版)》、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)等相关文件的要求。根据“表 11”中的预测结果,本项目在正常运行工况下,产生的辐射经按设计方案建设的屏蔽实体以及个人防护用品屏蔽后,所致工作人员的职业照射剂量和公众照射剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和本次评价标准的要求,说明各辐射工作场所拟用的屏蔽材料和防护厚度是满足屏蔽防护要求的。综上所述,按设计方案建设的各辐射工作场所,其拟采用的防护措施能够有效屏蔽各自辐射源产生的射线,符合相关标准要求。环评认为,本项目拟建的各辐射工作场所及其拟采取辐射安全防护措施是合理可行的。

10.3 放射性“三废”的治理

本项目运行期产生的主要放射性“三废”为核医学工作场所使用非密封性同位素过

程中产生的含放射性固废、放射性废水和放射性废气，医院拟采取以下“三废”治理措施。

10.3.1 放射性废气

本项目核医学科工作场所排风井位于核医学科西侧，排风管道从排风井出发分为2支，其中1支单独连接注射室内设置的通风橱，放射性药物的各项操作均在通风橱内进行，通风橱的风速不小于1m/s；第2支管连接注射后休息室、留观室、注射室、废物间、PET-CT扫描间等。各排风管内保持负压，拟安装防回流装置，通风管道布设如附图4所示。

核医学科产生的废气经由该排风井排至楼顶（楼高23层），排风口高于本建筑屋脊，排风口周围10m范围内无遮挡物，设计使用总排风量为2000m³/h的排风机，同时在排风口配置高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施。

环评要求：核医学科各排风管道必须密封良好，过滤器及活性炭需定期更换，更换后的活性炭经贮存衰变10个半衰期后作为一般医疗废物处置。

10.3.2 放射性废水

本项目PET工作场所工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废液以及患者冲洗排便用水。上述放射性废水排放至核医学科楼下负二层的拟设置的衰变池组。衰变池为300mm厚混凝土浇注主体结构，配置动力及自动运行控制系统，可实现全自动或手动两种运行控制方式。待10个以上半衰期后废水总β满足10Bq/L后排入医院医疗废水污水处理站进一步处理达标后纳入市政污水管网。衰变池设计图如附图6所示。

①处理措施

衰变池组位于核医学科楼下负二层，设置在240mm砖墙房内。衰变池组由三个并联衰变池组成，三个衰变池有效总容积为12.5m³（分别为3.8m³/3.8m³/4.9m³），用于存放PET工作场所产生的放射性废水。

放射性废水衰变池采用C30抗渗混凝土浇筑，除此以外为保证衰变池不发生渗漏，还应采取正确选用外加剂、外渗料的措施，同时在施工中加强控制，采用正确的浇筑方法，保证混凝土的均匀性和密实性。衰变池设置有自动化运行控制系统和高水位传感器，通过PLC控制衰变池进水阀和出水阀，当第一个衰变池达到设定水位触发液位传感器发出信号，则关闭进水阀，并打开第二个衰变池进水阀，依次类推。第三个衰变池开始进

水时则打开第一个衰变池出水阀进行排水。1个循环为（也可人为设置小于此周期）至一个衰变池达到设定水位后即停止废水进入并开始计时衰变。

②衰变池容量可行性分析

核医学科放射性废水主要来源是工作台面、地面去污时产生的放射性废水，工作人员操作过程中手部受到微量污染的清洁废水，患者冲洗排便废水。该项目涉及的核素为 ^{18}F （半衰期为109.8min）。

患者产生的废水量：根据医院提供的资料，按本项目核医学科最大工作负荷：PET使用 ^{18}F 显像诊断5000人次/年，保守按每检查一人次平均产生10L废水估算；工作人员在完成一天的制药和注射工作后需进行污染检测，并进行去污清洗而产生放射性废水，每天放射性废水产生量约为50L，则核医学科工作场所每年产生62.5m³a，平均每天产生0.25m³（按250天计），按单个衰变池有效使用容量为3.8m³计，则注满一池需要15个工作日（21天）。本项目设置有3个并联衰变池，第1周期衰变池内废水排放时，废水在衰变池内衰变时间为42天， ^{18}F 的半衰期为109.8min，放射性废水在衰变池衰变完全可以满足放射性废水在衰变池贮存10个半衰期以上的要求，经衰变池后废水中总β浓度远小于10Bq/L。

表 10-12 衰变池放射性核素的相关参数一览表

核素名称	每日排入衰变池核素量 (Bq)	核素半衰期	注满一池核素量 (Bq)	排放时存放时间	衰变后核素排放量 (Bq)	排放废水中核素浓度 (Bq/L)
^{18}F	1.48×10^9	109.8min	2.22×10^{10}	42d	<0.01	<0.01

注： ^{18}F 核素检查的患者需要候诊、扫描等操作，在给药后候诊区停留时间较长且需要上厕所，保守按核素使用量的20%排入衰变池考虑。

放射性废水衰变池设有废水取样口和检修口，首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后方可排放，依据首次排放水样监测数据定制排水计划（建议1月排放1次），之后按照排水计划排放。建设单位应加强废水排放的管理，制定排水计划后每次排放时间、排放量等应详细记录，设置专门的废水排放台账，台账应有专人管理，存档保存。

③环评要求

i 放射性衰变池池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，放射性衰变池应加以密封，应有防雨、防渗和防漏的措施。

ii 规定患者治疗期间使用专用厕所，不得使用其他厕所。

iii 专用厕所应具备使病人排泄物迅速全部冲洗入池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

iv 医院所修建放射性废水衰变池应保证放射性废水储存 10 个半衰期（本项目所用放射性核素最长的半衰期）以上，并对放射性废水进行监测，当总 β 放射性小于 10Bq/L 时，方可排入医院废水处理系统。衰变池需设置取样口，便于日常的环境监测。

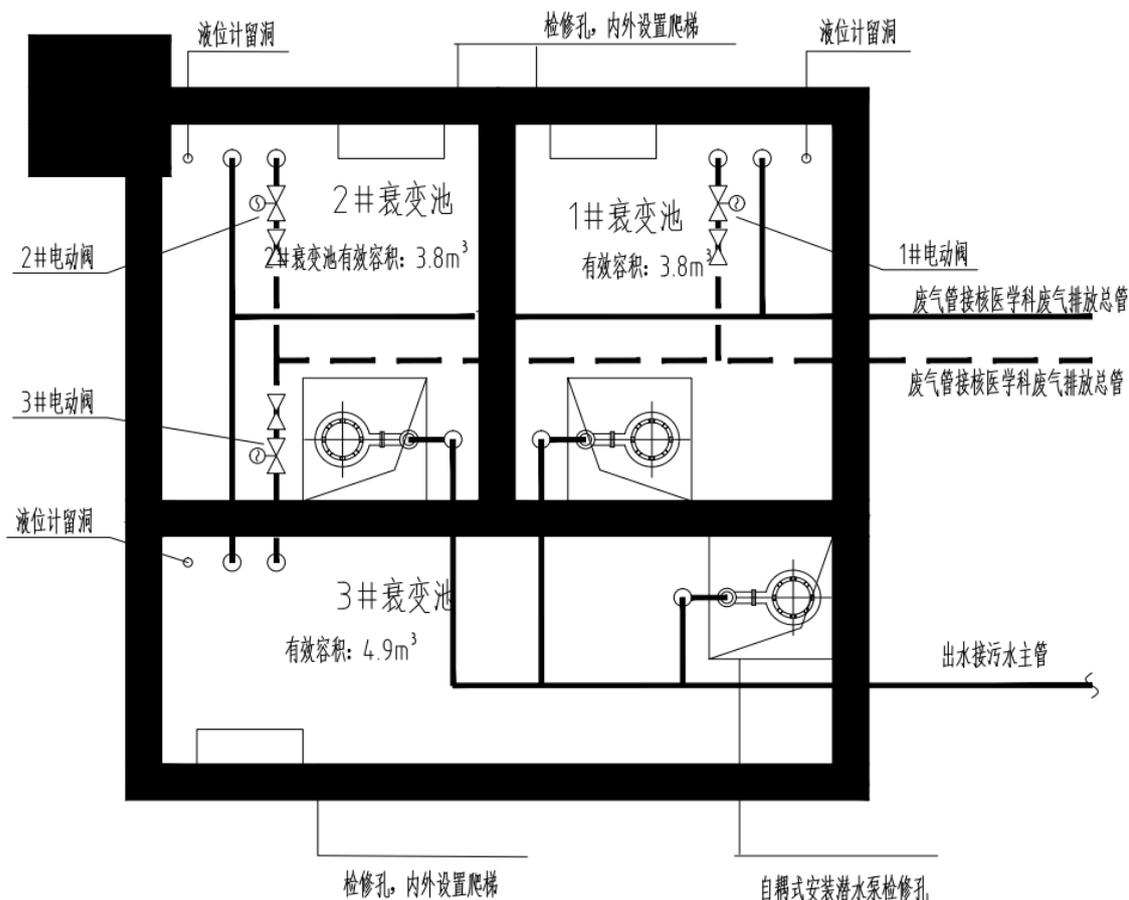


图 10-3 放射性废水衰变池平面示意图

10.3.3 放射性固废

本项目核医学科工作场所工作人员操作过程产生的注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料和更换下的废活性炭等放射性废弃物。

医院拟在注射室、注射后休息室各设置1个10L的脚踏式铅桶（10mm铅当量）收集上述放射性固体废物，铅桶内放置塑料袋，对注射器和破碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入塑料袋内。包装袋要标明收贮时间、种类及数量等内容，每袋废物表面剂量率不超过0.1mSv/h，重量不超过20kg。包装袋按序封闭暂存于废物间放射性衰变箱（10mm铅当量）内，让放射性物质自行衰变，待10个以上半衰期后衰变至符合清洁解控水平后，按照医疗废物交由由资质单位进

行处置。

本项目仅使用 ^{18}F 核素，其半衰期为109.8min，半衰期很短，本次评价建议将含 ^{18}F 核素在废物铅桶中暂存至少1天的时间进行衰变。根据医院提供的资料，患者诊断过程放射性固废产生量约0.05kg/人， ^{18}F 核素诊断每天诊断20人次，则每天产生固废量约1.0kg，废物间设置1个铅废物衰变池暂存放射性固废。

每次放射性废物处置应做好固废排放台账，记录固废排放监测数据、收集时间及收集量，台账应有专人管理，存档保存。

环评要求：

①放射性废物应收集在具有防护外层和电离辐射标志的固体废物桶中，固体废物桶应避免辐射工作人员和经常走动的地方，装满后的废物袋应密封，不破漏；

②存放废物的容器必须安全可靠，并在铅废物桶的显著位置处标有废物类型、核素种类、比活度范围和存放的日期等说明；

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令 第 612 号）的相关规定。

10.4 非放射性污染防治措施

本项目运行期间产生的非放射性污染物主要是射线装置机房产生的臭氧、风机噪声、生活污水、生活垃圾。具体治理措施如下：

(1) 废气治理措施

本项目加速器运行过程，X射线与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体，相比之下臭氧的危害较氮氧化物大，其产额高，氮氧化物产额为臭氧的1/3。本项目加速器治疗室设计排风总量为1700m³/h，机房体积约320m³，通风次数约5次/h，通风换气次数每小时不小于4次。能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“治疗室通风换气次数应不小于4次/h”的要求。

本项目加速器治疗室通风系统拟采用上送下排，机械通风换气，送风管道由上方经机房西墙进入加速器机房，穿墙部分采用“Z”型，送风口设置于天花板处，由上向下送风；机房东侧防护墙下方距地坪约30cm左右处设置两个排风口，排风管经治疗室南墙上方穿墙而出，穿墙部分采用“Z”型。加速器机房进出风管道避开主射线直接照射，射线经几次散射后，进出风管道进出口处辐射剂量将在控制范围内。在工作中要保证通风设施完好和正常工作，臭氧50分钟后自动分解为氧气，因此臭氧和氮氧化物等

有害气体将不会对人员和周围大气环境产生明显影响。

PET-CT 和 CT 模拟定位机等Ⅲ类射线装置在运行是也会产生少量的臭氧和氮氧化物，经机房机械排风装置排至室外，不会对周围大气环境产生明显影响。

(2) 生活污水和生活垃圾处理措施

本项目工作人员工作中会产生少量的生活污水、生活垃圾和办公垃圾，依托医院已有的污水处理系统和生活垃圾收集系统进行处理。

(3) 噪声治理措施

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机，各机房所使用的通排风系统均为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其噪声值一般低于 60dB(A)，噪声较小，且所有风机均设置在医院配套用房楼顶，考虑到噪声的远距离衰减作用，无需采用专门的降噪措施，对周围环境影响可以忽略不计。

(4) 射线装置报废处理

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

环保投资估算

本项目总投资约 3000 万元，估算环保投资 60 万元，占总投资额的 2.0%。项目环保投资估算见表 10-13。

表 10-13 环保设施及投资估算一览表

环保设施		数量	投资（万元）
直线加速器工作场所	防护墙体+迷道	/	计入建设费用
	铅防护门	1 套	计入建设费用
	门机联锁、门灯联锁	1 套	0.3
	紧急开门按钮	1 套	0.2
	机房内紧急停机按钮	4 套	0.8
	机房内固定式剂量报警仪	2 套	0.4
	机房内通风设施	1 套	0.5
	视频监控设施	2 套	0.5
	个人剂量报警仪	2 台	0.1
CT 模拟定位机房	防护墙体	/	计入建设费用
	铅防护门（2 扇）		计入建设费用
	观察窗（1 个）		计入建设费用
	紧急止动按钮		0.1
	个人防护用品		0.8
	排风设施		0.1
核医学科工作场所	防护墙体	/	计入建设费用
	铅防护门	11 套	计入建设费用
	观察窗	1 套	计入建设费用
	易去污的工作台面和防污染覆盖材料	1 套	0.3
	活度计	1 只	0.3
	注射防护套	2 套	1.0
	给药窗口	1 套	2.0
	移动铅屏风	3 件	2.0
	通风橱	1 个	3.0
	对讲和视频监控系统	2 套	12.0
	通道门禁	2 套	3.0
	场所门外电离辐射警示标志	6 套	0.2
	放射性废水处理设施	1 座	15.0
	放射性固废收集贮存铅桶/箱	5 个	2.0
	高效排风过滤器+活性炭高效过滤器二级处理设施	2 套	6.0
	个人剂量报警仪	2 台	0.1
	个人剂量计	8 台	1.0
	表面污染监测仪	1 台	1.5
	γ辐射监测仪	1 台	1.5
	放射性表面去污用品和试剂	1 套	1.0
个人防护用品	4 套	2.0	
其他	辐射安全培训费	-	0.3
	环保设施日常维护及监测费用	-	2.0
合计			60

今后在实践中，医院应根据国家发布的法规内容，结合自身实际情况对环保设施做相应补充，使之更能满足实际需要和法规要求。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目施工期主要为防护装修和装修装饰，施工期短，施工范围小，通过对施工时段的控制以及施工现场严格管理等手段，可使本项目施工期环境影响的范围和强度进一步减小。施工结束后，项目施工期环境影响随之消除。因此，本项目不对施工期的环境影响进行具体分析。

11.2 设备安装调试期间的环境影响分析

本环评要求设备的安装、调试应请设备厂家专业人员进行，医院方不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，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，关闭防护门，在各个机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时各机房必须上锁并派人看守。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。由于各设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.3 运行阶段辐射环境影响分析

11.3.1 CT 模拟定位机辐射环境影响分析

本项目 CT 模拟定位机房实际使用面积、最小单边长度以及实际的屏蔽防护铅当量如表 11-1 所示。

表 11-1 CT 模拟定位机房实际设计屏蔽情况评价

场所类型	机房设计使用面积	标准要求	评价	屏蔽设计材料及厚度 (mmPb)	标准要求	评价
CT 模拟定位机	40.3m ² (6.2m×6.5m)	机房内最小有效使用面积 30m ² ，机房内最小单边长度 4.5m	符合	四周墙体：370mm 实心砖 (3.3)	不小于 2.5mm 厚铅当量	符合
				顶棚：120mm 混凝土+2mmPb 当量硫酸钡防护涂料 (3.5)		符合
				防护门：4mm 铅板 (4.0)		符合
				观察窗：4mmPb 当量铅玻璃 (4.0)		符合
				地坪：180mm 混凝土+1mmPb 当量硫酸钡防护涂料 (3.4)		符合

由表可知，本项目CT模拟定位机房的屏蔽防护满足《医用X射线诊断辐射防护要求》(GBZ130-2013)的要求，机房屏蔽体外 30cm处的剂量当量率小于 2.5μSv/h，对周围辐射环境影响不大。此外，本项目CT机房设置有动力排风装置，可保持良好的通风，满

足《医用X射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）要求。

11.3.2 直线加速器机房周围辐射水平估算

11.3.2.1 加速器机房主屏蔽区宽度校核

使用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）4.3.3中有关公式计算有用线束主屏蔽区的宽度。

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

式中：

Y_p ：机房有用射线束主屏蔽区的宽度，m；

θ ：治疗束的最大张角（相对束中的轴线），即射线最大出射角的一半；射线最大出射角 28° ， θ 取 14° ；

SAD ：源轴距，m；（对于医用电子直线加速器 $SAD=1\text{m}$ ）

a ：等中心至墙的距离，m；

当主屏蔽墙区向机房内凸时，“墙”指与主屏蔽相连接的次屏蔽（或顶）的内表面；当主屏蔽墙区向机房外凸时，“墙”指与主屏蔽区墙（或顶）的外表面。

本项目加速器机房需考虑北墙、南墙和顶盖主屏蔽区。机房主屏蔽墙体的宽度核算结果见表 11-2。

表 11-2 主屏蔽墙体的宽度核算

机房名称	主屏蔽墙位置	等中心至墙的距离 a	计算值	本项目设计值	评价结果
直线加速器机房	北墙主屏蔽墙宽度（内凸）	4.75m	3.47m	4m	满足
	南墙主屏蔽墙宽度（内凸）	4.75m	3.47m	4m	满足
	顶盖主屏蔽墙宽度（外凸）	5.40m	3.79m	4m	满足

11.3.2.2 加速器机房关注点设立及剂量参考水平

(1) 加速器机房关注点设立

本项目加速器机房位于地下负一层，地下二层为封闭空间，北侧为土层，关注点的选取主要考虑可能对工作人员或公众产生影响的区域。关注点主要设置在机房四周及屋顶。

具体关注点描述如表 11-3，分布情况见图 11-1、11-2。

表 11-3 关注点描述

点位名称	点位描述
a	南侧防护墙主屏蔽区外 30cm 处，控制室
a1	南侧防护墙次屏蔽区外 30cm 处，候诊区
b	东侧防护墙外 30cm 处，水冷机房
c	西侧防护墙外 30cm 处，消防水池
k	西侧防护墙外 30cm 处，消防水池
g	防护门外 30cm，候诊大厅
m	顶盖主防护区上方 30cm，中心花园
m1	顶盖副防护区上方 30cm，地面车道

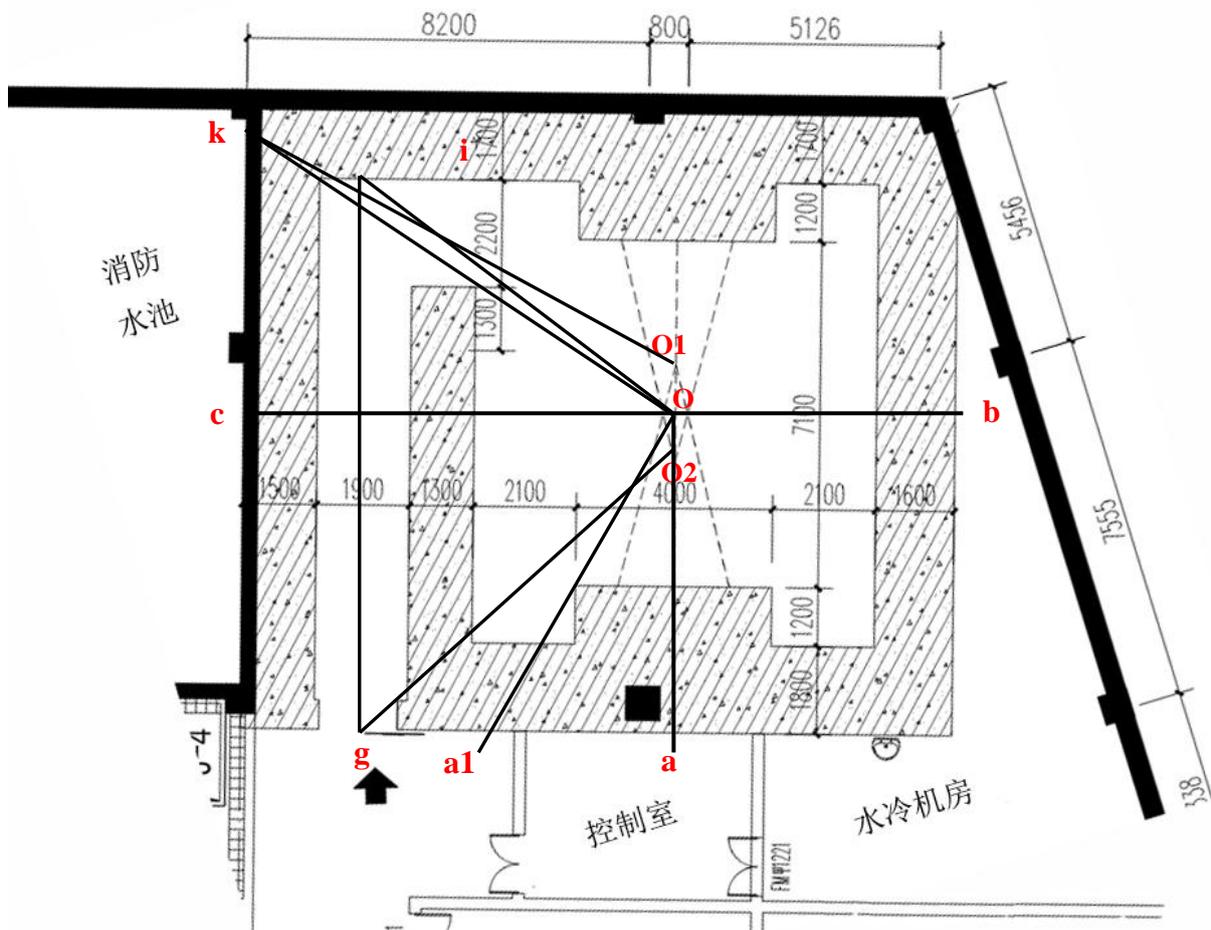


图11-1 加速器机房四侧墙体外关注点位图

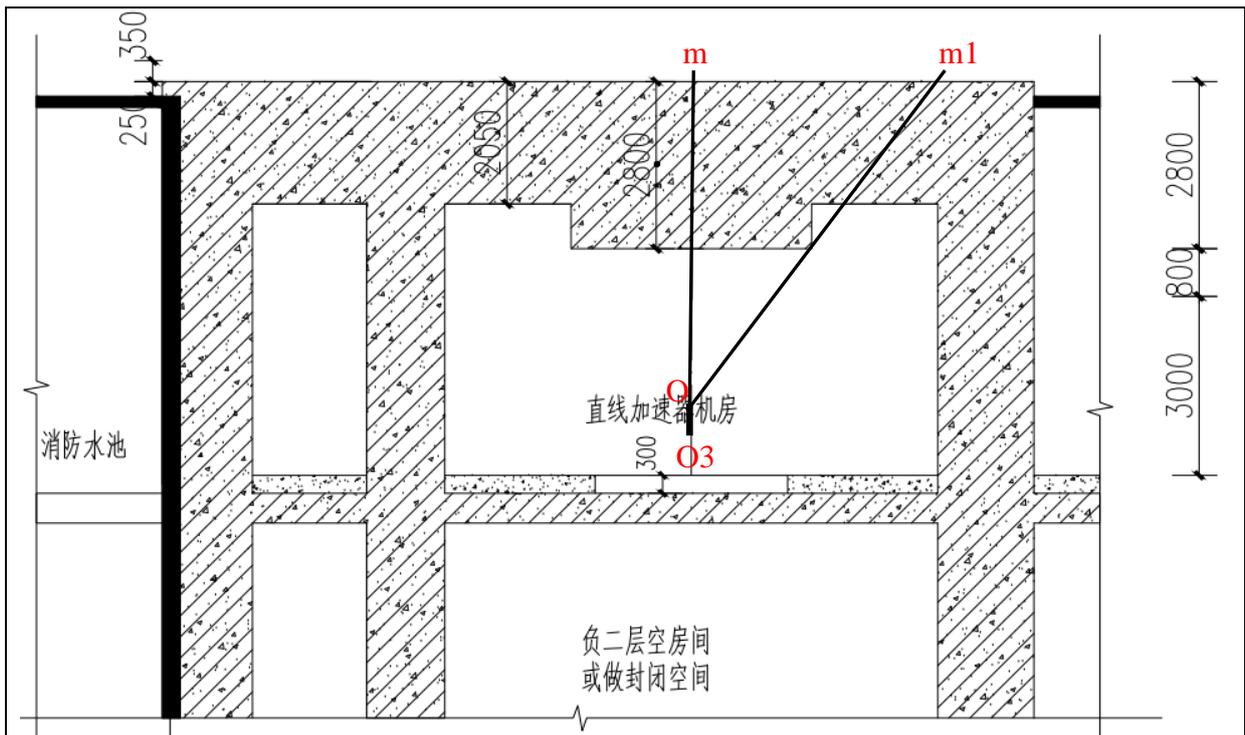


图 11-2 加速器机房顶棚关注点位图

(2) 剂量率参考水平

参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)，机房外各关注点的导出剂量率参考控制水平 H 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，采用以下周剂量控制水平 (H_c) 求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ 。

i 有用线束

有用线束在关注点的周剂量参考控制水平为 H_c 时，该关注点的导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ ：

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

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

H_c 为周剂量参考控制水平，职业人员取 $\leq 100\mu\text{Sv/周}$ ，公众取 $\leq 5\mu\text{Sv/周}$ ；

U 为主射线束向关注位置的方向照射的使用因子，取 1；

T 为居留因子；

t 为周治疗照射时间，h。

ii 单一泄漏辐射

泄漏辐射在关注点的周剂量参考控制水平为 H_c 时，该关注点的导出剂量率参考控

制水平 $H_{c,d}$:

$$\dot{H}_{c,d} = \frac{H_c}{t \times N \times T} \dots\dots\dots \text{(式 11-3)}$$

式中: H_c 为周剂量参考控制水平, 职业人员取 $\leq 100\mu\text{Sv}/\text{周}$, 公众取 $\leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$;

N 为强调治疗时用于泄漏辐射的强调因子, 通常 $N=5$;

T 为居留因子;

t 为周治疗照射时间, h。

iii 复合辐射

与主屏蔽直接相连的次屏蔽区, 需要考虑加速器的泄露辐射和有用线束水平照射的患者散射辐射。

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 12 人次, 每次出束治疗时间最多 5min, 周治疗时间为 5h。

停留因子参照《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) 选取, 具体数值见表 11-4。

表 11-4 停留因子的选取

场所	居留因子 (T)		停留位置
	典型值	范围	
全停留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分停留	1/4	1/2-1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5: 走廊、雇员等候室、职员等候室
偶然停留	1/16	1/8-1/40	1/8: 各治疗室房门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场, 车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

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, $H_{c, max} \leq 10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

取①、②中较小者作为关注的剂量率参考控制水平 H 。由此确定的个关注点的剂量率参考控制水平和主要考虑的射线束见表 11-5。

表 11-5 机房外个关注点剂量率参考控制水平和主要考虑的射线束

关注点位	居留因	剂量率参考控制水平 (H) $\mu\text{Sv}/\text{h}$			主要考虑的 辐射束	射线路径
		$H_{c,d}$	$H_{c, max}$	H		
a	1	20	2.5	2.5	主射线束	$o_1 \rightarrow o \rightarrow a$

a1	1/8	0.8	5.8	10	5.8	泄漏辐射	o→a1;
		5				散射辐射	o1→o→a1
b	1/16	3.2		10	3.2	泄漏辐射	o→b
c	1/16	3.2		10	3.2	泄漏辐射	o→c
g	1/8	0.8	5.8	10	5.8	泄漏辐射	o ₂ →d
		5				散射辐射	o ₂ →o→i→d
k	1/16	1.6	6.6	10	6.6	泄漏辐射	o1→k
		5				散射辐射	o1→o→k
m	1/16	16		2.5	2.5	主射线束	o3→o→m
m1	1/16	1.6	6.6	2.5	2.5	泄漏辐射	o→m1
		5				散射辐射	o3→o→m1

11.3.2.3 加速器机房屏蔽体厚度校核

(1) 主屏蔽墙、侧屏蔽墙及迷道内墙屏蔽厚度核算

采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011) 中给出的方法计算。计算公式如下：

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

$$X_e = TVL \times \log B^{-1} + (TVL_1 - TVL) \quad \dots\dots\dots \text{(式 11-5)}$$

$$X = X_e \cos \theta \quad \dots\dots\dots \text{(式 11-6)}$$

式中，B 为辐射屏蔽透射因子；

X_e 为有效屏蔽厚度，cm；

TVL_1 和 TVL 为 X 射线第一个什值层厚度和平衡什值层厚度，查 GBZ/T201.2-2011 表 B.1；

H_c 为剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 为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， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

f 为比例因子，对有用线束为 1，对泄漏辐射为 1×10^{-3} ；

B 为辐射屏蔽透射因子；

R 为辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

X 为墙体屏蔽厚度，cm；

泄漏辐射入射角角度小于 30° 时，以垂直入射保守估算。核算结果见表 11-6。

表 11-6 加速器机房主屏蔽墙、侧屏蔽墙及迷道内墙屏蔽厚度核算

参数	南侧墙体主屏蔽(关注点 a)	房顶主屏蔽(关注点 m)	东侧墙体屏蔽(关注点 b)	西侧墙体屏蔽(关注点 c)	迷道内墙(关注点 g)
$H(\mu\text{Sv/h})$	2.5	2.5	3.2	3.2	0.8
$H_o(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h				
$R(\text{m})$	7.85	6.75	5.83	8.9	8.7
f	1	1	1×10 ⁻³	1×10 ⁻³	1×10 ⁻³
B	1.07×10 ⁻⁷	7.91×10 ⁻⁸	7.55×10 ⁻⁵	1.76×10 ⁻⁴	4.21×10 ⁻⁵
$TVL(\text{cm})$	37	37	31	31	31
$TVL_1(\text{cm})$	41	41	35	35	35
理论屏蔽厚度 X (cm)	262	267	132	121	121
设计厚度 (cm)	300	280	160	150+120	130
是否满足屏蔽要求	是	是	是	是	是

(2) 与主屏蔽区相连的次屏蔽区及迷道外墙屏蔽厚度核算

根据 GBZ/T 201.2-2011, 对于与主屏蔽区相连的次屏蔽区应考虑泄漏辐射和患者的一次散射辐射的复合作用, 分别计算其所需屏蔽厚度, 取较厚者。泄漏辐射所需厚度按照式 11-4、11-5、11-6 进行计算, 散射辐射的透射因子按式 11-5、11-6、11-7 进行计算。

$$B = \frac{H_c \times R^2}{H_o \times \alpha_{ph} \times \left(\frac{F}{400}\right)} \dots\dots\dots \text{(式 11-7)}$$

式中, α_{ph} 为患者 400cm² 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m (关注点方向) 处的剂量比例, 又称 400 cm² 面积上的散射因子; 查 (GBZ/T201.2-2011) 附表 B.2, 本项目保守按患者散射角为 30°, 射线能量为 10MV 取值, 则 α_{ph} 为 3.18×10⁻³;

F 为治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm²; 本项目为 40×40 cm²。

核算结果见表 11-7。

表 11-7 加速器机房与主屏蔽区相连的次屏蔽区及迷道外墙泄漏辐射屏蔽厚度核算

参数	南侧墙体次屏蔽(关注点 a1)		房顶次屏蔽(关注点 m1)		迷道外墙(关注点 k)	
	泄漏辐射	散射辐射	泄漏辐射	散射辐射	泄漏辐射	散射辐射
$H(\mu\text{Sv/h})$	0.8	5	1.6	5	1.6	5
$H_o(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h})$	1.44×10 ⁹ μSv·m ² /h					
α_{ph}	/	3.18×10 ⁻³	/	3.18×10 ⁻³	/	3.18×10 ⁻³
R	7.8		5.5		9.7	
屏蔽厚度 X (cm)	124	116	121	124	109	112
设计厚度 (cm)	180		205		150	
是否满足屏蔽要求	是	是	是	是	是	是

根据（GBZ/T 201.2-2011）中 5.2.5（a）中规定计算有线束患者散射辐射和加速器泄漏辐射所需要的屏蔽厚度，屏蔽设计取二者中较厚者。

（3）防护门铅板厚度核算

采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中给出的方法计算，防护门铅板厚度核算公式如下：

$$X = TVL \cdot \log B^{-1} \dots\dots\dots \text{（式 11-8）}$$

$$B = (H_c - H_{og})/H_g \dots\dots\dots \text{（式 11-9）}$$

$$H_g = \frac{\alpha_{ph} \times \left(\frac{F}{400}\right)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A}{R_2^2} \times H_0 \dots\dots\dots \text{（式 11-10）}$$

式中，X 为铅屏蔽厚度 X，cm；

TVL=0.5cm（铅）；

H_g 为 g 处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

α_{ph} 为患者 400 cm^2 面积上的散射因子，见附录 B.2，通常取 45° 散射角的值；

F 为治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

α_2 为砼墙入射的患者散射辐射（能量见附录 B 表 B.3）的散射因子，通常取 i 处的入射角为 45°，散射角为 0°， α_2 值见附录 B 表 B.6，通常使用其 0.5MeV 栏内的值；

A 为 i 处的散射面积， m^2 ；

R_1 为第一次散射“o-i”之间的距离，m；

R_2 为第二次散射“i-g”之间的距离，m；

H_0 为加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

H_c 为剂量率参考控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_{og} 为 o2 位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在 g 处的剂量率。

经计算，最终得到的防护门屏蔽铅当量厚度为 19.1mm，实际设计为 20mm 铅板+150mm 含硼聚乙烯材料，可满足屏蔽要求。

（4）加速器机房屏蔽核算小结

根据表 11-5~表 11-7 核算结果可知，机房主屏蔽区、侧屏蔽墙、迷道内外墙厚度校核，主屏蔽区相连的次屏蔽区屏蔽厚度均可满足要求；防护门屏蔽铅当量核算厚度为 19.1mm，实际设计为 20mm 铅板+150mm 含硼聚乙烯材料，亦可满足屏蔽要求。

11.3.2.4 关注点预测计算

(1) 主屏蔽墙、侧屏蔽墙及迷道外墙剂量率 (图 11-1, a、b、c、k、a1 点; 图 11-2, m、m1 点)

采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2-2011) 中给出的方法计算 (式中各符号含义同前文)。计算公式如下:

(a) 辐射屏蔽透射因子:

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

(b) 屏蔽体外关注点的剂量率:

$$H = \frac{H_0 \cdot f \cdot B}{R^2} \dots\dots\dots \text{(式 11-12)}$$

(c) 有用线束和泄漏辐射计算

a 点、m 点为有用线束, 本项目加速器机房北侧为土层, 楼下为封闭空间, 因此不设关注点。b、c 点主要考虑泄漏辐射的屏蔽, 有用线束和泄漏辐射计算按式 11-11 和式 11-12 进行计算。

按式 11-11~式 11-12 进行计算, 各参数选取及计算结果见表 11-8。

表 11-8 主屏蔽墙主屏蔽区及侧屏蔽墙外 30cm 处剂量率计算结果

关注点	a	m	b	c	
屏蔽厚度 X (mm)	3000	2800	1600	1200+1500	
入射角 θ (°)	0	0	0	0	
有效屏蔽层厚度 X_e (mm)	3000	2800	1600	2700	
TVL(mm)	370	370	310	310	
TVL ₁ (mm)	410	410	350	350	
屏蔽透射因子 B	1.00×10^{-8}	3.47×10^{-8}	9.28×10^{-6}	2.63×10^{-9}	
靶点到关注点的距离 R (m)	7.85	6.75	5.83	8.9	
泄漏辐射比 f	1	1	0.001	0.001	
距靶 1m 处的束辐射剂量率 H_0 ($\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9	
关注点剂量率 H ($\mu\text{Sv/h}$)	计算结果	0.234	1.100	0.393	4.77×10^{-5}
	控制值	2.5	2.5	2.5	2.5
	评价结果	满足要求	满足要求	满足要求	满足要求

由表 11-8 可知, 各关注点的剂量当量率均能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011) “在加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。”的要求, 屏蔽墙体放射防护设计符合要求。

(2) 与主屏蔽墙区直接相连的次屏蔽区及迷道外墙关注点剂量率 (图 11-1, a1、k 点, 图 11-2, m1 点)

本项目与主屏蔽区相连的次屏蔽区主要是南侧墙体次屏蔽区、室顶次屏蔽区, 剂量计算需考虑泄漏辐射和患者散射辐射的复合作用 (式中各符号含义同前文):

$$H_{\text{次}} = \dot{H}_{\text{漏}} + \dot{H}_s \dots\dots\dots \text{(式 11-13)}$$

(a) 泄漏辐射剂量

加速器泄漏辐射, 以位置 o 为中心, 使用因子 U 取 1, 屏蔽墙的斜射角接近 30°。

$$X_e = X \cdot \sec \theta \dots\dots\dots \text{(式 11-14)}$$

式中, 泄漏辐射的辐射剂量估算方法同主屏蔽, 其中泄漏辐射比率 f 为 1×10^{-3} 。相应 TVL1 和 TVL 为泄漏辐射值, 对混凝土, 10MV X 射线分别为 35cm 和 31cm。U 取 1。

(b) 散射辐射剂量

有用线束经人体后的散射辐射, 以等中心位置 o 为散射体中心, 散射角接近 30°, 屏蔽墙的斜射角与散射角相同。

有效屏蔽厚度计算方法同泄漏辐射剂量中的有效屏蔽厚度计算方法。

$$B = 10^{-X_e/TVL_s} \dots\dots\dots \text{(式 11-15)}$$

式中, TVL_s 为患者散射辐射在混凝土中的什值层, 10MV 能量的 X 射线散射角 30° 为 28cm。

散射辐射剂量:

$$\dot{H}_s = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \dots\dots\dots \text{(式 11-16)}$$

该区关注点应该考虑有用线束水平照射人体的散射辐射和加速器的泄漏辐射的复合作用, 根据 (式 11-13~式 11-16) 对关注点进行计算, 泄漏辐射对关注点的贡献值计算结果见表 11-9, 患者散射辐射对关注点的贡献值计算结果见表 11-10, 复合后的关注点剂量率计算结果见表 11-11。

表 11-9 泄漏辐射对与主屏蔽相连的次屏蔽区关注点剂量率贡献值

关注点	a1	k	m1
屏蔽厚度 X (mm)	1800	1500	2050
斜射角 θ (°)	30	30	30

有效屏蔽层厚度 X_e (mm)	2078	1732	2367
TVL(mm)	310	310	310
TVL ₁ (mm)	350	350	350
屏蔽透射因子 B	2.66×10^{-7}	3.48×10^{-6}	3.11×10^{-8}
等中心点到关注点的距离 R (m)	7.8	9.7	5.5
泄漏辐射比 f	0.001	0.001	0.001
距靶 1m 处的主束辐射剂量率 H_0 ($\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9	1.44×10^9	1.44×10^9
关注点剂量率 H ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	6.29×10^{-3}	5.33×10^{-2}	1.48×10^{-3}

表 11-10 患者散射对与主屏蔽相连的次屏蔽区关注点剂量率贡献值

关注点	a1	k	m1
屏蔽厚度 X (mm)	1800	1500	2050
散射角 θ ($^\circ$)	30	30	30
有效屏蔽层厚度 X_e (mm)	2078	1732	2367
TVL(mm)	280	280	280
TVL ₁ (mm)	280	280	280
屏蔽透射因子 B	3.78×10^{-8}	6.52×10^{-7}	3.52×10^{-9}
等中心点到关注点的距离 R (m)	7.8	9.7	5.5
散射因子 α_{ph}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}	3.18×10^{-3}
最大治疗野面积 F (cm^2)	1600	1600	1600
距靶 1m 处的主束辐射剂量率 H_0 ($\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10^8	3.6×10^8	3.6×10^8
关注点剂量率 H ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.14×10^{-2}	0.127	2.13×10^{-3}

根据表 11-9、表 11-10 计算结果，与主屏蔽相连的次屏蔽区参考点辐射水平如下：

表 11-11 与主屏蔽相连的次屏蔽区及迷道外墙关注点剂量率值

关注点	a1	k	m1
泄漏辐射剂量贡献值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	6.29×10^{-3}	5.33×10^{-2}	1.48×10^{-3}
患者散射辐射剂量贡献值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.14×10^{-2}	0.127	2.13×10^{-3}
复合后剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	1.77×10^{-2}	0.180	3.61×10^{-3}
控制值	2.5	2.5	2.5
评价结果	满足要求	满足要求	满足要求

由表 11-11 可知，与主屏蔽相连的次屏蔽区关注点的剂量当量率均能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)“在加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。”的要求，屏蔽墙体放射防护设计符合要求。

(3) 迷道外入口处辐射水平计算 (图 11-1, g 点)

① 计算说明

本项目加速器有用线束向迷道内墙照射，根据 GBZ/T201.2-2011 第 4.3.2.5 要求，

小于等于 10MV 加速器有用线束不向迷道照射时，相应迷道外入口处的辐射剂量考虑如下：

- (1) 患者散射辐射的辐射剂量，散射辐射路径为 (o2-o-i-g)。
- (2) 泄漏辐射的辐射剂量，泄漏辐射路径为 (o2-g)。

②计算公式

- (1) 患者散射辐射 (o2-o-i-g)

射线经人体散射后至迷道 i 点的散射角接近 45°；i 处墙向迷道外入口处的二次散射的散射角小于 10°，通常按 0°考虑。i 处的散射面积为自迷道外入口 g 处和等中心位置 o 共同可视见的区域 ((0.4m+2.4m) × 4m)。

迷道外入口 g 处的患者散射辐射剂量率 H_g 按公式如下公式计算 (式中各符号含义同前文)：

$$H_g = \frac{\alpha_{ph} \times (\frac{F}{400})}{R_1^2} \times \frac{\alpha_2 \times A}{R_2^2} \times H_0 \dots\dots\dots (式 11-17)$$

式中， H_g 为 g 处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ 。

- (2) 迷道内墙的泄漏辐射对 g 点的散射辐射 (o2-g)

泄漏射线穿过迷道内墙在 g 点辐射剂量率按式 11-1 和式 11-12 计算。

③计算结果及参数选择

- a) i 墙向 g 点处的散射辐射。

- (1) 患者散射辐射。

各参数选取及计算结果见表 11-12。

表 11-12 迷道入口处 (g 点) 处无防护门时患者散射辐射剂量率计算

参数名称	参数数值
患者 400cm ² 面积上的散射因子 α_{ph}	1.35×10^{-3}
有用束在等中心处的最大治疗野面积 F (cm ²)	1600
砼墙入射的患者散射辐射的散射因子 α_2	2.2×10^{-2}
g 点的散射面积(m ²)	11.2
“o-i” 之间的距离 R_1 (m)	7.7
“i-g” 之间的距离 R_2 (m)	11.3
泄漏辐射比 f	0.001
距靶 1m 处的泄漏辐射剂量率 H_0 ($\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9
关注点剂量率 H_g ($\mu\text{Sv/h}$)	3.25×10^4

(2) 泄漏辐射穿过迷道内墙对 g 点的散射辐射。

各参数选取及计算结果见表 11-13。

表 11-13 迷道入口处 (g 点) 处无防护门时泄漏辐射剂量率计算

参数名称	参数数值
“o2-g” 之间的距离 R(m)	8.7
B	4.56×10^5
泄漏辐射比 f	0.001
距靶 1m 处的泄漏辐射剂量率 H_0 ($\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	1.44×10^9
关注点剂量率 H_{og} ($\mu\text{Sv/h}$)	0.868

(4) 防护门外辐射剂量率计算 (图 11-1, g 点)

① 计算公式

在给定机房防护门的铅屏蔽厚度 X (cm) 时, 防护门外的辐射剂量率 H ($\mu\text{Sv/h}$) 按下式计算 (式中各符号含义同前文):

$$H = H_g \times 10^{-(X/\text{TVL})} + H_{og} \dots \dots \dots \text{(式 11-18)}$$

式中, $\text{TVL}=0.5\text{cm}$ (铅);

H_g 为 g 处的散射辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

H_{og} 为漏射 X 射线穿透迷道内墙后的最大剂量当量率。

② 计算结果及评价

各参数选取及估算结果见表 11-14。

表 11-14 防护门外的总辐射剂量率

参数名称	参数数值	
g 处的散射辐射剂量率 $H_g(\mu\text{Sv/h})$	3.25×10^4	
铅屏蔽厚度 X(mm)	20	
TVL(mm)	5	
漏射射线穿透迷道内墙后的最大剂量当量率 $H_{og}(\mu\text{Sv/h})$	0.868	
关注点剂量率 H ($\mu\text{Sv/h}$)	计算结果	0.868
	控制值	2.5
	评价结果	满足要求

由表 11-14 可知, 机房防护门外关注点的剂量当量率能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)“在防护门外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。”的要求, 屏蔽墙体放射防护设计符合要求。

(5) 加速器机房辐射防护评价小结

根据估算结果可知，直线加速器机房屏蔽墙、室顶和防护门外的剂量率均能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）“在加速器机房门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h”的要求。

（二）直线加速器所致人员有效剂量估算

根据医院提供预期工作负荷，加速器机房工作负荷如下：每年 50 周，每周 5 天，每天治疗 12 人次，每次出束治疗时间最多 5min，年曝光时间为 250h。

本项目加速器机房治疗室外关注点处人员年有效剂量按公式 11-24 计算（式中各符号含义同前文）。

照射剂量采用《辐射防护手册》（第一分册）中计算公式：

$$E = H \times U \times T \times t \times 10^{-3} \quad (\text{式 11-19})$$

式中：

E ：年有效剂量，mSv/a；

H ：辐射剂量率估算值，μSv/h；

T ：工作负荷，h/a；本项目直线加速器年工作负荷为 417h/a

U ：使用因子；保守计算使用因子均为 1。

t ：居留因子。

计算参数和计算结果见表 11-15。

表 11-15 人员年有效剂量计算结果

关注点	点位描述	关注人员类型	关注点处剂量率 H (μSv/h)	U	T	t (h/a)	关注点年有效剂量 H (mSv/a)
a	控制室职业人员	职业照射	0.234	1	1	250	0.059
b	水冷机房公众	公众照射	0.393	1	1/16		0.006
k	消防水池公众	公众照射	0.180	1	1/16		0.003
g	治疗室门外候诊区公众	公众照射	0.868	1	1/8		0.027
m	楼上地面公众	公众照射	1.10	1	1/16		0.017

根据以上估算，考虑最不利情况，工作人员可能存在连续上岗的情况，根据计算结果，即直线加速器全部由 1 组人员全部完成，则加速器机房辐射工作人员年受照剂量最大为 0.059mSv，周围公众年有效剂量最大为 0.027mSv，均能够满足本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众人员年有效剂量不超过 0.1mSv。

由于随距离的增加，公众受照剂量将不断减小，因此本项目 50m 评价范围内的其他公众人员也能满足 0.1mSv 的剂量约束值要求。

CT 机房与加速器控制室之间隔有模具间，且控制室距离 CT 机房边界为 5m，CT 机房对加速器控制室人员剂量影响可忽略。

11.3.3 核医学科工作场所周围辐射水平估算

(1) 工作负荷

PET-CT：¹⁸F，检查 20 人次/天，5000 人次/年，每人使用的核素平均活度为 370MBq(10mCi)。

(2) 估算公式

由《辐射防护手册》第三分册查出铅、混凝土和实心砖对 ¹⁸F 的半值层分别为 5.7mm、6.4cm 和 10.1cm；¹⁸F 的照射量常数 Γ 查表得到分别为 0.143 μ Gy m²/(h MBq)。

公示参考《辐射防护技术与管理》第一卷、《辐射源室屏蔽设计与评价》，辐射剂量率估算公式为：

$$Dr=f \cdot K^{-1} \cdot A \cdot \Gamma/R^2 \quad (\text{式 11-20})$$

式中： Dr 为 γ 剂量率， μ Gy/h；

K^{-1} 为屏蔽减弱系数，无量纲；

A 为放射源的预期最大放射性活度，MBq；

Γ 为空气吸收剂量率常数， μ Gy m²/(h MBq)；

R 为距放射源的距离，m。

$$K^{-1} = 2^{-(h/HVL)} \quad (\text{式 11-21})$$

式中： K^{-1} 为屏蔽减弱系数，无量纲；

H 为屏蔽层的厚度，mm；

HVL 为半值层厚度，mm。

年有效剂量估算计算公式：

$$H=0.7 \times Dr \times T \times t \times U \quad (\text{式 11-22})$$

式中：0.7 为转换系数；

H 为年有效剂量当量， μ Sv/a；

D_r 为空气吸收剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

t 为年受照时间, h/a ;

T 为居留因子;

U 为使用因子, 放射性核素以点源考虑, U 取 1。

(3) 核医学科工作场所辐射水平预测

PET-CT所用核素的 ^{18}F , 医院根据与病人预约情况向药物供应商订货, 由药物供应商按需将药物放置于防护罐 (50mmPb), 由放射源专用通道运输至注射室储源室待用。

根据医院提供的资料, 本项目PET注射后每个注射后休息室最多 2 人候诊; 留观室 1 间, 留观室最大只有 1 名患者, PET-CT扫描室每次仅能扫描一个病人, 病人注射药物经过一段时间的等待, 药物活度已经小于 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi), 偏保守的角度仍按单个病人 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi) 点源计算。本项目预计每天诊断 20 人, 候诊时间约 40min, 扫描时间约 15min, 留观时间 10~15min, 因此本项目注射后休息室及留观室患者容量满足本项目就诊人数需求。

分装室辐射剂量率按药物为点源计算, 预测关注点示意图见图 11-1。

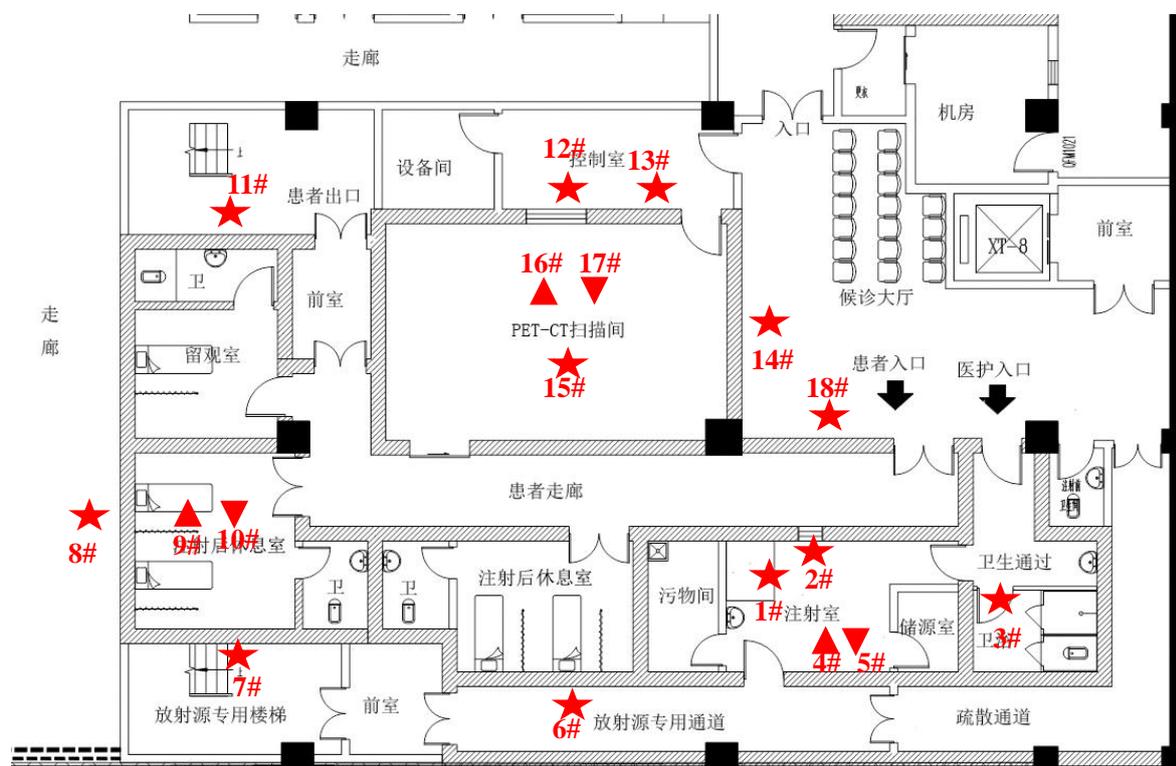


图 11-3 PET 工作场所预测关注点示意图

核医学科关注点位说明:

1#: 注射室分装取药位;

- 2#: 注射室注射位;
- 3#: 注射室东侧墙体外 30cm 处;
- 4#: 注射室楼上顶棚 30cm 处;
- 5#: 注射室楼上楼下 100cm 处;
- 6#: 放射源专用通道南侧墙体外 30cm 处;
- 7#: 注射后休息室南侧墙外 30cm 处;
- 8#: 注射后休息室西侧墙外 30cm 处;
- 9#: 注射后休息室顶棚 30cm 处;
- 10#: 注射后休息室楼下 100cm 处;
- 11#: 留观室北侧墙外 30cm 处;
- 12#: PET-CT 扫描间北侧防护窗外 30cm 处;
- 13#: PET-CT 扫描间北侧防护门外 30cm 处;
- 14#: PET-CT 扫描间东侧防护门外 30cm 处;
- 15#: PET-CT 扫描间医生摆位处;
- 16#: PET-CT 扫描间顶棚 30cm 处;
- 17#: PET-CT 扫描间楼下 100cm 处;
- 18#: 病人走廊北侧墙体外 30cm 处。

其中注射后休息室辐射剂量率按病人为点源计算，按最大工况考虑，每个休息室按 2 个病人注射后等待，扫描间、留观室均按 1 个病人为源强进行计算，单个病人注射 ^{18}F 为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)。保守计算，不考虑病人在候诊过程的药物衰减。

经理论计算，PET 工作场所辐射剂量率计算结果见表 11-16。

表 11-16 PET 工作场所辐射剂量率计算结果

点位	关注点位置	受照者类型	源强 (MBq)	与源的距离 (m)	屏蔽材料及厚度	关注点辐射水平 ($\mu\text{Gy/h}$)
1#	注射室通风橱分装取药位	职业照射	7400	0.5	50mmPb铅罐 +40mmPb通风橱 +0.5mmPb铅衣	7.03×10^{-2}
		职业照射	370	0.5	10mm防护提盒 +5mm注射器防护套 +0.5mmPb铅衣	32.10
2#	注射室PET-CT注射位	职业照射	370	0.5	0.5mmPb铅衣+5mm 注射器防护 +20mmPb注射窗	9.53

3#	注射室东侧墙体 外 30cm处	公众 照射	370	4.2	370mm实心砖 +3mmPb当量硫酸 钡防护涂料	0.16
4#	注射室楼上顶棚 30cm处	公众 照射	370	6.3	120mm混凝土 +3mmPb当量硫酸 钡防护涂料	0.25
5#	注射室楼下 100cm处	公众 照射	370	9.0	180mm混凝土 +3mmPb当量硫酸 钡防护涂料	6.46×10^{-2}
6#	1号注射后休息 室南侧墙外 30cm 处	公众 照射	740	2.3	370mm实心砖 +3mmPb当量硫酸 钡防护涂料	1.10
7#	2号注射后休息 室南侧墙外 30cm处	公众 照射	740	2.9	370mm 实心砖 +3mmPb 当量硫酸 钡防护涂料	0.69
8#	2号注射后休息 室西侧墙体外 30cm处	公众 照射	740	2.6	370mm 实心砖 +3mmPb 当量硫酸 钡防护涂料	0.86
9#	注射后休息室 顶棚 30cm处	公众 照射	740	6.3	120mm 混凝土 +5mmPb 当量硫酸 钡防护涂料	0.40
10#	注射后休息室 楼下 100cm处	公众 照射	740	9.0	180mm 混凝土 +3mmPb 当量硫酸 钡防护涂料	0.13
11#	留观室北侧墙 体外 30cm处	公众 照射	370	2.9	370mm 实心砖 +3mmPb 当量硫酸 钡防护涂料	0.35
12#	PET扫描间北侧 观察窗外 30cm 处	职业 照射	370	3.3	10mmPb 当量铅玻 璃	1.44
13#	PET扫描间北侧 墙体外 30cm处	职业 照射	370	3.3	370mm 实心砖 +3mmPb 当量硫酸 钡防护涂料	0.27
14#	PET扫描间东侧 墙体外 30cm处	公众 照射	370	5.0	370mm 实心砖 +3mmPb 当量硫酸 钡防护涂料	0.12
15#	PET扫描间医生 摆位处	职业 照射	370	1	10mm 铅屏屏风 +0.5mmPb 铅衣	14.8
16#	PET扫描间顶棚 30cm处	公众 照射	370	6.3	120mm 混凝土 +3mmPb 当量硫酸 钡防护涂料	0.25
17#	PET扫描间楼下 100cm处	公众 照射	370	9.0	18mm 混凝土 +3mmPb 当量硫酸 钡防护涂料	6.46×10^{-2}
18#	患者走廊北侧墙 体外 30cm处	公众 照射	370	1.5	370mm 实心砖 +5mmPb 当量硫酸 钡防护涂料	1.01

注：①混凝土密度不低于 2.35g/cm^3 ，硫酸钡防护涂料密度不低于 2.79g/cm^3 。

从表 11-16 可以看出，PET 工作场所监督区墙体外 30cm 处辐射剂量率均小于

2.5 μ Gy/h，屏蔽设计满足要求。

实际病人在注射后候诊室等待过程中，因 ^{18}F 的半衰期较短，由于衰变的作用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。

11.3.4 诊断患者离开医院对环境的影响

目前对于使用核素 ^{18}F 的患者，允许其离开医院的体内最大活度，国家相关标准中没有明确规定。本项目 ^{18}F 注射量为10mCi，患者经候诊和诊断离开医院至少需要1h，则患者离开医院时带药量约6.8mCi，离开医院经8h后距离患者1m处的剂量率降至1.7 μ Gy/h，因此医院应对患者离院做出书面指导，短期内禁止到公共场活动，避免与家人亲密接触，则患者离院后对周围环境影响不大。

11.3.5 保护目标所受剂量评价

本项目为新建项目，无现有核技术利用项目，新增辐射工作人员施行定岗定责，所以不涉及到辐射工作人员剂量叠加问题，直线加速器和核医学科分别位于地下车库的南北两端，距离较远，因此不考虑剂量叠加。

(一) 核医学科所致年有效剂量估算

PET工作场所拟设置8名放射工作人员，具体工作岗位设置如下：取药、分装和注射工作人员4人，控制室和摆位操作工作人员2人，阅片工作人员2名。

PET-CT： ^{18}F ，最大检查20人次/天，5000人次/年，每人使用的核素平均活度为370MBq(10mCi)。

根据上述估算的瞬时剂量率，以及医院提供的资料，在严格按照设计提供的屏蔽防护方案建设后，辐射工作人员和周边公众年有效剂量计算结果如下：

(1) 取药环节所致年有效剂量

根据以上估算，分装取药过程工作人员通风橱前受照剂量为 $7.03 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ ，取药走向注射台过程受照剂量 ^{18}F 为32.1 $\mu\text{Gy/h}$ 。

^{18}F 按5000人次/年，分装取药过程约30s完成，其中25s在通风橱前，5秒在走向注射窗。分装取药过程年受照的总时间为41.7h（其中34.7h在通风橱前），居留因子T取1，使用因子U取1，根据式11-23计算得：分装取药环节所致年有效剂量为0.017mSv。

(2) 注射环节所致年有效剂量

根据以上估算， ^{18}F 注射过程工作人员受照剂量为9.53 $\mu\text{Gy/h}$ ，一次注射过程的时间按照30s考虑。 ^{18}F 按5000人次/年，注射过程年受照的总时间为41.7h，居留因子T取1，使用因子U取1，根据式11-23计算得： ^{18}F 注射环节所致年有效剂量为0.278mSv。

(3) 摆位环节所致年有效剂量

根据以上估算， ^{18}F 摆位过程工作人员身体受照剂量为 $14.8\mu\text{Gy/h}$ ，摆位人员在机房内指导受检者正确姿势，偏安全考虑，不考虑注射后药物的衰减，按摆位一个病人大约需要 1min。 ^{18}F 按 5000 人次/年，摆位过程年受照的总时间为 83.3h，居留因子 T 取 1，使用因子 U 取 1，根据式 11-23 计算得： ^{18}F 摆位环节所致年有效剂量为 0.863mSv。

(4) 阅片环节所致年有效剂量

根据以上估算， ^{18}F 控制室工作人员受照最大剂量为 $1.44\mu\text{Gy/h}$ ， ^{18}F 控制室工作人员年受照的总时间为 1250h（每人扫描 15min，每年扫描 5000 人次），居留因子 T 取 1，使用因子 U 取 1，根据式 11-23 计算得：阅片环节所致年有效剂量为 1.260mSv。

综上，本项目配置有 8 人，分 2 组，轮班上岗，则各岗位工作人员年受照剂量预测结果如表 11-17 所示。

表 11-17 PET-CT 工作场所保护人员年受照剂量预测结果表

岗位	年总有效剂量 (mSv)	人数	轮岗	人均年有效剂量 (mSv)
分装注射	0.295	1 人/组	2 班	0.148
摆位和阅片	2.123	4 人/组	2 班	1.062

考虑最不利情况，2 组人员可能存在连续上岗的情况，根据计算结果，即核医学工作场所全部由 1 组人员全部完成，个人年有效剂量也能满足本环评提出的职业人员年剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

(5) 公众人员所受剂量

根据以上估算，本项目核医学科工作场所外公众可能接受的年有效剂量估算详见表 11-18。

表 11-18 核医学科外公众年有效剂量估算结果

关注区域	受照剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	居留因子	年工作时间	年有效剂量 (mSv)
注射后休息室南侧放射源专用通道公众 (6#点位)	1.10	1/16	833.3h (每天 20 人候诊, 每个休息室最多 2 人候诊, 候诊约 40min)	0.040
注射后休息室西侧走廊公众 (8#)	0.86	1/16		0.031
注射后休息室顶棚急诊诊室公众 (9#点位)	0.40	1/4		0.058
注射后休息室楼下地下车库公众 (10#点位)	0.13	1/16		0.005
留观室北侧患者出口楼道公众 (11#点位)	0.35	1/16	1250h (每天 20 人扫描, 每人留观 15min)	0.019
候诊大厅公众 (14#点位)	0.12	1/16	1250h (每天 20 人	0.007

PET-CT 扫描间楼上急诊大厅公众 (16#)	0.25	1/8	次扫描, 每次扫描 15min)	0.027
候诊大厅公众 (18#点位)	1.01	1/16	41.7h (每天 20 人次注射, 每次注射 30s)	0.002

根据以上估算, 核医学科工作场所所致公众人员最大年有效剂量为 0.058mSv, 为注射后休息室顶棚急诊诊室公众人员。由于随着距离增加, 公众受照剂量将不断减少, 因此本项目核医学科边界外 50m 范围内其他公众年有效剂量也能满足不高 0.1mSv 的剂量约束值要求, 对评价范围内环境保护目标影响较小, 对周围辐射环境影响是可以接受的。

11.3.4 核医学 PET-CT 扫描间 X 射线影响

PET-CT 扫描间设计使用面积、屏蔽材料与评价一览表如表 11-19 所示。

表 11-19 PET-CT 扫描室设计使用面积、屏蔽材料与评价一览表

场所类型	机房设计使用面积	标准要求	评价	屏蔽设计材料及厚度 (mmPb)	标准要求	评价
PET-CT 扫描间	45.9m ² (8.5m×5.4m)	机房内最小有效使用面积 30m ² , 机房内最小单边长度 4.5m	符合	四周墙体: 370mm 实心砖 +3mmPb 当量硫酸钡防护涂料 (>6.0)	不小于 2.5mm 厚铅当量	符合
				顶棚: 120mm 混凝土+3mmPb 当量硫酸钡防护涂料 (4.5)		符合
				防护门: 8mm 铅板 (8.0)		符合
				观察窗: 10mmPb 当量铅玻璃 (10.0)		符合
				地坪: 180mm 混凝土+3mmPb 当量硫酸钡防护涂料 (5.4)		符合

混凝土密度不低于 2.35g/cm³, 实心砖密度不低于 1.65g/cm³, 硫酸钡防护涂料密度不低于 2.79g/cm³。折算铅当量参考《放射防护实用手册》(主编赵兰才、张丹枫)表 6.14。

由表 11-19 可知, 本次项目 PET-CT 扫描间机房有效使用面积、单边长度及机房的屏蔽防护铅当量厚度均满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 相关要求。此外, 本项目 PET 机房设置有动力排风装置, 可保持良好的通风, 满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 要求。

11.4 核医学科“三废”影响分析

11.4.1 放射性废气影响分析

项目核医学科使用的 ¹⁸F 由专业供应商放置在铅罐中运送到注射间的通风橱中, 无开放液面, 空气中挥发散逸的放射性同位素几乎没有, 因此放射性气溶胶非常少。

本项目 PET-CT 扫描间、PET 注射后休息室、注射室、留观室拟设置独立排风装置,

通风换气次数应不小于 4 次/h；通风橱设置独立机械排风装置，风速不低于 1m/s。上述排风装置相应节点设置截止阀防止气体倒灌，其排风口均拟设于医疗综合楼楼顶，并高出本建筑屋脊，排风口周围 10m 范围内无遮挡物，设计总排风量为 2000m³/h 的排风机，同时在排风口配置高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施，对放射性气溶胶吸附效率不低于 99%。核医学科放射性废气经活性炭吸附处理后对周围环境影响是可以接受的。本项目核医学科通风平面布置见附图 5。

11.4.2 放射性废水影响分析

本项目核医学科工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废液以及患者冲洗排便用水。

建设单位拟在核医学科楼下负二层设置一组放射性废水衰变池，通过独立的管道收集来自PET-CT工作场所的放射性废水，引入衰变池进行衰变处理，衰变达标后的废水首次经监测合格后排入医院医疗废水处理站进一步处理后纳入市政污水管网。放射性废水处理设施为 3 个并联衰变池（有效总容量为 12.5m³），用于PET-CT工作场所产生的放射性废水。核医学科放射性废水衰变池分别设有废水取样口，首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后方可排放。根据第 10 章“10.3.2 放射性废水”部分关于衰变池容量可行性分析可知，衰变池最多可储存 42 天内产生的放射性废水，¹⁸F的半衰期为 109.8min，为保证废水满足排放要求，则至少需要在衰变池储存 10 个半衰期以上。因此医院应根据首次监测数据，结合废水在衰变池中的储存周期（42 天），制定 1 月一次的排水计划，按照计划定期将废水排放至医院医疗废水处理站进一步处理后纳入市政管网。每次排放应做好废水排放台账，并存档保存。

上述放射性废水排放至核医学科楼下的衰变池组，衰变 10 个以上半衰期后放射性废水浓度可以满足总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ，排入医院医疗废水处理站进一步处理，则放射性废水对周围环境影响很小。

环评要求：

- （1）医院所修建放射性废水衰变池应保证放射性废水储存 10 个半衰期以上，并委托有资质的单位对放射性废水进行首次排放监测，当总 β 放射性小于 10Bq/L 时，方可排入医院废水处理系统。医院须对每次放射性废水情况做好排放台账，并存档保存；
- （2）严格要求核医学科受检者使用专用卫生间；
- （3）专用卫生间应具备使病人排泄物迅速全部冲洗入池的条件，而且随时保持便池

周围清洁；

(4) 放射性衰变池池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，放射性衰变池应加以密封，应有防雨、防渗和防漏的措施；

(5) 在废水取样口设置标识。

11.4.3 放射性固废影响分析

本项目产生的放射性废物主要为：工作人员操作过程产生的注射器、棉棒、一次性卫生用品、垫料和更换下的废活性炭等。医院拟将上述放射性固体废物采用专用塑料包装袋专门分类收集，按序封闭暂存于废物间的放射性衰变箱（10mm铅当量）内（每袋废物表面剂量率不超过0.1mSv/h，重量不超过20kg），让放射性物质自行衰变，待10个以上半衰期后（由¹⁸F的半衰期为109.8min，可知至少应储存1天），可作为普通医疗废物，交由有资质单位进行进一步处置。在整个收集、储存、处理过程中，做好台账记录，台账内容应包括：标明收贮时间、种类及数量；储存时间（不少于1天）；作为医疗废物后最终的处置去向等。

环评要求：

(1) 严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，应力求控制和减少放射性废物产生量；

(2) 对所有放射性固体废物采用先收集在各自相关工作场所的专用污物桶内，环评要求在衰变箱存放时间不低于 24h，然后按普通医疗固废处理。放射性核素收集袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间，内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如硬牛皮纸外套）；

(3) 放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令 第 612 号）的相关规定。

11.4.4 表面污染控制措施

为保证非密封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，放射性药物要妥善储存及转移，防止意外撒漏。
②操作放射性药物时，须在有负压和过滤的通风橱中进行，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医

院自购的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。

11.4.5 非放射性污染物环境影响分析

（1）直线加速器治疗过程中产生的臭氧

加速器机房内空气中的氧受 X 射线电离而产生臭氧，根据《辐射防护手册》（第三分册），直线加速器运行期间产生的臭氧浓度公示为：

$$C = 3.25 \times \left[\frac{S \cdot I \cdot t \cdot D}{V} \right] \times 10^{-3} \dots\dots\dots \text{（式 11-23）}$$

式中，C 为臭氧浓度（空气中的重量比），ppm；

S 为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，本项目取 2.5keV/cm；

D 为加速器外电子束在空气中所通过的距离，cm，本项目加速器为 100cm；

t 为照射时间，s，本项目加速器单次最长照射时间取 5min；

I 为加速器外电子束流强度，mA，本项目为 0.1mA；

V 为加速器机房的容积，m³，本项目为 320 m³。

根据公式 11-24，计算得臭氧浓度为 0.076ppm（0.16mg/m³），因此，臭氧的浓度很低，且排入环境后能够分解为氧气，周边环境空气质量能够达到《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二类标准。

由于加速器开机治疗时通排风系统一直在运行，且每小时通风换气不低于 4 次，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中的规定，机房内臭氧对人体危害不大。臭氧通过通风管道引至地面上方绿化带排放，经扩散后对机房周围的环境影响可以满足《环境空气质量标准》（GB3096-2012）中二级标准中 1 小时均值小于 0.2mg/m³ 的标准限值，对机房上方地面周围的大气环境影响较小。

（2）PET-CT 系统 CT 扫描及 CT 模拟定位机产生的臭氧

CT 机能量小，扫描时间短，运行过程产生的臭氧量少。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，对周围大气环境中臭氧浓度影响甚微。

（3）水环境影响分析

本项目运行期间产生的生活污水经医院生活污水处理系统预处理达标后，经市政污水管网进入区域污水处理厂处理，对项目所在地水环境影响较小。

(4) 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。

(5) 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。

11.4.6 小结

综上所述，项目在正常运行期间产生的各项非放射性污染物均能实现达标排放或清洁处理，对当地环境影响较小。

11.5 环境影响风险分析

11.5.1 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。

11.5.2 事故等级分析

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)，辐射事故从重到轻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。本项目的可能发生的环境风险因子、潜在危害和事故等级如表11-20所示。

根据国家环保总局2006年145号《辐射事故分级》规定，“一般辐射事故：是指IV类、V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人员受到超过年剂量限值的照射。”假若本项目发生此种事故，事故等级应为一般辐射事故。“较大辐射事故是指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。”假若本项目发生此种事故，事故等级应为较大辐射事故。

表11-20 项目的环境风险因子、潜在危害及事故等级

名称	环境风险因子	潜在危害	事故等级
核医学科	γ 射线	核医学科、X 线机失控导致人员受超年剂量限值的照射。	一般辐射事故
	X 射线		
直线加速器、CT	X 射线	直线加速器、CT 失控导致人员受超年剂量限值的照射。	一般辐射事故
	X 射线	直线加速器失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。	较大辐射事故

11.5.3 可能产生的辐射事故

主要考虑电离辐射损伤和药物失控对环境的影响。

（一）直线加速器属于 II 类射线装置，II 类医用射线装置主要事故是由于射线装置运行时，其他无关人员误入或滞留机房内，导致人员受超年剂量限值的照射；或是检修时，检修人员触动直线加速器开关，造成检修人员发生急性重度放射病、局部器官残疾。

（二）PET-CT 及 CT 模拟定位机属于 III 类医用射线装置，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，事故等级属一般辐射事故。III 类医用射线装置主要事故是由于设备控制失灵或操作失误或质保不佳，使被检者受到不必要的照射。

（三）由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因造成的工作是放射性药物撒漏，造成意外照射和辐射污染。

（四）由于未锁好核医学科进出口的大门或取用药物后未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射药剂丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

（五）核素治疗患者用药后未经允许离开核医学科，尤其是在用药初期离开候诊区，可能对接近患者的人员造成附加的照射剂量。

11.5.4 事故情况下环境影响分析

（一）直线加速器

对于 X 射线装置，当设备关机时不会产 X 射线，不存在影响辐射环境质量事故，只有当设备开机时才会产生 X 射线等危害因素。直线加速器属于 II 类射线装置。事故情况分为两种：

一是维修人员在维修加速器时，误触直线加速器开关，X 射线直接照射到维修人员身上，10MV 直线加速器主射束 1m 处剂量率为最大值 24Gy/min，每次误入照射时间为 10s，则机房内误入人员所受的 X 射线辐射剂量率最大为 4000mSv/次，超过

(GB18871-2002)中特殊情况下职业人员 5 个连续年的年平均剂量限值 (20mSv), 公众 5 个连续年的年平均剂量限值 (1mSv), 为较大辐射事故。

二是在病人接受治疗时, 假设考虑安全联锁失效, 无关人员误入机房, 人员在无其他屏蔽的情况下处于加速器照射头射束 1m 处的散射方向, X 射线散射束的空气释动能率取主射束方向的 1%, 10MV 直线加速器主射束 1m 处剂量率为最大值 24Gy/min, 每次误照射时间为 10s, 则机房内误入人员所受的 X 射线辐射剂量率最大为 40mSv/次, 超过 (GB18871-2002) 中特殊情况下职业人员 5 个连续年的年平均剂量限值 (20mSv), 公众 5 个连续年的年平均剂量限值 (1mSv), 为一般辐射事故。

(二) PET-CT 及模拟定位机射线装置

PET-CT 和 CT 模拟定位机属于 III 类射线装置, 其 X 射线能量不大, 曝光时间都比较短, 事故情况下, 人员误入或误照射情况下, 可能导致人员受到超过年剂量限值的照射。事故情况下, X 射线直接照射到人员身上, 保守考虑, 误入人员或病人在距离射线头 1m 处被误照射, 根据《医用 X 射线治疗卫生防护标准》(GBZ131-2002), 在治疗状态下, 当 X 射线管额定电压 $\leq 150\text{kV}$ 时, 距 X 射线管焦点 1m 处的 X 射线源组件泄漏辐射不超过 1mGy/h。PET-CT 和 CT 及单次曝光时间不超过 10s, 则机房内误入人员所受的 X 射线辐射剂量率最大为 0.0028mSv/次, 未超过 (GB18871-2002) 中特殊情况下职业人员 5 个连续年的年平均剂量限值 (20mSv), 公众 5 个连续年的年平均剂量限值 (1mSv), 为一般辐射事故。

(三) 放射性药物意外泄漏或丢失事故

(1) 事故情景假设

①项目核医学科使用核素为 ^{18}F , 事故情况假设 ^{18}F 试剂瓶发生丢失, 丢失时内装放射性 ^{18}F 的活度为 7400MBq;

②假设丢失后在整个事故持续时间内放射性药物未发生洒漏, 事故持续过程中按点源考虑;

③保守假设事故持续时间内, 丢失的药物被同一人随身携带, 距离按 10cm 考虑;

④受照人员不考虑任何屏蔽措施;

⑤事故持续最长时间为 2h。

(2) 计算结果

根据事故情景假设条件计算得出不同事故持续时段的个人有效剂量, 计算结果见表

11-21。

表 11-21 ^{18}F 丢失事故下不同持续时间不同距离处个人有效剂量分布

距源距离 (m)	各事故持续时间段 γ 射线所致辐射有效剂量分布 (mSv)				
	0~10min	0~30min	0~60min	0~90min	0~120min
0.1	12.4	37.1	74.2	111.3	148.4

(3) 事故后果

在上述事故情景假设条件下，携带显像剂 (^{18}F) 人员或近距离公众在事故持续时间内已受到超过年剂量限值。考虑的整个事故持续周期 2h 内，急性放射病发病率均在 1% 之下，事故持续周期内可造成人员超剂量照射而导致一般辐射事故。由于计算过程未考虑 ^{18}F 衰变，计算结果偏保守。

11.5.5 事故影响防范措施

上述辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理规章制度和辐射事故应急措施加以防范，是辐射环境风险控制在可以接受的水平。针对在运行过程中可能发生的事故，本次评价提出以下防范措施，尽可能的减小或控制事故的危害和影响，主要体现在：

(一) 核医学科事故防范措施

(1) 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，医院即时上报当地环境主管部门。

(2) 制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物撒漏事故的发生，发生撒漏等事故后，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦拭，直到擦干污染区。并用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，该污染区未达到控制标准，应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。擦拭物收集放到放射性固体废弃物衰变桶中，作为放射性固体废物进行管理。

(3) 制定和完善放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登

记工作，确保放射性药物的安全。

(4) 加强放射性废物的管理，对储存的放射性废物在废物桶外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。放射性废水和固体废物经足够长的时间衰变后，方可排放或按照普通医疗垃圾处理，并做好监测记录。

(5) 核医学科个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，以及铅防护衣、防护镜等附加防护用品。工作人员进入监督区必须穿戴放射防护用品，个人剂量仪佩戴于铅衣内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅衣、戴口罩、手套，必要时戴防护眼镜。尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。为病人注射放射性药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应使用注射器屏蔽装置。科主任负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

(6) 严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如果控制区各房间辐射水平监测结果表明防护墙外辐射水平偏高，应适当增加防护墙厚度。

(二) 直线加速器事故防范措施

(1) 直线加速器机房设置有迷道，当有人员误入或滞留时，人员应立即按动墙上的紧急停机按钮，并躲进迷道，按动迷道防护门入口处的紧急开门按钮，逃出机房。

(2) 在紧急情况下，按动设置在直线加速器治疗床上、控制台上的紧急停机按钮，切断电源，迫使加速器关机停止出束。

(3) 直线加速器机房设计有门机安全联锁，机房门关闭后机器才能启动，治疗过程中机房门不能从外部开启，有效防止人员误入。

(4) 制定和完善现有射线装置安全管理制度，强化安全管理，避免出现人员滞留事故，同时定期检查加速器机房的门机联锁等辐射安全环保设施是否有效。

当核医学科及直线加速器工作场所发生或发现辐射事故后，当事人应立即向单位的辐射安全负责人和法定代表人报告。医院应立即启动本单位的辐射事故应急措施，采取必要防范措施，并在规定时间内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向公安部门 and 当地卫生行政部门报告。

11.6 事故应急预案

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》有关规定，医院需制定辐射事故应急预案，并在以后辐射工作开展过程中定期进行演练，及时进行整改。同时医院应配置必要的应急装备、器材以及应急

资金。

医院在落实本次环评提出的环境事故风险防范措施,并按要求制定切实可行的辐射事故应急预案,并落实预案中提出的各项应急措施和设施的前提下,本项目辐射事故影响可控制在可接受水平内。



表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

医院目前已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构,并以文件形式明确了管理人员职责。该机构是以院长为组长,各科室负责人为组员的辐射安全与防护工作领导小组。领导小组下设办公室,负责日常辐射安全与防护工作。

辐射安全及防护管理领导小组职责:

(1) 负责辐射安全与防护的监督、管理工作,办理相关辐射项目环评、许可证申领、验收等工作。

(2) 落实辐射工作人员的辐射安全培训,个人剂量监测及个人健康体检等管理工作。

(3) 协助副组长组织辐射安全专项检查,督促完成单位辐射安全年度评估并对存在的安全隐患情况进行整改,落实、健全相关规章制度。

辐射安全及防护管理领导小组联系方式:

组长: [] 副组长: []。

此外,本项目所有辐射工作人员必须参加由环保部门组织的辐射安全与防护培训,考核合格后方可上岗。辐射培训证书到期人员还必须及时参加四年一次的复训。

12.2 辐射工作岗位人员配置和能力分析

本项目辐射工作人员均为新增人员,医院应为辐射工作人员配备个人剂量计,个人剂量计每3个月到相关部门检测一次,并建立个人剂量档案。医院应为对新增辐射工作人员进行上岗前职业健康检查,符合要求的方可上岗,并且在日后项目运行过程中安排辐射工作人员进行在岗期间职业健康检查,两次体检间隔不得超过2年,辐射工作离岗时,应进行离岗职业健康检查,并建立职业健康档案。医院应尽快组织辐射工作人员参加辐射安全培训单位组织的辐射安全与防护培训,并通过考试,取得合格证书,持证上岗。在项目运行后,人员应根据发证日期,每4年进行一次再培训。

12.3 辐射安全管理规章制度

(一) 辐射安全管理制度

成都华霖蓉北医院为一家新成立的民营综合医院,目前医院在建,尚未投产运行,因此医院无现有辐射安全管理制度。根据《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)》(川环函[2016]1400号要求,医院应在本项目运行投产前落实以下辐射安全管

理规章制度落实。

表 12-1 本项目辐射管理制度汇总对照分析表

应制定的制度	落实情况	要求新增措施
辐射安全与环境保护管理机构文件	已有	/
辐射安全管理规定	无	需制定
辐射工作设备操作规程	无	需制定
辐射安全和防护设施维护维修制度	无	需制定
辐射工作人员岗位职责	无	需制定
放射性同位素与射线装置台账管理制度	无	需制定
辐射工作场所和环境辐射水平监测方案	无	需制定
监测仪表使用与校验管理制度	无	需制定
辐射工作人员培训制度	无	需制定
辐射工作人员个人剂量管理制度	无	需制定
辐射事故应急预案	无	需制定
质量保证大纲和质量控制检测计划	无	需制定

医院本次项目包括：丙级非密封放射性物质工作场所和 II、III 类射线装置，应结合开展的丙级非密封放射性物质工作场所项目，及的 II、III 类射线装置，尽快建立健全相应的规章制度和操作规程。并根据相关要求落实各项规章制度和操作规程，加强对辐射工作人员的安全防护培训和意识教育。

环评要求：

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，医院应按要求制定以下一系列相关管理制度。

(1) 对现有放射防护领导小组内容进行补充完善，建议根据人事变动情况及时调整人员名单，明确人员职责。

(2) 辐射安全管理：医院拟根据本项目特点制定从事开展辐射活动的安全管理规定，包括辐射工作场所安全管理及辐射工作人员管理规定。

(3) 操作规程：医院拟根据本项目特点制订直线加速器及 PET-CT 操作规程，明确操作人员的权限以及操作时必须采取的防护措施，明确工作中的控制措施以及操作程序等。

(4) 岗位职责：明确辐射工作人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

(5) 辐射防护和安全保卫制度：根据各科室的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是：定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换；工

作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护。环境辐射剂量监测仪和表面沾污仪必须保持良好工作状态；制定放射性药物管理规定（购买、领用、保管和盘存）以及场所分区管理规定（含人流、物流路线图）。

（6）设备检修维护制度：明确监控设备以及监测仪器在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，剂量报警仪和监测仪器必须保持良好工作状态。

（7）台帐管理制度：医院应当建立放射性同位素与射线装置台帐，记载放射性同位素的核素名称、出厂时间和活度、标号、编码、来源和去向，及射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向等事项。医院还应新增建设放射性废水和放射性固废排放台帐，并存档保存。

（8）人员培训计划：明确培训人员、培训周期、培训形式、培训内容、频次等，培训记录建立档案，做到有据可查。本项目建成后，要求组织所有新增的辐射工作人员参加有资质单位的辐射安全和防护知识培训，经考核合格并取得相应资格上岗证后才能上岗，并按每4年一次的要求进行复训，同时应为辐射工作人员建立个人剂量档案和职业健康档案。

（9）辐射事故应急预案：辐射应急预案应包括应急机构和职责分工；应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；辐射事故分级与应急响应措施；辐射事故调查、报告和处理程序等内容，应急预案应内容全面，措施得当，便于操作，在应对辐射事故和突发事件时可行。医院应定期进行应急演练，并进行总结。

（二）需要上墙的规章制度

《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。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。

12.4 辐射监测

12.4.1 监测仪器和防护设备

医院本次项目核医学科属丙级非密封源工作场所，PET-CT和CT模拟定位机属Ⅲ类射线装置；直线加速器属Ⅱ类射线装置。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，全院应至少配置1台辐射巡测仪，核医学科应配1台表面污染仪和2台个人剂量报警仪；加速器机房至少配置固定式报警仪2个和便携式个人剂量报警仪2个。

每个辐射工作人员均应配备个人剂量计。

12.4.2 监测计划

1、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（每季度将个人剂量片送往有资质的检测机构进行检测）。

环评要求：

(1) 如果在单个季度出现个人剂量超过 1.25mSv 时需进行干预，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并本人签字。年剂量超过 5mSv 的管理限制时，暂停该辐射工作人员继续从事放射性作业，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并本人签字，并上报当地环境保护主管部门。单年剂量超过 20mSv 标准时，构成辐射事故，按事故应急预案处理，立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，由辐射事故应急处理领导小组上报当地环境保护主管部门。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向公安部门 and 当地卫生行政部门报告，并及时组织专业技术人员排除事故。配合各相关部门做好辐射事故调查工作。

(2) 个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度评估报告一起作为《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。

(3) 辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。建设单位应当将个人剂量档案终身保存。

2、辐射工作场所及周围环境监测

(1) 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；年度检测报告应作为《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。

(2) 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，监测周期至少 1 次/月。

(3) 监测内容和要求

①监测内容：周围剂量当量率； β 表面污染水平等。

②监测布点及数据管理：监测布点应参考环评提出的监测计划（表 12-2）或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

表 12-2 辐射工作场所监测计划建议

项目	监测内容	监测点位	监测周期	
			自行监测	委托监测
核医学科	周围剂量当量率	辐射工作场所内： PET-CT扫描间内医生摆位处、注射室、注射后候诊区、污物桶表面等。 辐射工作场所外： 控制室、观察窗铅玻璃处、防护门处、四面墙体外、顶上等处。	1次/月	1次/年
	β表面放射性污染	工作台、注射窗、注射室通风橱	每次核素操作结束	1次/年
工作服、手套、工作鞋、手、皮肤、设备表面、注射后候诊区、墙壁、地面卫生通过间等可能污染的位置		每天工作结束后		
直线加速器	周围剂量当量率	辐射工作场所内： 加速器机房内医生摆位处。 辐射工作场所外： 机房防护门处、四面墙体外、控制室操作位等处。	1次/月	1次/年
模拟定位CT	周围剂量当量率	机房防护门外、四面墙体外、楼上、楼下、控制室操作位、电缆、风管穿墙等处	1次/月	1次/年

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

i 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本单位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；

ii 采用的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；

iii 制定辐射环境监测管理制度和方案。

此外，建设单位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。

3、放射性废水首次排放前监测

放射性废水在衰变池内放置 10 个半衰期后，在首次排放前应进行监测，再确保首次出水中放射性总活度不超过《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）规定的限值（总 β 小于 10Bq/L）后，制定合理的排水计划，按照计划定期将废水排放至医院废水处理站进一步处理达标后纳入市政管网。每次排放应做好废水排放台账，并记录存

档。

4、放射性废物处理前监测

放射性废物在放射性废物暂存间放置 10 个半衰期后，经对其外照射水平及表面污染水平监测合格后，可作为医疗废物委托有资质的单位进行处置。

5、验收监测

本次评价项目竣工后，建设单位应根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环环评[2017]4 号）对配套建设的环境保护设施进行验收，建设单位应如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，报告编制完成 5 个工作日内，建设单位应公开验收报告，公示的期限不得少于 20 个工作日。建设单位在提出验收意见的过程中，可组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

6、辐射监测的可行性

环评认为，按本次环评要求完善后的监测方案，应能够及时反映屏蔽设施的防护效能和放射废物排放达标情况。按这样监测方案开展的辐射监测是符合《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）等相关规定要求。

12.5 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”（网址 <http://rr.mee.gov.cn/>）中实施申报登记。延续、变更许可证，新增放射性同位素、射线装置或单位信息变更、个人剂量、年度评估报告等信息均应及时在系统中申报。

12.6 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条的规定，医院应在本

项目投产运行前建立完善的辐射事故应急预案。预案内容主要包括：辐射事故应急预案应当包括下列内容：

- (一) 应急机构和职责分工；
- (二) 应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- (三) 辐射事故分级与应急响应措施；
- (四) 辐射事故的调查、报告和处理程序；
- (五) 辐射事故信息公开、公众宣传方案。

辐射事故应急预案还应当包括可能引发辐射事故的运行故障的应急响应措施及其调查、报告和处理程序。

安全医疗，重在防范，医院必须严格遵守《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（中华人民共和国环境保护部令第 18 号）、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（中华人民共和国国务院令第 449 号）等相关规定，严格按照医院的相关规章制度执行，将安全和防范措施落实到工作中的各个细节，防患于未然。

12.7 核医学科及射线装置使用能力综合评价

根据《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）〉的通知》（川环函〔2016〕1400 号），建设单位需具备的辐射安全管理基本要求对比分析如下表：

表 12-3 建设单位辐射安全管理基本要求汇总对照分析表

序号	《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）〉的通知》（川环函〔2016〕1400 号）	实际情况	环评要求
1	（一）许可证有效性 1. 核技术利用单位应持有有效的《辐射安全许可证》，所从事的活动须与许可的种类和范围一致。 2. 新（改、扩）建核技术利用项目应及时开展环评和执行“三同时”制度。 3. 放射源与射线装置、工作场所以及单位法人与地址等变更后应在《辐射安全许可证》上及时变更。	本项目为医院首次开展核技术利用项目	本项目批复后，建设单位应及时申领辐射安全许可证。
2	（二）机构和人员 1. 核技术利用单位应建立辐射安全管理机构或配备专（兼）职管理人员，落实了部门和人员全面负责辐射安全管理的具体工作。 2. 辐射工作人员（包括管理和操作人员）应参加与其从事活动等级相适应的辐射安全与防护培训并考核合格持证上岗，严禁无证人员从事辐射工作活动。培训合格证书的有效期为 4 年，有效期届满应参加复训。	机构已设置；建设单位承诺辐射工作人员将参加四川生态环境厅举办的辐射安全与防护培训和考核。	新增辐射工作人员须参加四川生态环境厅组织辐射安全与防护培训，考试合格并持证上岗。按按时接受再训工作。
3	（三）放射性同位素和射线装置的台账 1. 应建立动态的台账，放射性同位素与射线装置应做到帐物相符，并及时更新。	拟建立射线装置及放射性同位素台账	制定完善的《放射源与射线装置台账管理制度》并严格执行

	<p>台账的内容应该包括：放射性同位素名称、初始活度、放射源编码，购买时间，收贮时间；射线装置型号、管电压、管电流,购买时间，报废时间；放射性同位素与射线装置使用或保管的部门、责任人员、目前的状况（使用、检修、闲置、暂存、收贮或销售）；放射性同位素与射线装置转让单位名称及《辐射安全许可证》持证情况、有效日期等内容。</p> <p>2. 放射性同位素的转让（购买）、销售、收贮以及跨省转移等活动，必须在四川省人民政府政务服务中心环保窗口办理备案手续。</p> <p>野外（室外）跨市（州）使用放射性同位素和 II 类以上射线装置的活动，应到使用地市（州）环保局办理备案手续。</p>		落实。
4	<p>（四）管理制度和档案资料</p> <p>核技术利用单位应根据使用放射性同位素和射线装置的情况，及时修订和完善规章制度，并按照档案管理的要求分类归档放置。</p> <p>1. 档案分类</p> <p>辐射安全档案资料可分以下十大类：“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”、“野外探伤一事一档”和“废物处置记录”。</p> <p>2. 需建立的主要规章制度</p> <p>1) 辐射安全与环境保护管理机构文件</p> <p>2) 辐射安全管理规定（综合性文件）</p> <p>3) 辐射工作设备操作规程</p> <p>4) 辐射安全和防护设施维护维修制度</p> <p>5) 辐射工作人员岗位职责</p> <p>6) 放射源与射线装置台账管理制度</p> <p>7) 辐射工作场所和环境辐射水平监测方案</p> <p>8) 监测仪表使用与校验管理制度</p> <p>9) 辐射工作人员培训制度（或培训计划）</p> <p>10) 辐射工作人员个人剂量管理制度</p> <p>11) 辐射事故应急预案</p> <p>12) 质量保证大纲和质量控制检测计划（使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位）</p> <p>3. 需上墙的规章制度</p> <p>1) 《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。</p> <p>2) 上墙制度的内容应字体醒目，简单清楚，体现现场操作性和实用性，尺寸大小应不小于 400mm×600mm。</p>	<p>1、拟建立并执行完善的档案分类制度。</p> <p>2、将按要求建立完善的规章制度。</p> <p>3、将严格执行规章制度上墙。</p>	根据本项目特点，及时制定完善的规章制度。
5	<p>（五）辐射安全与防护措施</p> <p>1. 通过查阅年度监测报告和核技术利用单位自我监测结果，核实辐射工作场所辐射屏蔽防护措施的有效性。</p> <p>2. 辐射工作场所应设置醒目的电离辐射警示标志，出入口应具有工作状态显示、声音、光电等警示措施。</p> <p>3. 辐射工作场所应合理分区，并设置相应适时有效的安全连锁、视频监控和报警装置。</p>	已设计完善的辐射安全与防护措施。	定期检查辐射安全措施，以确保辐射安全系统运行良好。
6	<p>（六）“三废”处理</p> <p>1. 核技术利用单位应对其在辐射作业活动中产生的放射性废气实施相应处理后达标排放。</p> <p>2. 辐射工作产生的含短寿命放射性核素的废水，应</p>	医院拟设置完善的“三废”处理系统。	严格按照要求处理“三废”，并定期检查。

	<p>采取衰变池或衰变桶等方式存放。放射性废水须经有资质单位监测，确认达标后方可排放。放射性废水衰变及排放设施应设置相应的放射性警示标识。</p> <p>3. 放射性固体废物贮存场所（设施）应具备“六防”（防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏）措施。短寿命半衰期医用放射性废物在专用贮存容器内分类贮存并有放射性标识和放射性核素名称、批号、物理形态、出厂活度及存放日期等相关信息。</p> <p>4. 妥善处置放射性废物。对废弃不用三个月以上的放射源,应按有关规定退回原生产厂家或送四川省城市放射性废物库贮存。短半衰期医用放射性废物存放衰变经监测合格后作为医疗废物处置。</p> <p>5. 废显（定）影液（危险废物）暂存场所应防渗漏、防雨水和防倾倒等措施，存放容器上应有危废标识和危废类别、存放时间、责任人及处置单位等相关信息。危险废物应送交有相应资质的单位处置并有危险废物转移联单。</p> <p>6. 射线装置在报废前，应采取去功能化的措施（如拆除电源或拆除加高压零部件），确保装置无法再次通电使用。</p>		
7	<p>（七）监测设备和防护用品</p> <p>核技术利用单位应配备与其从事活动相适应的辐射剂量监测仪、个人剂量仪、个人剂量报警仪以及防护用品（如铅衣、铅帽和铅眼镜、移动铅屏风等）。核技术利用单位自行配备的辐射监测仪器应每年进行比对或刻度。</p>	拟配备监测设备和防护用品	/
8	<p>（八）监测和年度评估</p> <p>1. 日常自我监测</p> <p>1) 按照环评文件要求制定监测方案，开展辐射工作场所和环境的辐射水平监测，并记录备查。</p> <p>2) 短寿命放射性医疗固体废物经存放 10 个半衰期后，应监测后方可作为一般医疗垃圾进行处置。</p> <p>3) 核技术利用单位也可以委托有资质的单位定期开展场所的日常辐射监测。</p> <p>2. 委托监测</p> <p>1) 核技术利用单位应于每季度将个人剂量片送交有资质的检测部门进行检测。对于每季度检测数值超过 1.25mSv 的，要进一步开展调查，查明原因，撰写调查报告并由当事人在调查报告上签字确认。</p> <p>2) 每年委托有资质的机构对辐射作业场所及周围环境至少进行 1 次辐射监测。该辐射监测报告应作为《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。</p> <p>3) 放射性废水排放前应委托有资质的单位开展监测。</p> <p>3. 安全和防护状况年度评估报告</p> <p>核技术利用单位应于每年 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》。</p>	拟制订辐射监测计划，严格进行日常自我监测及委托监测工作，及时上报安全和防护状况年度评估报告。	拟制定监测方案。辐射工作人员上岗期间，必须佩戴个人剂量计对个人剂量计严格管理，不允许将个人剂量片相互传借，不允许将个人剂量片带出项目建设单位。
9	<p>（九）辐射事故应急管理</p> <p>1. 辐射单位应针对可能发生的辐射事故风险，制定相应辐射事故应急预案报所在地人民政府环境保护主管部门备案，并及时予以修订。</p> <p>辐射事故应急预案的主要内容应包括：应急组织结构，应急职责分工，辐射事故应急处置（最大可信事故场景，应急报告，应急措施和步骤，应急联络电话），应急保障措施，应急演练计划。</p>	拟制定辐射事故应急预案。	应制定完善的辐射事故应急预案，定期演练。

	<p>2. 辐射事故应急应纳入本单位安全生产事故应急管理体系，定期组织演练。</p> <p>3. 核技术利用单位应做好与从事活动相匹配的辐射事故应急物资（装备）的准备，如使用放射源应急处理工具（如长柄夹具等）、放射源应急屏蔽材料或容器、灭火器材等。</p>		
10	<p>(十) 辐射信息网络</p> <p>1. 核技术利用单位必须在“全国核技术利用辐射安全申报系统”(网址 http://rr.mee.gov.cn/)中实施申报登记。申领、延续、变更许可证，新增或注销放射源和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。</p> <p>2. 野外（室外）使用 I 类、II 类、III 类放射源，应当建立放射源在线监控系统。</p>	<p>建设单位将及时在“全国核技术利用辐射安全申报系统”实施申领登记工作</p>	/

综上所述，通过完善环评要求的各项措施后，评价认为成都华霖蓉北医院从事辐射活动的技术能力符合相关法律法规的要求。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

项目名称：成都华霖蓉北医院新增核医学科及医用电子直线加速器建设项目

建设单位：成都华霖蓉北医院有限公司

建设性质：新建

建设地点：成都市金牛区蓉北商贸大道二段189号

建设内容：拟在医疗综合楼负一层新增 1 台 10MV 医用直线加速器，配套 1 台 CT 模拟定位机；拟在医疗综合楼负一层新增一处核医学科工作场所，购置 1 台 PET-CT，拟使用放射性核素 ^{18}F 用于显像诊断。

拟用射线装置和放射性同位素如下：

(1) 1 台 10MV 医用电子直线加速器（距靶 1m 处剂量率为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ），属 II 类射线装置；配套 1 台 CT 模拟机（140kV，800mA），属于 III 类射线装置；

(2) PET-CT 系统 1 套（管电压 140kV、管电流 420mA），属 III 类射线装置；

(3) PET-CT 使用显像剂 ^{18}F -FDG，显像剂 ^{18}F -FDG，PET-CT 室 ^{18}F 日最大操作量 $7.40 \times 10^9 \text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $7.40 \times 10^6 \text{Bq}$ ，年用量 $1.85 \times 10^{12} \text{Bq}$ 。核医学科工作场所属于丙级非密封放射性物质工作场所。

13.1.2 产业政策符合性

项目属于核技术在医学领域内的运用，属高新技术。根据《产业结构调整指导目录 2011 年本》（修正）（国家发展改革委 2013 年第 21 号令），本项目属鼓励类第六项核能”第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”项目，符合国家产业政策。

13.1.3 选址合理性分析

本项目位于成都市金牛区蓉北商贸大道二段 189 号，租赁成都蓉北商贸有限公司部分商业用房及裙楼商铺装修改造为医疗综合楼，《成都华霖蓉北医院环境影响报告书》已获得成都市生态局批复（成环评审[2019]19 号）。医院周围评价范围内无自然保护区、文物保护单位、风景名胜区、水源保护区等生态敏感点，西侧幸福彼岸小区居民楼距离本项目核医学科边界最近为 35m（有围墙），周围制约因素较少，本项目所开展的核技术应用项目通过采取相应有效治理和屏蔽措施后对周围环境及保护目标影响较小，满足各项标准的要求，因此选址是基本合理的。

(1) 医用电子直线加速器用房主要由加速器机房、控制室、水冷机房组成，按功能及放射性操作水平划分为控制区和监督区，实施分区管理。加速器机房与控制室分离，治疗室的设计有效使用面积 68.3m²（不含迷道）；治疗室西侧为迷道，迷道口设有防护门；有用线束向北墙、南墙、地面及屋顶照射。加速器机房布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）及《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中的布局要求，直线加速器机房布局合理可行。

(2) 核医学工作场所按功能及放射性操作水平划分为控制区和监督区，实施分区管理，分别设计有病人进出路线、医务人员进出路线，可有效避免带有放射性病人对其它人员造成不必要照射；设有并联式放射性废水衰变池，放射性废水经贮存衰变处理达标后排放，符合《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）中关于临床核医学工作场所对于布局的要求，核医学科布局合理可行。

13.1.4 辐射环境质量现状

现场监测数据表明：项目所在地及周围的 X- γ 辐射剂量率处于当地天然本底水平涨落范围内。拟建场所及周边各监测点 β 表面污染均小于检测限，未见异常。

13.1.5 环境影响评价结论

(1) 辐射环境影响分析

经模式预测，在正常工况下，本项目对辐射工作人员造成的附加有效剂量低于 5mSv/a 的职业人员剂量管理限值；对公众造成的附加有效剂量低于 0.1mSv/a 的公众人员剂量管理限值。

(2) 水环境影响分析

放射性废水在三个并联衰变池停留 10 个半衰期后，首次监测达标后，按照排水计划定期排入医院污水处理系统，对周围水环境影响很小。生活污水依托医院已有的污水处理系统处理达标后排放，对周围水环境影响很小。

(3) 固体废物影响分析

放射性固废采用专门的固废收集桶收集后，暂存于废物间衰变 10 个半衰期经监测达标后按照普通医疗废物由当地有资质单位定期处置，不会对周围环境产生影响。生活垃圾不属于医疗废物，医院进行统一集中收集并交由环卫部门统一清运，对周围环境影响较小。

(4) 大气环境影响分析

机房工作时产生的臭氧经排风系统通风后，满足评价标准要求，对机房周围的大气

环境影响较小。

(5) 声环境影响分析

本项目产生的噪声较小，对医院边界噪声的贡献较小，对项目所在区域声环境影响较小。

13.1.6 辐射防护措施有效性结论

(1) 直线加速器辐射防护：本项目直线加速器机房屏蔽设计使用混凝土、铅防护门，屏蔽体厚度均满足相关要求。机房控制室拟张贴相应的各项规章制度、操作规程。机房门外拟设有电离辐射警告标志、醒目的工作状态指示灯，灯箱处拟设警示语句；直线加速器拟设有“紧急止动”按钮，机房门拟设有闭门装置，拟设工作状态指示灯与机房门连锁等安全设施。职业人员和公众所受的照射均低于环评要求的剂量约束值。

(2) 核医学辐射防护：本项目非密封放射性物质工作场所建筑均设计了满足防护要求的屏蔽体厚度，对 X 射线或 γ 射线起到了有效地屏蔽。建设单位制定了有针对性的操作规程，职业人员工作时穿戴铅衣、铅围脖，佩戴防护眼镜等辐射防护用品。将注射室、注射后休息室、留观室等房间设为控制区并设置相应的警示标志，限制无关人员进入。在控制区周围有人员活动的区域内，职业人员和公众所受的照射均低于环评要求的剂量约束值。

13.1.7 事故风险与防范

建设单位将按本报告提出的要求制订辐射事故应急预案和安全规章制度，项目建成投运后，应认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

13.1.8 环保设施与保护目标

建设单位需按环评要求配备较全、效能良好的环保设施，使本次环评中确定的绝大多数保护目标，所受的辐射剂量，保持在合理的、可达到的尽可能低的水平。

13.1.9 辐射安全管理的综合能力

医院已成立放射防护领导小组，并指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作；该院应根据实际情况及本报告要求，制定和完善相关辐射安全管理制度，以适应当前环保的管理要求；本项目建成后新增辐射工作人员须进行辐射防护与安全初级培训，培训合格后持证上岗。医院对辐射工作人员进行职业健康监护和个人剂量监测，并建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

13.1.10 公众参与

建设单位在环保之家上就项目情况进行了网上公示，并对周围民众问卷调查。网上

公示期间，未收到任何反馈信息；问卷调查结果表明，厂址周围被调查商铺人员、居民对本项目无反对意见。项目实施过程中，应按照环评有关预防、减缓、消除不利于环境影响的措施及建议进行，确保公众所关心的环境问题能得到妥善解决。

13.2 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后，评价认为，本项目运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.3 建议与承诺

13.3.1 工作场所建设

墙体和衰变池施工时应请专门的施工单位进行施工，保证砖块缝隙间水泥砂浆密实饱满，并确保墙面防护涂料涂抹均匀，保证防护厚度符合要求；加速器机房混凝土应使用足够标号的混凝土，密度不小于 2.35g/cm^3 ，且需一次连续浇筑；使用的屏蔽防护材料应向专业厂家购置；防护门、窗安装时注意搭接处的防护，防护门与墙、窗与墙、墙体之间搭接处重叠宽度应不小于空隙的 10 倍。

13.3.2 人员培训

从事本项目工作的辐射工作人员，应按四川生态环境厅的要求，安排工作人员在上岗前参加辐射安全与防护培训，并取得培训合格证书，持证上岗。

13.3.3 管理制度

(1) 本项目竣工环境保护验收之前，确保拟制定的管理制度完成。

(2) 严格执行本项目放射性核素送入、存储和使用过程的管理措施，控制人流、物流通道，落实分区管理措施。

(3) 制定完善的辐射辐射事故应急处理预案。

13.3.4 其它建议和要求

(1) 医院应加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。

(2) 加强对辐射工作人员个人剂量的管理，若发现季度监测数据超过 1.25mSv ，应及时进行调查、查找原因，并采取相应的干预管理措施；定期将辐射监测设备送至有检定资质的单位进行检定，保证监测设备监测数据的有效性；个人防护用品使用达到五年期限时，应及时更新。

(4) 医用射线装置报废前，医院应采取去功能化措施妥善处理，确保报废装置无法

再次通电使用。

(5) 医院应告知 PET-CT 受检者检查完后，在 10 个半衰期内应避免出入公共场所，并控制与家庭成员及公众的接触距离。

(6) 医院应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

(7) 本项目环评审批后，医院应及时到四川省生态环境厅申领《辐射安全许可证》，办理前应登录“全国核技术利用辐射安全申报系统(网址 <http://rr.mee.gov.cn/>)”中实施申报登记。

(8) 根据《建设项目环境保护管理条例》，工程建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。建设项目正式投产运行前，建设单位应按规定进行项目竣工环保验收。本工程竣工环境保护验收一览表见表 13-1。

表 13-1 项目环报竣工验收检查一览表

项目		设施	备注
PET 工作场所	辐射屏蔽措施及安全装置	PET-CT 扫描间、卫生通过间、注射室、注射后候诊室、留观室防护墙体、防护门、窗	新增
		易去污的工作台面和防污染覆盖材料	新购
		病人专用卫生间 3 间	新增
		放射性废水衰变池一组	新建
		高效排风过滤器+活性炭吸附装置 2 套	新增
		移动铅屏风 3 件	新增
		注射防护套 2 套	新增
		放射性废物收集容器 5 个	新增
		电离辐射警示标志和工作状态指示灯若干	新增
		个人剂量计 8 个	新增
		个人剂量报警仪 2 台	新增
	放射性表面去污用品 1 套	新增	
	个人防护用品	个人防护用品（如铅衣、铅围裙、三角巾）2 套	新增
监测设备	γ 辐射监测仪 1 台、 β 表面污染监测仪 1 台	新增	
直线加速器机房	辐射屏蔽措施及安全装置	直线加速器治疗室防护墙体、防护门	新增
		电离辐射警示标志和工作状态指示灯若干	新增
		防护门与照射联锁及紧急停止开关等装置	新增
		个人剂量计 8 个	新增
		个人剂量报警仪 2 台	新增
		加速器机房通风设施，通风换气不低于 4 次/h	新增
	监测设备	固定式辐射剂量报警仪 2 台	新增

	视频监控	视频监控设施 2 套	新增
CT 模拟定位机房	辐射屏蔽措施及安全装置	工作状态指示灯 1 套	新增
		入口电离辐射警告标志 3 个	新增
		个人剂量计 2 支	新增
		机械排风装置 1 套	新增
其他	环保制度	辐射管理制度，相关制度张贴上墙	新增

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人：

公章
年 月 日

审批意见：

经办人：

公章
年 月 日