

核技术利用建设项目

广西医科大学附属肿瘤医院五象院区新

建 SPECT/CT 应用项目

环境影响报告表

(公示本)



建设单位：广西医科大学附属肿瘤医院

环评单位：广西居里安检测技术有限公司

二〇二五年十二月



表 1 项目基本情况

建设项目名称		广西医科大学附属肿瘤医院五象院区新建 SPECT/CT 应用项目			
建设单位		广西医科大学附属肿瘤医院			
法人代表	***	联系人	***	联系电话	***
注册地址		南宁市良庆区良玉大道 50 号			
项目建设地点		南宁市良庆区良玉大道 50 号 2 号医技综合楼 1 楼 ECT 场所			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	1200	项目环保投资 (万元)	240	投资比例(环保投 资/总投资)	20%
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 广西医科大学附属肿瘤医院是广西唯一一家集医疗、科研、教学、预防保健、社区服务与康复为一体的省级肿瘤防治研究机构和国家三级甲等肿瘤医院，是国家住院医师规范化培训基地、国家临床药物试验基地和“一带一路”国际肿瘤防治联合培训基地，是广西医科大学硕士和博士授权点、临床医学博士后科研流动站单位、广西临床医学人才小高地基地之一，是广西肿瘤防治研究中心、肿瘤人才培训中心和肿瘤医学信息中心。广西抗癌协会挂靠在本院。 医院分为五象院区（南宁市良庆区良玉大道 50 号）、青秀院区（广西南宁市河堤路 71 号）。全院编制床位共计 1436 张，最大开放床位 1748 张。医院有 40 个临床科				

室和 18 个医技科室，涵盖肿瘤诊疗所需的全部专科。医院对多病种专科实行按病种分病区精细化管理，亚专科体系完备，其中放疗有五个病区、化疗有四个科室，拥有手术、放疗、化疗、介入、生物治疗等治疗手段和综合序贯的治疗体系，设有全区首个甲状腺专科病区，是区内肿瘤性疾病诊疗专科和诊疗手段最完备的医院。

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，医院拟在五象院区 2 号医技综合楼 1 楼新建 SPECT/CT 应用项目，主要内容包括新增 1 套 SPECT/CT 设备（属Ⅲ类射线装置）及相关业务用房，用于开展使用放射性核素 ^{99m}Tc 显像诊断和碘扫项目。放射性核 ^{99m}Tc 有两种来源，①使用钼-锝发生器淋洗 ^{99m}Tc ；②直接购买按单人用量分装好的 ^{99m}Tc 药品，该工作场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。碘扫项目仅对出院后病人进行扫描，不涉及 ^{131}I 贮存、分装、服药等。拟在 2 号医技综合楼西侧绿化用地新增废水衰变池。本项目拟新增射线装置情况见表 1-1，拟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。

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	SPECT/CT	Ⅲ	1	待定	140	1000	2 号医技综合楼 1 楼 SPECT/CT 机房

表 1-2 本项目拟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
^{99m}Tc	液态	60 人	10000 人	9.25E+8Bq (25mCi)	5.55E+10	显像诊断	新增
^{99}Mo (^{99m}Tc)	液态	/	/	/	/	淋洗 ^{99m}Tc	新增

规划 ^{99m}Tc 日最大操作量为 5.55E+10Bq(1500mCi)，单个病人单次用量为 25mCi，日最大诊断量为 60 人，每年最多 10000 人；放射性核 ^{99m}Tc 有两种来源，①使用钼-锝发生器淋洗 ^{99m}Tc ，建设单位拟购买 2 个 500mCi/个的钼-锝发生器，2 个发生器循环使用，使用时仅 1 个置于分装柜，确保分装柜中 ^{99m}Tc 药品最大贮存量不超过 500mCi，不使用的放置在储源室，钼-锝发生器一周换一；②直接购买按单人用量分装好的 ^{99m}Tc 药品，单个包装不超过 500mCi。规划碘扫患者每天最多为 8 人，每年最多 1000 人，碘扫患者集中时间安排，尽量选择 ^{99m}Tc 显像诊断患者较少的时间。

SPECT/CT 显像诊断每天最多 60 人次（当天若有碘扫患者，则相应减少 ^{99m}Tc 显

像诊断患者，保证日最大诊断量为 60)，每年最多 11000 人次。

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
2 号医技综合楼 1 楼 ECT 场所	^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	5.55E+10	中毒, 0.1	液态, 贮存, 100	5.55E+7	1.11E+8 乙级
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	5.55E+10	低毒, 0.01	液态, 很简单操作, 10	5.55E+7	

1.3 目的和任务由来

医院在 2 号医技综合楼 1 楼新建 SPECT/CT 应用项目，该项目工作场所属于乙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，该项目需开展辐射环境影响评价工作，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)，本项目属于第 172 核技术利用建设项目中“乙级非密封放射性物质工作场所”，需编制辐射环境影响报告表。为此，医院委托广西居里安检测技术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，编制广西医科大学附属肿瘤医院五象院区新建 SPECT/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良庆区良玉大道 50 号，项目地理位置图见图 1-1。



图 1-1 项目地理位置图

本项目位于医院五象院区 2 号医技综合楼 1 楼 ECT 场所，该楼为地面 5 层建筑。本项目 ECT 场所东侧为 2 号医技综合楼，南侧为 2 号医技综合楼及 1 号门诊大楼，北侧为 2 号医技综合楼及 3 号住院综合楼，西侧为绿化空地及院内道路。

本项目拟建工作场所北侧为医护走廊及卫生间，西侧为绿化空地及院内道路，东侧为临床药机构办公室，南侧为卫生间、临床药师基地培训学员办公室、远程会诊室，楼上为检验中心，楼下为停车场；拟新增废水衰变池位于拟建工作场所西侧绿化空地。

以该楼 ECT 拟建场所四周边界为起点，东侧 0~50m 均为 2 号医技综合楼；南侧 0~17m 为 2 号医技综合楼，17~35m 为 2 号医技综合楼与 1 号门诊大楼间连廊及空地，35~50m 为 1 号门诊大楼；北侧 0~26m 为 2 号医技综合楼，26~36m 为 2 号医技综合楼与 3 号住院综合楼间空地，36~50m 为 3 号住院综合楼；西侧 0~7m 为院内绿化空地，7~25m 为院内道路，25~50m 为院内绿化空地。

本项目 ECT 工作场所及周围环境现状见图 1-2~图 1-7，本项目拟建工作场所平面布置图见图 1-8，医院总平面图见图 1-11。



图 1-2 拟建 ECT 机房现状

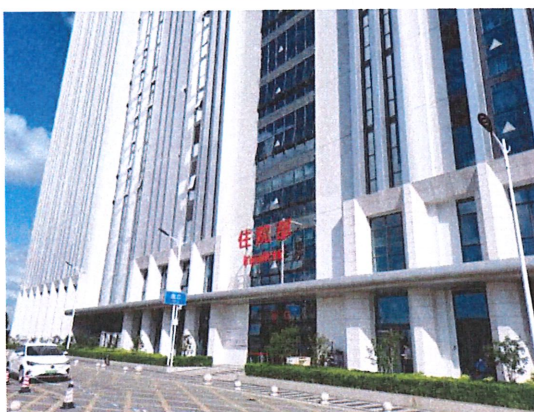


图 1-3 北侧 3 号住院楼



图 1-4 南侧 1 号门诊大楼



图 1-5 西侧绿化空地及院内道路



图 1-6 拟建场所楼上检验中心



图 1-7 拟建场所楼下停车场

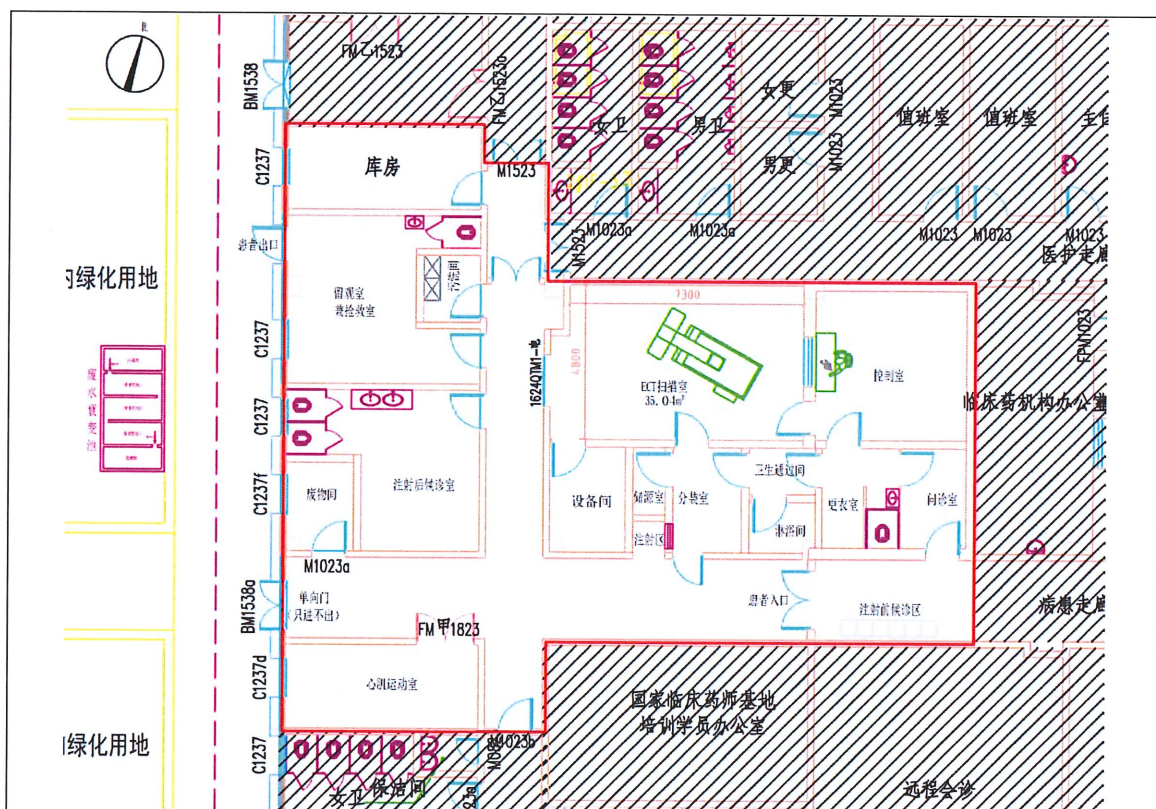


图 1-8 本项目拟建工作场所平面布局图

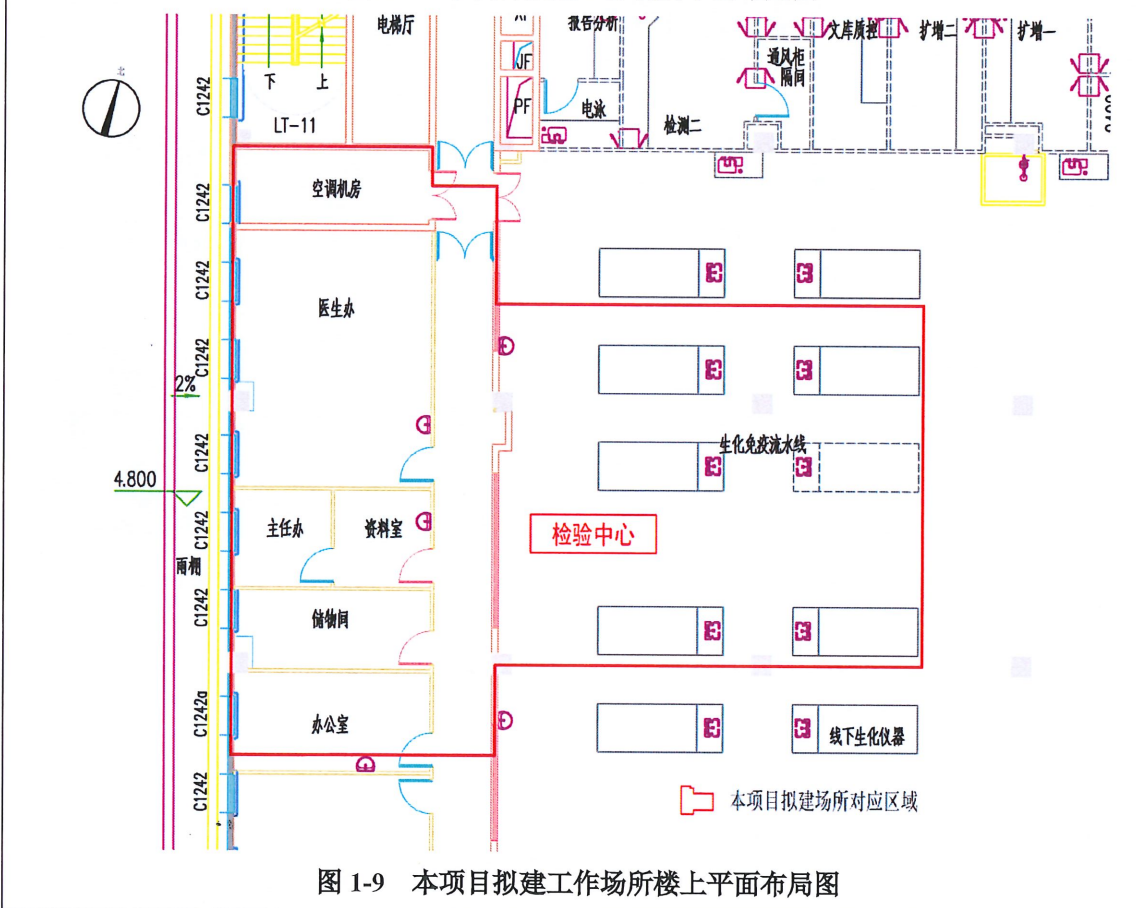


图 1-9 本项目拟建工作场所楼上平面布局图

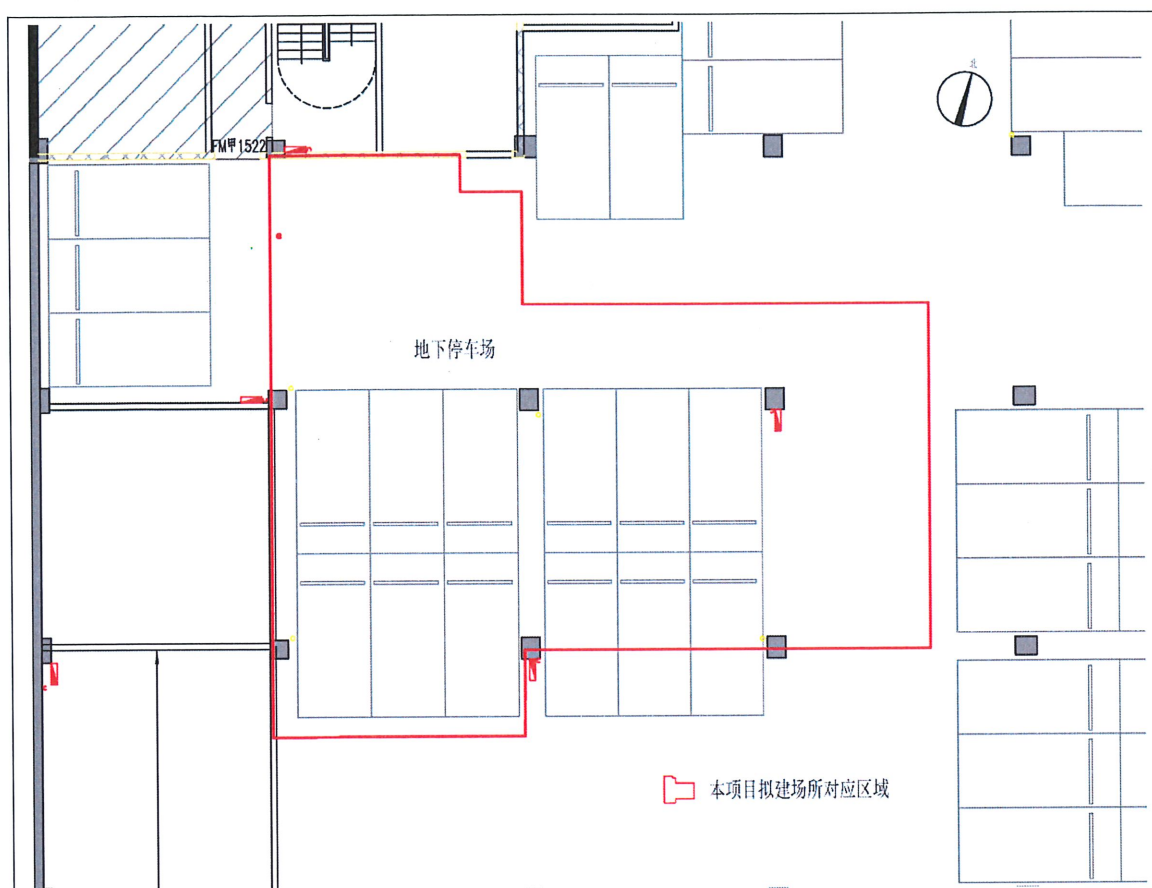


图 1-10 本项目拟建工作场所楼下平面布局图

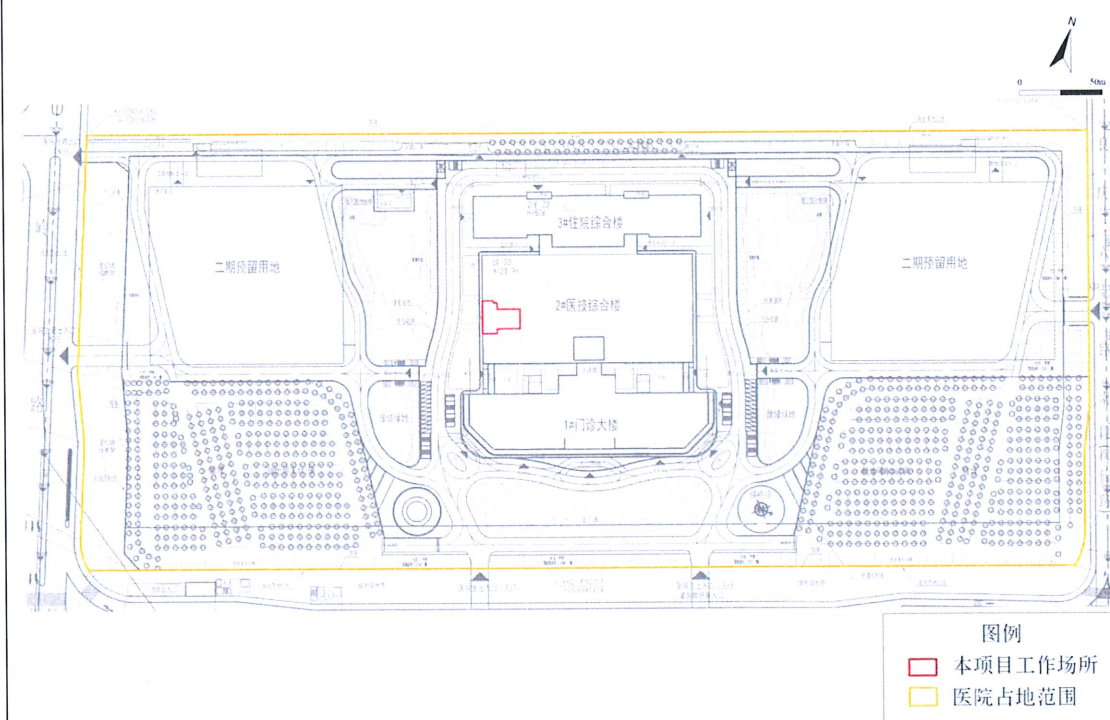


图 1-11 医院总平面图

2、选址合理性分析

本项目拟建工作场所边界外 50m 范围内均在院内。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。” 本项目位于医院 2 号医技综合楼一楼西侧，下方为停车场，位于 2 号医技综合楼最西端，且与周围建筑有一定距离；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

本项目评价范围内所有区域均在医院内部，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，广西医科大学附属肿瘤医院取得了辐射安全许可证，证号为：桂环辐证[A0165]，许可种类和范围为：使用Ⅲ类、V类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；生产、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 09 月 24 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《广西医科大学附属肿瘤医院放射卫生安全与防护管理规定（2024 年修订）》、《广西医科大学附属肿瘤医院辐射事故处理应急预案（2024 年修订）》、《辐射安全管理制度》、《放射工作单位管理制度》、《放射工作人员管理制度》、《放射工作人员岗位职责管理制度》、《放射性核素管理制度》、《放射源管理制度》、《射线装置管理制度》、《广西医科大学附属肿瘤医院放射工作人员个人剂量监测管理制度》等一系列制度，并严格按照规章制度执行。本项目为新建 SPECT/CT 应用项目，针对本项目，建设单位将本项目的相关内容纳入原有管理制度体系中。

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拟调配 7 名原有辐射工作人员，后续根据实际工作需要，可新增辐射工作人员。根据建设单位提供的最新 4 个季度个人剂量检测报告，本项目拟配备辐射工作人员最新 4 个季度护士年受照剂量最大值为 0.38mSv/a，技师年受照剂量最大值为 0.64mSv/a，医师年受照剂量最大值为 0.19mSv/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最新 4 个季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
无	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	⁹⁹ Mo (^{99m} Tc)	液体	使用	5.55E+10	5.55E+7	9.25E+12	淋洗 ^{99m} Tc	贮存	2 号医技综合楼 1 楼 ECT 场所	2 号医技综合楼 1 楼分装室内分装柜或储源室	新增
2	^{99m} Tc	液体	使用	5.55E+10	5.55E+7	9.25E+12	显像诊断	很简单			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	SPECT/CT	Ⅲ类	1	待定	140	1000	放射诊断	2 号医技综合楼 1 楼 SPECT/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 (μ A)	中子强度 (n/s)	用途	工作 场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
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	^{99m}Tc 、 ^{131}I	/	12.3m ³	147.5m ³	总 α <1Bq/L、 总 β <10Bq/L、 碘-131<10Bq/L	推流式废水衰变池暂存	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管网。
粘有放射性药品的一次性物品、排风系统活性炭等	固态	^{99m}Tc 、 ^{131}I	/	43.3kg	520kg	低于相应核素清洁解控推荐值	集中收集于废物桶后按日期存于 2 号医技综合楼 1 楼废物间内衰变	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	^{99m}Tc 、 ^{131}I	/	微量	微量	/	/	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。
废钼铈发生器	固体	^{99}Mo 、 ^{99m}Tc	/	/	/	/	2 号医技综合楼 1 楼储源室暂存	由生产厂家回收
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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）。

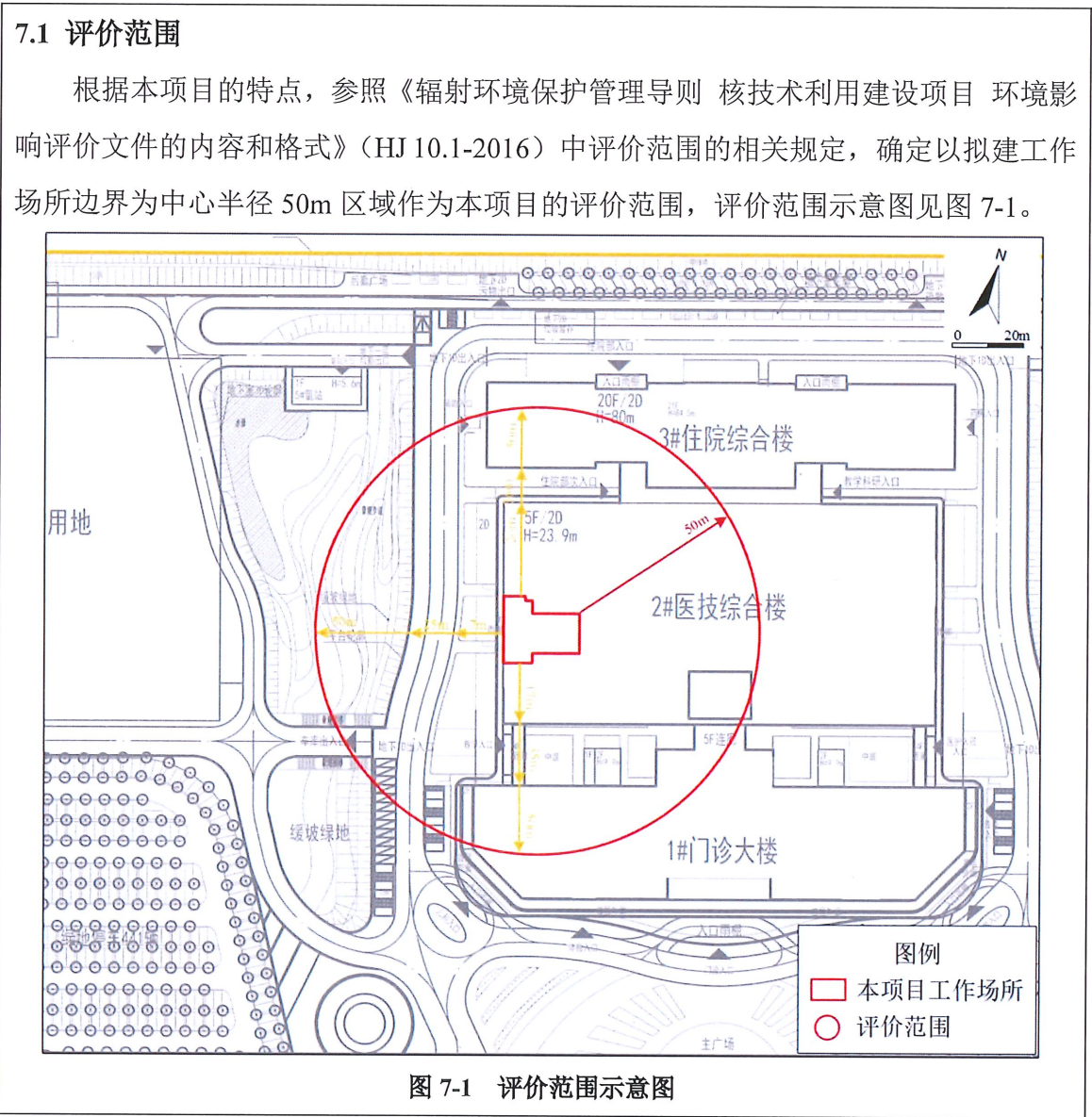
表 6 评价依据

法规文件	(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); (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); (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); (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 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); (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 449 号公布,2005 年 12 月 1 日起施行;2014 年 7 月 29 日经国务院令 653 号修改,2019 年 3 月 2 日经国务院令 709 号修改); (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 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 3 号修改;2017 年 12 月 20 日经环境保护部令 47 号修改,2019 年 8 月 22 日经生态环境部令 7 号修改,2021 年 1 月 4 日经生态环境部令 20 号修改); (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); (8)《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 版)》(生态环境部部令 第 16 号,2021 年 1 月 1 日起施行); (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); (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,2016 年 3 月 7 日公布并实施); (11)《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 9 号),2019 年 11 月 1 日施行; (12)《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; (13) 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(生态环境部公告 2018 年第 9 号), 2018 年 5 月 15 日; (14)《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; (15)《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部公告 2019 年第 57 号), 2020 年 1 月 1 日起施行; (16)《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; (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); (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; (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); (20)《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(国家核安全局, 辐射函(2023)20 号, 2023 年 9 月 11 日); (21)关于印发《核技术利用建设项目重大变动清单(试行)》的通知(环办辐射函(2025)313 号, 2025 年 8 月 29 日公布并实施)。
技术标准	(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); (2)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002); (3)《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021); (4)《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021); (5)《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020); (6)《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020); (7)《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021); (8)《放射性废物的分类》(环境保护部公告 2017 年 第 65 号)。

其他	(1) 环评委托书，见附件 1； (2) 项目备案证明，见附件 2； (3) 现状监测报告、仪器设备检定证书，见附件 3； (4) 辐射安全许可证，见附件 4； (5) 放射卫生安全与防护管理领导小组，见附件 5； (6) 放射事件应急处理预案，见附件 6； (7) 辐射工作人员个人剂量检测报告，见附件 7； (8) 类比项目验收监测报告，见附件 8； (9) 《中国环境天然放射性水平》（国家环境保护局，1995）； (10) 《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）。
----	---

表 7 保护目标及评价标准



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	年有效剂量管理约束值
职业人员	本项目辐射工作人员	内部	--	7 人	5mSv/a
公众人员	2 号医技综合楼其他	上方及周围	同一栋楼	约 300 人	0.1mSv/a

	工作人员				
	1 号门诊大楼其他工作人员	南侧	35	约 200 人	
	3 号住院综合楼其他工作人员及住院患者	北侧	36	约 500 人	
	评价范围内逗留或者经过的公众成员	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	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域, 其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》(国家核安全局, 辐射函〔2023〕20号, 2023年9月11日)中关于控制区剂量率的回复:

《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021, 以下称核医学标准)第6.1.5节规定, 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域, 其周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。本条规定的具体含义为:

1、控制区内工作人员经常性停留的场所(人员居留因子 $\geq 1/2$), 周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

2、控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所(人员居留因子 $< 1/2$), 如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置, 周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

综上所述: 本项目核医学工作场所控制区外房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$; 控制区内工作人员经常性停留的场所(人员居留因子 $\geq 1/2$), 周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所(人员居留因子 $< 1/2$), 周围剂量当量率应小于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。分装柜、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$, 分装柜非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。固体废物桶、废水收集池、管道等外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

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 0.08Bq/cm²、β 表面污染小于 0.8Bq/cm²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 0.1mSv/h,表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应小于 4Bq/cm²、其他 α 发射体应小于 0.4Bq/cm²。

综上所述:本项目正常运行时,仅产生含 ^{99m}Tc (半衰期 6.02h) 核素的放射性固

体废物，按核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；事故工况下，产生的少量含 ^{131}I 核素的放射性固体废物，按暂存超过 180 天。并且经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

(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 $10\text{ALI}_{\min}$ ($\text{ALI}_{\min}$ 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 $1\text{ALI}_{\min}$ ，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 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （半衰期 6.02h）及少量 ^{131}I ，废水排放按碘-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。

(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。

5、辐射工作场所放射防护要求

根据《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 中的相关标准:

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外, 对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房, 其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2 的规定。

表 2 X 射线设备机房(照射室)使用面积、单边长度(节选与本项目相关)

设备类型	机房内最小有效使用面积 ^d m ²	机房内最小单边长度 ^e m
CT 机(不含头颅移动 CT)	30	4.5

6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备(不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备)机房的屏蔽防护应不低于表 3 的规定。

表 3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求(节选与本项目相关)

机房类型	有用线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
CT 机房(不含头颅移动 CT) CT 模拟定位机房	2.5	2.5

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良庆区良玉大道 50 号 2 号医技综合楼 1 楼 ECT 场所，地理位置图见图 1-1，医院总平面图见图 1-9。

8.2 环境现状评价的对象

环境现状评价的对象为医院 2 号医技综合楼 1 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 7 月 3 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：环境 γ 辐射剂量率

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 8.2-2。

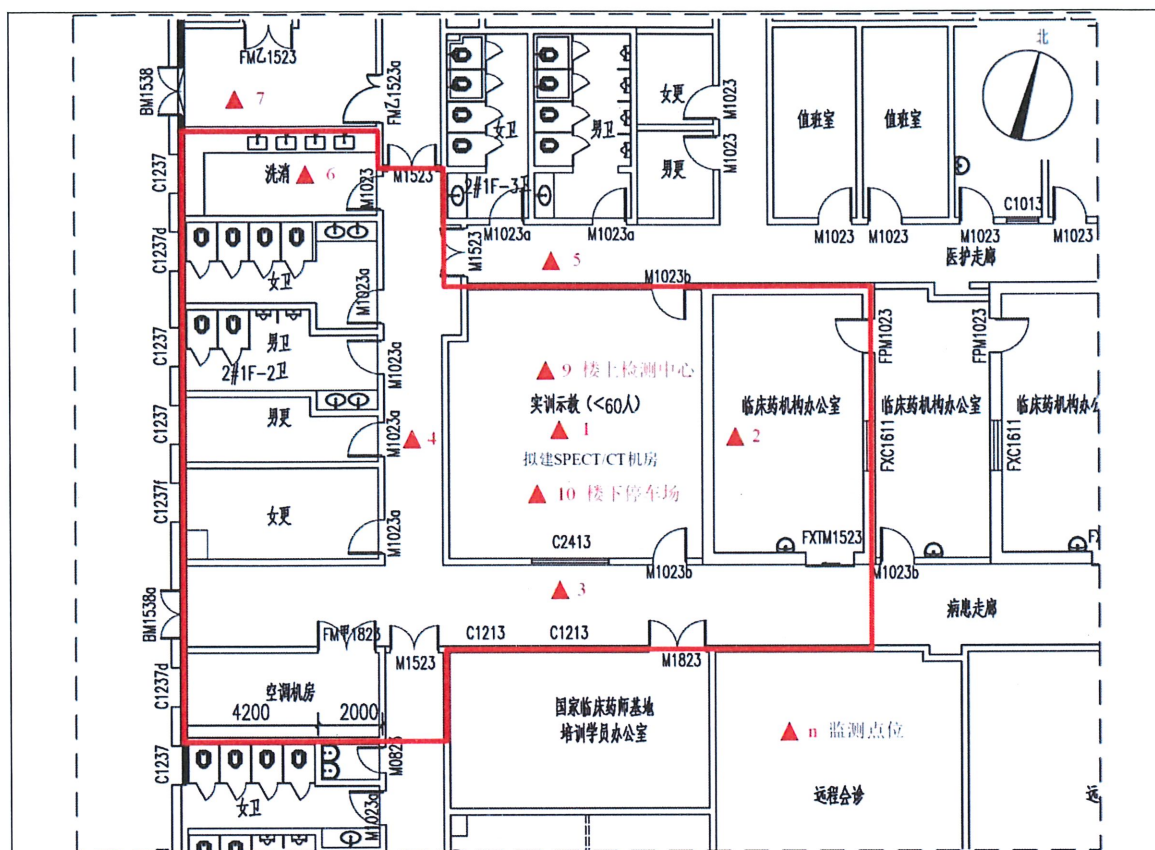


图 8.2-1 门诊住院综合楼负一楼工作场所现状监测点位

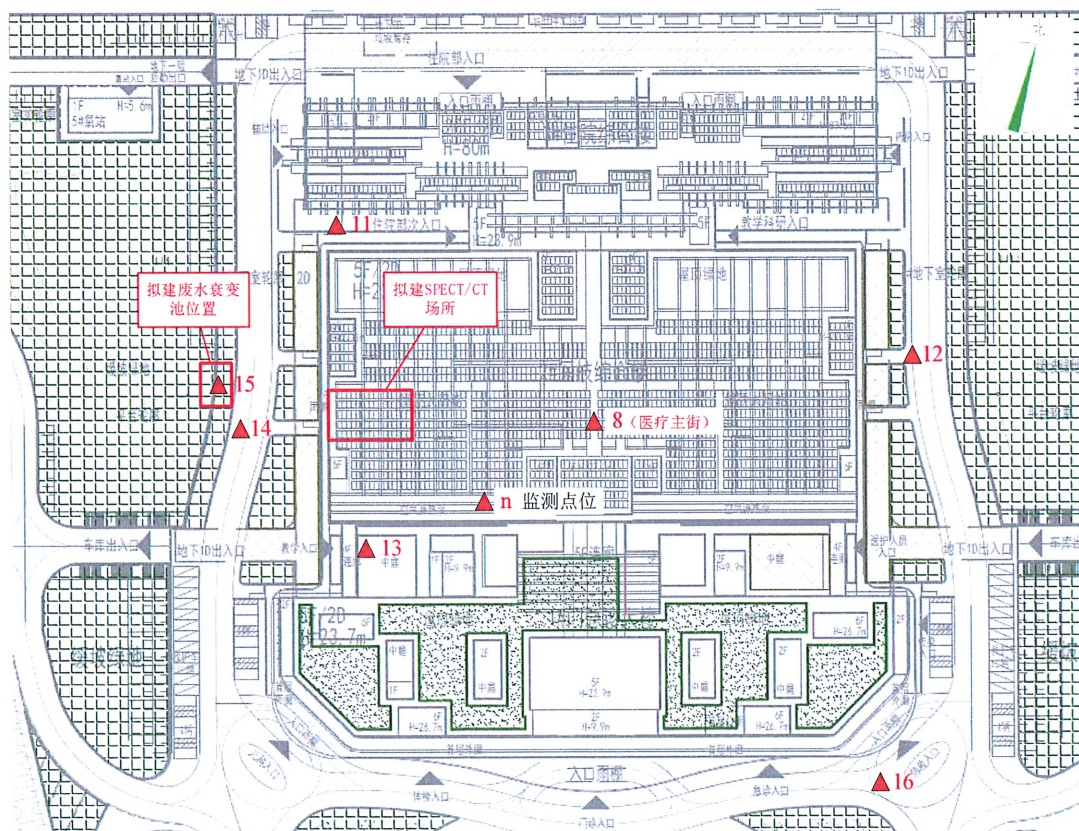


图 8.2-2 门诊住院综合楼一楼工作场所现状监测点位

(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	环境 γ 辐射剂量率
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	10nSv/h~100 μ Sv/h
相对固有误差	0.9%
检定证书 及有效期	校定证书编号：检字第[2024]-L0559（校定单位：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 14.1~20.4nGy/h 范围内，室外环境 γ 辐射空气吸收剂量率测值在 11.1~27.3nGy/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，道路 γ 辐射空气吸收剂量率在 7.1~267.0nGy/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

医院拟在五象院区 2 号医技综合楼 1 楼新建 SPECT/CT 应用项目，主要内容包括新增 1 套 SPECT/CT 设备（属Ⅲ类射线装置）及相关业务用房，用于开展使用放射性核素 ^{99m}Tc 开展显像诊断和碘扫项目。放射性核 ^{99m}Tc 有两种来源，①使用钼-锝发生器淋洗 ^{99m}Tc ；②直接购买按单人用量分装好的 ^{99m}Tc 药品，该工作场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。碘扫项目仅对出院后病人进行扫描，不涉及 ^{131}I 贮存、分装、服药等。

9.1.2 SPECT/CT 显像诊断

（1）工作原理

SPECT/CT 的全称是单光子发射计算机断层扫描仪（Single-Photo Emission Computed Tomography），其使用 ^{99m}Tc 进行诊断的基本原理是：受检者注射 ^{99m}Tc 药物， ^{99m}Tc 在特定的器官或组织发射出能量 140keV 的光子（ γ 射线），穿过组织器官后到达 SPECT 探测器。SPECT 使用低能准直器对 γ 射线进行准直，通过闪烁体将 γ 射线能力转换为光信号，再通过光电倍增管将光信号转化为电信号并进行放大，得到的测量值代表在该投影线上的放射性大小，再利用计算机从投影求解断层图形。其主要的功能特点是：除了显示脏器形态结构外，更重要的是可观察到脏器血流灌注、功能和代谢的变化。临床主要应用于骨骼显像、心脏灌注断层显像、甲状腺显像、肾动态显像等。

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

（2）钼-锝发生器工作原理

医用 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器的基本构造见图 9.1-1。主要包括发生器柱（色谱柱）、进口针头、出口针头和与大气相通的针头。发生器柱置于铅防护罐中，用以屏蔽发生器产生的辐射。将 ^{99}Mo 以 $^{99}\text{MoO}_4^{2-}$ 吸附在 Al_2O_3 色谱柱上， $^{99}\text{MoO}_4^{2-}$ 衰变时产生 ^{99m}Tc ， ^{99m}Tc 是以 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 的形式存在，由于 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 的电荷数与 $^{99}\text{MoO}_4^{2-}$ 不同，因此利用

Al_2O_3 对 ^{99}Mo ($^{99}\text{MoO}_4^{2-}$)、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ($^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$) 吸附能力差异, 通过生理盐水将 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗下来。实际操作时, 要求带上无菌手套, 在 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器的进口针头上插上生理盐水瓶, 在柱的出口单针头上插上置于铅罐内的真空瓶 (负压瓶), 由于大气压的作用, 负压瓶内会得到含有一定放射性活度的 $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ 淋洗液。

根据放射性衰变规律可以计算出, 医用 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器经 23 小时, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 生长可达到极大值, 当把子体核素洗脱出来后, 经过同样长时间, 短寿命子体又会重新累积到最大值, 但是这一次最大值在数量上比前一次少, 这一过程可重复多次, 直到母体核素的数量下降到某一限值为止。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 生长到极大值一半的时间是 6 小时。因此, 对于 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 来说, 每天最多可洗脱两三次。

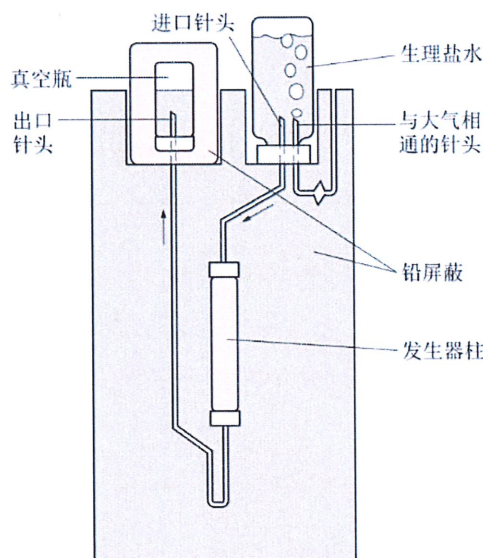


图 9.1-1 钼锝发生器基本构造图

(3) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像诊断操作流程及产污环节

本项目使用钼-锝发生器淋洗 $^{99\text{m}}\text{Tc}$, 定期向药物供货商购买钼-锝发生器, 购回的钼-锝发生器置于密封铅容器内, 需要淋洗 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 暂存于分装柜, 不使用时存放于储源室。根据需要, 也可直接购买按单人用量分装好的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药品, 购买的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药品置于密封铅容器内, 由供货商直接送至储源室。

①淋洗: 工作人员根据病人预约情况、临床诊断所需使用量, 淋洗所需的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$, 淋洗时先打开钼-锝发生器顶部的铅屏蔽盖, 在发生器的一端插上生理盐水瓶作淋洗液, 另一端插上真空瓶, 由于负压作用, 即能定量淋洗出 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记的溶液。

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，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。若为分装好的药品，将购买的注射器药品及包装转移至分装柜后，直接取出注射器即可，无需分装。

④诊断：注射后的病人进入相应注射后候诊室休息（心脏病人进入心肌运动室），待药物充分代谢后，通过语音呼叫，进入 SPECT/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 SPECT/CT 扫描诊断。

⑤诊断结束后，受检者进入留观室留观，无异常后离开核医学科。

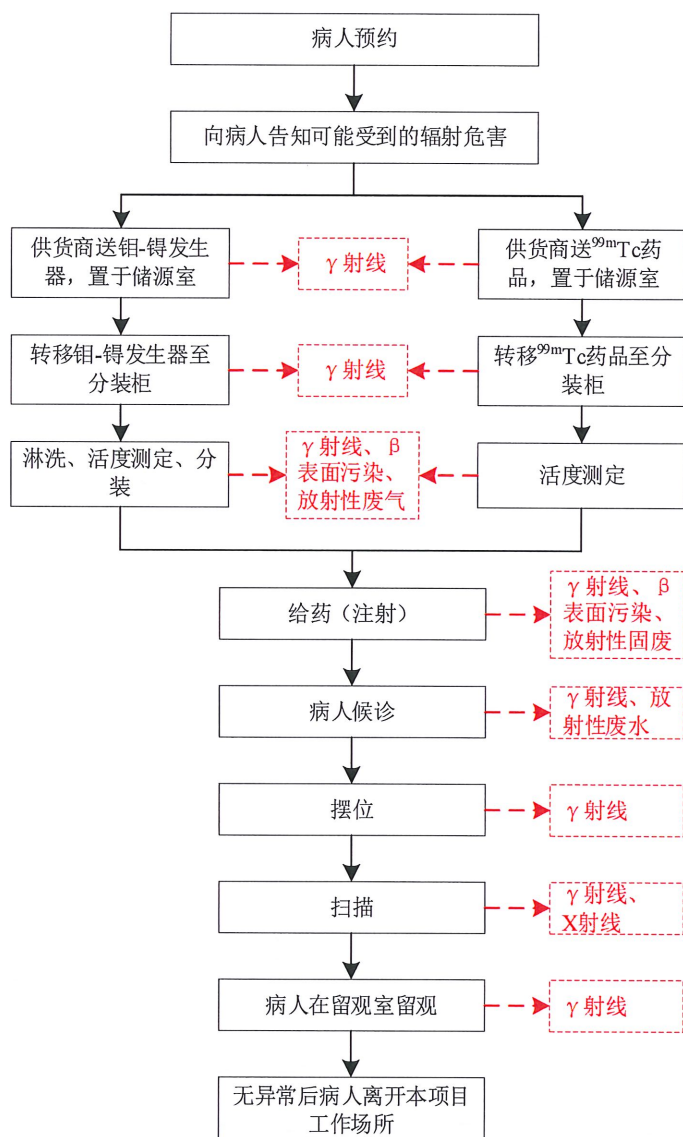


图 9.1-2 SPECT/CT 显像诊断操作流程及产污环节示意图

9.1.3 碘扫

(1) 工作原理

碘扫是利用甲状腺组织摄取碘的特性， ^{131}I 在衰变过程中，可释放 β 射线和 γ 射线， γ 射线穿过组织器官后到达 SPECT 探测器，SPECT 使用低能准直器对 γ 射线进行准直，通过闪烁体将 γ 射线能力转换为光信号，再通过光电倍增管将光信号转化为电信号并进行放大，得到的测量值代表在该投影线上的放射性大小，再利用计算机从投影求解断层图形，通过显像评估甲状腺功能及异常组织。

(2) 碘扫操作流程及产污环节

碘扫患者仅使用本项目 SPECT/CT 设备进行扫描，不服药。

①预约：工作人员根据碘扫病人预约情况，集中安排碘扫患者来院扫描。

②受检者按约定时间在注射后候诊室准备和等候。

③扫描：通过语音呼叫，进入 SPECT/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 SPECT/CT 扫描诊断。

④诊断结束后，患者通过留观室离开本项目工作场所。

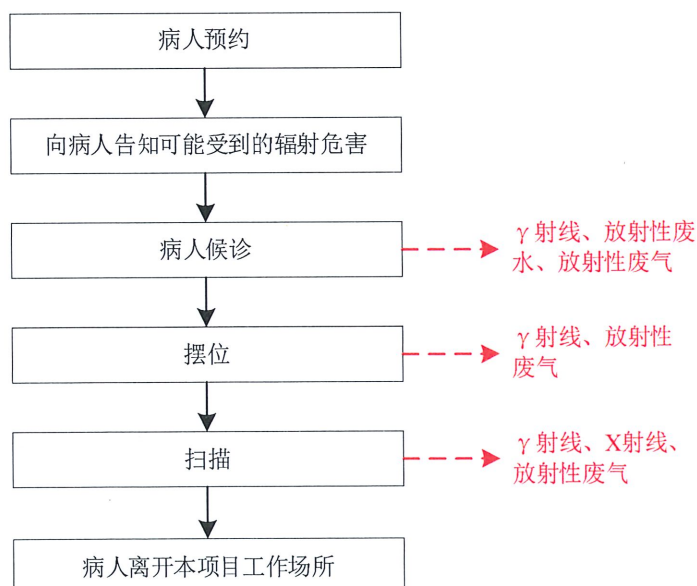


图 9.1-3 碘扫操作流程及产污环节示意图

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 SPECT/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 9.1-4 中绿色线路所示，医技人员从东南侧入口进入问诊室，经更衣间进入 SPECT/CT 控制室，因给待检人员摆位需要由控制室出入 SPECT/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） ^{99m}Tc 患者的进出路线

如图 9.1-4 中红色线路，患者在东南侧注射前候诊区等候，叫号后从东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（心脏病人进入心肌运动室），等待相应时间后进入 SPECT/CT 扫描机房检查，检查完毕后患者需在留观室留观，无异常后从西北侧患者出口离开本项目工作场所。

（3）碘扫患者进出路线

如图 9.1-4 中青色线路，碘扫患者从西南侧防护门进入，直接进入注射后候诊室候诊，叫号后进入 SPECT/CT 机房碘扫，诊断结束后，患者通过留观室离开本项目工作场所。

（4）药品运送路线

如图 9.1-4 中蓝色线路所示，供药单位将钼-锝发生器（或药物）从西南侧入口进入，经患者通道进入储源室，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。

（5）放射性固体废物路线

如图 9.1-4 中黄色路线所示，放射性固体废物从分装室、注射区、注射后候诊室、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。与建设单位核实，SPECT/CT 机房、心肌运动室不产生放射性固体废物。

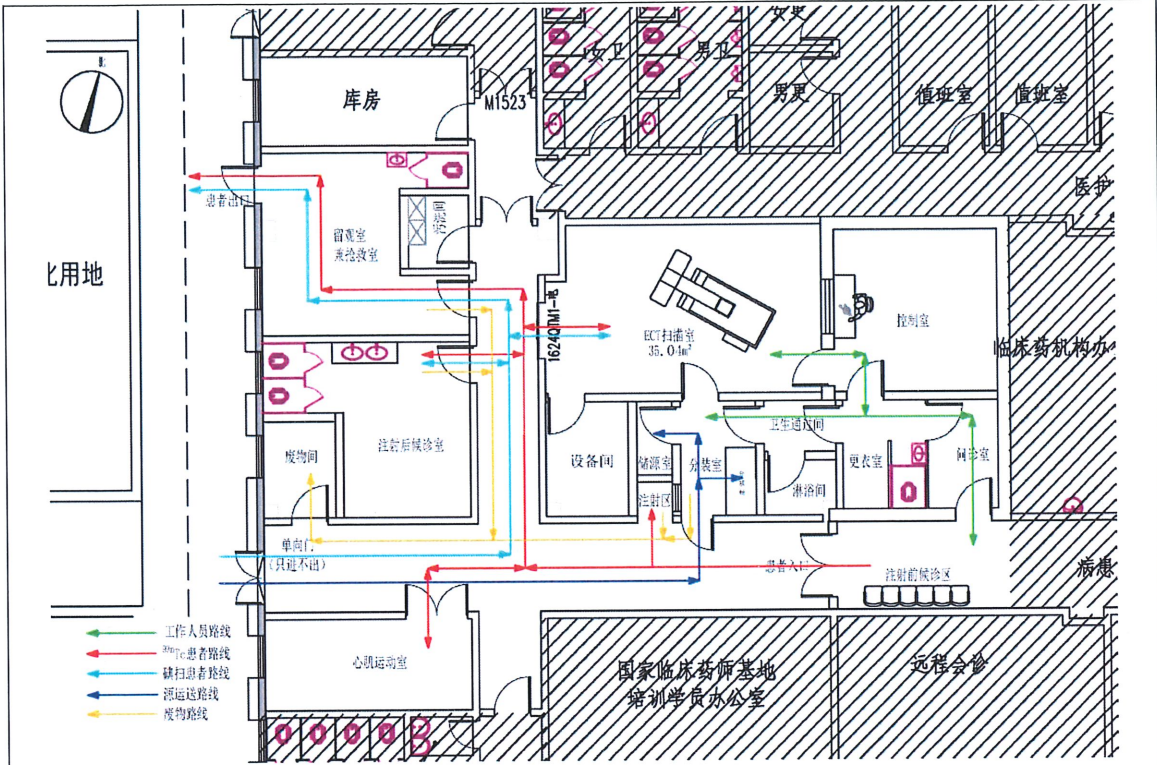


图 9.1-4 人流、物流路径规划

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；碘扫患者集中时间段安排，避免与 ^{99m}Tc 患者交叉影响， ^{99m}Tc 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，符合 HJ 1188-2021 中布局的要求，故本项目人流、物流路线设置合理。

9.2 污染源项描述

9.2.1 非密封放射性核素性能参数

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	β 粒子最大能量 (MeV)	主要 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) ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
^{99}Mo (^{99m}Tc)	中毒	液态	2.75d	β^-	1.215	0.740	/	/
^{99m}Tc	低毒	液态	6.02h	同质异能跃迁	/	0.140	0.0303	0.0207
^{131}I	中毒	/	8.02d	β^-	0.602	0.284, 0.365, 0.637	0.0595	0.0583

注： ^{131}I 核素为碘扫患者体内自带，不在本项目工作场所服药。

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 ^{99m}Tc 在衰变过程中释放出 γ 射线，在进行药物贮存、转移、淋洗、分装、注射等操作时，在周围停留的操作人员和患者可能受到核素释放出的 γ 射线外照射影响。 ^{99}Mo 在衰变过程中有可释放出少量 γ 射线，在钼-锝发生器转移、淋洗等操作时，在周围停留的操作人员和患者可能受到核素释放出的 γ 射线外照射影响。

碘扫患者体内的 ^{131}I 在衰变过程中释放出 γ 射线，在候诊及碘扫时，在周围停留的操作人员和患者可能受到核素释放出的 γ 射线外照射影响。

(2) β 射线

^{99}Mo 、 ^{99m}Tc 和 ^{131}I 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SPECT/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、三废污染

(1) 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) 废水

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 ^{99m}Tc 核素显像诊断患者每天最多为60人，每年最多10000人；来院碘扫患者每天最多为8人（当天若有碘扫患者，则相应减少 ^{99m}Tc 显像诊断患者，维持日最大患者量为60人），每年最多1000人；故SPECT/CT诊断患者每天最多为60人，每年最多11000人。偏安全考虑，废水量估算按每天最多60人，年工作时间按250个工作日计，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，工作人员清洗去污废水每天约10L，每天产生废水量最大为 0.59m^3 ，每年废水量产生量为 147.5m^3 。

（3）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。本项目新增碘扫患者仅对病人进行扫描，不服药，正常工况下，病人候诊、扫描时不产生含 ^{131}I 固体废物，仅事故工况（病人呕吐等）产生少量 ^{131}I 固体废物。

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 ^{99m}Tc 显像诊断病人数量为10000人/年，则本项目放射性固体废物年产生量为 500kg ，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 520kg 。钼-锝发生器一周一换，废发生器由生产厂家回收。

9.2.2.2 非正常工况

（1）由于管理不善，钼-锝发生器、放射性药物的被盗、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、地面污染。

（3）注射时意外泄漏，造成台面、地面污染。

（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/碘扫患者管理不善，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）放射性药物泼洒与患者的呕吐物造成的放射性污染。碘扫患者呕吐会产生含 ^{131}I 放射性固体废物。

(8) 因过量给药导致的超剂量治疗异常情况。

(9) SPECT/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。

综上所述，非正常工况下，可能的污染因子为 γ 射线、X射线、 β 射线及 β 表面污染等。

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

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 2 号医技综合楼 1 楼 ECT 场所，主要包括控制室、SPECT/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、留观室兼抢救室、问诊室、设备间等。

本项目拟在 2 号医技综合楼西侧绿化用地新增废水衰变池，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。本项目工作场所平面图及废水衰变池位置示意图见图 10-1。

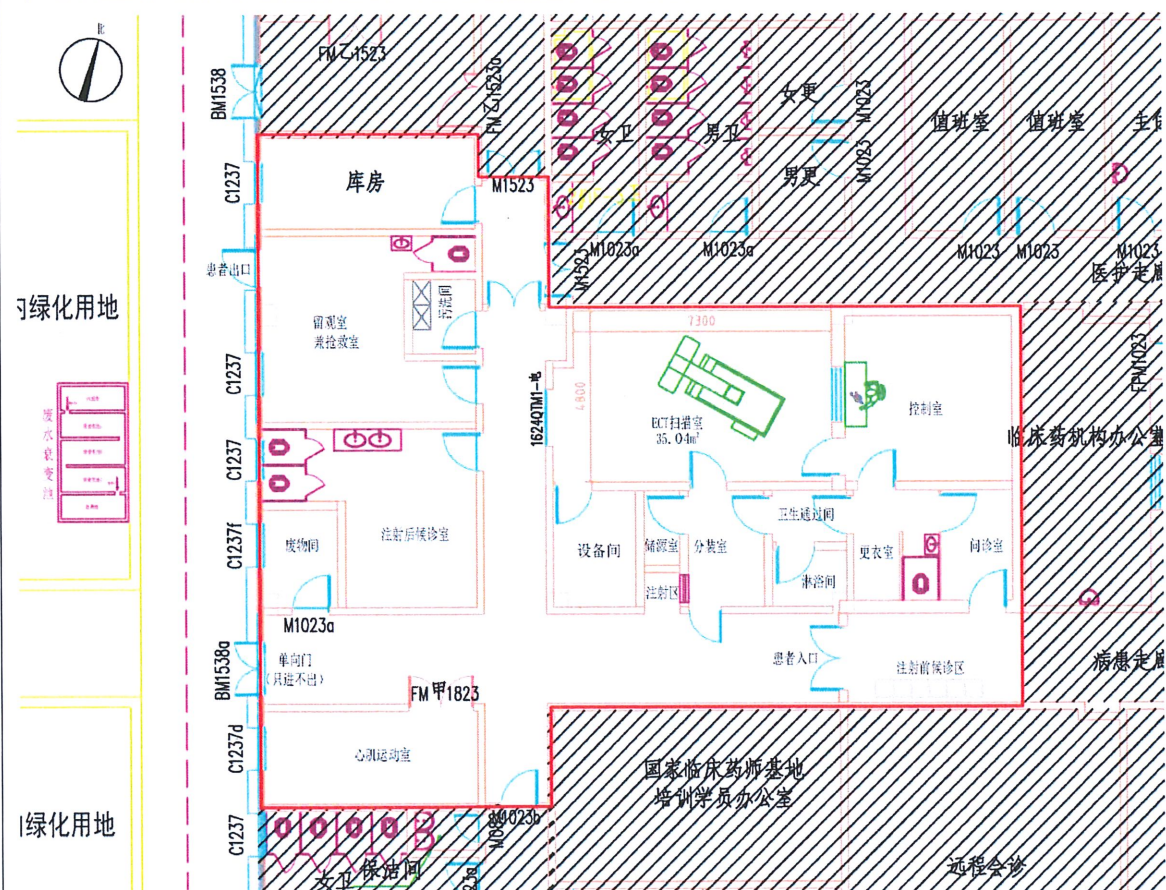


图 10-1 本项目工作场所平面图

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。医护人员从东南侧通道进入问诊室，经更衣间后进入控制室，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。 ^{99m}Tc 患者在注射前候诊区

等候，叫号后从东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，患者进入注射后候诊室，等待相应时间后进入 SPECT/CT 扫描机房检查，检查完毕后在留观室留观，无异常后离开本项目工作场所。碘扫患者从西南侧防护门进入，直接进入注射后候诊室候诊，叫号后进入 SPECT/CT 机房碘扫，诊断结束后，患者通过留观室离开本项目工作场所。

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乙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)	工作场所分级
2 号医技综合楼 1 楼 ECT场所	^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	5.55E+10	中毒, 0.1	液态, 贮存, 100	5.55E+7	1.11E+8 乙级
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	5.55E+10	低毒, 0.01	液态, 很简单操作, 10	5.55E+7	

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、心肌运动室、留观室兼抢救室、SPECT/CT扫描室、设备间、衰变池等区域划为控制区 (图10-2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, 保障在正常工作时, 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、更衣室、问诊室、注射前候诊区、库房、北侧走廊、国家临床药师基地培训学员办公室、南侧女卫生间、西侧1m范围等与控制区周围相邻区域, 废水衰变池上方区域划为监督区 (图10-2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。

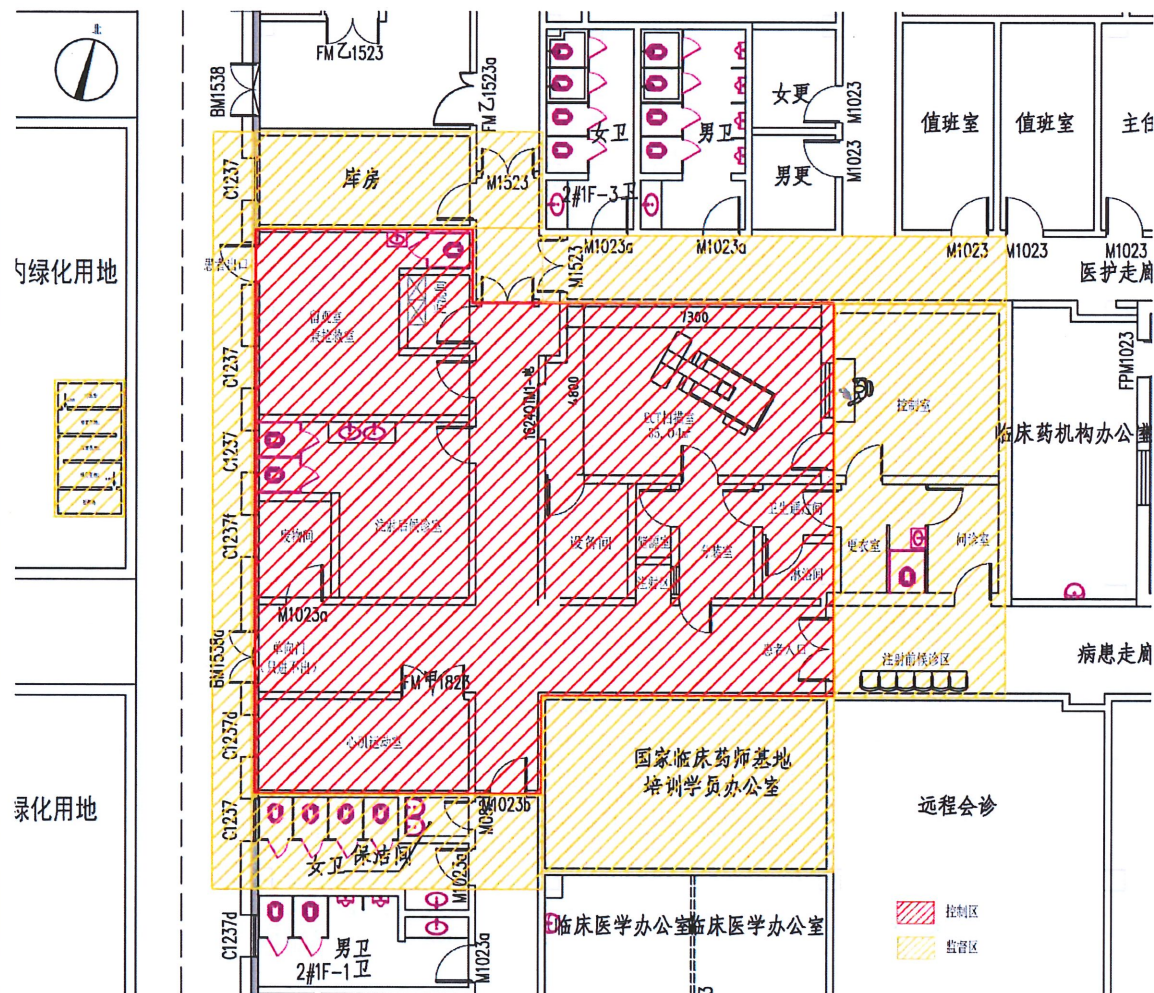


图10-2 本项目工作场所分区情况

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
SPECT/CT机房	35.04m ² (7.30m×4.80m)	4.80m	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4mmPb。注射台防护能力为整体3mmPb。

(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	屏蔽防护设计方案	
	屏蔽体	设计方案
储源室	东、西、南侧墙体	240mm 实心砖
	北墙	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料
	防护门	3mmPb 防护门
	顶棚	150mm 混凝土
	地板	150mm 混凝土
分装室	东墙	240mm 实心砖
	西墙	240mm 实心砖
	南墙	240mm 实心砖
	北墙	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料
	顶棚	150mm 混凝土
	地板	150mm 混凝土
	4 个防护门	3mmPb 防护门
	注射台	3mmPb 铅板
	分装柜	4mmPb 铅板+4mmPb 观察窗
患者（注射）通道	①②③④号防护门	3mmPb 防护门
	南墙	370mm 实心砖
	顶层	150mm 混凝土
	地板	150mm 混凝土
注射后候诊室	东墙	240mm 实心砖
	南墙	240mm 实心砖
	西墙	190mm 混凝土墙，窗口使用 240mm 实心砖封堵
	北墙	240mm 实心砖
	顶棚	150mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
	地板	150mm 混凝土
	防护门	3mmPb 防护门
废物间	东、南、北侧墙体	240mm 实心砖
	西墙	190mm 混凝土墙，窗口使用 240mm 实心砖封堵
	防护门	3mmPb 防护门

	顶棚	150mm 混凝土
	地板	150mm 混凝土
心肌运动室	东墙	240mm 实心砖
	南墙	240mm 实心砖
	西墙	190mm 混凝土墙，窗口使用 240mm 实心砖封堵
	北墙	240mm 实心砖
	防护门	3mmPb 防护门
	顶棚	150mm 混凝土
	地板	150mm 混凝土
	留观室兼抢救室	东墙
南墙		240mm 实心砖
西墙		190mm 混凝土墙，窗口使用 240mm 实心砖封堵
北墙		240mm 实心砖
顶棚		150mm 混凝土+30mm 硫酸钡涂料
地板		150mm 混凝土
东侧防护门		3mmPb 防护门
西侧患者出口防护门		5mmPb 防护门
SPECT/CT 扫描室	东墙	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料
	南墙	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料
	西墙	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料
	北墙	370mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料
	顶棚	150mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料
	地板	150mm 混凝土+40mm 硫酸钡涂料
	4 个防护门	3mmPb 防护门
	观察窗	3mmPb 铅玻璃
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 $\geq 3.2\text{g/cm}^3$ 。（2）同一侧墙体不同屏蔽材料或厚度，屏蔽计算时，取屏蔽能力较弱的地方作为该墙体的屏蔽厚度。		

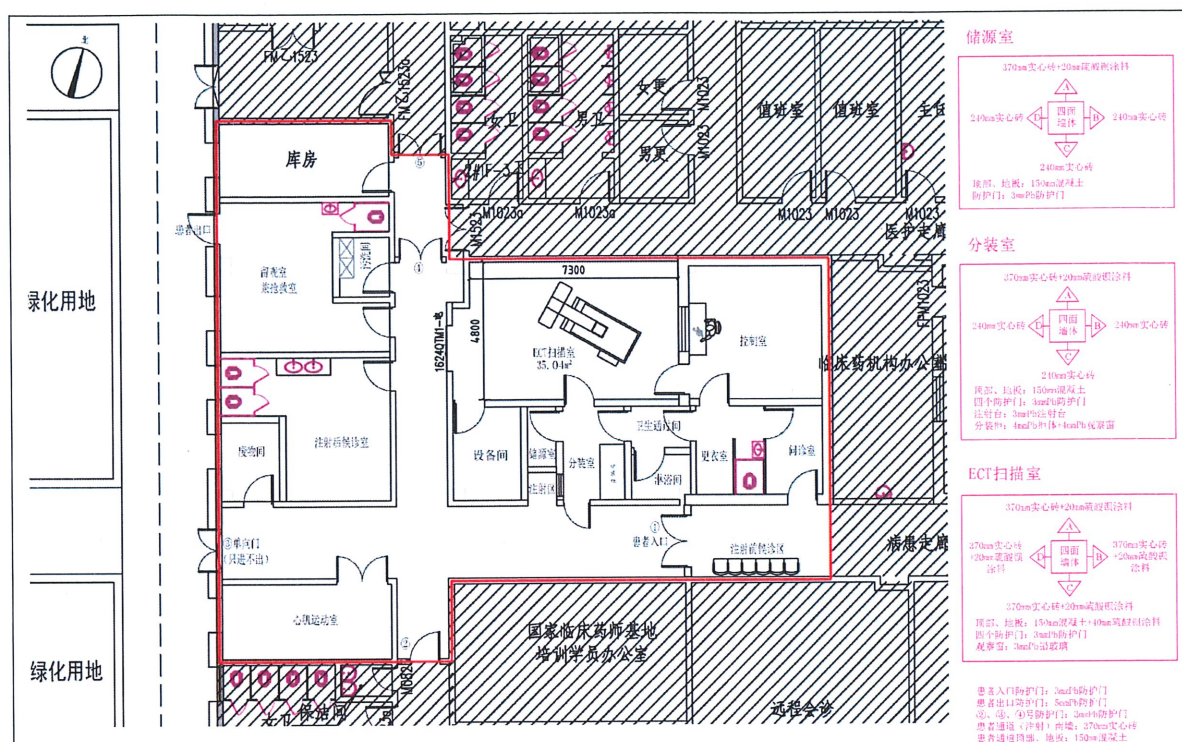


图10-3 主要房间屏蔽参数示意图

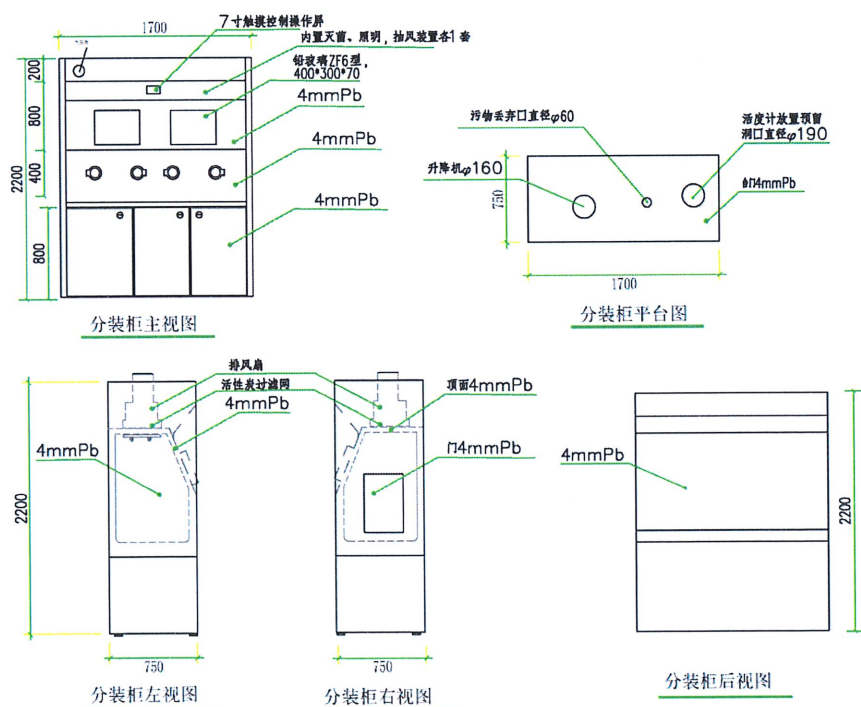


图10-4 分装柜屏蔽设计图

(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	4件
铅帽	0.5mmPb	4顶
铅围脖	0.5mmPb	4件
铅眼镜	0.5mmPb	4副
铅屏风	2mmPb	1件
淋洗出药物转运铅罐	3mmPb	拟配置2个
铅废物桶	10mmPb	8个
注射器铅防护套	3mmPb	6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：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。核医学工	本项目位于医院 2 号医技综合楼 1 楼西侧，该区域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。本项目排风口位于 2 号医技综合楼顶部，已尽可能远离周边高层建筑。	符合

	作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。		
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。	本项目使用的药物为钼-锝发生器淋洗, 特殊情况按需采购分装好的 ^{99m}Tc 药品, 钼-锝发生器由供货商送至储源室暂存, 每天按需淋洗并及时使用; 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, 确保账务相符。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。	符合
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。	本项目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均在分装柜内操作, 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、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, 容器在运送时应有一定的固定措施。	本项目使用的钼-锝发生器配备有专用屏蔽容器, 表面张贴规范的电离辐射标志, 特殊情况采购的 ^{99m}Tc 药品在转运时采取药箱盛装等固定措施。	符合
7	扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。	本项目 SPECT/CT 扫描机房患者进出防护门外上方设置有工作状态指示灯。	符合
8	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	本项目工作场所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	符合

	成交叉污染。	体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。	
9	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。	本项目放射性物质淋洗、测活、分装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统排气口高于所在建筑屋顶,排放口远离邻近的高层建筑。	符合

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、清洗等工作地开展。	在上班之前将钼-锝发生器运送至储源室暂存,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橱应有专用的排风装置,风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置。	本项目工作场所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;两台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	放射性废液衰变池的设置按环境主管	本项目设计有放射性废水衰变池,容积	符合

	部门规定执行。暴露的污水管道应做好防护设计。	能满足废水达标排放要求；废水衰变池采用混凝土一体浇筑，埋于地下，污水管道埋于地下，暴露部分采取铅皮包裹的防护设计，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；SPECT/CT扫描机房西侧患者进出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 SPECT/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、SPECT/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、SPECT/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SPECT/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。

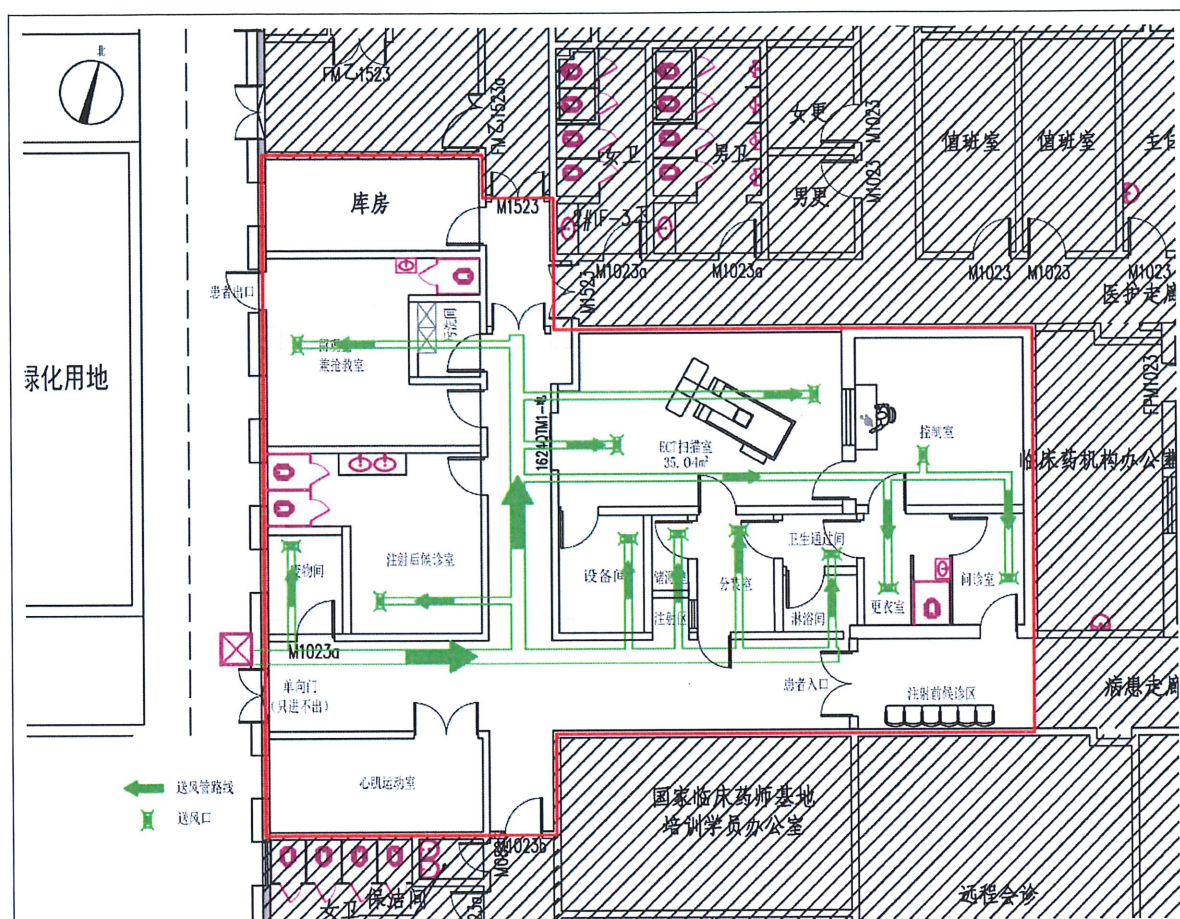


图10-6 本项目工作场所新风示意图

(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 ^{99m}Tc 核素显像诊断患者每天最多为60人，每年最多10000人；来院碘扫患者每天最多为8人（碘扫患者集中时间段安排检查，因扫

描时间限制,当天若有碘扫患者,则相应减少 ^{99m}Tc 显像诊断患者,维持日最大患者量为60人),每年最多1000人;故患者每天最多为60人,每年最多11000人。偏安全考虑,废水量估算按每天最多60人,年工作时间按250个工作日计,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,工作人员清洗去污废水每天约10L,每天产生废水量最大为 0.59m^3 ,每年废水量产生量为 147.5m^3 。

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及碘-131核素的放射性活度浓度满足GB 18871附录A表A1的要求。

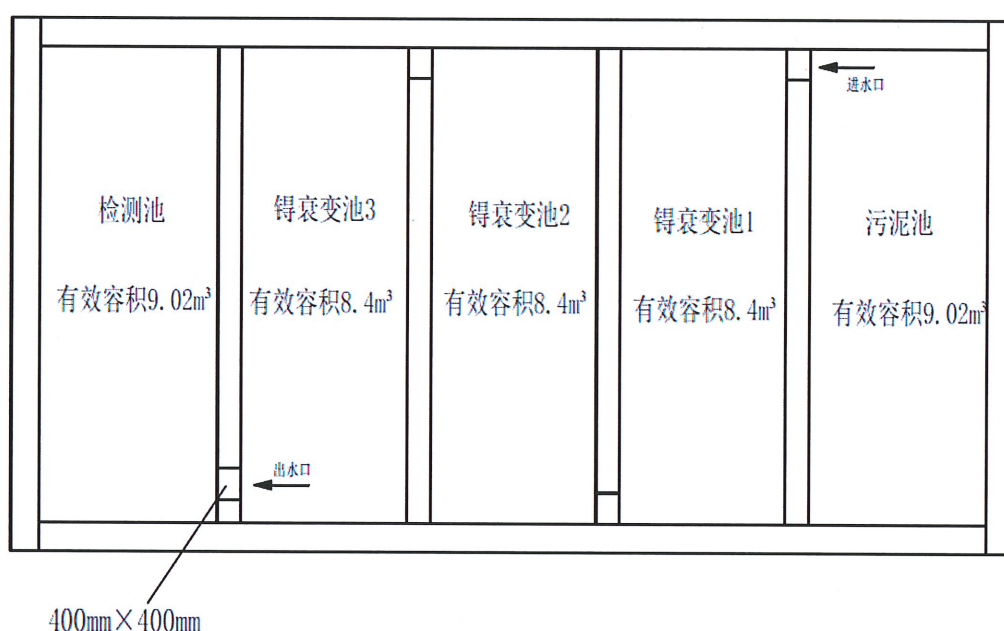


图10-7 废水衰变池平面布局图

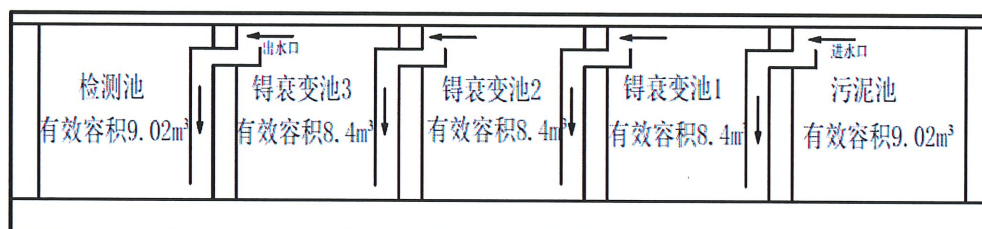


图10-8 废水衰变池剖面示意图

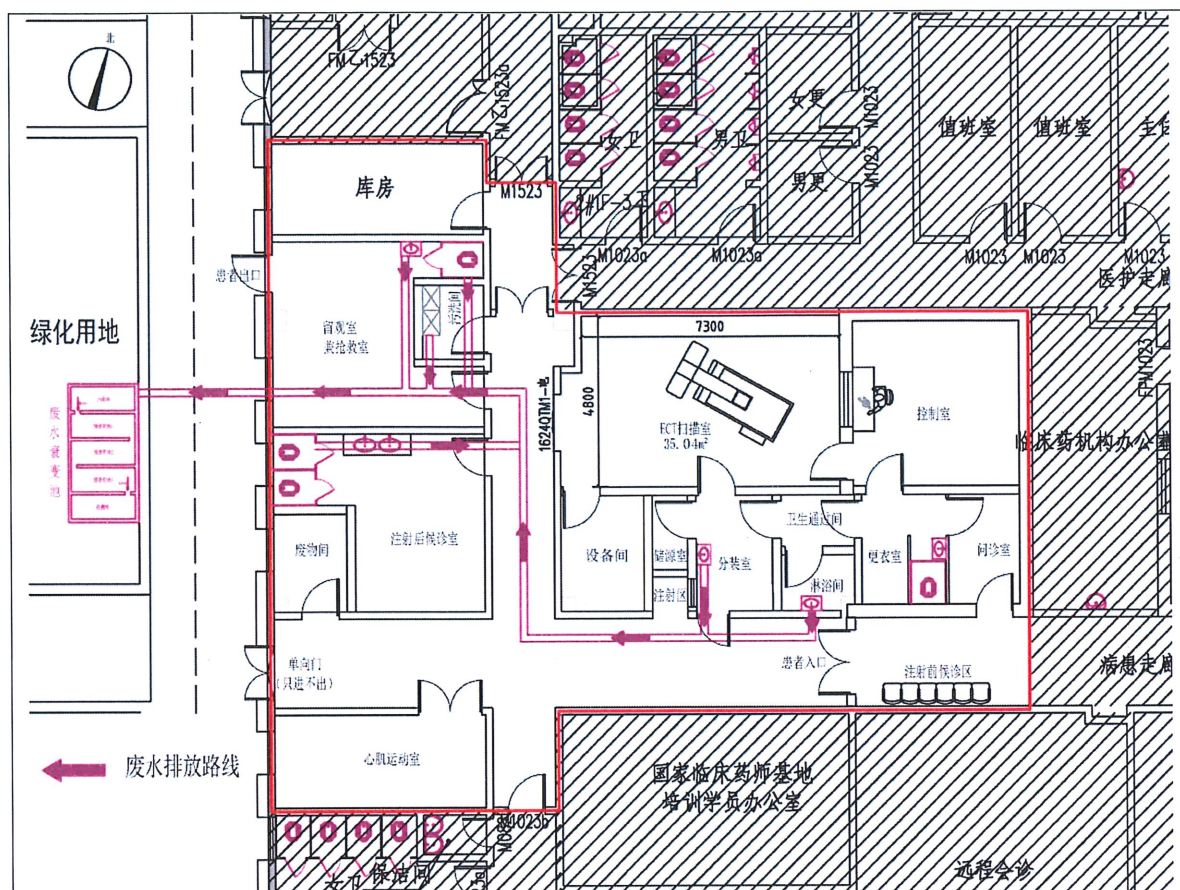


图10-9 放射性废水收集管线示意图

(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，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。正常运行时，仅产生含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （半衰期 6.02h ）核素的放射性固体废物，所含核素半衰期小于 24h ，暂存时间超过 30d ；事故工况下，产生的少量含 ^{131}I 核素的放射性固体废物，暂存时间超过 180d 。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/cm^2 ， β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 ，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。	本项目产生的 ^{99m}Tc （半衰期 6.02h）核素的放射性固体废物，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。事故工况下，产生的少量含 ^{131}I 核素的放射性固体废物，分类收集、分别处理。	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	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	符合

	库时间和监测结果等信息。	人员、出库时间和监测结果等信息。	
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43.24m 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形物，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，确保碘-131核素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。	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 ^{99m}Tc 进行显像诊断，利用该SPECT/CT设备进行碘扫（仅对病人进行扫描，不服药）工作。

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：

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

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

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 ^{99m}Tc 用药量为 $925\text{MBq}(25\text{mCi})$ ，日最大诊疗人数为60人。①使用钼-锝发生器淋洗 ^{99m}Tc ，拟购买 500mCi /个的钼-锝发生器，单次淋洗 ^{99m}Tc 最多为 500mCi ；②直接购买按单人用量分装好的 ^{99m}Tc 药品，单个包装不超过 500mCi 。故分装柜按 $18500\text{MBq}(500\text{mCi})$ 的药量去估算其屏蔽能力，分装室、患者通道、SPECT/CT机房、患者进出口防护门按单个受检者的 ^{99m}Tc 用药量估算其屏蔽厚度，注射后候诊室、留观室按最多同时容留3名 ^{99m}Tc 患者进行计算，心脏显像诊断患者每年约200人，心肌运动室按同时容留1名患者进行计算，患者注射后候诊时间约为30min，扫描时间约为15min，留观时间约为30min。碘扫患者不在本项目工作场所服药，仅使用该项目SPECT/CT设备进行碘扫，偏安全考虑，碘扫患者体内 ^{131}I 核素的量按出院患者最大值 400MBq 进行屏蔽计算，每天最大诊疗人数为8人（因扫描时间限制，当天若有碘扫患者，则相应减少 ^{99m}Tc 显像诊断患者，维持日最大患者量为60人），碘扫患者经西南侧防护门直接进入注射后候诊室候诊（最多1名碘扫患者候诊，有碘扫患者时不同时容留 ^{99m}Tc 患

者候诊)，每名患者扫描时间约15min，碘扫后无需留观，故碘扫患者仅考虑注射后候诊室和SPECT/CT机房的屏蔽计算。本项目拟购铅废物桶尺寸为400mm×400mm×400mm，偏安全考虑，废物桶中放射性废物按点源考虑，废物桶外表面30cm处剂量率按2.5μSv/h进行估算，屏蔽体什值层厚度按^{99m}Tc核素考虑，废物间最多同时暂存4个废物桶。

（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）	
	^{99m} Tc	¹³¹ I
铅	1	11
混凝土（水泥）	110	170
实心砖	160	240
硫酸钡涂料	40	95

（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（μSv·m ² /MBq·h）	
	^{99m} Tc	¹³¹ I
裸源	0.0303	0.0595
注射药物后	0.0207	0.0583

（4）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SPECT/CT机房的屏蔽设计主要按内有1个^{99m}Tc (25mCi)的病人进行屏蔽计算。

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，本项目楼层高度为4.8m，源点距楼上关注点距离为4.1m，距楼下关注点距离为4.1m。

（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、留观室、SPECT/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。

本项目碘扫辐射工作场所各关注点辐射剂量率结果见表11-4。

表11-4 碘扫辐射工作场所关注点辐射剂量率估算结果

由表11-4估算结果可知，本项目碘扫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“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2.5μSv/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10μSv/h。”的要求。

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

外照射人均年有效剂量当量按下式计算：

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

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，μSv/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7人，其中负责摆位、扫描的医技人员2人（轮班上岗），测活及注射2名护士（轮班上岗），主治医生3名，工作人员均为现有核医学科辐射工作人员，不新增。3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待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，^{99m}Tc和碘扫患者均按1/10患者需要近距离协助摆位，协助摆位每例需1min，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；^{99m}Tc和碘扫患者扫描时长均按15min/例，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。

分装室工作人员在发生器转移、淋洗、测活、分装、注射器转移、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，每天需进行淋洗^{99m}Tc药品2min/天；每天需进行测活、分装过程30s/人次、注射器转移6s/人次、注射操作30s/人次；b、全年规划^{99m}Tc检查最大10000人次，

碘扫最大 1000 人次；c、工作人员在淋洗、测活、分装时受照剂量按分装柜正面 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。

发生器转移时工作人员受照剂量按钼-锝发生器表面 30cm 处剂量率计算，钼-锝发生器表面 30cm 处的剂量率参照《广西壮族自治区人民医院 2022 年改扩建核医学科核技术应用项目验收监测报告》（桂辐（委托）字〔2025〕第 92 号）中的数据，类比项目钼-锝发生器淋洗药量为 674mCi，大于本项目使用的钼-锝发生器药量 500mCi，偏安全考虑，类比可行，类比项目钼-锝发生器表面 30cm 处剂量率为 20.3 μ Sv/h，转移次数按 10 次/天（5 个来回），每次用时 30s，每年工作 250 天。

本项目辐射工作人员的年有效剂量估算结果见表 11-5。

表11-5 辐射工作人员年有效剂量估算结果

由表11-5可知，本项目职业人员护士受到的年有效剂量最大为2.19E-01mSv/a，技师受到的年有效剂量最大为9.74E-02mSv/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，根据辐射工作人员最新4个季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0.38mSv/a，摆位、扫描的技师年受照剂量最大值为0.64mSv/a，故该项目运行后致辐射工作人员护士个人年受照剂量叠加值最大为0.60mSv/a，技师个人年受照剂量叠加值最大为0.74mSv/a，均低于《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，^{99m}Tc显像诊断患者每年最多为10000人，其中心脏显像诊断患者每年约200人，每名患者注射0.5min，注射后候诊约为30min，扫描时间约为15min，留观时间约为30min；碘扫患者每年最多为1000人，每名患者候诊约15min，扫描约为15min。根据表11-3、表11-4预测结果，各区域公众成员受照剂量估算结果见表 11-6。

表11-6 公众成员受照剂量估算结果

从表11-6估算结果可知，在核医学科周边（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0.065mSv/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 三废环境影响分析

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。

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。

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。

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。

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：

组 长：*** 副组长：*** 成 员：***

领导小组下设办公室，设在医务科，承担领导小组日常工作。

相关职能部门工作职责：

由医务科牵头，联合其他行政职能部门共同完成放射卫生安全与防护管理工作，具体分工如下：

1、医务科

（1）根据设备新增情况，负责组织放射诊疗科室按相关规定办理放射诊疗项目的动态申报或变更手续。

（2）汇总整理放射性同位素与射线装置的安全和防护状况年度评估报告。

（3）负责保管《辐射安全许可证》（正副本），《放射诊疗许可证》（正副本）。

（4）根据我院放射卫生安全与防护工作实际，牵头组织各职能部门（医学装备部、医保保健科、总务科、保卫科等）对相关放射卫生安全与防护管理科室进行定期督查，落实辐射安全管理各项制度，对发现问题及时督查整改。

（5）每年组织放射诊疗科室进行应急预案及辐射应急演练。

2、宣传科

（1）协助相关学科做好医院放射卫生安全和防护管理工作的宣传。

（2）协同组织医院辐射事件的新闻发布和媒体应对工作。

3、医学装备部

（1）负责放射诊疗设备采购及出入库登记管理，建立放射诊疗设备清单；对终止使用的I类、II类、III类放射源场所、终止生产放射性同位素的场所，以及终结运行后

产生放射性污染的射线装置，依法实施退役。

(2) 负责为放射诊疗设备办理建设项目职业病危害放射防护预评价、环境预评价、控评及建设项目竣工、环评验收及使用前备案，负责办理《辐射安全许可证》，动态将新增设备纳入《辐射安全许可证》。

(3) 按上级相关部门要求对放射诊疗设备、防护设备性能及场所进行年度检测，并按要求建立检测报告档案。

(4) 定期整理设备台账明细清单。

(5) 按上级相关部门要求完善辐射安全管理方面的环保审批、验收等资料并分类集中管理。

(6) 按上级相关部门要求定期进行放射性活度计和放射性巡测仪等仪器检测。其中，放射性活度计每两年进行一次检测，放射性巡测仪每年进行一次检测。

(7) 每年定期进行大型放射诊疗设备的性能检测。

4、药剂科

(1) 负责办理《放射性药品使用许可证》和放射性药品的转让审批及放射性药物采购、验收、管理、发放，并做好相关记录。

(5) 负责对使用的放射性药品进行临床质量检验，收集药品不良反应等工作，并定期向所在地药品监督管理、卫生行政部门报告。

5、医保保健科

(1) 负责组织放射工作人员参加职业健康检查、开展个人剂量监测及参加放射防护和有关法律培训等，并按要求对放射工作人员建立个人剂量监测、职业健康管理及教育培训档案，其中培训考核包括岗前培训（新入职放射工作人员）、岗中培训（1次/2年/人）。每季度进行放射科工作人员的个人剂量监测，职业健康检查包括岗前体检（新入职放射工作人员）、岗中体检（1次/2年/人）、离岗体检。国家核技术利用辐射安全与防护网络培训考试（1次/5年/人）。

(2) 协助对放射工作人员的个人剂量监测结果预警通知对防护措施的落实情况进行监督、指导。

(3) 配合放射卫生安全与防护管理领导小组开展工作。

6、总务科

(1) 负责医院新建、扩建或改建的放射防护工程建设项目设计（根据相关部门提

供的建设项目职业病危害放射防护预评价、环境预评价要求完成设计）、施工、验收，若项目需要竣工环境保护验收及备案（排污许可方面）由总务科负责，并将验收资料归档到医院档案室。

（2）负责按《排污许可证》的相关要求完成放射性废水的监测和管理。

（3）负责放射诊疗工作场所电离辐射警告标识的制作（放射诊疗设备电离辐射警告标识设置以及必要的中文文字说明等由使用部门提供）、悬挂及更换工作。

7、保卫科

负责对放射诊疗科室及放射源保管的治安及消防安全管理进行监督和定期巡查，做好巡查记录台账；发现问题及隐患要及时报告。对出现放射诊疗设备和放射源丢失、被盗等事件时及时做好现场保护、控制，协助公安部门做好调查和侦破工作。

8、放射诊疗科室

（1）认真遵守放射诊疗操作规章和规程，保证放射诊疗质量和安全。

（2）认真遵守落实医院健康监护规定及各项放射防护措施，确保操作人员及患者安全。

（3）做好放射性同位素购入审核、使用登记和安全管理工作，防止发生放射源流失或被盗等放射事件。

（4）按规定对放射性废物进行规范处置。

（5）配合有关部门开展安全与防护监督检查，并提供必要的资料。

（6）协助上级主管部门对本科室的放射诊疗工作场所进行放射防护检测，并建立档案。

（7）对放射事件及时向放射诊疗管理部门进行报告。

建设单位成立了放射防护领导小组并明确了其职责，职责的内容较为全面，符合相关法规要求。

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《广西医科大学附属肿瘤医院放射卫生安全与防护管理规定（2024 年修订）》、《广西医科大学附属肿瘤医院放射事故处理应急预案（2024 年修订）》、《辐射安全管理制度》、《放射工作单位管理制度》、《放射工作人员管理制度》、《辐射工作人员岗位职责管理制度》、《放射性核素管理制度》、《放射源管理制度》、《射线装置管理制度》、《广西医科大学附属肿瘤医院放射工作人员个人剂量监测管理制度》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，建设单位将本项目的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。本项目拟配备的辐射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剂量监测）。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

本项目为乙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《广西医科大学附属肿瘤医院辐射事故处理应急预案（2024 年修订）》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，小组成员名单及职责如下：

组 长：*** 副组长：*** 成 员：***

工作职责：

- （1）组织放射诊疗科室制定核与放射性污染事故应急救援预案，并定期组织演练，根据情况变化，及时对预案进行调整、修订和补充。
- （2）根据事故发生情况迅速启动预案，统一部署应急救援预案的实施工作，并对应急预案救援工作中发生的争议采取紧急处理措施。
- （3）根据事故灾害情况，有危及周边单位和人员的险情时，组织人员处理事故源和物资疏散工作。
- （4）负责与上级主管部门和当地环保部门的联络、报告应急处理工作，配合做好事故调查和审定。
- （5）做好稳定社会秩序和伤员的善后处理工作。
- （6）适时将事故的原因、责任及处理意见予以公布。

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

广西医科大学附属肿瘤医院五象院区新建 SPECT/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

本项目场所建于医院五象院区 2 号医技综合楼 1 楼 ECT 场所，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，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,正常运行时,仅产生含^{99m}Tc(半衰期6.02h)核素的放射性固体废物,所含核素半衰期小于24小时,暂存时间超过30天;事故工况下,产生的少量含¹³¹I核素的放射性固体废物,暂存时间超过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,广西医科大学附属肿瘤医院五象院区新建SPECT/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	公 章 年 月 日
审批意见:	
经办人	公 章 年 月 日