

核技术利用建设项目
广西中医药大学第一附属医院仙葫院区
新建 PET/CT 应用项目
环境影响报告表
(公示本)

建设单位: 广西中医药大学第一附属医院

环评单位: 广西中巨工程管理有限公司

二〇二五年八月

表 1 项目基本情况

建设项目名称	广西中医药大学第一附属医院仙葫院区新建 PET/CT 应用项目				
建设单位	广西中医药大学第一附属医院				
法人代表	***	联系人	***	联系电话	***
注册地址	南宁市仙葫大道西 327 号				
项目建设地点	南宁市仙葫大道西 327 号门诊住院综合楼北楼负一楼				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)	2500	项目环保投资 (万元)	300	投资比例 (环保投 资/总投资)	12%
项目性质	■新建□改建□扩建□其他			占地面积 (m ²)	不征地
应用 类型	放射源	□销售	□ I 类 □ II 类 □ III 类 □ IV 类 □ V 类		
		■使用	□ I 类 (医疗使用) □ II 类 □ III 类 □ IV 类 ■ V 类		
	非密封放 射性物质	□生产	□制备 PET 用放射性药物		
		□销售	/		
		■使用	□乙 ■丙		
	射线装置	□生产	□ II 类 □ III 类		
		□销售	□ II 类 □ III 类		
■使用		□ II 类 ■III类			
其他	/				

1 项目概述

1.1 建设单位简介

广西中医药大学第一附属医院仙葫院区自 2017 年 7 月开业，位于广西南宁市仙葫大道西 327 号，紧邻东方广场及仙葫经济开发区管委会。院区以三级综合性中医医院标准建设，集医疗、教学、科研、保健康复等功能于一体，编制床位 600 张，配套公共停车位 500 个。目前设置有心肺病科、脑病科、脾胃肝病科、儿科 4 个国家临床重点专科(中医)和国家中医重点专科；肾病、风湿病、内分泌科，耳鼻喉头颈外科等 2 个国家中医重点专科建设单位；中医儿科学、中医急诊学、中医耳鼻喉科学、中西医结合临床医学等 4 个国家中医药管理局中医药重点学科建设单位；重症医学科、护理学科、中医传染病学等 3 个国家中医重点专科培育单位。仙葫院区在实行医疗资源共享、规划学科门类齐全、整体诊疗水平领先的基础上，还重点打造骨伤、肿瘤、康复

及顺应国家二孩政策的妇产专科，共享东葛院区优秀名医专家团队，在临床各科常见病、多发病及疑难危重病诊治方面，有鲜明的中医、民族医和中西医结合特色诊疗优势。

1.2 项目建设内容及规模

为了满足患者需求和诊疗技术进一步发展的需求，医院拟在门诊住院综合楼北楼负一楼新建 PET/CT 应用项目，新增 1 套 PET/CT 设备及相关业务用房，该射线装置属III类射线装置，新增放射性核素 ^{18}F 开展显像诊断，新增放射性核素 ^{68}Ga 开展前列腺癌、神经内分泌肿瘤和其他肿瘤显像诊断等工作，配置 2 枚 ^{68}Ge 放射源用于 PET/CT 质控，源活度为 $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属V类放射源，负三层楼梯间新增废水衰变池。本项目拟新增射线装置情况见表 1-1，新增使用非密封放射性物质情况见表 1-2，工作场所分级情况表见表 1-3，新增放射源情况见表 1-4。

表 1-1 本项目拟新增射线装置情况

序号	设备名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	使用场所
1	PET/CT	III	1	待定	140	1000	门诊住院综合楼北楼负一楼 PET/CT 机房

表 1-2 本项目拟新增使用非密封放射性物质情况

核素名称	物理状态	日最大诊断量	年最大诊断量	单个病人单次最大使用量	日最大操作量 (Bq)	诊断/治疗项目	备注
^{18}F	液态	20 人	4800 人	3.7E+8Bq (10mCi)	7.4E+9	显像诊断	新增
^{68}Ga	液态	4 人	720 人	1.85E+8Bq (5mCi)	7.4E+8	显像诊断	新增

表 1-3 本项目工作场所分级情况表

工作场所	核素名称	计划日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	工作场所分级
门诊住院综合楼北楼负一楼	^{18}F	7.4E+9	低毒, 0.01	液态, 很简单操作, 10	7.4E+6	8.14E+6 丙级
	^{68}Ga	7.4E+8	低毒, 0.01	液态, 很简单操作, 10	7.4E+5	

本项目 PET/CT 工作场所为丙级非密封放射性物质工作场所。

表 1-4 本项目拟新增放射源情况

序号	核素名称	活度 (Bq) ×枚数	类别	用途	贮存方式与地点	备注
1	^{68}Ge	7.4 E+7Bq×2	V	PET/CT 质控	屏蔽容器贮存，存放于储源室内	1 年左右更换，退役废源送生产厂家回收

1.3 目的和任务由来

医院在门诊住院综合楼北楼负一楼新建 PET/CT 进行核素显像诊断，属于丙级非密封放射性物质工作场所，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》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求，该项目需开展环境影响评价工作，并办理相应审批手续。依据《建设项目环境影响评价分类管理名录》(2021 年版)，本项目属于其中第 172 核技术利用建设项目中“丙级非密封放射性物质工作场所”，必须编制辐射环境影响报告表。为此，医院委托广西中巨工程管理有限公司对该项目进行环境影响评价（见附件 1）。

环评单位在现场调查和理论分析的基础上,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)规定的建设项目辐射环境影响报告表的内容和格式,编制广西中医药大学第一附属医院仙葫院区新建PET/CT应用项目环境影响报告表。

1.4 项目周边保护目标及场址选址情况

1、项目周边环境关系

本项目建设地点位于南宁市仙葫大道西 327 号，项目地理位置图见图 1-1。

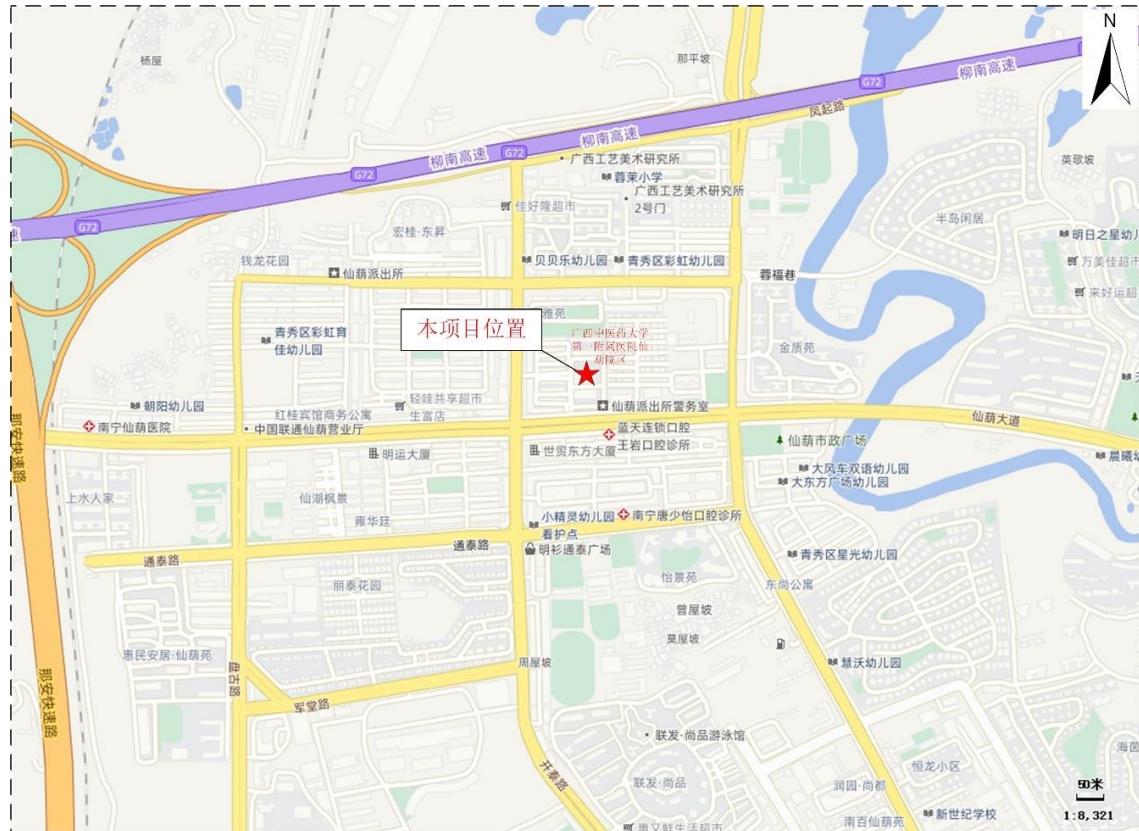


图 1-1 项目地理位置图

本项目位于医院门诊住院综合楼北楼负一楼，该楼为地面 22 层建筑。核医学科地上东侧为门诊住院综合楼北楼东侧及新隆·青年城小区，南侧为门诊住院综合楼西楼，西侧为院内通道及金地世家北区，北侧为停车场及职工住宅楼。

本项目拟建工作场所地下北侧为直加上方土层，西侧为实土层，东侧为立体停车场，南侧为过道及电梯厅，楼上为核医学科 SPECT/CT 工作场所及室外停车场，楼下为放疗中心用房；拟新增废水衰变池位于门诊住院综合楼北楼负三层楼梯间，西侧为实土层，东侧为电梯厅，南侧为楼梯间及消防泵房，楼上为楼梯间，楼下为实土层。

以该楼核医学科拟建场所四周边界为起点，北侧 0~12m 为地面停车场，12~19m 为院内道路，19~35m 为职工住宅楼，35~50m 为道路；东侧 0~44m 为门诊住院综合楼北楼东侧，44~49m 为院内道路，49~50m 为新隆·青年城小区内道路；南侧 0~10m 为门诊住院综合楼北楼南侧，10~40m 为门诊住院综合楼西楼，40~50m 为门诊住院综合楼南楼；西侧 0~7m 为院内道路，7~50m 为金地世家北区居民楼。

本项目核医学科工作场所及周围环境现状见图 1-2~图 1-5，医院总平面图见图 1-6，本项目拟建 PET/CT 工作场所平面布置图见图 1-7。



图 1-2 拟建 PCT/CT 机房



图 1-3 拟建场所楼上 SPECT/CT 机房



图 1-4 拟建场所楼下放疗中心



图 1-5 拟建场所南侧通道

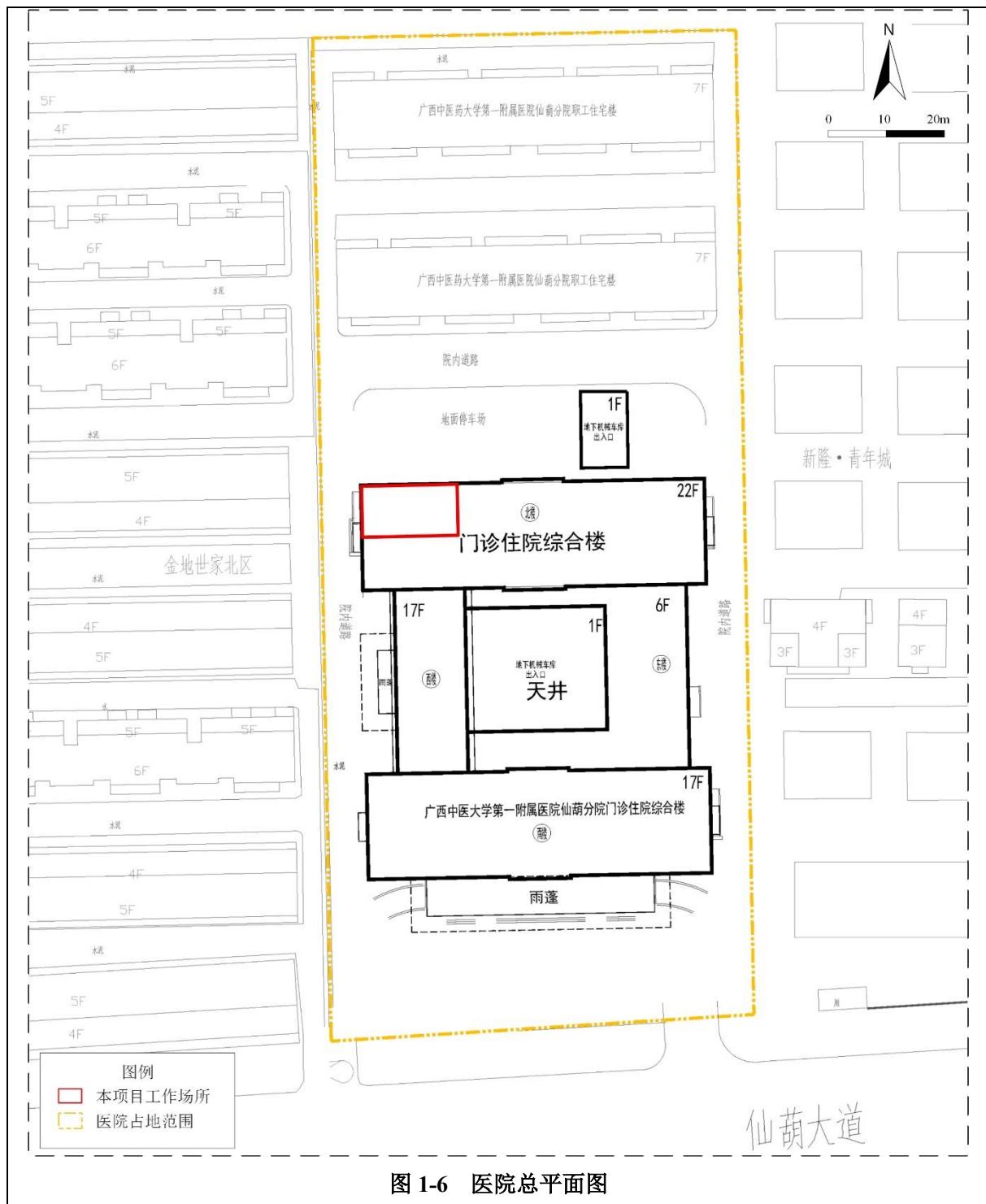


图 1-6 医院总平面图

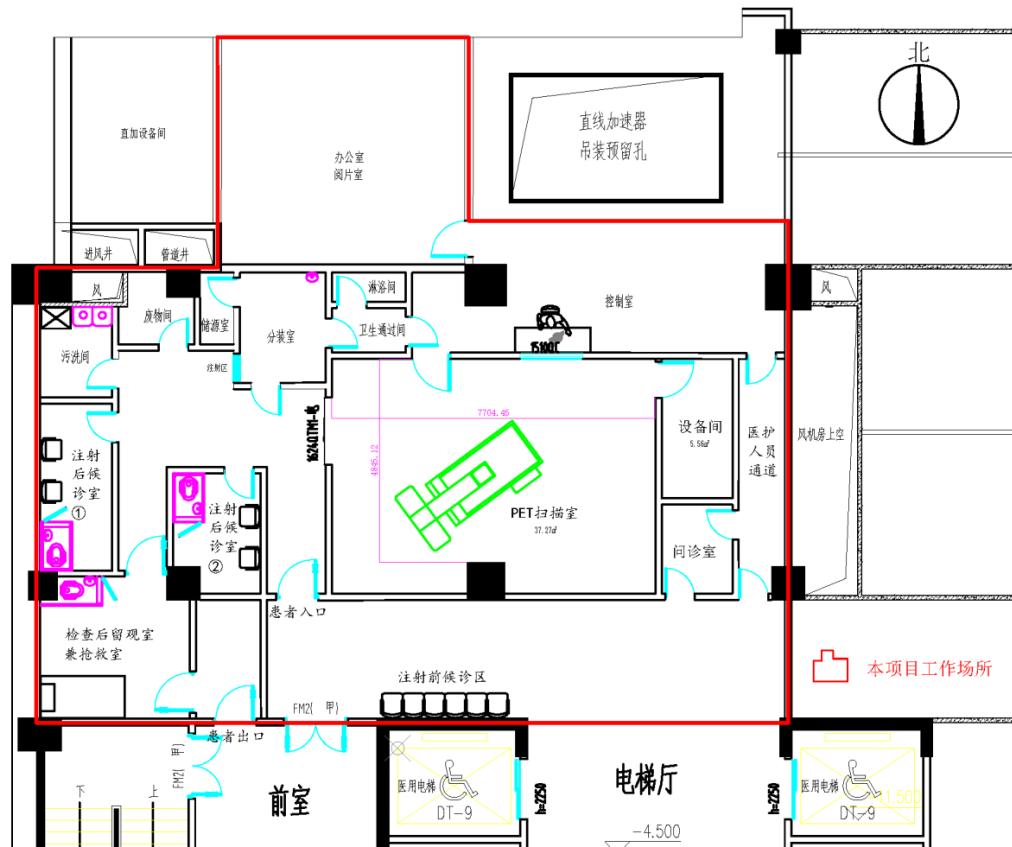


图 1-7 本项目拟建工作场所平面布局图

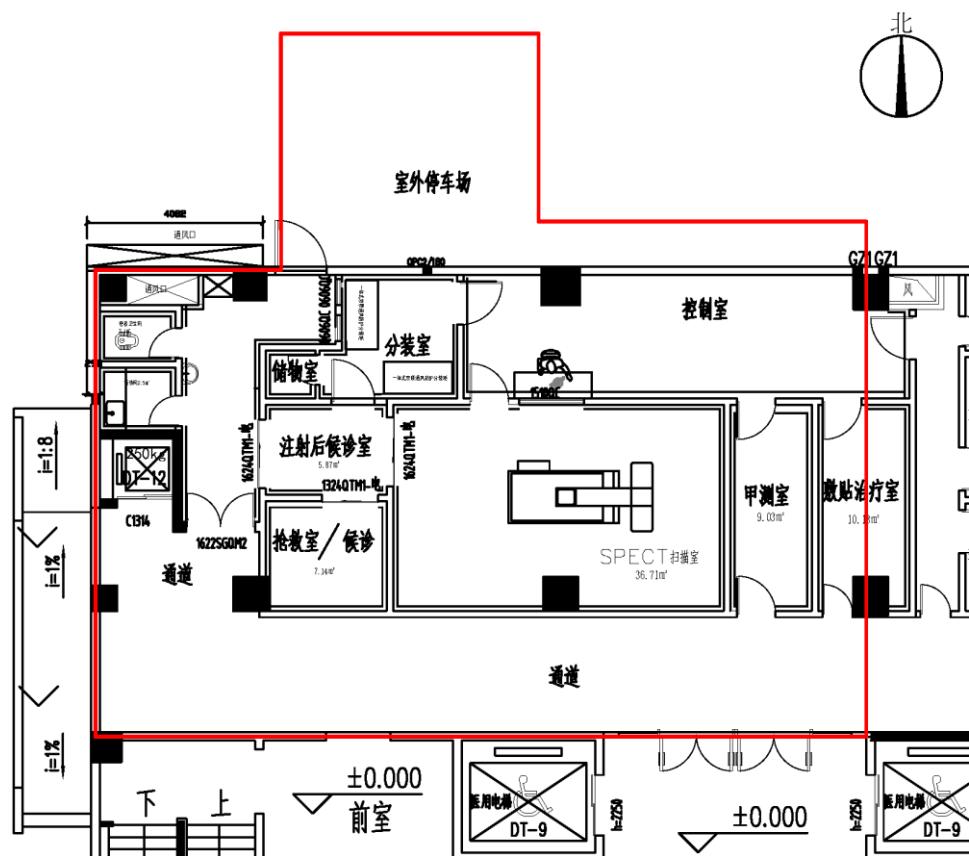


图 1-8 本项目拟建工作场所楼上平面布局图

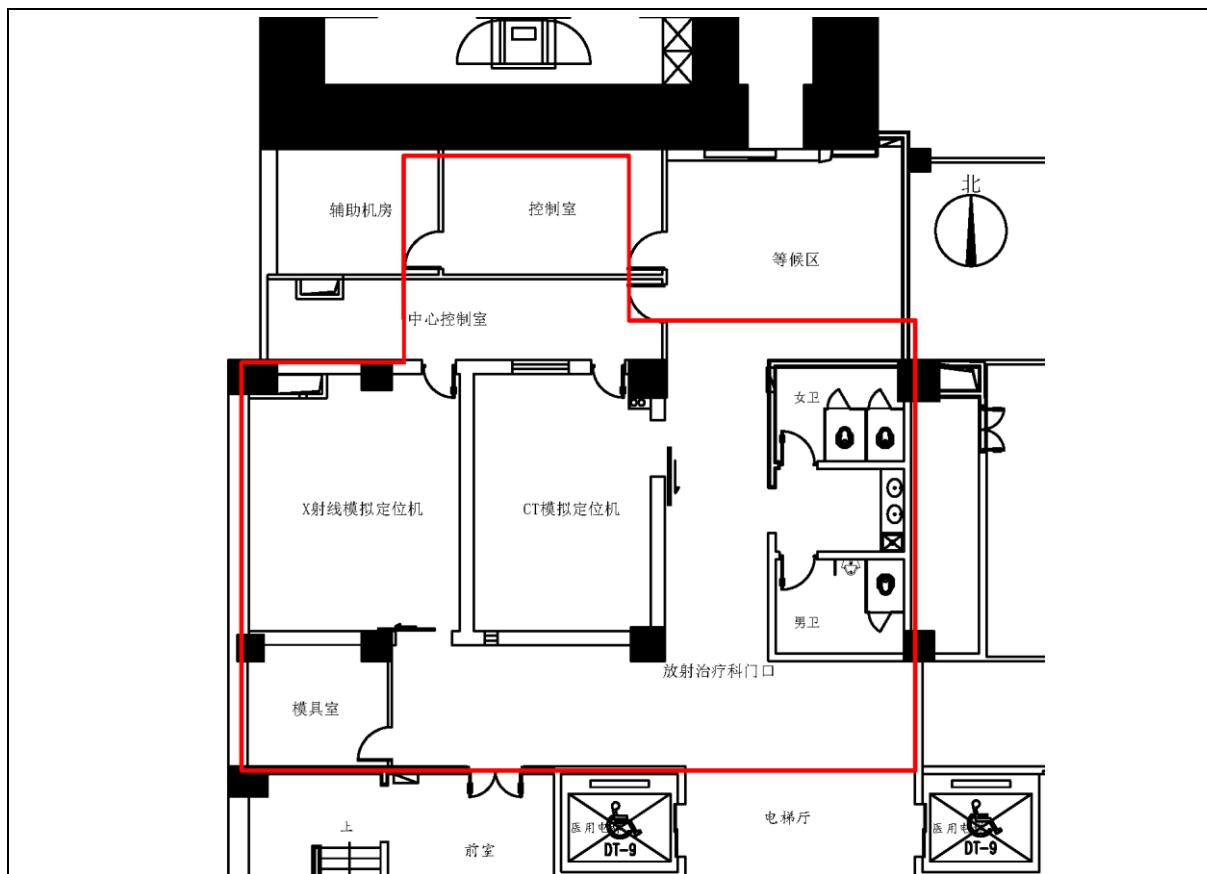


图 1-9 本项目拟建工作场所下平面布局图

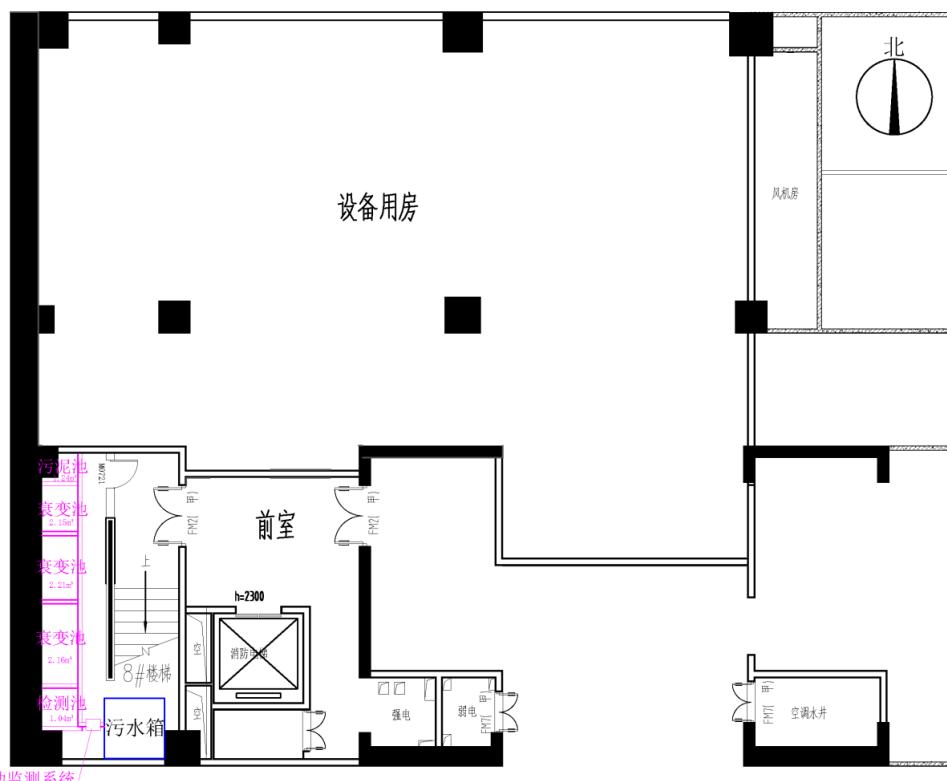


图 1-10 本项目新增废水衰变池位置示意图

2、选址合理性分析

本项目工作场所边界外 50m 范围内西侧有部分居民楼，其余区域均在院内。此外，项目使用分装柜、设置防护铅门及防护墙体，在门口设置电离辐射警告标志，将项目用房实施分区管理，无关人员不得进入控制区。项目运行过程中产生的电离辐射，经过屏蔽防护和距离衰减后，对周围工作人员和公众所致的辐射剂量符合剂量约束限值的要求。通过以上场所独立、划分区域等措施，本项目不会产生交叉污染。

按照《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 第 5.1 关于“选址”规定：

“5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。”；“5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。”；“5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。”该项目位于医院门诊住院综合楼北楼负一楼，西侧、北侧均为土层，东侧为立体停车场，南侧为过道及电梯厅，楼下为放疗中心用房，为医院内部无人长期居留的建筑物的一端；不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，同时设置有相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。废气排放口位于楼顶，远离周边高层建筑，并设有活性炭过滤装置，因此，项目选址能满足 HJ 1188-2021 第 5.1 的要求。

3、周边保护目标

本项目评价范围内大部分区域属于医院内部，西侧有金地世家北区部分居民楼，东侧区域有新隆·青年城道路，无自然保护区、风景名胜区、学校等其他环境敏感目标，本项目主要保护目标为项目辐射工作人员、评价范围内医院其他工作人员及公众成员。

1.5 原有核技术利用项目许可情况

1.5.1 原有辐射安全许可证情况

经医院核实，广西中医药大学第一附属医院取得了辐射安全许可证，证号为：桂环辐证[A0290]，许可种类和范围为：使用V类放射源；使用II类、III类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所（许可证见附件 4），许可证有效期至 2029 年 01 月 15 日。

1.5.2 原有辐射安全管理情况

医院根据《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》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等辐射项目管理相关的法律法规，配合各级生态环境部门监督检查，辐射防护设施运行良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实及档案管理方面运行良好。

医院建立了《关于调整放射卫生防护管理委员会的通知》、《核医学科质量控制管理制度》、《核医学科工作制度》、《核医学科岗位职责》、《核医学科放射性药品管理制度》、《核医学科仪器设备操作规程》、《放射性核事故预防和应急处理预案》等一系列制度，并严格按照规章制度执行。本项目为核医学科新建 PET/CT 应用项目，针对本项目，建设单位将本项目相关内容纳入原有管理制度体系中。

根据医院提供的 2024 年辐射安全与防护状况年度评估报告，医院严格遵守国家法律法规，且严格遵照规章制度运行，未发生辐射安全隐患及安全事故。医院积极组织人员参与安全培训和健康检查，对项目辐射状况进行监控。辐射安全和防护设施运行良好，定期开展维护工作，保证辐射工作的安全开展。各项辐射安全和防护制度及措施均得到了落实。

本项目辐射工作人员调配原有辐射工作人员，根据建设单位提供的 2024 年度个人剂量监测报告，本项目拟配备辐射工作人员 2024 年度个人剂量年受照剂量最大值为 0.41mSv/a，满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 规定的年有效剂量管理约束值 5mSv/a 的要求。

表 1-5 本项目拟配备辐射工作人员 2024 年度个人剂量监测情况表

综上所述，医院办理了辐射安全许可证，制定了相关规章制度并严格执行，落实了辐射环境监测计划及个人剂量监测结果，且监测结果符合相关标准要求，因此可以认为医院具备本项目运行及辐射安全管理基础能力。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	⁶⁸ Ge	7.4 E+7 Bq × 2	V	使用	PET/CT 质控	门诊住院综合楼北楼负一楼 PET/CT 机房	屏蔽容器贮存, 存放于门诊住院综合楼北楼负一楼储源室内	1 年左右更换, 退役废源送生产厂家回收
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	¹⁸ F	液体	使用	7.4E+9	7.4E+6	1.78E+12	显像诊断	很简单	门诊住院综合楼北楼负一楼分装室 一楼 PET/CT 场所	门诊住院综合楼北楼负一楼分装柜	新增
2	⁶⁸ Ga	液体	使用	7.4E+8	7.4E+6	1.33E+11	显像诊断	简单	门诊住院综合楼北楼负一楼储源室	门诊住院综合楼北楼负一楼储源室	新增
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) /剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
无	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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类	1	待定	140	1000	放射诊断	门诊住院综合楼北楼 负一楼 PET/CT 机房	新增
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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	
无	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
放射性废水	液态	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga	/	6.08m ³	73m ³	总 α <1Bq/L、 总 β <10Bq/L、	<u>门诊住院综合楼</u> <u>北楼负三层楼梯</u> <u>间新建¹⁸F废水</u> <u>衰变池暂存</u>	符合 HJ 1188-2021 的排放要求后, 排入医院废水处理系统后排入市政网管。
粘有放射性药品的一次性物品、排风系统活性炭等	固态	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga	/	24.7kg	296kg	低于相应核素清洁解控推荐值	<u>集中收集于废物桶</u> <u>后按日期存于门诊住院综合楼</u> <u>北楼负一楼废物间内衰变</u>	废物储存衰变至满足清洁解控水平后按医院医疗废物处置。
放射性废气	气态	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga	/	微量	微量	/	/	核医学科工作场所及分装柜等均设有废气收集排放系统, 通过管道抽到楼顶, 出风口高出建筑屋顶, 分装柜风速设计不低于 0.5m/s, 并设有活性炭过滤装置, 最终排向大气。
退役放射源	固态	⁶⁸ Ge 校准源	/	/	/	/	<u>屏蔽容器贮存,</u> <u>暂存于门诊住院综合楼北楼负一楼储源室内</u>	由生产厂家回收处置。
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

法规文件	<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九号,于2014年4月24日修订,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》(2002年10月28日通过,自2003年9月1日起施行;2018年12月29日第二次修正);</p> <p>(3)《中华人民共和国放射性污染防治法》(中华人民共和国主席令第六号,2003年6月28日公布,自2003年10月1日起施行);</p> <p>(4)《建设项目环境保护管理条例》(1998年11月29日中华人民共和国国务院令第253号发布施行;2017年7月16日中华人民共和国国务院第682号令修订,自2017年10月1日起施行);</p> <p>(5)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2005年9月14日经国务院令第449号公布,2005年12月1日起施行;2014年7月29日经国务院令第653号修改,2019年3月2日经国务院令第709号修改);</p> <p>(6)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2006年1月18日经国家环境保护总局令第31号公布,2006年3月1日起施行;2008年12月6日经环境保护部令第3号修改;2017年12月20日经环境保护部令第47号修改,2019年8月22日经生态环境部令第7号修改,2021年1月4日经生态环境部令第20号修改);</p> <p>(7)《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18号令,2011年5月1日起施行);</p> <p>(8)《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021版)》(生态环境部令第16号,2021年1月1日起施行);</p> <p>(9)《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》(国家环保总局,环发[2006]145号,2006年9月26日公布并实施);</p> <p>(10)《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》(生态环境部令第9号),2019年11月1日施行;</p> <p>(11)《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》(国环规环评〔2017〕4号),2017年11月20日发布并实施;</p> <p>(12)关于发布《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》的公告</p>
------	---

	<p>(生态环境部公告 2018 年第 9 号), 2018 年 5 月 15 日;</p> <p>(13)《产业结构调整指导目录(2024 年本)》(2023 年 12 月 27 日国家发展改革委令第 7 号公布), 2024 年 2 月 1 日起施行;</p> <p>(14)《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部公告 2019 年第 57 号), 2020 年 1 月 1 日起施行;</p> <p>(15)《关于进一步优化辐射安全考核的公告》(生态环境部公告 2021 年第 9 号), 自 2021 年 3 月 15 日起施行;</p> <p>(16)《关于发布放射源分类办法的公告》(国家环保总局 公告 2005 年 第 62 号, 2005 年 12 月 28 日发布并实施);</p> <p>(17)《关于发布<射线装置分类>的公告》(国家卫生和计划生育委员会环境保护部 2017 年 66 号文, 2017 年 12 月 5 日公布并施行);</p> <p>(18)《广西壮族自治区环境保护条例》(2019 年修订版), 2019 年 7 月 25 日公布, 自 2019 年 7 月 25 日起施行;</p> <p>(19)广西壮族自治区生态环境厅关于印发《广西壮族自治区建设项目环境影响评价文件分级审批管理办法(2025 年修订版)》的通知(桂环规范(2025)2 号)。</p>
技术标准	<p>(1)《辐射环境保护管理导则核技术应用建设项目环境影响文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016);</p> <p>(2)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002);</p> <p>(3)《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021);</p> <p>(4)《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021);</p> <p>(5)《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020);</p> <p>(6)《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021);</p> <p>(7)《放射性废物的分类》(环境保护部公告 2017 年 第 65 号)。</p>
其他	<p>(1) 环评委托书, 见附件 1;</p> <p>(2) 项目备案证明, 见附件 2;</p> <p>(3) 现状监测报告, 见附件 3;</p> <p>(4) 辐射安全许可证, 见附件 4;</p> <p>(5) 放射卫生防护管理委员会, 见附件 5;</p>

- | | |
|--|---|
| | <p>(6) 放射事件应急处理预案, 见附件 6;</p> <p>(7) 辐射工作人员个人剂量监测报告, 见附件 7;</p> |
|--|---|

表 7 保护目标及评价标准

7.1 评价范围

根据本项目的特点，参照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016) 中评价范围的相关规定，确定以拟建工作场所边界为中心半径 50m 区域作为本项目的评价范围，评价范围示意图见图 7-1。

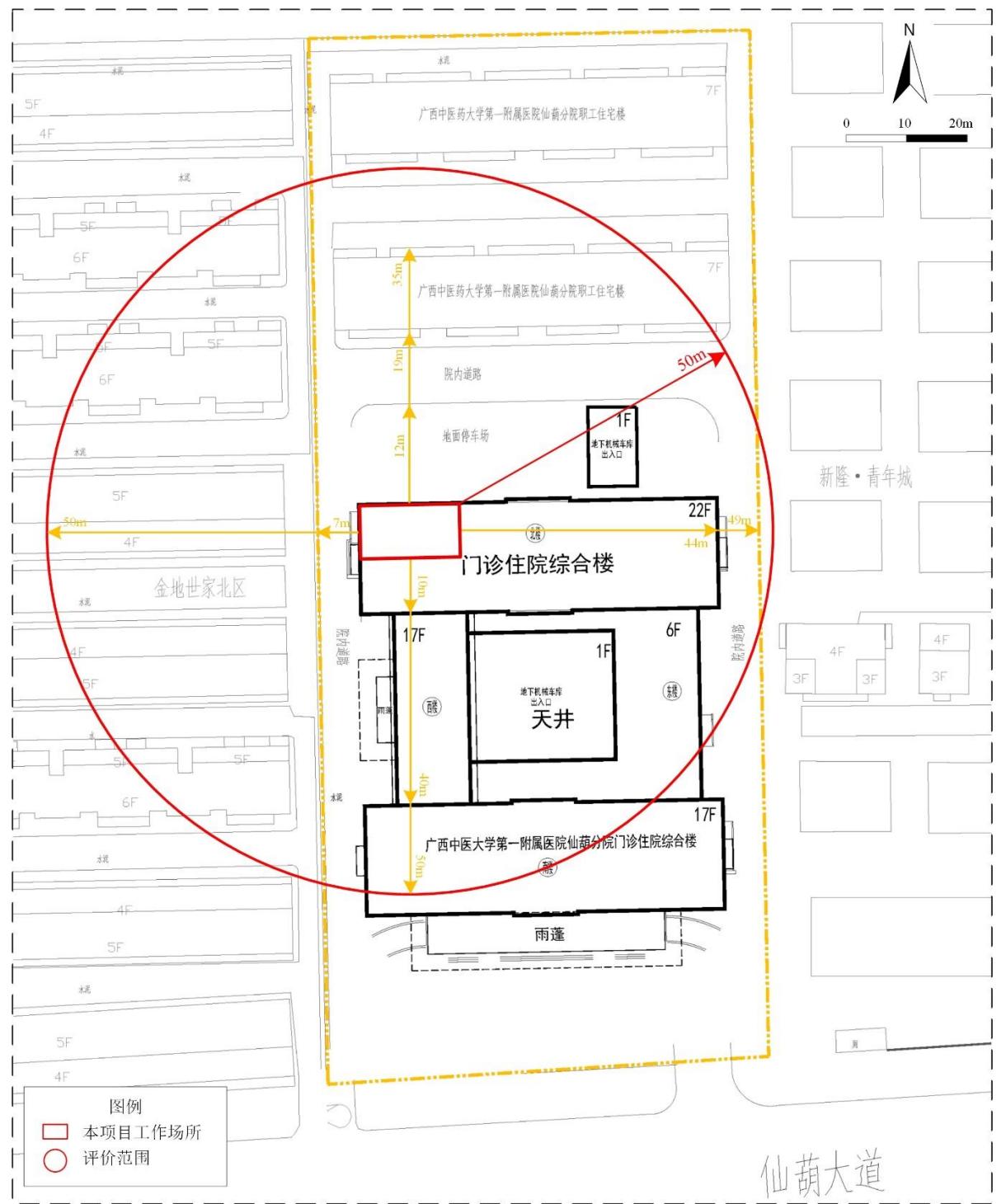


图 7-1 评价范围示意图

7.2 保护目标

环境保护目标为本项目辐射工作人员、评价范围内的其他工作人员及公众人员，使他们受到的辐射照射低于各自的年有效剂量管理约束值。

本项目环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 主要环境保护目标

人员类型	保护对象	相对位置	与核医学科工作场所边界距离 (m)	人员数量	年剂量管理约束值
职业人员	本项目辐射工作人员	内部	--	10 人	5mSv/a
公众人员	门诊住院综合楼其他工作人员及公众	上方及周围	同一栋楼	约 2000 人	0.1mSv/a
	北侧职工住宅楼其他工作人员及公众	北侧	19	约 100 人	
	西侧金地世家北区公众	西侧	7	约 200 人	
	东侧新隆·青年城道路公众	东侧	49	约 100 人	
	评价范围内逗留或者经过的公众成员	核医学科周围	50m 内	流动人群	

7.3 评价标准

1、年有效剂量限值及年剂量管理约束值要求

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 第 4.3.2.1 款关于剂量限制的规定：应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B (标准的附录 B) 中规定的相应剂量限值，不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

该标准第 B1.1.1.1 款，应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量 (但不可作任何追溯性平均)，20mSv。

该标准中第 B1.2 款关于公众照射剂量限值的规定，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下述限值：年有效剂量，1mSv。

结合《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 中“4.4.2 剂量约束值”的要求，本次评价项目年剂量管理约束值要求为：职业照射不超过 5mSv/a，公众照射不超过 0.1mSv/a。

2、辐射工作场所的分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 对非密封源工作场所

的分级的规定：非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录）的规定进行。标准第 C1 款，应将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级，具体见表 7-2。

表 7-2 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4\times10^9$
乙	$2\times10^7\sim4\times10^9$
丙	豁免活度值以上~ 2×10^7

3、工作场所辐射剂量率控制水平

按照《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 的要求：

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

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

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

4、非密封放射性物质工作表面沾污控制

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 第 6.2.3 款：工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B (标准的附录 B) B2 所规定的限制要求。根据其第 B2.1 款对工作场所的表面污染控制水平的相关规定，确定本评价项目核医学科正常运行时，辐射工作场所的放射性表面污染控制水平如表 7-3 所列。

表 7-3 工作场所的放射性表面污染控制水平 单位：Bq/cm²

表 面 类 型		β 放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1}

1) 该区内的高污染子区除外。

再根据 B2.2 工作场所的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低到表 7-4 中所列

设备类的控制水平的五十分之一以下时，经主管部门确认同意后，可当作普通物品使用。

5、放射性三废的要求

（1）放射性固体废物管理要求

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求：

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.2.3.2 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 $0.1\text{mSv}/\text{h}$ ，表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、其他 α 发射体应小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

（2）放射性废液管理要求

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 8.6.2 款规定：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 倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

- a) 每月排放的总活度不超过 10ALI_{\min} (ALI_{\min} 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者，其具体数值可按 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定获得)；
- b) 每一次排放的活度不超过 1ALI_{\min} ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求：

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式

- a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；
- b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 $1\text{Bq}/\text{L}$ 、总 β 不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$ 、碘-131 的放射性活度浓度不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$ 。

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

7.3.3.3 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。

综上所述，本项目推流式衰变池中放射性核素有 ^{18}F (半衰期 109.8min)、 ^{68}Ga (半衰期 68.3min)，最长半衰期核素为 ^{18}F ，放射性废水的排放按 HJ 1188-2021 中的第 7.3.3.2 要求执行。

(3) 气态放射性废物的管理

按照《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 的要求：

7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。

7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

综上所述，本项目核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。并定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置

本项目建设地址为南宁市仙葫大道西 327 号门诊住院综合楼北楼负一楼，地理位置图见图 1-1，医院总平面图见图 1-6。

8.2 环境现状评价的对象

环境现状评价的对象为医院门诊住院综合楼北楼负一楼拟建工作场所及周围辐射环境现状。

8.3 辐射环境现状监测

(1) 监测目的

掌握该项目应用场所及周围的辐射环境质量现状水平，为分析及预测该项目运行时对职业人员、公众人员及周围环境的影响提供基础数据。

(2) 监测内容及时间

建设单位委托广西居里安检测技术有限公司于 2025 年 6 月 24 日对本项目拟建工作场所及周围环境进行辐射环境现状监测，监测报告见附件 3。

(3) 监测因子、监测频次

监测因子： γ 辐射空气吸收剂量率

监测频率：一次。

(4) 监测点位

根据现场条件，合理布点，现状监测布点图详见图 8.2-1~图 8.2-5。

图 8.2-1 门诊住院综合楼负一楼工作场所现状监测点位

图 8.2-2 门诊住院综合楼一楼工作场所现状监测点位

图 8.2-3 门诊住院综合楼负二楼工作场所现状监测点位

图 8.2-4 门诊住院综合楼负三楼拟建衰变池工作场所现状监测点位

图 8.2-5 门诊住院综合楼室外环境现状监测点位

(5) 监测项目、监测仪器及监测规范

监测项目、监测仪器及监测规范见表 8-1。

表 8-1 监测项目、监测仪器及监测规范

监测项目	γ 辐射空气吸收剂量率
仪器名称	X- γ 辐射剂量率仪
仪器型号	GHZ2100A
仪器编号	JLA-084
生产厂家	杭州湘亭科技有限公司
能量响应	35keV~7MeV
量 程	10nGy/h~100 μ Gy/h
检定证书及有效期	检定证书编号: 检字第[2024]-L0559 (检定单位: 中国辐射防护研究院放射性计量站), 有效期: 2024 年 7 月 30 日~2025 年 7 月 29 日
监测规范	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)

8.4 质量保证措施

(1) 结合现场实际情况及监测点的可到达性, 在项目拟建场址内和评价范围内工作人员活动区域、人流量相对较大的区域布设监测点位, 充分考虑监测点位的代表性和可重复性, 以保证监测结果的科学性和可比性;

(2) 参考《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021) 采用即时测量方法进行测量;

(3) 监测仪器每年经有资质的计量部门检定、校准, 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;

(5) 本次监测实行全过程的质量控制, 严格按照监测单位的《质量手册》、《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行, 监测人员经考核合格并持有合格证书上岗;

(6) 监测报告严格实行三级审核制度, 经校核、审核, 最后由授权签字人批准。

8.5 监测结果

该项目拟建场所及周围环境监测结果见表 8-2。

表 8-2 项目拟建工作场所辐射剂量率监测结果

8.6 辐射环境现状监测结果分析

由表 8-2 的监测结果可知, 本项目工作场所及周围环境现状监测中室内环境 γ 辐射空气吸收剂量率测值在 19.2~43.7nGy/h 范围内, 室外环境 γ 辐射空气吸收剂量率测值在 16.8~26.3nGy/h 范围内。根据《广西壮族自治区环境天然贯穿辐射水平调查报告》(广西壮族自治区环境监测中心站 1992 年), 广西壮族自治区建筑物室内 γ 辐射空气吸收剂量率在 11.0~304.3nGy/h 范围内, 原野 γ 辐射空气吸收剂量率在 10.7~238.7nGy/h 范围。本拟建场址及周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率范围在广西本底范围内, 表明拟建项目辐射环境现状未见异常。

表 9 项目工程分析和源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 项目基本情况

本项目建设规模为：在门诊住院综合楼北楼负一楼新增核素¹⁸F、⁶⁸Ga，使用核素均为外购，工作场所属于丙级非密封放射性物质工作场所；使用2枚⁶⁸Ge（V类密封源）作为质控校准源；使用1台III类射线装置（PET/CT）。

9.1.2 PET/CT 显像诊断

（1）工作原理

PET（Positron Emission Tomography，正电子发射断层扫描）的工作原理是采用正电子放射性核素作为示踪剂，通过注射方式进入体内后，依其化学及生物学特性不同，随血流等进入某些特定的组织器官，参与或模仿某些生命物质在人体内的病理生理、引流代谢的过程。由于正常组织和病变组织在这个过程中的差异，使其聚集这种放射性核素或其标记物的能力发生了变化。利用显像诊断设备来探测这种放射性核素正电子湮灭发射的 γ 射线在体内的分布状态并还原成图像，其影像不仅可以显示脏器和病变的位置、形态、大小等解剖结构，更重要的是可以显示脏器的功能、代谢情况，提供有关脏器的血流、功能、代谢和引流等方面定性的和定量的信息，根据这些信息进行疾病诊断。

将标有正电子核素的化合物注射到受检者体内后，放射核素发射出的正电子在体内与组织中的负电子结合发生湮灭辐射，产生一对能量相等（511keV）、方向相反的 γ 光子。如果在这对光子飞行方向上对置一对探测器，便可以几乎同时接受到这两个光子，并可推定光子发源（即正电子发射）点在两探头间连线上。通过环绕360°排列的多组配对探头，经探头对之间符合线路检验判定每只探头信号时间耦合性，排除其他来源射线的干扰，得到探头对连线上的一维信息，再用滤波反投射方式，将信号按探头对的空间位置向中心点反投射，便可形成与探头组连线轴平行的断层面正电子发射示踪剂分布图像。这种探测方式一次只反映一个层面的信息。实用中常用多层排列的探头对，配合层间符合线路，以利探测并重建更多层面的图像。

为减少诊断时间、获得更清晰的图像和更多有价值的影像信息，融合应用高档多排CT技术进行精确定位的PET/CT，使两种成像技术优势互补，使用同一个检查床和同一个图像处理工作站，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，明显提高

诊断的准确性。

（2）操作流程

①订药：工作人员根据病人预约情况、临床诊断所需使用量（已考虑衰变量），提前一天向放射性药物供应单位订购，由药物供货商负责将药物暂存于分装柜，购回的放射性药品使用前均置于密封铅容器内。

②受检者按约定时间在注射前候诊区准备和等候；

③分装注射：在医护人员语音提示后，受检者经过专用通道在病人注射室注射窗口等待，注射医务人员穿戴好个人防护用品进入分装室，从贮药铅罐内用一次性注射器抽取计划的药量，并用注射器防护套对注射器进行防护，再转移至注射窗前为受检者注射药物。

④诊断：注射后的病人进入相应注射后候诊室休息，待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 PET/CT 机房，经医生进行语音提示摆位，必要时进入机房指导，随后离开机房进入控制室，隔室操作对患者进行 PET/CT 扫描诊断。

⑤诊断结束后，正常情况无问题后通过检查后留观室离开核医学科；检查结果异常或紧急情况时，受检者需在检查后留观室留观，无异常后离开核医学科，约 10%患者需留观。

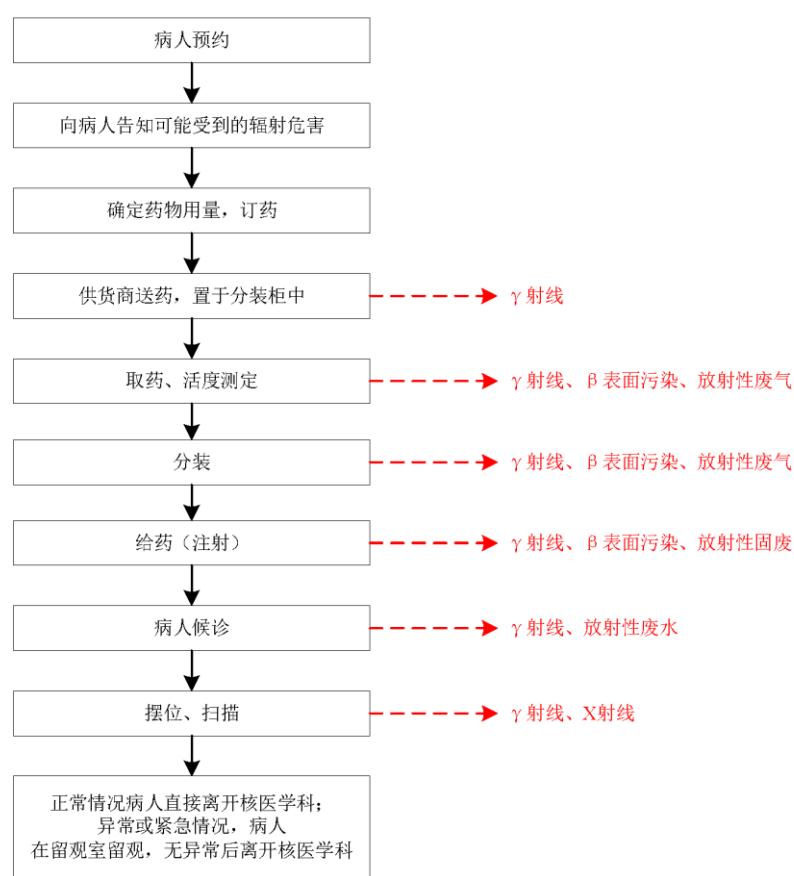


图 9.1-1 PET/CT 显像诊断操作流程及产污环节示意图

9.1.3 利用 ^{68}Ge 源进行设备校准

(1) 工作原理

PET/CT 的使用随着时间的推移, 图像质量可能会下降。使用校准源对 PET/CT 进行校准, 是一种重要的质量控制方法。日常性能监测 (daily quality assurance, DQA) 和设备参数报告图表, 系统运行程序, 取出校准源 (本项目拟使用 ^{68}Ge 源), 使之绕探测环轨道运行, 探头对其进行数据采集。采集的数据主要反应了 PET 环形排列的各探测模块乃至每个晶体块 (crystal block) 的工作参数, 用于监视 PET 扫描机图像质量随时间变化的情况。DQA 执行完成后, 将会出现以灰度块形式表示的 PET 图像质量报告图表, 图像质量图表给出设备各项性能参数, 包括符合计数、单光子计数、死时间、符合时间、能量分辨率等。灰度块灰度的改变程度与探测单位性能漂移程度相关。灰度偏离越大, 探测单位的性能参数偏离越大。将光标移动到条块图上, 会在屏幕底部产生读数, 分别指示模块 (module) 晶体块、晶体行 (crystalrow)、晶体列 (crystal column) 和所在行参数值 (data value)。参数报告表给出了该设备的标准值范围和实际平均测量值, 并在最后 1 列对设备当前运行参数给出评价--合格、警告、不合格 (分别用绿、黄、红色表示)。

探测系统数据的采集是 PET 成像的第一步，整个探测环性能的监测和调试依赖于使用⁶⁸Ge 进行 DQA 和定期进行系统校准。完成校准后，系统自动生成图像质量图表，并附有相关参数。依照该图，工程师可以及时发现性能漂移并准确定位。当参数图表的评价已出现警告标识，或更严重者，在图像质量图表区发现明显的水平条，说明相应的探测器没有信号输出，必须对 PET 系统故障进行查修，并需对整个系统进行重新校正。使用⁶⁸Ge 放射源进行系统校准，目的是对探头的性能漂移进行及时校正，以使图像解剖定位更加准确，改善对比度，消除图像畸变，使得深部病灶显示更加清楚。

（2）工作流程及产污环节

项目根据 PET/CT 显像情况，定期进行质控校准，第一步将校准源从储源室保险箱中取出，放入 PET/CT 设备中，人员离开 PET/CT 扫描室回到控制室开机开始质控校准操作，质控校准结束后，关闭设备，人员进入扫描室从 PET/CT 设备中取出校准源放回保险箱，其工作流程及产污环节见图 9.1-2。放射源的污染物为 γ 射线辐射，无放射性废水和废气产生，废放射源交由放射源生产单位回收。

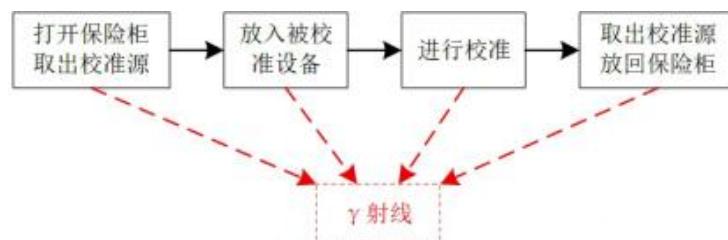


图 9.1-2 PET/CT 质控校准工艺流程及产物环节

9.1.4 人流、物流路径规划

（1）工作人员路线

工作人员主要分负责操作 PET/CT 设备的医技人员及负责药品分装、注射等操作的医护人员。如图 9.1-3 中绿色线路所示，医技人员从东南侧医护人员入口进入 PET/CT 操作间（控制室），因给待检人员摆位需要由控制室出入 PET/CT 机房，医护人员通过卫生通过间进入分装室进行分装、注射等工作，结束后通过卫生通过间出去。医护人员操作非密封放射性物质前，拟穿戴防护用品，工作结束经检测表面污染合格后，方能回到低活区，检测不合格时，应进入淋浴间清洗，直至检测表面污染合格。

（2）患者的进出路线

如图 9.1-3 中红色线路，患者从东南侧电梯间进入本项目工作场所，在南侧注射前候诊区等候，需要时进入问诊室，叫号后从南侧患者入口门禁进入病人通道，前往注射

区进行注射药品，药品注射后，患者根据医护人员指示进入注射后候诊室，等待相应时间后进入 PET/CT 扫描机房检查，检查完毕后无异常时通过检查后留观室，经患者出口离开本项目场所，经西南侧楼梯间离开核医学科；检查结果异常或紧急情况时，患者需在检查后留观室留观，无异常后经患者出口离开本项目场所，经西南侧楼梯间离开核医学科，前室防火门工作时间关闭，并在外侧醒目位置张贴“重点管理区域，无关人员禁止进入”。

（3）药品运送路线

如图 9.1-3 中蓝色线路所示，供药单位将药物从南侧工作人员专用电梯（消防电梯）至负一楼，经防火门进入，经患者入口、患者通道进入分装室，暂存于分装柜或储源室。特别要指出的是，药品的进入时间应控制在非开诊时段，如每天开诊前，确保路途中无人员逗留，避免对人员造成不必要的照射。

（4）放射性固体废物路线

如图 9.1-3 中黄色路线所示，放射性固体废物从分装室、注射/服药区、候诊室、留观室将放射性固体废物收集一定量后统一送到废物间储存进行衰变，待其所含放射性核素活度衰变至低于相应核素在 GB 18871-2002 清洁解控水平推荐限值及 HJ 1188-2021 第 7.2.3.1 款要求后，按一般医疗废物处理。

综上，空间上，工作人员与患者路线分开，不交叉；时间上，药品运送在每天开诊前，固体废物转移在下班前或无病人时，患者单独呼叫进入注射区、候诊室或扫描机房，避免患者之间的交叉。故本项目人流、物流路线设置合理。

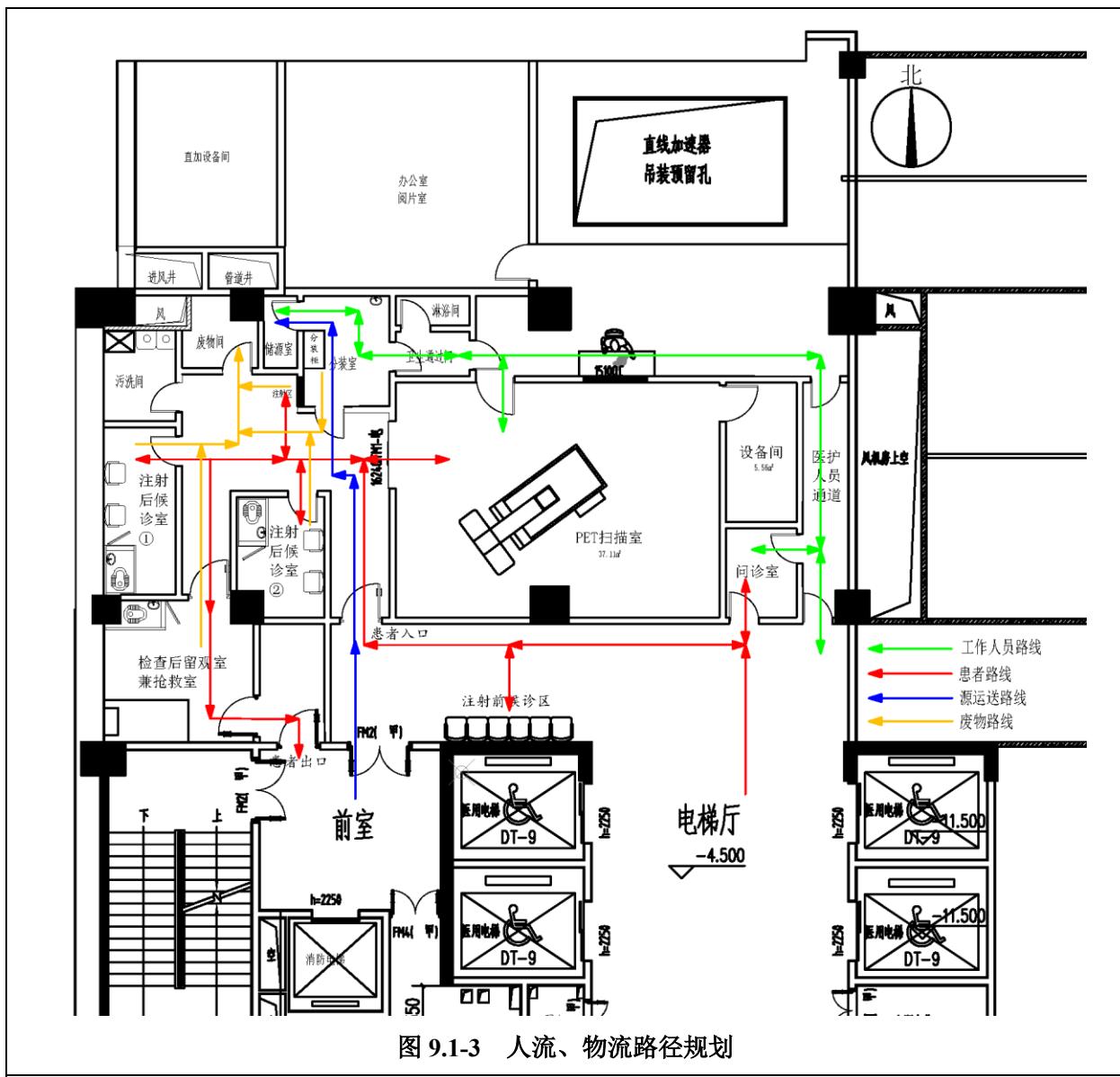


图 9.1-3 人流、物流路径规划

9.2 污染源项描述

9.2.1 辐射源项参数

(1) 非密封放射性核素

根据《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) 中附录 H 及附录 L, 本次新增非密封放射性核素性能参数如下:

表 9.2-1 本次新增非密封放射性核素性能参数

核素	毒性	形态	半衰期	衰变方式	最大粒子能量 (MeV)	γ 射线能量 (MeV)	周围剂量当量率常数 (裸源) ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	周围剂量当量率常数 (患者体内) ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
^{18}F	低毒	液态	109.8min	β^+	0.63(+)	0.511	0.143	0.092
^{68}Ga	低毒	液态	68.3min	β^+	1.9(+)	0.511	0.134	0.086

(2) 放射源

表 9.2-2 放射源及其性质

核素	类别	数量	衰变类型	射线种类与能量 (MeV)	半衰期	用途	存放地点
^{68}Ge	V类	2枚	EC	/	271d	PET 质控	门诊住院综合楼北楼负一楼储源室

9.2.2 污染源项分析

9.2.2.1 正常工况

1、污染因子

(1) γ 射线

用于显像诊断的核素在衰变过程中发射(产生)正电子,正电子与原子核周围的轨道电子(负电子)发生结合,同时释放两个能量相等方向相反的 γ 光子(0.511MeV),即 γ 射线。

用于PET/CT质控校准的 ^{68}Ge 放射源在质控校准过程中会产生 γ 射线。

(2) β 射线

^{18}F 与 ^{68}Ga 在衰变过程中释放出 β 射线, β 射线在空气及人体组织中射程均较短,较容易防护,不会对环境产生辐射污染。

(3) 表面污染

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

(4) X射线

本项目PET/CT设备配套使用的CT装置在开机并处于出线状态时会发出X射线,可能对机房周围环境产生X射线外照射影响。

2、放射性三废

(1) 放射性废气

放射性药物在分装、注射过程中因裸露会发生微量挥发,进而形成微量气态放射性物质。本项目工作场所拟设置良好的通风,工作场所的气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计,保持工作场所的负压和各区之间的压差,以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。分装柜设计单独的排风系统,并在密闭设备的顶壁安装活性炭过滤装置。放射性废气经高效活性炭过滤吸附装置过滤后,在高于屋顶处排放。

(2) 放射性废水

项目药品按需采购，原则上当天购买、当天用完，不存在废弃放射性液体。项目放射性废水主要为患者注射放射性药物后产生的排泄物及冲洗水等含有放射性核素的废水，工作人员完成放射性药物操作后清洗去污的废水。

本项目废水衰变池为推流式衰变池，医院规划¹⁸F核素显像诊断患者每天最多为20人，每年最多4800人，⁶⁸Ga核素显像诊断患者每天最多为4人，每年最多720人，合计为患者每天最多为24人，每年最多5520人，按每名患者每天因排泄等产生放射性废水约为8L/人，场所清洁用水每天100L，每天产生废水量最大为0.292m³，年工作时间按250个工作日计，每年废水量产生量为73m³。

（3）放射性固体废物

主要是放射性药物操作使用过程中沾染放射性药物的固体废物，包括一次性注射器、棉签、手套、更换下来的废活性炭等。

根据医院提供资料并且参照同类项目实际情况，医院门诊每人次每天预计产生一次性注射器、口罩、手套以及擦拭废物等0.05kg计，本项目新增病人数量为5520人/年（¹⁸F诊断患者4800人，⁶⁸Ge治疗患者720人），则核医学科放射性固体废物新增年产生量为276kg，每年更换下来的废活性炭约20kg。则放射性固体废物年产生量为296kg。

⁶⁸Ge质控校准源使用一定时限不再使用后，产生废放射源，交由生产厂家回收处置。

9.2.2.2 非正常工况

（1）由于管理不善，放射性药物、放射源被盗、丢失。

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

（3）注射时意外泄漏，造成台面、地面辐射污染。

（4）工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成额外附加照射剂量。

（5）放射性固体废物未达到解控水平或排放标准即进行处理。

（6）对注射放射性药物的患者/患者管理不善，使其脱离控制区，也可能导致周围人群（尤其是公众）受到异常照射。

（7）放射性药物泼洒造成的放射性污染。

（8）因过量给药导致的超剂量治疗异常情况。

（9）PET/CT可能出现的异常情况包括：因机器故障导致超剂量出束，可能使放射工作人员、患者或陪护人员受到超剂量的外照射；在射线装置检修或调试过程中操作失

误导致意外出束，可能使维修调试人员受到意外照射。

9.3 劳动定员及工作分配情况

本项目不新增辐射工作人员，本次项目投入使用后，将依托现有核医学科的辐射工作人员进行诊疗工作，年工作日250天。项目工作人员分配情况见表9.3-1。

表9.3-1 项目工作人员分配情况

序号	项目	操作工序	操作时间	人员配置
1	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga检查项目	药品测活、转移、分装	30s/人次	2名护士轮岗
		注射	30s/人次	
		机房内协助摆位	1min/人次	4名技师轮岗
		控制室内操作	20min/人次	
2	PET/CT质控	PET/CT校准	2min/次（每月1次）	

表 10 辐射安全与防护

10.1 辐射安全设施

10.1.1 工作场所布局

本项目工作场所位于医院门诊住院综合楼北楼负一楼，主要包括控制室、PET/CT 机房、医护人员通道、卫生通过间、淋浴间、分装室、储源室、污洗间、废物间、患者通道、注射后候诊室 1、注射后候诊室 2、检查后留观室兼抢救室、办公室、间诊室、设备间等。本项目工作场所平面图见图 10-1。

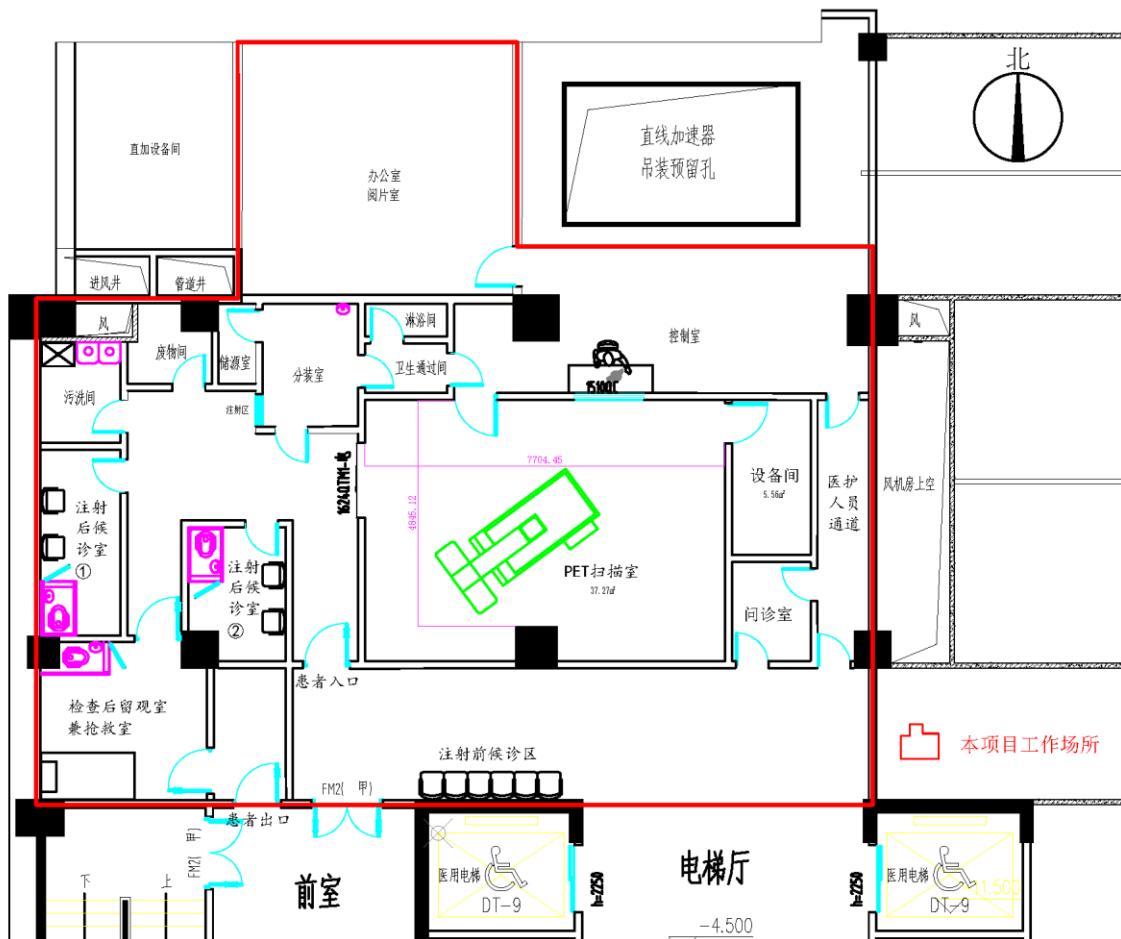


图 10-1 本项目工作场所平面图

本项目拟在核医学科负三层楼梯间新增废水衰变池，工作场所产生的放射性废水通过重力自流进入废水衰变池，经衰变满足排放标准后，排入医院污水处理系统。废水衰变池位置示意图见图 10-2。

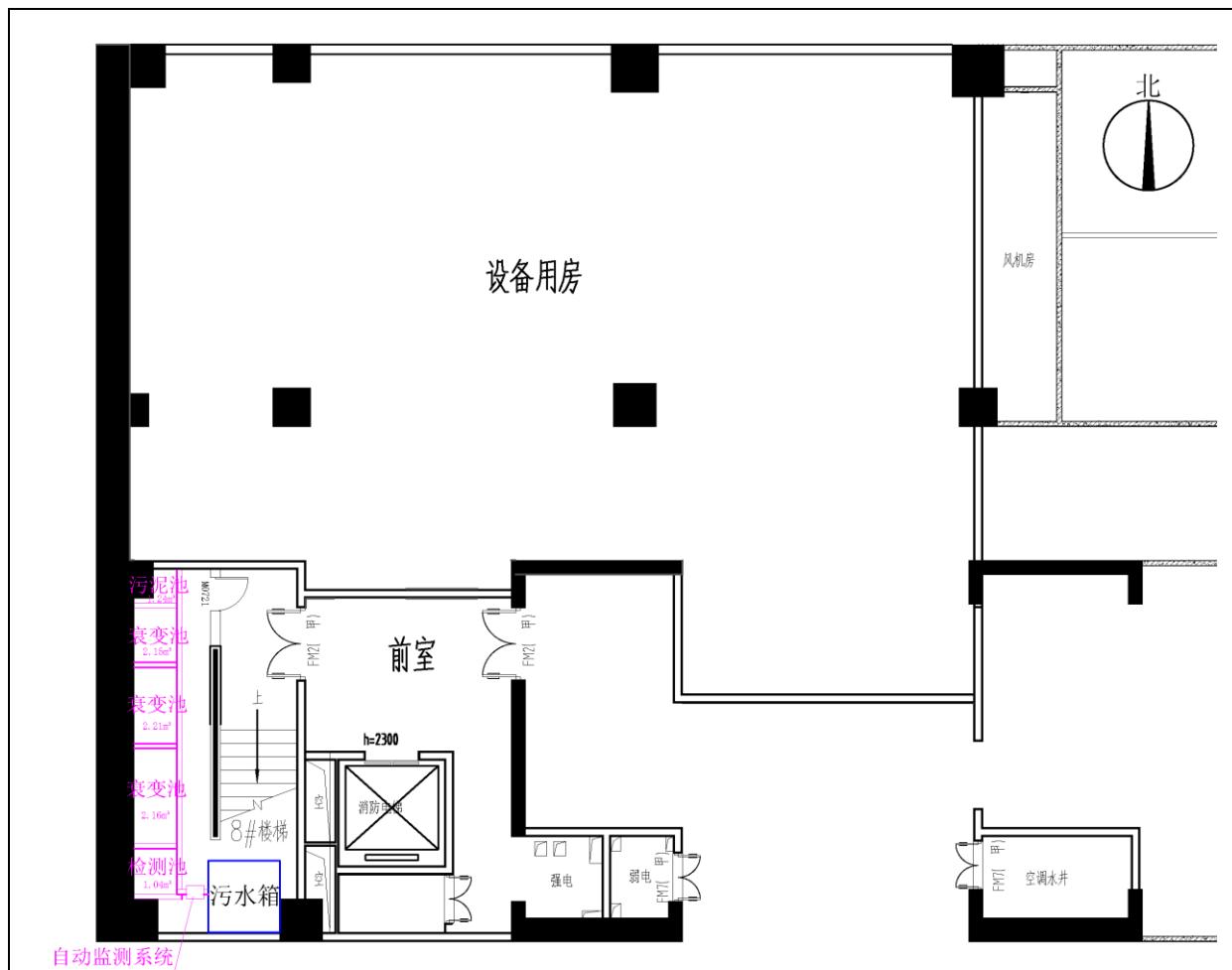


图 10-2 本项目新增废水衰变池位置示意图

本项目工作场所属于相对独立的场所，场所严格划分控制区，在控制区出入口设置门禁系统，场所设置实体墙隔离（包括地板、顶棚），避免了与相邻区域人员的交叉污染。医护人员从东侧医护人员通道进入控制室或问诊室，通过卫生通过间进入分装室进行分装、注射等工作，结束后通过卫生通过间出去。患者在注射前候诊区等候，需要测血糖时进入问诊室，叫号后从西侧患者入口门禁进入病人通道，前往注射区进行注射药品，药品注射后，患者进入注射后候诊室，等待相应时间后进入 PET/CT 扫描机房检查，检查完毕后无异常时通过检查后留观室离开核医学科；检查结果异常或紧急情况时，患者需在检查后留观室留观，无异常后离开核医学科。

在医护工作人员出入分装室前设置有卫生通过间，卫生通过间设置洗手、淋浴去污设施，并配备表污监测仪，每次工作结束经监测达标后方可离开，能避免工作人员把污染扩散到控制区外。候诊室、留观室均设有病人专用厕所，含放射性的排泄物及冲洗水排入放射性废水衰变池处理。污洗间用于辐射工作场所拖把的清洗，清洗废水也排入放

射性废水衰变池处理。

本项目辐射应用场所相对集中布置，控制区内储源、分装等高活功能房间集中布置，防止了交叉污染，减小了放射性药物、放射性废物的存放范围；设置有专门的留观/抢救室，并通过单向门禁和受控门禁限制给药后患者的活动空间；场所设置单向门禁、受控门，进入控制区前进行指导和提醒，通过语音叫号、路线指引、警告标识和视频监控等措施，能够有效控制无关人员随意进入控制区和给药后患者随意流动，避免公众、工作人员受到不必要的外照射；设置有卫生通过间，设有冲洗设施和表面污染监测设备，控制区内设有给药后患者的专用卫生间。通过时段管理，要求实现药物及废物转移时，路线上无人员逗留，以尽可能降低对周围人员的影响。

综上所述，本项目核医学科场所布局基本满足《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) 及《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 中关于工作场所布局的要求。

10.1.2 工作场所管理

1、工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 附录C提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法，及《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 附录A中给出的放射性核素的毒性与操作方式修正因子，可以计算出各核素的日等效最大操作量。日等效最大操作量的计算公式如下：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \quad (10-1)$$

根据(10-1)式计算得到的日等效操作量及分级结果见表10-1。根据表10-1可知，本项目工作场所应按照丙级非密封放射性物质工作场所进行管理。

表 10-1 本项目工作场所分级情况表

工作场所	核素名称	计划日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	核素情况	工作场所分级
门诊住院综合楼北楼负一楼	¹⁸ F	7.4E+9	低毒, 0.01	液态, 很简单操作, 10	7.4E+6	新增	8.14E+6 丙级
	⁶⁸ Ga	7.4E+8	低毒, 0.01	液态, 很简单操作, 10	7.4E+5	新增	

2、工作场所分区管理

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 的要求，辐射工作场所应分为控制区、监督区。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进

行监督和评价的区域。

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 4.3辐射工作场所分区要求, 本项目工作场所分区管理如下: 对于控制区, 医院拟采取一系列的辐射防护与安全措施, 设置防护门, 严格限制人员进入控制区, 保障在正常诊断、检查的工作过程中, 除患者外, 无关人员不得在该区内滞留, 同时拟在控制区的入口及其他适当位置处设立醒目的电离辐射警告标志, 以保障该区的辐射安全。对于监督区, 在所划定监督区内可不采取专门的防护安全措施, 但需要定期或不定期地监测其监督区内的辐射剂量水平, 为评价周围辐射环境是否安全提供依据。

(1) 控制区

分装室、储源室、卫生通过间、洗浴间、废物间、污洗间、注射后候诊室1、注射后候诊室2、检查后留观室兼抢救室、PET/CT扫描室、衰变池墙体屏蔽内等区域划为控制区(图10-3、图10-4中红色阴影区域)。

对于控制区, 医院拟采取一系列的辐射防护与安全措施, 设置防护门, 严格限制人员进入控制区, 保障在正常工作过程中, 除患者外, 无关人员不得在该区内滞留, 同时拟在控制区的入口及其他适当位置处设立醒目的电离辐射警告标志, 以保障该区的辐射安全。

(2) 监督区

控制室、医护通道、设备间、问诊室、注射前候诊区、办公室、直加设备间、南侧楼梯间等与控制区周围相邻区域、废水衰变池墙体屏蔽相邻楼梯间及周围1m范围区域划为监督区(图10-3、图10-4中黄色阴影区域)。

在所划定监督区内可不采取专门的防护安全措施, 但需要定期或不定期地监测其监督区内的辐射剂量水平, 为评价周围辐射环境是否安全提供依据。

综上, 本项目辐射工作场所管理分区能满足《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)及《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)中关于分区管理的要求。

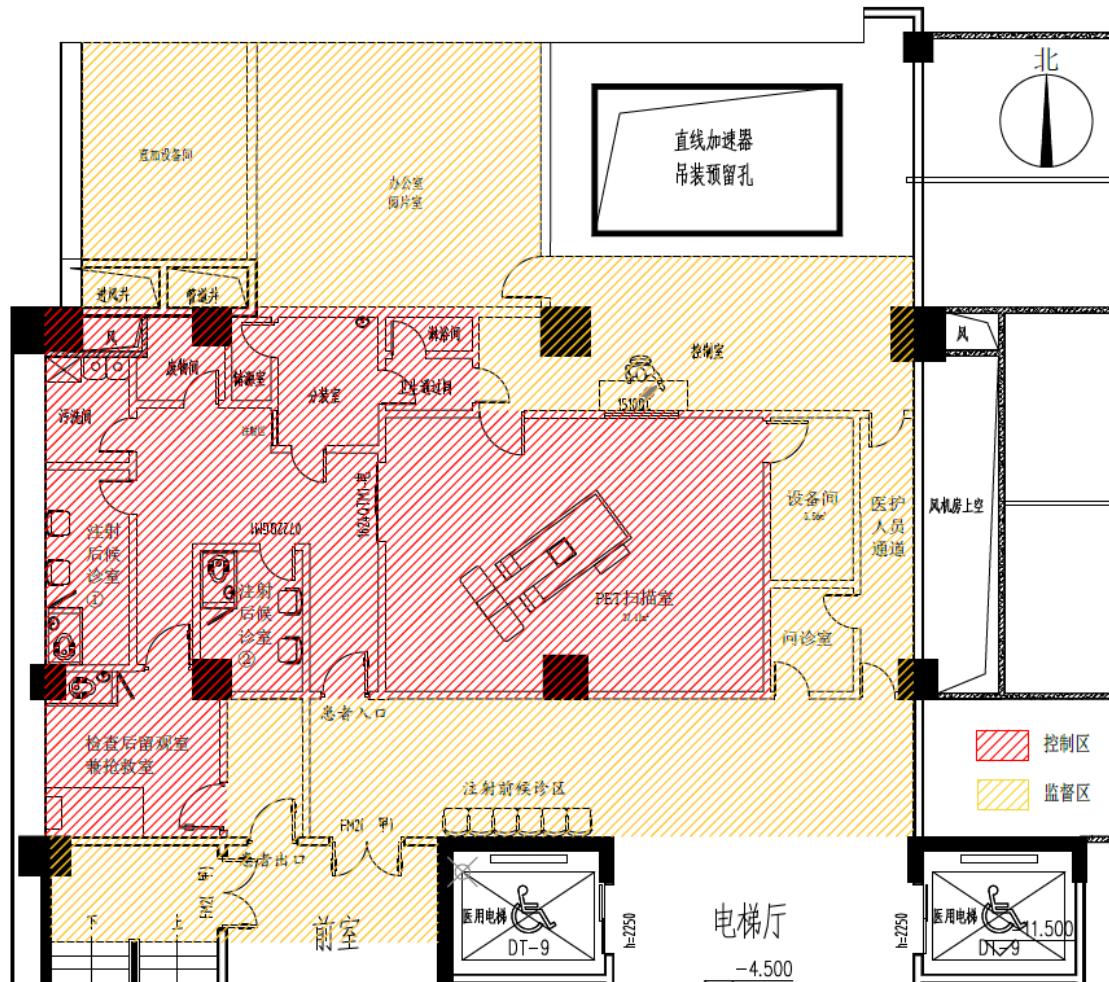


图10-3 本项目工作场所分区情况

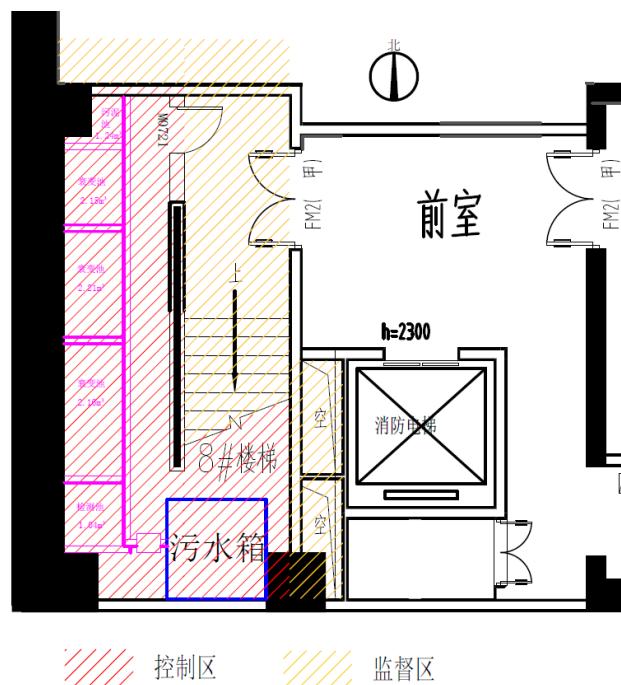


图10-4 本项目衰变池区域分区情况

10.1.3 辐射屏蔽设计

(1) 机房有效使用面积、最小单边长度

根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)的要求, 本项目CT机为X射线设备, 机房有效使用面积、最小单边长度与标准的符合情况见表10-2。

表10-2 机房有效使用面积、最小单边长度与标准的符合情况表

机房名称	设计有效使用面积	设计最小单边长度	标准要求有效使用面积	标准要求最小单边长度	符合性分析
PET/CT扫描室	37.26m ² (7.70m×4.84m)	4.84m	30m ²	4.5	符合标准 GBZ130-2020

(2) 分装柜、注射台

本项目新增分装柜, 柜体和观察窗屏蔽为55mmPb。注射台防护能力为整体35mmPb。

(3) 业务用房辐射屏蔽设计

本项目核医学科工作场所主要采用实心砖、混凝土、硫酸钡、铅板和铅玻璃等作为主要屏蔽材料。实心砖密度不低于1.65g/cm³, 混凝土密度不低于2.35g/cm³, 硫酸钡密度不低于3.2g/cm³; 防护门内衬铅板; 观察窗采用铅玻璃观察窗。

根据建设项目单位提供的资料, 本项目主要房间屏蔽参数见表10-3。

表 10-3 屏蔽参数一览表

机房名称	关注点	屏蔽防护设计方案	
		屏蔽体	设计方案
储源室	四周墙体外	四周墙体	240mm 实心砖
分装室	东侧卫生通过间、沐浴间	东墙	240mm 实心砖
	西侧储源室	西墙	240mm 实心砖
	南侧注射区	南墙	370mm 实心砖
	北侧办公室	北墙	370mm 实心砖
	上方	顶棚	120mm 混凝土
	下方	地板	120mm 混凝土
	患者通道防护门外	防护门	<u>5mmPb</u> 防护门
	注射位	注射台	<u>35mmPb</u> 铅板屏蔽
注射区	分装柜外表面 30cm 处	分装柜	<u>55mmPb</u> 铅板屏蔽
	上方	顶层	<u>120mm</u> 混凝土+ <u>60mm</u> 硫酸钡涂料
注射后 候诊室 1	下方	地板	<u>120mm</u> 混凝土+ <u>60mm</u> 硫酸钡涂料
	东侧患者通道	东墙	240mm 实心砖
	西侧 (实土)	西墙	维持原有 700mm 混凝土
	南侧检查后留观室	南墙	240mm 实心砖
	北侧污洗间	北墙	240mm 实心砖
	上方	顶棚	<u>120mm</u> 混凝土+ <u>60mm</u> 硫酸钡涂料

	下方	地板	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡涂料
	防护门外	防护门	6mmPb 防护门
注射后 候诊室 2	东侧患者通道	东墙	240mm 实心砖
	西侧患者通道	西墙	240mm 实心砖
	南侧注射前候诊区	南墙	370mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
	北侧患者通道	北墙	240mm 实心砖
	上方	顶棚	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡涂料
	下方	地板	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡涂料
	防护门外	防护门	6mmPb 防护门
PET/CT 机房	东侧车库	东墙	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料
	西侧患者通道	西墙	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料
	南侧通道	南墙	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料
	北侧控制室	北墙	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料
	上方	顶棚	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡涂料
	下方	地板	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡涂料
	入控制室防护门外	操作间防护门	6mmPb 防护门
	设备间防护门外	分装室防护门	6mmPb 防护门
	患者进入机房防护门外	患者进入机房 防护门	6mmPb 防护门
检查后 留观室 兼抢救 室	观察窗外	观察窗	6mmPb 观察窗
	东侧患者通道	东墙	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
	西侧 (实土)	西墙	维持原有 700mm 混凝土
	南侧楼梯间	南墙	240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料
	北侧注射后候诊室	北墙	240mm 实心砖
	上方	顶棚	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡涂料
	下方	地板	120mm 混凝土+60mm 硫酸钡涂料
	北侧防护门外	防护门	6mmPb 防护门
废水衰 变池	东侧防护门外	防护门	20mmPb 防护门
	废水衰变池	池体	30mmPb 钢结构夹铅板一体
	西侧 (实土)	西墙	维持原有 700mm 混凝土
	东侧楼梯间	东墙	240mm 实心砖
	北侧设备用房	北墙	240mm 实心砖
	南侧消防泵房	南墙	240mm 实心砖
	废水衰变池楼梯间防护门	防护门	6mmPb 防护门
	患者入口防护门		10mmPb 防护门
	卫生通过间防护门		3mmPb 防护门
	污洗间、废物间和储源室防护门		3mmPb 防护门

注: (1)上表中所列的屏蔽材料密度应不低于如下要求: 砖密度 $\geq 1.65\text{g/cm}^3$, 混凝土密度 $\geq 2.35\text{g/cm}^3$, 铅密度 $\geq 11.35\text{g/cm}^3$, 硫酸钡涂料密度 $\geq 3.2\text{g/cm}^3$ 。

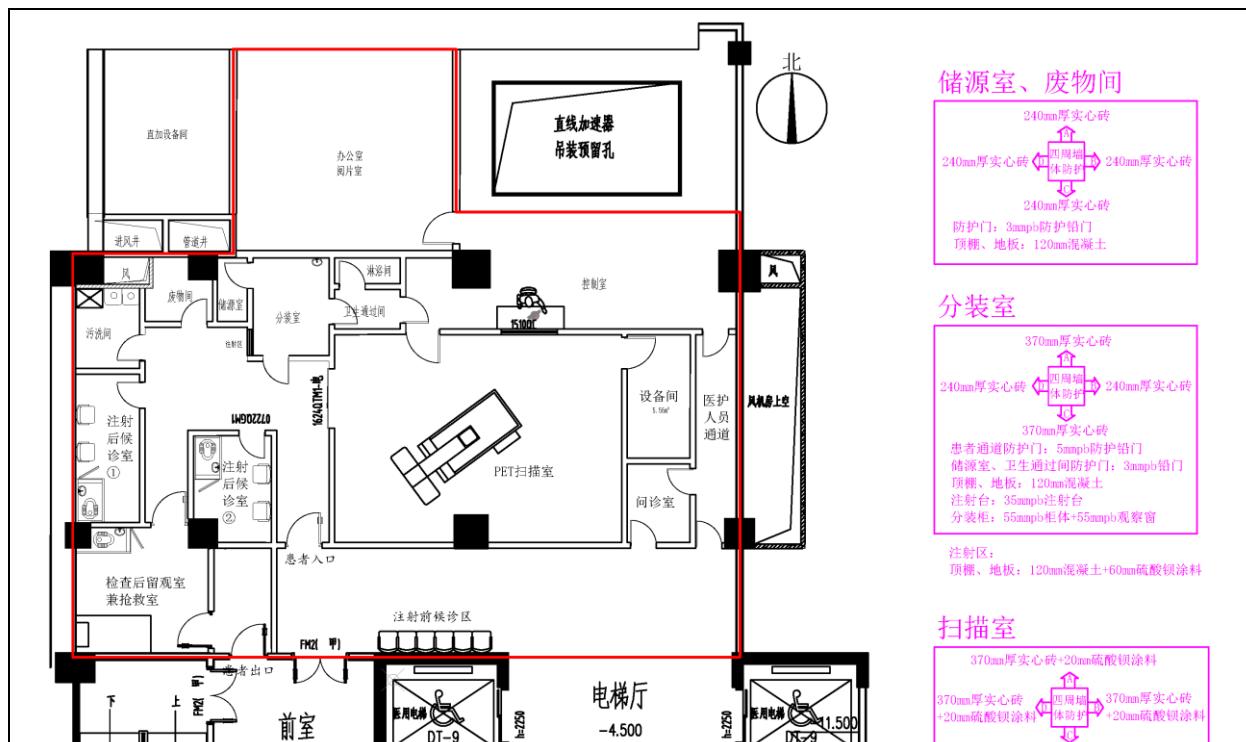


图10-5 主要房间屏蔽参数示意图

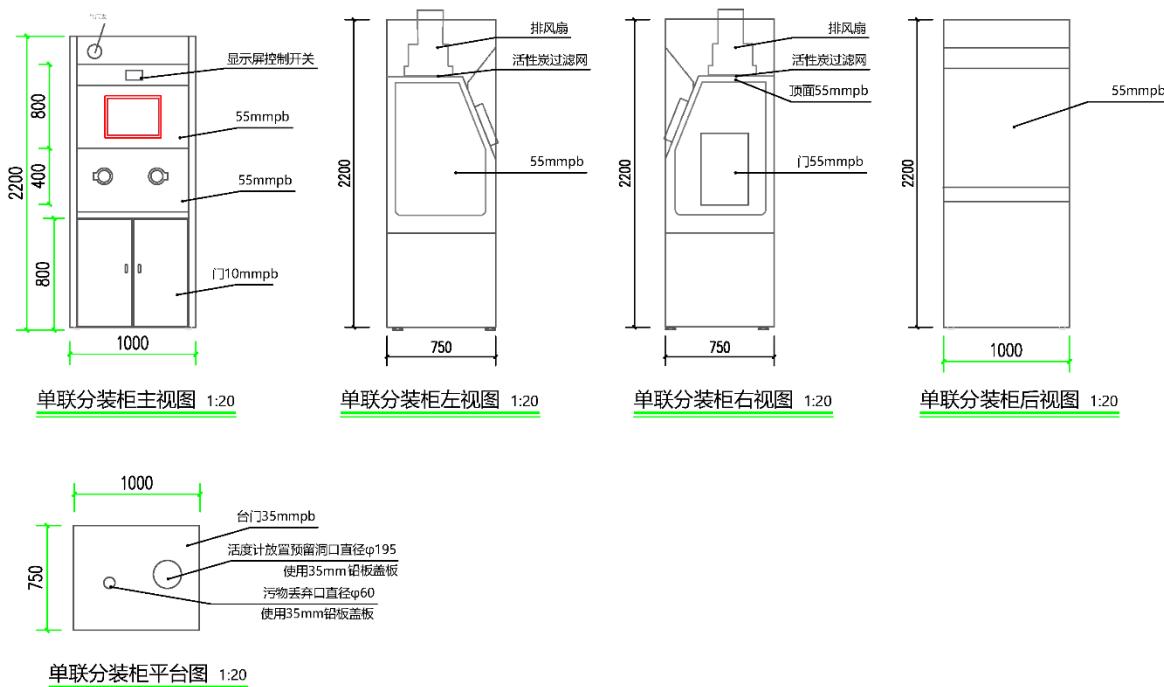


图10-6 分装柜屏蔽设计图

(3) 防护设备和个人防护用品

核医学科现有个人防护用品和防护设备见表10-4。

表10-4 本项目个人防护用品和防护设备一览表

防护用品名称	规格	数量
铅衣	0.5mmPb	4件
铅围裙	0.5mmPb	2件
铅帽	0.5mmPb	2顶
铅围脖	0.5mmPb	2件
铅眼镜	0.5mmPb	4副
铅屏风	2mmPb	1件
药物转运铅罐等贮存和转运容器	50mmPb	随购买药品配置
铅废物桶	10mmPb	6个
注射器铅防护套	10mmPb	3个
表面污染监测仪	/	拟购1台
活度计	/	拟购2台
X-γ辐射剂量率仪	/	拟购1台
个人剂量报警仪	/	拟购1台

注：1、药物转运铅罐容器，由药品供应厂商随购买药品配置，同时回收使用后的铅罐。
2、拟购设备应与项目同步投运。

根据表10-4可知，拟配备防护设备可以满足本项目放射性药品的需要。

10.1.4 辐射防护措施符合性分析

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 的要求，本项目工作场所辐射防护措施符合性分析见表10-5。

表 10-5 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 符合性分析表

序号	《核医学辐射防护与安全要求》 (HJ1188-2021)	本项目情况	是否符合要求
1	核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。	本项目位于医院门诊住院综合楼北楼负一楼，该层主要为核医学科业务用房，为独立、专用区域；不毗邻产科、儿科、食堂等部门。	符合
2	放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人	本项目使用的药物一般按需采购，到货后暂存于分装柜内并及时使用，如遇特殊情况未能及时使用的，暂存于储源室内；本项目 ^{68}Ge 质控校准源贮存在储源	符合

	员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。	室的保险箱内，贮存场所均位于控制区内，采取了屏蔽措施。安排专人管理，建立放射性物质台账，及时登记，确保账物相符。定期对贮存场所进行辐射水平监测并记录，贮存场所设置门锁及警告标志、警示语句，无关人员不会进入。		
3	核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。	核医学科放射性核素操作设备的表面、工作台台面等均采用平整光滑设计，室内地面与墙壁衔接处铺设防渗透塑胶，能够保证地面与墙壁衔接处无缝隙，易于清洗、去污。	符合	
4	操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。	本项目的放射性药物在均分装柜内操作，分装柜具备通风和防护功能，只开2个供手伸入操作的窗口，设计有排风系统，操作过程始终处于负压状态，功能类似手套箱，且辐射防护效果更好；项目为药物操作人员配备有个人防护用品。设置有注射后候诊室、检查后留观室等功能用房，以减少对其他患者和医护人员的照射。	符合	
5	操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。	放射性药物操作均在分装室进行，工作人员出入分装室需经过卫生通过间，配备洗涤去污设施和表面污染检测仪器，药物操作人员和物品离开控制区前进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，将进行清洗去污直至表面污染水平满足控制标准要求。	符合	
6	应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。	本项目配备有药物转运铅盒等贮存和转运容器，表面张贴规范的电离辐射标志，在转运时采取药箱盛装等固定措施，防止药物翻倒和跌落。	符合	
7	核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。	本项目核医学科通风进行了专门的设计通过管线设计及压差控制，能够保证工作场所的气流自清洁区向监督区再向控制区的方向流动，并保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。	符合	
8	放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。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	本项目放射性物质测活、取药操作均在分装柜等密闭设备中进行，分装柜均设置了独立的排风系统，保证柜内负压，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出，并在设备顶壁安装活性炭过滤装置。本项目分装柜及工作场所排风系	符合	

	设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。通风橱应有足够的通风能力。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。	统排气口高于所在建筑屋顶，排放口远离邻近的高层建筑。		
--	--	----------------------------	--	--

本项目核医学科工作场所辐射防护措施与《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)的符合性分析见表10-6。

表 10-6 《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) 符合性分析表

序号	核医学放射防护要求	项目拟采取的安全防护措施和设施	符合情况
1	在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射。	本项目在控制区的入口和出口均设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射。	符合
2	通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源(放射性药物、放射性废物、给药后患者或受检者)的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理；便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。	在上班之前药物运送至分装室暂存于分装柜，废物运送在下班之后，放射性药物、废物运送通道较便于药物运送和处理，通过空间管控避免放射性物料和人员的交叉；给药前患者、给药后患者、工作人员通道各自独立；通过相对独立的路线以及时间管控，能够做到患者、医护、药物运送、废物运送的不交叉。同时控制区内设卫生通过间，方便开展放射性污染的清理、清洗。	符合
3	核医学工作场所通风系统独立设置，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厨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。	核医学科设有独立的通风系统，排风设计遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计；保持场所的负压并设有止回阀，防止气体交叉污染；分装柜设有专用的排风装置，风速设计不小于0.5m/s；排放口高于本建筑屋顶，并安装有活性炭过滤装置，废气经处理后排放。	符合
4	放射性废液衰变池，暴露的污水管道应做好防护设计。	本项目设计有放射性废水衰变池，采用钢结构夹铅板一体设计，防护能力30mmPb，容积能满足废水达标排放要求，同时加强运行期间监测，一旦发现管道路径辐射剂量率异常，则及时采取	符合

		措施。	
5	控制区的入口应设置电离辐射警告标志；核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示；扫描室外防护门上方应设置工作状态指示灯。	本项目控制区的入口设置电离辐射警告标志；工作场所中相应位置有明确的患者导向标识、导向提示；PET/CT扫描机房外防护门上方设置有工作状态指示灯。	符合
6	给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。应为放射性物质内部运输配备有足够的屏蔽的储存、转运等容器；容器表面应设置电离辐射标志。	给药后 PET/CT 扫描室配备监视设施和对讲装置，项目配备满足需求的储存、转运等屏蔽容器。容器表面设置有电离辐射标志。	符合
7	操作放射性药物应有专门场所，如临床诊疗需要在非专门场所给药时则需采取适当的防护措施。放射性药物使用前应适当屏蔽。装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。	项目建设有分装操作放射性药物的专门场所；放射性药物使用前暂存于分装柜等带屏蔽的柜体中。装有放射性药物的给药注射器，有适当屏蔽。	符合

根据上述对照分析结果可知，本项目工作场所采取的辐射安全与防护措施基本符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）相关要求。

10.1.5 辐射安全管理措施

1、门禁系统：拟在患者入口、出口等设置了单向门禁系统。根据患者单向流动不回流的走向考虑，入门后不可返回。设置门禁出门按钮，设置门禁读卡器。在分装室防护门设置门锁权限。

2、视频监控系统：医院在分装室、控制室、PET/CT机房内、病人通道出口处等安装有监控装置，能让医护人员全方位的监控到实时动态。

3、语音对讲系统：在注射后候诊室内、PET/CT扫描室内和控制室等适当位置设置语音对讲系统。

4、工作状态指示灯、警告标志：在PET/CT扫描室患者进入防护门上方设置有工作状态指示灯；在控制区出入口、控制区内各防护门上方均设置电离辐射警告标志。

受检人员按照排号顺序，通过接诊叫号，根据科室的语音提示，按秩序进入相应工作场所，未叫号的受检人员不能进入场所控制区，避免产生交叉污染。

通过以上登记及管理接诊的方式，可以严密控制受检人员接诊的秩序，降低注射药品后的患者之间的影响，同时接诊的工作人员可以控制公众不靠近控制区入口，降低公众的居留时间。工作场所内地面或墙体上张贴检查路径标识，指示受检人员进入相应区域。

10.2 三废的治理

(1) 放射性废气

本项目用于放射性药物分装的分装柜设置单独的排风管道引至该栋楼楼顶，经过活性炭吸附装置过滤后高空排放，拟配风机风速不小于0.5m/s。

在控制区各业务用房均设置通风设施，排风量大于进风量，保持这些控制区的负压，空气流向为低活区向高活区流动，最后从屋顶排出，排风口高于建筑楼屋顶，并拟设置活性炭过滤装置。项目工作场所排风示意图如图10-7。

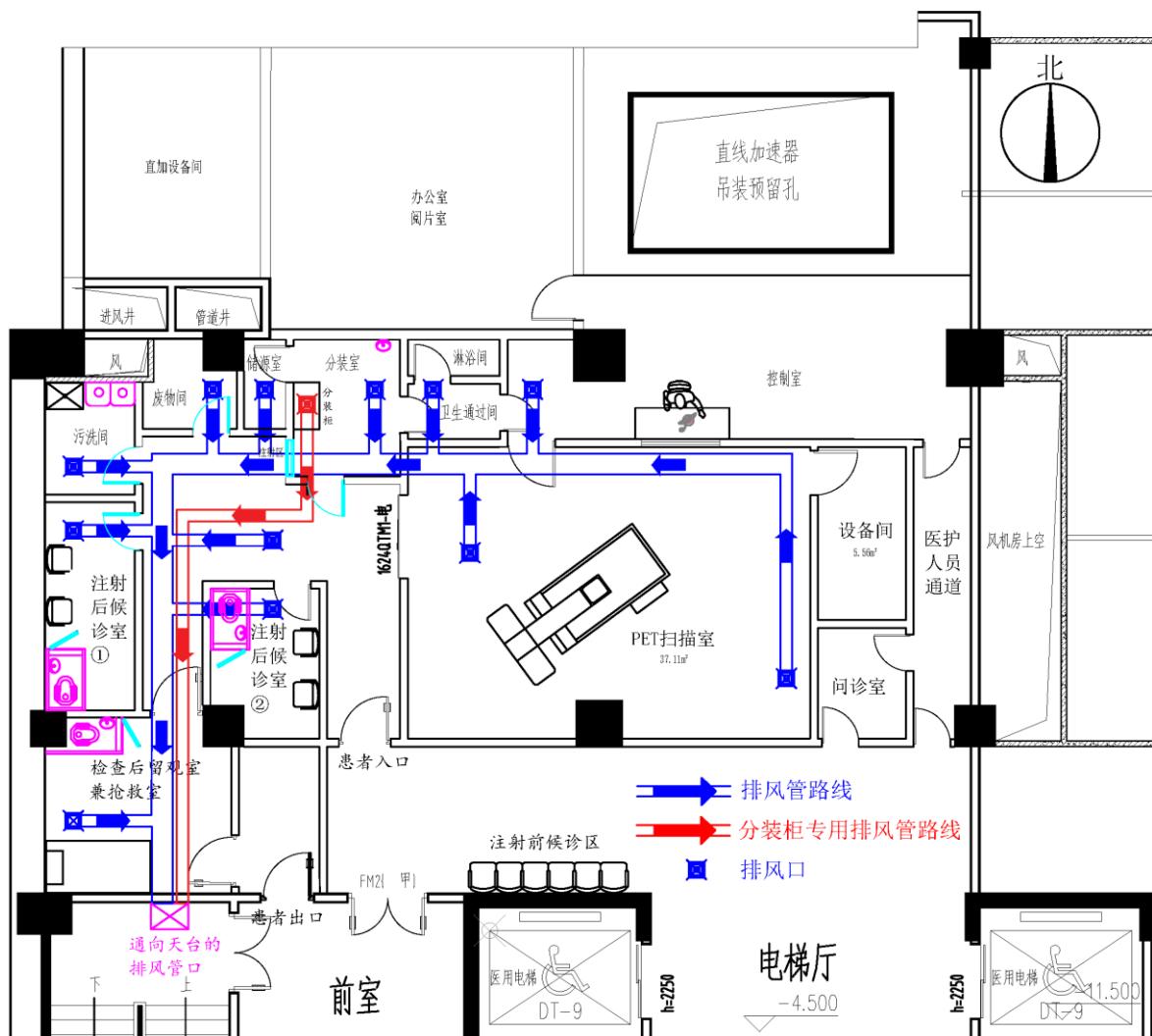


图10-7 本项目工作场所排风示意图

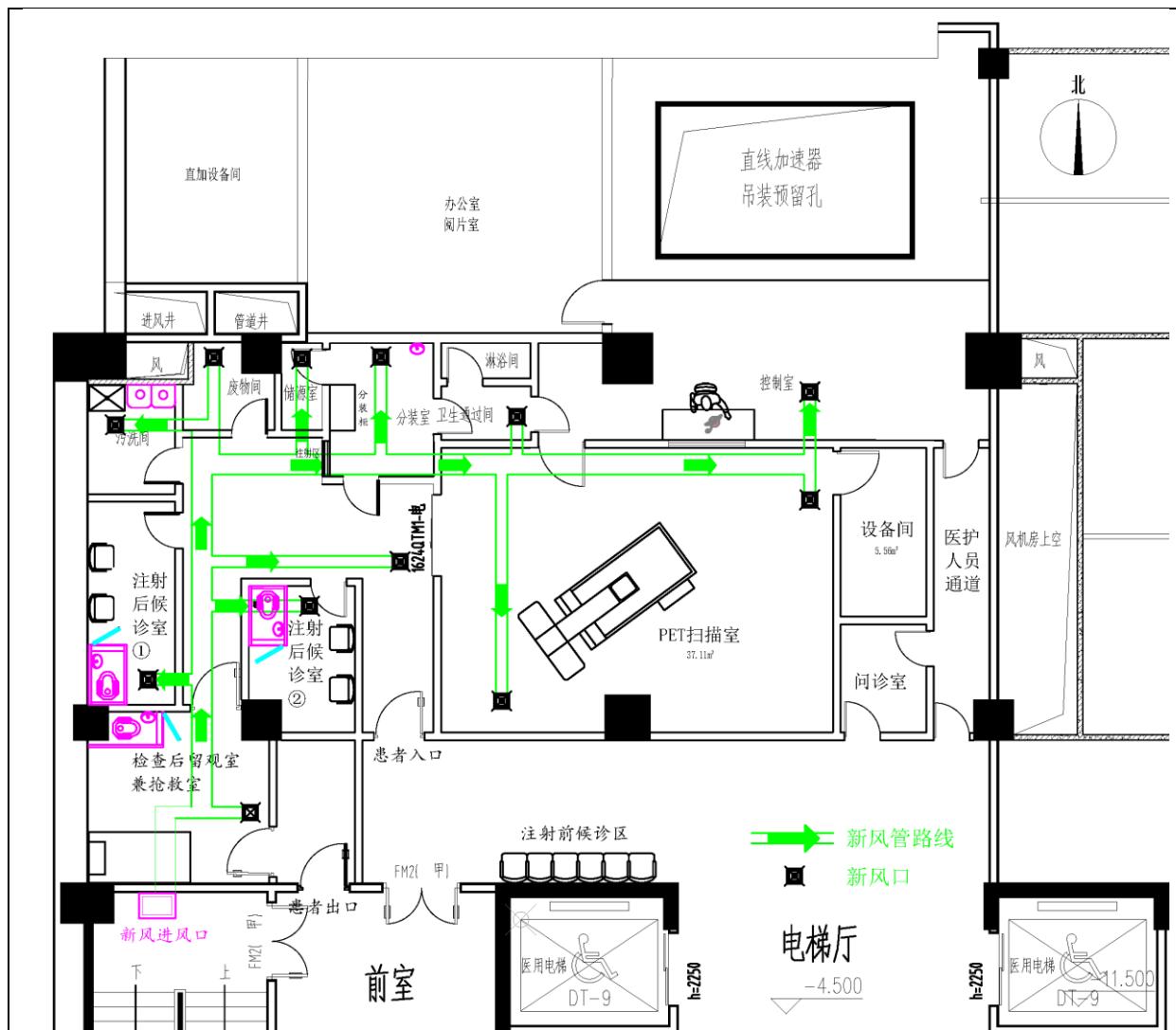


图10-8 本项目工作场所新风示意图

（2）放射性废水

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)中第7.3.2.3款：“核医学诊断和门诊碘-131治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为3-5级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。”本项目为诊断场所，废水衰变池为推流式。设置有污泥池和检测池，衰变池本体为3级分隔连续式衰变池，满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)中第7.3.2.3款的要求。

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)中第7.3.3.2款：“对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于24小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足GB 18871附录A表A1的要求。”本

项目废水衰变池为推流式衰变池，医院规划¹⁸F核素显像诊断患者每天最多为20人，每年最多4800人，⁶⁸Ga核素显像诊断患者每天最多为4人，每年最多720人，合计为患者每天最多为24人，每年最多5520人，按每名患者每天因排泄等产生放射性废水约为8L/人，场所清洁用水每天100L，每天产生废水量最大为0.292m³，年工作时间按250个工作日计，每年废水量产生量为73m³。

本项目废水衰变池总容积为8.8m³， $8.8 \div 0.292=30.14$ ，可容纳约30天的废水量，本项目使用核素为¹⁸F、⁶⁸Ga，其中半衰期最长的核素为¹⁸F，半衰期为109.8min，废水衰变池可容纳废水量时间相当于约390个半衰期。

医院拟制定相应的监测计划，每年定期委托有资质机构开展放射性废水监测，确保最长半衰期核素的放射性活度浓度满足GB 18871附录A表A1的要求。

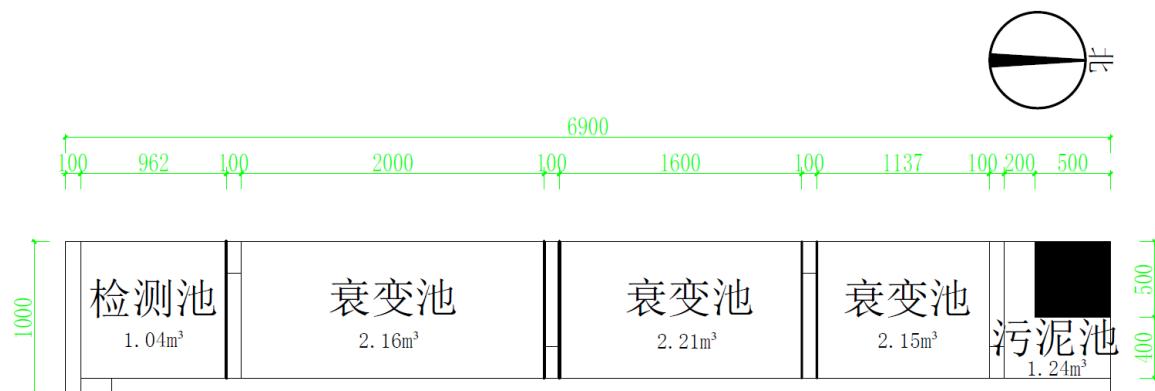


图10-9 废水衰变池平面布局图

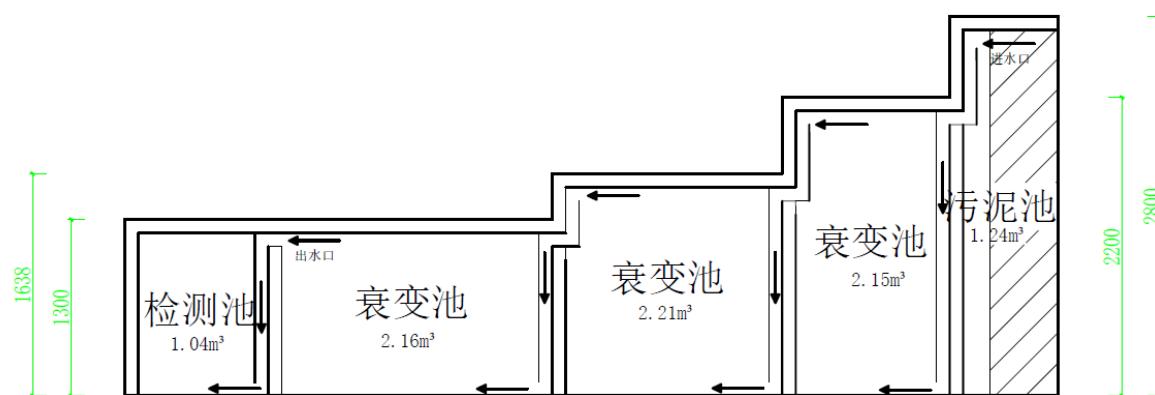


图10-10 废水衰变池剖面示意图

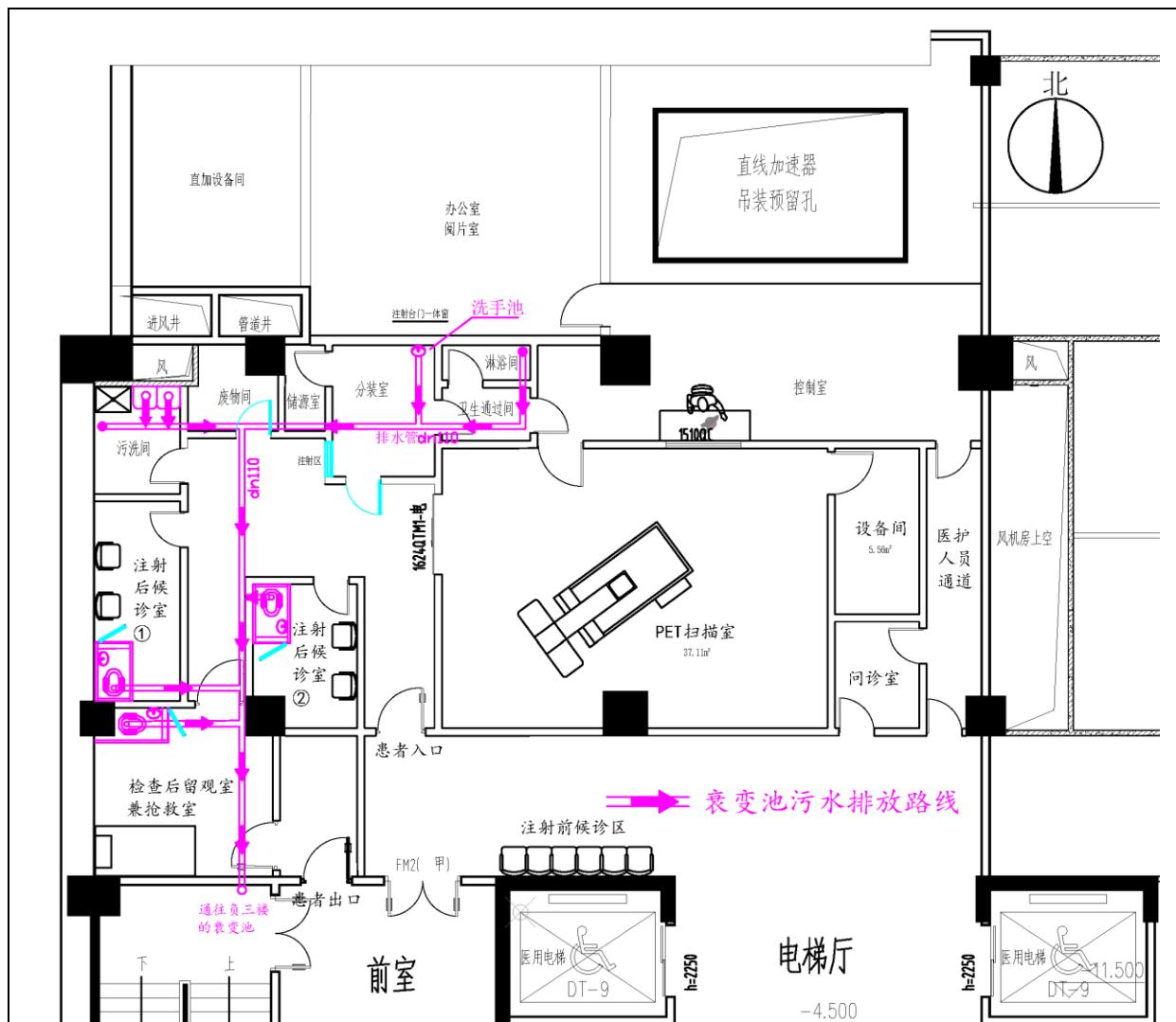


图10-11 放射性废水收集管线示意图

(3) 放射性固体废物

放射性固体废物主要包括一次性注射器、吸水纸、棉签、操作用的手套、废活性炭等物品。固体废物先收集在各自相关工作场所的专用收集箱内，再将收集箱内的固体废物连同垃圾袋分期存放到废物间内存放。废气排放口更换下的废活性炭也属于放射性固体废物，更换下的活性炭将存放于衰变箱中，标注活性炭存放日期、存放量等，满足清洁解控水平后作为医疗废物处理。

放射性固体废物收集于铅废物桶内专用塑料包装袋，包装袋显著位置要标明废物类型、收贮时间、核素种类及数量等内容。每袋废物的表面剂量率控制在0.1mSv/h以下，重量不超过20kg。装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于废物间的衰变箱中，衰变箱采用10mmPb进行屏蔽防护。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，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。经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于0.08Bq/cm²， β 表面污染小于0.8Bq/cm²，可对废物清洁解控并作为医疗废物（活性炭作为危险废物）进行处理。

本项目建成后，医院应根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求，安排专人负责固体放射性废物的存储和处理，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。

本项目放射性废物管理与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的符合性分析见表10-7。

表10-7 放射性废物管理与HJ 1188-2021的符合性分析表

序号	HJ 1188-2021 的要求	医院拟采取的措施	符合性
1	7.1.1 应根据核医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理。	本项目在相应控制区内建有给药后病人专用卫生间，排泄物排入相应废水衰变池系统暂存衰变；本项目产生的放射性废物将分类收集、分别处理。	符合
2	7.1.2 应按照废物最小化的原则区分放射性废物与解控废物，不能混同处理，应尽量控制和减少放射性废物产生量。	工作场所配置有放射性废物收集箱，用于收集沾有放射性物质的废物，非放射性废物不得放入。	符合
3	7.1.3 核医学实践中产生的短寿命放射性废物，应尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。	本项目使用的核素短寿命放射性核素，设置有专门贮存衰变的废物间，集中收集后贮存衰变至放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。	符合
4	7.1.4 应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。	项目建有相关制度，已建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。	符合
5	7.2.2.2 放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。	本项目放射性废物暂存间（废物间）建有通风换气装置，入口处拟设置电离辐射警告标志，有防火、防丢失、防射线泄漏等措施。	符合
6	7.2.2.3 废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。	废物暂存间（废物间）内设置有专用容器盛放固体放射性废物袋，不同类别废物分开存放；容器表面注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。	符合

7	7.2.3.3 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。	医院已安排专人负责固体放射性废物的存储和处理，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。	符合
8	7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。	本项目设置推流式废水衰变池系统，收集注射后候诊室卫生间、卫生通过间、污洗间等场所产生的放射性废水和事故应急时清洗产生的放射性废水。	符合
9	7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。	本项目废水衰变池系统容积为 8.8m ³ ，其容积应可以满足日常核医学诊疗及研究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。	符合
10	7.3.2.3 核医学诊断和门诊碘-131 治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固体物，推流至衰变池，衰变池本体分为 3-5 级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。	本项目属于核医学诊断场所，衰变池为推流式衰变池，并配有污泥池，并有采取措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固体物，推流至衰变池，衰变池本体分为 3 级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。	符合
11	7.3.3.2 对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB18871 附录 A 表 A1 的要求。	本项目为推流式衰变池贮存方式，医院已制定监测计划，每年对衰变池中的放射性进行监测，确保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。	符合
12	7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。 7.4.2 应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。	本项目涉及放射性药物均在分装室分装柜内操作，整个分装、注射均在密封状态下进行，产生气态放射性废物的可能性不大。医院从偏安全考虑，设置有通风橱及独立的排风管道，并设置活性炭为过滤装置，排风口高于项目所在楼屋顶。拟定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。	符合

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目辐射工作场所系在现有建筑中改造，需要完成拆墙及新搭建墙体，以及对部分墙体、地板、天花板及通风系统的改造、新增废水衰变池等。本项目在建设施工过程中会对环境会产生如下影响：

（1）施工期大气环境影响分析

本项目在建设施工期需进行的拆除墙体、挖掘、混凝土浇筑作业、新砌墙体等，施工将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：a.及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；b.车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；c.施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

（2）施工期废水环境影响分析

施工期间，有一定量的建筑装修废水产生，待施工期结束后，建筑废水对环境的影响会随着施工期结束而随之消除；项目施工期施工人员生活污水产生量较小，进入建设单位污水处理系统处理后进入城市污水管网，施工期废水对外环境影响较小。

（3）施工期噪声环境影响分析

施工期的噪声污染源主要为施工车辆、电钻等设备产生，声源强度在 65~95dB(A)，经过已有房间屏蔽后，对周围厂界噪声影响将减小很多，但仍会造成一定影响。为尽量减少影响，项目将加强管理，且在施工时严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的标准规定，将噪声降低到最低水平；禁止夜间施工。影响将随着施工期结束消除。

（4）施工期固体废物影响分析

施工期的固体废物主要是建筑垃圾和生活垃圾。建设单位拟在施工场地出入口设置临时垃圾桶，生活垃圾经统一收集后由环卫部门统一清运处理，并做好清运工作中的装载工作，防止垃圾在运输途中散落。建筑材料可回收利用部分重新利用后剩余的建筑垃圾集中收集，由建设单位外运至市政部门指定的垃圾堆放场。故项目施工期间产生的固废对周边环境产生影响较小。

本项目放射性药物未运抵之前，均不会对周围环境产生辐射影响。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 辐射影响分析

本项目使用放射性核素¹⁸F、⁶⁸Ga进行显像诊断。

辐射工作人员在分装室内进行相关放射性药物的操作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。

11.2.1.1 剂量率估算相关公式及参数

1、 γ 射线屏蔽计算方法

保守起见，本项目工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。

参照GBZ120-2020的式(I.1)，按以下公式计算：

$$H_R = A \cdot \Gamma \cdot r^{-2} \cdot 10^{-(x/TVL)} \quad (11-1)$$

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

A —药物的放射性活度， MBq ；

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

r —关注点到辐射源的距离， m ；

x —拟采用的屏蔽厚度， mm ；

TVL — γ 射线在相应屏蔽材料中的什值层厚度， mm 。

2、相关参数

(1) 放射性药物活度

经与建设单位核实，单个受检者的¹⁸F用药量为370MBq(10mCi)，日最大诊疗人数为20人，故分装柜按7400MBq(200mCi)的药量去估算其屏蔽厚度；单个受检者的⁶⁸Ga用药量为185MBq(5mCi)，日最大诊疗人数为4人，⁶⁸Ga的半衰期为68.3min。分装柜内不同时存放两种药品，分装室、患者通道、PET/CT机房、患者进出口防护门按单个受检者的¹⁸F用药量估算其屏蔽厚度，注射后候诊室、检查后留观室按最多同时容留2名¹⁸F患者进行计算。患者注射后候诊时间约为30min，扫描时间约为20min，留观时间约为30min，约10%患者需留观。

(2) TVL (什值层)

表11-1 各屏蔽材料TVL（什值层）厚度

屏蔽材料	TVL（什值层）厚度（mm）	
	¹⁸ F	⁶⁸ Ga
铅	16.6	16.6
混凝土（水泥）	176	176
实心砖	263	263
硫酸钡涂料	100	100

（3）周围剂量当量率常数

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中附录H和附录L，周围剂量当量率常数取值见表11-2。

表11-2 周围剂量当量率常数取值

状态	1m处周围剂量当量率常数（ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ）	
	¹⁸ F	⁶⁸ Ga
裸源	0.143	0.134
患者体内	0.092	0.086

（4）放射性核素

本项目使用放射性核素¹⁸F、⁶⁸Ga进行显像诊断，¹⁸F单个受检者的用药量为10mCi，日最大诊疗人数为20人，半衰期为109.8min；⁶⁸Ga单个受检者的用药量为5mCi，日最大诊疗人数为4人，半衰期为68.3min；核素¹⁸F裸源及患者体内周围剂量当量率常数均大于核素⁶⁸Ga，偏安全考虑，分装柜按¹⁸F日最大操作量进行估算，工作场所及周围剂量率、年有效剂量按日最大诊疗的24名患者全部为¹⁸F患者进行计算，距源1m处周围剂量当量率常数 Γ 值为 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ （裸源）、 $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ （患者体内）。

（5）CT机的屏蔽

参照NCRP Report No.147可知，CT正常运行时其主射线绝大部分均被待检人体及探测器吸收，主要源项为散射线及漏射线，且远小于给药后病人身体输出的剂量率，因此PET/CT机房的屏蔽设计主要按内有1个¹⁸F(10mCi)的病人进行屏蔽计算。

（6）废水衰变池的屏蔽

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“6.1.7 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面30cm处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ”的要求。

3、关注点

（1）计算时四周屏蔽墙、防护门关注点位置在墙（门）外0.3m处，源高度为离地

面1.0m，屋顶关注点位置在楼板地面上方0.3m处，楼下为地面上方1.7m处，负一层及楼下负二层楼层高度为4.5m，源点距楼上距离为3.8m，距楼下距离为3.8m。 ^{18}F 半衰期较短，废水衰变池周围仅考虑污泥池、第一级衰变池周围关注点。

(2) 分装柜、注射台为固定点，其与关注点距离为固定距离；注射药物后的受检人员在注射后候诊室、检查后留观室、PET/CT机房等房间内是能活动的，按房间内病床（或椅子）、机房内扫描床（患者滞留时间最长）处作为源点；内部走廊正常情况下是无人员逗留的，进出口防护门按关注点距源点2m进行估算。

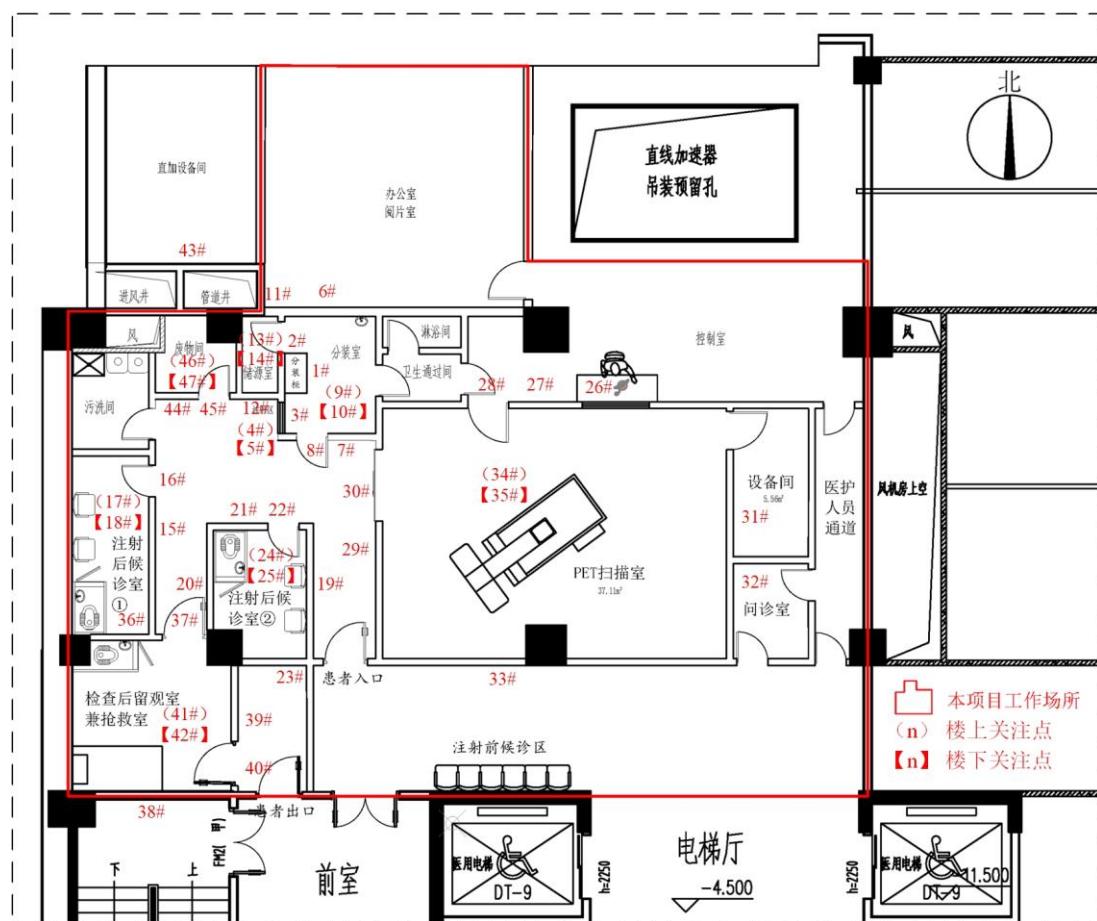


图11-1 周围关注点示意图

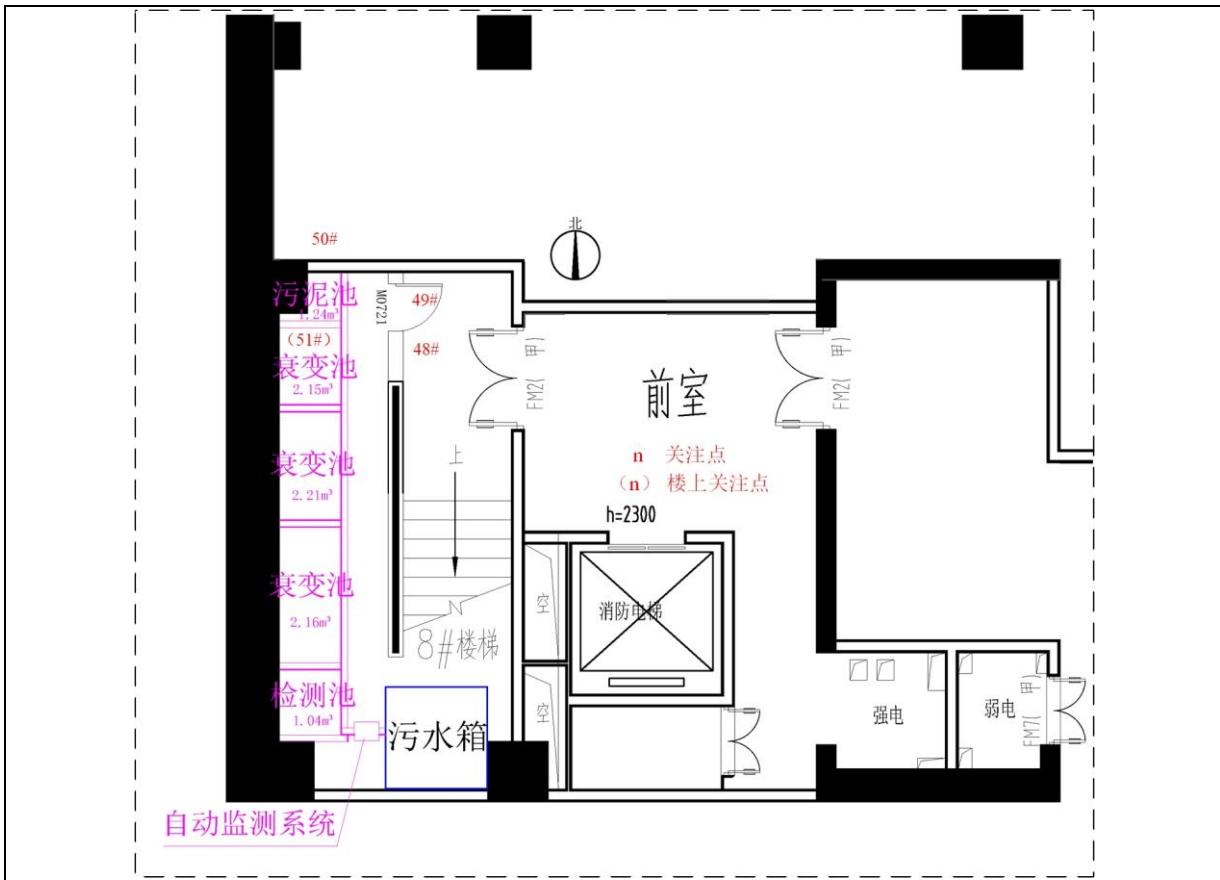


图11-2 废水衰变池周围关注点示意图

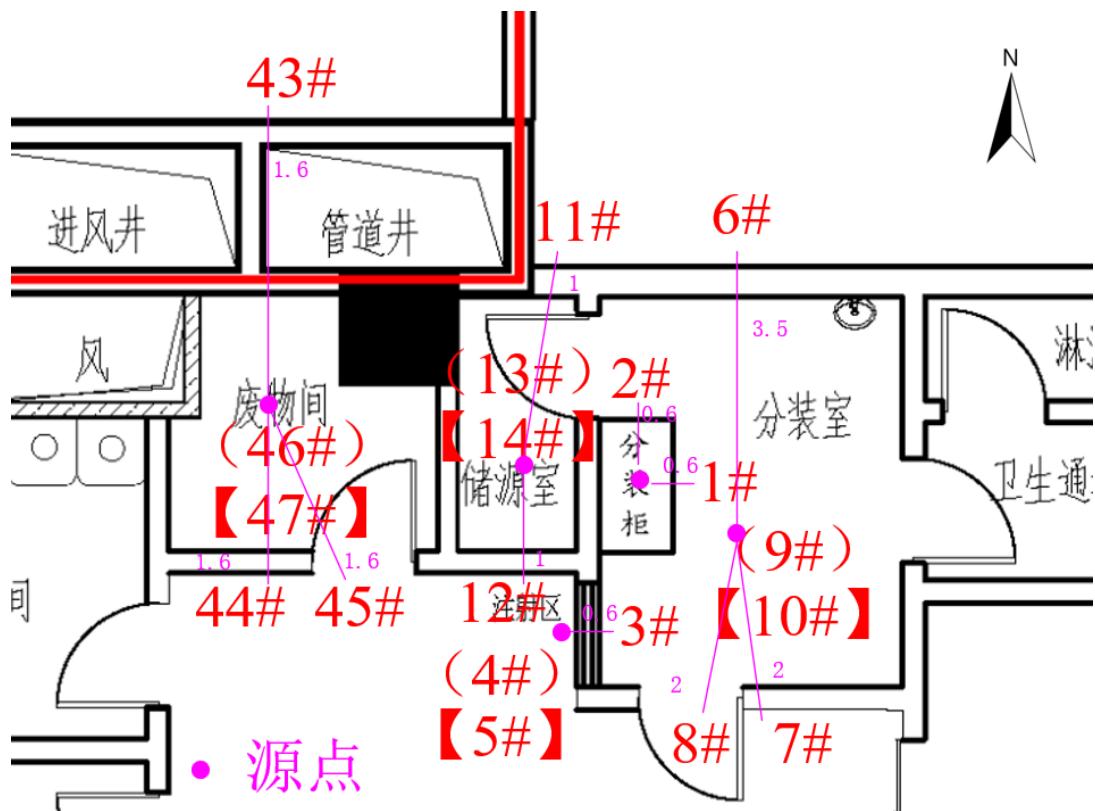


图11-3 本项目源点至各关注点距离示意图 (1) (单位: m)

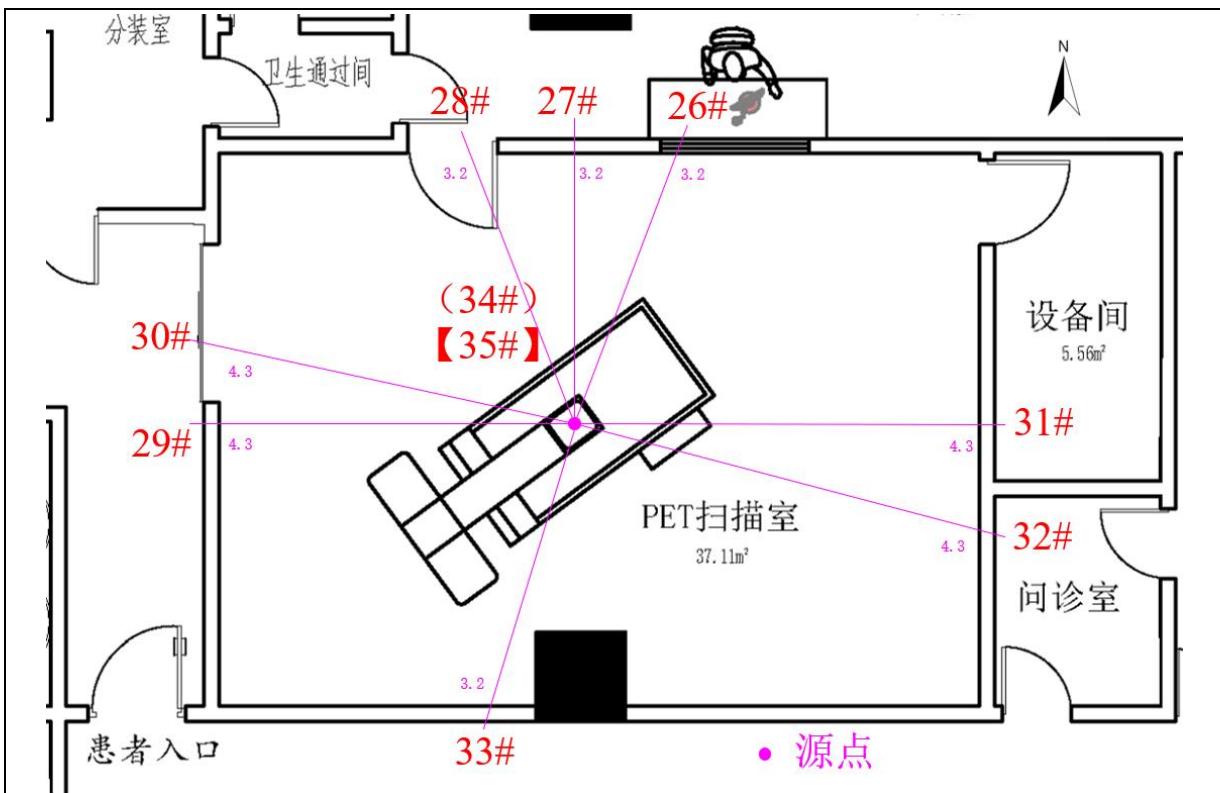


图11-4 本项目源点至各关注点距离示意图 (2) (单位: m)

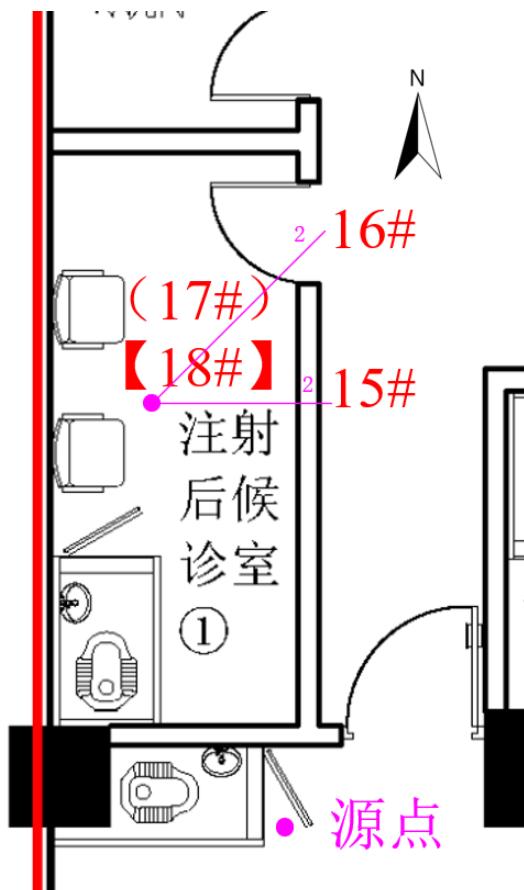


图11-5 本项目源点至各关注点距离示意图 (3) (单位: m)

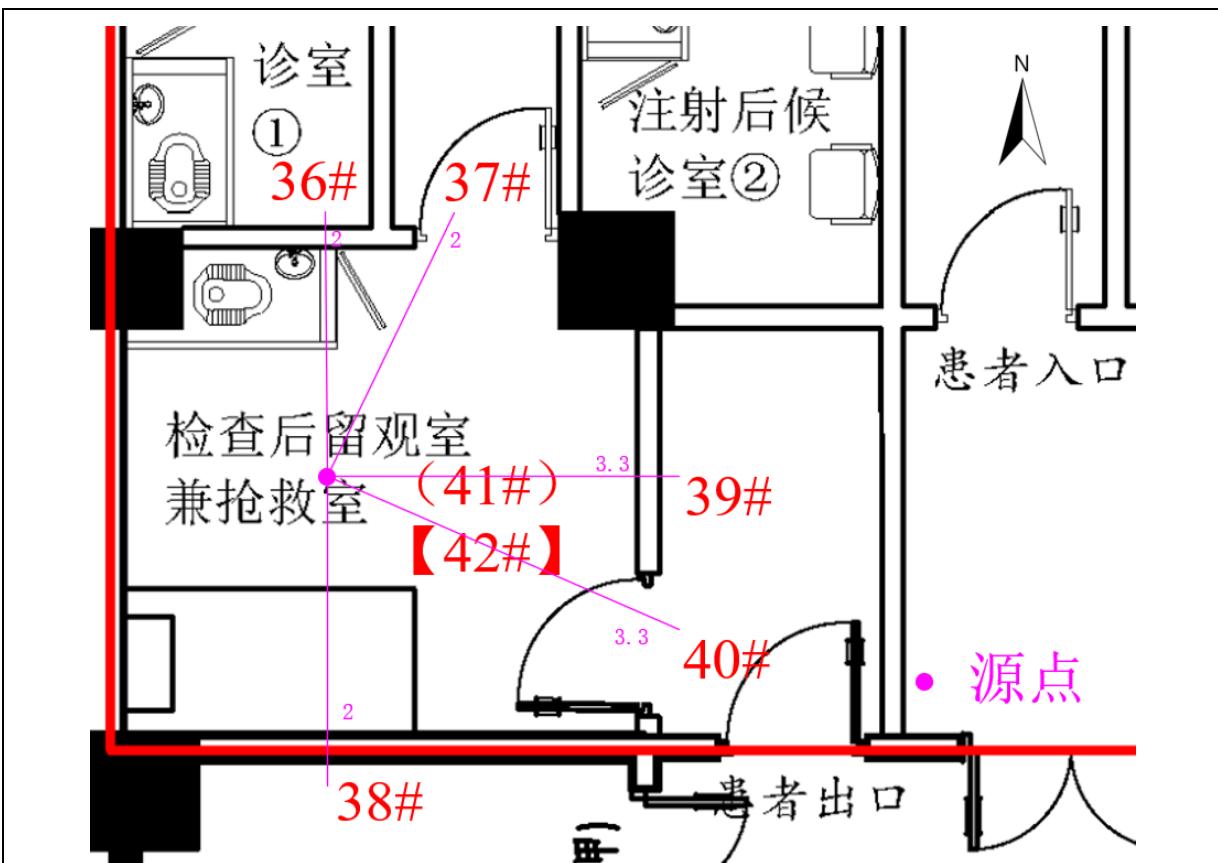


图11-6 本项目源点至各关注点距离示意图 (4) (单位: m)

11.2.1.2 显像诊断的辐射影响分析

本项目显像诊断辐射工作场所各关注点辐射剂量率结果见表11-3。

表11-3 显像诊断辐射工作场所关注点辐射剂量率估算结果

由表11-3估算结果可知, 本项目显像诊断辐射工作场所周围辐射剂量率水平能满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)规定的“放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构, 以保证设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$, 放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ ”要求。

同时满足HJ 1188-2021规定的“距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$, 如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域, 其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。”的要求。

11.2.1.3 ^{68}Ge 密封校准源的辐射影响分析

用于PET/CT校准的 ^{68}Ge 放射源属于V类源, 为极低危险密封源。一般情况下放射

源储存在储源室的铅罐内，仅校正时，从储源室中取出放置在需要校准的设备上。校准源一般一年左右更换一次，退役后交由原生产厂家回收。处于贮存状态时，贮存容器和储源室的屏蔽设施能完全屏蔽掉 γ 射线对周围环境的影响。校准状态时，使用场所在做了专门防护的PET/CT机房内，本项目 ^{68}Ge 校准源的源活度为 $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$ ， ^{68}Ge 的空气比释动能率常数为 $2.80 \times 10^{-18} \text{Gy} \cdot \text{m}^2 / (\text{Bq} \cdot \text{s})$ （参照《辐射安全手册》表6.2），估算在其1m处空气吸收剂量率为 $0.75 \mu\text{Sv/h}$ ，估算在其0.5m处空气吸收剂量率为 $2.98 \mu\text{Sv/h}$ ，根据医院提供的工作量，每月对PET/CT进行1次校准，摆放校准源大概每次2min/枚，每年操作时间0.4h/枚。

11.2.1.4 职业工作人员及公众人员年有效剂量估算与评价

根据潘自强主编的《电离辐射环境监测与评价》第3.3.3节（P51页）“对于强贯穿辐射，10mm深度是被经常使用的， $H^*(10)$ 应当是有效剂量 E 的合理近似”，外照射现场监测量为周围剂量当量率 $H^*(10)$ 。在有效剂量估算时，可以直接使用测量结果，不用进行系数转化。

外照射人均年有效剂量当量按下式计算：

$$H_{Er} = H(10) \times T \times t \times 10^{-3} \dots \dots \dots \quad (11-2)$$

式中： H_{Er} ——X射线外照射人均年有效剂量当量， mSv ；

$H(10)$ ——X射线周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

T ——居留因子；

t ——照射时间， h 。

（1）辐射工作人员

本项目辐射工作人员主要为主治医生、分装室医护人员以及负责显像诊断扫描操作的医技人员。该项目配备工作人员10人，其中负责摆位、扫描的医技人员4人（轮班上岗），测活及注射2名护士（轮班上岗），主治医生4名，工作人员均为现有核医学科辐射工作人员，不新增。4名主治医生在医生办公室或问诊室（监督区）问诊，受照剂量较小，故辐射工作人员仅分析护士及技师的受照剂量。

负责显像诊断扫描的工作人员受到的主要额外照射来自侍服注射药物的受检人员进行显像扫描、为受检人员摆位的过程中。一般情况工作人员可进行视频和语音隔室指导摆位，按1/10患者需要近距离协助摆位，协助摆位每例需1分钟，摆位的过程中受照剂量按注射后待检人员1m处的辐射剂量率（铅服加铅屏风防护后）计算；平均每

位患者扫描时长按 20 分钟计，扫描过程中工作人员在操作间内受照剂量按操作位的辐射剂量率计算。

PET/CT 校准工作由技师完成，每月 1 次，每次 2min/枚，剂量率按 0.5m 处计算。

分装室工作人员在测活、转移、分装、注射过程中会受到附加辐射照射，该环节工作由 2 名工作人员轮流完成。从偏安全角度考虑：a、负责诊断前期准备每天需进行测活、转移、分装过程（药品转移采用注射器外套钨金防护套进行）30s/人次、注射操作 30s/人次；b、全年规划使用检查 5520 人次；c、工作人员在测活、转移、分装时受照剂量按分装柜前 30cm 剂量率计算；在给病人注射时受照剂量按工作人员注射位剂量率计算。

本项目辐射工作人员的年有效剂量估算结果见表 11-4。

表11-4 辐射工作人员年有效剂量估算结果

由表11-4可知，本项目职业人员护士受到的年有效剂量最大为0.06mSv/a，技师受到的年有效剂量最大为0.72mSv/a。本项目配备辐射工作人员为原有辐射工作人员，应综合考虑其原有工作所受辐射剂量与本项目所受辐射剂量的叠加值，根据辐射工作人员2024年度个人剂量监测结果，分装、注射的护士年受照剂量最大值为0.41mSv/a，摆位、扫描的技师年受照剂量最大值为0.21mSv/a，故该项目运行后至辐射工作人员个人年受照剂量叠加值最大为0.93mSv/a，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)规定的年有效剂量管理约束值(职业工作人员20mSv/a)，也低于本报告提出的年有效剂量管理约束值(职业工作人员5mSv/a)。

（2）公众人员

本项目所有辐射用房布置是相对独立、相对封闭的区域，科室有严格的分区管理制度，出入口均设有门禁，无关公众成员不会进入治疗区域。公众可达区域为辐射工作场所边界外及楼上区域。公众年受照时间，相关区域根据不同功能房间药品操作时间或患者停留时间与年最大患者人数确定。根据表11-3预测结果，各区域公众成员受照剂量估算结果见表11-5。

表11-5 公众成员受照剂量估算结果

从表11-5估算结果可知，在本项目工作场所周边（含楼上、楼下）逗留或活动的公众成员因为该项目运行受到的年有效剂量最大为0.054mSv/a，低于公众成员年有效剂量管理约束值（**0.1mSv**）。以上是以辐射工作场所边界外相邻处关注点的辐射剂量率贡

献值来估算公众的受照剂量，由于辐射剂量率与距离的平方成反比，对于评价范围内距离更远的公众，可推断其受到的年有效剂量均低于以上估算值。符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)及《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)的要求。

11.2.2 放射性三废环境影响分析

放射性废气：本项目分装柜设置有独立的排风管道，拟配风机风速不小于0.5m/s，排风口拟设置于所在建筑楼屋顶；在高活性区设置通风设施，排风量大于进风量，保持这些控制区的负压，空气流向为低活区向高活区流动，排风口高于建筑楼屋顶，并拟设置活性炭为过滤装置，满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 中相应要求，项目放射性废气对周围环境影响较小。

放射性废水：本项目新增废水衰变系统，收集项目产生的放射性废水，本项目衰变池有效容积、池体及管道防护设计均满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 中相应要求。本项目运行后，需加强废水放射性监测，确保项排放的废水水质的放射性满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 的相应要求。

放射性固体废物：本项目配备了收集放射性固体废物的铅桶，放射性固体废物分类收集、分别处理，按《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 中7.2.3款要求进行管理，收集的固体废物在专用贮存衰变箱内存放衰变，待其所含放射性核素活度衰变至低于相应核素GB 18871-2002清洁解控水平推荐限值及HJ 1188-2021第7.2.3.1款要求时，对废物清洁解控并作为医疗废物处理，项目放射性固体废物不会对周围环境产生放射性污染。本项目质控放射源1年左右更换，退役废源送生产厂家回收。

因此，采取三废治理措施后，放射性固体废物和流出物对环境产生的影响很小。

11.3 事故影响分析

1、被盗或丢失事故

(1) 放射性物质在途中失控。由于放射性药物或放射源都是从相应厂家进货，在运输过程中可能会发生货包的被盗或丢失等失控事故。如装有放射性物质的货包没有按预定的时间到达，医院首先应在医院内部进行各种可能性的检查，然后与订货公司联系，要求追踪货包去向，直到找到放射性物质货包为止。

(2) 放射性物质在核医学科丢失。由于管理不善，安保不严，在核医学科使用或暂存的放射性物质可能会发生被盗或丢失等失控事故。

医院一旦确定放射性物质失控，应即刻向公安机关报警处理，并配合公安部门、生态环境部门调查、侦破工作。禁止任何单位和个人故意破坏事故现场、毁灭证据。

2、泄漏污染事故

在放射性药品转移、注射等使用过程中，可能会由于操作人员违反操作规程或误操作引起的意外泄漏，导致局部场所台面或地面产生放射性污染。发生此类事故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的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缘向中心擦抹，直到擦干污染区。用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到控制标准，这时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。吸擦后的药棉或纸巾作放射性固体废弃物处置。

3、人员照射剂量超标事故

工作人员在开展辐射工作过程中未按要求穿戴铅服、铅围脖等个人防护用品，造成附加辐射照射剂量超过管理限值要求。医院应加强对辐射工作人员的教育培训，增强辐射防护与安全意识，严格落实各项规章制度，及时关注个人监测结果。确保每一位辐射工作人员正常操作不会受到超剂量照射。

4、固体废物超标排放

核医学科产生放射性固体废物的场所均设有带防护功能的废物桶，再将收集箱内的固体废弃物连同垃圾袋分期存放至废物间内存放。废气排放口更换下的废活性炭也属于放射性固体废物，更换下的活性炭将存放于衰变箱中，标注活性炭存放日期、存放量等。

严格要求每次处置前均需开展放射性检测，其所含放射性核素活度衰变至低于相应核素GB 18871-2002清洁解控水平推荐限值及HJ 1188-2021第7.2.3.1款要求时，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条第一款：使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有1名具有大专以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。

医院成立了辐射安全与防护管理领导小组，在该文件（附件5）中明确了领导小组成员名单，并明确了相关职责，小组人员组成如下：

主任委员：*** 副主任委员：*** 委员：***

委员会工作职责：

- （一）制定医院放射卫生防护管理工作的操作流程。
- （二）建立健全医院放射卫生工作制度，制定切实可行的放射管理目标和工作计划，并组织学习和实施放射防护法规。
- （三）负责对医院放射卫生防护质量进行监督检查，检查各项工作制度、操作规程的落实情况。
- （四）会同上级有关部门按规定协调和处理放射事故，并对违反放射卫生工作制度和操作规程的相关人员提出处理意见。

放射卫生防护管理委员会下设工作办公室，工作办公室设在设备科；

相关科室的职责为：

- （一）根据国家放射卫生防护的管理规定，制定和完善医院放射性装置管理和射线的防护、放射性药物的订购和安全使用、放射性废物、废水的处理等工作制度。
- （二）落实放射防护管理制度。
- （三）负责放射装置的购置审批与管理。
- （四）监管和检查相关科室放射卫生防护工作的落实情况，定期实施工作环境和相关工作人员的放射防护监测。
- （五）建立放射工作管理档案，组织本单位从事放射性工作人员开展健康体检，接受放射卫生防护法规、专业技术的知识培训。
- （六）制定放射事故预防措施与应急预案。一旦发现放射事故，按有关规定进行

报告。

12.2 辐射安全管理规章制度

12.2.1 规章制度及落实情况

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使用放射性同位素、射线装置的单位应有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。

医院已制定一套相对完善的管理制度和操作规程，包括《关于调整放射卫生防护管理委员会的通知》、《核医学科质量控制管理制度》、《核医学科工作制度》、《核医学科岗位职责》、《核医学科放射性药品管理制度》、《核医学科仪器设备操作规程》、《放射性核事故预防和应急处理预案》等关于辐射方面的规章制度。并落实“制度上墙”。

医院已制定的各项管理制度具有较好的可行性，本次项目为非密封放射性物质的应用，与原有核技术利用项目为同种类型，针对本项目，建设单位将本项目相关内容纳入原有管理制度体系中。只要在日常工作中严格落实，即能够满足核技术利用项目的管理。

12.2.2 辐射工作人员

（1）辐射安全培训

根据生态环境部 2019 年 12 月 24 日印发的《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》，自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部培训平台报名并参加考核。2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。医院核医学科辐射工作人员（包括本项目工作人员）均已通过生态环境部培训平台报名并参加考核合格。

（2）职业人员的个人剂量管理

按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，项目单位应对辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。建设单位应定期委托有资质的单位定期对辐射工作人员个人剂量计进行监测（监测周期一般为 30 天，最长不应超过 90 天），并按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《职业性外照射个人监测

规范》的要求建立个人剂量记录及监测档案管理制度，并对职业照射个人监测档案终生保存。

（3）职业健康检查

辐射工作人员上岗前，应进行岗前职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加相应的辐射工作。

从事辐射工作期间，辐射工作人员应定期进行职业健康检查，必要时可增加临时性检查。对不适宜继续从事辐射工作的，应脱离辐射工作岗位，并进行离岗前的职业健康检查。项目单位应建立和保存辐射工作人员的健康档案。

12.3 辐射监测

本项目辐射防护监测包括个人剂量监测、辐射环境监测和竣工验收监测。

12.3.1 个人剂量监测

为测量本项目辐射工作人员在一段时间的受照剂量，借以限制辐射工作人员的剂量当量和评价工作场所的安全情况，建设单位为本项目辐射工作人员均配个人剂量计并进行个人剂量监测，并委托有资质单位对公司辐射工作人员进行个人累积剂量监测（每季度进行一次个人计量监测）。项目建设单位应设置专人负责个人剂量监测管理，并建立辐射工作人员个人剂量档案。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。

根据（GB 18871-2002）要求，辐射工作人员在开展放射性工作期间，必须佩戴由项目建设单位配发的个人剂量计。

12.3.2 工作场所监测

①监测项目：X-γ辐射剂量率、β表面污染；

②监测频度：委托有资质单位至少每年监测1次，监测报告附录到年度评估报告中，监测数据应存档备案。

③监测范围：场所周围墙体、防护门等人员可达区域（包括上层相邻房间）；以及周围50m范围内环境关注点。

④监测仪器：使用的仪器应与本项目源项特征相适应（由监测机构负责）；

⑤监测报告所包含信息应清晰、准确、完整，并纳入档案进行保存。

每年1月31日之前，医院应向辐射安全许可证发证机关及当地生态环境主管部门提交上一年度的本单位辐射安全和防护状况年度评估报告。

12.3.3 竣工验收监测

本项目建成后，建设单位应主动开展项目竣工环境保护验收工作，验收按《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》、《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》等相关要求进行。

12.4 辐射事故应急

12.4.1 应急响应机构设置

本项目为丙级非密封放射性物质工作场所，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四章规定及《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第六章的规定，结合单位的实际情况，制定了《广西中医药大学第一附属医院放射事件应急处理预案（2020 版）》并成立了以院领导为组长，相关科室负责人为组员的辐射事件应急领导小组。

医院成立放射事件应急处理领导小组，由医院主要领导、分管领导、医院办公室、医务部、设备科、预防保健科、后勤部、保卫科、基建房管科、放疗中心、核医学科、介入科、放射科等科室负责人组成。

预案规定了应急处理领导小组职责：

- (1) 定期组织对放射诊疗场所、设备和人员的放射防护情况进行自查和监测，发现事故隐患及时上报至院办并落实整改措施。
- (2) 负责组织有关部门和人员进行放射性事故应急处理。
- (3) 负责向卫生行政等部门及时报告事故情况。
- (4) 负责放射性事故应急处理具体方案的研究确定和组织实施工作。
- (5) 负责迅速安置受照人员就医，组织控制区内人员的撤离工作，并及时控制事故影响，防止事故的扩大蔓延。

12.4.2 应急预案内容

医院制定的放射事故应急处理预案内容包括：目的、依据、适用范围、组织管理、放射事故报告、放射事故应急处置程序等内容，具体见附件 6。

12.4.3 应急人员的培训与演习计划

医院制定的辐射事故应急预案具有可操作性，医院应做好事故应急人员保障、装备保障、应急文件管理等工作，加强人员培训及辐射事故应急演练，检验演习预案的可操作性及有效性，不断完善应急预案。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 实践的正当性分析

广西中医药大学第一附属医院仙葫院区新建 PET/CT 应用项目目的在于开展医学放射诊断工作，对保障人民群众身体健康、拯救生命起有着十分重要的作用；项目的建设为病人提供一个更加优越的诊疗环境，具有明显的社会效益，同时项目的实施提高了医院档次及服务水平，吸引更多的就诊人员，医院在保障病人健康的同时也创造了更大的经济效益。因此，该项目符合《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。

13.1.2 产业政策符合性

本项目的建设属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中“第一类 鼓励类”第六项“核能”中第 4 款“同位素应用技术”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

13.1.3 选址及总平面布置合理性

本项目场所建于门诊住院综合楼北楼负一楼，属于独立区域，可严格划分控制区及监督区，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并设置有相应的物理隔离和单独的人员、物流通道，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）第 5 关于“选址和布局”规定。

13.1.4 辐射环境现状评价结论

本项目现状监测结果表明，项目场所及周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率的范围在广西本底的范围内，项目辐射环境现状未见异常。

13.1.5 辐射安全与防护结论

本项目场所布局合理，设置控制区、监督区分区管理，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求，机房辐射屏蔽设计及其辐射安全防护措施满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的要求。

13.1.6 人员受照剂量分析

项目建设后，预计本项目的辐射工作人员因项目运行而受到年有效剂量低于职业人员年剂量管理约束值（5mSv），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

(GB18871-2002) 中关于剂量限制的要求。

预计公众成员因本项目运行而受到年有效剂量低于公众成员年剂量管理约束值(0.1mSv)，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 关于剂量限制的要求。

13.1.7 放射性三废治理可行性分析

(1) 放射性废气

本项目工作场所拟设置良好的通风，工作场所的气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。分装柜设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭过滤装置。放射性废气在经高效活性炭过滤吸附装置过滤后，在高于屋顶处排放。放射性废气排放满足标准要求。

(2) 放射性废水

放射性废水进入废水衰变池，废水衰变池容积满足贮存要求，经贮存满足排放浓度要求后排放，满足相关标准要求。

(3) 放射性固体废物

放射性固体废物经收集后放入固废衰变箱内，暂存于固废间，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，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，含 ¹³¹I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm²， β 表面污染小于 0.8Bq/cm²，对废物清洁解控并作为医疗废物（活性炭作为危险废物）进行处理，满足相关标准要求。

综上所述，广西中医药大学第一附属医院仙葫院区新建 PET/CT 应用项目，在落实本评价报告所提出的各项污染防治措施后，其运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，从辐射环境保护角度论证，该项目的建设是可行的。

13.2 建议与承诺

13.2.1 建议

(1) 不断提高工作人员素质，增强辐射防护意识，尽量避免发生意外事故。

(2) 定期进行事故应急演练，检验应急预案的可行性、可靠性、可操作性，不断的完善事故应急预案。

13.2.2 承诺

- (1) 本项目环评获得批复后，及时申请办理辐射安全许可证。
- (2) 按要求开展竣工环保验收。
- (3) 认真学习贯彻国家相关的环保法律、法规，不断提高遵守法律的自觉性和安全文化素养，切实做好各项环保工作。
- (4) 定期开展场所和环境的辐射监测，据此对所用射线装置的安全和防护状况进行年度评估，编写辐射安全和防护状况年度自查评估报告，并于每年 1 月 31 日前上报生态环境厅，报送内容包括：①辐射安全和防护设施的运行与维护情况；②辐射安全和防护制度及措施的制定与落实情况；③辐射工作人员变动及接受辐射安全和防护知识教育培训情况；④场所辐射环境监测报告和个人剂量监测情况监测数据；⑤辐射事故及应急响应情况；⑥存在的安全隐患及其整改情况；⑦其他有关法律、法规规定的落实情况。
- (5) 一旦发生辐射安全事故，立即启动应急预案并及时报告上级主管部门。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见:	
经办人	
审批意见:	
经办人	

公 章

年 月 日

公 章

年 月 日