

编号：GXPX-FS-20231201

核技术利用建设项目
核医学科核技术应用项目
环境影响报告表
(公示本)

建设单位：来宾市人民医院

二〇二三年十二月

评价单位：广西品信工程咨询有限公司

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	15
表 3 非密封放射性物质	16
表 4 射线装置	17
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	18
表 6 评价依据	19
表 7 保护目标与评价标准	21
表 8 环境质量和辐射现状	27
表 9 项目工程分析与源项	33
表 10 辐射安全与防护	54
表 11 环境影响分析	93
表 12 辐射安全管理	111
表 13 结论与建议	115
表 14 审批	118

附件:

- 附件 1 委托书
- 附件 2 发改委项目代码备案
- 附件 3 辐射安全许可证
- 附件 4 现状监测报告
- 附件 5 医院成立辐射安全与防护机构文件
- 附件 6 辐射事故应急处置预案
- 附件 7 CT 机类比监测结果
- 附件 8 校准源类比监测报告

表1 项目基本情况

建设项目名称	核医学科核技术应用项目				
建设单位	来宾市人民医院				
法人代表	李荣成	联系人	***	联系电话	***
注册地址	来宾市盘古大道东 159 号				
项目建设地点	来宾市盘古大道东 159 号医院北侧致远楼一层				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资(万元)	5000	项目环保投资(万元)	500	投资比例(环保投资/总投资)	1%
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积(m ²)	--
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input checked="" type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
<input checked="" type="checkbox"/> 使用		<input type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类			
其他					
1.1 医院概述 <p>来宾市人民医院成立于 1951 年，2020 年 11 月晋升为来宾市唯一一家国家三级甲等综合医院，是广西高等医学院校 A 级教学医院、桂林医学院来宾临床医学院、广西医科大学教学医院、广西医科大学第一附属医院技术协作医院。医院开放床位数约 1660 张，设有 30 个行政职能科室、32 个临床科室和 8 个医技科室。</p> <p>医院拥有 50 万元以上设备 135 台(件)，包括 1.5T 和 3.0T 核磁共振系统各 1 台、直线加速器 1 台、64 排 128 层高端螺旋 CT 2 台、数字化血管造影机 2 台、动态平板 DR 胃肠机 1 台、数字化 DR 5 台、4K 超高清腹腔镜 2 台、人工心</p>					

肺机 1 台、体外肺膜氧合系统（EMCO）1 台、高压氧舱 1 台、高级荧光手术显微镜 1 台等一大批先进医疗设备，是全区首个在智能化轨道物流系统全覆盖的医院。建成医院临床能力模拟培训中心、会议中心、电生理中心、内镜中心，成功启用 115 间智慧病房，整体硬件设施及环境达全区一流水平。

医院为国家爱婴医院、国家级胸痛中心、国家级脑出血外科诊疗基地，以及广西优生优育协会专家基层技术培训基地，拥有自治区级临床重点专科 2 个，市级重点专科 8 个，国家级限制类技术 2 个，自治区级限制类技术 11 个。成立中国医学科学院阜外医院心血管病技术培训中心、北京骨科专家博士工作室、广西医科大学第一附属医院儿科博士工作室，胸心血管外科、心内科、骨科等领军学科比肩区内先进行列。

1.2 项目建设目的、概况、规模

为满足发展的需求，医院拟在来宾市盘古大道东 159 号医院北侧致远楼一层新建核医学科，开展核医学诊疗业务。

本核医学科核技术项目建设内容包括：1 间 PET/CT 检查室及其配套用房（操作间、氟分装室、氟注射室、污物间、氟注射后候诊室、设备间、质控室）、1 间 SPECT/CT 检查室及其配套用房（操作间、锝分装室、锝注射室、锝注射后候诊室、运动负荷室、设备间等）、¹³¹I 治疗甲亢及甲癌业务用房（碘分装、自动分装控制室、服药室、2 间甲癌住院病房）、2 间留观/抢救室（诊断区 1 间、治疗区 1 间）、储源室、2 间固废间（诊断区 1 间、治疗区 1 间）、2 间清洗间（诊断区 1 间、治疗区 1 间）、甲测室、缓冲区、卫生通过间、各类非辐射用房（医生办公室、诊室、阅片室、值班室、护士站、实验室等）。项目配备 1 台 SPECT/CT（属于Ⅲ类射线装置），利用钼锝发生器淋洗 ^{99m}Tc 开展影像检查；配备 1 台 PET/CT（属于Ⅲ类射线装置），使用 ¹⁸F、⁶⁸Ga 开展影像检查，同时配置 3 枚 ⁶⁸Ge（V 类密封源）做为校准源；使用 ⁸⁹Sr、¹⁷⁷Lu 开展肿瘤治疗；使用 ¹³¹I 治疗甲亢、甲癌。该项目辐射工作场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。

本次评价项目规模为：使用乙级非密封放射性工作场所 1 处、Ⅲ类射线装置 2 台、V 类密封放射源 3 枚。

1.3 任务由来

依据《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》、《建设项目环境保护管理条例》等法律法规要求，来宾市人民医院新建核医学科核技术应用建设项目需开展辐射环境影响评价，办理辐射环境影响评价审批手续。该项目属于《建设项目环境影响评价分类管理名录》中 172 核技术利用建设项目中“制备 PET 用放射性药物的及乙、丙级非密封放射性物质工作场所（医疗机构使用植入治疗用放射性粒子源点除外）”，必须编制辐射环境影响报告表，办理辐射环境影响评价审批手续。为保护环境，保障公众健康，来宾市人民医院委托广西品信工程咨询有限公司对该项目进行辐射环境影响评价。

环评单位在现场调查和理论分析论证的基础上，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》（HJ 10.1-2016）的要求，编制来宾市人民医院核医学科核技术应用项目环境影响报告表。

1.4 原有核技术利用项目许可情况

1.4.1 原有辐射安全许可证情况

来宾市人民医院取得了辐射安全许可证（证号：桂环辐证[G0206]），许可范围为：使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所；许可证有效期至 2027 年 08 月 28 日。许可使用射线装置共 22 台（列表见表 1-1），已许可非密封源工作场所为使用¹²⁵I 粒子源开展植入治疗项目，辐射安全许可证见附件 3。

表 1-1 医院已许可射线装置列表

1	模拟定位机	SL-IC	Ⅲ类	放疗室	在用
2	数字减影血管造影系统	AXIOMAPTISFA	Ⅱ类	医技楼一楼	在用
3	医用直线加速器	PRIMU	Ⅱ类	放疗室	在用
4	数字化 X 射线摄影系统	CXD-MDG85	Ⅲ类	医技楼一楼	在用
5	乳腺 X 射线机	PLANMED SOPHIE	Ⅲ类	医技楼一楼	在用
6	移动 C 型臂 X 射线机	ARCAD IS Varic	Ⅲ类	住院楼三楼	在用
7	口腔 X 射线数字化体层摄影机	Cs9000c3D	Ⅲ类	门诊楼四楼	在用
8	X 射线机计算机体层摄影系统	SOMATOM Definition AS 128	Ⅲ类	医技楼一楼	在用
9	移动式数字化医用 X 射线摄影系统	MobileDiagnostw DR	Ⅲ类	医技楼一楼	在用
10	数字化 X 射线摄影系统	RAD SPPEED M	Ⅲ类	医技楼一楼	在用
11	数字化医用 X 射线摄影系统 (DR)	UDR780i	Ⅲ类	医技楼一楼	在用

12	移动式 C 型臂 X 射线机	Cios Select	III类	住院楼三楼	在用
13	X 射线计算机体层摄影系统	Brilliance CT Big Bore	III类	医技楼一楼	在用
14	数字化 X 射线摄影系统	GDX-EAGLE	III类	医技楼一楼	在用
15	数字减影血管造影系统	Artis zee III ceiling	II类	医技楼一楼	在用
16	X 射线计算机体层摄影系统	Aquilion Lightning TSX-036A	III类	医技楼一楼	在用
17	数字化 X 射线透视摄影系统（胃肠机）	SONIALVISION C200	III类	医技楼一楼胃肠检查室	在用
18	移动式数字摄影 X 线系统	MUX-200D	III类	医技楼一楼 DR 检查室	在用
19	牙科 X 射线机	RAY68(M)	III类	门诊楼四楼	在用
20	X 射线计算机体层摄影系统	Incisive CT	III类	2 号楼 1 楼感染科 CT 室	在用
21	乳腺 X 射线系统	SeleniaDimensions	III类	2 号楼 1 楼放射科 乳腺检查室	在用
22	医用直线加速器	VitalBeam	II类	综合培训楼负一楼	在用

1.4.2 原有辐射安全管理情况

医院遵守《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。

(1) 医院建立了《辐射工作岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《射线装置使用登记制度》、《辐射事故应急预案》、《自行检查和年度评估制度》、《辐射工作人员培训制度》等一系列制度，并严格按照规章制度执行。

(2) 为加强对辐射安全和防护管理工作，医院成立了辐射安全与环境保护工作领导小组，明确辐射防护责任，并加强了对射线装置的监督和管理，见附件 5。

(3) 医院定期组织辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，接受辐射防护安全知识和法律法规教育，并持证上岗。

(4) 辐射工作期间，要求辐射工作人员佩带个人剂量计，接受职业外照射剂量监测，建立剂量健康档案并存档。医院委托广西华彦检测技术服务有限公司对辐射工作人员开展个人剂量监测。

(5) 医院放射性工作场所均设置有电离辐射警示牌和工作指示灯，并根据

不同项目进行分区管理。

(6) 医院制定了设备定期保养维护制度，定期自行检测设备状况，记录设备日常运行和异常情况。

(7) 近年来医院委托监测机构对辐射工作场所开展辐射环境监测，监测结果显示在用射线装置场所周围辐射剂量率满足相关标准要求。并对医院射线装置安全和防护状况进行评估，并于每年 1 月 31 日前向生态环境主管部门提交上一年度安全评估报告。

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新增核医学项目运行及辐射安全管理基础能力。

1.5 项目场址选址及周边保护目标

1.5.1 项目地理位置

医院地理位置位于来宾市盘古大道东 159 号，地理位置图见图 1-1，医院总平面布置图见图 1-2。

1.5.2 项目场所周边环境状况

(1) 项目所在楼周边环境状况

本项目位于医院北侧致远楼一层，该楼主体为地面 12 层、地下 1 层建筑，东侧部分为地面 2 层、地下 1 层建筑。致远楼东侧为机动车停车场；南侧为学员宿舍楼；西侧为立体停车位、外科妇产大楼（远期规划）；北侧为院外民房；西北侧为战略医疗物资存储仓库。

(2) 项目机房周边 50m 范围环境状况

以核医学科辐射工作场所四周边界为起点 50m 范围内环境状况：东侧 0m~13m 范围内为致远楼楼内相关业务用房、13m~33m 范围内为院内通道、33m~50m 范围内为机动车停车场（最近距离约为 33m）；南侧 0m~11m 范围为致远楼楼内相关业务用房、11m~27m 范围为院内通道、27m~42m 范围为学员宿舍楼（6F，最近距离约为 42m）、42m~50m 范围为院内通道；西侧 0m~22m 范围内为致远楼楼内相关业务用房、22m~29m 范围内为院内通道、29m~50m 范围内为立体停车位（7F，最近距离约为 29m）、外科妇产大楼（远期规划）（11F，最近距离约为 48m）；北侧 0m~15m 范围内为致远楼楼内相关业务用房、15m~49m

范围内主要为院内通道、49m-50m 范围内主要为院外民房（3F-6F，最近距离约为 49m）；西北侧 0m~3m 范围内为致远楼楼内相关业务用房、3m-20m 范围内主要为院内通道、20m-50m 范围内主要为战略医疗物资存储仓库（4F，最近距离约为 20m）；上方主要为会议室、档案室、资料室，下方主要为停车场、直线加速器机房、后装机房。

拟建核医学科现状及周边照片见图 1-3 至图 1-10，项目所在楼层及上下层平面布置示意图见图 1-11～图 1-13。

1.5.3 项目选址合理性

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。”。

该项目核医学辐射工作场所位于致远楼一层，即本项目所在位置属于相对独立区域。经现场调查，本项目选址不毗邻产科、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。因此，项目选址能满足 HJ 1188-2021 第 5.1 的要求。

1.5.4 环境保护目标

本项目评价范围为场所边界周围 50m 范围区域，包括项目所在楼。评价范围内主要环境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、学院住宿楼常驻人员、北侧院外居民房（4 间）常驻人员、就诊患者及陪护家属、其他公众成员。



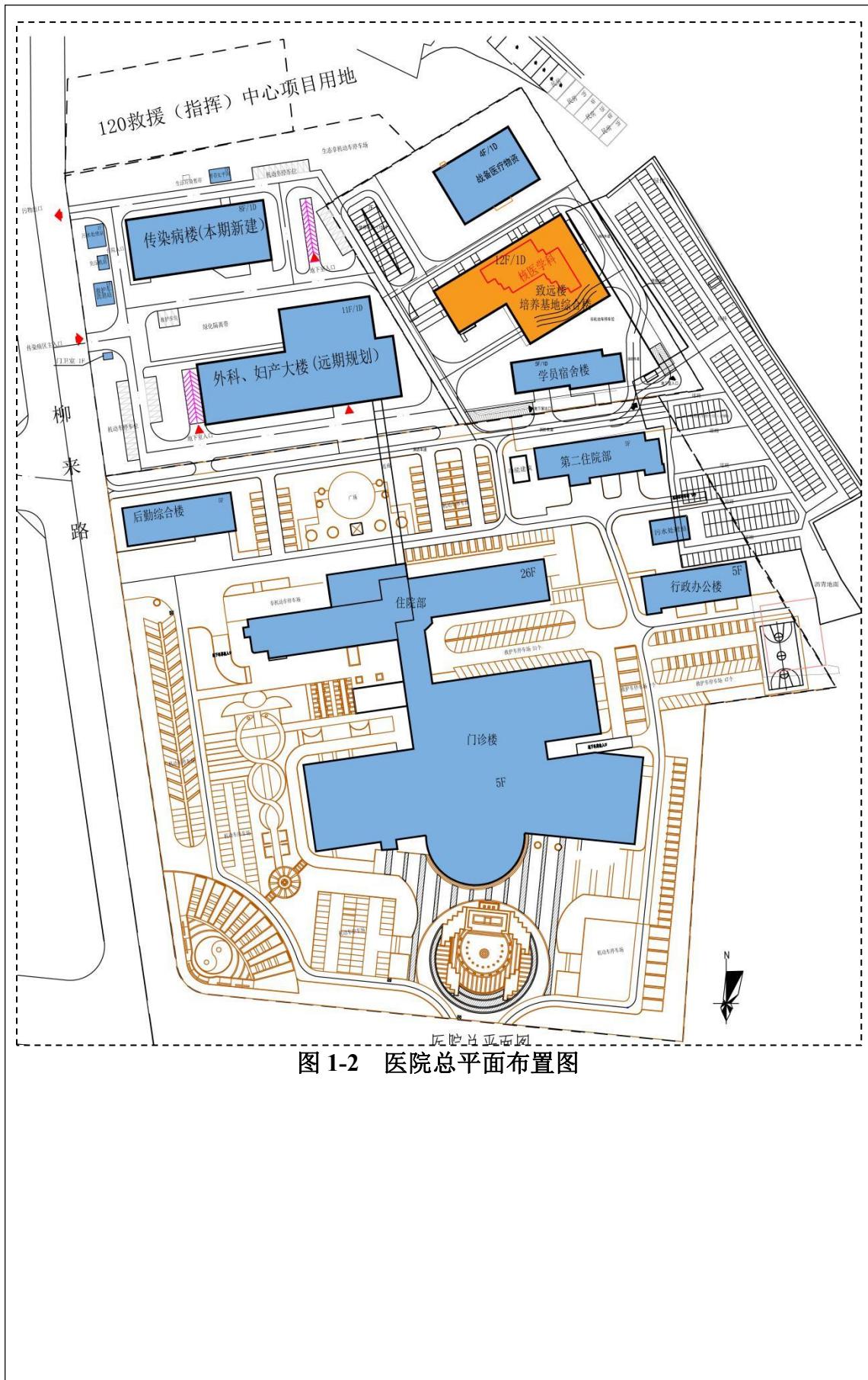


图 1-2 医院总平面布置图



图 1-3 拟建核医学科所在致远楼



图 1-4 拟建核医学科场所现状



图 1-5 致远楼东侧环境现状（停车场）



图 1-6 致远楼南侧环境现状（学员宿舍楼）



图 1-7 致远楼西侧环境现状



图 1-8 致远楼北侧环境现状



图 1-9 核医学场所上方致远楼二层会议室



图 1-10 核医学场所下方致远楼负一层停车场

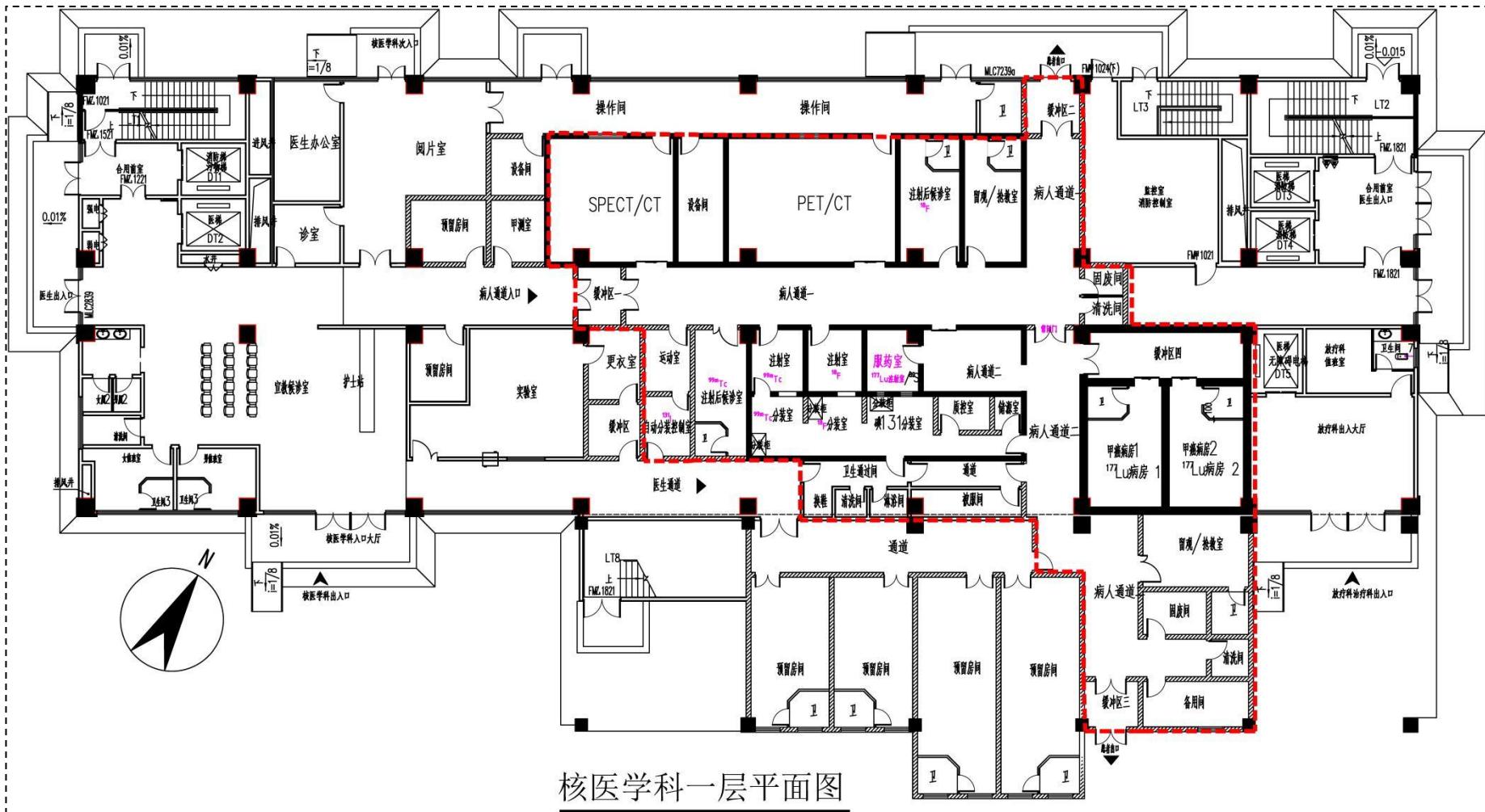


图 1-11 致远楼一层拟建核医学科平面布置示意图

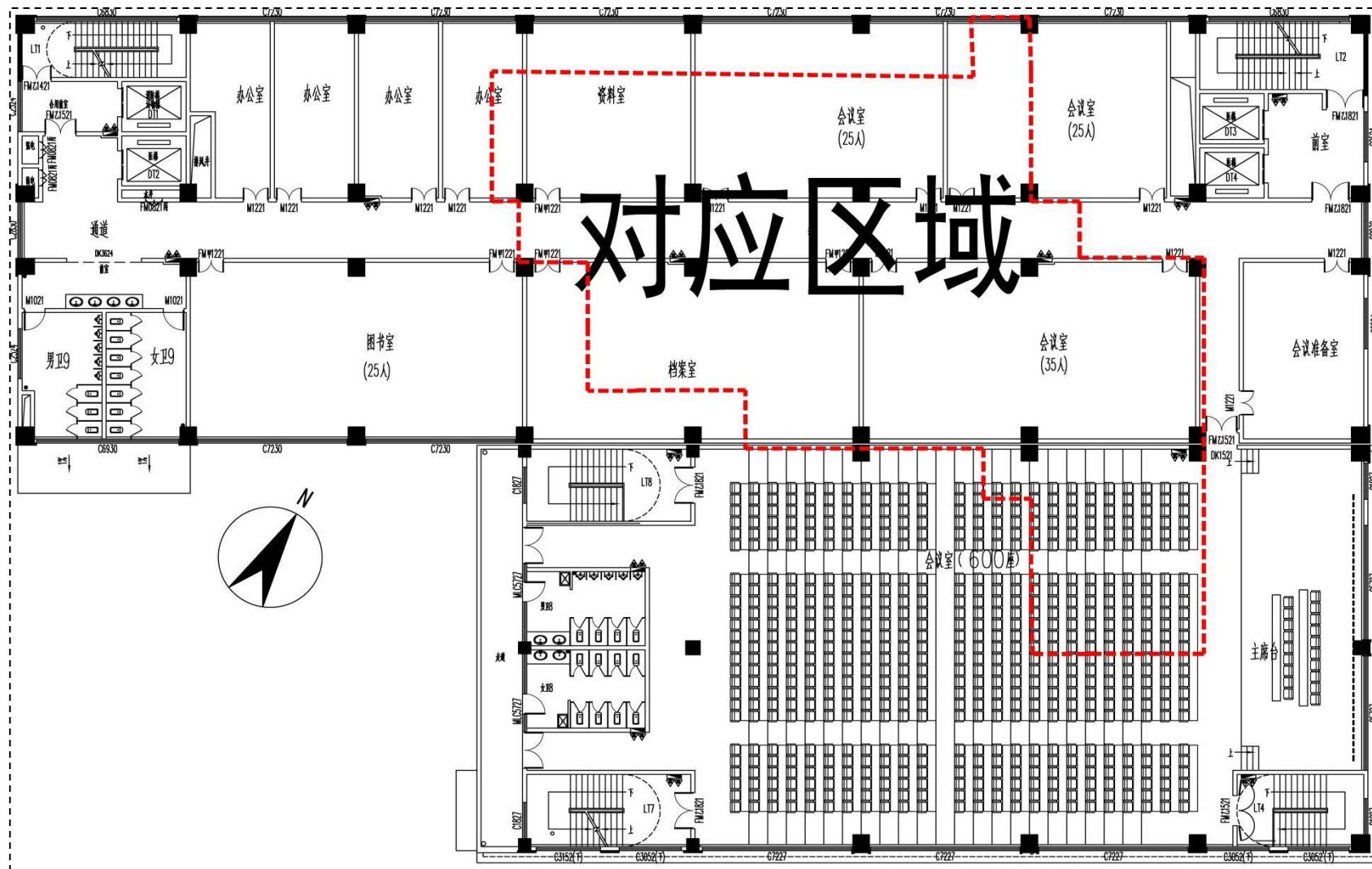


图 1-12 拟建核医学科上方致远楼二层平面布置示意图

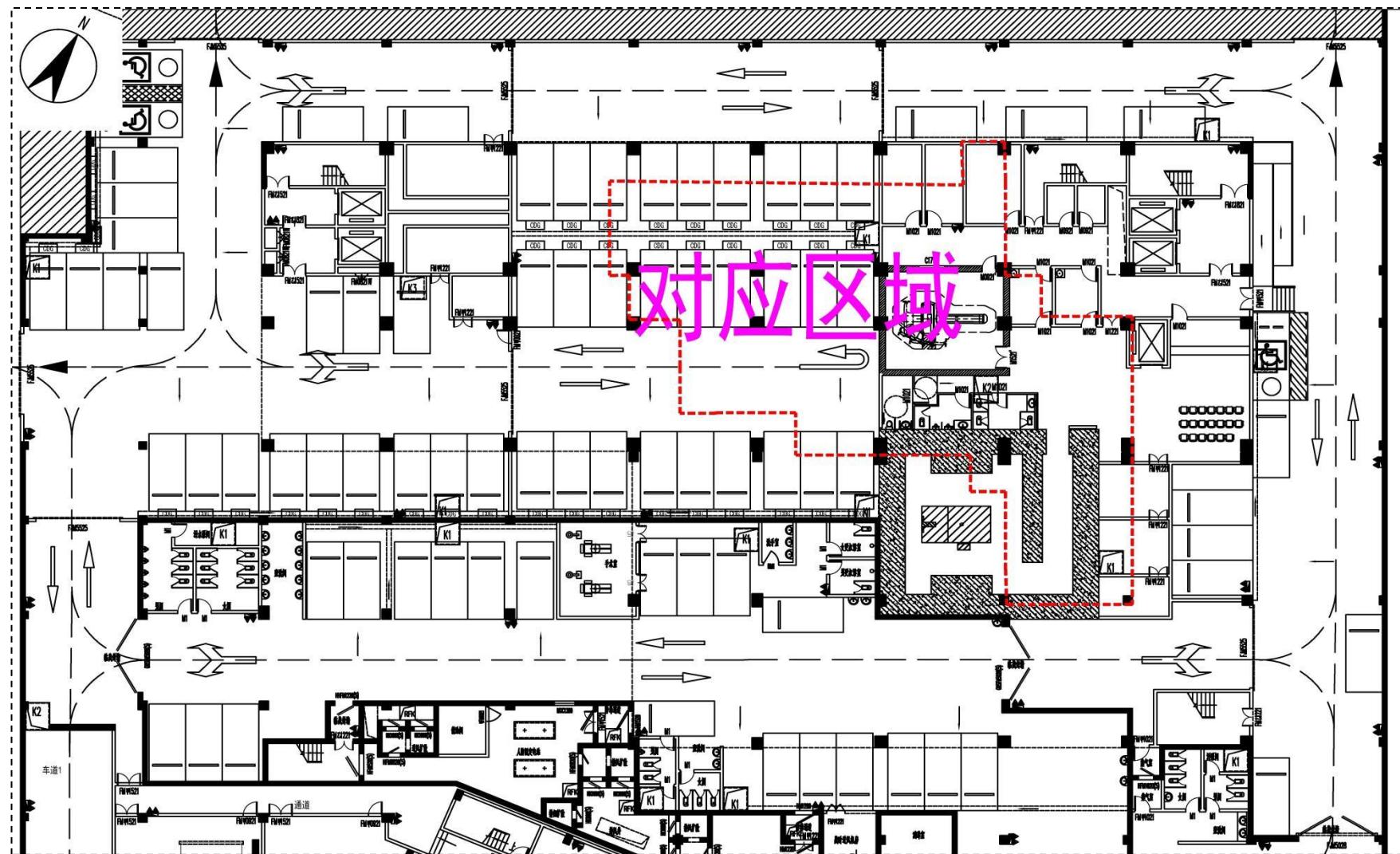


图 1-13 拟建核医学科下方致远楼负一层平面布置示意图

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	$4.6 \times 10^7 \text{Bq} \times 2$ 枚	V类	使用	PET/CT 校准	核医学科 PET/CT 机房	暂存于核医学科储源 室保险柜内	/
2	^{68}Ge	$9.25 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$ 枚	V类	使用	PET/CT 校准	核医学科 PET/CT 机房	暂存于核医学科储源 室保险柜内	/

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	总日等效操作量(Bq)	使用场所	场所分级	贮存方式与地点
1	¹⁸ F	液态	使用	2.22×10^{10}	2.22×10^7	5.55×10^{12}	PET 检查用标记物	很简单	2.6714×10^9	致远楼一层核医学科	乙级	暂存于致远楼一层核医学科氟分装室分装柜内。
2	⁶⁸ Ga	液态	使用	3.7×10^9	3.7×10^6	9.25×10^{11}		很简单				
3	⁹⁹ Mo	液态	使用	1.85×10^{10}	1.85×10^7	1.85×10^{12}	淋洗 ^{99m} Tc	贮存				
4	^{99m} Tc	液态	使用	1.85×10^{10}	1.85×10^7	3.7×10^{12}	SPECT 检查用标记物	很简单				
5	¹³¹ I	液态	使用	1.85×10^{10}	1.85×10^9	2.96×10^{12}	治疗甲亢、治疗甲癌	简单				
6	¹⁷⁷ Lu	液态	使用	7.4×10^9	7.4×10^8	3.7×10^{11}	放射治疗	简单				
7	⁸⁹ Sr	液态	使用	1.85×10^8	1.85×10^7	1.85×10^{10}	放射治疗	简单				按需订购，暂存于致远楼一层核医学科核医学科锝分装室分装柜内。

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），操作方式依照《关于明确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）确定。

表 4 射线装置

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 台	待定	140	450	放射诊断	致远楼一层核医学科 PET/CT 机房	/
2	SPECT/CT	III类	1 台	待定	140	450	放射诊断	致远楼一层核医学科 SPECT/CT 机房	/

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
粘有放射性药品的一次性物品	固体	¹⁸ F、 ^{99m} Tc、 ¹³¹ I、 ⁸⁹ Sr、 ⁶⁸ Ga、 ¹⁷⁷ Lu	/	71.5kg	858kg	/	主要是粘有放射性药品的一次性物品，集中收集于废物防护储物箱后按日期存于放射性固体废物室内衰变。	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) 含 ^{99m} Tc、 ¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga 核素的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；b) 含 ⁸⁹ Sr 核素的放射性固体废物暂存时间超过 506 天；c) 含 ¹³¹ I 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天；d) 含 ¹⁷⁷ Lu 核素的放射性固体废物暂存时间超过 68 天。.
退役密封源	固体密封源	⁶⁸ Ge	/	/	/	/	不暂存。	由放射源生产厂家回收处置。
放射性废水	液态	¹⁸ F、 ^{99m} Tc、 ¹³¹ I、 ⁶⁸ Ga、 ¹⁷⁷ Lu	/	约 44m^3	527.5m^3	/	废水衰变池。	符合 HJ 1188-2021 的排放要求后，排入医院废水处理系统。
放射性废气	气态	¹⁸ F、 ^{99m} Tc、 ¹³¹ I、 ⁶⁸ Ga、 ¹⁷⁷ Lu	/	微量	微量	/	/	高活区工作场所及分装柜等均设有废水收集排放系统，通过管道抽到楼顶，出风口高出建筑屋顶，通风柜风速设计不低于 0.5m/s ，并设有活性炭过滤装置，最终排向大气。

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L ，固体为 mg/kg ，气态为 mg/m^3 ，年排放总量用 kg 。

2.含有放射性的废弃物要注明，其排放浓度用比活度（ Bq/L ，或 Bq/kg ，或 Bq/m^3 ），年排放总量分别用 Bq 和 kg 。

表6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，于 2014 年 4 月 24 日修订公布，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》（2018 年修订版），2018 年 12 月 29 日起实施；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起实施；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修订版），2017 年 07 月 16 日发布实施；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修订），2019 年 03 月 02 日发布实施；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，中华人民共和国环境保护部令第 18 号，于 2011 年 4 月 18 日公布，自 2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（经《关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定》（生态环境部令第 20 号）修改，2021 年 1 月 4 日起实施）；</p> <p>(8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），自 2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(9) 《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；</p> <p>(10) 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；</p> <p>(11) 《产业结构调整指导目录（2019 年）》（国家发展和改革委员会 2021 年第 49 号令），2021 年 12 月 30 日实施；</p> <p>(12) 《关于射线装置分类办法的公告》（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号），2017 年 12 月 5 日；</p> <p>(13) 《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>(14) 《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）。</p>
技术	(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件

标准	<p>的内容和格式》（HJ 10.1-2016），环境保护部；</p> <p>（2）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>（3）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>（4）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>（5）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）；</p> <p>（6）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）；</p> <p>（7）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）；</p> <p>（8）《职业性外照射个人剂量监测规范》（GBZ 128-2019）。</p>
其他	<p>附件 1 委托书</p> <p>附件 2 发改委项目代码备案</p> <p>附件 3 辐射安全许可证</p> <p>附件 4 现状监测报告</p> <p>附件 5 医院成立辐射安全与防护机构文件</p> <p>附件 6 辐射事故应急处置预案</p> <p>附件 7 CT 机类比监测结果</p> <p>附件 8 校准源类比监测报告</p>

表 7 保护目标与评价标准

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）的相关规定，确定以致远楼一层核医学科场所边界为起点，50m 范围内区域为评价范围，包括致远楼在内，评价范围示意图见图 7-1。

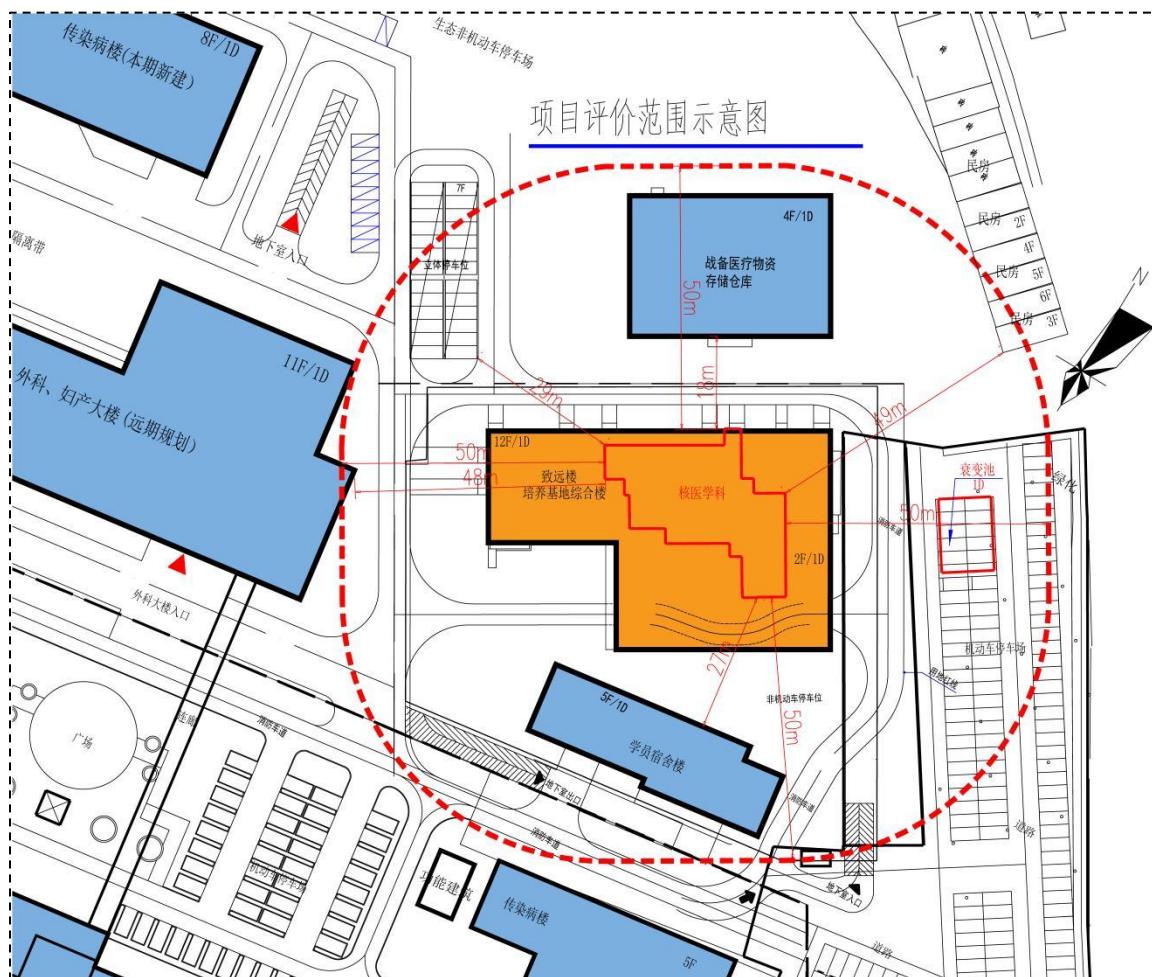


图 7-1 评价范围示意图

7.2 保护目标

评价范围内主要环境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、学院住宿楼常驻人员、北侧院外居民房（4 间）常驻人员、就诊患者及陪护家属、其他公众成员。保护目标受到的辐射照射年剂量应低于各自的辐射照射管理约束值。

本项目环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 环境保护目标一览表

人员类型	保护对象	相对位置	与核医学工作场所距离 (m)	人员数量	年剂量管理约束值
职业人员	核医学科辐射工作人员	内部	--	10 人	5mSv/a
	致远楼其他工作人员	核医学科上下	同一栋楼	约 100 人	
	学员宿舍楼常驻人员	南侧	约 27m	约 120 人	
	立体停车位工作人员	西侧	约 29m	4 人	
	外科、妇产大楼工作人员	西侧	约 48m	约 200 人	
	北侧院外民房常驻人员	北侧	约 49m	约 30 人	
	战略医疗物资存储仓库工作人员	西北侧	约 20m	约 40 人	
	评价范围内逗留或者经过的公众成员	核医学科四周	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

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中第 6.2.1 款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。

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 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

按照《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的要求：

5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m

处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$, 控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$, 宜不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$; 核医学工作场所的分装柜或生物安全柜应采取一定的屏蔽防护, 以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$; 同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。

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/cm^2

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	4
	监督区	
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7-3中所列设备类的控制水平的五十分之一以下时即 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 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 0.1mSv/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/cm^2 、其他 α 发射体应小于 0.4Bq/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 1Bq/L 、总 β 不大于 10Bq/L 、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/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。

（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。

6、CT 机房放射防护要求

依据 GBZ 130-2020 第 6.1.5 款，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 7-4 要求。

表 7-4 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

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

6.2 X 射线设备机房屏蔽：

6.2.1 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护应不低于表 7-5 要求。

表 7-5 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用线束方向铅当量 mm
CT 机房（不含头颅移动 CT）		2.5

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表 7-5 的要求。

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

CT 机机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

医院地理位置位于来宾市盘古大道东 159 号，本项目位于医院北侧致远楼一层，地理位置图见图 1-1，医院总平面布置图见图 1-2，拟建核医学科现状及周边照片见图 1-3 至图 1-10，项目所在楼层及上下层平面布置示意图见图 1-11～图 1-13。

8.2 环境现状评价的对象

环境现状评价的对象为医院核医学科项目场址周围辐射环境现状。

8.3 环境现状辐射监测

来宾市人民医院核医学科新建建设项目场址辐射环境质量现状水平采用现场监测的方法进行调查。

(1) 监测的目的

掌握该医院核医学科新建建设项目场址的辐射环境质量现状水平，为分析及预测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

根据污染因子分析，监测内容为： γ 辐射空气吸收剂量率；评价单位委托广西壮族自治区三一〇核地质大队于 2023 年 10 月 20 日开展监测，监测报告见附件 4。

(3) 监测点位

对项目场址，根据现场条件，合理布点，现状监测布点图见图 8-1～图 8-4。

(4) 监测仪器与监测规范

监测仪器的参数与监测所依据的规范见表8-1。

表 8-1 γ 辐射空气吸收剂量率监测项目、监测仪器及监测方法

仪器名称	X- γ 辐射剂量率仪
仪器型号	FH40G+FHZ672E-10
出厂编号	43328+17810
生产厂家	Thermo 公司
能量响应	40keV～4.4MeV
量 程	1nSv/h～100 μ Sv/h
检定证书	证书编号：hnjlxz2022150-516（检定单位：湖南省电离辐射计量站，有效期：2022 年 08 月 19 日～2024 年 08 月 18 日）
相对固有误差	-8.3%（使用 ^{137}Cs 辐射源）
监测依据	(1) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021) (2) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)

(5) 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监测实行全过程的质量控制，严格按照监测单位《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。

(6) 监测结果

项目场所及周围环境辐射监测结果见表 8-2。

表 8-2 新建项目场所周围环境辐射剂量率现状监测结果

测点编号	测点位置	X- γ 辐射空气吸收剂量率 (nGy/h)		备注
		平均值	标准差	
1	一层核医学科分装室	46.1	0.11	室内
2	一层核医学科锝注射室	31.7	1.67	室内
3	一层核医学科氟注射室	31.7	0.22	室内
4	一层核医学科服药室	32.6	0.82	室内
5	一层核医学科储源室	52.1	1.86	室内
6	一层核医学科锝注射后候诊室	29.5	1.69	室内
7	一层核医学科 SPECT/CT 机房	33.1	1.15	室内
8	一层核医学科氟注射后候诊室	29.9	1.52	室内
9	一层核医学科 PET/CT 机房	33.7	0.53	室内
10	一层核医学科氟锝留观/抢救室	33.3	0.29	室内
11	一层核医学科甲癌病房 1	31.7	1.91	室内
12	一层核医学科甲癌病房 2	30.8	1.16	室内
13	一层核医学科碘留观/抢救室	34.2	2.13	室内

	14	一层核医学科固废室	37.9	1.06	室内	
	15	一层核医学科南侧患者出口	38.7	1.99	室外	
	16	一层核医学科放疗科出入大厅	37.5	1.18	室内	
	17	一层核医学科北侧患者出口	44.7	0.96	室外	
	18	一层核医学科甲测室	64.0	2.18	室内	
	19	一层核医学科病人通道入口	41.6	2.04	室内	
	20	一层核医学科实验室	40.1	1.41	室内	
	21	一层核医学科自动分装控制室	53.2	0.66	室内	
	22	一层核医学科医生通道入口	45.3	0.66	室内	
	23	一层核医学科宣教候诊室	46.9	0.76	室内	
	24	一层核医学科 PET/CT 操作间	31.4	0.35	室内	
	25	一层核医学科 SPECT/CT 操作间	33.4	0.46	室内	
	26	二层核医学科上方会议室（600 座）	27.9	1.38	室内	
	27	二层核医学科上方会议室（35 座）	44.0	0.84	室内	
	28	二层核医学科上方档案室	45.6	1.61	室内	
	29	二层核医学科上方会议室（25 座）	42.3	0.89	室内	
	30	二层核医学科上方资料室	33.7	1.06	室内	
	31	二层核医学科上方办公室(资料室西侧)	35.7	0.71	室内	
	32	负一层医学科下方加速器机房门外	74.3	0.91	室内	
	33	负一层医学科下方定位机房	22.0	0.79	室内	
	34	负一层医学科下方车道（分装室下方）	39.4	1.73	室内	
	35	负一层医学科下方停车位（PET/CT 机房下方）	29.8	1.01	室内	
	36	项目所在楼东侧 1m	51.0	0.49	室外	
	37	项目所在楼东侧废水衰变池上方	30.8	0.85	室外	
	38	项目所在楼南侧 1m	29.4	0.94	室外	
	39	学院宿舍楼北侧 1m	35.4	1.73	室外	

40	项目所在楼西侧 1m	66.6	0.79	室外
41	立体停车位处	61.5	1.44	室外
42	项目所在楼北侧 1m	56.9	0.79	室外
43	战备医疗物资存储仓库南侧 1m	40.4	0.54	室外
室内测值范围		22.0~74.3	/	/
室外测值范围		29.4~66.6	/	/

注：1、监测结果已扣除宇宙射线响应值；

2、参照 HJ 1157-2021，X-γ 辐射空气吸收剂量率与周围剂量当量率换算系数取 1.2 Sv/Gy。

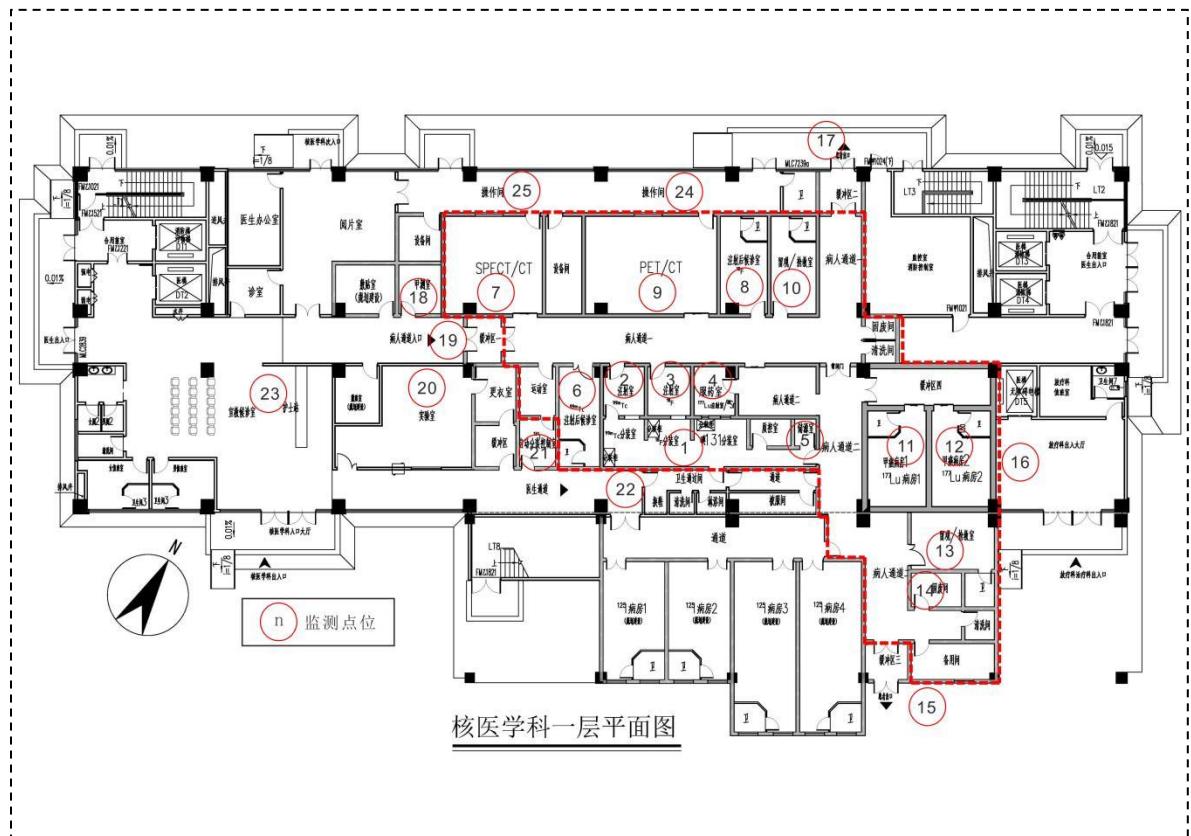


图 8-2 监测布点图（致远楼一层）

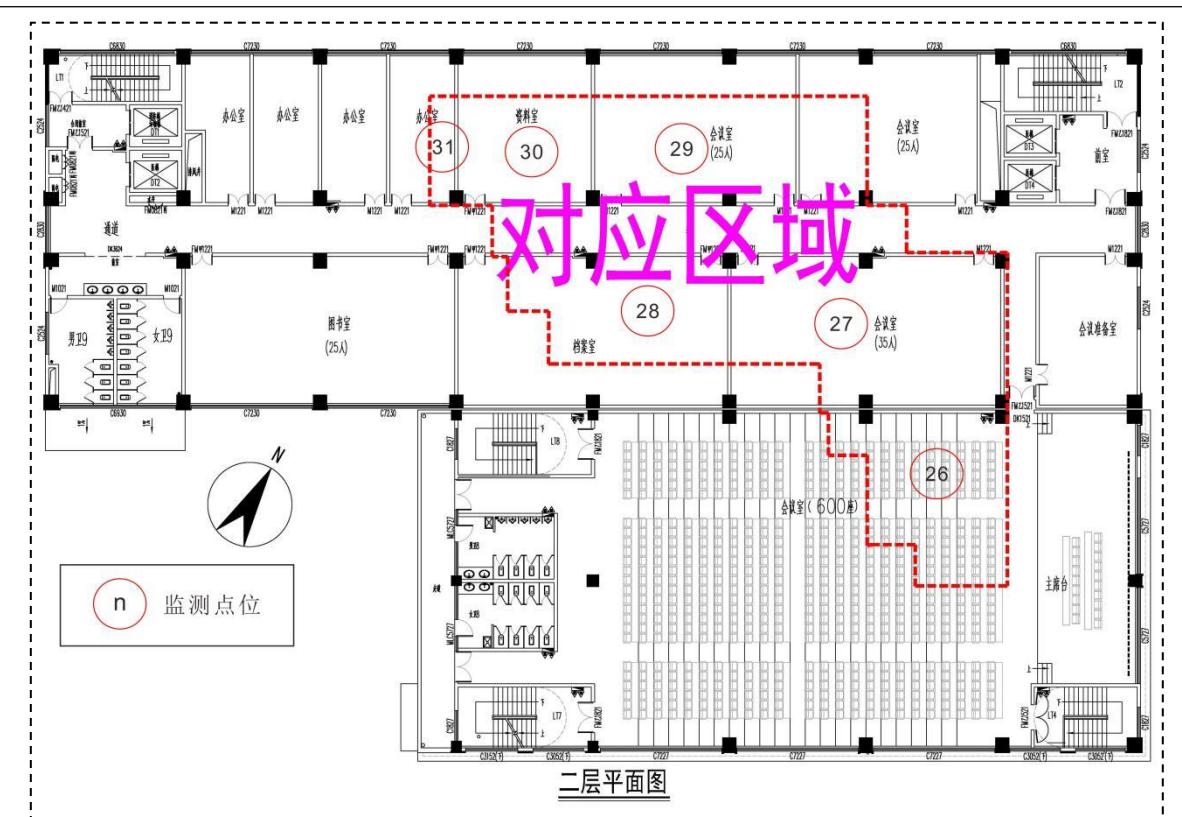


图3 监测布点图（致远楼二层）

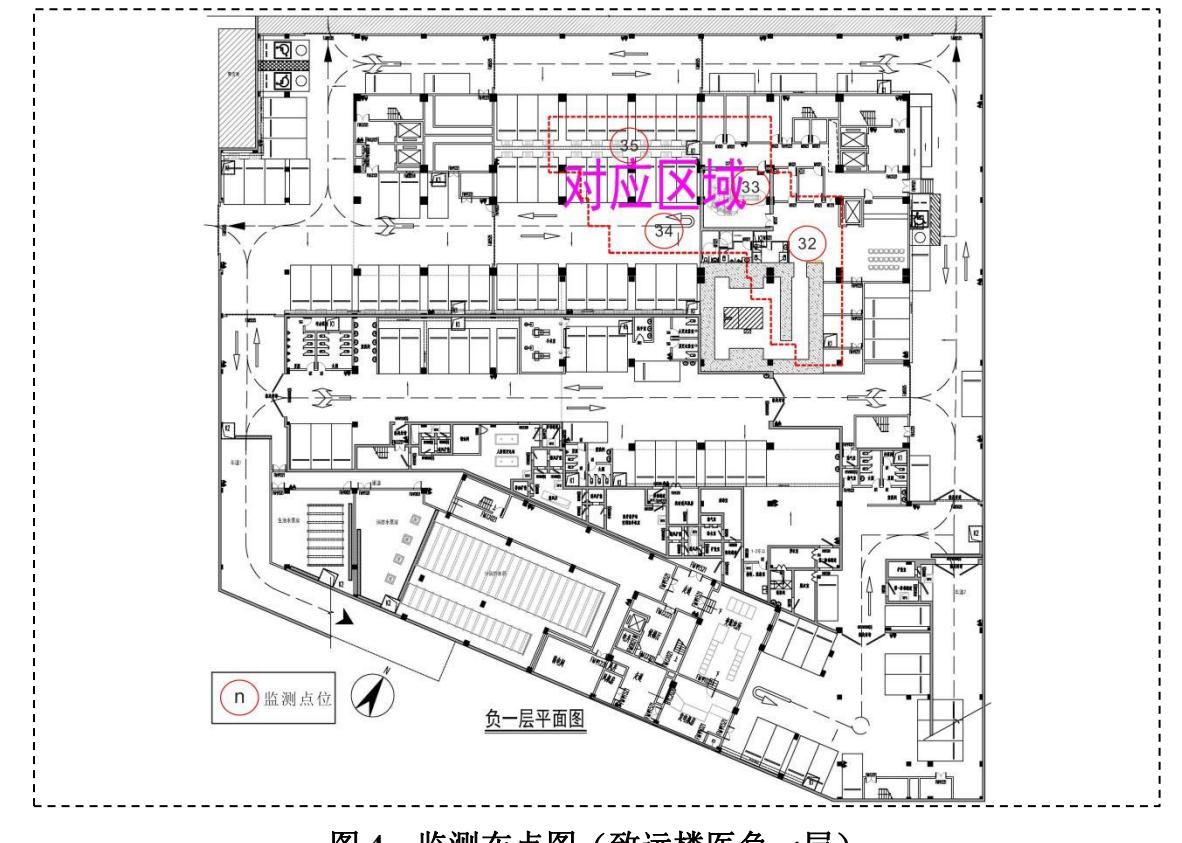


图4 监测布点图（致远楼医负一层）

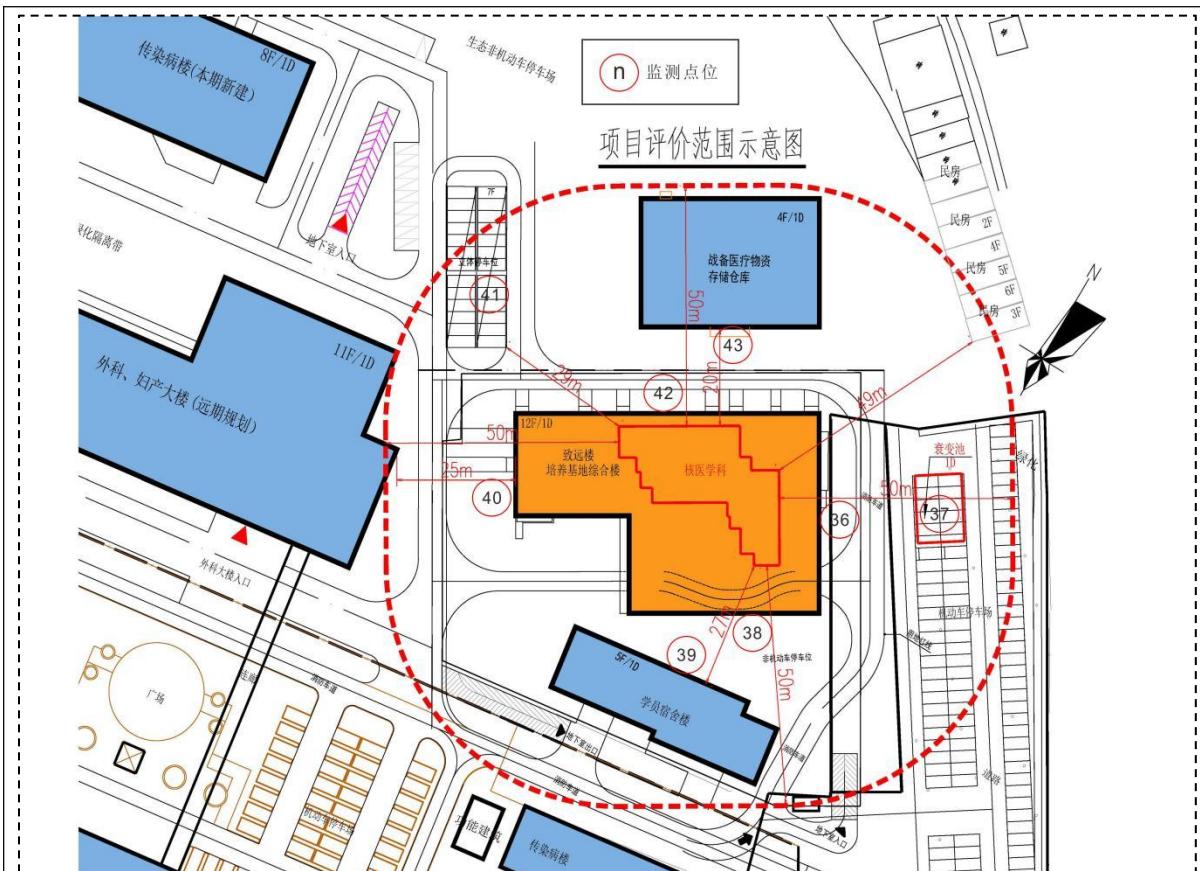


图5 监测布点图（致远楼外评价范围内）

8.4 辐射环境质量现状评价

由表8-2的监测结果可知，本项目场所及周围区域环境室内测点 γ 辐射剂量率在22.0~74.3nGy/h范围内（已扣除宇宙射线响应值）；室外测点 γ 辐射剂量率背景水平在29.4~66.6nGy/h之间（已扣除宇宙射线响应值）；根据《中国环境天然放射性水平》可知，广西原野 γ 辐射空气吸收剂量率在10.7~238.7nGy/h范围（已扣除宇宙射线响应值），室内 γ 辐射剂量率范围在11.0~304.3nGy/h内（已扣除宇宙射线响应值）。由以上数据比对可知，本项目建设场址各监测点位 γ 辐射剂量率在其相应范围内；由此可见，本项目拟建场所辐射环境质量状况未见异常。

表9 项目工程分析与源项

医院为满足患者的医疗服务需求，计划在医院北侧致远楼一层新建核医学科。项目具体计划使用1台SPECT/CT（属于III类射线装置），利用钼锝发生器淋洗的^{99m}Tc开展影像检查；配备1台PET/CT（属于III类射线装置），使用¹⁸F、⁶⁸Ga开展影像检查；使用⁸⁹Sr、¹⁷⁷Lu开展肿瘤治疗；使用¹³¹I治疗甲亢、甲癌。该新建核医学科工作场所属于乙级非密封源工作场所。

9.1 工程设备和工艺分析

1、SPECT/CT 检查项目

（1）设备组成与工作原理

SPECT即单光子发射型计算机断层显像（Single photon emission computed tomography，简称SPECT）。SPECT是在 γ 照相机的基础上发展起来的核医学影像设备，它实际上是在一台高性能 γ 照相机的基础上增加了探头旋转装置和图像重建的计算机软件系统，因此其基本机构主要由探头、旋转运动机架、计算机及其辅助设备等三大部分构成，其中SPECT的探头结构也由准直器、晶体、光导、光电倍增管组成，其外形可以是圆形、方形或矩形，有单探头、双探头或多探头等不同类型。SPECT的探头借助运动机架围绕身体或受检器官旋转360°或180°进行完全角度或有限角度的放射性探测，从多角度、多方位采集一系列平面影像，然后利用专用的计算机软件处理重建为三维数据，根据需要可获得脏器的水平切面、冠状切面、矢状切面或任一角度的体层影像，清除了不同体层放射性的重叠干扰，可以单独观察某一体层内的放射性分布，这不仅有利于发现较小的异常和病变，还使得局部放射性核素定量分析进一步精确。SPECT同时兼有平面显像、动态显像、断层显像和全身显像的功能，因而成为当今临床核医学的主流设备。

SPECT/CT是将SPECT和CT这两种设备安装在同一个机架上，两种显像技术的定位坐标系统相互校准，在两次扫描期间患者处于同一个检查床上且保持体位不变，可防止因患者移位产生的误差，在一定程度上也解决了时间配准的问题。通过SPECT/CT图像融合技术，可以将SPECT灵敏反映体内组织器官生理、生化和功能的变化与CT提供的精确的解剖结构信息相结合，真正实现了功能、代谢、生化影像与解剖结构影像的实时融合，为临床提供了更加全面、客观、准确的诊断依据。不仅如此，CT提供的图像数据还可用于SPECT的衰减校正，有效提高SPECT的图像质

量。

本项目的 SPECT 显像主要使用单光子核素 ^{99m}Tc 标记物, ^{99m}Tc 为纯 γ 光子发射体, 方便易得, 几乎可用于人体各重要脏器的形态和功能显像, 是显像检查中最常用的放射性核素。目前全世界应用的显像药物中, ^{99m}Tc 及其标记的化合物占 80%以上, 广泛用于心、脑、肾、骨、肺等多种脏器疾患的显像检查。

(2) 工作流程及产污环节

本项目使用钼锝发生器淋洗得到放射性核素 ^{99m}Tc 或者直接购买 ^{99m}Tc 标记物进行 SPECT/CT 显像检查, ^{99m}Tc 的淋洗、标定、分装及注射由核医学科专职医护人员负责。工作人员在锝分装室通风柜内从 $^{99}\text{Mo-}^{99m}\text{Tc}$ 发生器中淋洗出 ^{99m}Tc , 标记、分装, 或者直接从购买的 ^{99m}Tc 标记物药品中分装, 分装进注射器后置于注射器屏蔽器后转移至注射台, 根据检查内容的不同给等待进行 SPECT/CT 诊断的人员注射相应活度的 ^{99m}Tc 标记物。 ^{99m}Tc 标记物分装后抽入一次性注射器, 转移至注射台过程中套有钨合金注射防护套屏蔽, 在一体式全屏蔽铅注射防护窗屏蔽下, 为 SPECT/CT 待检人员注射。注射完毕后的一次性注射器, 放入专用放射性废物铅桶内。患者在注射完放射性药物后前往注射后候诊室内根据不同检查项目候诊相应时间, 候诊完成后进入 SPECT 扫描室接受扫描, 扫描时间约 30 分钟, 扫描结束短暂留观后, 从病人出口处离开核医学科工作场所。本项目 ^{99m}Tc 显像每日每台 SPECT/C 最多接诊 30 名患者, 每名患者 ^{99m}Tc 最大注射量为 800MBq, 均在锝注射室注射。SPECT/CT 项目工作流程及产污环节示意图见图 9-1。

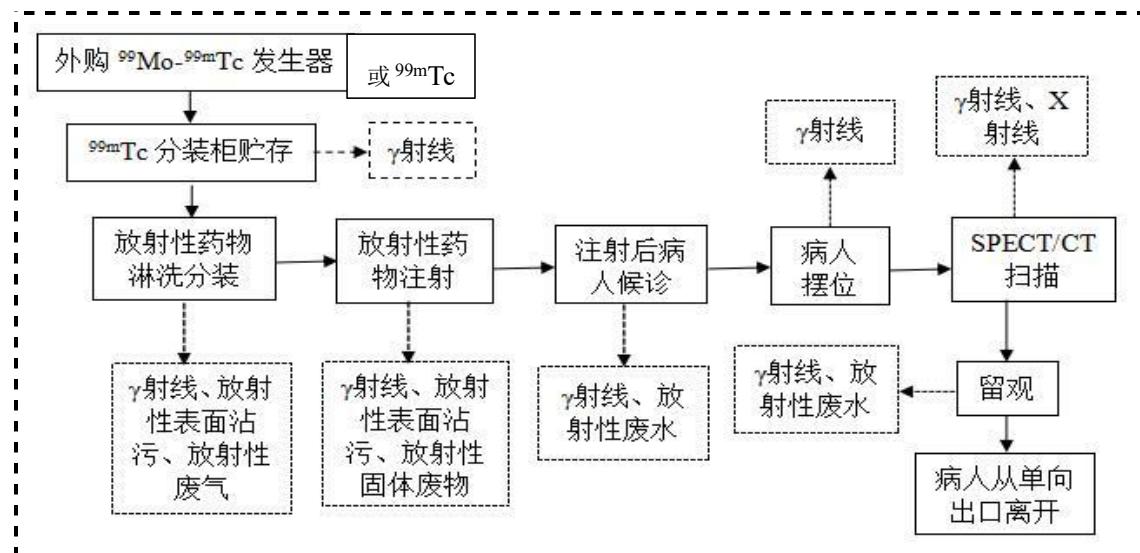


图 9-1 SPECT/CT 检查工作流程及产污环节示意图

2、PET/CT 检查项目

(1) 设备组成及工作原理

PET/CT (Positron Emission Tomography and Computer Tomography)，全称正电子发射断层与计算机断层诊断技术，是在 PET 和 CT 的基础上发展起来的新设备，充分结合了 PET 高灵敏度和 CT 高分辨率的优势。其原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测示踪剂正电子湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，藉此诊断疾病，又称为生化显像或功能分子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术；同时结合应用高档多排 CT 技术进行精确定位，可精确地提供靶器官的解剖和功能双重信息，并能够独立完成多排螺旋 CT 的临床显像，大大提高临床使用价值。

正电子发射是放射性核素衰变的方式之一。这类核素在自发的从不稳定状态向基态衰变过程中，从核内释放出与普通电子一样但电荷相反的电子，即正电子。正电子是一种反物质，从核内放出后很快与环境中自由电子碰撞湮灭，转化为一对方向相反、能量为 0.511MeV 的 γ 光子。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，并可推定光子发射（即正电子发射）源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。

本项目 PET/CT 显像检查使用的正电子核素有¹⁸F、⁶⁸Ga，拟通过直接购买方式获得，分装、注射均由核医学科专职医护人员负责，在氟分装室、注射室完成。分装后的药品转移至注射台的过程中有钨合金注射防护套屏蔽，在一体式全屏蔽铅注射防护窗屏蔽下注射。

(2) 工作流程及产污环节

PET/CT 显像检查主要通过给受检者注射放射性标记药物（¹⁸F、⁶⁸Ga），并利用正电子发射型计算机断层显像系统（PET/CT）对受检者全身或者相关脏器进行诊断

检查。根据诊断计划，项目 PET/CT 使用主要核素为¹⁸F，每日最多诊断 20 人，每人用量按 10mCi 算；使用⁶⁸Ga 每日最多 5 人，每人用量按 10mCi 算。PET/CT 显像受检者均在氟注射室注射，其工作流程见图 9-2。

①根据医生指导意见，需要接受全身或脏器显像检查的人员提前预约登记，确定用药量，该项目所需要放射性药物⁶⁸Ga、¹⁸F 委托供药单位配药；

②受检者按约定时间在给药前候诊区准备和等候；

③准备好的受检者经过专用通道进入注射区，注射医务人员穿戴好个人防护用品从贮药铅罐内用套有钨合金注射防护套的一次性注射器汲取计划的药量，在注射台前为受检者注射药物，注射时间平均约 20s/人次；

④注射了放射性药物的受检者进入注射后候检区候诊进行检查前的准备；

⑤注射药物的受检者从注射后候检区直接进入 PET/CT 机房检查，工作人员配合受检病人摆好位后进入控制室进行隔室操作，摆位时间平均约 30s/人次；

⑥检查完成后，受检者在留观室短暂留观后通过专用通道离开核医学区域。

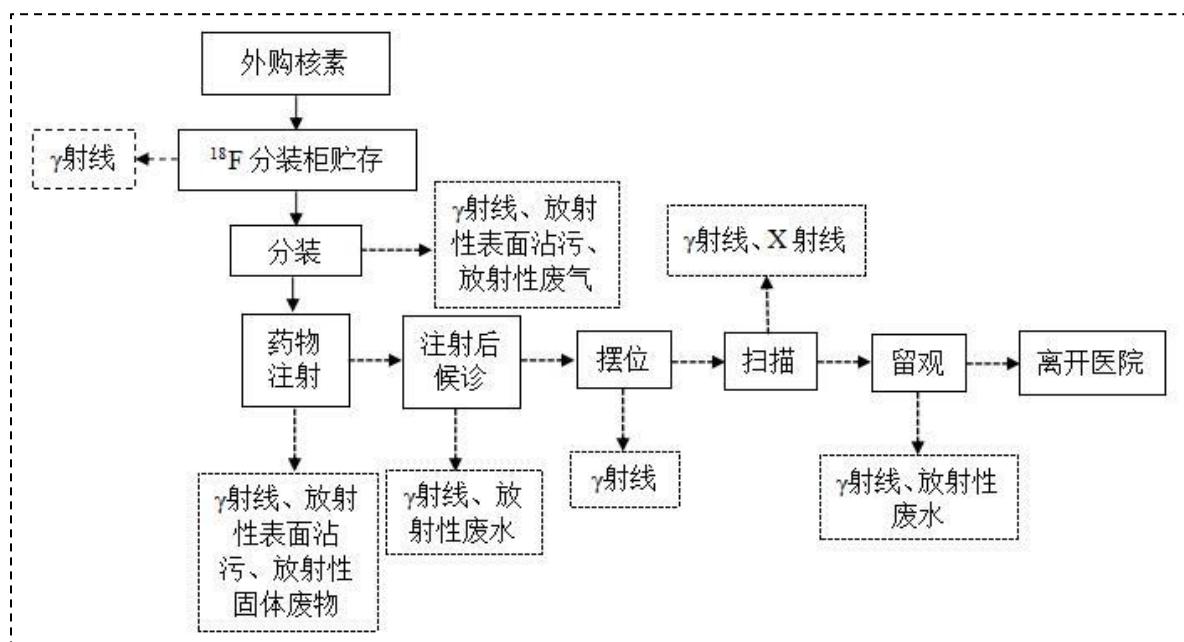


图 9-2 PET/CT 工作流程及产污环节示意图

(3) ⁶⁸Ge 校准源

项目使用密封源作 PET/CT 的校准源，为 V 类源。⁶⁸Ge 放射源产生的γ射线为设备进行质控校准，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。其工艺流程为：项目根据 PET/CT 显像情况，定期进行质控校准，第一步将校准源从氟储源室保险箱中取出，放入 PET/CT 设备中，人员离开 PET/CT

检查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，人员进入检查室从 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 9-3。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。

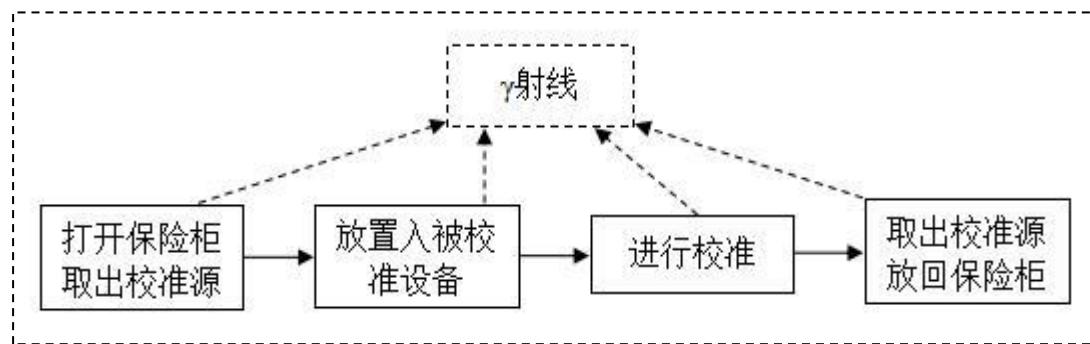


图 9-3 PET/CT 质控校准工艺流程及产污环节

3、 ^{131}I 治疗甲亢项目

(1) 工作原理

^{131}I 衰变时发射出射程很短的 β 射线和能量跃迁时发出的 γ 射线，从而对病变组织进行内照射治疗，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或破坏病变组织的目的，而邻近的正常组织吸收剂量很低，从而达到治疗的目的。

(2) 工作流程及产污环节

①诊断治疗规划

本项目拟使用 ^{131}I 开展甲亢治疗项目，服药前对病人做好充分教育，所用核素通过碘自动分装柜分装，病人自主服药。接受甲亢治疗的每名患者最大用药量为 10mCi，甲亢病人每天平均 10 例。

②工作流程

订药：工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间送药品，经确认无误完成相关交接、登记手续后，将甲亢药物放于分装柜内，本项目 ^{131}I 药品为药罐装载货包形式的外购药物。

给药：开展甲亢治疗项目时，工作人员在上班前将药分装注射到自动分装柜内。接受甲亢治疗的患者到达服药窗口，医护人员通过电脑控制系统操作碘自动分装柜自动分装药物，并通过视频及对讲指导患者服药。

给药后：甲亢患者服药短暂留观无异常后即可离开核医学科。

(3) 废物处理措施

患者服药完毕后的一次性纸杯、纸巾放入专用放射性废物铅桶内。工作场所内放射性废气通过专用排风管收集、吸附处理后由屋顶排放。甲亢治疗项目工作流程与产污环节见图 9-4。

4、¹³¹I 治疗甲癌项目

(1) 工作原理

¹³¹I 衰变时发射出射程很短的β射线和能量跃迁时发出的γ射线，从而对病变组织进行内照射治疗，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或破坏病变组织的目的，而邻近的正常组织吸收剂量很低，从而达到治疗的目的。甲状腺癌 ¹³¹I 放射治疗主要用于治疗可浓集碘的转移性病灶，也可用于治疗微小癌、不能手术或手术切除不完全的原发癌。病变的甲状腺、大约 80% 甲状腺癌患者转移到病灶有摄取放射性碘的能力，但是摄取的程度不如正常的甲状腺。虽然如此，大多数转移灶仍能摄取足够的 ¹³¹I，用以集中照射、有效地破坏转移病灶的目的，达到治疗的目的。

(2) 工作流程及产污环节

甲癌治疗使用 ¹³¹I 为外购的放射性核素的碘[¹³¹I]化纳口服溶液，医院按需采购放射性药物，在约定的时间由放射性药物供应单位负责将放射性药物运送至核医学碘分装室分装柜，病人进行治疗前，医院工作人员将药品放在分装注射室的碘自动分装柜内，通过电脑控制系统操作碘自动分装柜自动分装药物，患者根据指示进行服药。接受甲癌治疗的每名患者一般服碘-131 药量为 100~200mCi（平均 150mCi），全年规划最多治疗 400 例，每天新服药治疗人数最多 4 例。

甲癌患者经预约问诊后，在碘服药室服用放射性药物后在医生的语音指导下进入相应甲癌住院病房住院，住院按 4 天规划（每周治疗一批），经检测患者体内放射性活度降低至 400MBq（距患者 1m 处的辐射剂量率低于 25μSv/h）方可离开甲癌病房出院。本项目甲癌治疗每周开展一次，接受甲癌治疗的每名患者最大用药量为 200mCi，甲癌病人每次住院最多 4 例（每个病房 2 人）。患者住院时间要视患者病情而定。患者服药后一次性水杯以及住院期间使用的一次性用品均按规定以放射性废物放入指定的放射性废物衰变桶中；住院期间的排泄物等放射性废水收集至碘衰变池衰变达标后排入医院污水处理站。¹³¹I 药物操作过程和口服服药后的病人呼吸，可能会导致核

素进入工作区域内的空气中，造成工作人员吸入性内照射影响。甲癌治疗项目的工作流程及产污环节见图 9-5。

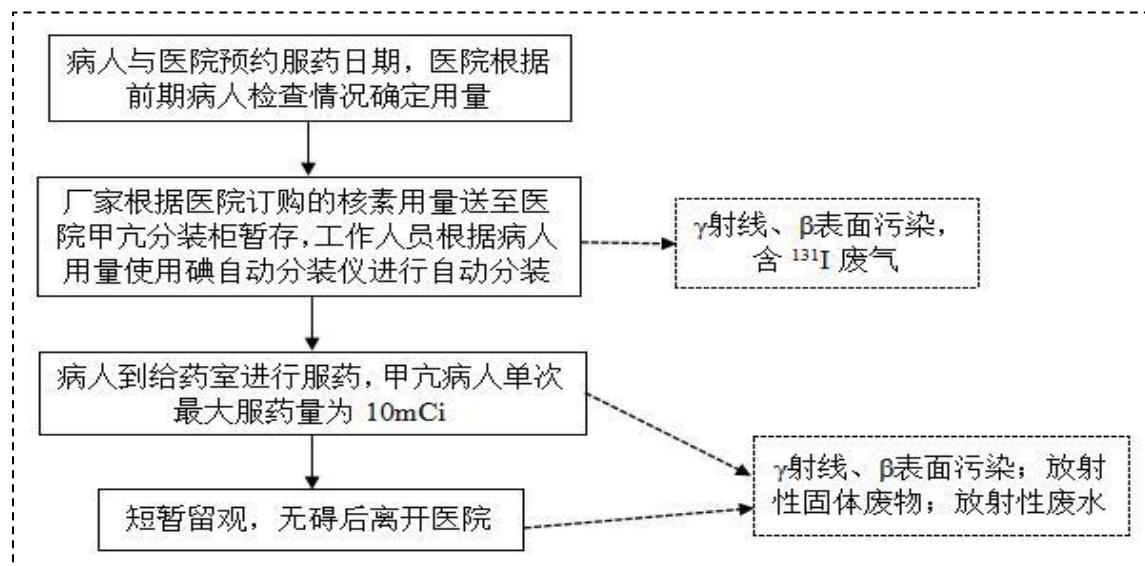


图 9-4 甲亢治疗项目工作流程及产污环节

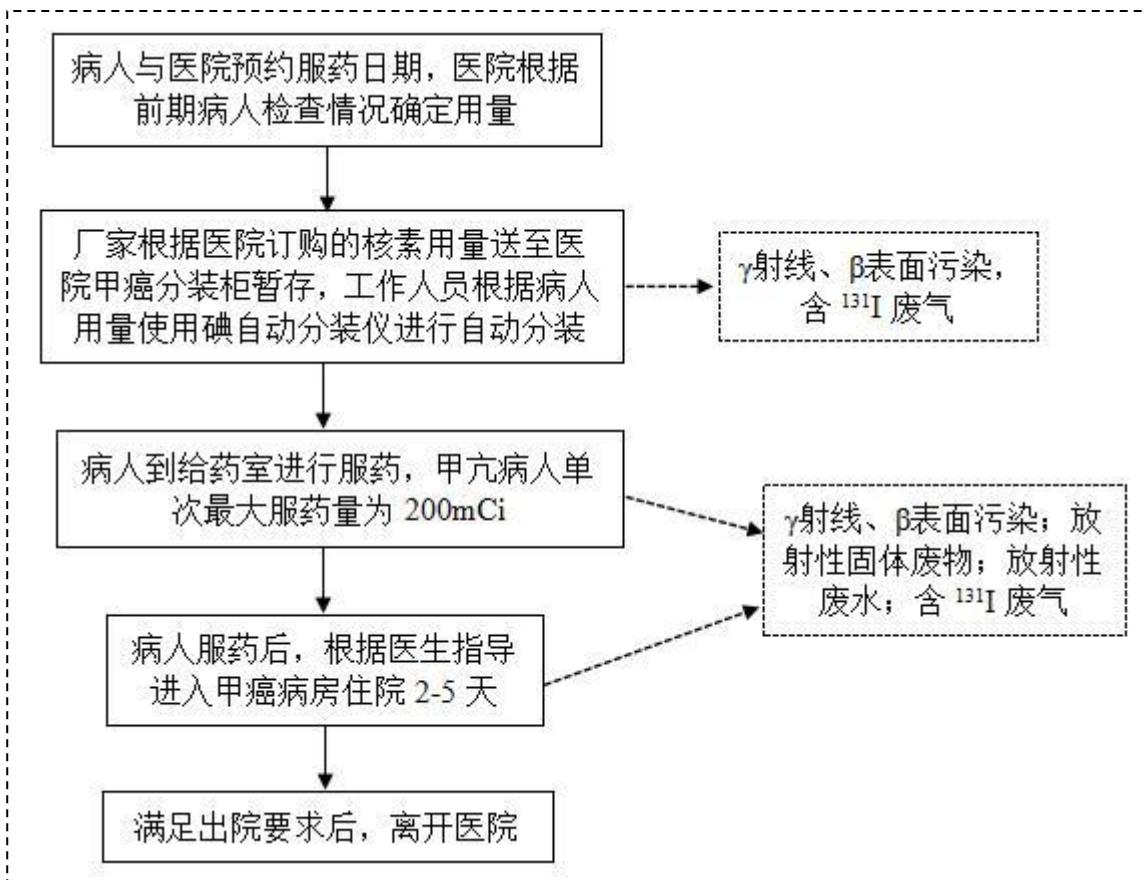


图 9-5 甲癌治疗项目工作流程及产污环节

5、 ^{89}Sr 、 ^{177}Lu 治疗项目

(1) 工作原理

一些放射性核素在衰变过程中，可以释放出 α 射线或 β 射线等，具有较强的电离辐射效应，对于肿瘤细胞或异常增殖组织等具有较强的杀灭作用。放射性核素治疗就是指利用具有治疗作用的放射性核素，如 ^{89}Sr 、 ^{177}Lu 等，近距离精准杀伤病变细胞和组织，达到治疗的目的。本项目使用 $^{89}\text{SrCl}_2$ 治疗骨转移肿瘤，使用 $^{177}\text{Lu-PSMA}$ 治疗转移性去势抵抗性前列腺癌。

(2) 工作流程及产污环节

本项目 ^{89}Sr 、 ^{177}Lu 核素治疗均采用针剂静脉注射方式给药进行治疗，医院根据与病人预约情况提前向药物供货商订药，药物供货商按照医院要求在规定时间内将要求分装好的针剂送到医院核医学科，工作人员叫号患者在服药室注射窗口接受注射， ^{89}Sr 、 ^{177}Lu 注射在碘服药室完成。预计使用 ^{89}Sr 病例每天最多2例，每名患者用药量最多为5mCi， ^{89}Sr 核素患者注射后无异常即可离开；注射 ^{177}Lu 核素患者，项目预计每天最多1例，患者用药量按200mCi计，需在核医学科室甲癌住院病房住院观察，住院3-5天，满足出院要求后方可离开病房出院。因使用 ^{177}Lu 核素患者较少，医院需根据甲癌患者住院情况提前制定治疗方案，使 ^{177}Lu 患者与甲癌患者住院不发生冲突；单独甲癌治疗全年规划人数最多为400人次，单独 ^{177}Lu 治疗全年规划人数最多为50人次，由于该2个项目治疗共用住院病房，即甲癌治疗及 ^{177}Lu 治疗人次全年共计不得超过400人次。

^{89}Sr 、 ^{177}Lu 患者注射后一次性注射器、棉签及手套均按规定以放射性废物丢指定的放射性废物衰变桶中； ^{177}Lu 患者住院期间的排泄物等放射性废水收集至碘衰变池衰变达标后排入医院污水处理站； ^{89}Sr 、 ^{177}Lu 药物注射操作过程，持续发射的射线，会对周围产生外照射影响。 ^{89}Sr 、 ^{177}Lu 治疗项目的工作流程及产污环节见图9-6、9-7。

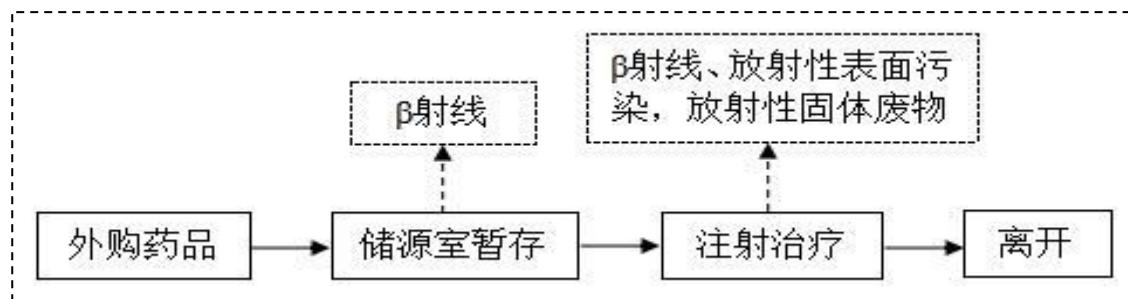


图 9-6 ^{89}Sr 治疗项目工作流程及产污环节

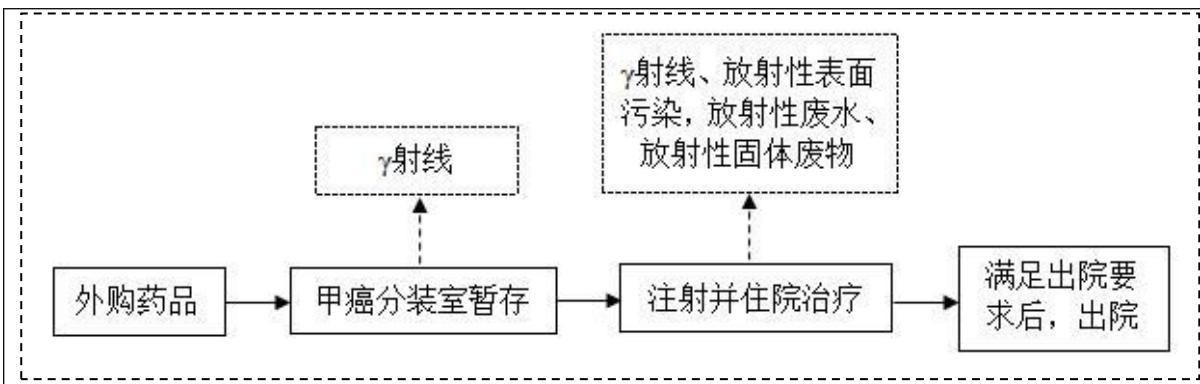


图 9-7 ¹⁷⁷Lu 治疗项目工作流程及产污环节

6、射线装置

本项目包括的射线装置为 SPECT/CT 及 PET/CT 设备配套用的 CT。

(1) 工作原理

CT 是利用 X 射线进行诊断的，产生 X 射线的装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，详见图 9-8。阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。

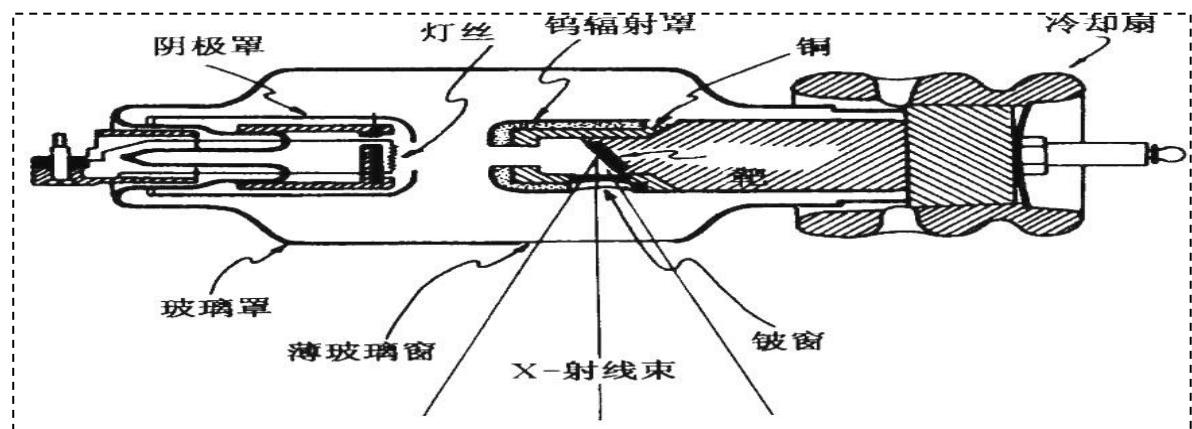


图 9-8 X 射线管结构原理图

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

(2) 设备组成

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

(3) 操作流程

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

(4) 污染因子

由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。因此，该院核医学科 SPECT/CT 及 PET/CT 设备配套使用的 CT 装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，X 射线成为污染环境的主要因子。CT 在运行时无放射性废气、废水和固体废弃物产生。

9.2 人流及物流规划

1、PET/CT 检查项目

(1) 工作人员路线

PET/CT 检查项目工作人员主要分操作 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 9-9 中蓝色线路所示，医技人员在西侧医生入口进入致远楼一层核医学科候诊大厅，再通过阅片室出入操作间、医生办公室、诊室，其中负责操作 PET/CT 设备的医技人员进入 PET/CT 操作间（绿色线路），因给待检人员摆位需要由操作间出入 PET/CT 机房。医护人员在候诊大厅通过南侧医生通道经卫生通过间进入分装室，在分装室内进行分装、注射等操作，结束后通过卫生通过间出去。医护人员操作非密封放射源前，拟在卫生通过间穿戴防护用品后进入高活区（分装室），工作结束经检测表面污染合格后，方能回到低活区。

(2) 患者的进出路线

如图 9-10 中黄色线路所示，候诊区候诊，叫号后从核医学科病人通道西侧入门禁进入，前往氟注射室接受注射，注射后进入氟注射后候诊室等待，等待相应时间后进入 PET/CT 扫描机房检查，检查完毕无身体不适的从东北侧病人出口离开。

(3) PET 检查药物路线

如图 9-11 中红色线路所示，供药单位将 ^{18}F 等 PET 检查用药物从核医学科东南侧出口门禁进入，通过病人通道二进入分装室，一般情况下直接放于氟分装柜内，如

有需要暂存于储源室。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。

（4）放射性固体废物路线

如图 9-11 粉色路线所示，项目分装室、注射室设置有脚踏式放射性废物收集桶，项目运行过程产生的可能沾有放射性物质的一次性手套、注射器等固体废物，经收集后定期送至病人通道一东侧尽头的固废间暂存衰变，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。

2、SPECT/CT 检查项目

（1）工作人员路线

SPECT/CT 检查项目工作人员主要分操作 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 9-9 中蓝色线路所示，医技人员在西侧医生入口进入致远楼一层核医学科候诊大厅，再通过阅片室出入操作间、医生办公室、诊室，其中负责操作 SPECT/CT 设备的医技人员进入 SPECT/CT 操作间（粉色线路），因给待检人员摆位需要由操作间出入 SPECT/CT 机房。医护人员在候诊大厅通过南侧医生通道经卫生通过间进入分装室，在分装室内进行分装、注射等操作，结束后通过卫生通过间出去。医护人员操作非密封放射源前，拟在卫生通过间穿戴防护用品后进入高活区（分装室），工作结束经检测表面污染合格后，方能回到低活区。

（2）患者的进出路线

如图 9-10 中绿色线路所示，候诊区候诊，叫号后从核医学科病人通道西侧入门禁进入，前往锝注射室接受注射，如需开展运动负荷检查则先到运动室运动再接受注射，注射后进入锝注射后候诊室等待，等待相应时间后进入 SPECT/CT 扫描机房检查，检查完毕无身体不适的从东北侧病人出口离开。

（3）SPECT 检查药物路线

如图 9-11 中红色线路所示，供药单位将检查用药物从核医学科东南侧出口门禁进入，通过病人通道二进入分装室，一般情况下直接放于锝分装柜内，如有需要暂存于储源室。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。

（4）放射性固体废物路线

如图 9-11 粉色路线所示，项目分装室、注射室设置有脚踏式放射性废物收集桶，

项目运行过程产生的可能沾有放射性物质的一次性手套、注射器等固体废物，经收集后定期送至病人通道一东侧尽头的固废间暂存衰变，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。

3、¹³¹I、¹⁷⁷Lu、⁸⁹Sr 治疗项目

(1) 工作人员路线

¹³¹I、¹⁷⁷Lu、⁸⁹Sr 治疗项目工作人员主要为负责药品分装、注射等操作的医护人员，¹³¹I 药品的分装采取远程控制自动分装，控制台设在核医学科南侧医生通道入口外（锝注射后候诊室的西侧）。如图 9-9 中蓝色线路所示，医护人员通过医生专用通道进入卫生通过间再进入碘分装室，在分装室内进行分装前期准备，结束后通过卫生通过间出去到自动分碘控制室进行操作。¹⁷⁷Lu、⁸⁹Sr 采取注射放射治疗，医护人员在碘分装室通过注射窗台进行注射。医护人员操作非密封放射源前，拟在更衣室穿戴防护用品后进入高活区（分装室），工作结束经检测表面污染合格后，方能回到低活区。特别需要强调的是，¹³¹I、¹⁷⁷Lu、⁸⁹Sr 等放射性药物不同时使用，应错开使用时间。

(2) 甲癌及¹⁷⁷Lu 治疗患者的进出路线

如图 9-12 中粉色线路所示，候诊区候诊，叫号后从核医学科西侧患者通道入口门禁进入，前往服碘室服药或注射，服药或注射后进入相应的甲癌住院病房（病房区有门禁控制），住院一段时间满足出院标准后从病人出口离开。

(3) 甲亢治疗、⁸⁹Sr 治疗患者的进出路线

如图 9-12 中棕色线路所示，候诊区候诊，叫号后从核医学科西侧患者通道入口进入，前往服碘室服药或注射，用药后如没有不适则从东南侧病人出口离开，用药后如有不适则进入碘抢救/留观室处理，然后再从病人出口离开。

(4) 药物路线

如图 9-11 中红色线路所示，供药单位将治疗用药物从核医学科东南侧出口门禁进入，通过病人通道二进入分装室，一般情况下直接放于碘分装柜内，如有需要暂存于储源室。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。

(5) 放射性固体废物路线

如图 9-11 粉色路线所示，项目分装室、服药室、2 间甲癌住院病房、碘抢救/留观室等处设置有脚踏式放射性废物收集桶，项目运行过程产生的可能沾有放射性物质

的一次性手套、纸杯、注射器等固体废物，经收集后定期送至病人通道二尽头的固废间暂存衰变（治疗项目专用），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。

综上所述，本项目核医学科医护人员的进出路线和患者的进出路线满足相互独立的要求，工作场所布局设计合理，流程清晰。该项目核医学工作人员的进出路线、受检者/患者进出路线和药物运送路线基本满足互相独立的要求。

9.3 放射性同位素性能参数

本项目中，放射性同位素均在核医学科内使用，性能参数见表 9-1。

表 9-1 本项目使用的放射性同位素性能参数

核素	半衰期	衰变模式	毒性	主要射线能量 (MeV)
¹⁸ F	109.8min	β^+ , EC	低毒	γ : 0.511
⁹⁹ Mo	66h	β^- (100%)	中毒	β : 1.215, γ : 0.740
^{99m} Tc	6.02h	IT(100%)	低毒	γ : 0.140
¹³¹ I	8.02d	β^- (100%)	中毒	β : 0.602, γ : 0.364
⁸⁹ Sr	50.53d	β^- (100%)	中毒	β : 0.5846
⁶⁸ Ga	68.3min	β^+ , EC	低毒	γ : 0.511
¹⁷⁷ Lu	6.73d	β^- (100%)	中毒	γ : 0.2084

9.4 源项分析

9.4.1 正常工况

由前文核医学工作流程分析可知，X- γ 射线外照射将伴随核素在核医学诊疗项目整个开展过程中，包括供药、分装、注射（服药）等过程。受检者注射（服药）放射性药物后，本身短时间内也成为一个“辐射源”，随着患者的移动，将对周围环境造成辐射影响，排泄物成为放射性污染物。在诊疗过程产生的固体废物也可能受放射性污染而成为放射性固体废物。正常运行时，核医学项目主要污染因子包括：

1、辐射

（1） γ 射线贯穿辐射

①本项目使用的核素 ¹⁸F、^{99m}Tc、¹³¹I、⁶⁸Ga、¹⁷⁷Lu 在发生衰变时会伴随产生 γ 射线，在进行药物贮存、分装、注射（服药）等操作时，对周围环境产生 γ 射线贯穿辐射影

响。

②患者注射（服用）放射性药物后，本身短时间内是一个辐射体（源），对周围的环境可能造成 γ 射线贯穿辐射影响。

③进行 SPECT/CT 及 PET/CT 扫描时，受诊病人身体中的放射性核素产生的 γ 射线将对操作人员造成 γ 外照射影响。经过机房的屏蔽， γ 射线或 CT 运行产生的 X 射线可能仍有一定的泄漏，环境影响途径为 γ 射线贯穿辐射影响。

④病人留观及住院时所在病房，在周围停留的操作人员和患者可能受到核素释放出的 γ 射线贯穿辐射影响。

⑤工作人员操作 ^{68}Ge 密封源进行校准作业时会对操作人员造成 γ 射线贯穿辐射影响。

（2） β 射线

本项目使用的核素 ^{89}Sr 对环境产生的因子为 β 射线， β 射线穿透力很弱，在组织内穿透距离很短，不会对环境产生明显影响。

（3）放射性表面污染

放射性药物在分装、注射、服用等活动过程中，可能会引起工作台、地面、工作服、手套等产生放射性沾污，造成放射性表面污染。

（4）X 射线

项目 SPECT/CT 及 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、滤纸、手套、一次性水杯、更换下来的废活性炭、未用完的 ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 柱等。

①SPECT/CT 检查项目，每天 30 人次（满负荷时），每次预计产生一次性注射器、口罩、手套以及擦试废物等 0.05kg 计，年工作时间按 250 个工作日计算，则 SPECT/CT 检查项目放射性固体废物年产生量为 375kg/a。

②PET/CT 检查项目，每天 25 人次，每次预计产生一次性注射器、口罩、手套以及擦试废物等 0.05kg 计，年工作时间按 250 个工作日计算，则 PET/CT 检查项目放射性固体废物年产生量为 312.5kg/a。

③甲亢治疗项目，每年治疗 2500 人次，每人次预计产生一次性水杯以及纸巾等 0.02kg 计，则甲亢治疗项目放射性固体废物年产生量为 50kg/a。

④甲癌治疗项目规划全年治疗人数 400 例，住院前服药产生的一次性水杯以及纸巾等 0.02kg/人次计，则甲癌治疗项目放射性固体废物年产生量为 8kg/a。

⑤⁸⁹Sr 治疗项目，每年治疗 200 人次，每人次预计产生一次性注射器、手套以及擦试废物等 0.05kg 计，则 ⁸⁹Sr 治疗项目放射性固体废物年产生量为 10kg/a。

⑥¹⁷⁷Lu 治疗项目规划全年治疗人数 50 例，每人次预计产生一次性注射器、手套以及擦试废物等 0.05kg 计，则 ¹⁷⁷Lu 治疗项目放射性固体废物年产生量为 2.5kg/a。

⑦废活性炭，根据医院提供资料，项目核医学每年更换下来的废活性炭约 100kg。未用完的 ⁹⁹Mo-^{99m}Tc 柱若干均返回厂家。

综上，项目每年预计产生上述含放射性固体废物 858kg。

3、废放射源

⁶⁸Ge 校准源使用一定时限不再使用后，产生报废密封放射源，交由放射源生产单位回收处置。

4、放射性废水

项目药品按需采购、按需使用，原则上当天制备、当天用完，不存在废弃放射性液体（如特殊情况剩余放射性药品，不得随意倒入废水系统，应暂存于分装柜中直至满足清洁解控水平）。项目放射性废水主要为患者注射（服用）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，核医学科工作人员完成放射性药物操作后清洗去污的废水。

该项目设置有 2 套放射性废水衰变池，其中氟锝衰变池主要收集 SPECT/CT 检查项目及 PET/CT 检查项目产生的放射性废水，主要为注射后候诊室及留观抢救室产生的放射性废水。该 2 个项目日检查人数最大共计 55 人，每位受检者在待检期间产生废水量 10L/人，该区域每天清洁用水 100L，则氟锝衰变池每天收集废水 0.65m³，全年按 250 个工作日算，则全年氟锝废水量 162.5m³。

碘衰变池主要收集 ¹³¹I 及 ¹⁷⁷Lu 治疗项目产生的放射性废水。从偏保守考虑，甲癌治疗（含 ¹⁷⁷Lu 治疗）住院每天都满负荷运行，住院每人每天用水定额取 200L；甲亢治疗规划每天 10 人，一般情况下服药后即直接离开核医学，特殊情况下才会进抢救/观察室处理，才可能产生含碘-131 废水排放，则保守估计该区域清洁用水、卫生

通过间洗手及淋浴、甲状腺治疗等排水按每天 200L 计，保守也按每天都开展治疗。综上所述，碘衰变池每治疗日收集废水 1m³，则全年废水量 365m³。

⁸⁹Sr 采取门诊治疗方式，注射后即离开，不在核医学科排泄。

综上，核医学科场所每年预计产生含放射性废水量 527.5m³。项目放射性废水影响评价详见 10.4 章节。

5、放射性废气

放射性药物在分装、服药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。本项目核医学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。碘-131 治疗住院病房拟设单独的通风系统，病房的门窗应有封闭措施，保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气经单独的排气管道有组织排放。放射性物质的分装操作在密闭的分装柜中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。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。

9.4.2 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) 患者服药时意外泄漏，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。

9.5 劳动定员及工作分配情况

项目建设后，劳动定员规划 10 人，各项目工作均为排班轮流操作，实行 8 小时工作制度，年工作日 250 天（核素治疗住院医护人员按 300 天）。项目核医学科各项目工作人员分配情况见表 9-2。

表 9-2 核医学科各项目工作人员分配情况

序号	项目	操作工序	操作时间	次数/年	人员配置
1	SPECT/CT 检查项目	淋洗、分装操作	30s/人次	7500 人次	4 人轮流
		药品转移	30s/人次		

		注射	30s/人次		
		机房内摆位	30s/人次		
		控制室内操作	30min/人次		
2	PET/CT 检查项目	淋洗、分装操作	30s/人次	6250 人次	4 人轮流
		药品转移	30s/人次		由 SPECT/CT 检查项目分装、注射 4 名工作人员轮流负责
		注射	30s/人次		由 SPECT/CT 检查项目摆位、设备操作的 4 名工作人员轮流负责
		机房内摆位	30s/人次		
		控制室内操作	20min/人次		
		校准	2min/次	每年 12 次	
3	甲亢、甲癌治疗项目	药物接收及放入自动分装仪	5min/次	每年 100 次	由 SPECT/CT 检查项目分装、注射 4 名工作人员轮流负责
4	甲癌治疗项目	住院查房	60min/天 (含 Lu-177 治疗项目)	300 天/年	2 人轮流
5	⁸⁹ Sr 治疗项目	注射	2min/人次	200 人次	由 SPECT/CT 检查项目分装、注射 4 名工作人员轮流负责
6	¹⁷⁷ Lu 治疗项目	注射	2min/人次	50 人次	

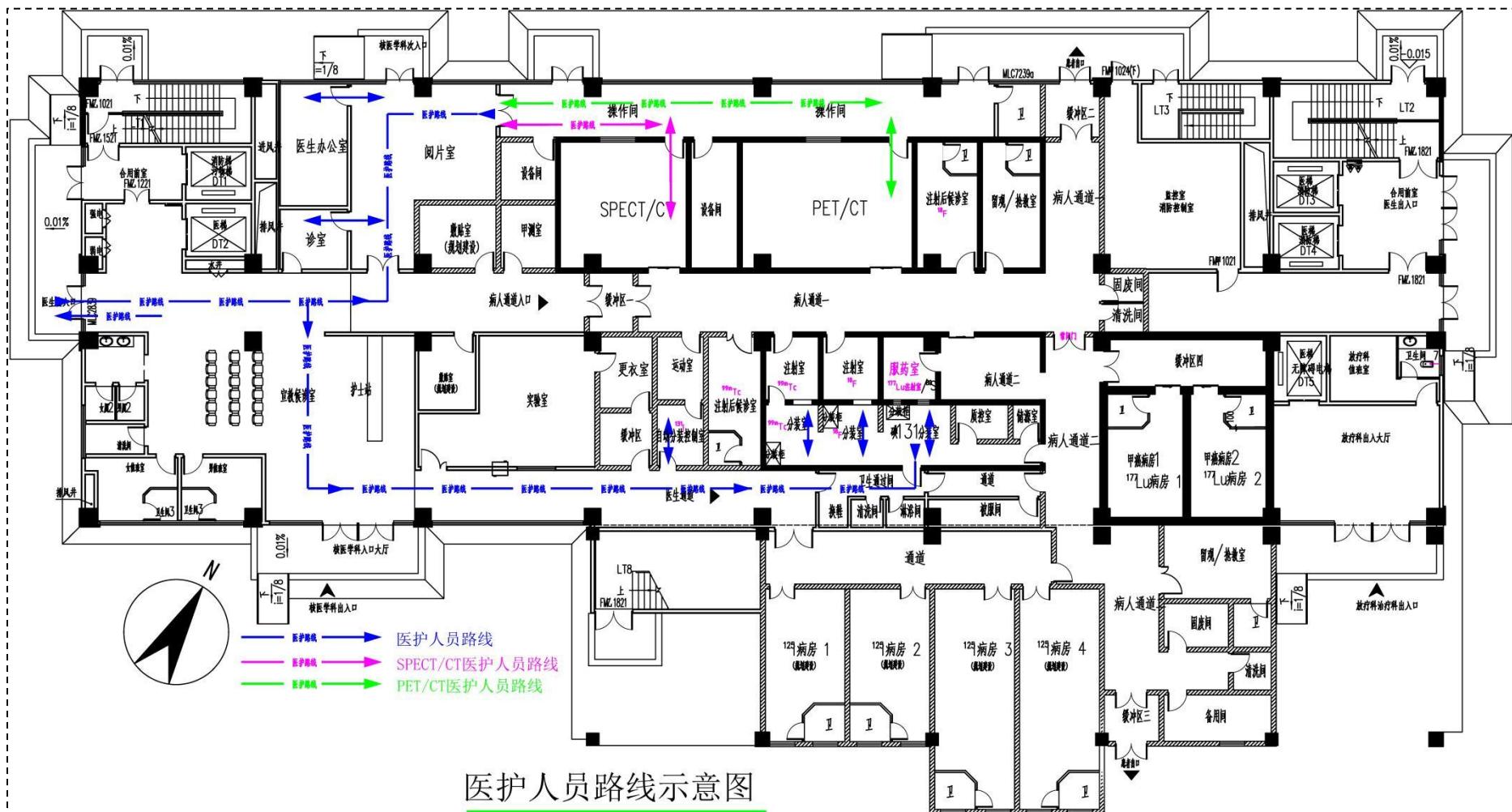


图 9-9 工作人员活动路径示意图

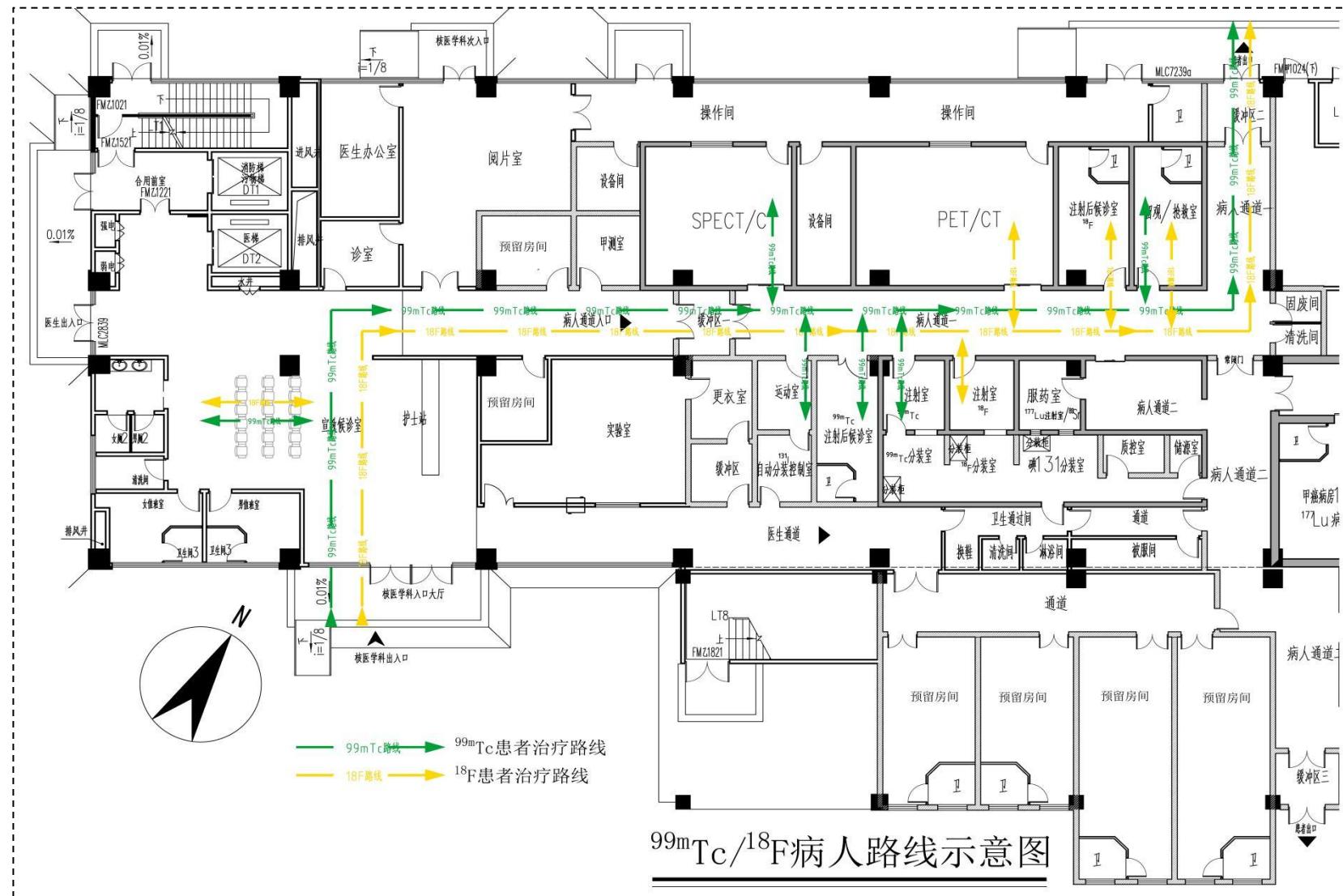


图 9-10 接受检查的人员活动路径示意图

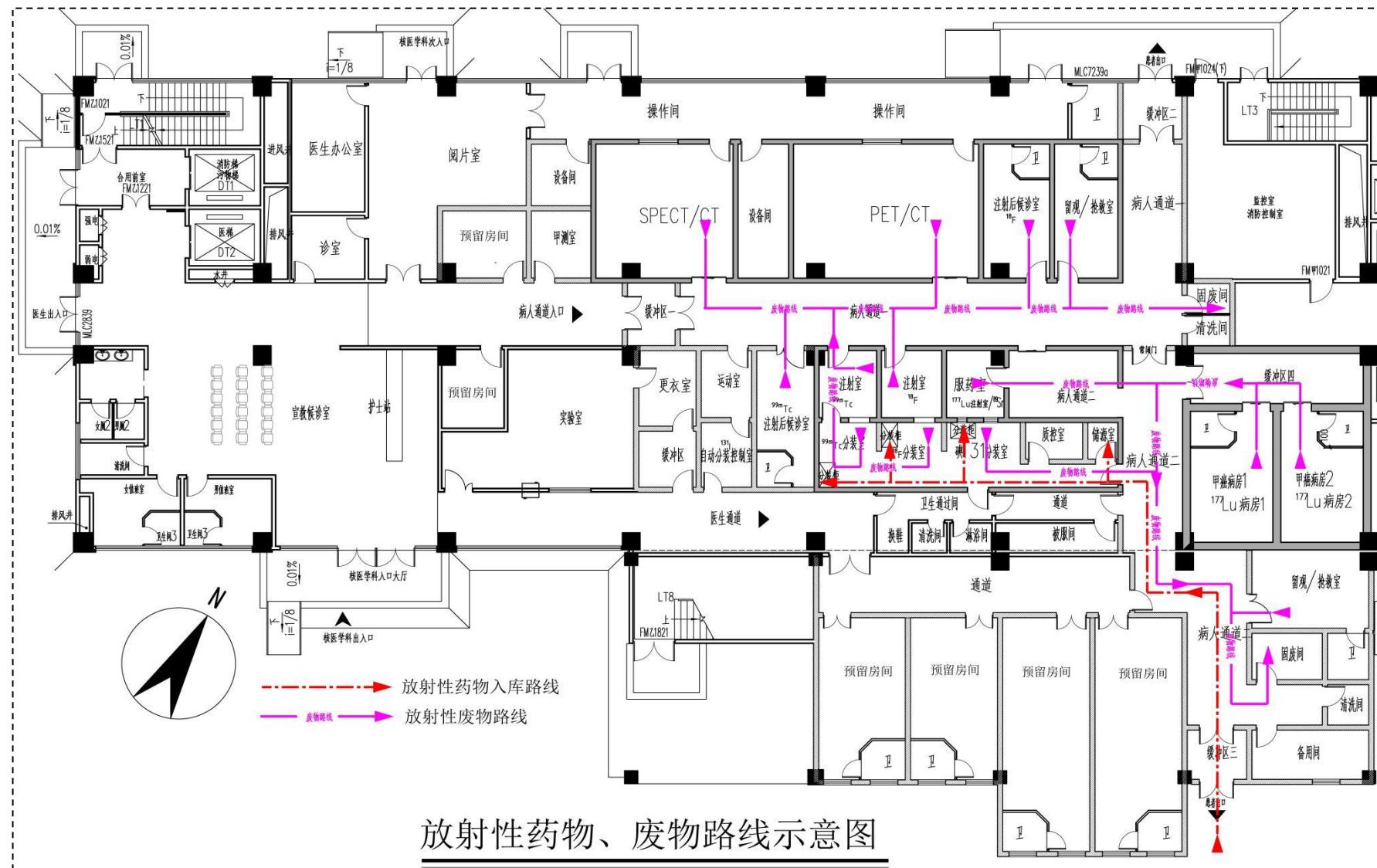


图 9-11 放射性药物、废物路径示意图

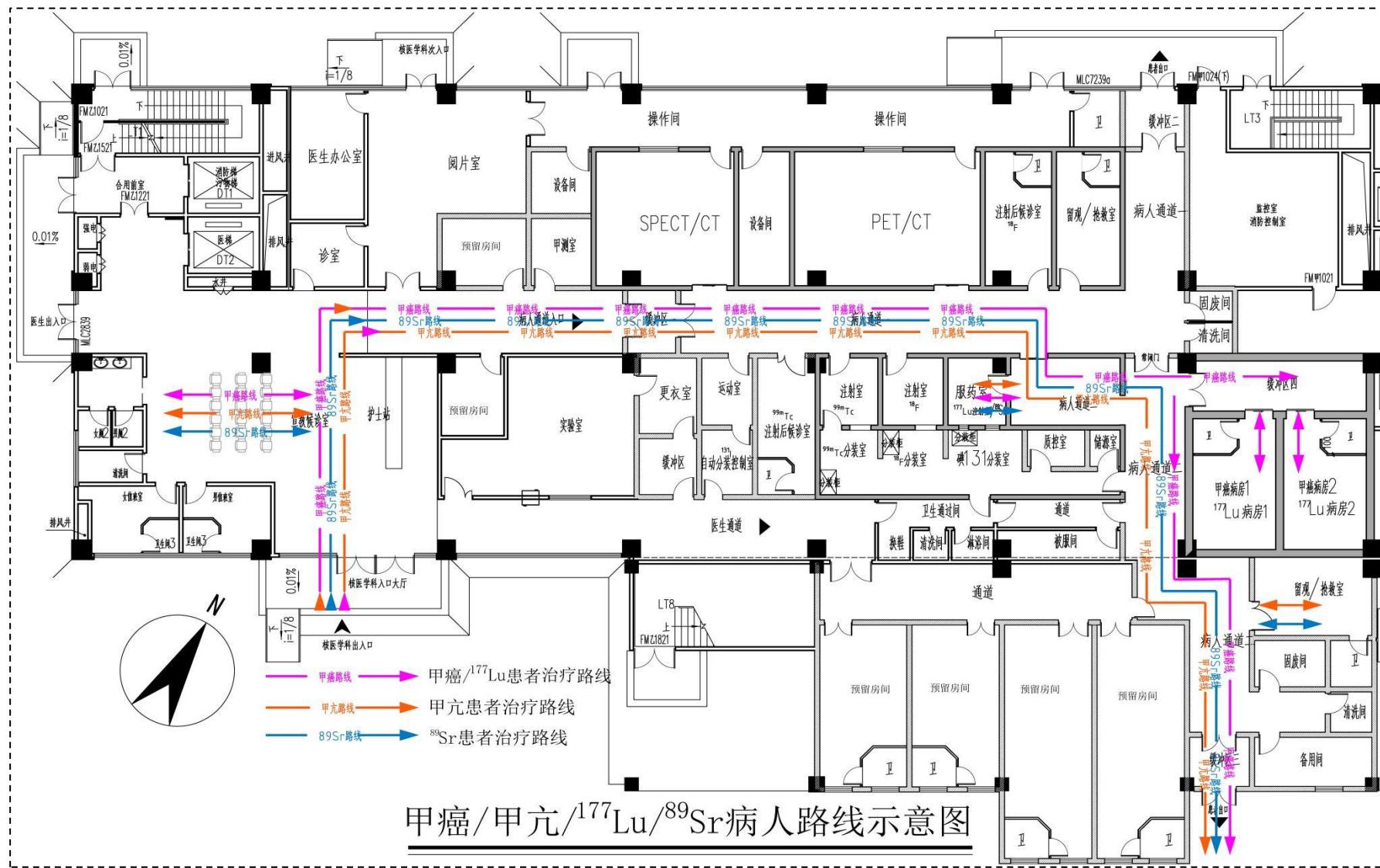


图 9-12 核医学科接受治疗项目人员活动路径示意图

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 评价规模

本项目位于致远楼一层的核医学科场所为乙级非密封源工作场所。项目配备 1 台 SPECT/CT（属于III类射线装置），利用钼锝发生器淋洗 ^{99m}Tc 开展影像检查；配备 1 台 PET/CT（属于III类射线装置），使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 开展影像检查，同时配置 3 枚 ^{68}Ge （V 类密封源）做为校准源；使用 ^{89}Sr 、 ^{177}Lu 开展肿瘤治疗；使用 ^{131}I 治疗甲亢、甲癌。

10.1.2 辐射工作场所

本项目核医学科拟设置在致远楼一层，该楼二层（核医学科上方）为会务中心，负一层为放疗机房及停车场。

核医学科工作场所最西侧为候诊大厅，患者通道北侧以西往东依次为：医生办公室、诊室、阅片室、甲测室、设备机房、SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、操作间、氟注射后候诊室、氟留观/抢救室、病人通道一（诊断病人出口）、固废间（暂存氟锝项目放射性固体废物）、清洗间；患者通道南侧以西往东依次为：护士站、实验室、更衣室、缓冲区、运动室、自动分装控制室、锝注射后候诊室、锝注射室、氟注射室、服药室、分装室（锝、氟、碘）、卫生通过间、被服间、质控室、储源室、病人通道二（治疗患者用药后通道）、2 间甲癌住院病房、碘留观/抢救室、固废间（暂存治疗项目放射性固体废物）、清洗间。

核医学科平面布局示意图详见图 1-11。

10.1.3 辐射安全管理系統

1、门禁系统：西侧患者主入口、东北侧诊断病人出口、东南侧治疗患者出口等处设置了单向门禁，根据患者单向流动不回流的走向考虑，入门后不可返回；在自动分装控制室出入运动室门、分装室出入病人通道二门、医生通道出入病人通道二门等处设置门锁权限；储源室设置双人双锁。门禁系统设置具体示意图见图 10-1。

2、视频监控系统：医院拟在核医学工作场所设置摄像头，分别是 ^{18}F 注射后候诊室、留观/抢救室（靠病人通道一）、病人通道入口、运动室、 ^{99m}Tc 注射后候诊室、 ^{99m}Tc 注射室、 ^{18}F 注射室、 ^{131}I 服药室、缓冲区四、储源室、留观/抢救室（靠病人通道二）等处各安装 1 个全景监控装置，SPECT/CT 检查室、PET/CT 检查室等处各安

装 2 个全景监控装置，病人通道一安装 3 个全景监控装置，病人通道二安装 4 个全景监控装置，能让医护人员全方位的监控到实时动态。视频监控系统设置具体示意图见图 10-2。

3、语音对讲系统：拟在核医学工作场所的 SPECT/CT 设备操作间与机房间、PET/CT 设备操作间与机房间、¹⁸F 注射后候诊室、留观/抢救室（靠病人通道一）、^{99m}Tc 注射后候诊室、^{99m}Tc 注射室、¹⁸F 注射室、¹³¹I 服药室、^{99m}Tc 分装室、¹⁸F 分装室、¹³¹I 分装室、甲癌病房、留观/抢救室（靠病人通道二）内等适当位置设置语音呼叫系统。语音对讲系统设置具体示意图见图 10-2。

核医学患者按照排号顺序，通过接诊叫号，根据科室的语音提示，按秩序进入核医学场所，未叫号的患者不能进入核医学场所控制区，避免产生交叉污染。

通过以上登记及管理接诊的方式，可以严密控制患者接诊的秩序，降低服药患者之间的影响，同时核医学接诊口的工作人员可以控制公众不靠近核医学入口，降低公众的居留时间。核医学场所内地面或墙体上张贴患者路径标识，指示患者进入相应区域。

10.1.4 工作场所布局分析

核医学科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，并设置实体墙隔离（包括地板、顶棚），避免了与相邻区域人员的交叉污染。本项目核医学科平面布局设计见图 1-11。

病人通过致远楼一楼西侧给药前候诊大厅候诊，被叫号后从核医学科西侧入口门禁进入，前往注射室接受注射或服药室服药；待检查人员注射后进入注射后候诊室等待，等待相应时间后进入 PET/CT 或者 SPECT/CT 扫描机房检查，检查完毕无身体不适的从东北侧病人出口离开；门诊治疗患者用药后，从东南侧病人出口离开；住院治疗患者用药后，在住院病房内住院，符合出院要求后再从东南侧病人出口离开。医技人员在西侧医生入口进入致远楼一层核医学科候诊大厅，再通过阅片室出入操作间，因给待检人员摆位需要由控制室出入扫描机房；医护人员在候诊大厅通过南侧医生通道经卫生通过间进入分装室，在分装室内进行分装、注射等操作，结束后通过卫生通过间出去。医护人员操作非密封放射源前，拟在卫生通过间穿戴防护用品后进入高活区（分装室），工作结束经检测表面污染合格后，方能回到低活区。

注射后候诊室、留观/抢救室、核素治疗住院病房（甲癌住院病房）等均设有病

人专用卫生间，含放射性的排泄物及冲洗水排入相应放射性废水衰变池处理。

本项目核医学科包括核素住院治疗和核素诊断场所，场所相对集中布置；控制区内储源、分装、注射（服药）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；设置有专门的给药后候检室、留观/抢救室、住院病房等房间，并通过单向门禁和受控门禁限制给药后患者的活动空间；核医学工作场所设置单向门禁、受控门，进入核医学科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核医学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。通过管理要求，甲癌病房服药及 Lu-177 注射期间，服药室外不能有人员活动，以尽可能降低大剂量放射性药品使用过程中对周围人员的影响。

综上所述，本项目核医学布局基本满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于布局的要求。

10.1.5 辐射屏蔽设计

1、屏蔽材料

该项目使用的各种放射性核素衰变过程会产生不同能量的射线，核医学工作场所采用混凝土、硫酸钡、铅板和铅玻璃等作为主要屏蔽材料。混凝土密度不低于 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，砖密度不低于 $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ ，硫酸钡密度不低于 $3.2\text{g}/\text{cm}^3$ ；防护门采用内衬铅板；观察窗采用铅玻璃观察窗，注射采用一体式注射防护台；分装柜、废物桶等为铅防护。

2、业务用房屏蔽设计方案

根据建设项目单位提供的资料，本项目主要房间设计规格信息见表 10-1，场所采取的辐射防护设计示意图见图 10-3。

表 10-1 项目主要用房屏蔽设计情况

序号	房间	长宽高(m)	面积(m^2)	墙体	材料及厚度
1	SPECT/CT 机房	6×6×5.4	36	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 180mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				四周墙体	240mm 混凝土+40mm 硫酸钡
				防护窗	4mmPb 铅玻璃
				防护门	4mmPb 铅板
2	PET/CT	8.1×5×5.4	40.5	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡

	机房			地面	楼板 180mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				四周墙体	240mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				防护窗	15mmPb 铅玻璃
				南侧防护门	12mmPb 铅板
				北侧防护门	15mmPb 铅板
3	¹⁸ F 注射后候诊室(含卫生间)	6×2.8×5.4	16.8	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 180mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				四周墙体	240mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				防护门	8mmPb 铅板
4	锝氟留观/抢救室(靠病人通道 1)	6×2.8×5.4	16.8	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 180mm 混凝土+120mm 硫酸钡
				四周墙体	240mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				防护门	6mmPb 铅板
5	甲癌病房 1 (¹⁷⁷ Lu)	5.8×3.6×5.4	20.8	顶棚	楼板 120mm 混凝土+180mm 硫酸钡
				地面	楼板 180mm 混凝土+150mm 硫酸钡
				四周墙体	370mm 混凝土+双面 30mm 硫酸钡
				防护门	18mmPb 铅板
6	甲癌病房 2 (¹⁷⁷ Lu)	5.8×3.6×5.4	20.8	顶棚	楼板 120mm 混凝土+180mm 硫酸钡
				地面	楼板 180mm 混凝土+150mm 硫酸钡
				墙体	东侧墙体 370mm 混凝土+120mm 硫酸钡
					其余三侧 370mm 混凝土+双面 30mm 硫酸钡
				防护门	18mmPb 铅板
7	缓冲区 4	7.5×2.2×5.4	16.5	顶棚	楼板 120mm 混凝土+200mm 硫酸钡
				地面	楼板 180mm 混凝土+100mm 硫酸钡
				墙体	东侧、北侧墙体 370mm 混凝土+140mm 硫酸钡
					其余两侧 370mm 混凝土+双面 30mm 硫酸钡
				防护门	22mmPb 铅板
8	储源室	1.6×1.3×5.4	2	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 180mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				墙体	西侧、南侧墙体 240mm 实心砖+30mm 硫酸钡
					北侧、东侧墙体 240mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				防护门	4mmPb 铅板
9	质控室	2.5×1.6×5.4	4	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 180mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				墙体	北侧墙体 240mm 混凝土+30mm 硫酸钡
					其余三侧墙体 240mm 实心砖+30mm 硫酸钡
				防护门	4mmPb 铅板
10	分装室	13×2.8×5.4	36.4	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 180mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				四周墙体	240mm 混凝土+30mm 硫酸钡

				防护门（靠卫生间通过间）	12mmPb 铅板
				防护门（靠锝注射室）	12mmPb 铅板
				防护门（靠病人通道二）	12mmPb 铅板
11 ¹³¹ I 服药室/ ¹⁷⁷ Lu、 ⁸⁹ Sr 注射室	2.5×3×5.4	7.5	顶棚	楼板 120mm 混凝土+120mm 硫酸钡	
			地面	楼板 180mm 混凝土+100mm 硫酸钡	
			四周墙体	240mm 混凝土+40mm 硫酸钡	
			防护门	12mmPb 铅板	
12 ¹⁸ F 注射室	2.6×3×5.4	7.8	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡	
			地面	楼板 180mm 混凝土+150mm 硫酸钡	
			四周墙体	墙体 240mm 混凝土+30mm 硫酸钡	
			防护门	12mmPb 铅板	
13 ^{99m} Tc 注射室	2.5×3×5.4	7.5	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡	
			地面	楼板 180mm 混凝土+30mm 硫酸钡	
			四周墙体	墙体 240mm 混凝土+30mm 硫酸钡	
			防护门	4mmPb 铅板	
14 ^{99m} Tc 注射后候诊室(含卫)	6.1×2.5×5.4	15.2	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡	
			地面	楼板 180mm 混凝土+30mm 硫酸钡	
			墙体	东侧墙体 240mm 混凝土+30mm 硫酸钡	
				西侧墙体与运动室共面为 240mm 实心砖+30mm 硫酸钡；与自动分装室共面为 240mm 实心砖+100mm 硫酸钡	
				南侧墙体 240mm 实心砖+50mm 硫酸钡	
			墙体	北侧墙体 240mm 实心砖+30mm 硫酸钡	
				防护门 4mmPb 铅板	
15 运动室	3×2.2×5.4	6.6	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡	
			地面	楼板 180mm 混凝土+30mm 硫酸钡	
			四周墙体	南侧墙体 240mm 实心砖+100mm 硫酸钡	
				其余三侧墙体 240mm 实心砖+30mm 硫酸钡	
			防护门	4mmPb 铅板	
16 自动分装室	2.8×2.2×5.4	6.1	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡	
			地面	楼板 180mm 混凝土+30mm 硫酸钡	
			四周墙体	北侧、东侧墙体 240mm 实心砖+100mm 硫酸钡	
				其余两侧墙体 240mm 实心砖+30mm 硫酸钡	
			防护门	普通门	

17	甲测室	3×2.6×5.4	7.8	顶棚	楼板 120mm 混凝土
				地面	楼板 180mm 混凝土
				四周墙体	墙体 240mm 实心砖
				防护门	2mmPb 铅板
18	固废间 (靠病人通道一)	1.8×1.3×5.4	2	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 180mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				四周墙体	墙体 240mm 实心砖+30mm 硫酸钡
				防护门	5mmPb 铅板
19	清洗间 (靠病人通道一)	1.8×1.3×5.4	2	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 180mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				墙体	南侧墙体 370mm 混凝土+双面 30mm 硫酸钡
					其余三侧墙体 240mm 实心砖+30mm 硫酸钡
				防护门	5mmPb 铅板
20	固废间 (靠病人通道二)	3×2×5.4	6	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 180mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				四周墙体	墙体 240mm 实心砖+30mm 硫酸钡
				防护门	5mmPb 铅板
21	清洗间 (靠病人通道二)	1.8×1.8×5.4	3	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 180mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				四周墙体	墙体 240mm 实心砖+30mm 硫酸钡
				防护门	5mmPb 铅板
22	备用间	5.1×2.2×5.4	11.2	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 180mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				四周墙体	墙体 240mm 实心砖+30mm 硫酸钡
				防护门	5mmPb 铅板
23	碘留观/抢救室 (靠病人通道二)	5.1×3.5×5.4	17.8	顶棚	楼板 120mm 混凝土+50mm 硫酸钡
				地面	楼板 180mm 混凝土+40mm 硫酸钡
				墙体	北侧墙体 370mm 混凝土+双面 30mm 硫酸钡
					东侧墙体 240mm 实心砖+120mm 硫酸钡
				墙体	其余两侧墙体 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡
					防护门 14mmPb 铅板
24	病人通道 一	/	/	顶棚	楼板 120mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				地面	楼板 180mm 混凝土+30mm 硫酸钡
				墙体	砖墙 240mm 实心砖+30mm 硫酸钡
				防护门	12mmPb 铅板
25	病人通道 二	/	/	顶棚	楼板 120mm 混凝土+150mm 硫酸钡
				地面	楼板 180mm 混凝土+100mm 硫酸钡

				四周墙体	砖墙 240mm 实心砖+双面 40mm 硫酸钡
				防护门	15mmPb 铅板

注:表中 PET 检查场所相关等效铅当量 mmPb 值是相对于 F-18 的 γ 射线能量等效的, SPECT 检查场所的等效铅当量 mmPb 值是相对于 Tc-99m 的 γ 射线能量等效的, 碘-131 相关场所的等效铅当量 mmPb 值是相对于碘-131 的 γ 射线能量等效的。

3、CT 机房屏蔽设计

由表 10-1 可知本项目 SPECT/CT 及 PET/CT 机房设计符合《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 中对 CT 机房的要求。

4、分装柜及注射台屏蔽情况

项目拟设置 3 个放射药品分装柜, 分别为: 氟分装室内的氟分装柜、锝分装室内的锝分装柜、碘分装室内的碘分装柜。其中, 氟分装柜采取整体屏蔽能力为 60mmPb, 德分装柜的整体辐射屏蔽能力为 20mmPb, 碘分装柜的整体辐射屏蔽能力为 40mmPb。分装柜设计示意图见图 10-4 至图 10-6。

项目拟设置的氟注射窗台整体防护设计能力为 40mmPb; 拟设置的锝注射窗台、镥注射窗台整体防护设计能力均为 20mmPb。设计示意图见图 10-7~图 10-9。

5、防护设备和个人防护用品 1

该项目核医学工作场所拟配置的防护设备和个人防护用品如表 10-2 所示。

表 10-2 核医学工作场所拟配置的防护设备

防护用品名称	规格	数量
个人剂量报警仪	/	10 台
铅衣	0.5mmPb	8 件
铅帽	0.5mmPb	8 件
铅围脖	0.5mmPb	8 件
铅眼镜	0.5mmPb	8 件
铅手套	0.5mmPb	3 套
手提铅盒	/	6 个
钨合金氟注射防护套	18mmPb	3 套
锝注射器防护套	5mmPb	3 套
废物防护储物箱	10mmPb、20mmPb	15 个
辐射防护检测仪	/	1 台
表面污染监测仪	/	1 台
铅屏风	10mmPb	2 张
活度计	/	3 台

10.2 工作场所分级、分区

10.2.1 非密封源工作场所分级

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，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：

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

根据式 10-1 计算得到的日等效操作量及分级结果见表 10-3。

表 10-3 工作场所分级

序号	核素名称	日实际最大操作量(Bq)	毒性因子	操作因子	日等效最大操作量(Bq)	叠加日等效最大操作量(Bq)	分级
1	¹⁸ F	2.22×10^{10}	0.01	10	2.22×10^7	2.6714×10^9	乙级
2	⁶⁸ Ga	3.7×10^9	0.01	10	3.7×10^6		
3	⁹⁹ Mo	1.85×10^{10}	0.1	100	1.85×10^7		
4	^{99m} Tc	1.85×10^{10}	0.01	10	1.85×10^7		
5	¹³¹ I	1.85×10^{10}	0.1	1	1.85×10^9		
6	¹⁷⁷ Lu	7.4×10^9	0.1	1	7.4×10^8		
7	⁸⁹ Sr	1.85×10^8	0.1	1	1.85×10^7		

根据表 10-3 可知，该项目核医学应用场所应该按照乙级非密封源工作场所进行管理。

10.2.2 非密封源工作场所分类

按照《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）第 5.2.2 节内容规定应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开发性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为 I、II、III三类，具体分类办法见表 10-4。加权活度计算公式见式 10-2，根据该公式可计算本项目日最大量放射性核素加权活度见表 10-5。

表 10-4 核医学工作场所分类一览表

分类	日操作最大量放射性核素的加权活度 MBq
I	>50000
II	$50 \sim 50000$
III	<50

$$\text{加权活度} = \frac{\text{计划的日操作最大活度} \times \text{核素的毒性权重因子}}{\text{操作性质修正因子}} \quad (\text{式 10-2})$$

表 10-5 本项目核医学科工作场所分类情况

场所名称	日操作最大活	毒性权重	操作性质	操作最大量放射性核素	场所分类
------	--------	------	------	------------	------

	度 (GBq)	因子	修正因子	的加权活度 (MBq)	
碘分装室、服药室	18.5	100	1	1850000	I类
锝分装室、锝注射室	18.5	1	1	18500	II类
锝注射后候诊室	18.5	1	10	1850	II类
氟分装室、氟注射室	22.2	1	1	22000	II类
氟注射后候诊室	22.2	1	10	2200	II类
储源室	18.5	100	100	18500	II类
住院病房(按2名甲癌服碘病人)	14.8	100	1	1480000	I类
氟锝留观/抢救室	18.5	1	10	1850	II类
碘留观/抢救室	3.7	100	1	370000	I类
SPECT/CT 检查室	18.5	1	10	1850	II类
PET/CT 检查室	9.25	1	10	925	II类
运动平板室	2.4	1	10	240	II类

注：（1）运动平板室的计算保守按总检查例数的10%；（2）SPECT/CT 检查室、氟锝留观/抢救室的计算保守按规划最大使用量。

对照《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) 中关于不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求，I类、II类工作场所的要求见表10-6。项目应根据表10-6对核医学工作场所进行分类建设管理。

表 10-6 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

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

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

该项目场所分装室、注射室、服药室、留观/抢救室、住院病房、注射后候诊室、SPECT/CT 检查室、储源室等用房均建设带辐射防护功能的墙体及门窗，地面进行无

缝装修，地面与墙壁间无缝隙，易清洗；分装室设置有分装柜，场所设有强制排风系统，放射性废水排放管道已按照尽可能短路径设计，场所均设有脚踏式洗手盆。综上所述，该场所用房室内表面及装备结构的建设能满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的要求。

10.2.3 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》（GB18871-2002）的要求，辐射工作场所可分为控制区、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，核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。

本项目场所具体分区示意图见图 10-10。

(1) 控制区包括：SPECT/CT 机房、PET/CT 设备机房、PET/CT 机房、氟注射后候诊室、氟留观/抢救室、病人通道一（诊断病人出口）、固废间（暂存氟锝项目放射性固体废物）、清洗间、缓冲区、运动室、自动分装控制室、锝注射后候诊室、锝注射室、氟注射室、服药室、分装室（锝、氟、碘）、卫生通过间、被服间、质控室、储源室、病人通道二（治疗患者用药后通道）、2 间甲癌住院病房、碘留观/抢救室、固废间（暂存治疗项目放射性固体废物）、清洗间、放射性废水衰变池上方地面等区域划为控制区（图 10-10 红色区域）。经与医院核实，确认结合管理便利及从严分区，将入口及出口的缓冲区、卫生通过间、PET/CT 设备机房、自动分装控制室等区域划入控制区管理。

(2) 监督区主要是控制区外围相邻区域，其中包括：病人通道入口外、甲测室、SPECT/CT 设备间、操作间、患者出口 1m 区域、消防监控室及门外区域、无障碍电梯区域、放疗科值班室、放疗科出入大厅、碘留观/抢救室东侧墙外 1m、缓冲区三及备用间南侧墙外 1m、缓冲区三西侧备用间、卫生通过间南侧及西侧通道、自动分装室西侧缓冲间及更衣室等划为监督区（图 10-10 蓝色区域）。医院对监督区不采取专

门的辐射防护安全措施，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，本项目功能分区能满足 HJ 1188-2021 的分区管理要求。

10.3 辐射防护措施

核医学科工作场所拟采取的安全防护措施和设施与《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的符合情况见表 10-7。

表 10-7 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）符合性分析

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。	本项目场址位于医院致远楼一楼，该一层主要为核医学业务用房，为相对独立、专用区域；不毗邻产科、儿科、食堂等部门，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。	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，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台帐，及时登记，确保账物相符。	本项目放射性药物按需订购，到货后一般直接暂存于分装室分装柜内，特殊情况下先暂存于储源室，均有贮存容器；各贮存场所均位于控制区内，采取了屏蔽措施。安排专人管理，建立放射性物质台帐，及时登记，确保帐务相符。定期对各贮存场所进行辐射水平监测并记录，各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。	核医学科涉及放射性核素操作设备的表面、工作台台面等拟采用平整光滑设计，室内地面铺设防渗透胶地板、在墙面施工至少离地 50cm，能够保证地面与墙壁衔接处无接触，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。	本项目药物采用手动、自动分装或购买按人份分装好的药物，手动及自动分装设备外置具有通风和防护功能的分装柜内（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）；项目配备有药物转运的屏蔽药箱，并为药物操作人员配备防护用品。给药后患者留观室内设置有足够屏蔽厚度的铅屏风，以减少多人候诊室时对其他患者的照射；核素	符合

		治疗病房内配备铅屏风，病房本身采取了符合要求的屏蔽措施，医护人员主要采用视频和语言查房，以减少对其他患者和医护人员的照射。	
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，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。	本项目核医学科配备拟采购配备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	扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。	核医学科 PET/CT、SPECT/CT 等扫描机房门框上方均设置工作状态指示灯，灯箱处设置警示语句，指示灯与防护门联锁。	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
9	碘-131 治疗病房应设有单独的通风系统，病房的门窗应有封闭措施，保持治疗区域内的负压，治疗区域内的空气应经单独的排气管道有组织排放。	治疗区碘-131 治疗病房设置有单独的通风系统，住院期间病房门均为封闭状态，控制新风和排风风量保持治疗区域内的负压，最终废气经单独排风管排至屋顶经过滤处理设施处理后有组织排放。	符合
10	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。	本项目核医学科放射性物质分装、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。本项目核医学科分装柜排风系统排气口均高于所在建筑屋顶，排放口远离邻近的高层建筑。	符合

核医学科工作场所拟采取的安全防护措施和设施与《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) 的符合情况见表 10-8。

表 10-8 拟采取的安全防护措施和设施与 GBZ 120-2020 符合情况对照表

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。	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	药物运送在核医学上班之前, 废物运送 在核医学下班之后, 放射性药物、废物运送通道较便于药物运送和处理, 甲癌病人服药及 Lu-177 注射治疗期间控制服药室外无相关人员活动, 通过空间管控避免放射性物料和人员的交叉; 核医学给药前患者、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。同时核医学分区设专用污洗间, 方便开展放射性污染的清理、清洗。	符合
3	应通过工作场所平面布局的设计和屏蔽手段, 避免附近的辐射源(核医学周边场所内的辐射装置、给药后患者或受检者)对诊断区设备成像、功能检测的影响。	核医学工作场所相关用房均采取了相应的辐射防护屏蔽措施, 避免对诊断区设备成像、功能检测的影响。	符合
4	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; 手套箱和分装柜均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
5	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液衰变池, 容积能满足废水达标排放要求; 暴露的污水管道采取铅皮包裹或埋地加盖混凝土等防护设计, 同时加强运行期间监测,	符合

		一旦发现管道路径辐射剂量率异常，则及时采取措施。	
6	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；核医学场所中相应位置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设置工作状态指示灯。	符合
7	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。	给药后患者或受检者候诊室、扫描室均配备监视设施或观察窗和对讲装置；项目配备满足需求的屏蔽容器。	符合
8	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、注射等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或自动分装仪等带屏蔽的柜体中；装有放射性药物的给药注射器均有适当屏蔽。	符合
9	^{131}I 治疗病房区应为相对独立的场所，病房区入口处应设缓冲区。患者住院后，只能在治疗区活动。	^{131}I 治疗病房区独立的区域，入口设置了门禁，设置了缓冲区域。通过受控门禁管理住院患者活动范围只能在治疗区范围内。	符合
10	^{131}I 病房内应设置患者专用厕所和淋浴间，厕所内应有患者冲厕所和洗手的提示。	^{131}I 治疗病房内设专用厕所和淋浴间，厕所内张贴患者冲厕所和洗手的提示。	符合
11	分装室与给药室之间药物传递应便捷，分装好的 ^{131}I 宜采用机械或自动、半自动的方式传递到给药室，给药过程应有监控。分装室应设置工作人员通过间，通过间应配备表面污染检测及剂量率检测仪表及清洗设施。	碘分装室内设置自动分装仪，需要分装的药物经分装后直接输送至给服碘室；给药室内设置监控设施，工作人员能够全方位清楚的观察给药、服药全过程。分装室拟设有工作人员卫生通过间，通过间配备表面污染检测及剂量率仪表及清洗设施。	符合
12	施用了 ^{131}I 治疗药物的患者如需住院应使用专用病房。专用病房宜为单人间，如不能实现，每间病房最多不应超过2人，并且2人之间应设置适当的防护屏蔽。	本项目拟设2间甲癌治疗病房，每间病房按双人间设计。注 ^{177}Lu 患者使用不得与甲癌患者住院发生冲突。	符合
13	在 ^{131}I 病房场所应使用专用的保洁用品，不能和其他场所（包括核医学其他放射性场所）混用，病房区域内应有存放及清洗保洁用品的场所。	各病房设置单独卫生间，并配备必要保洁用品；治疗区设置专门的污洗间，配备专用的保洁用品，不与其他场所混用。	符合

根据上述对照分析结果可知，本项目核医学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。

10.4 三废的治理

1、放射性废水来源

本项目核医学科产生的放射废水主要来源于给药后患者排泄物及冲洗水(包括住院病房及门诊检查、治疗患者)、工作台面及地面去污时产生的废水。必须特别提出,剩余的放射性废液,必须仍留于原容器中,贮存于分装柜中,切不可倒入废水贮存衰变池。

氟锝废水流向说明:从锝注射后候诊室卫生间开始,管线沿着病人通道一往西,收集氟注射后候诊室卫生间及留观/抢救室卫生间废水,再往西收集清洗间废水,最后排入氟锝废水衰变池。

碘废水流向说明:从卫生通过间的清洗间及淋浴间开始收集废水,管线往西,收集两个住院病房卫生间废水,再收集碘留观/抢救室卫生间废水及碘清洗间废水,最后排入碘废水衰变池。

该项目场所放射性废水收集路线见图 10-11。

(1) 放射性废水治理设施

医院拟在致远楼西面室外地下设置两套相互独立的槽式衰变池系统(衰变池位置示意图见图 7-1),根据核素半衰期不同分为碘衰变池与氟锝衰变池。

碘衰变池拟设置为三级主衰变池,每级有效容积为 80m³,总容积为 240m³,并配有化粪池(100m³)、应急衰变池(40m³)、固废池(10m³)。

氟锝衰变池拟设置为三级主衰变池,每级有效容积为 10m³,总容积为 30m³,并配有化粪池(18m³)、应急衰变池(10m³)、固废池(8m³)、冲蓄水池(8m³)。

项目碘衰变池主体内部采用厚度为 300mmC30 混凝土浇筑,氟锝衰变池内部采用厚度为 200mmC30 混凝土浇筑,池体内部均刷 K11 防水防渗水泥基,池体做到防水、防渗、防腐蚀,池体盖板均采用 20mmPb 防护,衰变池预留取样口。碘衰变池到碘相关卫生间,裸露排水管做 20mmPb 防护;氟锝衰变池到锝相关卫生间,裸露排水管做 8mmPb 防护;氟锝衰变池到氟相关卫生间,裸露排水管做 20mmPb 防护,项目衰变池建设满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 中第 7.3 款要求。

项目衰变池工作原理:放射性污水从进水口进入化粪池,当过滤后的放射性污水达到一定的水位时液位传感器将信息反馈到控制器上,控制器再控制进水泵启动衰变

池1进水管上的电磁阀打开将化粪池的放射性污水通过衰变池1的进水管排入衰变池1中，当放射性污水量达到衰变池1的容量时衰变池1中的液位传感器将信息反馈至控制器中，控制器控制衰变池进水管上的电磁阀关闭停止进水开始衰变，当新进的放射性污水再次达到水位时衰变池2电磁阀启动，放射性污水将通过衰变池2的进水管进入衰变池2中。三级衰变池以此类推。当衰变池最后一级槽体未注满前第一级槽体内废水达到排放标准后先排放。当最后一级槽体注满后，自动关闭，开启第一级槽体，依次循环；整体运行由衰变池废水排放检测系统进行监控管理。当衰变池暂存废水满足生态环境监管部门要求后，自动排放至医院污水管网中。项目衰变池设计示意图见图10-12至图10-14。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），针对项目放射性废水衰变池提出如下管理措施要求：项目衰变池应通过可视化控制系统、摄像头、液位计（具有液位报警功能）监视衰变池水位情况，防止衰变池液体泄漏；放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水管道应尽量短，大水流管道应有标记，便于检测和维修；衰变池上方四周应设置围栏，并悬挂警示标识，禁止无关人员进入；此外，待项目建设后，医院拟加强对管线沿途及衰变池上方开展辐射剂量率监测，一旦发现剂量率超标及时增强辐射屏蔽。

（2）正常工况放射性废水处理

① ALImin 的计算

本项目设置两套衰变池均为槽式衰变池，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）第7.3.3.1款要求，氟锝衰变池的排放应按照“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”。

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）的要求，结合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）第7.3.3.1款要求，含碘-131放射性废水暂存180天可直接排放。

本项目设置两套槽式衰变池，其中碘衰变池收集废水涉及¹³¹I、¹⁷⁷Lu两核素，¹⁷⁷Lu使用量少且半衰期较¹³¹I短，因此碘衰变池废水排放限值按¹³¹I进行计算；氟锝衰变池可能涉及核素有¹⁸F、^{99m}Tc、⁸⁹Sr、⁶⁸Ga，其中⁶⁸Ga核素用量少，半衰期较¹⁸F、^{99m}Tc短，⁸⁹Sr核素治疗项目按病人用量定购，一次用完一疗程用量，不存在稀释、分装等过程，且在给药后稍作观察即可离开，在核医学科停留时间很短，因此氟锝衰变池按

^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 进行计算。

根据 GB 18871-2002 的相关规定可得： ^{18}F 的 ALImin 为 $2.15 \times 10^8 \text{Bq}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的 ALImin 为 $6.9 \times 10^8 \text{Bq}$ 、 ^{131}I 的 ALImin 为 $9.1 \times 10^5 \text{Bq}$ 。

②废水量

本项目 2 间双人住院病房主要以甲癌治疗住院为主，兼顾 ^{177}Lu 治疗住院。 ^{177}Lu 使用量少且半衰期较 ^{131}I 短。综上，对于碘衰变池设计处理能力的评价，按 2 间双人住院病房全部为甲癌治疗住院来核算，即当该衰变池设计处理能力能满足全部甲癌住院治疗的话，它也能满足兼顾 ^{177}Lu 治疗住院的要求。

从偏保守考虑，甲癌治疗住院每天均满负荷运行，住院每人每天排水按 200L，每天住院按满员 4 人；甲亢治疗规划每天 10 人，一般情况下服药后即直接离开核医学，特殊情况下才会进抢救/观察室处理，才可能产生含碘-131 废水排放，则保守估计该区域清洁用水、卫生通过间洗手及淋浴、甲亢治疗等排水按每天 200L 计，保守也按每天都开展治疗。综上所述，碘衰变池每治疗日收集废水 1m^3 。

氟锝衰变池主要收集 SPECT/CT 检查项目及 PET/CT 检查项目产生的放射性废水，主要为注射后候诊室及留观抢救室产生的放射性废水。该 2 个项目日检查人数最大共计 55 人，每位受检者在待检期间产生废水量 10L/人，该区域每天清洁用水 100L，则氟锝衰变池每天收集废水 0.65m^3 。

③衰变池的暂存衰变时间估算

a、碘废水

碘衰变池废水收集量为 $1\text{m}^3/\text{d}$ ，单个衰变池有效容积为 80m^3 ，注满单个衰变池时间为 80 日，碘衰变池为 1 级化粪池加 3 级主衰变池，当第一级池满水封闭后，考虑化粪池的缓冲时间及第二级、三级衰变池可容纳 240 天排放的废水量，大于 180 天，可以直接排放。以此类推。

b、氟锝废水

氟锝衰变池废水收集量为 $0.65\text{m}^3/\text{d}$ ，单个衰变池有效容积为 10m^3 ，注满单个衰变池时间约为 15 日，氟锝衰变池为 1 级化粪池加 3 级主衰变池，当第一级池满水封闭后，考虑化粪池的缓冲时间及第二级、三级衰变池可容纳 45 天排放的废水量，大于 30 天，可以直接排放。以此类推。

(3) 事故工况放射性废水处理

核医学科建设的废水衰变池，除收集核医学科正常工况下的废水及处理专用卫生间排出的病人排泄物外，还作为处理事故工况下废水的处理设施。一旦发生因分装操作不小心或病人服药出现失误而使¹³¹I、^{99m}Tc、¹⁸F等溶液倾洒等事故工况时，按操作规程，应先用药棉、吸水纸等从污染区的边缘向中心擦抹，直到擦干污染区，然后用大量水冲洗，冲洗水排入废水衰变池。

① ¹³¹I 事故废水

假设发生事故工况，某次购回的¹³¹I全部发生倾洒，倾洒¹³¹I的活度以 1.85×10^{10} Bq（日规划最大操作量）计，其中90%转移固体废弃物中去（按操作规程，应先用药棉等擦去），10%转移到清洗水中去，则这些废水中¹³¹I的含量为 1.85×10^9 Bq，大于¹³¹I的ALImin= 9.1×10^5 Bq。因此，这部分废水不可以一次直接排放入医院废水处理系统，需排入核医学科建设的碘衰变池中应急池，待其衰变至¹³¹I的ALImin值后，方可排往医院废水处理系统。经估算，倾洒后进入碘衰变池中应急池的¹³¹I需经过约89天后可排放。

②^{99m}Tc 事故废水

假设发生事故工况，某次淋洗出的^{99m}Tc全部发生倾洒，倾洒^{99m}Tc的活度以 1.85×10^{10} Bq（日规划最大操作量）计，其中90%转移固体废弃物中去（按操作规程，应先用药棉等擦去），10%转移到清洗水中去，则这些废水中^{99m}Tc的含量为 1.85×10^9 Bq，大于^{99m}Tc的ALImin= 6.9×10^8 Bq。因此，这部分废水不可以一次直接排放入医院废水处理系统，需排入核医学科建设的氟锝衰变池中应急池，待其衰变至ALImin值后，方可排往医院废水处理系统。经估算，倾洒后进入氟锝衰变池中应急池的^{99m}Tc需留存9小时以上后可排放。

③¹⁸F 事故废水

假设发生事故工况，某次购回的¹⁸F全部发生倾洒，倾洒¹⁸F的活度以 2.22×10^{10} Bq（日规划最大操作量）计，其中90%转移固体废弃物中去（按操作规程，应先用药棉等擦去），10%转移到清洗水中去，则这些废水中¹⁸F的含量为 2.22×10^9 Bq，大于¹⁸F的ALImin= 2.15×10^8 Bq。因此，这部分废水不可以一次直接排放入医院废水处理系统，需排入核医学科建设的氟锝衰变池中应急池，待其衰变至ALImin值后，方可排往医院废水处理系统。经估算，倾洒后进入氟锝衰变池中应急池的¹⁸F需经过约6小时即可排放。

2、放射性固体废物

放射性固体废弃物主要包括未用完的⁹⁹Mo-^{99m}Tc柱、一次性注射器、病人服药后的服药杯、吸水纸、棉花、沙布、操作用的手套、废活性炭等物品。旧的⁹⁹Mo-^{99m}Tc发生器一般使用二周后，因放射性活度下降已无实际医用价值，最终是连同原包装容器退回供方。因此，只要医院加强管理，不发生⁹⁹Mo-^{99m}Tc发生器丢失事故，则固态放射性废物—旧的⁹⁹Mo-^{99m}Tc发生器将不会造成环境污染。碘(¹³¹I)化钠口服液、⁸⁹Sr、¹⁷⁷Lu等包装容器由生产厂家回收，废⁶⁸Ge源也由生产厂家回收。

核医学科将一次性注射器、病人服药后的服药杯、吸水纸、棉花、纱布、操作用的手套等固体废弃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弃物连同垃圾袋分期存放于建于核医学科的放射性污物储存间内存放。

核医学科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。

需要指出的是，医院应加强管理，用来收集放射性固体废弃物的专用收集箱应贴上电离辐射标志，每次收集时收集袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间。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，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

根据《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)，针对放射性固废的收集、贮存和处理提出如下管理措施要求：

(1) 放射性固体废物收集

①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；②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；③放射性固废收集桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，放置刺破废物袋；④放射性废物每袋重量不超过20kg，装满废物的塑料袋应密封密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

(2) 放射性固废临时贮存和最终处理

①放射性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；②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， 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。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。

3、废放射源

PET/CT 诊断使用的校准源 ^{68}Ge 属于密封放射源，报废后由放射源供应单位回收处置，建设单位应做好废源处置的申报和记录。

4、放射性废气

由污染源分析可知，核医学科放射性同位素使用过程介质为水，操作比较简单，不经过加热、振荡等步骤。核医学进行分装操作时，为安全起见，在分装柜或自动分装仪中进行操作，不存在食入、吸入等内照射影响。本项目核医学科工作场所设置有独立的排风系统，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；碘分装室、服碘室、碘留观/抢救室、甲癌住院病房等，产生的含 ^{131}I 挥发性核素的废气通过专门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；项目拟配风机风速不小于 0.5m/s ，并设置活性炭过滤装置。

在控制区各业务用房均拟设置通风设施，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。项目新风及通风设计满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中第 7.4 款要求，项目场所排风示意图如图 10-15 所示，项目所在楼顶排放系统示意图见图 10-16，项目场所新风示意图如图 10-17 所示。

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）的符合情况见表 10-9。

表 10-9 放射性废物管理与 HJ 1188-2021 的符合情况

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	本项目核医学科在控制区内均建有给药后病人专用卫生间，排泄物排入废水衰变池暂存衰变；本项目根据核	符合

	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。	素种类、半衰期、活度水平和理论化性质对病人排泄物进行分类收集处理。将服 ¹³¹ I治疗的患者排泄物排入项目碘衰变池，注锝、注氟显像患者排泄物排入项目氟锝衰变池。	
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。	本项目使用的核素属于短寿命放射性核素，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。	核医学科建有相关制度，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均建有独立的通风换气装置，入口处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。	拟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。	本项目设置有两套槽式放射性废水衰变池，收集放射性药物操作间、给药后患者卫生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	经理论预测，本项目设置的衰变池收集的放射性废液正常贮存衰变后能满足排放要求，衰变池配套应急池满	符合

	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。	足项目放射性事故废水排放需求。项目设计衰变池池体坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。	
10	7.3.2.3 含碘-131 治疗病房的核医学工作场所应设置槽式废液衰变池。槽式废液衰变池应由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为 2 组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上预设取样口。有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。	本项目设有槽式废液衰变池，用于收集项目含碘-131 治疗病房的放射性废水，设计有 3 组槽式池体，交替贮存、衰变和排放废水。每组池体均预设有取样口。衰变池设计有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。	符合
11	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 被最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。	本项目衰变池均为槽式衰变池，其中氟锝衰变池收集废水主要为含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的废水， ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素半衰期小于 24 小时，项目含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的废水在锝氟衰变池池中暂存时间为 45 天，大于 30 天；碘衰变池收集的放射性废水在衰变池中暂存时间为 240 天，大于 180 天；项目衰变池均预留有取样口。依据《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），可直接排放。	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。	核医学放射性药物均在分装室内分装柜内操作，均配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

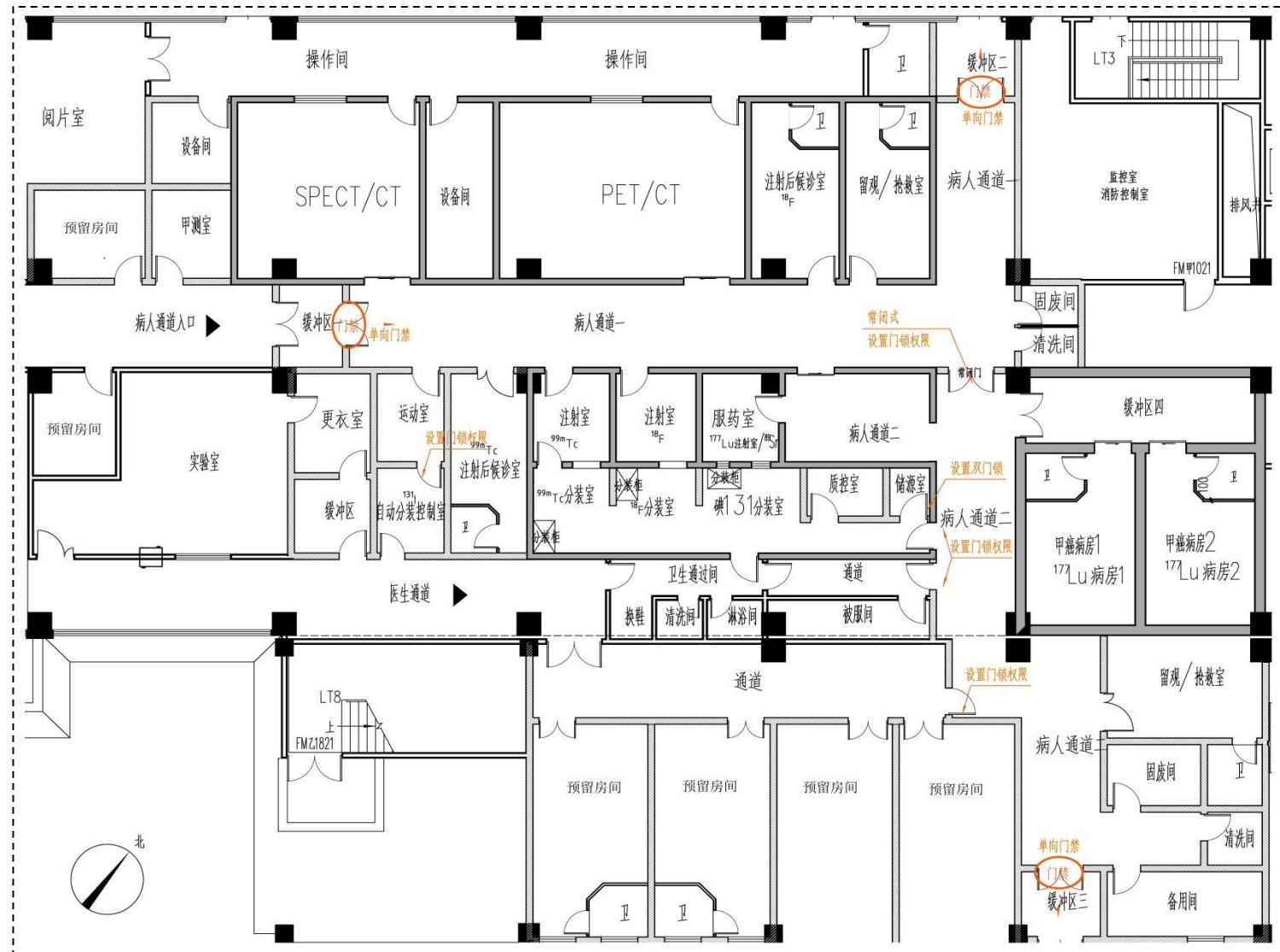


图 10-1 核医学工作场所门禁设置示意图

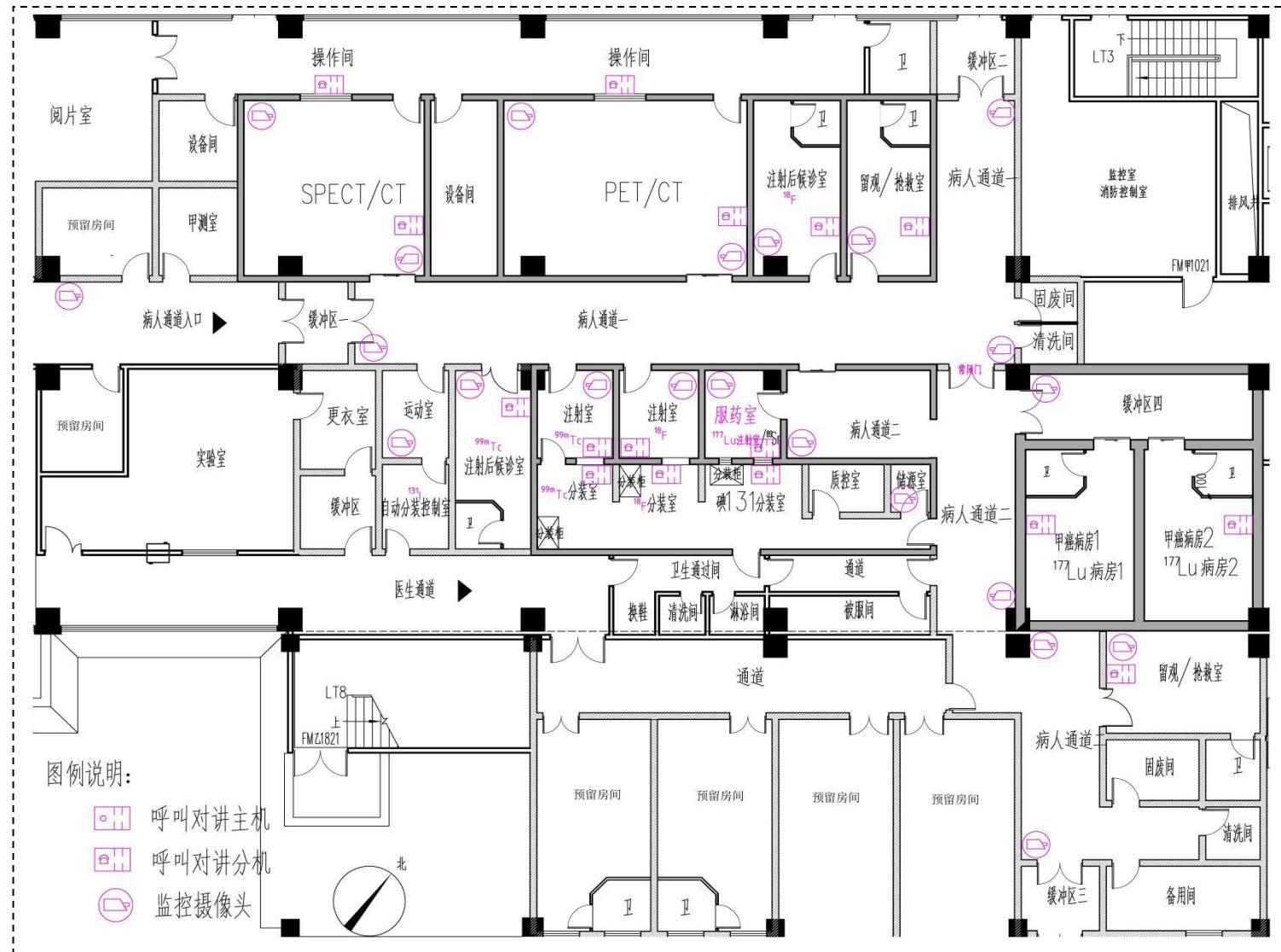
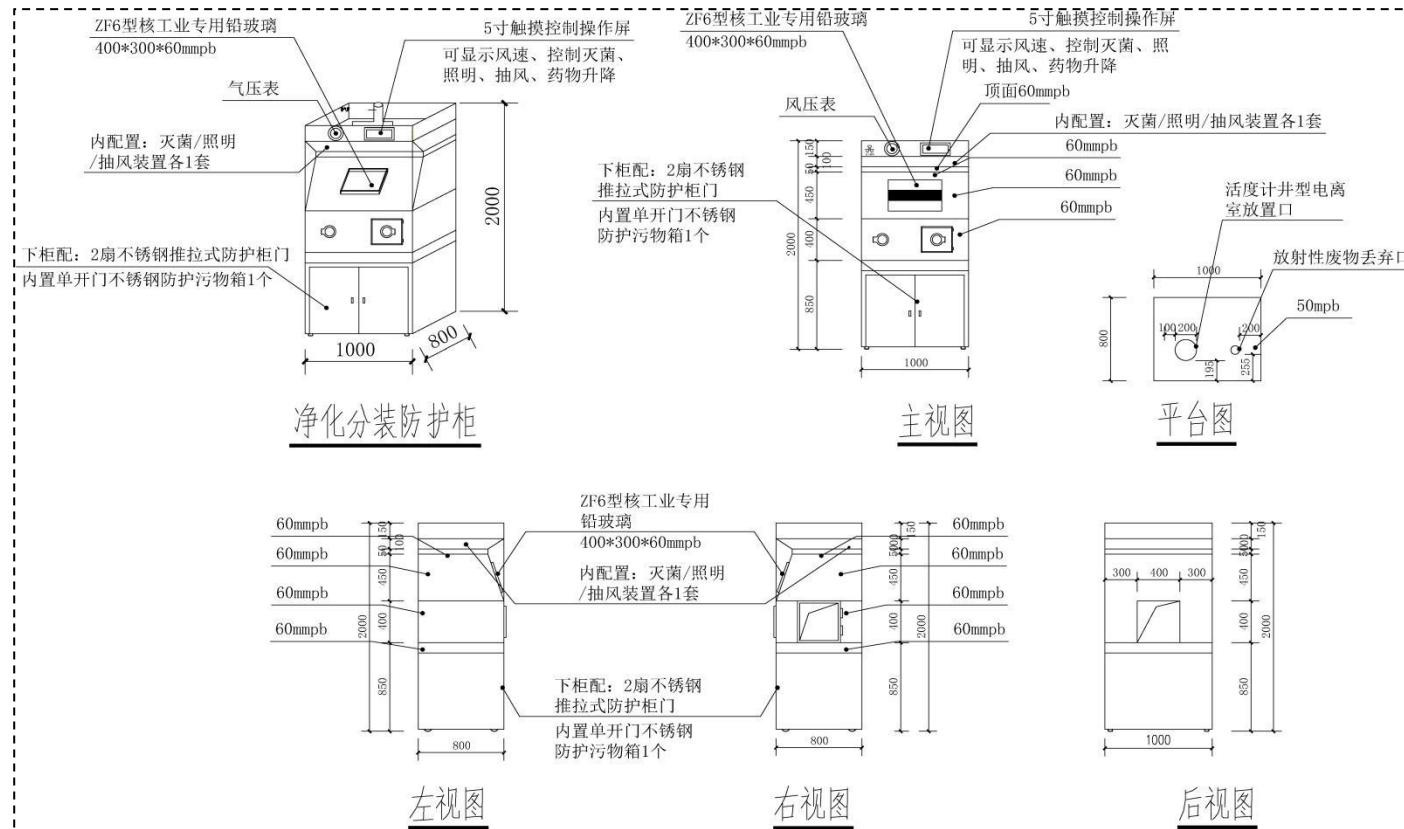


图 10-2 核医学工作场所视频监控及对讲系统布局示意图



图 10-3 核医学工作场所辐射防护设计示意图

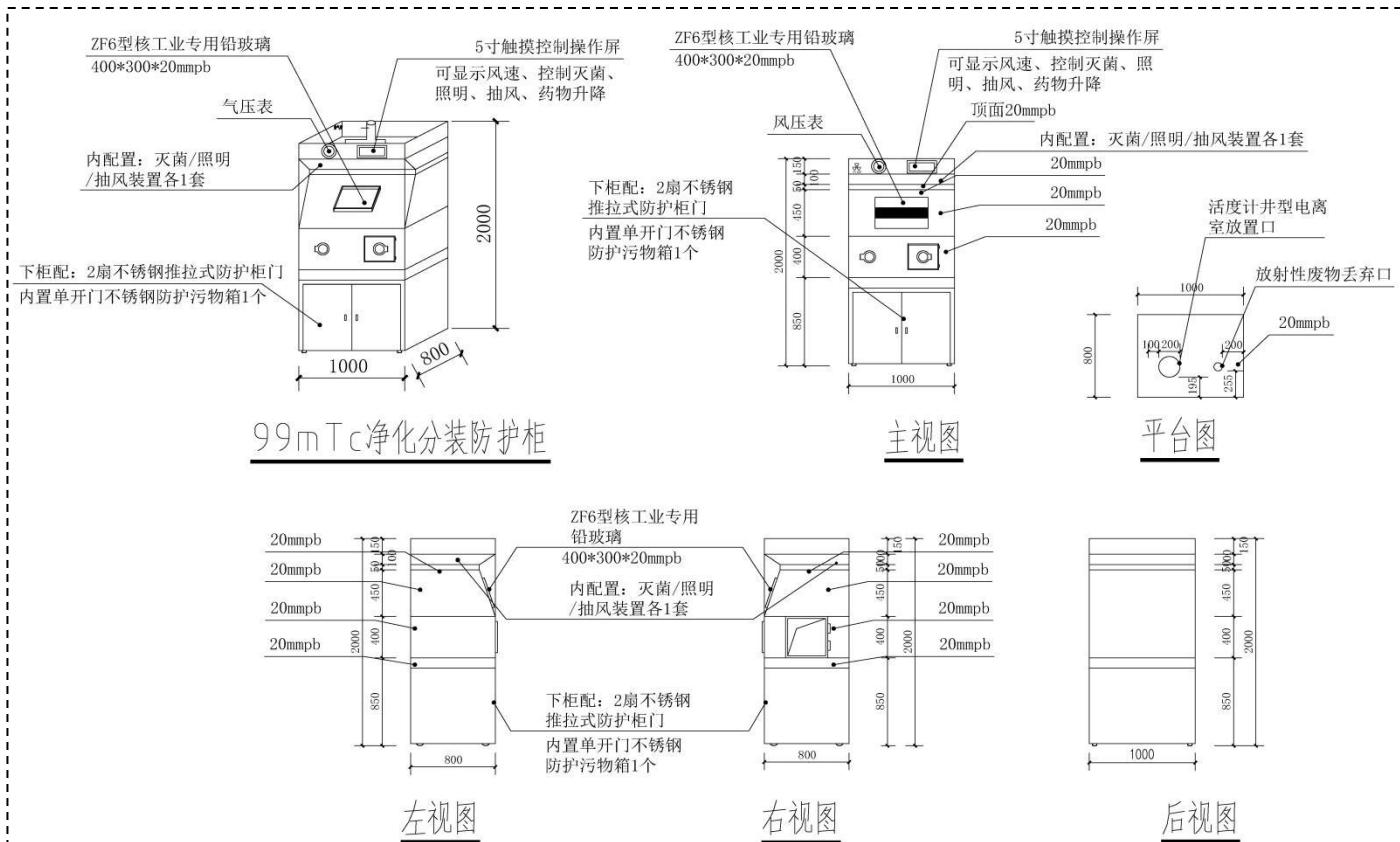


单联分装通风防护柜特征及配置描述:

- 1、上柜配：内置灭菌/照明/抽风装置各1套，镶嵌1块ZF6型400*300*60mmpb核工业专用铅玻璃视窗；下柜配：2扇不锈钢推拉式防护柜门，分装平台预留活度计井型电离室放置口+电离室不锈钢活度计防护桶、预留放射性废物丢弃口，内置单开门不锈钢防护污物箱1个。
- 2、柜体上部镶嵌安装5寸触摸控制操作屏1个，可显示风速、控制灭菌、照明及抽风。
- 3、不含柜外风管及安装。
- 4、规格：长1000*宽750*高2000单联。

单联分装通风防护柜 (F-18)

图 10-4 氟分装柜设计示意图



单联分装通风防护柜特征及配置描述:

- 1、上柜配：内置灭菌/照明/抽风装置各1套，镶嵌1块ZF6型
400*300*20mmpb核工业专用铅玻璃视窗；
- 2、下柜配：2扇不锈钢推拉式防护柜门，分装平台预留活度计井
型电离室放置口+电离室不锈钢活度计防护桶、预留放射性废
物丢弃口，内置单开门不锈钢防护污物箱1个。
- 3、柜体上部镶嵌安装5寸触摸控制操作屏1个，可显示风速、
控制灭菌、照明及抽风。
- 4、不含柜外风管及安装。

单联分装通风防护柜 (99mTc)

图 10-5 镉分装柜设计示意图

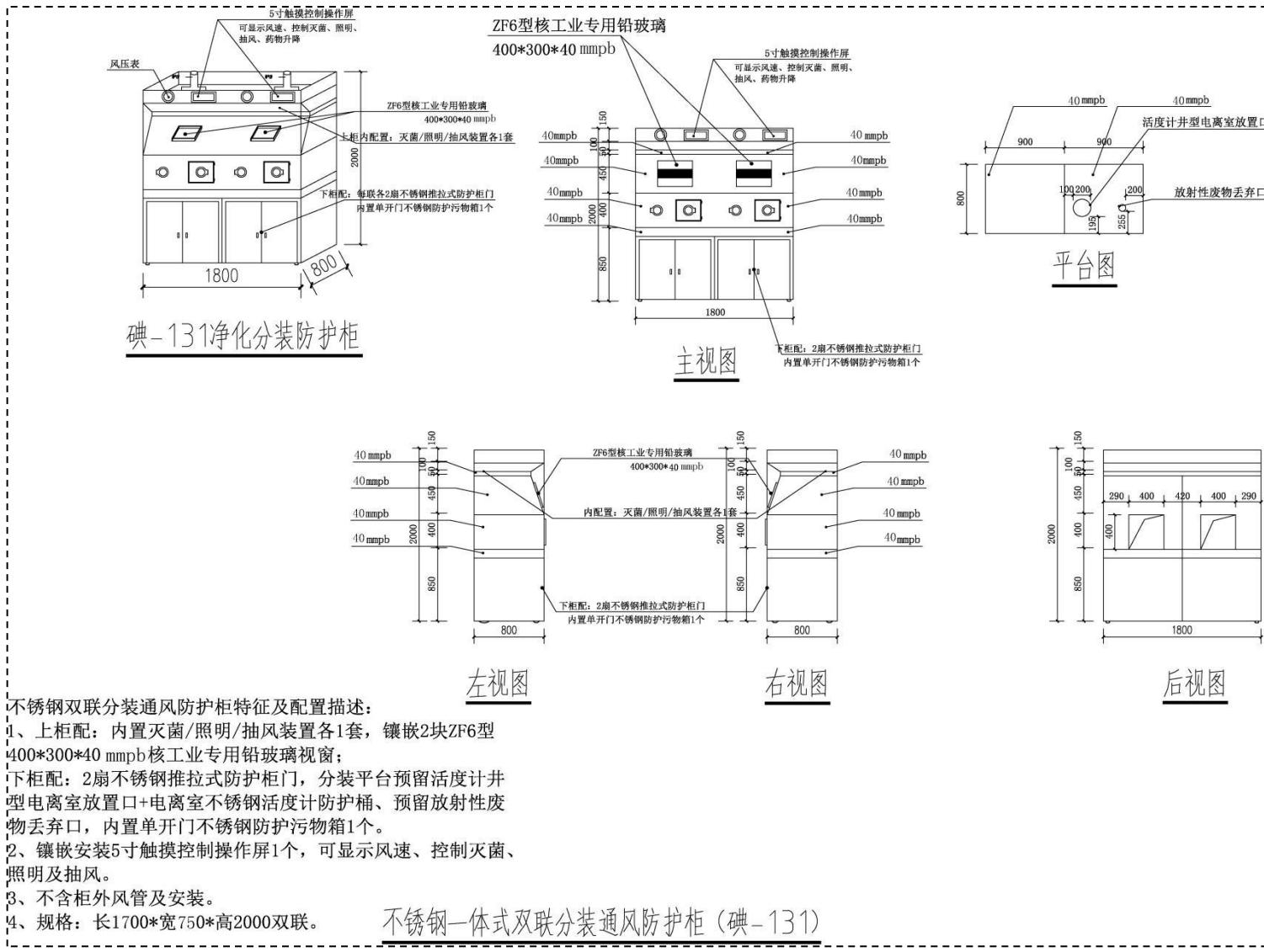


图 10-6 碘分装柜设计示意图

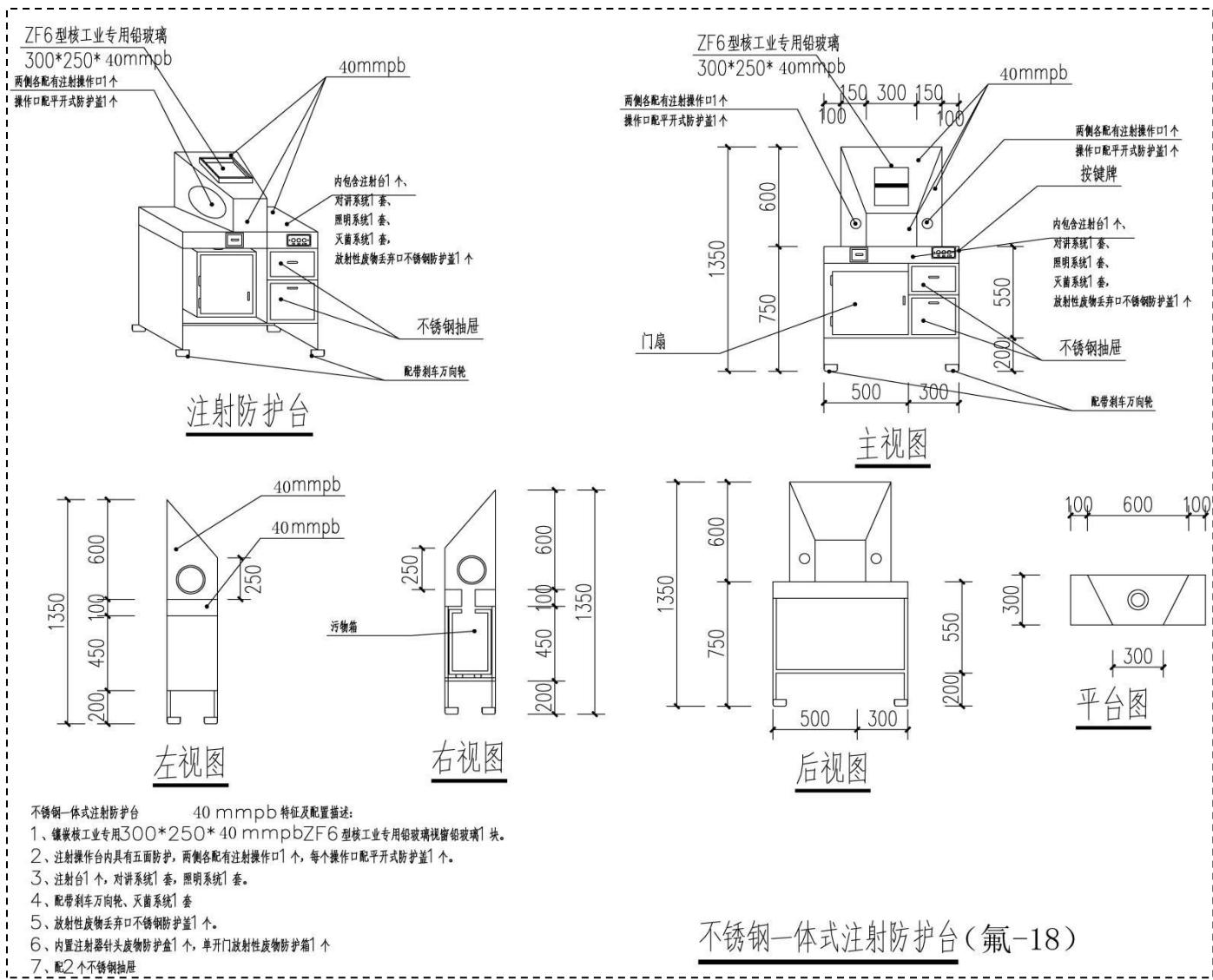


图 10-7 氟注射台设计示意图

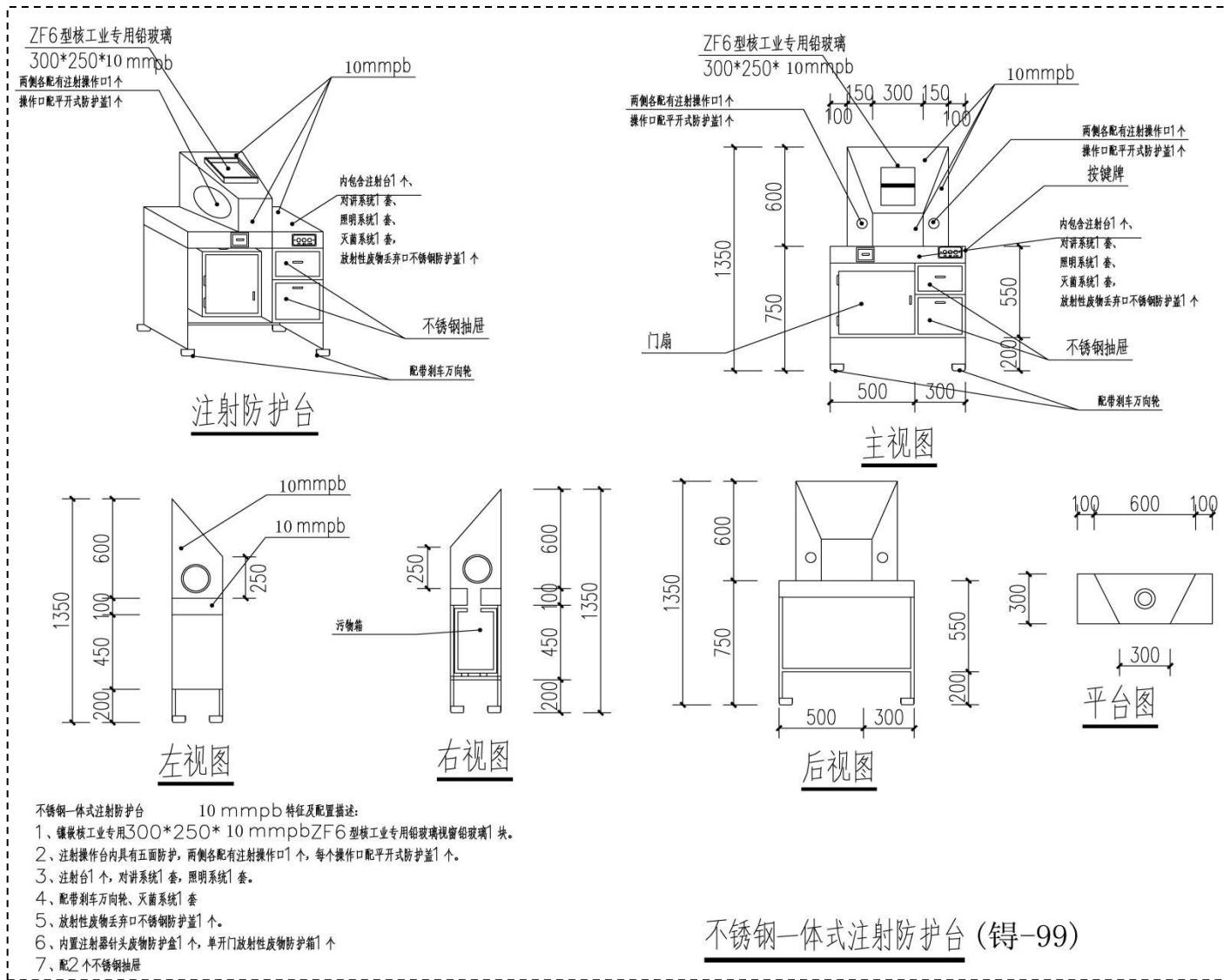


图 10-8 镉注射台设计示意图

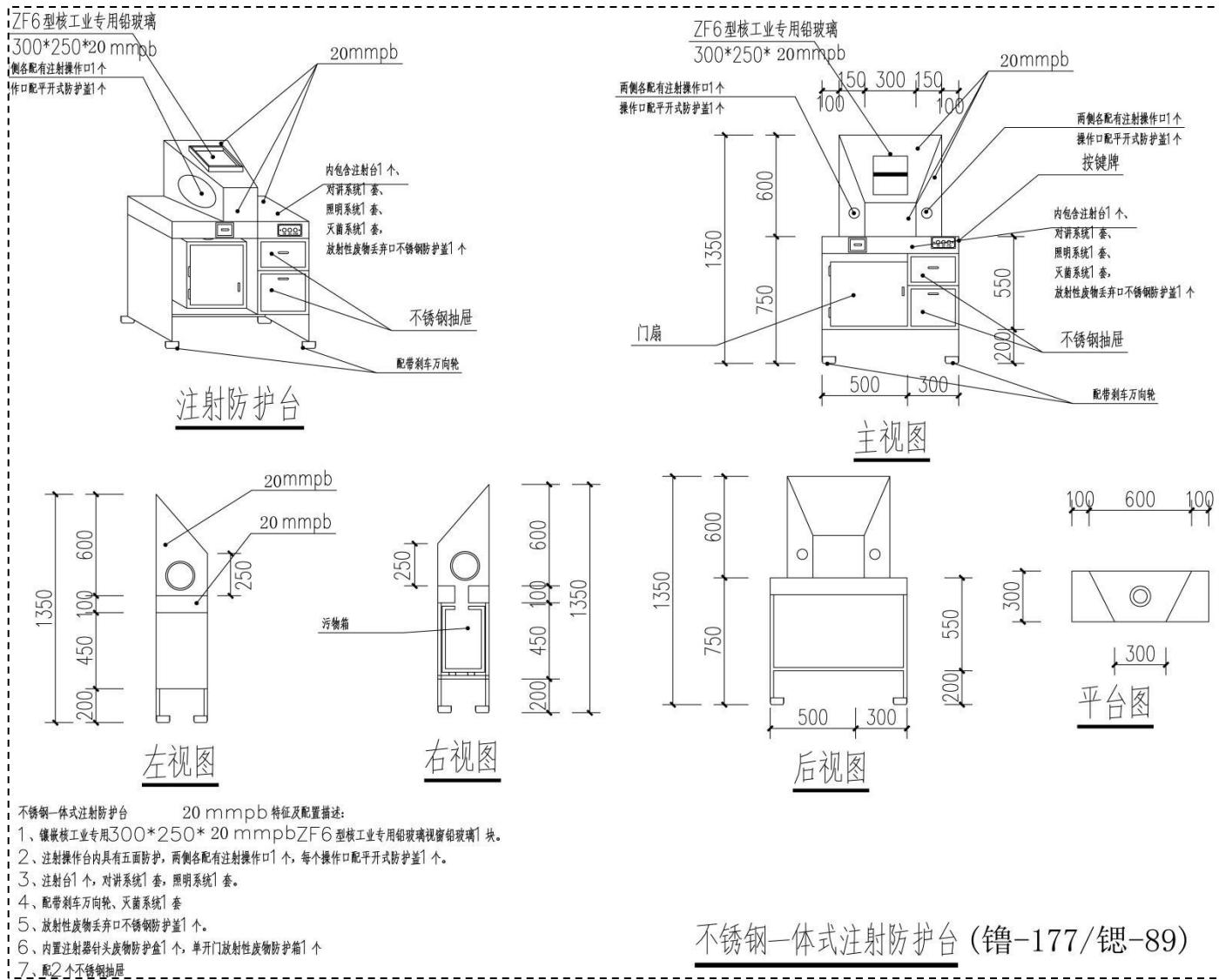


图 10-9 镥注射台设计示意图



图 10-10 核医学科工作场所管理分区示意图

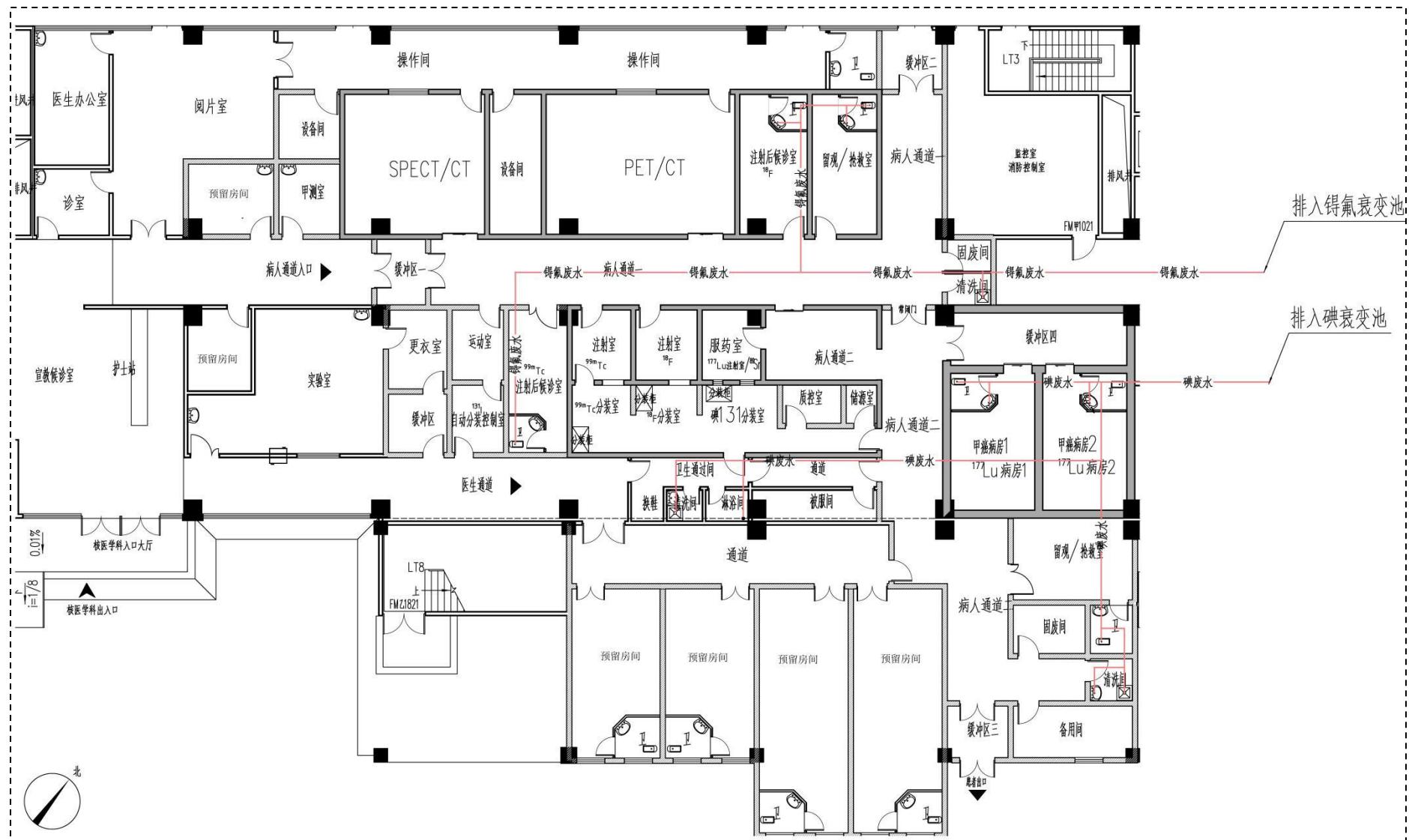


图 10-11 核医学工作场所放射性废水排放路线示意图

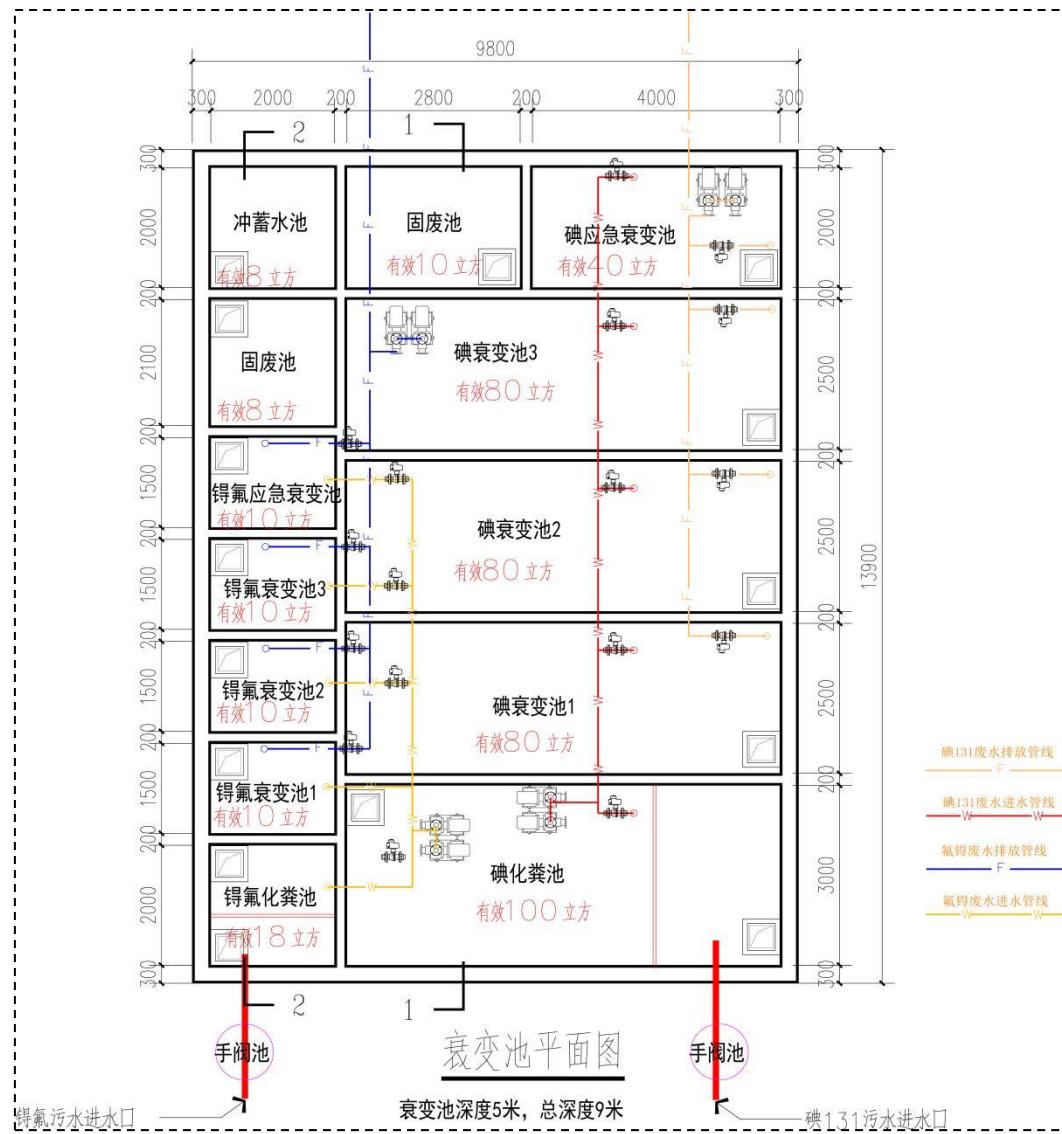
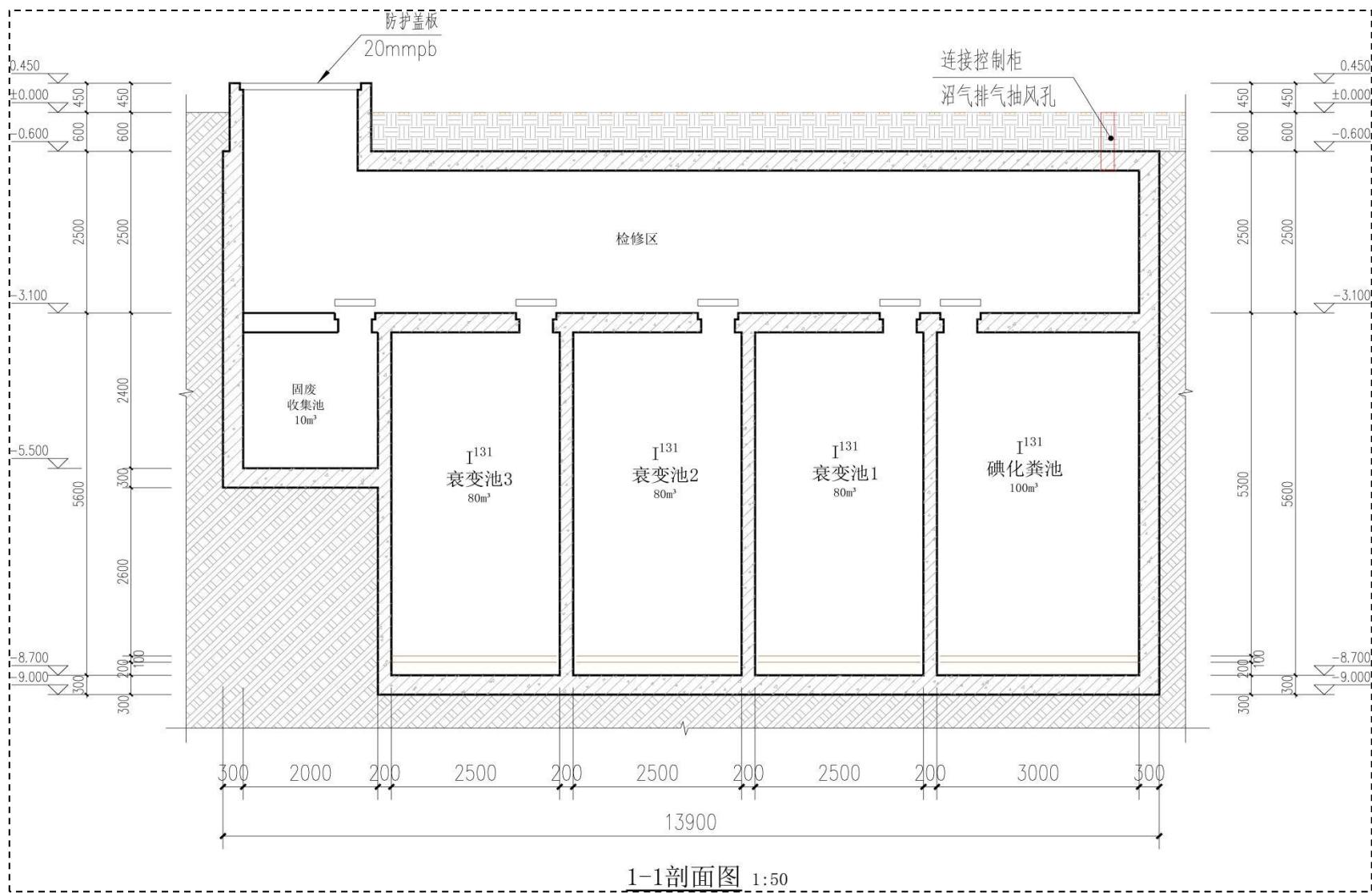
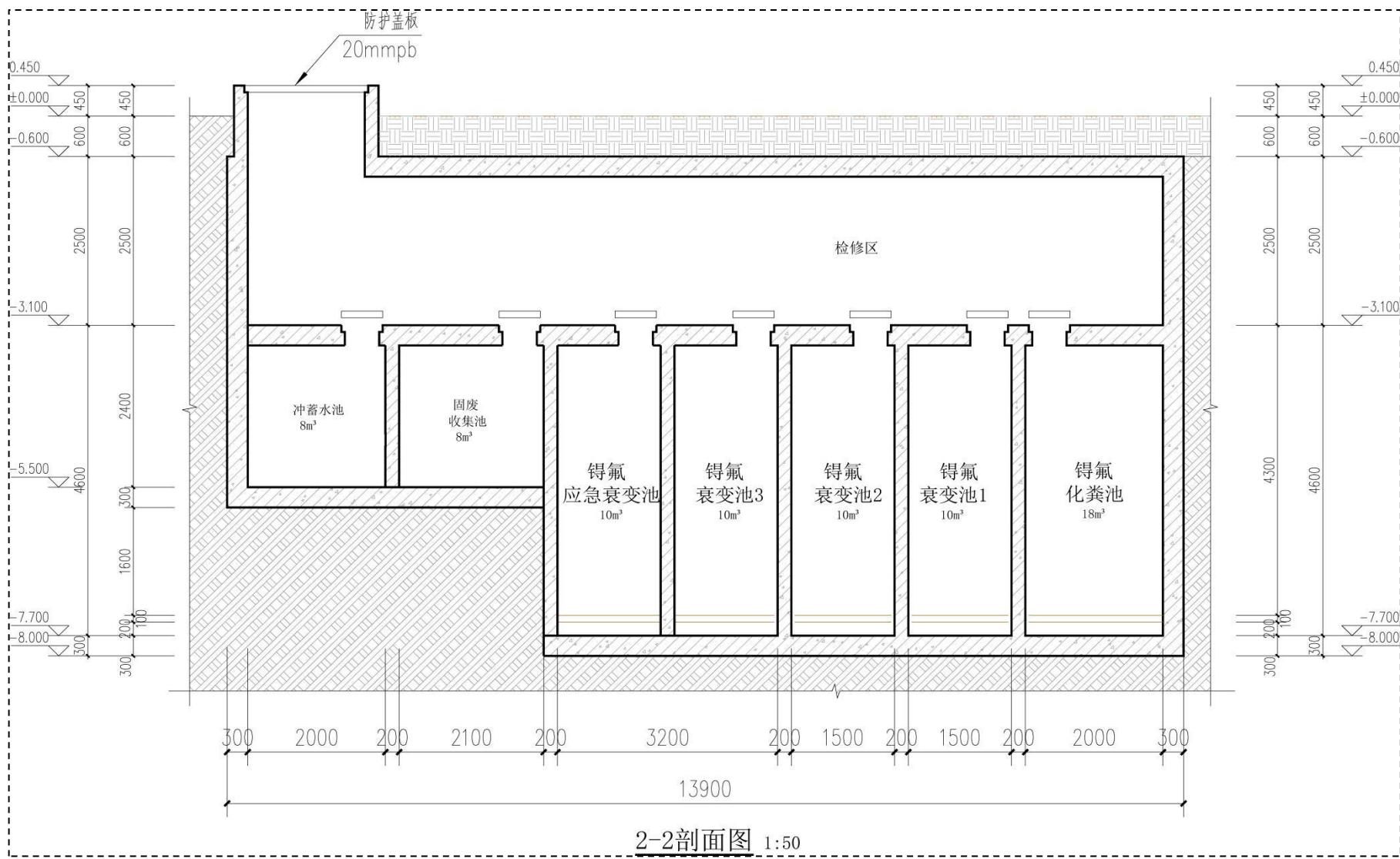
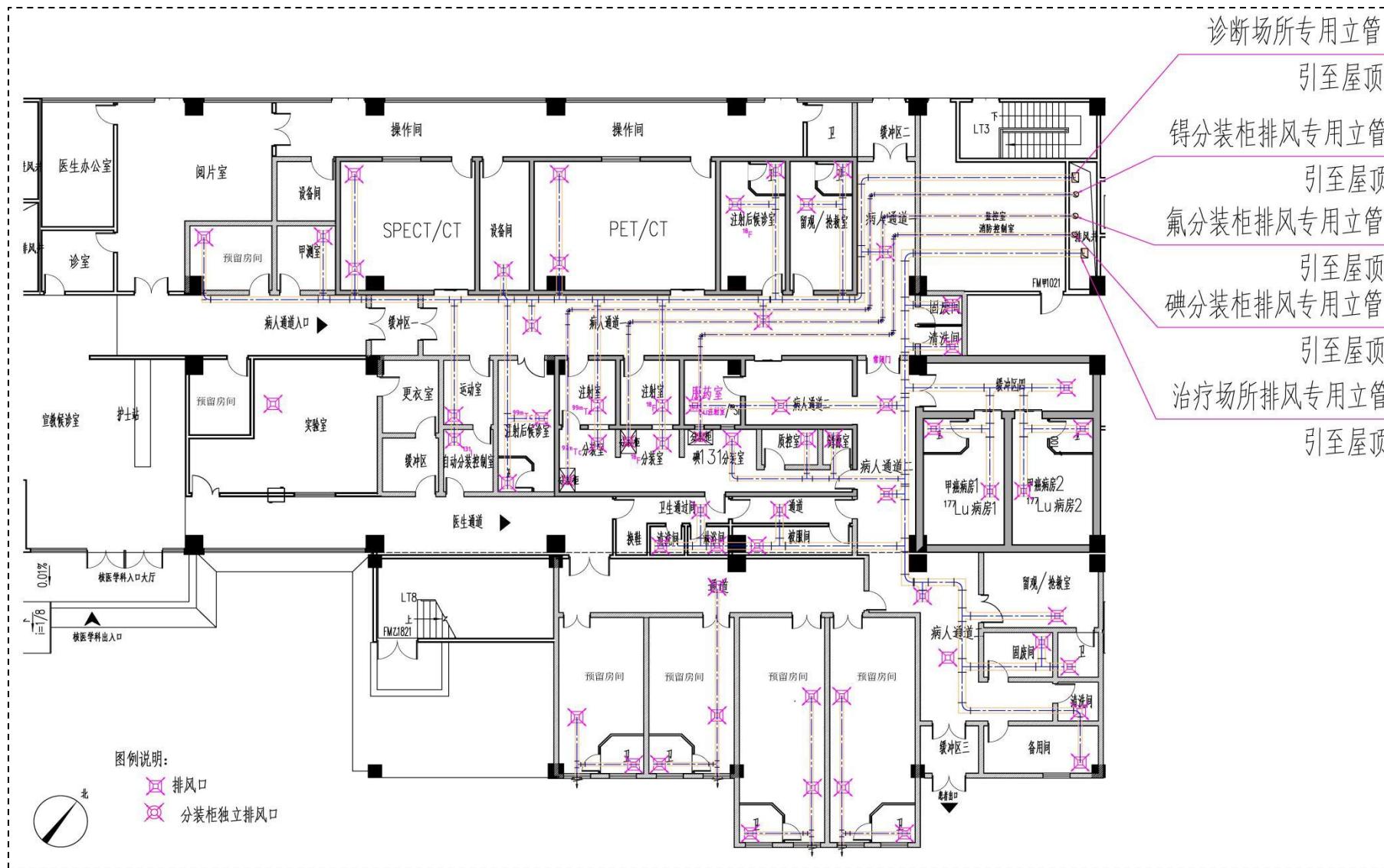


图 10-12 核医学科放射性废水衰变池平面设计图







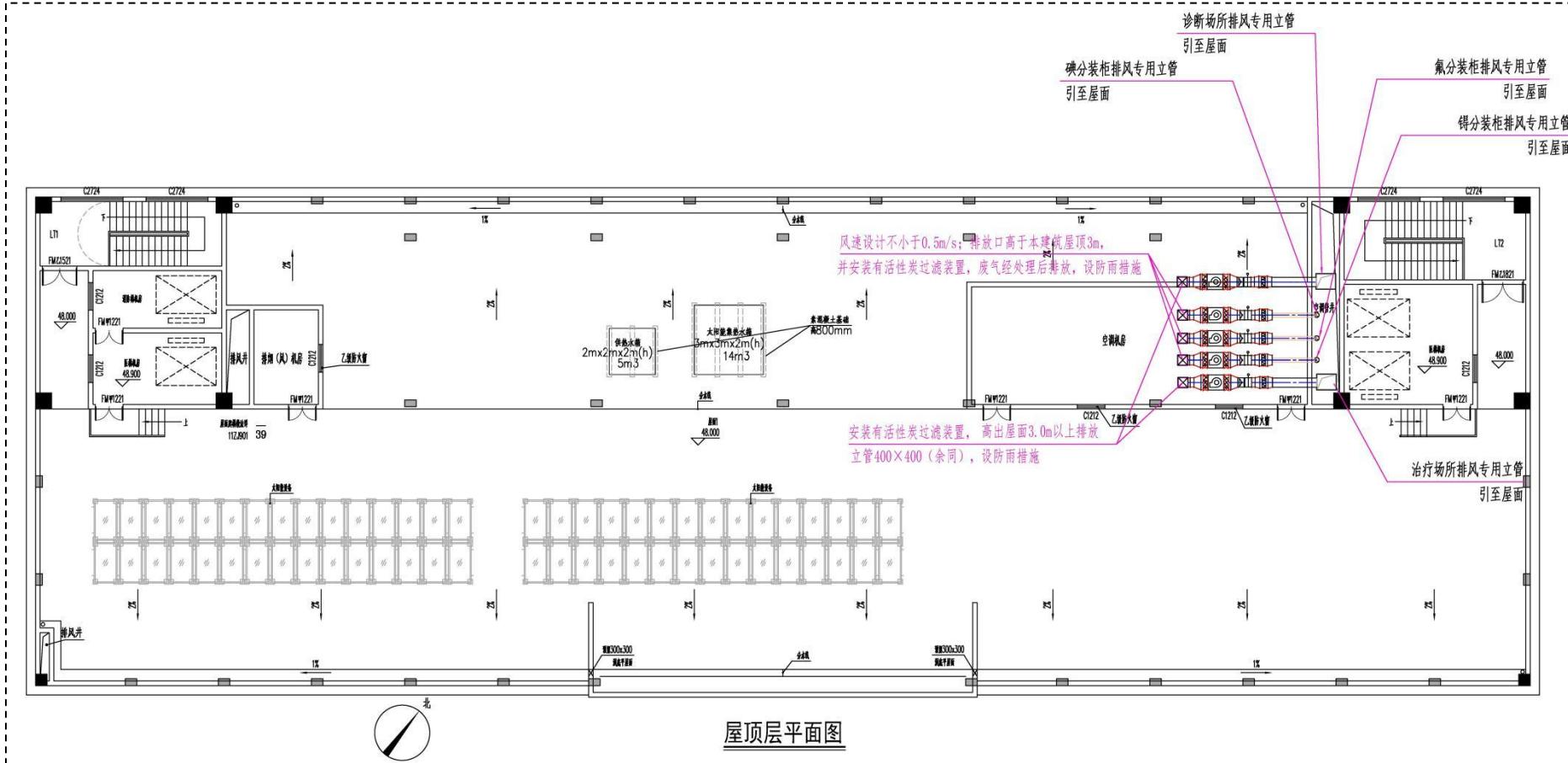


图 10-16 核医学所在楼楼顶排风路线示意图

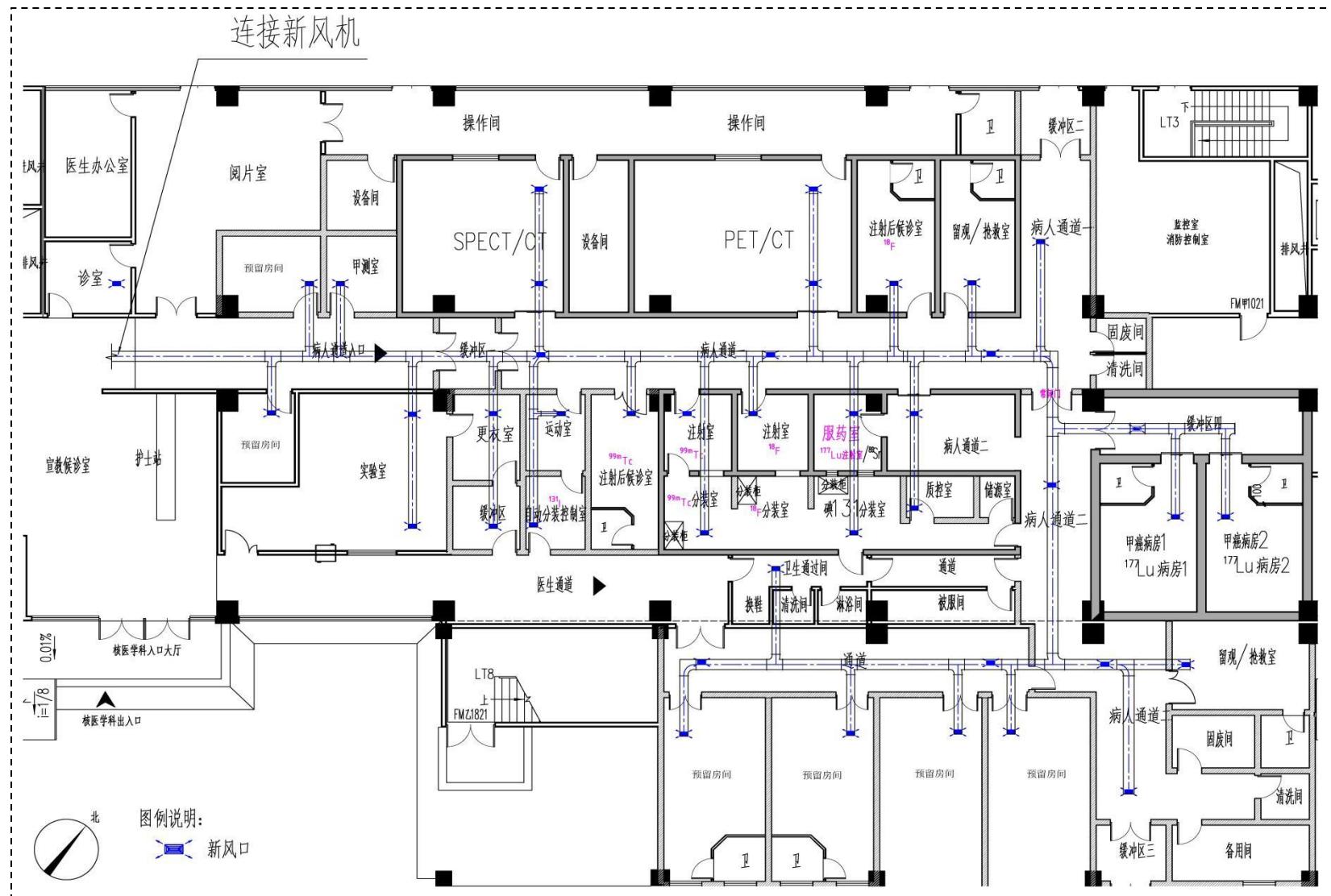


图 10-17 核医学工作场所新风路线示意图

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目在建设期对环境无辐射影响，亦无放射性废气、废水及固体废弃物产生。在建设阶段的环境影响主要为土建施工的影响。

11.1.1 空气环境影响分析

粉尘扬尘的主要来源有：建筑装修材料的运输装卸过程、土建施工过程和工地杂物的清理过程等。

为减少施工时产生的扬尘，在施工过程中应采取有效的防尘、降尘措施：在施工场地的出入口，设置一定的围闭措施拦截尘土的飘散；在施工场地内及附近路面洒水、喷淋，尽量减小扬尘的产生。

11.1.2 水环境影响分析

建设期污水主要来自是施工人员的生活污水。施工人员生活污水来自施工人员日常生活排放，主要为洗涤废水和粪便污水，污染物主要为 COD、NH₃-N、BOD₅、SS 等。施工人员在建设场所进行施工期间，所产生的粪便污水进入医院污水处理系统。

11.1.3 声环境影响分析

施工过程中设备安装、车辆运输、各类施工机械等将对周围环境产生噪声影响。为降低施工期声环境影响，建设单位应采取切实有效的防噪措施，尽可能的降低施工机械设备和运输车辆产生的噪声对周边环境的影响，具体措施如下：

- ①合理安排施工时间；
- ②对施工机械采取消声降噪措施；

通过采取以上措施后，施工噪声可得到较好的控制。

11.1.4 固体废弃物影响

固体废弃物有要为建筑垃圾，为减少工地施工建筑垃圾在堆放和运输过程中对环境的影响，建议车辆运输散体材料和废弃物时，必须密闭、包扎、覆盖，不得沿途漏撒。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 周围辐射剂量率估算

1、屏蔽计算方法

本评价报告参照《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）式（I.1），采用瞬时

剂量率计算方法进行屏蔽计算，计算公式如下：

$$H_r = A \cdot \Gamma \cdot R^{-2} \cdot 10^{-(x/TVL)} \dots \dots \dots \quad (\text{式 11-1})$$

式中：

H_r — 屏蔽体外关注点剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

A — 放射性活度， MBq ；

Γ — 距源 1 米处辐射剂量率常数， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1}$ ；

R — 源至关注点的距离， m ；

x — 屏蔽层的厚度， mm ；

TVL — 十分之一值层， mm 。

2、屏蔽计算参数

- (1) 计算中将患者视为“点源”，本报告给出的计算结果均使用点源公式。
- (2) 项目 PET/CT 使用核素有¹⁸F、⁶⁸Ga，其中⁶⁸Ga 核素用量少，半衰期较¹⁸F 短，因此项目 PET/CT 按照¹⁸F 进行辐射屏蔽分析。参照 GBZ 120-2020 中表 L.1、表 H.1，项目主要核素参数见表 11-1。

表 11-1 项目使用核素相关参数

序号	项目	核素	最大使用量/次 (MBq)	患者体内单位放射性活度 所致体外 1m 处的周围剂量当量率常数 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$	周围剂量当量率常数(裸源) $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$
1	SPECT/CT	^{99m} Tc	740 (20mCi)	0.0207	0.0303
2	PET/CT	¹⁸ F	555 (15mCi)	0.092	0.143
3	甲亢治疗	¹³¹ I	370 (10mCi)	0.0583	0.0595
4	甲癌治疗	¹³¹ I	7400 (200mCi)	0.0583	0.0595

- (3) 计算时四周屏蔽墙、防护门参考点位置在墙(门)外 0.3m 处。分装柜、注射台为固定点，其与关注点距离为固定距离；而注射药物后的受检人员在候诊室、抢救/留观室、PET/CT 机房等房间内是能活动的；而源点与关注点的距离直接关系到拟采取防护措施的多寡，涉及到投资投入。考虑到内部走廊正常情况下是无人员逗留的，依据 GB18871-2002 中第 4.3.3 “防护与安全的最优化”原则：“对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量

低水平，这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件（治疗性医疗照射除外）”。综上考虑，注射后候诊室、抢救/留观室、扫描机房等周围关注点与源点距离按 2m 计算。人体高度假定为 1.5m；参照 GBZ 120-2020 表 J.1，屋顶参考点位置在楼板地面上方 0.3m 处，楼下距地面 1.7m 处（负一层层高 6.25m）。关注点设置见图 1-8。

(4) 购进的放射性核素配备有储源铅罐，屏蔽计算时 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{131}I 分装柜按日最大操作量进行计算；SPECT/CT 注射后候诊室按最多 2 名注锝患者进行计算，运动平板室、 ^{99m}Tc 注射室、SPECT/CT 检查室按最多容留 1 名注锝患者进行计算；PET/CT 注射后候检室按最多 2 名注氟患者进行计算， ^{18}F 注射室、留观抢救室、PET/CT 检查室按最多同时容留 1 名注氟患者进行计算； ^{131}I 服药室按最多 1 名患者进行计算，甲亢留观室按最多 3 名甲亢患者进行计算；甲癌住院病房按最多 2 名甲癌患者进行计算； ^{131}I 货包按项目日碘最大用量计算（包括甲亢、甲癌）。

(5) 考虑到 Lu-177 衰变产生的 γ 射线强度及能量均低于 I-131，Lu-177 的半衰期也小于 I-131 的，因此本项目从偏保守考虑，Lu-177 治疗患者住院病房对外环境影响按甲癌住院考虑；在估算 Lu-177 注射影响时，保守按 I-131 对应的 TVL 值。

(6) 该项目使用的 ^{18}F 正电子药品从广西区内有销售资质机构购买，规划日最大操作量 600mCi 为购买量，从厂家运输到医院时至少衰变了 1 个半衰期时间（约 2 小时），因此计算时分装柜中使用量保守按 400mCi 计算，医院也承诺在分装柜中实际单次操作量不会超过 400mCi。

(7) 参照 GBZ 120-2020 的表 I.1， ^{131}I 对应硫酸钡的 TVL 参照 NCRP 第 151 号报告的 p158 页图，放射性核素的 TVL 取值见表 11-2。

表 11-2 放射性核素对应的 TVL 值 (mm)

屏蔽材料	铅 (11.3g/cm ³)	实心砖 (1.65g/cm ³)	混凝土 (2.35g/cm ³)	硫酸钡 (3.2g/cm ³)
^{99m}Tc 对应的 TVL	1	160	110	48
^{18}F 对应的 TVL 值	16.6	263	176	100
^{131}I 对应的 TVL 值	11	240	170	95

3、CT 运行对周围辐射环境影响类比分析

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。为分析本项目 SPECT/CT、PET/CT 设

备所带 CT 正常运行时对机房周围环境的辐射影响，选取平南县人民医院门诊综合楼一楼放射科 Optima CT540 型 CT 机进行类比分析，所选取的类比项目与本项目可比性分析见表 11-3。

表 11-3 类比项目与本项目采取的屏蔽措施可比性分析结果

内容	类比项目	本项目（以屏蔽能力较弱的 SPECT/CT 机房为代表）	可比性结果
CT 参数	最大管电压 140kV、最大输出电流 440mA	最大管电压 140kV、最大输出电流 450mA	相当
机房墙体	墙体为厚度 20cm 的多孔砖结构，机房内壁和顶棚采用硫酸钡抹灰 4cm。	墙体为厚度 24cm 的混凝土结构，机房内壁和顶棚抹有 4cm 硫酸钡防护材料。	本项目优于类比项目。
防护门	4mm 铅	4mm 铅	相同
观察窗	4mmPb	4mmPb	相同
机房长宽高 (m)	$6.76 \times 5.44 \times 3.80$	$6.0 \times 6.0 \times 5.4$	面积相当，高度本项目优于类比项目。

由表 11-3 分析可知，本项目机房整体屏蔽能力与类比项目机房相当。通过对类比对象的监测结果，可预测本项目运行后的辐射环境影响。平南县人民医院门诊综合楼一楼放射科 Optima CT540 型 CT 机类比监测结果见表 11-4，监测机构为广西华彦检测技术服务有限公司，类比监测报告见附件 7。

表 11-4 CT 机正常运行时机房周围辐射剂量率类比分析数据

序号	点位	辐射剂量率 (单位: nSv/h)
1	观察窗	0.121
2	操作位	0.118
3	东墙外	0.121
4	线孔	0.120
5	操作室门	0.122
6	机房门	0.116
7	南墙外	0.123

8	东墙外	0.123
9	北墙外	0.124
10	机房楼上通道	0.122
11	机房楼下地下室	0.122

注：（1）检测条件：散射模体（CT 体膜）；（2）天然本地为（0.094-0.122） $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，检测结果未扣除本底。

由表 11-4 类比分析数据可知，当该 CT 机曝光时，控制室观察窗、控制室操作位、控制室出入机房防护门外、病人出入机房防护门等机房周围 30cm 处测点的辐射剂量率与未开机时环境本底水平相当。

从类比分析可预测，医院建设的 PET/CT、SPECT/CT 项目只要能严格按照设计施工，则可以认为其机房建设可达到类比医院相似的防护效果，即机房建设能满足 PET/CT、SPECT/CT 设备中 CT 功能辐射屏蔽要求。即在后续评价 PET/CT、SPECT/CT 项目对机房周围环境影响时，只需要考虑注射后受检人员产生的辐射影响。

4、 ^{68}Ge 校准源的影响

本次评价引用广西医科大学第二附属医院 2022 年度辐射环境监测报告（编号：桂辐（委托）字[2022]第 374 号）中表 22 的监测结果（监测报告由广西辐射站出具，具体见附件 8）来进行类比分析，贮存状态下，铅箱表面 5cm 的 γ 辐射剂量率最大为 $17.3\mu\text{Sv}/\text{h}$ 、30cm 处 γ 辐射剂量率最大为 $4.34\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，活度最大的单枚 ^{68}Ge 源 30cm 处 γ 辐射剂量率最大为 $32.6\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。本项目拟用校准源活度及数量、使用方案与类比医院相同。

5、屏蔽计算结果

根据以上屏蔽计算参数，本项目场所关注点辐射剂量率估算结果见表 11-5。

表 11-5 本项目场所关注点辐射剂量率估算结果

点位	关注点描述	源项	活度 (MBq)	距离 (m)	屏蔽设计	γ 辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
▲1	碘分装柜表面 5cm	碘-131	18500	0.45	40mmPb 分装柜	1.26
▲2	碘分装柜表面 30cm	碘-131	18500	0.70	40mmPb 分装柜	0.52
▲3	氟分装柜表面 5cm	氟-18	14800	0.45	60mmPb 分装柜	2.54
▲4	氟分装柜表面 30cm	氟-18	14800	0.70	60mmPb 分装柜	1.05
▲5	氟注射窗台 30cm	氟-18	370	0.60	40mmPb 注射窗台	0.57

▲6	锝分装柜表面 5cm	锝-99m	18500	0.45	20mmPb 分装柜	< 0.01
▲7	锝分装柜表面 30cm	锝-99m	18500	0.70	20mmPb 分装柜	< 0.01
▲8	锝注射窗台 30cm	锝-99m	800	0.60	10mmPb 注射窗台	< 0.01
▲9	服药室北侧墙外 30cm	碘-131	7400	2.00	24cm 混凝土+5cm 硫酸钡	1.24
▲10	氟注射室北侧墙外 30cm	氟-18	370	2.00	24cm 混凝土	0.37
▲11	氟注射室防护门外 30cm	氟-18	370	2.00	10mmPb 防护门	2.13
▲12	锝注射室北侧墙外 30cm	锝-99m	800	2.00	24cm 混凝土	0.03
▲13	锝注射室防护门外 30cm	锝-99m	800	2.00	3mmPb 防护门	< 0.01
▲14	氟注射后候诊室防护门外 30cm	氟-18	740	2.00	8mmPb 防护门	5.61
▲15	氟注射后候诊室南侧墙外 30cm	氟-18	740	2.00	24cm 混凝土	0.74
▲16	氟注射后候诊室北侧墙外 30cm(操作间内)	氟-18	740	2.00	24cm 混凝土+10cm 硫酸钡	0.07
▲17	氟锝留观/抢救室防护门外 30cm	氟-18	370	2.00	6mmPb 防护门	3.70
▲17	氟锝留观/抢救室防护门外 30cm	锝-99m	800	2.00	6mmPb 防护门	< 0.01
▲18	氟锝留观/抢救室南侧墙外 30cm	氟-18	370	2.00	24cm 混凝土	0.37
▲18	氟锝留观/抢救室南侧墙外 30cm	锝-99m	800	2.00	24cm 混凝土	0.03
▲19	氟锝留观/抢救室东侧墙外 30cm	氟-18	370	2.00	24cm 混凝土	0.37
▲19	氟锝留观/抢救室东侧墙外 30cm	锝-99m	800	2.00	24cm 混凝土	0.03
▲20	氟锝留观/抢救室北侧墙外 30cm(卫生间内)	氟-18	370	2.00	24cm 混凝土+10cm 硫酸钡	0.04
▲20	氟锝留观/抢救室北侧墙外 30cm(卫生间内)	锝-99m	800	2.00	24cm 混凝土+10cm 硫酸钡	0.03
▲21	锝注射后候诊室防护门外 30cm	锝-99m	1600	2.00	4mmPb 防护门	< 0.01
▲22	锝注射后候诊室北侧墙外 30cm	锝-99m	1600	2.00	24cm 实心砖+2cm 硫酸钡	0.10
▲23	运动室防护门外 30cm	锝-99m	800	2.00	3mmPb 防护门	< 0.01
▲24	运动室北侧墙外 30cm	锝-99m	800	2.00	24cm 实心砖	0.13
▲25	自动分装控制室内	锝-99m	2400	2.00	24cm 实心砖+10cm 硫酸钡	< 0.01
▲26	运动室西侧墙外 30cm(更衣室内)	锝-99m	800	2.00	24cm 实心砖+2cm 硫酸钡	0.05
▲27	锝注射后候诊室南侧墙外 30cm	锝-99m	1600	2.00	24cm 实心砖+5cm 硫酸钡	0.02

▲28	锝分装室南侧墙外30cm	锝-99m	18500	1.00	24cm 混凝土+20mmPb 分装柜	< 0.01
▲29	碘留观/抢救室东侧墙外30cm	碘-131	370	2.00	24cm 实心砖+10cm 硫酸钡	0.05
▲30	碘留观/抢救室防护门外30cm	碘-131	370	2.00	6mmPb 防护门	1.54
▲31	甲癌住院病房1南侧墙外30cm	碘-131	14800	2.00	37cm 混凝土+6cm 硫酸钡	0.34
▲32	甲癌住院病房1西侧墙外30cm	碘-131	14800	2.00	37cm 混凝土+6cm 硫酸钡	0.34
▲33	甲癌住院病房1防护门外30cm	碘-131	14800	2.00	18mmPb 防护门	4.98
▲34	甲癌住院病房2东侧墙外30cm	碘-131	14800	2.00	37cm 混凝土+12cm 硫酸钡	0.08
▲35	PET/CT机房南侧防护门外30cm(待检人员出入)	氟-18	370	2.00	10mmPb 防护门	2.13
▲36	PET/CT机房南侧墙外30cm	氟-18	370	2.00	24cm 混凝土+5cm 硫酸钡	0.12
▲37	PET/CT机房北侧防护门外30cm(工作人员出入)	氟-18	370	2.00	15mmPb 防护门	1.06
▲38	PET/CT机房北侧墙外30cm(操作间内)	氟-18	370	2.00	24cm 混凝土+5cm 硫酸钡	0.12
▲39	PET/CT机房观察窗外30cm(操作间内)	氟-18	370	2.00	15mmPb 观察窗	1.06
▲40	SPECT/CT机房北侧防护门外30cm(工作人员出入)	锝-99m	800	2.00	4mmPb 防护门	< 0.01
▲41	SPECT/CT机房北侧墙外30cm(操作间内)	锝-99m	800	2.00	24cm 混凝土+4cm 硫酸钡	< 0.01
▲42	SPECT/CT机房观察窗外30cm(操作间内)	锝-99m	800	2.00	4mmPb 观察窗	< 0.01
▲43	SPECT/CT机房南侧防护门外30cm(受检人员出入)	锝-99m	800	2.00	4mmPb 防护门	< 0.01
▲44	SPECT/CT机房南侧墙外30cm(缓冲区一内)	锝-99m	800	2.00	24cm 混凝土+1cm 硫酸钡	0.02
▲45	SPECT/CT机房西侧墙外30cm(甲测室内)	锝-99m	800	2.00	24cm 混凝土+4cm 硫酸钡	< 0.01
▲46	被服间南侧通道(病人通道二)防护门外30cm)	碘-131	370	2.00	8mmPb 防护门	1.01
▲47	氟锝固废间东侧墙外30cm	氟-18、锝-99m	10μSv/h	2.00	24cm 实心砖+3cm 硫酸钡	0.12
▲48	二楼档案室(碘分装柜上方)	碘-131	18500	4.85	12cm 混凝土+3cm 硫酸钡+40mmPb 分装柜	< 0.01
▲49	二楼档案室(服药室上方)	碘-131	7400	4.85	12cm 混凝土+12cm 硫酸钡	0.20

▲50	二楼档案室(氟分装柜上方)	氟-18	14800	4.85	12cm 混凝土+3cm 硫酸钡+60mmPb 分装柜	< 0.01
▲51	二楼档案室(氟注射室上方)	氟-18	370	4.85	12cm 混凝土+3cm 硫酸钡	0.15
▲52	二楼档案室(锝分装柜上方)	锝-99m	18500	4.85	12cm 混凝土+3cm 硫酸钡+20mmPb 分装柜	< 0.01
▲53	二楼档案室(锝注射室上方)	锝-99m	800	4.85	12cm 混凝土+3cm 硫酸钡	0.01
▲54	二楼档案室(锝注射后候诊室上方)	锝-99m	1600	4.35	12cm 混凝土+3cm 硫酸钡	0.03
▲55	二楼档案室(运动室上方)	锝-99m	800	4.35	12cm 混凝土+3cm 硫酸钡	0.02
▲56	二楼 35 人会议室(甲癌住院病房 1 上方)	碘-131	14800	4.52	12cm 混凝土+18cm 硫酸钡	0.11
▲57	二楼 600 座会议室(碘留观/抢救室上方)	碘-131	370	4.35	12cm 混凝土+5cm 硫酸钡	0.07
▲58	二楼东 25 人会议室(氟锝留观/抢救室上方)	氟-18、锝-99m	370	4.35	12cm 混凝土+5cm 硫酸钡	0.11
▲59	二楼西 25 人会议室(氟注射后候诊室上方)	氟-18	740	4.35	12cm 混凝土+3cm 硫酸钡	0.38
▲60	二楼西 25 人会议室(PET/CT 机房上方)	氟-18	370	4.85	12cm 混凝土+3cm 硫酸钡	0.15
▲61	二楼资料室(SPECT/CT 机房上方)	锝-99m	800	4.85	12cm 混凝土+3cm 硫酸钡	0.01
▲62	负一楼车道(碘分装柜下方)	碘-131	18500	5.76	18cm 混凝土+3cm 硫酸钡+40mmPb 分装柜	< 0.01
▲63	负一楼车道(服药室下方)	碘-131	7400	5.76	18cm 混凝土+10cm 硫酸钡	0.10
▲64	负一楼车道(氟分装柜下方)	氟-18	14800	5.76	18cm 混凝土+3cm 硫酸钡+60mmPb 分装柜	< 0.01
▲65	负一楼车道(氟注射室下方)	氟-18	370	5.76	18cm 混凝土+3cm 硫酸钡	0.05
▲66	负一楼车道(锝分装柜下方)	锝-99m	18500	5.76	18cm 混凝土+3cm 硫酸钡+20mmPb 分装柜	< 0.01
▲67	负一楼车道(锝注射室下方)	锝-99m	800	5.76	18cm 混凝土+3cm 硫酸钡	< 0.01
▲68	负一楼车道(锝注射后候诊室下方)	锝-99m	1600	6.26	18cm 混凝土+3cm 硫酸钡	< 0.01
▲69	负一楼车道(运动室下方)	锝-99m	800	6.26	18cm 混凝土+3cm 硫酸钡	< 0.01
▲70	负一楼 CT 控制室(氟锝留观/抢救室下方)	氟-18、锝-99m	370	6.26	18cm 混凝土+12cm 硫酸钡	< 0.01

▲71	负一楼 CT 控制室（氟注射后候诊室下方）	氟-18	740	6.26	18cm 混凝土+15cm 硫酸钡	0.01
▲72	负一楼停车位 (PET/CT 机房下方)	氟-18	370	5.76	18cm 混凝土+3cm 硫酸钡	0.05
▲73	负一楼停车位 (SPECT/CT 机房下方)	锝-99m	800	5.76	18cm 混凝土+3cm 硫酸钡	< 0.01
▲74	负一楼加速器机房门 外候诊区(甲癌住院病 房 1 下方)	碘-131	14800	6.38	18cm 混凝土+15cm 硫酸钡	0.05
▲75	负一楼加速器设备机 房 (碘留观/抢救室下 方)	碘-131	370	6.26	18cm 混凝土+4cm 硫酸钡	0.02
锝注射器屏蔽器表面 30cm	锝-99m	800	0.30	5mmPb 注射器屏蔽套	< 0.01	
SPECT/CT 机房内注射后待检 人员 50cm	锝-99m	800	0.50	0.5mmPb 铅服	21.0	
氟注射器屏蔽器表面 30cm	氟-18	370	0.30	18mmPb 注射器屏蔽套	48.4	
PET/CT 机房内注射后待检人 员 50cm	氟-18	370	0.50	0.5mmPb 铅服	127	
碘货包表面 30cm	碘-131	18500	0.40	35mmPb 货包铅罐	4.53	
一人次 ⁸⁹ S 药物 30cm	锶-89	185	0.30	20mmPb 注射窗台	<0.01	
一人次 ¹⁷⁷ Lu 药物 30cm	镥-177	7400	0.30	20mmPb 注射窗台	5.94	

注1：同一个源项、相同的屏蔽参数时，只考虑典型关注点。

注2：该项目使用的F-18药品从广西区内有销售资质机构购买，规划日最大操作量为购买量，初步规划从南宁市或者柳州市购买，从路程计到医院时大概衰变了0.5个半衰期（约1小时），因此表中氟分装柜种使用量按400mCi计算。

由表11-5可见，项目控制区外围关注点剂量率均低于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，控制区内各关注点剂量率均低于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，屏蔽柜体表面5cm处的剂量当量率均小于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；屏蔽柜体表面30cm的剂量率均低于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，可见该项目屏蔽效果能满足GBZ 120-2020中第5.3.1款剂量率目标值的要求，同时满足HJ 1188-2021中第6.1款的要求。本项目屏蔽防护设计方案合理。

项目PET/CT校准源⁶⁸Ge属于V类源，一般情况下放射源储存在保险柜的铅罐内，仅校正时，从储源室中取出放置在PET/CT设备上采集信息。校准源退役后交由生产厂家回收，使用场所为PET/CT机房内。校准状态时，使用场所在做了专门防护的设备机房内，且校准时，源需放置在设备自带屏蔽内部，对周围环境影响可忽略不计。

11.2.2 项目运行对工作人员所致有效剂量分析

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。因此 X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量按下列公式估算：

个人年有效剂量估算按下列公式计算：

$$H_e = H^* (10) * t * 10^{-6} \dots \dots \dots \text{ (式 11-2)}$$

其中： H_e 为年有效剂量，(mSv/a)；

$H^* (10)$ 为 X- γ 辐射周围剂量当量率，nSv/h；

t 为年受照射时间，小时；

10^{-6} 为 nSv 到 mSv 的转换系数。

11.2.1.1 项目运行对工作人员所致有效剂量分析

根据表9-2各项目工作人员分配情况及表11-5各关注点辐射剂量率估算情况来开展有效剂量分析评价。

由表11-5的估算结果可知，分装好用防护套屏蔽的注射器30cm处、分装柜表面30cm处、注射台表面30cm处的剂量率不会升高，即可以认为工作人员在淋洗、分装、注射过程中基本不会受到附加辐射照射；SPECT/CT机房外围环境关注点剂量率均未见增加，因此负责核医学科SPECT/CT扫描的工作人员受到的主要额外照射来自侍服注射了^{99m}Tc标记液的病人进行SPECT/CT扫描、为病人摆位的过程中。

本项目运行对工作人员所致有效剂量情况如表11-6。

表11-6 辐射工作人员年有效剂量估算

序号	项目	操作工序	关注点剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	操作时间	数量/年	人员配置	人均年有效剂量 (mSv/a)		
1	SPECT/ CT 检查 项目	淋洗、分装操作	<0.01	30s/人次	7500 人次/年	4 人轮流	0.68mSv/a (总和为 2.74mSv/a)		
		药品转移	<0.01	30s/人次					
		注射	<0.01	30s/人次					
2	PET/CT 检查项 目	分装操作	2.54	30s/人次	6250 人次/年				
		药品转移	48.4	30s/人次					
		注射	0.57	30s/人次					
3	¹³¹ I 治疗 项目	将药罐放入分装柜	4.53	5min/次	100 次/年				

4	⁸⁹ Sr 治疗项目	注射	<0.01	2min/人次	200 人次/年				
5	¹⁷⁷ Lu 治疗项目	注射	5.94	2min/人次	50 人次/年				
6	SPECT/CT 检查项目	机房内摆位	21.0	30s/人次	7500 人次/年	4 人轮流	2.54mSv/a (总和为 10.15mSv/ a)		
		控制室内操作	<0.01	30min/人次					
7	PET/CT 检查项目	机房内摆位	127	30s/人次	6250 人次/年				
		控制室内操作	1.06	20min/人次					
		图像校准	32.6	2min/次	12 次/年				
8	核素住院治疗项目	甲癌、镥-177 治疗住院查房	4.98	10min/天(含 Lu-177 治疗项目)	300 天/年	2 人轮流	0.125mSv/a (总和为 0.249mSv/ a)		

由上表可见，每名辐射工作人员因本项目运行接受的年有效剂量值均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》（GB 18871-2002）的要求及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）的要求。

11.2.1.2 项目运行对公众人员所致有效剂量预测

医院核医学科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“三区”管理制度，出入口均设有门禁，公众成员不会进入控制区。由源项分析可知，最有可能受到本项目产生的辐射影响的是核医学科上层（2楼）、下层（负一层）办公区工作人员及室外道路路过的公众。

1、核医学科上层公众

核医学科上层（2楼）主要功能区划为会议室、资料室、档案室等，均无固定工作岗位。由表11-5可知，核医学楼上各关注点中，▲59#点位“二楼西25人会议室（氟注射后候诊室上方）”处的辐射剂量率最大（0.38 μ Sv/h），且注射后候诊室上班时间一直持续产生照射剂量（剂量率最大、时间最长）。因此，从偏保守考虑，以楼上▲59#点位辐射剂量率来估算楼上公众成员因本项目运行受照剂量。本项目氟注射后候诊室全年操作时间为：8h×250d=2000h，居留因子取1/8。则核医学楼上公众因本项目运行接受的年有效剂量为**0.095mSv**，低于公众年剂量管理约束值（0.1mSv），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）的要求。

2、核医学科下层公众

核医学科下层（负一楼）主要功能区划为停车位（含车道）、加速器机房及控制室、CT定位机房及控制室等。由表11-5可知，核医学楼下各关注点中，▲63#、▲65#、▲71#、▲72#、▲74#、▲75#等点位剂量率略有升高，其他点位剂量率未见升高。因此，从偏保守考虑，计算上述全部剂量率略有升高的点位处公众受照射年有效剂量。每人次注射氟-18在注射室逗留时间2分钟，则全年总时长： $6250 \times 2 \div 60 = 208$ 小时；平均每人次在PET机房内逗留时长20分钟，则全年总时长为： $6250 \times 20 \div 60 = 2083$ 小时；正常情况下，甲亢患者服药后即离开核医学科，特殊情况下需要进入碘留观/抢救室处理，由医院反馈的信息可知，不会超过30%的患者需要处理（则保守按30%），每人次在留观抢救室停留时长平均30分钟，则全年总时长为： $2500 \times 30\% \times 20 \div 60 = 250$ 小时；甲癌患者服药量较大，服药时下层关注点剂量率略有升高，而甲亢患者服药量较少，服药时下层关注点剂量率基本不会明显升高，平均每人次甲癌患者服药后在服药室逗留时间2分钟，则全年总时长： $400 \times 2 \div 60 = 13.3$ 小时。根据表11-5预测结果，核医学楼下公众成员受照剂量估算结果见表11-6。

表11-6 核医学楼下公众成员受照剂量估算结果

关注点	关注点位置	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	年照射时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
▲63	负一楼车道（服药室下方）	0.10	13.3	1/16	8.0×10^{-4}
▲65	负一楼车道（氟注射室下方）	0.05	208	1/16	6.5×10^{-4}
▲71	负一楼 CT 控制室（氟注射后候诊室下方）	0.01	2000	1	0.02
▲72	负一楼停车位（PET/CT 机房下方）	0.05	2083	1/16	6.5×10^{-3}
▲74	负一楼加速器机房门外候诊区（甲癌住院病房 1 下方）	0.05	2000	1/8	0.01
▲75	负一楼加速器设备机房（碘留观/抢救室下方）	0.02	250	1/16	3.1×10^{-4}

从表11-6估算结果可知，在核医学科下层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均低于公众成员年剂量管理约束值（**0.1mSv**）。

3、一层核医学科控制区外围公众

（1）固定工作岗位

由平面布置图可知，一层核医学控制区外围关注点中，第▲45#点作为固定工作岗位公众照射代表性点。但由于防护得当，该点位辐射剂量率未见升高。可以认为本项目不会对一层核医学科四周相邻固定工作岗位公众造成附加额外辐射照射剂量，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188—2021）的要求。

（2）偶尔经过的公众

由表11-5可知，一层核医学科控制区外围关注点中，▲26#、▲27#、▲29#、▲34#、▲46#、▲47#等点位剂量率略有升高，其他点位剂量率未见升高。因此，从偏保守考虑，计算上述全部剂量率略有升高的点位处公众受照射年有效剂量。不高于10%的SPECT/CT受检人员需要在运动室活动（保守按10%计算），每人次逗留时间30分钟，则全年总时长为： $6250 \times 10\% \times 30 \div 60 = 312.5$ 小时；全年300天均有甲癌病人住院，则全年总时长为： $300 \times 24 = 7200$ 小时，考虑到住院时间包含夜间，夜间甲癌住院病房周围基本不会有人逗留，因此该居留因子取1/16；甲亢患者服药后在通道内逗留时长每人次2分钟，则全年总时长为： $2500 \times 2 \div 60 = 83.3$ 小时；。根据表11-5预测结果，一层核医学科控制区外围公众成员受照剂量估算结果见表11-7。

表11-7 一层核医学科控制区外围公众成员受照剂量估算结果

关注点	关注点位置	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	年照射时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
▲26	运动室西侧墙外 30cm (更衣室内)	0.05	312.5	1/8	2.0×10^{-3}
▲27	锝注射后候诊室南侧墙外 30cm	0.02	2000	1/8	5.0×10^{-3}
▲29	碘留观/抢救室东侧墙外 30cm	0.05	250	1/8	1.6×10^{-3}
▲34	甲癌住院病房 2 东侧墙外 30cm	0.08	7200	1/16	0.04
▲46	被服间南侧通道 (病人通道二防护门外 30cm)	1.01	83.3	1/8	0.01
▲47	氟锝固废间东侧墙外 30cm	0.12	8760	1/16	0.07

从表11-7估算结果可知，在一层核医学科控制区外围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均低于公众成员年剂量管理约束值（**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(表

7.1中所述），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 采取三废治理措施后放射性固体废物和流出物对环境的影响

本项目对放射性废水、放射性固体废物、废放射源、放射性废气采取了一系列的治理措施。

放射性废水：本项目根据放射性废水所含核素的种类、半衰期、活度水平，建设了碘衰变池及氟锝衰变池，分别收集项目产生的含碘放射性废水及含¹⁸F、^{99m}Tc核素的废水，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，项目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）中相应要求。

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。

废放射源：⁶⁸Ge 校准源不再使用时，废密封放射源交由放射源生产单位回收处置，不会对周围环境产生放射性污染。

放射性废气：分装室内分装柜设置有通风橱，拟配风机风速不小于0.5m/s，通风橱设置有单独的排风管道，排风口拟设置于核医学建筑楼屋顶；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。

因此，采取三废治理措施后，放射性固体废物和流出物预期对环境产生的影响很小。

11.3 事故影响分析

1、由于放射性药物都是从相应部门进货，因此在运输过程中可能会发生货包的泄漏或丢失等事故。如装有放射性物质或放射源的货包没有按预定的时间到达，医院

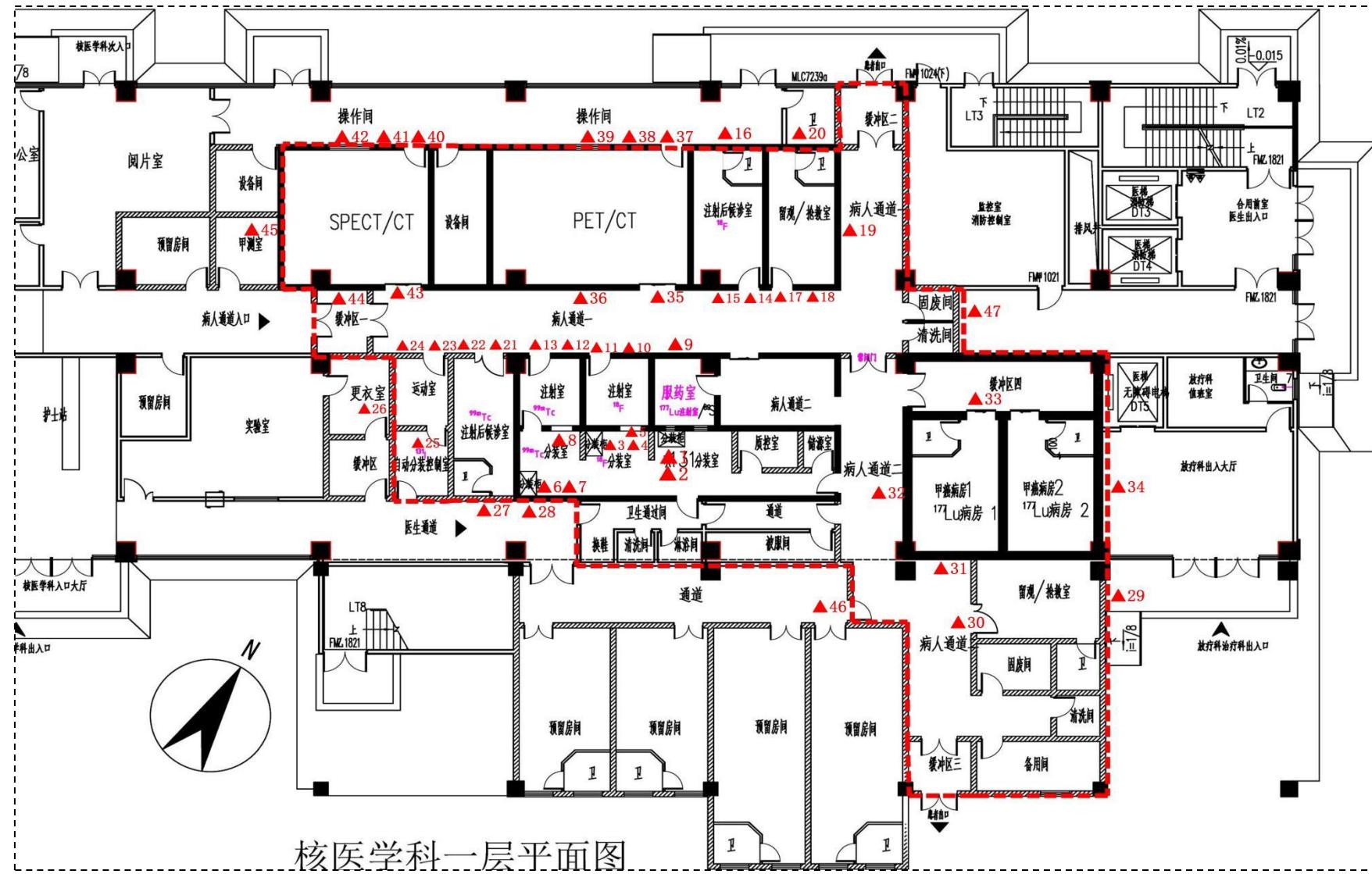
首先应在医院内部进行各种可能性的检查，然后与订货公司联系，要求追踪货包去向，直到找到放射性物质或放射源货包为止。

2、医院核医学科项目场所有专门的放射性物质储存房间、暂存退回生产厂家的放射性药品容器存放间，如果对放射性物质存放区的管理不善，发生放射物品失窃，将会造成放射性污染事故。

3、可能发生液态放射性药品溅洒等表面污染事故，一旦此类事故发生后，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生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。

4、对注射过放射性药物的受检者管理不善，无关人员误入控制区，也可能导致周围人群受到异常照射。

发生以上事故，按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条规定，该院应当立即启动本单位的应急方案，采取应急措施，以减轻事故危害后果。立即向当地环境保护行政主管部门、公安部门、卫生主管部门报告。配合公安部门、环保部门调查、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。



核医学科一层平面图

图 11-1 一层核医学科场所关注点示意图

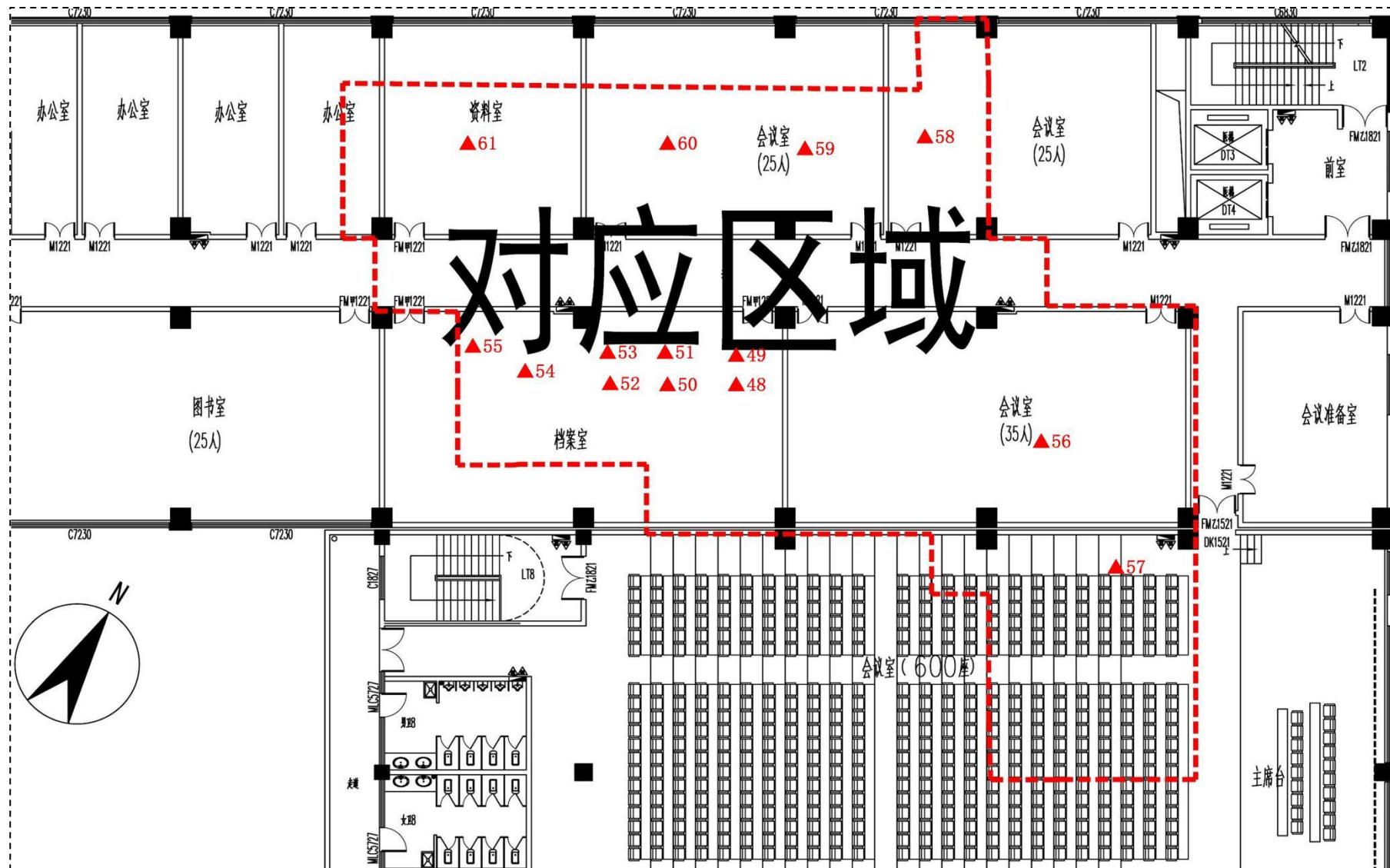


图 11-2 二层核医学科场所上方关注点示意图

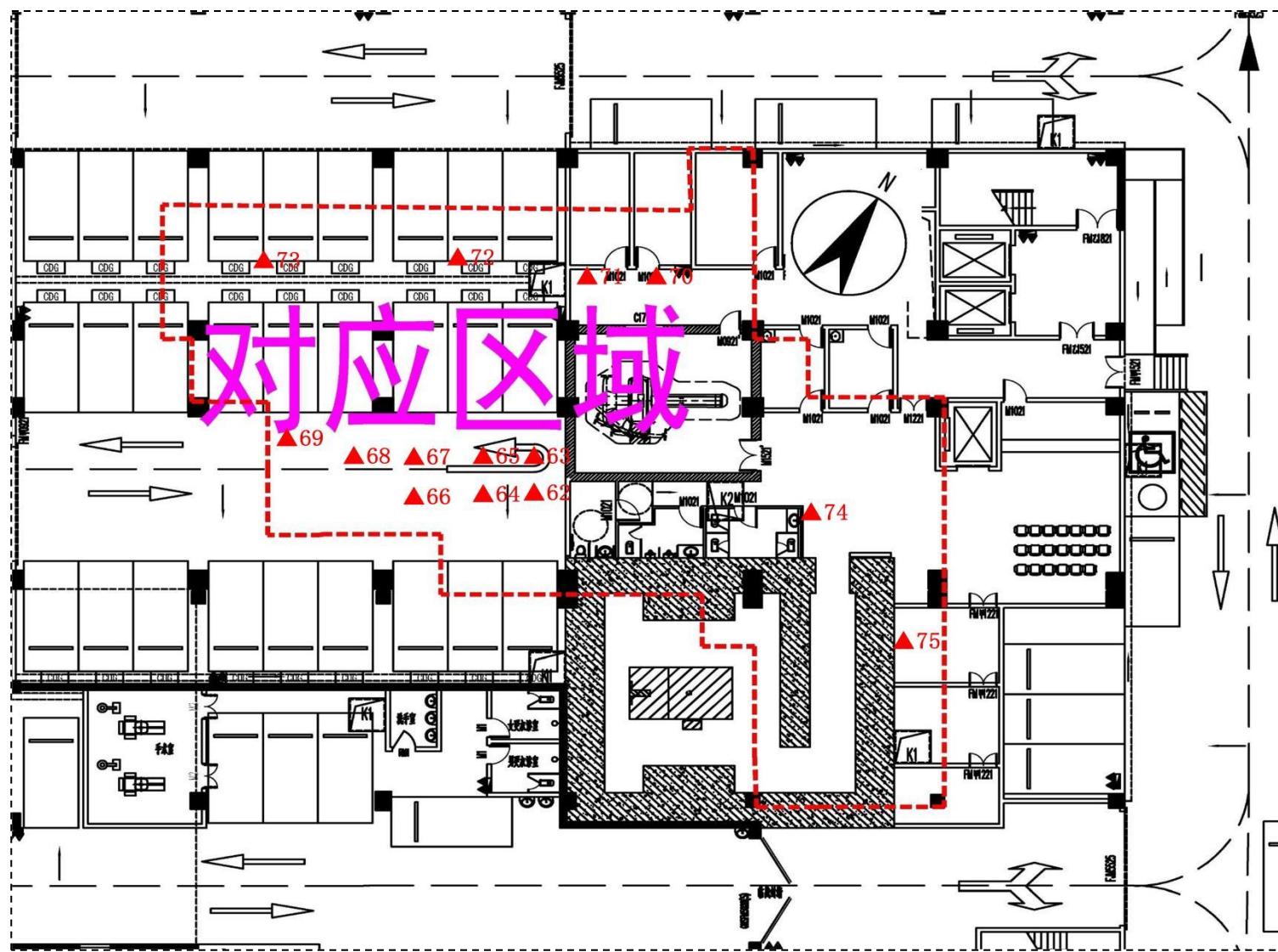


图 11-3 负一层核医学科场所下方关注点示意图

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。

12.1.1 辐射安全与环境保护管理机构

来宾市人民医院制订了《辐射安全和放射防护管理制度》，成立了放射防护管理领导小组（具体见附件 5），配备了相应成员，并规定了相应职能。其中，组长为：陈义夫（院长）；副组长及组员具体名单见附件 5。辐射安全管理领导小组下设办公室，设在医学装备科，办公室主任由韦炜担任，办公室负责辐射安全管理领导小组日常工作，落实领导小组的有关决定事项，牵头制定整体工作方案，负责领导小组会议安排和整理会议记录。

来宾市人民医院成立的辐射安全管理领导小组能满足医院辐射安全与防护要求，满足相关法律法规要求。

12.1.2 辐射工作人员配备情况

本项目规划配备 10 名辐射工作人员。

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中第十六条第二款的要求，从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。依据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》中第二十八条的要求，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当对直接从事生产、销售、使用活动的工作人员进行安全和防护知识教育培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。

根据生态环境部《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》（2019 年，第 57 号）的相关要求，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。

医院应及时安排本项目未参加培训并考核合格的辐射工作人员在生态环境部辐射安全与防护培训平台参加培训，考核合格后方可上岗（考核成绩合格有效期五年）。

12.2 辐射安全管理规章制度

医院为加强以对射线装置与放射性同位素安全和防护的监督管理，促进射线装置的安全应用，保证医疗质量和医疗安全，保障放射诊疗工作人员、患者和公众的人体健康，医院建立了相应的管理制度（包括放射防护和安全管理制度、人员培训、医用放射性废物管理制度等）和辐射事故应急预案。

本项目新建成后，提出如下要求：

- (1) 补充完善项目使用的《操作规程》、相应的《岗位职责》。
- (2) 要求组织本项目所有新增的辐射工作人员在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加培训，经考核合格并取得相应资格上岗证后才能上岗，并按要求进行复训，同时应为辐射工作人员建立个人剂量档案和职业健康档案。
- (3) 环评批复后，需及时向相关部门申请办理辐射安全许可证。

12.3 辐射监测

根据国家相关法律法规要求，开展辐射工作的单位应当对其设备性能、工作场所防护以及放射工作人员职业受照情况定期开展自主或者委托监测，以保障辐射工作的正常开展以及人员的健康和安全。建设单位需根据要求制定以下辐射监测计划。

12.3.1 个人剂量监测

建设单位应委托有资质的单位对辐射工作人员个人剂量进行监测，监测要求严格按照《职业性外照射个人监测规范》，并建立个人剂量记录及监测档案管理制度，对职业照射个人监测档案终生保存。

按照《放射工作人员健康标准》的相关规定，医院应为辐射工作人员建立个人健康档案，对新上岗工作人员，做好上岗前的健康体检报告，合格者才能上岗；对从事辐射工作的工作人员建立职业健康监护档案，档案要终生保存，工作人员调动工作单位时，个人剂量、个人健康档案应随其转给调入单位。职业健康检查周期为1~2年，但不得超过2年，必要时可适当增加检查次数；在本单位从事过辐射工作的人员在离开该工作岗位时也应进行健康体检。

12.3.2 场所及环境辐射监测

医院应委托有资质的单位定期（每年常规监测一次）对设备使用场所及周围环境进行辐射监测，并建立监测技术档案。

监测方案要求：

- (1) 监测布点：场所周围墙体、防护门、观察窗等人员可达区域（包括上下层相邻房间），建议操作表 11-3 中关注点来布设监测点位。
- (2) 监测项目：X-γ辐射剂量率、表面污染。
- (3) 监测频次：每年不少于 1 次。
- (4) 监测仪器：监测委托有资质监测机构开展，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) 其他：监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

12.3.3 年度安全评估报告

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。

12.4 辐射事故应急

医院核医学科所使用的放射性药品的工作场所为乙级场所，根据国家环保总局《关于发布放射源分类办法的公告》乙级非密封源工作场所的安全管理参照 II 类放射源。

12.4.1 应急组织与职责

医院制定了《辐射事故应急处置预案》（见附件 6），预案中成立了以医院院长为组长的辐射事故应急处理领导小组，其主要职责包括：组织制定医院辐射事故应急处理预案；负责组织协调辐射事故应急处理工作；组织辐射事故应急人员的培训；负责与上级主管部门和当地生态环境部门的联络、报告应急处理工作，配合做好事故调查和审定；负责辐射事故应急处理期间的后勤保障工作；采取各种快速有效措施，做好善后处理，最大限度地消除对医院的负面影响。本项目建成后，将纳入现有应急小组管理。

12.4.2 事故应急预案

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的规定，来宾市人民医院制定了《辐射事故应急处置预案》（详见附件 6），医院辐射事故应急预案包括下列内容：（1）目的；（2）适用范围；（3）辐射事故分级根据；（4）组织机构及职能；（5）预防措施；（6）应急措施和救援预案；（7）善后处理；（8）预案管理。

医院辐射事故应急预案中，建设单位根据本单位可能发生的辐射事故类型分别给出了具体的应急处理程序，具有较好的针对性和可操作性。一旦发生辐射事故时，医院应当立即启动本单位的辐射事故应急处理预案，采取必要的防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》。对于发生的误照射事故，应首先向当地生态环境部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

表 13 结论与建议

13.1 实践的正当性分析

来宾市人民医院核医学科新建建设项目的目的是开展医学放射诊疗工作，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，来宾市人民医院核医学科核技术应用项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的要求。

13.2 选址合理性分析

项目核医学科位于来宾市盘古大道东159号医院北侧致远楼一层，为独立使用场所，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5.1关于“选址”规定。

13.3 辐射环境影响评价

（1）辐射环境影响现状评价

来宾市人民医院核医学科核技术应用项目场址周围环境的辐射水平未见异常。

（2）辐射环境影响分析与预测

A、场所辐射屏蔽能力评价

只要医院严格按照本评价中屏蔽设计方案施工，并保证施工质量，预计项目场所控制区外围关注点剂量率均低于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，控制区内各关注点剂量率均低于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，屏蔽柜体表面5cm处的剂量当量率均小于 $25\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；屏蔽柜体表面30cm的剂量率均低于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。满足GBZ 120-2020中第5.3.1款剂量率目标值的要求，同时满足HJ 1188-2021中第6.1款的要求。

B、职业人员受照剂量分析与评价

预计工作人员因为该新建核医学核技术应用项目的运行而受到额外附加的年有效剂量小于职业人员年有效剂量管理约束值（ 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。

C、公众成员受照剂量分析与预测

预计公众成员因该新建核医学核技术应用项目的正常运行而受到额外附加的辐

射照射小于公众成员年有效剂量管理约束值（0.1mSv），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

13.4 辐射环境管理制度

（1）医院为了加强医院环境保护工作领导，规范医院放射性同位素及射线装置辐射安全及管理成立了辐射安全与环境保护管理机构。

（2）医院为了加强对放射性同位素、射线装置安全和防护的管理，促进放射性同位素、射线装置的安全应用，保证医疗质量和医疗安全，保障放射诊疗工作人员、患者和公众的人体健康，医院建立了相应的管理制度（包括操作规程、岗位职责、人员培训、监测方案等）和辐射事故应急预案。

（3）为应对可能出现的辐射事故，医院成立了辐射事故应急处理领导小组。

13.5 安全培训及健康管理

（1）对所有从事辐射工作的人员进行辐射安全与防护知识教育培训，培训考核合格方能上岗，使工作人员熟练掌握操作技能，减少操作时间，从而达到减少受照剂量。

（2）所有辐射工作人员均应进行个人累积剂量的监测并建立个人档案，每两年进行一次健康体检。

13.6 结论

综上所述，来宾市人民医院核医学科核技术应用项目，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。

建议和承诺

根据项目情况，本评价提出以下建议：

1、根据工作实际，不断完善辐射安全管理体系，加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，杜绝辐射事故的发生。

2、继续做好对放射工作人员的辐射防护培训、个人剂量检测、健康体检和辐射环境监测等工作，发现问题及时整改，并分类保管保存相关资料。

3、按照辐射事故应急预案和报告制度的要求，定期进行应急演习。

4、落实辐射防护设施定期检查制度，如工作警示灯、辐射警示标记等等。

为保护环境，保障人员健康，医院承诺：

1、按《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》（环保部 18 号令）要求开展个人剂量监测、工作场所监测以及对本单位射线装置的安全和防护状态进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关及当地生态环境部门提交上一年度的评估报告。

2、接受生态环境部门的监督检查并及时整改检查中发现的问题。

3、完善规章制度并保证各种规章制度和操作规程的有效执行。

4、按要求开展竣工环保验收。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见:	
经办人 年 月 日	
审批意见:	
经办人 年 月 日	