

核技术利用建设项目

厦门医学院附属第二医院 PET/CT
放射诊断项目

环境影响报告表
(公示稿)

厦门医学院附属第二医院
二〇二五年三月



核技术利用建设项目

厦门医学院附属第二医院 PET/CT
放射诊断项目

环境影响报告表

建设单位名称：厦门医学院附属第二医院

通讯地址：厦门市集美区盛光路 566 号

邮政编码：361021



目录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	18
表 3	非密封放射性物质	18
表 4	射线装置	19
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	20
表 6	评价依据	21
表 7	保护目标与评价标准	24
表 8	环境质量和辐射现状	41
表 9	项目工程分析与源项	46
表 10	辐射安全与防护	52
表 11	环境影响分析	80
表 12	辐射安全管理	97
表 13	结论与建议	106
表 14	审批	111
附件 1	委托书	
附件 2	辐射安全许可证	
附件 3	厦门医学院附属第二医院辐射安全与环境保护管理机构	
附件 4	厦门医学院附属第二医院辐射工作相关管理制度	
附件 5	核技术利用辐射安全与防护考核成绩报告单（部分）	
附件 6	个人剂量监测报告	
附件 7	职业健康检查报告（部分）	
附件 8	辐射环境监测报告	
附件 9	辐射事故应急处理预案	
附件 10	福建省生态环境分区管控综合查询报告	

表 1 项目基本情况

建设项目名称		厦门医学院附属第二医院 PET/CT 放射诊断项目			
建设单位		厦门医学院附属第二医院			
联系人		***	联系电话	*****	
注册地址		厦门市集美区盛光路 566 号			
项目建设地点		厦门市集美区盛光路 566 号厦门医学院附属第二医院 4 号楼内			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)		3080	项目环保投资 (万元)	400	投资比例 13%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积 (平方米) 270
应用 类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input 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		
	其它	/			

1.1 建设单位情况

厦门医学院附属第二医院是厦门岛外唯一一所集医疗、教学、科研、急救为一体的三级甲等综合性公立医院。医院占地面积 6.6 万平方米，总建筑面积为 12.1 万平方米，环境优美；共设有 5 大中心（国家高级卒中中心、国家胸痛中心、厦门市创伤中心、危重孕产妇救治中心、危重新生儿救治中心），51 个临床科室、13 个医技辅助科室。编制床位 1300 张，目前实际开放 1250 张。医院拥有 3.0T 医用核磁共振成像设备、128 排螺旋 CT、医用电子直线加速器、光子发射型电子计算机断层扫描仪、大孔径 CT 模拟定位机、双板 DSA、铁激光、体外冲击波碎石机、全自动生化分析仪、高档超声彩色多普勒诊断仪、各种腔镜、支气管镜、进口血透机、床旁血液净化系统等先进医疗设备。

全院职工 1880 人，卫生专业技术人员 1597 人，其中医师 575 人，护士 879 人，博士、硕士研究生 474 人，硕士研究生导师 7 人，高级专业技术职称 355 人。教授 20 人，副教授 86 人。

1.2 项目由来与建设内容

厦门医学院附属第二医院现有辐射安全许可证（闽环辐证[00226]），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；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所”，有效期至 2026 年 8 月 23 日。其中已许可的乙级非密封放射性物质工作场所（使用 ^{99m}Tc 、 ^{89}Sr 、 ^{32}P 、 ^{131}I 、 ^{125}I （粒子源）和 ^{18}F ），为医院 4 号楼一层东侧在用核医学科项目。

为填补医院 PET/CT 检查的空白，保障厦门市集美区及其周边地区的医疗服务，医院计划在本院内 4 号楼新增 PET/CT 放射诊断项目，用于临床诊疗、教学、科研需求。主要建设内容：在 4 号楼一层西侧区域，将现有仓库、医护人员办公室以及空置房间改造为 1 座 PET/CT 机房及配套用房，购置 1 台 PET/CT，使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 开展 PET/CT 显像检查诊断；新购 2 枚 ^{68}Ge 和 2 枚 ^{57}Co 放射源用于 PET/CT 衰减校准；在 4 号楼西侧新建埋地槽式衰变池供 PET 中心使用。

本次项目与现有非密封放射性物质工作场所有独立、明确的监督区和控制区划分，各自的诊疗流程连续完整，且有各自相对独立的辐射防护措施。因此本次 PET/CT 放射诊断项目的建设不改变医院非密封物质工作场所的级别，属于新增 1 处“乙级非密封放射性物质工作场所”。

本次项目新增射线装置、放射源、非密封放射性物质使用情况见表 1.2.1~表 1.2.3。

表 1.2.1 本项目新增射线装置情况一览表

序号	设备名称	数量 (台)	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	类别	设备位置	用途
1	PET/CT	1	待定	140	1000	III	4 号楼一层 PET/CT 机房	显像

表 1.2.2 本项目新增放射源情况一览表

序号	放射源 名称	数量 (枚)	单枚活度 (Bq)	放射源类 别	工作场所	用途	贮存地点
1	^{68}Ge	2	$7.40\text{E}+7$	V	4 号楼一层 PET/CT 机房	校准	4 号楼一层 PET/CT 机房 储源柜
2	^{57}Co	2	$1.17\text{E}+8$	V	4 号楼一层 PET/CT 机房	校准	4 号楼一层 PET/CT 机房 储源柜

表 1.2.3 本项目新增非密封放射性物质情况一览表

序号	核素名称	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	使用场所	贮存方式与地点
1	^{18}F	1.85E+10	1.85E+7	2.22E+7 乙级	4.63E+12	诊断	4 号楼一层 PET 中心	PET 中心分装室手套箱内
2	^{68}Ga	3.70E+9	3.70E+6		9.25E+11			

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），本项目涉及“五十五、核与辐射 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”、“使用 III 类射线装置”、“使用 V 类放射源”，应当编制环境影响报告表。厦门医学院附属第二医院于 2024 年 10 月委托福建省金皇环保科技有限公司对厦门医学院附属第二医院 PET/CT 放射诊断项目进行环境影响评价工作（委托书见附件 1）。

我公司接受委托后，派技术人员到现场进行调查和资料收集，在完成污染源分析等工作的基础上结合本项目的特点，依照《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）的相关要求编制完成了《厦门医学院附属第二医院 PET/CT 放射诊断项目环境影响报告表》。本次环境影响评价重点是对项目在施工和运营过程中可能产生的环境影响进行分析，并在此基础上提出相应的环境保护措施，为生态环境主管部门和建设单位提供环境保护管理的依据。

1.3 原有核技术应用项目许可情况

厦门医学院附属第二医院已申领辐射安全许可证，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；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所”，证书编号为“闽环辐证[00226]”（见附件 2），许可有效期至 2026 年 8 月 23 日。

医院已许可 12 枚放射源；1 处乙级非密封放射性物质工作场所；使用 27 台射线装置，其中 II 类装置 3 台，III 类装置 24 台。

现有核技术利用情况见表 1.3.1~表 1.3.3。

表 1.3.1 医院已许可射线装置情况一览表

序号	设备名称	设备型号	分类	数量	工作场所	活动种类	备注
1	医用电子直线加速器	ELEKTA Precise	II 类射线装置	1	4 号楼负一层直线加速器机房	使用	已环评，已许可，已验收
2	医用血管造影 X 射线机	Artis zee III biplane		1	3 号楼一层 3 号 DSA 机房		
3	DSA	Innova 3100-IQ		1	6 号楼一层导管室		
4	移动 C 臂机	OEC 9900 Elit	III 类射线	1	1 号楼七层呼吸内镜诊疗室	使用	已环评，已许可

5	乳腺钼靶机	SELENIA	装置	1	3 号楼一层乳腺钼靶室		
6	牙片机	eXpert DC		1	6 号楼三层牙片机房		
7	CT	SOMATOM Definition AS		1	3 号楼一层 CT1 机房		
8	CT	Discovery CT		1	3 号楼一层 CT 检查室 1		
9	CT	Lightspeed Plus		1	6 号楼一层介入室		
10	DR	Primary Diagnost DR		1	3 号楼一层 DR1 机房		
11	DR	Primary Diagnost3		1	3 号楼一层 DR2 机房		
12	DR	Primary Diagnost Pro		1	6 号楼 6 层体检中心放射检查 2 室		
13	DR	Brivo XR575		1	6 号楼 6 层体检中心放射检查 1 室		
14	数字肠胃机	Uni-vision		1	6 号楼一层胃肠机房		
15	移动床边机	Mobiile Diagnost DR		1	3 号楼一层备用机房		
16	DR	AXIOM Aristos VX Plus		1	6 号楼一层急诊 DR 机房		
17	体外冲击波碎石定位机	Duet Megn		1	6 号楼三层碎石中心碎石机房 1 室		
18	骨密度仪	GR lunar Idar		1	3 号楼一层骨密度仪检查室		
19	移动 C 臂机	OEC 9900 Elit		1	3 号楼三层 ERCP 室		
20	SPECT/CT	Infinia KH4		1	4 号楼一层核医学科 SPECT 扫描室		
21	口腔 CT	Pan eXan Plus		1	6 号楼三层口腔 CT 机房		
22	CT 模拟定位机	Discovery CT590RT		1	4 号楼一层模拟机房		
23	体外冲击波碎石定位机	MODULARIS Variostar		1	6 号楼三层碎石中心碎石机房 2 室		
24	X 射线计算机体层摄影设备	Revolution ACT		1	6 号楼一层 CT2 检查室		
25	X 射线计算机体层摄影设备	Optima CT680 Expert		1	3 号楼一层 CT3 检查室		
26	移动式摄影 X 射线机	Mobilett Mira Max		1	3 号楼一层备用机房		
27	数字化医用 X 射线摄影系统	Udr 566i-B		1	6 号楼一层急诊科 1 号机房		

表 1.3.2 医院已许可的放射源情况一览表

序号	核素名称	数量	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	工作场所	活动种类	类别	环评/验收情况	许可情况
1	Sr-90	1	7.4E+8	4 号楼核医	使用	V 类	已环评/	已许可

				学科			已验收	
2	Ir-192	11	3.7E+11	4 号楼核医学科	使用	III 类	已环评/ 已验收	已许可

表 1.3.3 医院已许可的非密封放射性物质情况一览表

序号	核素名称	数量	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	工作场所名称	场所等级	活动种类	环评/验收情况	许可情况
1	Tc-99m	1	3.07E+8	3.07E+12	4 号楼核医学科	乙级	使用	已环评, 已验收	已许可
2	Sr-89	1	2.96E+7	1.4E+10					
3	P-32	1	3.7E+7	3.6E+10					
4	I-131	1	2.96E+8	2.96E+11					
5	I-125(粒子源)	1	8.88E+6	2.22E+11					
6	F-18	1	2.59E+7	2.59E+11					

1.4 原有核技术应用项目辐射安全管理及防护情况

(1) 辐射安全与环境保护管理机构

厦门医学院附属第二医院已成立了由院党委书记***为组长的辐射防护领导小组, 指定专人负责辐射安全与环境保护管理工作, 并明确了各成员管理职责, 满足环保相关管理要求(附件 3)。

(2) 辐射安全管理规章制度

厦门医学院附属第二医院已针对现有核技术利用项目制定了辐射安全管理规章制度及辐射事故应急预案, 主要包括《放射工作人员放射防护培训制度》《放射工作人员个人剂量监测制度》《放射诊疗安全防护管理制度》《放射工作人员职业健康管理制度》《放射事故应急处理预案》等。医院制定的辐射安全管理规章制度较为完备且具有一定的可行性, 满足现有核技术利用项目对辐射安全管理规章制度的需求(附件 4)。

(3) 辐射工作人员辐射安全与防护考核、个人剂量监测档案和职业健康体检情况

厦门医学院附属第二医院现有辐射工作人员共计 178 名, 均已按要求参加核技术利用辐射安全与防护考核, 成绩合格且在有效期内, 满足环保管理相关要求, 部分辐射工作人员核技术利用辐射安全与防护考核证书见附件 5。

医院已为辐射工作人员配备了个人剂量计, 由专人负责收集个人剂量计, 并委托

有资质单位承担个人剂量监测工作，监测频度为每季度 1 次。根据福建省鑫龙安检测技术有限公司提供的近一年四个季度的个人剂量监测报告（2023 年 12 月 1 日~2024 年 11 月 30 日），医院全部辐射工作人员个人剂量检测值均能满足相关限值要求，且做好个人剂量档案工作（附件 6）。

医院定期组织现有辐射工作人员进行职业健康体检，并建立了辐射工作人员职业健康监护档案，根据医院 2023 年 3 月及 2024 年 5 月的职业健康体检报告，医院现有辐射工作人员均可继续原放射工作，满足环保相关管理要求（附件 7）。

（4）辐射工作场所监测情况

院方每年委托有监测资质的单位对工作场所及周围辐射环境剂量率进行监测，监测频次为 1 次/年，监测数据记录存档。根据医院 2024 年度辐射工作场所检测报告，院内各辐射场所监测均未出现超标情况。

（5）辐射工作管理情况

医院日常按照制定的一系列规章制度开展辐射工作管理，已提交 2024 年辐射安全和防护状态年度评估报告；建立个人剂量计档案和职业健康体检档案，并指定专人管理，定期委托有资质的单位开展个人剂量计检测、组织辐射工作人员进行职业健康体检；医院安排责任科室日常定时巡查、检测设备性能。据调查，截止目前，医院使用的核利用项目正常运行，未发生辐射事故；院方定期制定辐射应急演练计划，并适时开展。

1.5 项目地理位置和周边概况

本项目位于福建省厦门市集美区盛光路 566 号厦门医学院附属第二医院 4 号楼内，医院北侧为大唐世家住宅区，医院西侧为盛光路、厦门市疾病预防控制中心、凤麟花园住宅区，医院南侧为信毅路、集美大学印斗校区，医院东侧为印斗北路、嘉农商贸城、大学湾住宅区。医院地理位置及其周边环境现状分布图见图 1.5-1 和图 1.5-2 所示。

医院 4 号楼位于厦门医学院附属第二医院东侧，4 号楼东侧为院外区域印斗北路，南侧为楼前停车场、设备用房，西侧为院内道路、医院 2 号楼，北侧为配电楼，详见图 1.5-2。

本次 PET/CT 放射诊断项目区域位于 4 号楼一层西侧，4 号楼地面以上共七层，地下室一层。其中一层东侧为医院在用核医学科，地下一层为医用直线加速器项目用房，二层为肿瘤内科病房区域。

表 1.5.1 本项目周边概况

方位	PET/CT 放射诊断项目
北侧	院内配电楼、院外大唐世家住宅区
南侧	院内停车场、医院设备用房
西侧	医院 2 号楼
东侧	医院核医学科、院外印斗北路
楼上	医院肿瘤内科病房
楼下	医用直线加速器项目用房

1.6 项目选址及合理性分析

本项目设置于医院内 4 号楼西侧，位置相对独立，充分考虑周围场所的安全，不毗邻产科、儿科、食堂等部门，与周边非放射性工作场所不交叉，尽可能做到相对独立布置和集中设置，有单独出、入口，出口不设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。本项目辐射工作场所四周人员停留较少，项目 50m 评价范围大部分位于医院内（评价范围仅东侧少部分涉及院外印斗北路），经防护设施、距离以及楼内隔室墙体衰减后，对周围环境影响不大。综上所述，项目选址考虑了周边及楼上情况，避开人群聚集区，按照设计的防护措施，运行时对周围环境辐射影响小。因此，项目选址是合理的。

同时，查《厦门市生态环境局关于印发厦门市生态环境准入清单[2023 年]的通知》（厦环评[2023]13 号），本项目位于厦门市重点管控单元“集美区侨英街道、集美街道城镇发展区（ZH35021120011）”，在空间布局约束、污染物排放管控、环境风险防控以及资源开发效率要求均符合环境管控单元准入要求（附件 10）。

1.7 实践正当性

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补可能引起的辐射危害时，该实践是正当的。

本项目主要涉及的非密封放射性物质为 ^{18}F 和 ^{68}Ga 核素，注射核素后的患者经 PET/CT 扫描，能使医生对疾病做出全面、准确的判断。目前，PET/CT 已在我国各大医院广泛推广，技术已十分成熟，在医疗保障领域起了十分重要的作用。这些技术的应用在医学诊断方面有着其他技术无法替代的作用，有效地保障了民众健康。厦门医学院附属第二医院 PET/CT 的配置，能够提高医院整体医疗水平，为当地病人提供一个

更加优越的诊疗环境，具有明显的社会效益。

本项目整体布局较为合理，各工作场所均按相关要求进行了设计，防护措施满足标准要求。项目对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害。因此，本项目建设符合《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”原则。

1.8 国家产业政策符合性分析

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 29 号），本项目属于“鼓励类”中“三十七、卫生健康”中的“1、.....医疗卫生服务设施建设.....”项目，因此本次厦门医学院附属第二医院 PET 中心项目符合国家产业政策。



审图号：闽S（2021）102号

福建省制图院 编制 福建省自然资源厅 监制

图 1.5-1 厦门医学院附属第二医院地理位置图

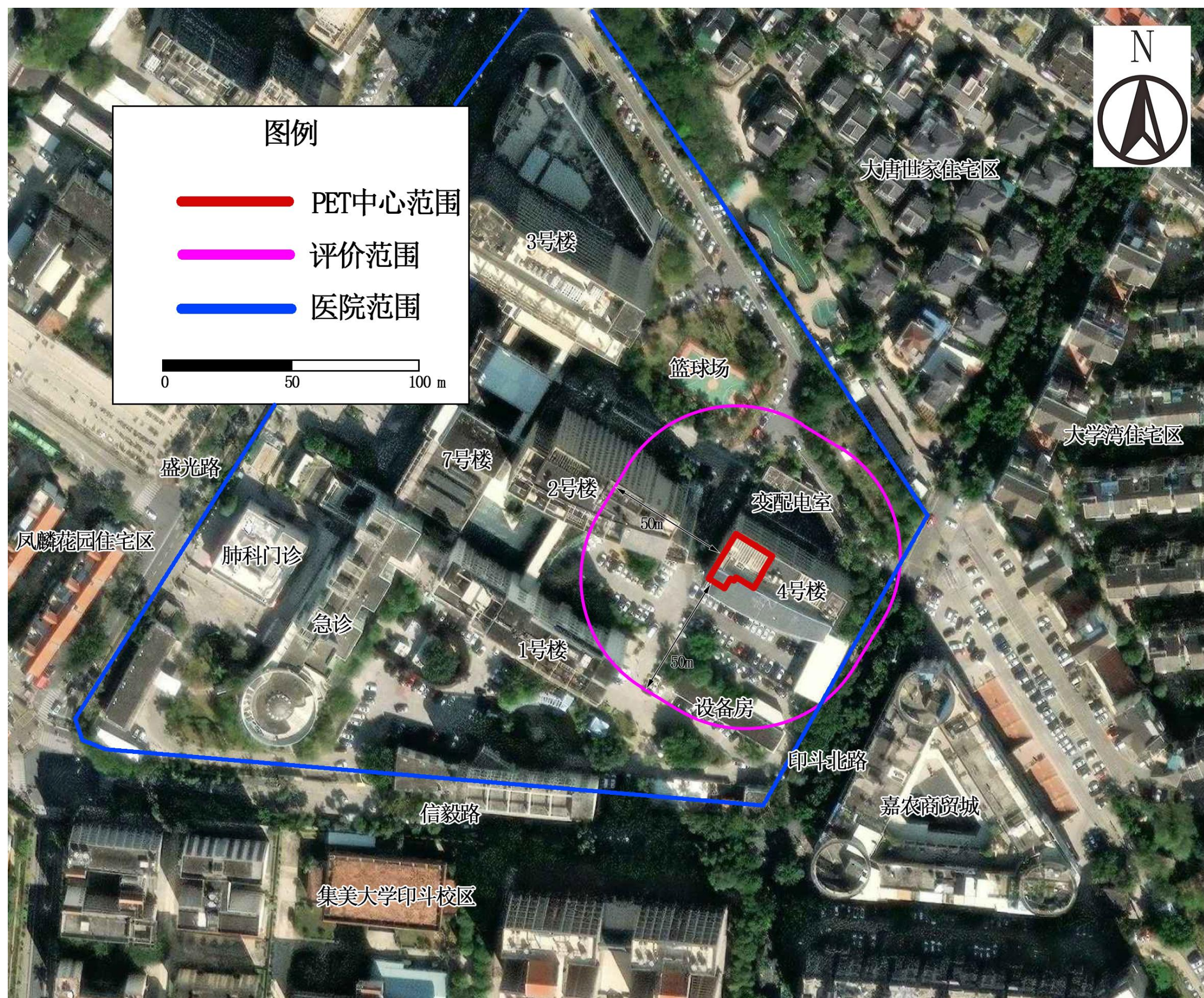


图 1.5-2 厦门医学院附属第二医院 PET/CT 放射诊断项目评价范围及周边环境现状分布图

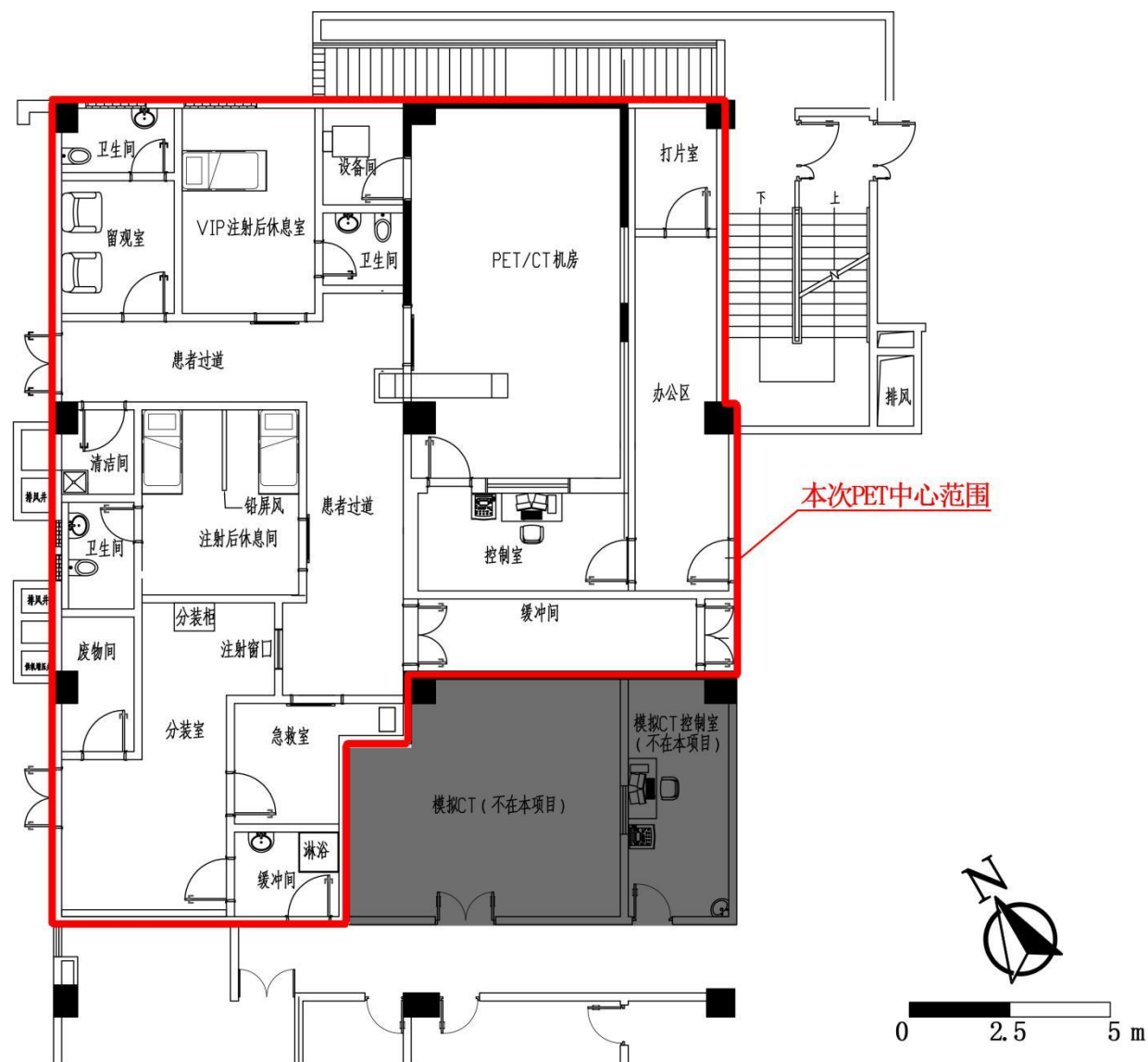


图 1.5-3 厦门医学院附属第二医院 PET/CT 放射诊断项目总平面布置图

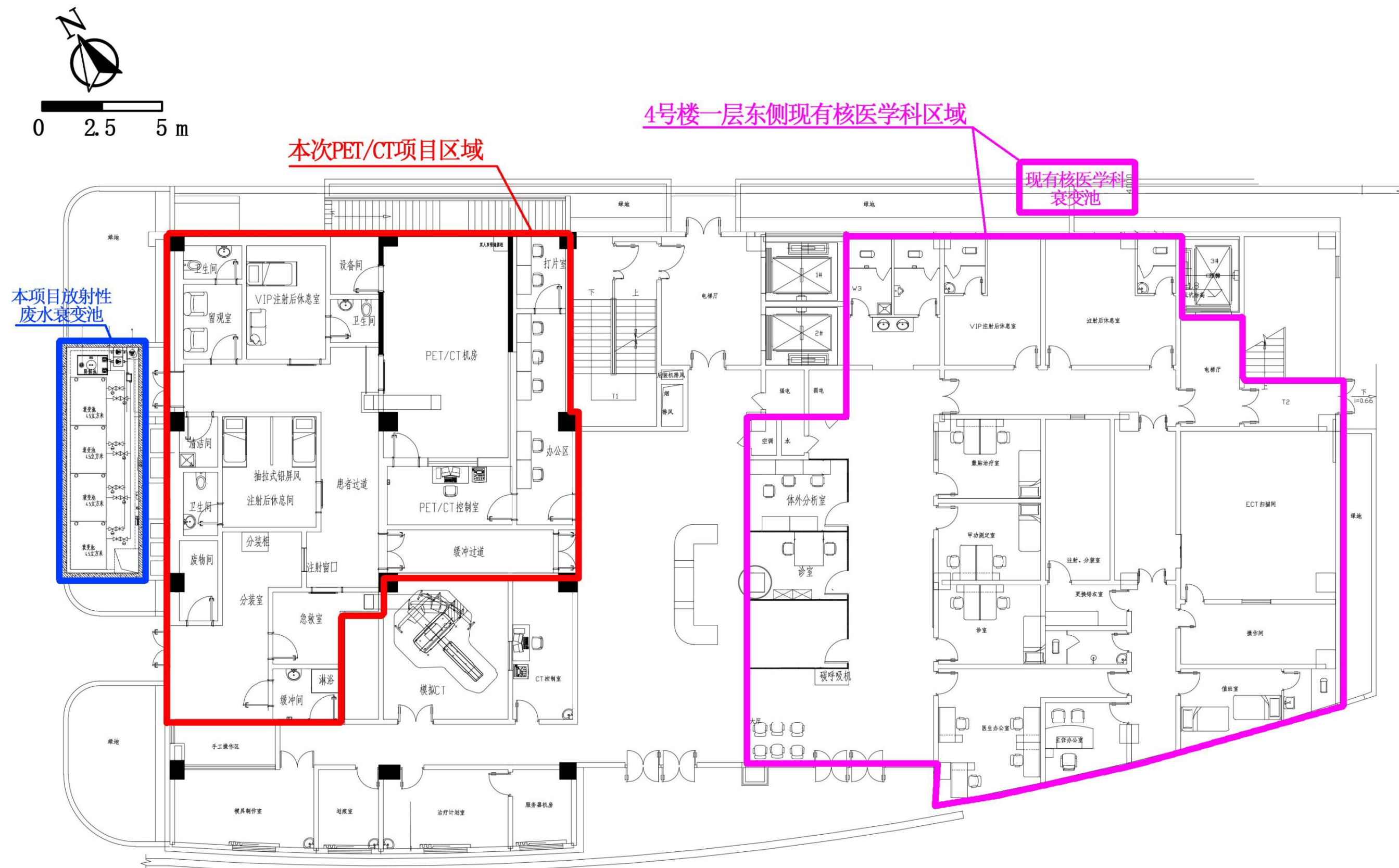


图 1.5-4 厦门医学院附属第二医院 4 号楼一层布局图及本项目所在位置

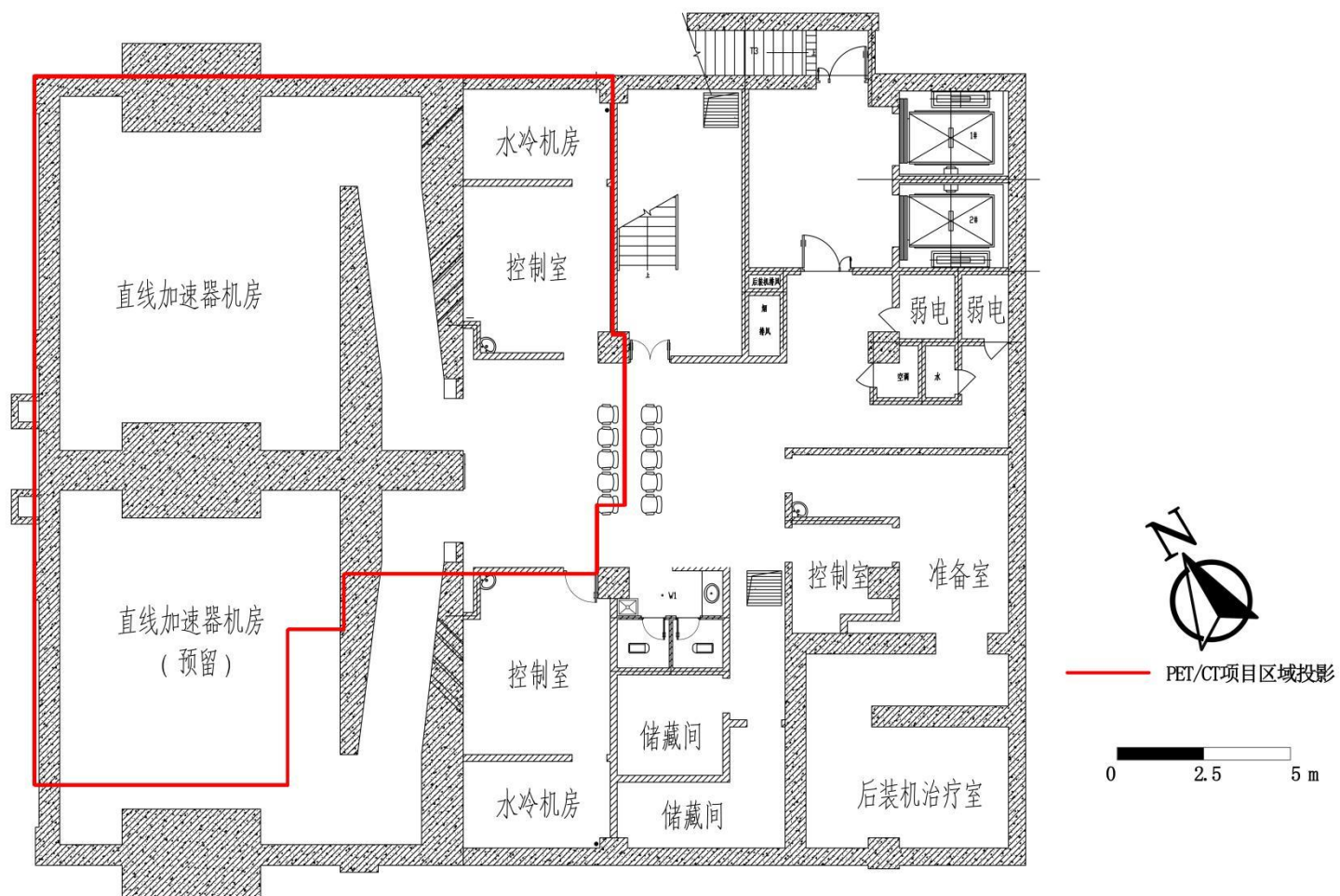


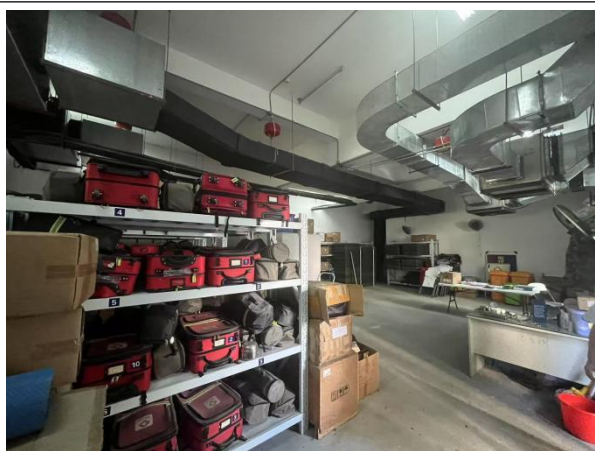
图 1.5-5 厦门医学院附属第二医院 4 号楼负一层布局图及 PET/CT 放射诊断项目在该层的投影



本项目所在医院 4 号楼



4 号楼内拟建 PET/CT 场所现状



4 号楼内拟建 PET/CT 场所现状



4 号楼内拟建 PET/CT 场所现状



楼外拟建 PET/CT 放射性废水衰变池位置现状



4 号楼内 CT 模拟机房及走廊现状



4 号楼二层肿瘤内科病房走廊



4 号楼负一层直线加速器现状



4 号楼北侧院内通道



4 号楼前停车场



4 号楼西侧院内通道



4 号楼南侧



图 1.5-7 厦门医学院附属第二医院现状照片

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度（Bq）/ 活度（Bq）×枚数	类别	活动 种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	⁶⁸ Ge	7.4E+7×2	V	使用	PET/CT衰减校正	PET/CT机房	PEC/CT机房储源柜	/
2	⁵⁷ Co	1.17E+8×2	V	使用	PET/CT衰减校正	PET/CT机房	PEC/CT机房储源柜	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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
1	¹⁸ F	液体/低毒 T _{1/2} =109.7min	使用	1.85E+10	1.85E+7	4.63E+12	诊断	分装、注射/很简 单的操作	PET中心	PET中心分装室铅 手套箱铅罐中,当天 到货用完不暂存
2	⁶⁸ Ga	液体/低毒 T _{1/2} =68.3min	使用	3.70E+9	3.70E+6	9.25E+11	诊断	分装、注射/很简 单的操作	PET中心	PET中心分装室铅 手套箱铅罐中,当天 到货用完不暂存
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 （kV）	最大管电流 （mA）	用途	工作场所	备注
1	PET/CT	III	1 台	待定	140	1000	显像诊断	PET/CT 机房	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 （kV）	最大靶电流 （μA）	中子强度（n/s）	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度（Bq）	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
退役的 ^{68}Ge 放射源	固体	^{68}Ge	^{68}Ge 源一般 2 年更换一次，退役时活度不超过 $1.2\text{E}+7\text{Bq}$				暂存于 PET/CT 机房 储源柜内	退役废源交原生产厂家回收
退役的 ^{57}Co 放射源	固体	^{57}Co	^{57}Co 源一般 2 年更换一次，退役时活度不超过 $1.2\text{E}+7\text{Bq}$				暂存于 PET/CT 机房 储源柜内	退役废源交原生产厂家回收
分装室铅手套箱内 含微量放射性核素 的气溶胶	气体	^{18}F 、 ^{68}Ga	/	微量	微量	微量	不暂存	经活性炭过滤后，由排风管道引至4号楼楼顶高空排放
PET 中心辐射工作 场所的气流	气体	^{18}F 、 ^{68}Ga	/	微量	微量	微量	不暂存	经活性炭过滤后，由排风管道引至4号楼楼顶高空排放
PET/CT 运行时产生 的臭氧和氮氧化物	气体	/	/	微量	微量	微量	不暂存	经场所独立的新风-排风系统管道引至排放口排放，其中臭氧常温下可自行分解为氧气，对环境影响较小
PET 中心工作场所 的清洗废水及注射 后候诊室卫生间下 水	液体	^{18}F 、 ^{68}Ga	/	约 4.61m^3	约 55.36m^3	总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$	排入 4 号楼西侧楼外 槽式放射性废水衰变 池中	存放足够天数后，排放至医院污水管网，作为医疗废水处理
放射性固体废物（一 次性手套、注射器、 棉签、棉球、擦拭废 纸、一次性药管及活 性炭等）	固体	^{18}F 、 ^{68}Ga	/	约 50kg	约 600kg	辐射剂量率满足所处 环境本底水平， β 表面 污染 $<0.8\text{Bq/cm}^2$	暂存在放射性废物间 中	暂存 30 天，达到清洁解控水平后，由医院统一作为医疗废物处理
通风系统中更换下 来的废活性炭过滤 吸附材料	固体	^{18}F 、 ^{68}Ga	/	微量	微量	辐射剂量率满足所处 环境本底水平， β 表面 污染 $<0.8\text{Bq/cm}^2$	暂存在放射性废物间 中	暂存 30 天，达到清洁解控水平后，作为一般废物处理

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

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，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 12 月 29 日起施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订版），2019 年 3 月 2 日起施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》，2017 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2021 年 1 月 4 日起施行；</p> <p>(9) 关于发布《放射源分类办法》的公告，国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日；</p> <p>(10) 《关于发布<射线装置分类>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>(11) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》，2018 年 1 月 1 日；</p> <p>(12) 《关于印发辐射安全许可座谈会会议纪要的函》，环办函[2006]629 号，2006 年 9 月 27 日；</p> <p>(13) 《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》，环发[2006]145 号，2006 年 9 月 26 日；</p> <p>(14) 《放射工作人员职业健康管理办法》，2007 年 11 月 1 日起施行；</p> <p>(15) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，中华人民共和国环境保护部办公厅，环办辐射函[2016]430 号，2016 年 3 月 7 日；</p> <p>(16) 《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；</p> <p>(17) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，生态环境部文件，辐射函[2023]20 号；</p>
------	---

	<p>(18) 《产业结构调整指导目录》(2024 年本), 2024 年 2 月 1 日起施行;</p> <p>(19) 《福建省环境保护条例》, 2012 年 3 月 31 日起施行;</p> <p>(20) 《福建省环保厅关于印发<核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲>(试行)的通知》(闽环保辐射[2013]10 号), 2013 年 3 月 15 日印发;</p> <p>(21) 《福建省环保厅关于加强放射源废物(源)收贮管理工作的通知》, 2017 年 5 月。</p>
技术标准	<p>(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016);</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002);</p> <p>(3) 《电离辐射监测质量保证通用要求》(GB 8999-2021);</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021);</p> <p>(5) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021);</p> <p>(6) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010);</p> <p>(7) 《放射性物质安全运输规程》(GB 11806-2019);</p> <p>(8) 《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分: 化学有害因素》(GBZ 2.1-2019);</p> <p>(9) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016);</p> <p>(10) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021);</p> <p>(11) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020);</p> <p>(12) 《核医学科放射防护要求》(GBZ 120-2020);</p> <p>(13) 《放射性废物管理规定》(GB 14500-2002);</p> <p>(14) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019);</p> <p>(15) 《工作场所职业病危害警示标识》(GBZ 158-2003);</p> <p>(16) 《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996);</p> <p>(17) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005);</p> <p>(18) 《危险废物贮存污染控制标准》(GB 18597-2001, 2013 年修订);</p> <p>(19) 《医疗废物专用包装袋、容器和警示标志标准》(HJ 421-2008);</p> <p>(20) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB 12523-2011)。</p>
其	<p>(1) 委托书;</p>

他	<p>(2) 医院辐射安全管理制度、个人剂量检测报告、职业健康检查报告、辐射工作人员培训合格证书等相关资料；</p> <p>(3) 医院提供的建筑结构设计图以及与项目相关的技术资料；</p> <p>(4) 医院辐射安全许可证；</p> <p>(5) 厦门亿科特检测技术有限公司出具的检测报告。</p>
---	--

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目为乙级非密封放射性物质工作场所，配套使用 V 类放射源、III 类射线装置，运行过程中主要为非密封放射性物质和射线装置产生的电离辐射对周围环境的影响，根据《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中，“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。……射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围）……”，根据本项目建设内容，评价范围确定为：项目 PET/CT 工作场所区域边界外 50m 范围内，见图 1.5-2。

7.2 保护目标

本项目评价范围及保护目标见图 1.5-2，本项目辐射环境评价范围内保护目标主要为辐射工作人员、医护人员和周边的公众等。本项目环境保护目标情况见表 7.2.1。

表 7.2.1 本项目周边环境保护目标一览表

保护目标名称		方位	距离 (m)	人口规模	保护要求 (mSv/a)
本项目辐射工作人员		本次 PET 中心	-	6 人	5
公众	医院的其他医护人员、其他工作人员、院内患者、患者陪护人员	4 号楼一层门厅	5	约 10 人	0.1
		4 号楼一层东侧核医学科	15	约 20 人	
		下方负一层直线加速器机房及控制室	10	约 5 人	
		上方二层肿瘤内科病房	10	约 15 人	
		4 号楼的其他区域	5-40	不定	
		北侧院内道路	4	不定	
		北侧院内配电室	8	约 1 人	
		南侧院内停车场	20	不定	
		南侧院内设备房	40	约 1 人	
		西侧院内道路	10	不定	
		西侧院内 2 号楼	30	不定	
		东侧院内道路	40	不定	
		东侧院外印斗北路	50	不定	

7.3 评价标准

7.3.1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

4.2.5 解控

4.2.5.2 除非审管部门另有规定，否则清洁解控水平的确定应考虑本标准附录 A（准的附录）所规定的豁免准则，并且所定出的清洁解控水平不应高于本标准附录 A（准的附录）中规定的或审管部门根据该附录规定的准则所建立的豁免水平。

表 7.3.1 以核素活度浓度表示的清洁解控水平推荐值

解控水平 (Bq/g)	核素
1×10^1	^{18}F

4.3.2 剂量限制和潜在照射危险限值

4.3.2.1 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当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。

B1.1 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a) 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；本次项目取其 1/4 即 5mSv 作为管理限值。

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

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；本评价参考“第 11.4.3.2 款剂量约束值通常在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内”，通过综合考虑本项目及周围环境状况，本次项目对公众照射的剂量约束值取每年 0.1mSv。

6.2.3 表面放射性污染的控制

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。

B2 表面污染控制水平

B2.1 工作场所的表面污染控制水平如表 7.3.2 所列。

表 7.3.2 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		β 放射性物质 (Bq/cm ²)
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4×10^1
	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) 该区内的污染子区除外。		

6.4 辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和

和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

6.4.1.1 注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

6.4.1.2 确定控制区的边界时，应考虑预计的正常照射的水平、潜在照射的可能性和大小，以及所需要的防护手段与安全措施的性质和范围。

6.4.1.3 对于范围比较大的控制区，如果其中的照射或污染水平在不同的局部变化较大，需要实施不同的专门防护手段或安全措施，则可根据需要再划分出不同的子区，以方便管理。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中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。

6.4.3 非密封放射性物质工作场所的分级

非密封放射性物质工作场所的分级应按附录 C（标准的附录 C）的规定进行。

C1 应按表 7.3.3 将非密封放射性物质工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7.3.3 非密封放射性物质工作场所的分级

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 $\sim 2 \times 10^7$

C2 放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与核素毒性组别修正因子的乘积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 7.3.4 和表 7.3.5。

表 7.3.4 放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	常用核素名称	毒性组别修正因子
中毒	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga	0.1

表 7.3.5 操作方式与放射源状态修正因子

核素	状态	操作方式界定	操作方式修正因子
¹⁸ F	液态	很简单操作	10
⁶⁸ Ga	液态	很简单操作	10

8.6 放射性物质向环境排放的控制

8.6.2 不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放注量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

a) 每月排放的总活度不超过 10ALImin（ALImin 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者）。

b) 每一次的排放的活度不超过 1ALImin，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

根据附录 B1.3.4 和 B1.3.5 条款规定，对于职业照射，在一定的假设下可将 $I_{j,L}$ 用作 ALI。由相应的单位摄入量的待积有效剂量的值得到放射性核素 j 的年摄入量 $I_{j,L}$ 限值计算公式：

$$I_{j,L} = \frac{DL}{e_j}$$

式中：DL——相应的有效剂量的年剂量限值，取 5mSv/a；

e_j ——标准中表 B3 中给出的放射性核素 j 的单位摄入量所致的待积有效剂量的相应值。

7.3.2 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）

4 总则

4.2 辐射工作场所分级

应按照 GB 18871 的规定，将辐射工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分为甲级、乙级和丙级。核医学常用放射性核素的毒性与操作方式修正因子同表 7.3.4 和表 7.3.5。

4.3 辐射工作场所分区

4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括……、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、……、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。

4.3.3 核医学工作场所的监督区主要包括……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。

4.3.4 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处应设置标明监督区的标志。

4.4 剂量限值与剂量约束值

4.4.1 剂量限值

核医学工作人员职业照射剂量限值应符合 GB 18871 附录 B 中 B1.1 的相关规定，核医学实践使公众成员所受到的剂量照射限值应符合 GB 18871 附录 B 中 B1.2 的相关规定。

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

5 选址和布局

5.1 选址

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。

5.2 布局

5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。

5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性

药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。

5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。

6 工作场所的辐射安全与防护

6.1 屏蔽要求

6.1.1 核医学场所屏蔽层设计应适当保守，按照可能使用的最大放射性活度、最长时间和最短距离进行计算。

6.1.2 设计核医学工作场所墙壁、地板及顶面的屏蔽层时，除应考虑室内的辐射源外，还要考虑相邻区域存在的辐射源影响以及散射辐射带来的照射。

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

6.2 场所安全措施要求

6.2.1 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。

6.2.2 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。

6.2.3 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。

6.2.4 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。

6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、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。

6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

6.3 密闭和通风要求

6.3.1 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。

6.3.4 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。

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。……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。

7 放射性废物的管理

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.1 固体放射性废物收集

7.2.1.1 固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。

7.2.1.2 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，防止刺破废物袋。

7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过 20kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

7.2.2 固体放射性废物贮存

7.2.2.1 产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。

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。

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。

7.2.2.5 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

7.2.3 固体放射性废物处理

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/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/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;

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 。

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。

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.1 放射性废液收集

7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或槽式放射性废液衰变池或专用容器,收集放射性药物操作间、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。

7.3.1.2 核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。.....盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。

7.3.1.3 核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备(包括洗消液)。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关,以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

7.3.1.4 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，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。

7.3.2 放射性废液贮存

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。

7.3.2.2 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。

7.3.3 放射性废液排放

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；

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。

7.4 气态放射性废物的管理

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。

8 辐射监测

8.1.1 开展核医学诊疗实践的医疗机构应制定辐射监测计划，并按照计划落实监测工作，不具备辐射监测能力的单位，可以委托有能力的单位进行监测。

8.1.2 所有辐射监测记录应建档保存，测量记录应包括测量对象、测量条件、测量方法、测量仪器、测量时间和测量人员等信息。

8.1.3 应定期对辐射监测结果进行评价，监测中发现异常情况应查找原因并及时报告，提出改进辐射防护工作的意见和建议。

8.2 工作场所监测

8.2.1 应根据使用放射性核素种类、数量和操作方式，对核医学工作场所的外照射剂量率水平和表面放射性污染水平进行监测。

8.2.2 核医学工作场所辐射监测点位、内容和频次应包括但不限于表 7.3.7 的内容。

表 7.3.7 核医学工作场所辐射监测关注点位

监测内容	监测点位	监测频次
辐射水平	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	不少于 1 次/月
表面放射性污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）

8.3 环境监测

开展核医学相关活动的机构应自行或委托有能力的监测机构对工作场所周围环境的辐射水平进行监测，监测频次应不少于 1 次/年。

8.4 个人剂量监测

8.4.1 核医学工作场所的工作人员应佩戴个人剂量计，对个人外照射剂量进行监测。

8.4.3 个人剂量档案应按照要求妥善保存，监测数据异常时，及时进行调查。

7.3.3 《核医学科放射防护要求》（GBZ 120-2020）

5 工作场所的放射防护要求

5.1 工作场所平面布局和分区

5.1.1 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。

5.1.2 核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：

- a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；
- c) 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；
- d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。

5.2 放射防护措施要求

5.2.1 核医学的工作场所应按照非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应防护措施。

5.2.2 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放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。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见表 7.3.8,核医学工作场所分类的加权活度计算方法见表 7.3.9~7.3.11。

表 7.3.8 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。			

表 7.3.9 核医学工作场所分类一览表

分类	日操作最大量放射性核素的加权活度 MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50
注：1) 加权活度= (计划的日操作最大活度×核素的毒性权重因子)/操作性质修正因子；	

表 7.3.10 核医学常用放射性核素的毒性权重因子

类别	放射性核素	核素的毒性权重因子
A	⁷⁵ Se、 ⁸⁹ Sr、 ¹²⁵ I、 ¹³¹ I、 ³² P、 ⁹⁰ Y、 ⁹⁹ Mo、 ¹⁵³ Sm、	100
B	¹¹ C、 ¹³ N、 ¹⁵ O、 ¹⁸ F、 ⁵¹ Cr、 ⁶⁸ Ga、 ^{99m} Tc、 ¹²³ I、 ¹¹¹ In、 ^{113m} In、 ²⁰¹ Tl	1
C	¹⁴ C、 ³ H、 ^{81m} Kr、 ¹²⁷ Xe、 ¹³³ Xe	0.01

表 7.3.11 不同操作性质的修正因子

操作方式和地区	操作性质修正因子
贮存	100
废物处理 闪烁法计数和显像 候诊区及诊断病床区	10
配药、分装以及施给药	1

简单放射性药物制备 治疗病床区	
复杂放射性药物制备	0.1

5.2.3 核医学工作场所的通风按表 7.3.8 要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

5.2.4 分装药物操作宜采用自动分装方式。

5.2.5 放射性废液衰变池的设置按环境主管部门规定执行。暴露的污水管道应做好防护设计。

5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。

5.2.7 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。

5.2.8 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。

5.2.11 药物制备室应安装固定式剂量率报警仪。

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 μ Sv/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 μ Sv/h，宜不大于 2.5 μ Sv/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 μ Sv/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。

6 操作中的放射防护要求

6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备

6.1.1 个人防护用品及去污用品

开展核医学工作的医疗机构应根据工作内容，为工作人员配备合适的防护用品和去污用品（见表 7.3.12），其数量应满足开展工作需要。对陪检者应至少配备铅橡胶防护服。当使用的 ^{99m}Tc 活度大于 800MBq 时，防护用品的铅当量应不小于 0.5mmPb，个

个人防护用品及去污具体配置见表 7.3.12。

表 7.3.12 个人防护用品、应急及去污用品

	场所类型	工作人员		患者或受检者
		必备	选备	
个人防护用品	普通核医学	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖	铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	-
	正电子放射性药物场所	放射性污染防护服	-	-
应急及去污用品	一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂和硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子。			
注：“-”表示不要求，宜使用非铅防护用品。				

6.1.2 辅助用品

根据工作内容及实际需要，合理选择使用移动铅屏风、注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、长柄镊子、分装柜或生物安全柜、屏蔽运输容器/放射性废物桶等辅助用品。

6.2 放射性药物操作的放射防护要求

6.2.1 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。

6.2.2 装有放射性药物的给药注射器，应有适当屏蔽。

6.2.3 操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。

6.2.4通风柜保持良好通风，并按操作情况必要时进行气体或气溶胶放射性浓度的监测。

6.2.5 控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。

6.2.6 操作放射性核素的工作人员，在离开放射性工作场所前应洗手和进行表面污染检测，如其污染水平超过表 7.3.2 规定值，应采取相应去污措施。

6.2.7 从控制区取出物品应进行表面污染检测，以杜绝超过表 7.3.2 规定的表面污染控制水平的物品被带出控制区。

6.2.9 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。

6.2.10 放射性物质贮存室应定期进行放射防护监测，无关人员不应入内。

6.2.11 贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的固定措施。

6.2.12 贮存的放射性物质应及时登记建档，登记内容包括生产单位、到货日期、核素种类、理化性质、活度和容器表面放射性污染擦拭试验结果等。

6.2.13 所有放射性物质不再使用时，应立即送回原地安全储存。

6.2.14 当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，参照使用 6.1.2 和表 7.3.12 所列用品，及时控制、消除放射性污染；当人员皮肤、伤口被污染时，应迅速去污并给予医学处理。

8 医用放射性废物的放射防护管理要求

8.4 开展放射性药物治疗的医疗机构，应为受检者提供有防护标志的专用厕所，专用厕所应具备使患者或受检者排泄物迅速全部冲入放射性废液衰变池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

8.5 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。在注射室、注射后病人候诊室、给药室等位置放置污物桶。

8.8 每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，质量不超过 20kg。

8.11 废物包装体外表面的污染控制水平： $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

7.3.4 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）

7.1 一般要求

7.1.2 应从源头控制，减少放射性废物的产生，防止污染扩散。

7.1.3 应分类收储废物，采取有效方法尽可能进行减容或再利用，努力实现废物最小化。

7.1.4 应做好废物产生、处理、处置（包括排放）的记录，建档保存。

7.2 放射性废液

7.2.1 操作非密封源的单位，一般应建立放射性废液处理系统，确保产生的废液得到妥善处理。不得将放射性废液排入普通下水道，相关控制应遵循 GB 18871-2002 的要求；不允许利用生活污水下水系统洗涤被放射性污染的物品；不允许用渗井排放废液。

7.2.2 废液应妥善地收集在密闭的容器内。盛装废液的容器，除了其材质应不易吸附放射性物质外，还应采取适当措施保证在容器万一破损时其中的废液仍能收集处理。遇有强外照射时，废液收集地点应有外照射防护措施。

7.2.3 经过处理的废液在向环境排放前，应先送往监测槽逐槽分析，符合排放标准后方可排放。

7.2.4 使用少量或短寿命放射性核素的单位，可设立采取衰变方法进行放射性废液处理处置系统，该系统应有足够的防渗漏能力。

7.3 放射性固体废物

7.3.3 对于半衰期短的废物可用放置衰变的办法，待放射性物质衰变到清洁解控水平后作普通废物处理，以尽可能减少放射性废物的数量。

7.3.5 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）

6.1 X 射线设备机房布局

6.1.1 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

6.1.2 X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。

6.1.3 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求。

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 7.3.13 的规定。

表 7.3.13 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（不含头颅移动 CT）	30	4.5
注：机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。		

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 7.3.14 的规定。

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表 7.3.14 的要求。

表 7.3.14 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

设备类型	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	

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：

a) 具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

b) CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

6.4 X 射线设备工作场所防护

6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭情况。

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。

6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；工作状态指示灯能与机房门有效关联。

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。

6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。

6.4.10 机房出入口宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7.3.15 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

6.5.3 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb ；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb 。

6.5.4 应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5mmPb 。

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表 7.3.15 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
放射诊断学用X射线设备隔室透视、摄影	——	——	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	或可调节防护窗口的立位防护屏；固定特殊受检者体位的各种设备
CT 体层扫描（隔室）	——	——	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	——

7.3.6 《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）

4.1 污水排放要求

4.1.2 县级及县级以上或20张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表 7.3.16 的规定。直接排放或间接排入地表水体和海域的污水执行排放标准，排入终端已建有正常运行城镇二级污水处理厂的下水道的污水，执行预处理标准。

表 7.3.16 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值（日均值）

序号	控制项目	排放标准	预处理标准
1	粪大肠菌群数（MPN/L）	500	5000
2	pH	6~9	
3	化学需氧量（COD）浓度（mg/L） 最高允许排放负荷（g/床位）	60 60	250 250
4	氨氮（mg/L）	15	-
5	动植物油（mg/L）	5	20
6	总α/（Bq/L）	1	1
7	总β/（Bq/L）	10	10

本项目污水排放放射性，在衰变池排放口执行“总β≤10Bq/L”的要求。

7.3.7 其他相关环保标准

（1）施工期大气污染物执行《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）表 2 中的标准，标准限值见表 7.3.17。

表 7.3.17 大气污染物排放限值（摘录）

序号	污染物	无组织排放浓度限值	
		监控点	浓度（mg/m ³ ）
1	颗粒物	周界外浓度最高点	1.0

（2）项目施工期场界噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011），标准限值见表 7.3.18。

表 7.3.18 建筑施工场界环境噪声排放限值 单位：dB（A）

昼间	夜间
70	55

表 8 环境质量和辐射现状

为掌握项目所在地的辐射环境质量现状，本次评价委托厦门亿科特检测技术有限公司对本项目工作场所及其周围环境进行γ辐射剂量率背景水平调查。

8.1 项目的地理和场所位置

本项目位于福建省厦门市集美区盛光路 566 号厦门医学院附属第二医院 4 号楼内。项目地理位置见图 1.5-1，周边环境情况见图 1.5-2，本项目所在楼层情况见图 1.5-4~图 1.5-6。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

- （1）现状评价的对象：本项目工作场所及周围环境辐射水平。
- （2）监测因子：γ辐射剂量率。
- （3）监测点位：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中有关布点原则和方法，结合项目的实际情况，于 2024 年 12 月 12 日对项目所在辐射工作场所周围布置 18 个监测点位，见表 8.2.1 和图 8.2-1 所示。

表 8.2.1 γ辐射剂量率背景水平调查点位及检测结果一览表

点位	位置	监测结果 (μGy/h)	标准偏差 (μGy/h)
1#	设备仓库	0.148	0.002
2#	负压机房	0.148	0.001
3#	办公室	0.158	0.001
4#	仓库	0.148	0.001
5#	仓库	0.148	0.002
6#	CT 机房	0.151	0.002
7#	走廊	0.158	0.001
8#	办公室	0.147	0.001
9#	仓库	0.153	0.002
10#	CT 控制室	0.155	0.001
11#	门诊大厅	0.165	0.003
12#	医院篮球场南侧	0.148	0.001
13#	2 号楼楼前	0.139	0.001
14#	4 号楼西侧	0.138	0.001
15#	4 号楼北侧（与北侧配电楼间过道）	0.138	0.001
16#	4 号楼南侧（停车场）	0.149	0.001
17#	配电楼东侧（衰变池）	0.139	0.001
18#	4 号楼东侧	0.135	0.001

注：监测方式为每个测量点测量十次，取平均值；表中监测数据均已乘以校准因子，校准因子为

1.04 (0.657 μSv/h)，未扣除宇宙射线响应值；根据 HJ 1157-2021，空气比释动能和周围剂量当量的换算系数取 1.20 Sv/Gy (137Cs 作为检定参考辐射源)。

(4) 检测方法、检测仪器及检测条件

本次γ辐射剂量率检测方法依据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)以及《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)；检测期间 4 号楼一层东侧核医学科（本项目东侧）、4 号楼负一层直线加速器项目（本项目楼下）的核技术利用场所正常运行。

本次γ辐射剂量率检测仪器为高灵敏环境级便携式多功能辐射仪，仪器参数见表 8.2.2。

表 8.2.2 γ辐射剂量率背景水平检测使用的仪器、参数及检测条件

仪器名称	高灵敏环境级便携式多功能辐射仪
型号/规格	6150AD-b
制造单位	AUTOMESS
仪器量程	探头：1nSv/h~99.9μSv/h；主机：0.1μSv/h~1Sv/h
辐射源	¹³⁷ Cs
校准因子	1.04 (0.657μSv/h)
能量响应范围	探头：20keV~7MeV；主机：45keV~3MeV
量子溯源方式	检定
检定/校准单位	中国辐射防护研究院
检定/校准证书编号	检字第【2024】-L0518
检定/校准有效期至	2025 年 7 月 7 日
检测工况	天气：晴；温度：21.8℃；湿度：57.3% RH

8.3 质量保证

监测时质量保证措施如下：

- (1) 监测单位：厦门亿科特检测技术有限公司，公司已通过资质认定；
- (2) 监测布点质量保证：根据《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)有关布点原则进行布点；
- (3) 监测仪器于 2024 年 7 月 8 日通过中国辐射防护研究院检定，证书编号：检字第【2024】-L0518，检定有效期一年，监测期间监测仪器处于有效期内；
- (4) 测量前、后均检查仪器的工作状态良好；
- (5) 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗；
- (6) 监测现场由专业人员按照操作规程操作监测仪器，并认真做好记录；

(7) 检测报告严格实行三级审核制度，经报告编制人、审核人、签发人审核签字后报出。

8.4 监测结果及评价

监测结果详见表 8.2.1，检测报告见附件 8。

从表 8.2.1 结果可知，本项目位于室内的点位（1#~11#） γ 辐射剂量率在 147~165nGy/h 之间，位于室外的点位（12#~18#） γ 辐射剂量率在 135~149nGy/h 之间。

参照《中国环境天然放射性水平》（国家环境保护局，1995 年），福建省室内辐射环境本底范围值 70.9~351.7nGy/h，福建省室外辐射环境本底范围值 39.4~399.1nGy/h。对比结果显示，本项目所在地及工作场所的 γ 辐射剂量率不高于正常环境本底水平。

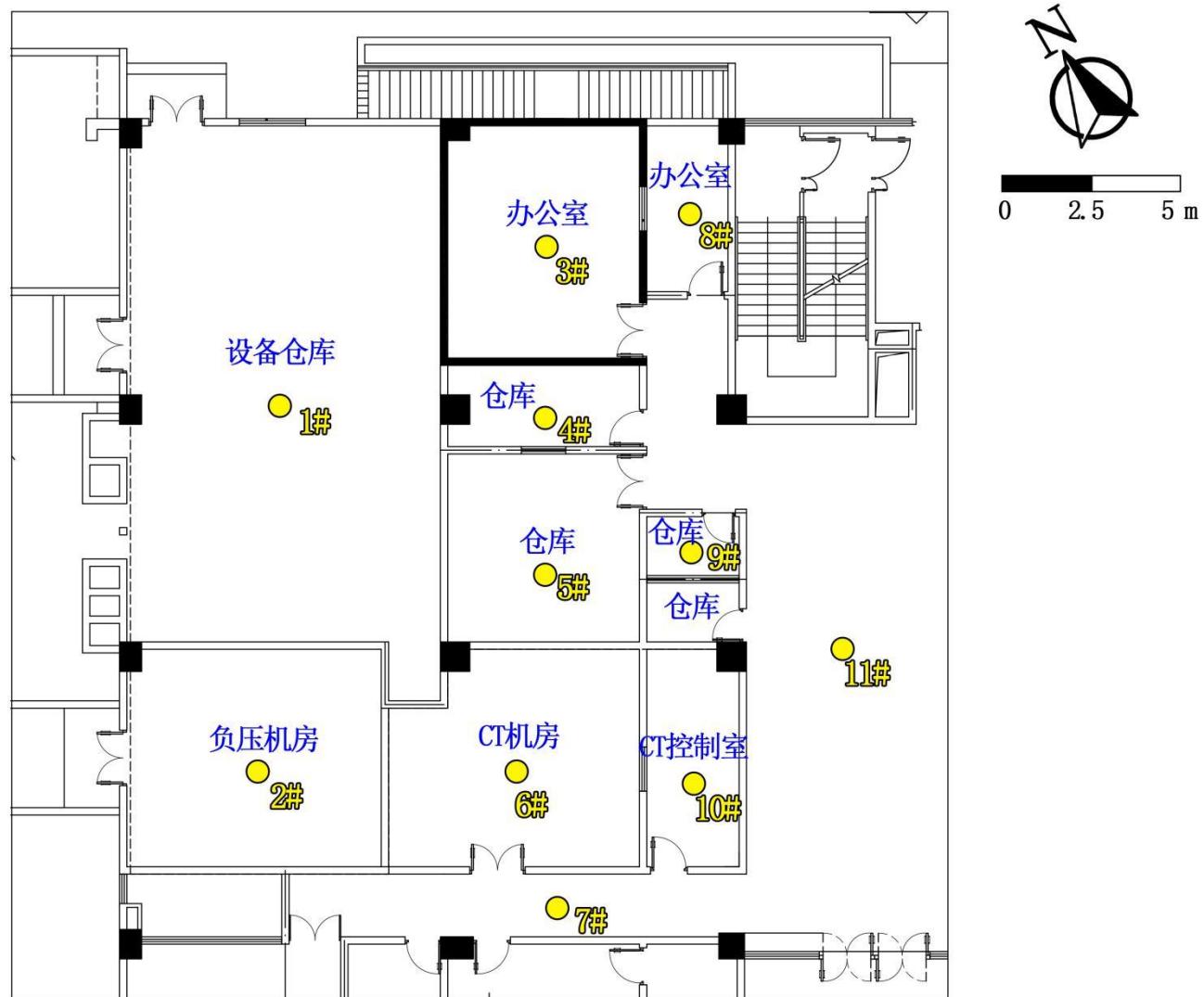


图 8.2-1 本项目监测点位示意图（室内）

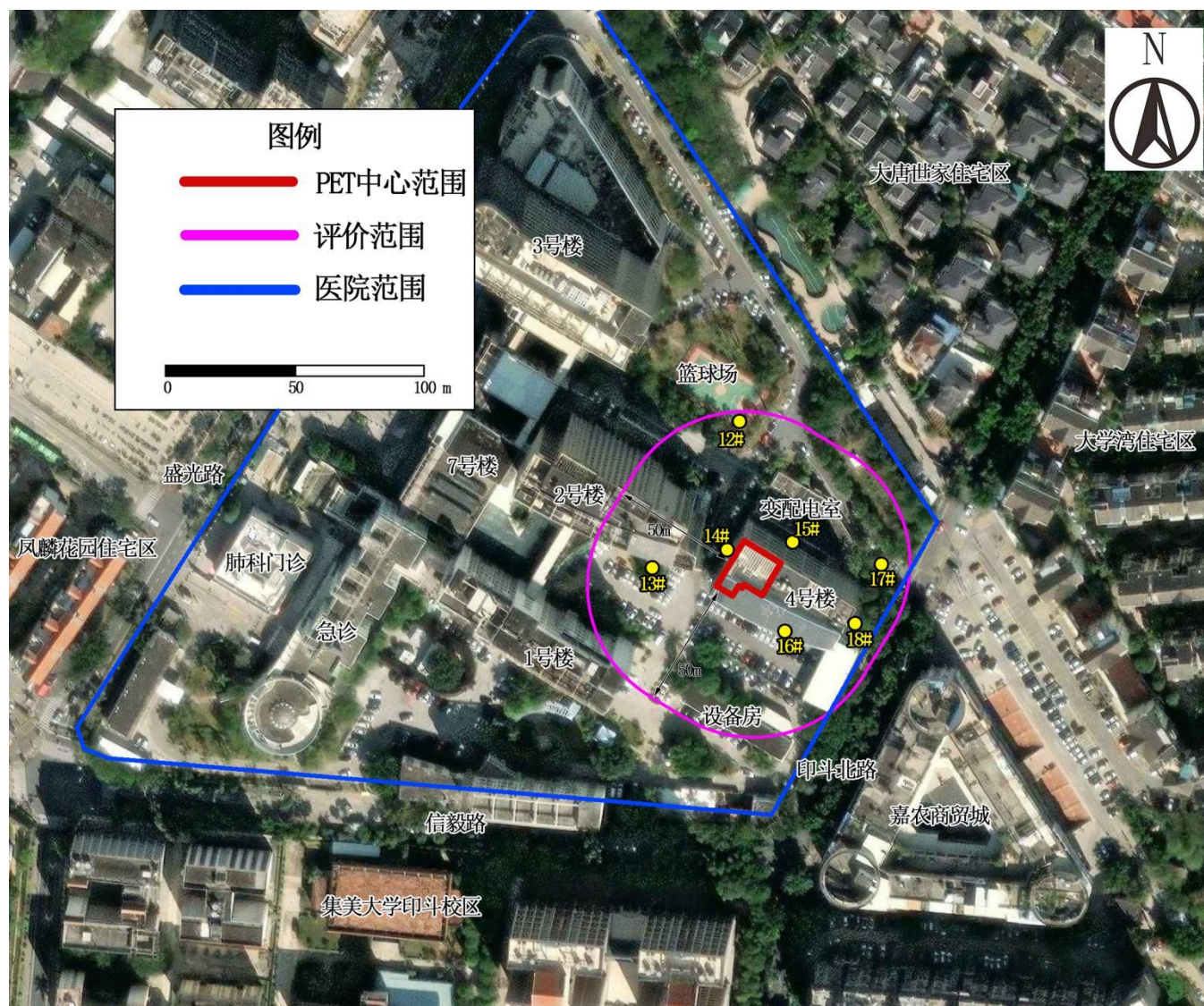


图 8.2-2 本项目监测点位示意图（室外）

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 工作原理

PET 显像依赖于引入体内的正电子放射性药物（放射性核素），药物通过代谢过程在靶组织富集。放射性核素衰变时释放正电子，正电子与周围组织中的电子发生湮灭反应，产生一对方向相反的 0.511MeV γ 光子。环形探测器阵列通过符合探测技术捕获这些光子，经计算机重建形成反映组织代谢活性的三维功能图像。

PET 显像所用的示踪药物，多为组成有机体组织的基本成分并能参与代谢过程。示踪剂的种类有很多，都是人体代谢不能缺少的物质，不同的示踪剂对应不同部位。如 ^{18}F 是 PET/CT 检查中最常使用的显像剂，适用于 90% 的肿瘤检查。 ^{68}Ga 目前在 PET 显像中的应用仅次于 ^{18}F ，可用于神经内分泌肿瘤、前列腺肿瘤以及炎症的显像诊断。

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（Positron Emission Tomography）和 CT（Computer Tomography）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，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，藉此诊断疾病，又称为生化显像或功能分子显像，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。

厦门医学院附属第二医院拟新购的 1 台 PET/CT，型号待定，其使用的 CT 最大管电压不超过 140kV ，最大管电流 1000mA ，使用 2 枚 ^{68}Ge 和 2 枚 ^{57}Co 源进行质量控制和衰减校正。常见 PET/CT 机器外形见图 9.1-1。

PET/CT 工作时，其 CT 的 X 射线管会产生 X 射线，属于 III 类射线装置。使用的 ^{18}F 、 ^{68}Ga 正电子示踪剂属非密封放射性物质，其工作场所属于乙级非密封工作场所。

本项目 PET/CT 配备 ^{68}Ge 和 ^{57}Co 源，各 2 枚，用于 PET/CT 设备的衰减校正，按操作规范每日均需进行质控，每次需徒手将源拎至 PET/CT 设备，近距离接触耗时约

5min。放射源为桶源，单枚活度 $7.4\text{E}+7\text{Bq}/1.17\text{E}+8\text{Bq}$ ，系国外进口源，约 2 年更换一次，退役源由交源生产厂家回收，该放射源外观见图 9.1-2。



图 9.1-1 常见 PET/CT 外观



图 9.1-2 本项目 PET/CT 衰减校正使用的 ^{68}Ge 桶源外观（厂家提供资料图）

本项目 PET 显像用正电子核素特性见下表。

表 9.1.1 PET 显像所用正电子核素特性一览表

核素	半衰期	衰变模式	α/β 最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	周围剂量当量率常数（裸源） ($\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{Bq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
^{18}F	109.8min	β^+ EC	0.63 (+)	0.511	$1.43\text{E}-13$
^{68}Ga	68.3min	β^+ EC	1.9 (+)	0.511	$1.34\text{E}-13$

9.1.2 工作流程及产污环节

当使用 $^{18}\text{F}/^{68}\text{Ga}$ 开展 PET/CT 显像时，根据病人预约情况，PET 中心提前向有资质的放射性药物供货商定药，考虑药物衰变情况，供货商每日分两次送药到医院 PET 中心，送达时间分别早于医院早上上班前及医院下午上班前，每次送药量为半日使用量的两倍。供货商将所需总活度 $^{18}\text{F}/^{68}\text{Ga}$ 放射性药物整瓶装入铅罐内，由专用的放射性药物

运输车辆送达医院。为尽量减少正电子药物搬运过程中对公众的影响，药物将放置在 40mmPb 的铅罐中由 PET 中心分装室西侧入口（与患者通道、辐射工作人员通道不重叠），送入分装室内的铅手套箱中自动分装，供 PET 中心注射护士进行活度测量及后续注射。

注射护士手持套有 5mmPb 铅套的注射器，在分装注射室的全屏蔽铅注射窗为隔墙的患者注射。医院安排 3 人轮岗，轮流值班分摊注射工作量。

$^{18}\text{F}/^{68}\text{Ga}$ 注射完毕后的一次性注射器，放入注射窗旁 20mm 铅当量放射性药物铅桶内。每次注射过程中注射护士近距离接触正电子药物的时间保守按 1min 估算。

对于开展 PET/CT 检查的病人， $^{18}\text{F}/^{68}\text{Ga}$ 注射后的病人按地面地标指示走入指定的注射后休息室，静躺候诊，待药物充分代谢后、图像采集前，病人要在注射后休息室卫生间内排空膀胱，以限制膀胱辐射剂量对肾集合系统及膀胱的影响。随后，病人根据叫号进入 PET/CT 机房，经医生语音摆位提示后，接受显像扫描，平均每次扫描约 15 分钟左右。扫描完成后，病人离开扫描室，经留观无碍后由控制区内走廊最西侧端病人专用检查出口离开控制区，离开 4 号楼。

PET/CT 放射诊断工作流程及产污环节见图 9.1-3。

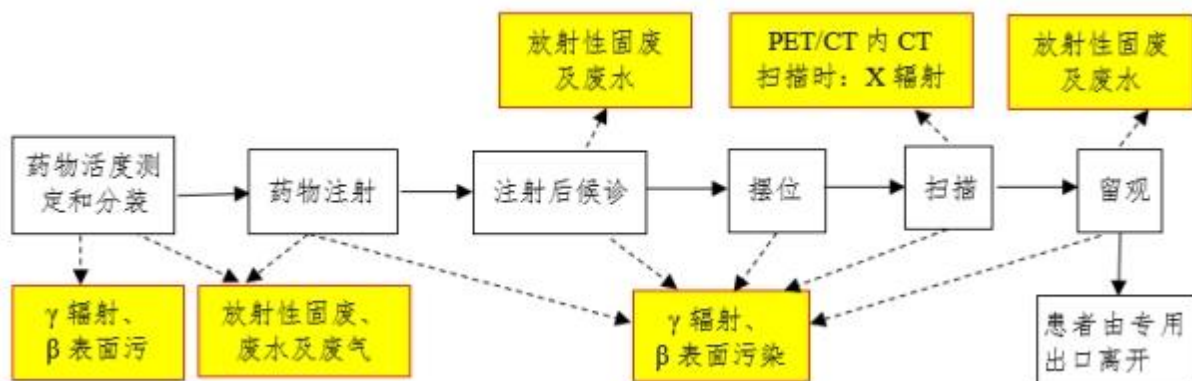


图 9.1-3 PET/CT 工作流程及产污环节示意图

9.1.3 PET/CT 项目人员配备及治疗规模

（1）人员配备情况

本项目 PET 中心拟安排辐射工作人员 5 人：负责分装、注射的核素操作人员 3 人，负责扫描、摆位的 PET/CT 操作人员 2 人；以上人员进行轮岗，因此本项目的分装、注射工作人员工作时间为年诊断时间的 1/3，扫描、摆位工作人员工作时间为年诊断时间的 1/2。

(2) 诊断规模

由医院提供资料可知，本项目放射性同位素 ^{18}F 、 ^{68}Ga 诊断规模详见下表。

表 9.1.2 本项目 PET 中心诊断规模

使用药物	使用设备	单人最大用量 (Bq)	人次/ 天	日最大操作量* (Bq)	周工作 天数	年工作 周数	年最大用量 (Bq)
^{18}F	PET/CT	3.70E+8	25	1.85E+10	5	50	4.63E+12
^{68}Ga		3.70E+8	5	3.70E+9	5	50	9.25E+11

*注：本项目一日送药 2 次，按保守估算，日最大操作量不少于病人实际注射量的 2 倍。

9.2 污染源项描述

9.2.1 建设阶段的污染源项

本项目辐射工作场所在建设阶段不产生放射性废物、放射性废水和放射性气体，项目主要对医院 4 号楼进行内部建设、改造、装修以及设备安装，以满足工作场所的辐射屏蔽防护要求。本项目产生的环境影响主要是施工时产生的噪声、扬尘、废水、固体废物等。本项目工程量较小，没有大型机械设备进入施工场地，施工场地安排有序，施工人员较少，有抑尘措施，施工期短，合理安排施工秩序，施工时间，本项目对周围敏感点的影响在可接受的范围内。随着施工期的结束，这些影响也随即结束。

(1) 废气

本项目的环境空气影响主要是扬尘，由散装水泥和建筑材料运输等施工活动将产生。本项目的工程量小，产生的扬尘量很小。

(2) 噪声

本项目产生噪声影响的主要是施工机械、运输及现场处理等。噪声值一般在 65~80dB(A) 之间，施工场地的噪声对周围环境有一定的影响，但随着施工的结束而结束。

(3) 废水

施工期用水主要为混凝土搅拌及养护，这类生产废水量小，一般通过蒸发，不外排。其次，施工期会产生少量施工人员生活污水。

(4) 固体废弃物

本项目在医院已建主体建筑基础上进行施工，工程量小，产生的建筑垃圾很少。

9.2.2 运行阶段的污染源项

由上述工程分析和产污环节可知，本项目主要产生以下污染：

(1) 电离辐射（主要为 β 射线、 γ 射线、X射线与 β 表面沾污）

开展 PET/CT 显像检查时，CT 产生的 X 射线；PET 中心显像检查、分装注射、候诊等过程中产生的 β 射线、 γ 射线以及 β 表面沾污。以上 β 射线、 γ 射线、X 射线会造成 PET 中心的外照射，以及辐射工作场所的 β 表面沾污。

(2) 放射性废气

主要是放射性药物在手套箱内分装、活度测量等操作过程中挥发的含微量放射性核素的气溶胶。经铅手套箱自带的活性炭过滤后，再经过外排放口的活性炭过滤后外排。污染途径为放射性核素在铅手套箱内挥发散逸，若未及时排出，被工作人员和公众呼吸入体内造成的内照射。

(3) 放射性废水

放射性药物操作过程中，会产生放射性废水，包括：擦拭冲洗受放射性核素污染物品/地面/台面用水、操作人员进行放射性核素操作后洗手用水、用药患者的排泄物和冲洗水等，均含有放射性核素，需作为放射性废水收集并暂存衰变。

本项目放射性废水预计产生量见下表。

表 9.2.1 本项目放射性废水预计产生量

用水类别	用水定额	用水规模	日用水量 (L/d)	日排放量 (L/d)	年排放量 (m ³ /a)
门诊患者	6L/人·d	30 人	180	162	40.5
护士清洗水	15L/人·班	1 人班/d	15	15	3.75
工作场所清洁用水	0.1L/m ² ·次	270m ²	27	24.3	6.08
不可预见水量按以上水量的 10%计				20.13	5.03
合计				221.43	55.36

注：（1）用水定额参照《建筑给排水设计规范》（GB 50015-2019）考虑；

（2）护士洗手水按每次 20s，每班每人按 5 次考虑；

（3）患者和清洁用水排水系数按 0.9 取值，护士洗手水按 1 取值；

（4）年工作时间按 250 天计；

（5）门诊患者最大共 30 人/天。

(4) 放射性固体废物

本项目产生的放射性固废主要为三类，第一类为剩余放射性药物和废源；第二类为沾有放射性核素的一次性注射器、手套、棉签、敷料、滤纸等；第三类为放射性废气活性炭过滤装置产生的废活性炭。本项目放射性生活污水中含有的污泥经衰变池前端废液降解池搅拌其搅拌后混匀后排入衰变池中与污水一道衰变后排出，因此不另行分析其产生源项。

剩余放射性药物和废源置于铅罐内由供货商回收不会对周围环境产生影响。

本项目产生的第二类放射性废物主要来自于分装室和其它区域；其中分装室内放射性废物主要为废弃注射器，根据了解 PET 药物注射器一般规格为 5mL，其重量一般在 20g/支左右，考虑到偶尔可能产生的破碎器皿和废弃手套，分装室内废物产生量平均按每名受检者 30g 废物计；其他区域第二类放射性废物主要为受检者产生的含一次性杯子、擦拭后的纸张等，由于受检者药后在 PET 中心一般不超过 1 小时，且中间不提供餐食，因此该部分放射性废物产生量较小，本评价参照同类型项目按每名受检者产生 50g 废物计。由此，本项目工作区域第二类放射性固废产生情况见下表 9.2.2。

本项目通风系统采用活性炭一次共计用量约 10kg（约 20L），半年更换一次，因此废活性炭年产生量为 20kg。

表 9.2.2 第二类放射性固体废物产生情况

核素	日检查人次	产生区域	固废产生系数	固废产生量
$^{18}\text{F}/^{68}\text{Ga}$	30	分装室	0.03kg/人次	0.9kg/d（约合 1.8L/d）
		其他区域	0.05kg/人次	1.5kg/d（约合 2L/d）

更换下来的废活性炭和第二类放射性固废均应在铅桶中放置 30d 以上，达到解控水平后作为一般医疗废物处理。

9.2.3 事故工况的污染源项

（1）辐射工作人员、检查管理人员或检修维护人员在 CT 设备开机状态下误入、滞留机房造成的误照射。

（2）由于工作人员操作不熟练或违反辐射操作规程或误操作等其他原因造成的放射性药物泄漏，造成意外照射和辐射污染。

（3）保管不善造成放射性药物或 V 类放射源丢失，造成对公众和周围环境辐射污染。

（4）核素诊断患者注射后直接离开，导致对医护人员或公众遭受较大的外照射。

（5）注射器排气时挤出放射性药物、注射器和药管有损漏以及注射针头没有装牢固，导致放射性药物漏洒，可能发生外照射；身体受放射性物质表面沾污后，通过皮肤表面伤口、吸入、食入等方式可能发生内照射。

（6）放射性废水未经足够的时间衰变即进行排放，使排放超出规定的限值，可能对环境或人体造成一定的危害；放射性固体废物未经足够的时间衰变，存放时间过短即进行擅自处理，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所分区、路线、分级、分类及合理性分析

本次 PET 中心辐射工作场所全部位于厦门医学院附属第二医院 4 号楼一层内，均为门诊，属乙级非密封放射性物质工作场所。辐射工作场所的平面布局见图 1.5-3。辐射工作场所按控制区和监督区划分，本项目辐射工作场所平面布置与控制区、监督区划分见图 10.1-1。

1、控制区

PET 中心分装室、配套的放射性废物间、注射后休息室（含卫生间）、VIP 注射后休息室（含卫生间）、留观室（含卫生间）、急救室、PET/CT 机房的扫描间、PET/CT 机房的设备间、相应的患者通道、放射性废水衰变间。

2、监督区

其余区域，如各辐射工作场所的缓冲间和配套的淋浴间，是供医护人员进入控制区的通道和应急清洗；机房的控制室，是供医护人员进行设备操作和观察患者的场所；打片室、办公区，是供医护人员日常工作使用。上述区域“不需要专门的防护手段或安全措施”，属于 GB 18871-2002 和 HJ 1188-2021 定义的监督区，需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

3、路线

项目根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定其放射防护要求。此外，本项目设计了合适的人流和物流的路径来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患者）的活动。相关路线示意图见图 10.1-2、图 10.1-3。从图中可以看出，患者从 PET 中心东侧患者通道大门进入缓冲间，在注射区注射后进入休息室等待叫号，叫号后进入 PET/CT 机房，扫描后进入留观室留观，最后从 PET 中心西北侧门出本项目工作区。医护人员则从 PET 中心南侧走廊经缓冲间进入分装室，技师从 PET 中心东侧门厅进入控制室及办公室。药物则上班前由 PET 中心分装室西侧门直接进入分装室。放射性废物在每天诊治工作结束后从各产生场所收集至废物间。

注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，注射放射性药物后患者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，尽量减少放射性药物和注射放射

性药物后患者通过非放射性区域，并且项目放射性药物和放射性废物的运送通道的设置尽可能短捷。项目通过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。

4、工作场所分级

根据国家《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 C 非密封源工作场所的分级规定，放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量(Bq)与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。由《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）及《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）可知，本项目 PET/CT 工作场所使用的各放射性核素的毒性组别修正因子、操作方式修正因子、日实际操作量和日等效操作量见表 10.1.1。

表 10.1.1 本项目使用的放射性核素日等效最大操作量计算

核素名称	日实际最大操作量 (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)
¹⁸ F	1.85E+10	低毒, 0.01	很简单的操作, 10	1.85E+7
⁶⁸ Ga	3.70E+9	低毒, 0.01	很简单的操作, 10	3.70E+6
合计				2.22E+7

由表 10.1.1 可见，本项目日等效最大操作量为 $2.22 \times 10^7 \text{Bq}$ ，大于 $2 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封物质工作场所。根据《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 号文）的相关要求，本项目建成后，医院将有 2 个非密封放射性物质工作场所，现 4 号楼一层东侧在用核医学科为乙级非密封放射性物质工作场所，本项目 4 号楼一层西侧 PET 中心也为乙级非密封放射性物质工作场所。两处非密封放射性物质工作场所有独立、明确的监督区和控制区划分，各自的工艺流程连续完整，且有各自相对独立的辐射防护措施。本次核医学科工作场所的增加不改变医院非密封物质工作场所的级别。

5、工作场所分类

根据《核医学科放射防护要求》（GBZ 120-2020）对临床核医学工作场所具体分类办法，操作最大量放射性核素的加权活度 (MBq) 等于计划的日操作最大活度与该核素毒性权重因子的积除以与操作性质修正因子所得的商。本评价项目使用的放射性核素的日实际操作最大活度以及各核素毒性权重因子，操作性质修正因子及加权活度见表 10.1.2。

表 10.1.2 放射性核素加权活度及计算参数

核素	日操作最大量 (Bq)	权重因子	操作性修正因子	加权活度 (Bq)
^{18}F	1.85E+10	1	1	1.85E+10
^{68}Ga	3.70E+9	1	1	3.70E+9
合计				2.22E+10

评价项目的加权活度最大为 22000MBq，小于 50000MBq，大于 50MBq，因此该工作场所属于Ⅱ类核医学工作场所。

本项目与 GBZ 120-2020 中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的对比如下

表 10.1.3 本项目与 GBZ 120-2020 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对比分析

种类	分类	本项目采取的防护措施	符合性分析
	Ⅱ		
结构屏蔽	需要	本项目采用实心砖、混凝土、防护涂料、铅防护门、铅玻璃等方式进行结构屏蔽	符合要求
地面	与墙壁接缝无缝隙	本项目工作场所地面使用 PVC 地胶，易清洗且不易渗透，地面与墙壁的连接处采用圆弧设计，保证连接处无缝隙	符合要求
表面	易清洗	本项目手套箱、放射性废物桶、操作台面、注射台等表面均为不锈钢；淋浴间采用陶瓷洁具，便于清洗	符合要求
分装柜	需要	本项目分装室设置有手套箱	符合要求
通风	良好通风	本项目各工作场所设置机械排风装置，强制通风	符合要求
管道	普通管道	本项目将放射性废水排水管道下埋，设有专用污水管连接放射性废液衰变池	符合要求
盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	本项目在工作场所设置了洗手池和淋浴器等去污设备	符合要求
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。			

本项目辐射工作场所的布局与 HJ 1188-2021 的布局要求对比分析如下：

表 10.1.4 本项目辐射工作场所布局与 HJ 1188-2021 的布局要求对比分析

HJ 1188-2021 要求	本项目布局设置	符合性分析
核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置	本项目 PET 中心为门诊诊断场所，与医院其他治疗场所和住院区域各自独立，有各自的出入口	符合要求
同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染	PET 中心布局遵循患者-注射-候诊-显像-留观-离开的动线单向流动，用于药物分装注射的分装室集中在一端，防止交叉污染	符合要求
尽量减少放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间	PET 中心放射性药物仅在分装室内使用。配套放射性废物间用于存放内产生的放射性固废。放射性药物、放射性废物的存放均严格限制在最小范围。PET 给药后限	符合要求

	制在相应的注射后休息间，不得随意出入。给药后患者活动空间均严格限制在指定空间，不与未服药患者、陪护人员、医护人员接触	
核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径	由图 10.1-2 可知，工作场所设置了完全独立的工作人员路径、患者路径、放射性药物路径；药物在当日上班之前送至分装室；放射性废物在下班之后，由各个产生点运送至废物间暂存	符合要求
工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射	由图 10.1-2 可知，工作场所设置了完全独立的工作人员路径、患者路径。患者给药后在控制区内就诊过程全程不直接接触工作人员，均隔窗、隔墙操作，减少了给药后患者对工作人员和公众的照射	符合要求
注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷	由图 10.1-2、图 10.1-3 可知，患者是单向流动的，注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉。此外，医院将采取错时叫号方式，给新进患者注射时不叫号任何注射后候诊室内患者，避免注射患者与扫描患者在控制区内走廊上交叉。放射性药物在每日上班前由有资质供货商负责由药物通道送入分装注射场所，通过错时送药实现人员与放射性药物通道不交叉。放射性药物和放射性废物运送通道均较为短捷	符合要求
核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射	PET 中心控制区入口及出口均设置单向门，实现患者入口处只进不出、出口处只出不进，确保注射后患者全程仅在控制区内，避免脱离控制区导致工作人员和公众受到不必要的照射	符合要求
控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备	PET 中心的分装室出入口处设置有缓冲间及应急淋浴。缓冲间放置有防护用品和可更换衣物，配备的表面污染监测设备供工作人员出入控制区时监测体表及衣物的表面污染水平，避免将污染带出控制区；应急淋浴能够在事故工况下及时去污减少对工作人员的辐射影响。PET 中心设置有患者通道入口缓冲区，用于更衣，患者在更换病号服并去除一切金属物品后方可进入 PET 中心控制区。本项目在控制区出口处均设置有表面污染监测设备	符合要求
控制区内应设有给药后患者的专用卫生间	PET 中心各注射后休息室内均有给药后患者专用卫生间	符合要求
本项目辐射工作场所的布局与 GBZ 120-2020 的布局要求对比分析如下：		

表 10.1.5 本项目辐射工作场所布局与 GBZ 120-2020 的布局要求对比分析

GBZ 120-2020 要求	本项目布局设置	符合性分析
<p>在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域</p>	<p>本项目 PET 中心工作场所与医院妇产科、儿科、食堂等人员密集区均不毗邻，与周边非放射性工作场所有明确的分界隔离。PET 中心患者离开通道是独立的，直接通往楼外的，楼外为医院公共通道，无聚集人群</p>	<p>符合要求</p>
<p>核医学工作场所平面布局设计应遵循如下原则：</p> <p>a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；</p> <p>b) 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰；</p> <p>c) 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；</p> <p>d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测</p>	<p>a) 本项目 PET 中心合理布设，辐射工作人员不受患者影响，各自有独立通道实现单向流动，工作场所的外照射水平和污染发生的概率已达到尽可能小；</p> <p>b) PET/CT 机房患者进出大门，与注射后休息室相隔控制区走廊，且防护门设计有足够铅当量，能够屏蔽控制区内辐射影响，避免控制区内带药患者走动带来的对影像质量的干扰；</p> <p>c) PET 中心控制区患者出入口均设置了门锁权限控制和单向门，实现患者入口处只进不出、出口处只出不进，确保注射后患者全程仅在控制区内，避免脱离控制区导致工作人员和公众受到不必要的照射。每间注射后候诊室防护门自带闭门器，确保处于常闭状态，避免注射后患者之间的相互辐射影响；</p> <p>d) PET 中心分装室入口处设计有缓冲区间（卫生通过间），放置表面沾污仪供辐射工作人员离开时进行表面污染检测，若有污染即刻去污，避免受污染的手足或衣物物品被带出控制区</p>	<p>符合要求</p>
<p>核医学工作场所从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。其功能设置要求如下：</p> <p>a) 对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室（可含质控室）、给药后患者或受检者候诊室（根据放射性核素防护特性分别设置）、质控（样品测量）室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房；</p> <p>c) 诊断工作场所和治疗工作场所都需要设置清洁用品贮存场所、员工休息室、护</p>	<p>a) 本项目 PET 中心属单一诊断场所，各功能房间设置齐全。</p> <p>c) 本项目诊断工作场所辅助用房设置齐全</p>	<p>符合要求</p>

士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房		
核医学工作场所的布局应有助于开展工作，避免无关人员通过	本项目工作布局合理，有独立的患者单向流动通道和医护人员通道，同时通过设置单向门禁和权限锁避免无关人员通过	符合要求
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	<p>本项目放射性药物在上班前送到，当日产生的放射性废物在次日上班前收集运送至放射性废物间，而放射性废物间的解控放射性废物在下班后运送处理，通过时间的错开，避免与人员的交叉。</p> <p>由于工作流程及布局设置为单向流动，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。</p> <p>由于患者通道与工作人员通道各自独立，给药后患者或受检者与工作人员不交叉。放射性药物送至分装室，解控后放射性固体废物的送出，均可由分装室西侧门直接进出，便于放射性药物、解控放射性废物的运送和处理</p>	符合要求
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	PET/CT 机房患者大门，与注射后休息室相隔控制区走廊，且防护门设计有足够铅当量，能够屏蔽控制区内辐射影响，避免控制区内带药患者走动带来的对影像质量的干扰	符合要求

由上述与标准的对比分析可知，本项目 PET 中心的布局能够保证工作程序沿着相关房间单向开展，最大限度的减少了人员的流动性，有助于实施工作程序，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中对于核医学工作场所布局的要求，也满足《临床核医学卫生防护标准》（GBZ 120-2020）中对核医学工作场所布局的要求，布局合理。

PET/CT 机房同时作为 III 类射线装置机房，扫描室与控制室分开，并设置有铅观察窗观察病人，满足 GBZ130-2020 中隔室操作的要求；PET/CT 射线装置的摆放位置能够避免有用线束直接照射门窗和管线口位置，机房内设置有动力排风装置，保持良好通风；机房有效使用面积为 41.5m²，满足 GBZ 130-2020 中“CT 机房最小有效使用面积 30m²”的要求；机房最小单边长度为 5.2m，满足 GBZ 130-2020 中“CT 机房内最小单边长度 4.5m”的要求。本项目 PET/CT 机房满足 GBZ 130-2020 中关于 CT 机房布局的要求，布局合理。

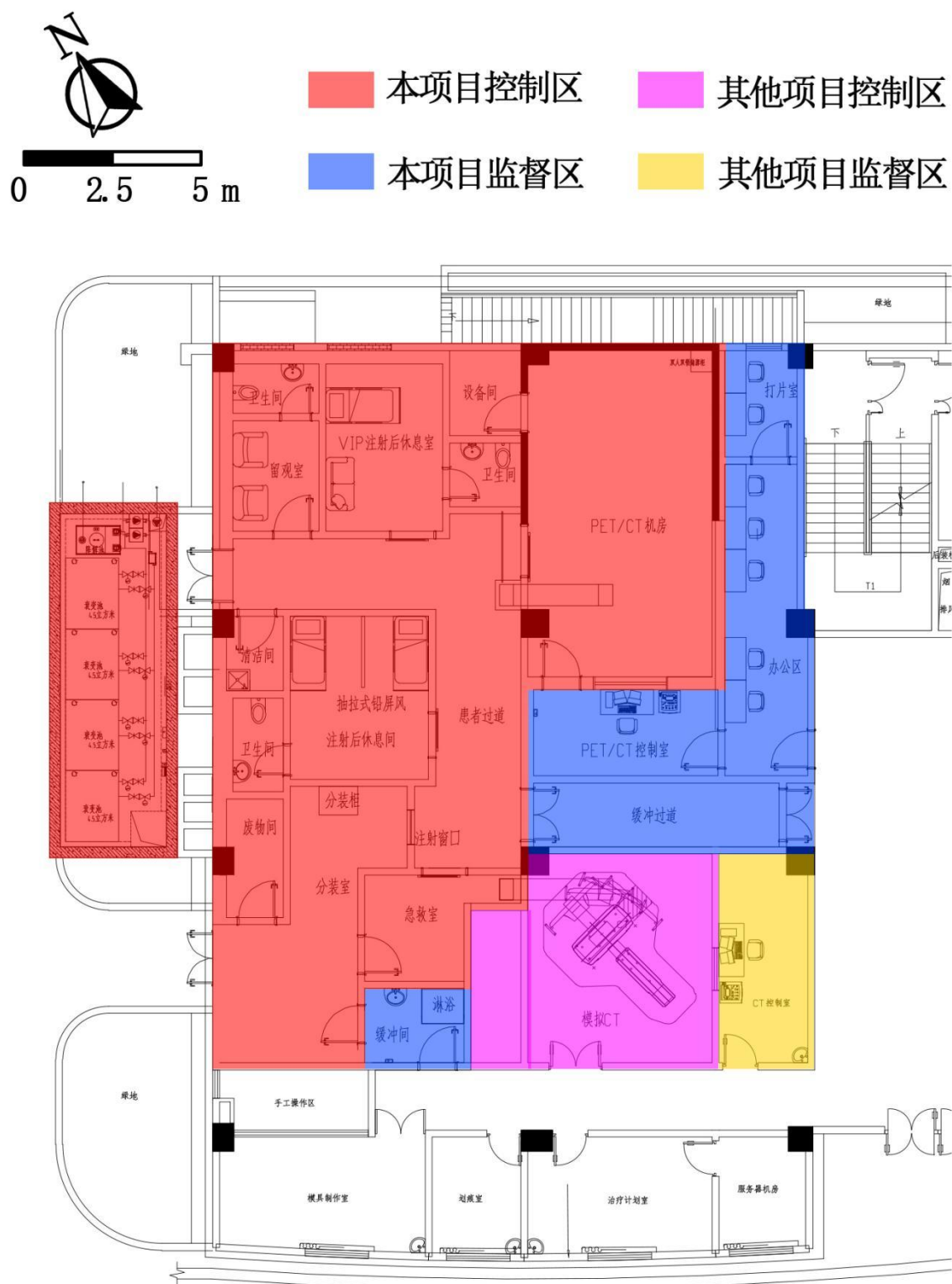


图 10.1-1 本项目分区示意图

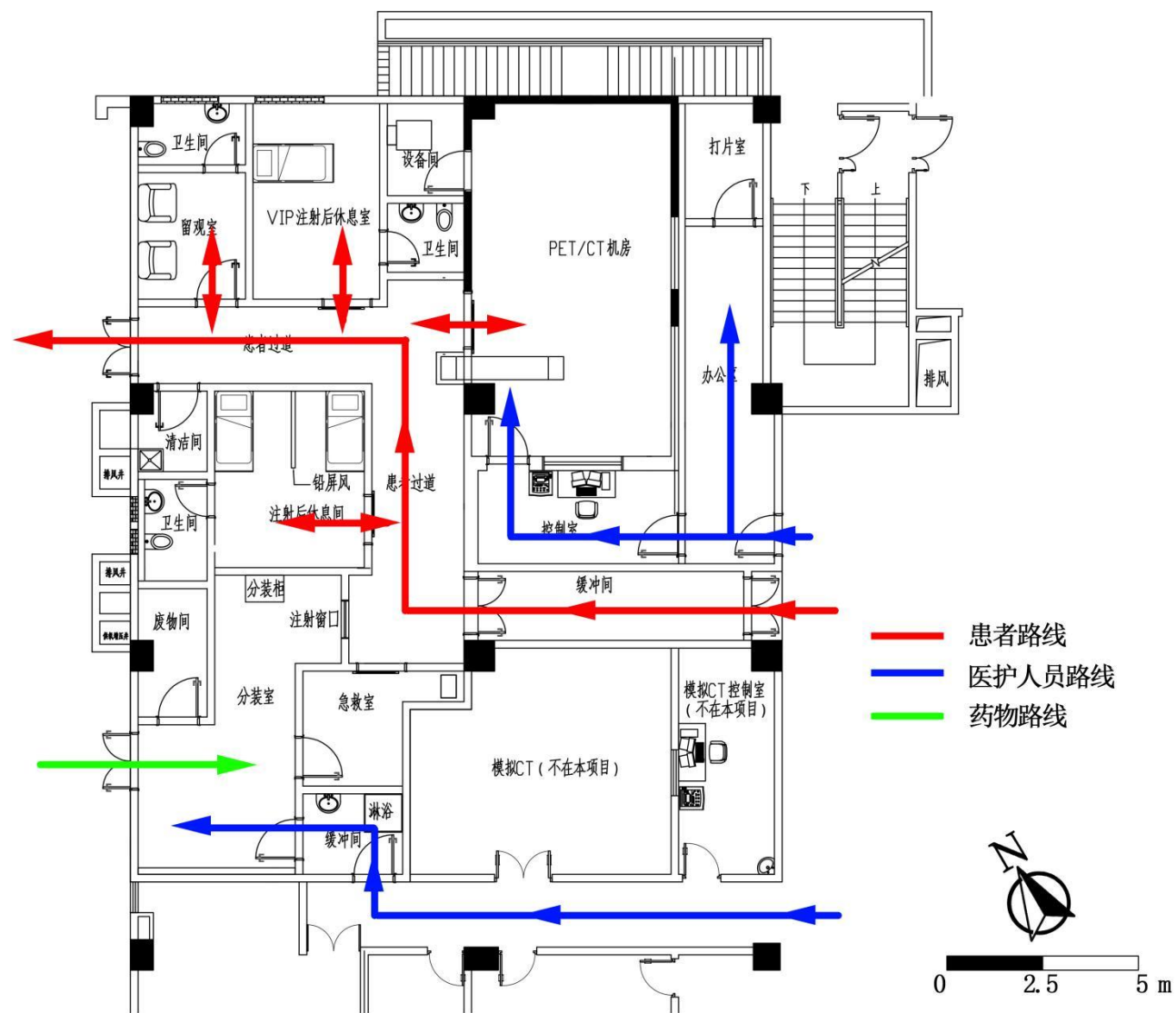


图 10.1-2 本项目患者、医护人员、药物路线示意图

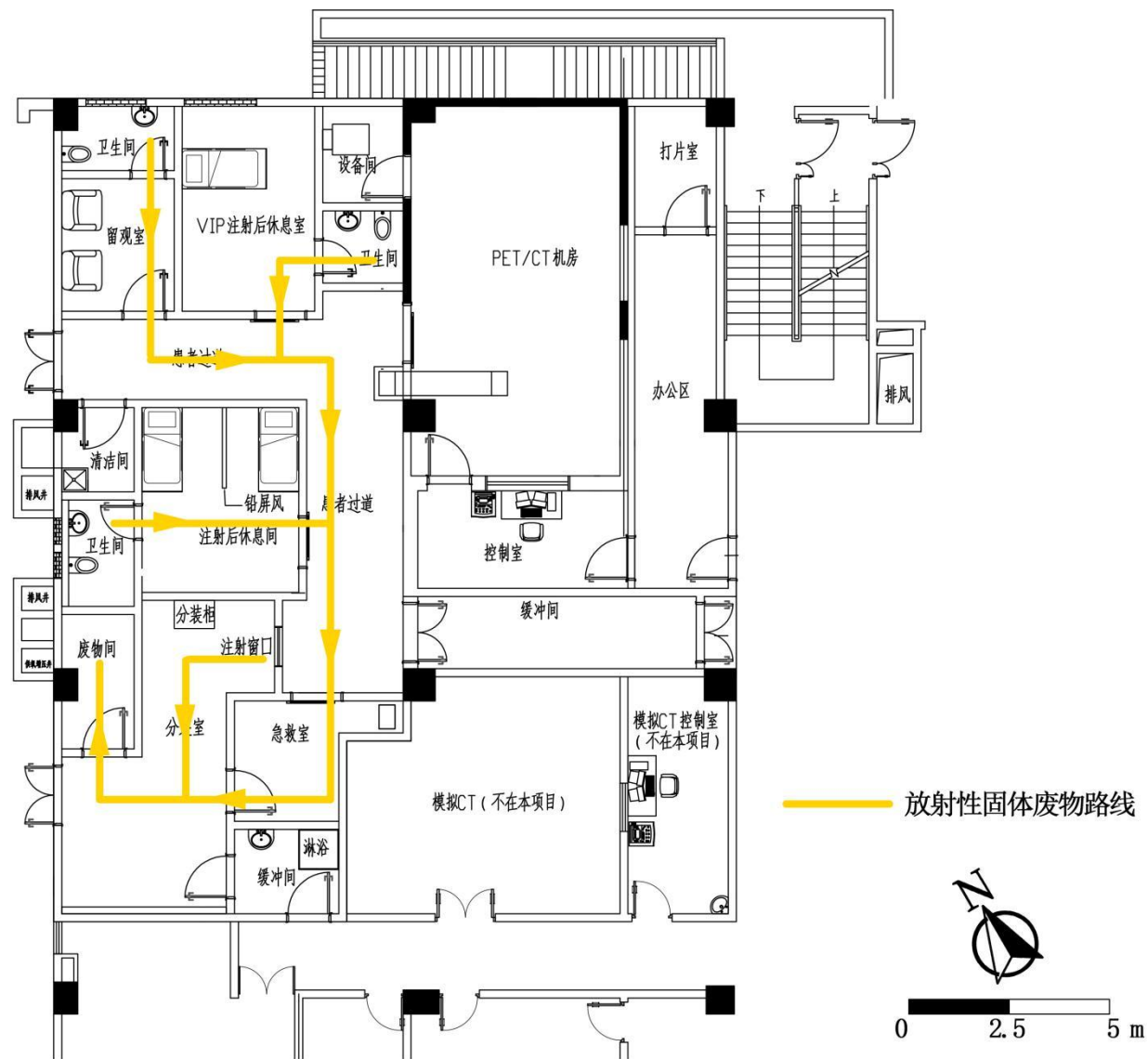


图 10.1-3 本项目放射性固体废物路线示意图

10.2 工作场所辐射安全和防护

厦门医学院附属第二医院将在现 4 号楼一层建筑框架内建设本项目，该建筑为框架结构，主要土建施工包括：拆除一层楼内 PET 中心非承重墙体，按环评所报屏蔽墙体材料和厚度建设 PET 中心各房间墙体，安装控制区及监督区内铅防护门、窗，在辐射工作场所顶部安装铅板等补偿屏蔽。按要求安装放射性废水专用排放管道并建设楼外埋地衰变池等。

医院的 PET 中心屏蔽防护设计方案见表 10.2.1。

表 10.2.1 PET 中心屏蔽防护设计方案

工作场所名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度
缓冲间	东墙、北墙、西墙	20cm 厚实心砖墙+2mmPb 硫酸钡砂浆
	南墙	20cm 厚实心砖墙+4mmPb 硫酸钡砂浆
	顶棚	12cm 厚混凝土+5mmPb 铅板
	地面	150cm 厚混凝土
	防护门（分装室）	6mmPb 铅防护门
	防护门（过道）	4mmPb 铅防护门
分装室	东墙、北墙	20cm 厚实心砖墙+4mmPb 硫酸钡砂浆
	西墙	20cm 厚实心砖墙+8mmPb 硫酸钡砂浆
	南墙	37cm 厚实心砖墙+4mmPb 硫酸钡砂浆
	顶棚	12cm 厚混凝土+14mmPb 铅板
	地面	150cm 厚混凝土
	注射窗	50mmPb 当量玻璃
	手套箱	50mmPb
	防护门（废物间、缓冲间）	6mmPb 铅防护门
	防护门（急救室、室外过道）	15mmPb 铅防护门
废物间	四周墙体	20cm 厚实心砖墙+2mmPb 硫酸钡砂浆
	顶棚	12cm 厚混凝土+5mmPb 铅板
	地面	150cm 厚混凝土
	防护门	6mmPb 铅防护门
急救室	北墙、东墙	20cm 厚实心砖墙+4mmPb 硫酸钡砂浆
	西墙、南墙	20cm 厚实心砖墙+2mmPb 硫酸钡砂浆
	顶棚	12cm 厚混凝土+14mmPb 铅板
	地面	150cm 厚混凝土
	防护门（两扇）	15mmPb 铅防护门
注射后休息室	东墙、北墙、南墙	20cm 厚实心砖墙+6mmPb 硫酸钡砂浆
	西墙	37cm 厚实心砖墙+6mmPb 硫酸钡砂浆

	顶棚	12cm 厚混凝土+20mmPb 铅板
	地面	150cm 厚混凝土
	防护门	15mmPb 铅防护门
	铅屏风	10mmPb
VIP 注射后休息室	东墙、西墙、南墙	20cm 厚实心砖墙+4mmPb 硫酸钡砂浆
	北墙	37cm 厚实心砖墙+6mmPb 硫酸钡砂浆
	顶棚	12cm 厚混凝土+14mmPb 铅板
	地面	150cm 厚混凝土
	防护门	10mmPb 铅防护门
留观室	东墙、南墙	20cm 厚实心砖墙+4mmPb 硫酸钡砂浆
	北墙、西墙	37cm 厚实心砖墙+6mmPb 硫酸钡砂浆
	顶棚	12cm 混凝土+20mmPb 铅板
	地面	150cm 厚混凝土
	防护门	15mmPb 铅防护门
PET/CT 机房	东墙	37cm 厚实心砖墙+8mmPb 硫酸钡砂浆
	南墙	37cm 厚实心砖墙+2mmPb 硫酸钡砂浆
	北墙、西墙	20cm 厚实心砖墙+4mmPb 硫酸钡砂浆
	顶棚	12cm 混凝土+14mmPb 铅板
	地面	20cm 混凝土+5mmPb 硫酸钡砂浆
	铅玻璃窗	15mmPb 当量玻璃
	防护门（患者通道、设备间）	12mmPb 铅防护门
	防护门（控制室）	15mmPb 铅防护门
清洁间	四周墙体	20cm 厚实心砖墙+2mmPb 硫酸钡砂浆
	顶棚	12cm 厚混凝土+5mmPb 铅板
	地面	150cm 厚混凝土
	防护门	5mmPb 铅防护门
患者走廊	东墙	37cm 厚实心砖墙+4mmPb 硫酸钡砂浆
	西墙、南墙	20cm 厚实心砖墙+4mmPb 硫酸钡砂浆
	北墙	20cm 厚实心砖墙+2mmPb 硫酸钡砂浆
	顶棚	12cm 厚混凝土+14mmPb 铅板
	地面	100cm 厚混凝土+2mmPb 硫酸钡砂浆
	防护门（东侧）	20mmPb 铅防护门
	防护门（西侧）	16mmPb 铅防护门

10.3 辐射安全措施评价

（1）电离辐射警告标志及控制区、监督区标志

PET 中心各走廊的出入口门、分装室门、配套的放射性废物间、放射性固废铅桶上、注射后休息室门上、PET/CT 机房各防护门，均拟张贴符合 GB 18871-2002 规范的电离辐射警告标志。

埋地的放射性衰变池盖板表面，也拟张贴符合 GB 18871-2002 规范的电离辐射警

告标志。

此外，在控制区的患者总出入口及医护人员总出入口，张贴控制区标志；在放射性衰变池地面投影区域，周围设立一圈护栏，并悬挂写有“当心电离辐射，请勿靠近”的警告标识；在监督区的总出入口，张贴监督区标志。在各场所相应位置还拟设置患者导向标识或提示。

在 PET/CT 机房的防护门设有自动闭门装置，上方设有工作状态指示灯，灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句。

上述电离辐射警告标志的张贴和控制区监督区的标识、患者导向标识，满足 HJ 1188-2021 中对电离辐射警告标志和控制区监督区标明的要求，也满足 GBZ 120-2020 的相关要求。

（2）场所安全措施要求

医院参考 HJ 1188-2021 对于场所安全措施的要求，进行了相应的设计，其对比评价见表 10.3.1。

表 10.3.1 本项目辐射工作场所安全措施与 HJ 1188-2021 的要求对比分析

HJ 1188-2021 要求	本项目辐射工作场所安全措施设置	符合性分析
6.2.1 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	本项目工作场所装修将交由专业公司施工，地面、墙面、台面将采用易移除易擦洗的平整光滑材料。地面和墙面为一体化倒圆角设计，衔接处无接缝，易于清洗去污	满足要求
6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行。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	本项目操作放射性药物在铅手套箱中进行。辐射工作人员配备了必要的防护用品和注射器铅套。给药后患者休息室为独立房间，具有足够的屏蔽	满足要求
6.2.3 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	分装室缓冲间拟放置表面沾污仪，用于控制区离开的人员和物品表面污染的监测，超标即去污	满足要求
6.2.4 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	放射性药物均贮存于分装室铅手套箱内，当天到货当天用完。根据医院的辐射检测计划，1 次/月进行辐射水平检测。控制区无关人员不得入内。医院有专人管理放射性物质台账，接收、使用情况均及时登记，	满足要求

	确保账物相符	
6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、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	由放射性药物供货商提供的转运容器就是放射性药物送货时的屏蔽外包装，张贴有电离辐射标志。运送时有适当的固定措施	满足要求
6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯	PET/CT 机房拟设置工作状态指示灯“射线有害，灯亮勿入”	满足要求

（3）对控制区内带药患者的监督管理

①控制区内患者出入口拟设置带有门禁系统的单向门，实现“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线，加强对控制区带药患者的管理，并防止无关人员入内。注射后休息室防护门和留观室防护门安装自动闭门器，保持防护门的常闭状态，避免室内外带药患者的互相影响。就诊前告知患者检查路线及注意事项，场所中相应位置拟设置患者导向标识或导向提示，防止带药患者脱离控制区对工作人员或公众造成不必要照射。

②控制区走廊、注射窗口、PET/CT 机房、注射后休息室、留观室等处均拟设置监控探头和对讲装置，实行电脑叫号，监视器拟设置于门口预约登记台和 PET/CT 机房控制台处，医护人员实时监视整个控制区内的情况。医院通过统一监控管理，确保同一时间控制区走廊内仅有一名患者走动，避免与其他患者的相互影响。通过对讲装置和监控装置，实现患者互相之间不交叉照射。

（4）III 类射线装置机房的工作场所防护

PET/CT 机房属于 III 类射线装置机房，医院同时按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）对 X 射线设备工作场所防护要求，进行了如下设计：

①工作状态指示灯和放射防护注意事项

机房防护门上方拟安装工作状态指示灯以提示装置的开机状态。灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句，用于提醒无关人员不要靠近和逗留；患者走廊设置放射防护注意事项告知栏。工作状态指示灯与机房门有效关联，只有机房门关闭的时候才会灯亮。满足 GBZ 130-2020 对工作状态指示灯和注意事项的要求。

②闭门装置

机房通往控制室和设备间的防护门，设置有闭门器使防护门保持常闭状态；患者出入大门是电动推拉门，设置有曝光时关闭机房门的联锁措施，并设置有红外感应防夹装置。上述闭门器和曝光时关门管理措施的要求，满足 GBZ 130-2020 的要求，可避免 PET/CT 开机时防护门未关闭造成门外人员不必要受照。

(5) 个人防护用品、辅助用品及去污用品

医院拟按 GBZ 120-2020 要求配备的个人防护用品见表 10.3.2。

表 10.3.2 个人防护用配置要求

场所类型	工作人员		患者或受检者	陪检者
	必备	备选		
正电子放射性药物的场所	放射性污染防护服	-	-	橡胶铅衣

注：“-”表示无要求，宜使用非铅防护用品。

由于 ^{18}F 正电子药物的 γ 射线能量较高，使用铅衣屏蔽基本无效，因此对于工作人员主要需要考虑其他的防护措施，如：穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和预先扎留置针减少放射性药物注射时间等措施；陪检者要求要有铅橡胶防护衣；患者做 PET/CT 检查时，无需防护用品。

此外医院拟在 PET 中心配备辐射事故应急包，包括一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污清洗剂（至少为加入洗涤剂 and 硫代硫酸钠的水）及喷雾器；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、大小不同的不透水塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子及长柄夹钳等物品。

PET 中心也拟配备移动铅屏风、注射器铅屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、长柄镊子、铅手套箱、放射性固废铅桶等辅助用品。

上述个人及场所防护用品满足《临床核医学卫生防护标准》（GBZ 120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中对医护人员及患者的个人防护用品、辅助防护用品及应急物品的配备要求。

(6) 辐射监测仪器

医院拟为本项目 PET 中心配备 1 台环境辐射巡测仪，用于辐射工作场所定期自行检测；配备 2 台表面沾污仪，用于非密封工作场所的表面污染检测，以及供辐射工作人员从卫生通过间离开时进行手、足、物品的表面污染监测，避免将放射性核素污染带出（超标即去污）；配备 2 台个人剂量报警仪，用于 PET/CT 机房及控制区、监督区日常工作过程中瞬时辐射剂量的报警。PET 中心需购置上述辐射监测仪器，方能及时了解辐射工作场所辐射水平及辐射工作人员的受污染情况。

(7) 放射性核素的安全管理措施

本项目放射性药物为按需订购，医院指定专人负责药物的接收和登记， ^{18}F 、 ^{68}Ga

药物暂存于分装室铅手套箱内，当天到货当天用完。

医院建立放射性同位素使用登记制度，对购入的放射性药物的使用情况进行登记和跟踪记录，确保正确无误，帐物相符；分装室入口均拟设置门禁，非相关人员不得入内；室内拟设置监控探头，医护人员对放射性药物实行实时监控。

V类源 ^{68}Ge 、 ^{57}Co 衰减校正源，由于需要每日使用，拟放置在 PET/CT 机房角落的带铅屏蔽的放射源保险箱内，确保表面辐射剂量率不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。铅保险箱固定在墙角，门为双人双锁防盗门，安装有放射源监控和与 110 联动的报警系统。源每次使用时，从铅保险箱取出，安装在 PET/CT 上用于校正显像设备，仅使用时由专人拿出，用完立即放回。

10.4 三废的治理

10.4.1 放射性废水处理措施

本项目产生的放射性废水包括 PET 中心体内带药患者排泄产生的放射性废水和控制区的保洁清洗用水。本项目产生的放射性废水全部进入 4 号楼西侧楼外新建的放射线废水衰变池，与 4 号楼现有核医学科不共用放射性废水衰变系统。若有预约患者未到而产生的未使用放射性药物（ 10mCi ），将收集在原有装药容器中（表面张贴有电离辐射警告标志），单独存放在铅手套箱内。待次日上班前将该瓶残余活度仅剩 0.005mCi 弃用放射性药液交由厂家进行回收，对周围环境产生影响较小。

PET 中心控制区内各上水均配备了洗消喷头及洗消液，采用感应开关避免场所内放射性污染。洗手池处的水龙头可调节，具备向上冲淋流动水来洗头、眼和面部。满足 HJ 1188-2021 对核医学工作场所上水的要求。上述控制区内产生放射性废水的排水点均设计了专用管道收集放射性废水，接入 4 号楼楼外西侧 PET/CT 专用槽式放射性废水衰变池，放射性废水专用管道埋地深度 1m ，地下部分包裹 2mmPb 铅板，裸露部分包裹 8mmPb 铅板。放射性废水专用管道布局及走向示意图 10.4-1。由图可知，放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接，均为现有条件下的最优最短设计，通过高度差、动力泵输送减少放射性废水死区，避免放射性废液的集聚。管道安装时，将在所有放射性废水管道上做标记，便于后续的维修检修工作。上述设计满足 HJ 1188-2021 对于放射性废水收集管道的要求。

本项目配套独立的槽式放射性废水衰变池，衰变池位于医院 4 号西侧楼外，具体位置布局详见图 10.4-2。衰变池平面及尺寸见图 10.4-3~图 10.4-5，共计 4 个衰变池，

每个衰变池内部净尺寸 $2\text{m} \times 1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ ，容积 4.5m^3 。与四周土壤接触的墙体、池底板、顶板均为壁厚 30cm 的混凝土浇筑墙体，顶层开 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 正方形检修口，盖有带锁的内置 5mmPb 的不锈钢盖板。放射性废水检修井井盖和衰变池检修口盖板，均设计为密闭防雨水灌入结构，避免暴雨时雨水积水导致放射性废水容积增加。

来自 PET 中心的放射性废水，首先流入废液降解池。该多功能废液降解槽自带双铰刀，一备一用，具备搅碎自冲避免堵塞，无需人工清理淤泥。经过充分的预处理破碎，将所有固形物打碎为悬浮状具有良好流动性的液体，替代了化粪池的沉淀作用，避免固形物沉积。4 个槽式不锈钢衰变池，均采用双层不锈钢设计防渗漏。存储放射性废水的有效容积 90%，即 4 个槽式衰变罐的有效容积共计 16.2m^3 。

4 个衰变池交替使用，放射性废水从 PET 中心的专用废水管道首先进入降解池，通过降解处理后由液位控制系统控制，高液位时通过提升泵提升至进入一号衰变池。此时，一号衰变池进水电动阀开启，另外三个衰变池进水电动阀全部处于关闭状态。当第一个衰变池液面达到设定液位时，关闭一号池进水电动阀，一号衰变池开始计时存放。同时二号衰变池进水电动阀开启，污水进入二号池当二号池液面达到设定液位时，关闭二号衰变池进水电动阀，二号衰变池开始计时存放。

.....

当四号衰变池液面达到设定液位时，一号衰变池会打开排水阀，开始排水；当液位传感器感知到一号池液位排空后，关闭四号池进水阀，同时打开一号池进水阀。如此循环，确保了每次排放的槽体内废液都是贮存时间最长的。

该套槽式衰变池排放系统由电脑控制，实现自动检测液面、自动关闭和开启阀门及排水口取样、放射性衰变池内测量放射性气溶胶和入口处辐射剂量率水平监测的功能。

PET 放射性废水专用集水管道在室内外地基泥土埋地深度 1m，顶部覆盖 2mm 铅板（裸露部分覆盖 8mmPb 铅板），避免放射性废水流动时对周边人员的辐射影响。

为尽量减少放射性废水产生量，PET 中心的三间卫生间均采用节水马桶，单次冲水量不超过 5L，严格限制放射性废水产生量。

根据 PET 中心使用放射性废水量估算，见表 9.2.1，放射性废水日产生量约 0.22m^3 。对于放射性衰变池系统，由于每周工作 5 天，排入 4 个同体积槽式衰变池内任一格的放射性废水均需再经过 $(3 \text{ 格} \times 4.05\text{m}^3) \div 0.22\text{m}^3 \times 7 \text{ 天} \div 5 \text{ 天} = 77$ 天才会被排入医院污水

管网。PET 中心排放的放射性废水中,所含核素半衰期最长的是 ^{18}F ,半衰期为 110min。因此,本项目的槽式放射性废水衰变罐满足 HJ 1188-2021 “所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放”的放射性废水贮存要求。

本项目放射性废水衰变系统还自带辐射检测系统(取样槽外壳是一个屏蔽体,可屏蔽外部射线影响,在排放的时候,测量探头会测定取样槽内废水的总活度,然后除以取样槽的容积得出最后的数据),能够定性分析排放废水的 β 放射性活度浓度,并在监控屏上实时显示,若超过 10Bq/L 则警告提示并停止排放,待工人排查原因并维修、整改,并委托有资质的第三方检测单位监测达标后才可继续排放。医院将安排专人管理该套放射性废水衰变及排放系统,并建立暂存和处理台账,详细记录放射性废水中所含核素名称、体积、放射性废水封存起始日期、责任人员、排放时间和监测结果等信息。医院对放射性废水排放的管理满足 HJ 1188-2021 相关要求。

放射性废水管道屏蔽效果:本项目废水排放管道均为地埋式,埋深 1m,在管道外贴有 2mmPb 铅板(裸露部分外贴有 8mmPb 铅板),因此废水管道的屏蔽材料至少为 100cm 厚混凝土+2mmPb,且管道均设有坡度保证液体在其间自流,不会滞留;因此废水在管道中的影响较小。

放射性衰变池屏蔽效果:考虑到放射性核素废水一边迅速衰变一边持续排入的动态平衡,保守估计本项目单个放射性废水衰变池内最多同时有 ^{18}F 不超过 6mCi、 ^{68}Ga 不超过 1mCi。其在 300mm 混凝土衰变池顶和 5mmPb 铅盖板上关注点造成的辐射剂量率,以公式 11-1 的点源模式近似估算,约为 0.00726 $\mu\text{Sv/h}$ (顶板上)和 0.184 $\mu\text{Sv/h}$ (铅盖板上)。

综上所述,本项目放射性废水管道及放射性衰变池均满足 HJ 1188-2021 中“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 $\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

放射性衰变池的混凝土池壁及不锈钢槽式排放衰变罐均采用了防渗漏处理,能够满足 HJ 1188-2021 中“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”的要求。

该放射性衰变池选址于 4 号楼楼外西侧,为埋地结构。为防止无关人员在衰变池地面投影位置逗留,医院拟在衰变池上方周围安装一圈高 0.8m 护栏,并在护栏外张贴电离辐射警告标志,避免无关人员进入、停留。

10.4.2 放射性废气处理措施

本项目产生的放射性废气主要来自放射性药物分装及注射过程中产生的放射性气溶胶。在进行液体放射性药物分装、活度测量过程中，若液面处于开放状态，空气中可能挥发微量放射性核素，污染途径为放射性核素在空气中挥发散逸造成人员吸入内照射。

医院在本次 PET 中心内设计了新风-排风系统，其布局和管道走向及对应的排风机见图 10.4-6~图 10.4-8。其中医护人员缓冲间、分装室、急救室、废物间、注射后休息室、VIP 注射后休息室、留观室、患者通道以及休息室/留观室的卫生间产生的放射性废气由支管道汇入主管道后，最终引至 4 号楼楼顶的活性炭过滤装置处理后排放（排气筒距地面高度 23.8m）；手套箱设置独立的净化通风系统，排风口引至 4 号楼楼顶的活性炭过滤装置处理后排放（排气筒距地面高度 23.8m）；PET/CT 机房也设置单独的排风系统，排风口引至 4 号楼楼顶的活性炭过滤装置处理后排放（排气筒距地面高度 23.8m）。

PET/CT 控制区内新风-排风系统覆盖的区域，采用负压设计，注射后休息室和留观室各房间新风风量均小于排风风量，维持房间内压差，防止放射性气体和气溶胶对工作场所造成交叉污染。净化通风系统的每一套运行风机均由总控控制，保证 PET 中心工作期间持续开启，各个房间仅能调节本房间风阀，无法关闭通风系统风机。

上述净化通风系统的设计满足 HJ 1188-2021 对核医学工作场所通风、气流流向、负压和各区压差的要求。

PET 中心涉及放射性药物分装的操作均在分装室的铅手套箱内进行，具有良好气密性。该拟采购的设备购自合格供应商，内部排风风速不小于 0.5m/s，设计了独立的排风系统，顶壁排风口处自带活性炭过滤装置，满足 HJ 1188-2021 对于手套箱、通风橱的设置要求。

医院将根据设备厂家提供的更换周期，定期更换排风口处的活性炭过滤器。更换下来的活性炭过滤器根据过滤核素半衰期，作为放射性固废进行收集和处理。上述对放射性外排气体的过滤及更换计划满足 HJ 1188-2021 对气态放射性废物的管理要求。

10.4.3 放射性固体废物处理措施

本项目产生的放射性固体废物包括日常分装和注射过程中产生的沾有放射性核素的一次性注射器、一次性手套、棉签、敷料、滤纸等；控制区通风装置定期更换下

来的吸附用活性炭过滤器；退役的衰减校正用 ^{68}Ge 放射源。处理措施如下：

（1）产生于分装室的放射性废物

如一次性注射器、一次性手套等放射性废物放置在注射窗口旁的一个 20mm 铅当量的废物桶内（套有塑料袋）。每日工作结束后，暂存于铅废物桶中的放射性废物，在塑料袋写上核素名称及日期，系好袋子后存放入分装室西侧的放射性废物间，分类按序存放，暂存 30 天（ $T_{1/2} < 24\text{h}$ 的核素）后，确认满足清洁解控水平（经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染 $< 0.8\text{Bq/cm}^2$ ），再作为医疗废物处置。

（2）产生于其他区域的放射性废物

药后患者产生的一次性纸杯、擦拭纸张等放射性废物产生于休息室、留观室等，医院在上述区域内各设置 1 个 20mm 铅当量的废物桶（套有塑料袋），收集放射性固体废物。每日工作结束后，暂存于铅废物桶中的放射性废物，在塑料袋写上核素名称及日期，系好袋子后存放入分装室西侧的放射性废物间，分类按序存放，暂存 30 天（ $T_{1/2} < 24\text{h}$ 的核素）后，确认满足清洁解控水平（经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染 $< 0.8\text{Bq/cm}^2$ ），再作为医疗废物处置。

（3）废活性炭

放射性废气排放管道中的活性炭每半年更换一次，更换下来的废下来的活性炭直接收集至放射性废物间内的衰变桶中，贮存衰变，贮存衰变时间至少 30d，达到解控水平后作为一般医疗废物处理，对周围环境产生影响较小。

（4）剩余放射性药物

若有预约患者未到而产生的未使用放射性药物（10mCi），将收集在原有装药容器中（表面张贴有电离辐射警告标志），单独存放在铅手套箱内。待次日上班前将该瓶残余活度仅剩 0.005mCi 弃用放射性药液交由厂家进行回收，对周围环境产生影响较小。

（5）废物间衰变桶设置适宜性分析

本项目拟在放射性废物间内设 3 个衰变桶，其中 2 个衰变桶的内部尺寸约为 400mm（L） \times 400mm（W） \times 600mm（H），容积约为 96L；另 1 个衰变桶的内部尺寸约为 250mm（L） \times 250mm（W） \times 400mm（H），容积约为 25L。根据表 9.2.2 本项目的固体废物产生情况，本项目 PET 中心分装室及其他工作区域每天产生的放射性废物为 3.8L，一个月保守按 23 个工作日计，可产生 87.4L 放射性废物。因此，废物间

内每个 96L 衰变桶桶均可收集一个月的放射性废物，废物间内设 2 个 96L 衰变桶是合理的。另 1 个 25L 衰变桶专门用于暂存本项目通风系统更换下的废活性炭（每半年更换一次，每次约产生 20L）。放射性废物间的三个衰变桶均能满足衰变 30d 的要求。

（6）废物间衰变桶表面辐射剂量率分析

考虑 PET 中心所用正电子核素为注射器注射，按注射器残留 1% 药物估算（《不同容积注射器放射性残留量对患者核医学检查效果的影响及护理》给出的数据），同时考虑放射性药物的迅速衰变，动态平衡下每日铅废物桶中收集的放射性固废中活度不超过 0.6mCi ($2.22\text{E}+7\text{Bq}$)。经过 20mmPb 的放射性固废收集桶屏蔽，铅桶表面 30cm （关注点与源距离按 0.5m 估算）关注点处辐射剂量率不会超过 $0.8\mu\text{Sv/h}$ ，满足 HJ 1188-2021 “固体放射性废物收集桶外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求。

（7）放射性废物间的防护措施分析

放射性废物间有效使用面积为 6m^2 ，可满足本项目拟设 3 个衰变桶的放置，其四周墙体为 20cm 厚实心砖墙+ 2mmPb 硫酸钡砂浆，顶棚为 12cm 厚混凝土+ 5mmPb 铅板，地面为 150cm 厚混凝土，防护门为 6mmPb 铅防护门。综上，其容积与屏蔽均能满足放射性固废的存放要求，满足 HJ 1188-2021 “放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽”的要求。

（8）退役源的处理处置

本项目 PET/CT 拟配备 2 枚 ^{68}Ge 源、2 枚 ^{57}Co 源，用于 PET/CT 设备的衰减校正。两种放射源活度分别为 $7.4\text{E}+7\text{Bq}$ 、 $1.17\text{E}+8\text{Bq}$ ，属 V 类密封源，约 2 年更换一次，退役时活度不超过 $1.2\text{E}+7\text{Bq}$ 。医院拟将该退役源送交原生产厂家回收，此举满足《中华人民共和国放射性污染防治法》对 V 类放射源的退役处置要求。

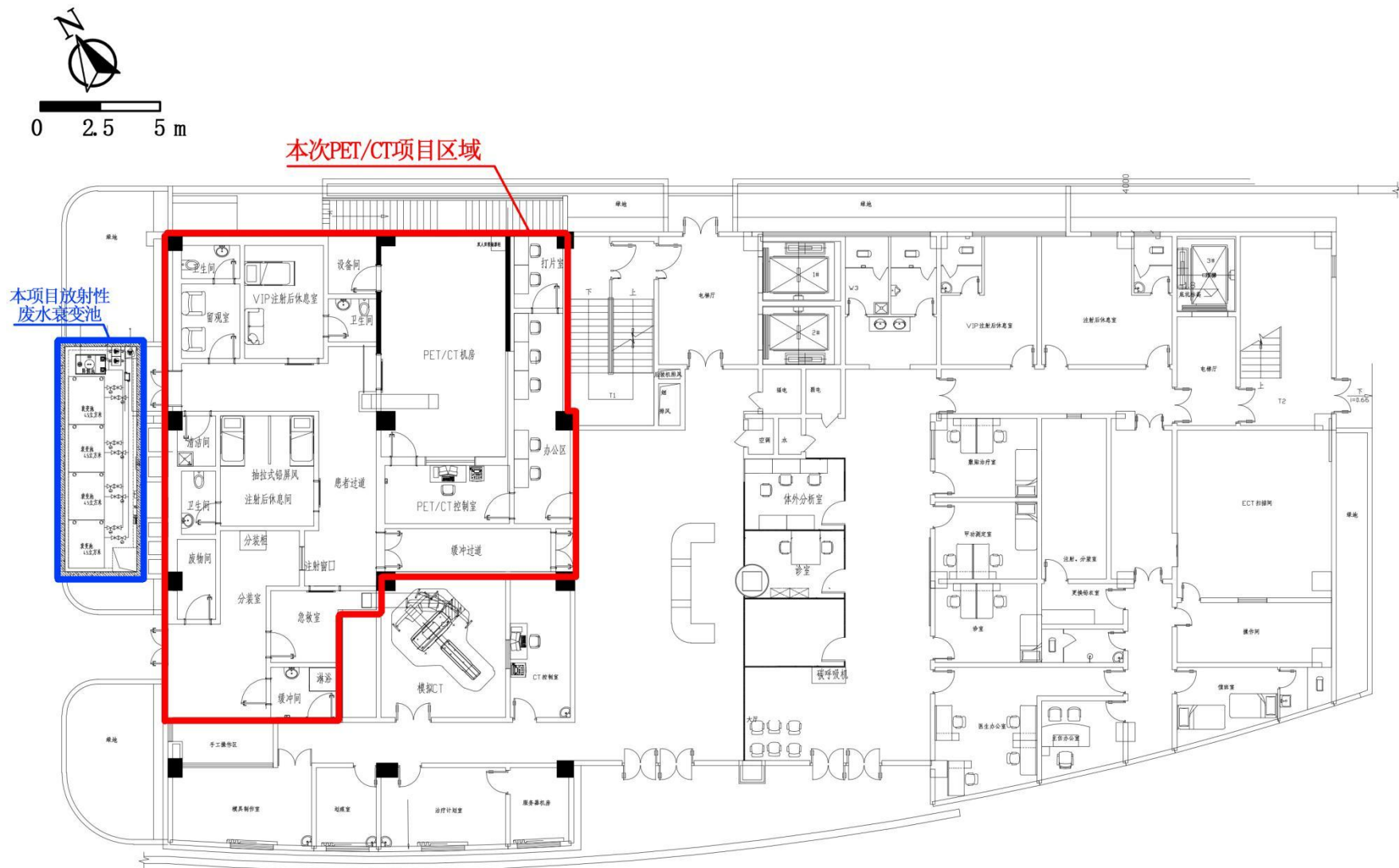


图 10.4-2 本项目放射性废水衰变池布局示意图

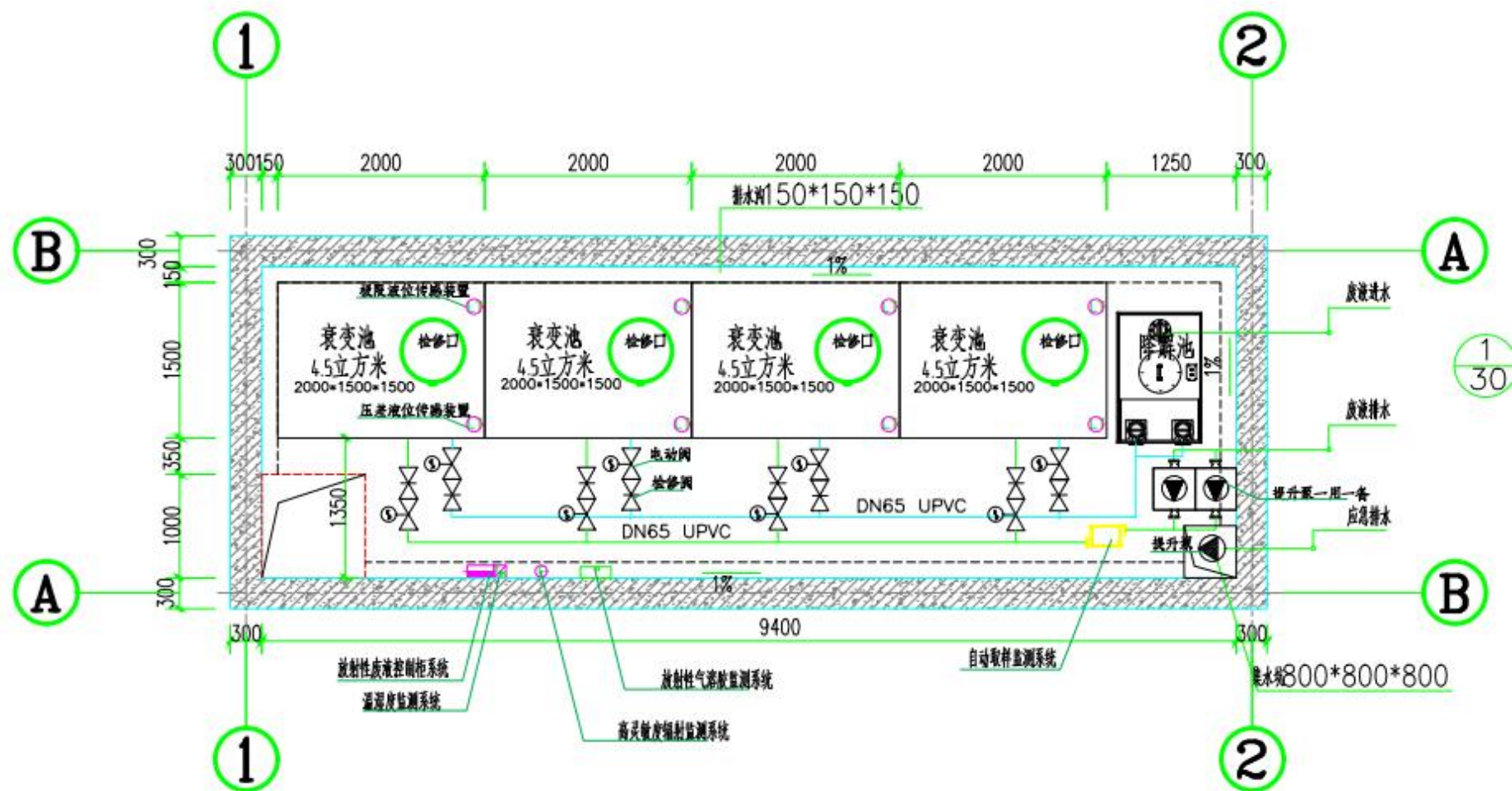


图 10.4-3 本项目放射性废水衰变池平面图

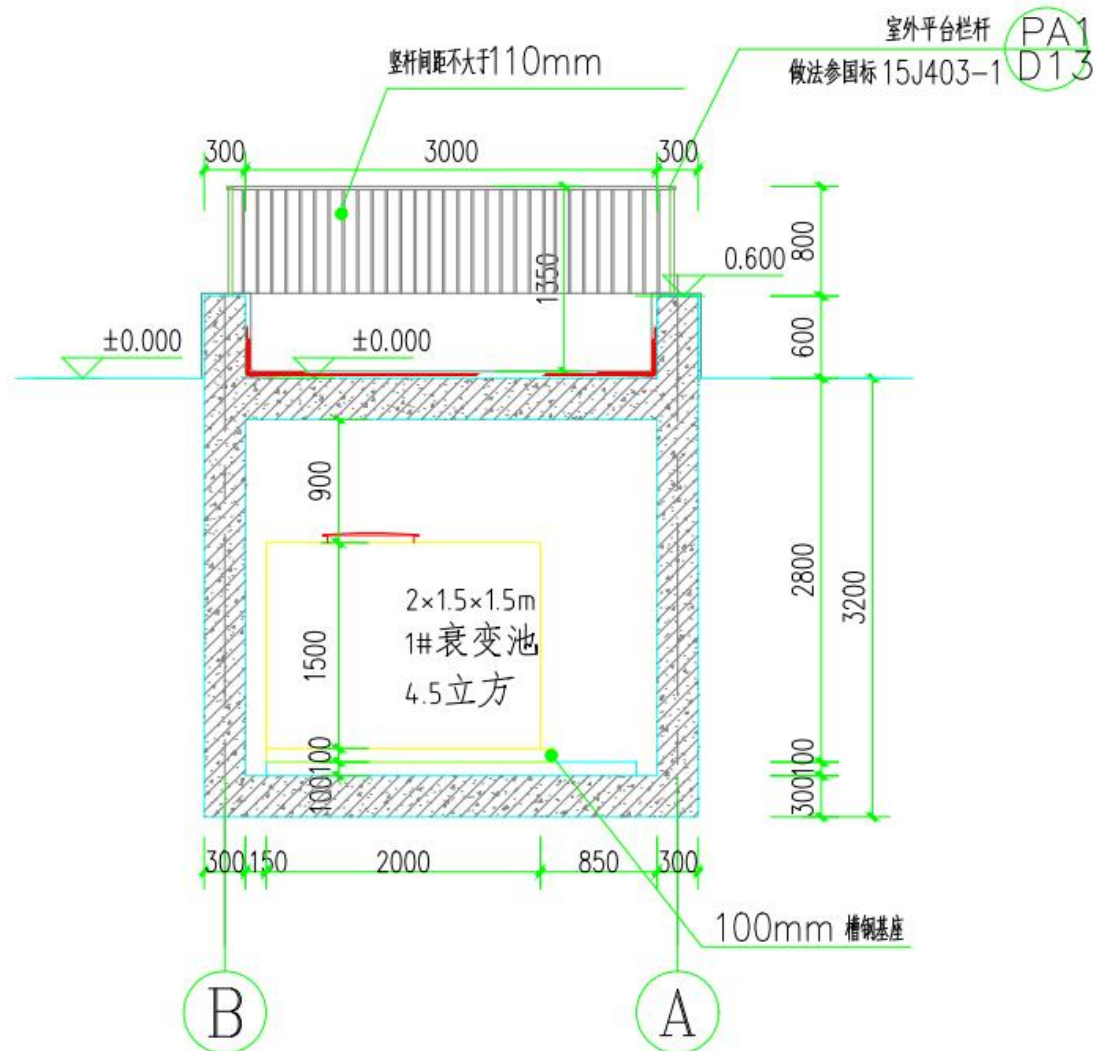


图 10.4-4 本项目放射性废水衰变池 A-A 剖面图

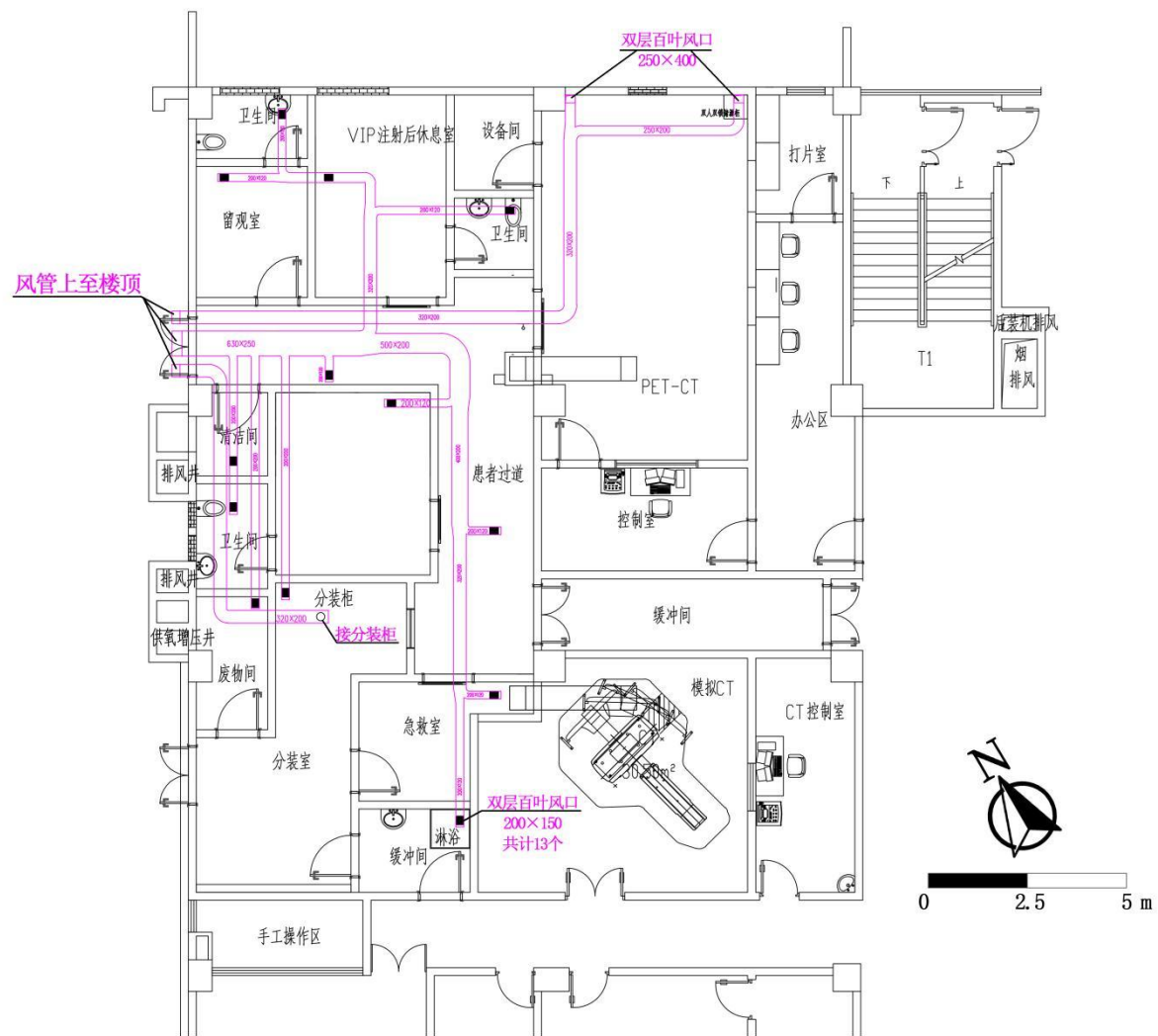


图 10.4-6 本项目排风系统布局示意图

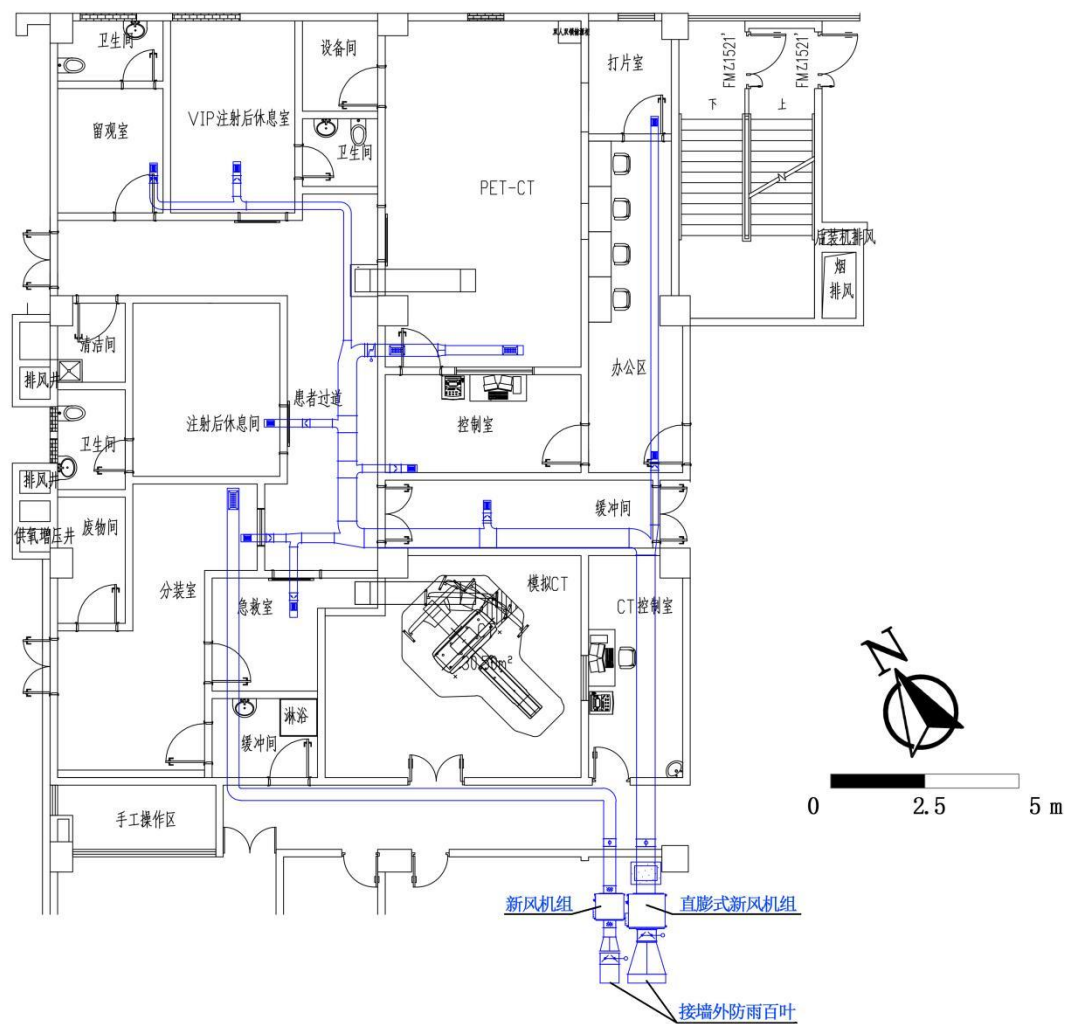


图 10.4-7 本项目新风系统布局示意图

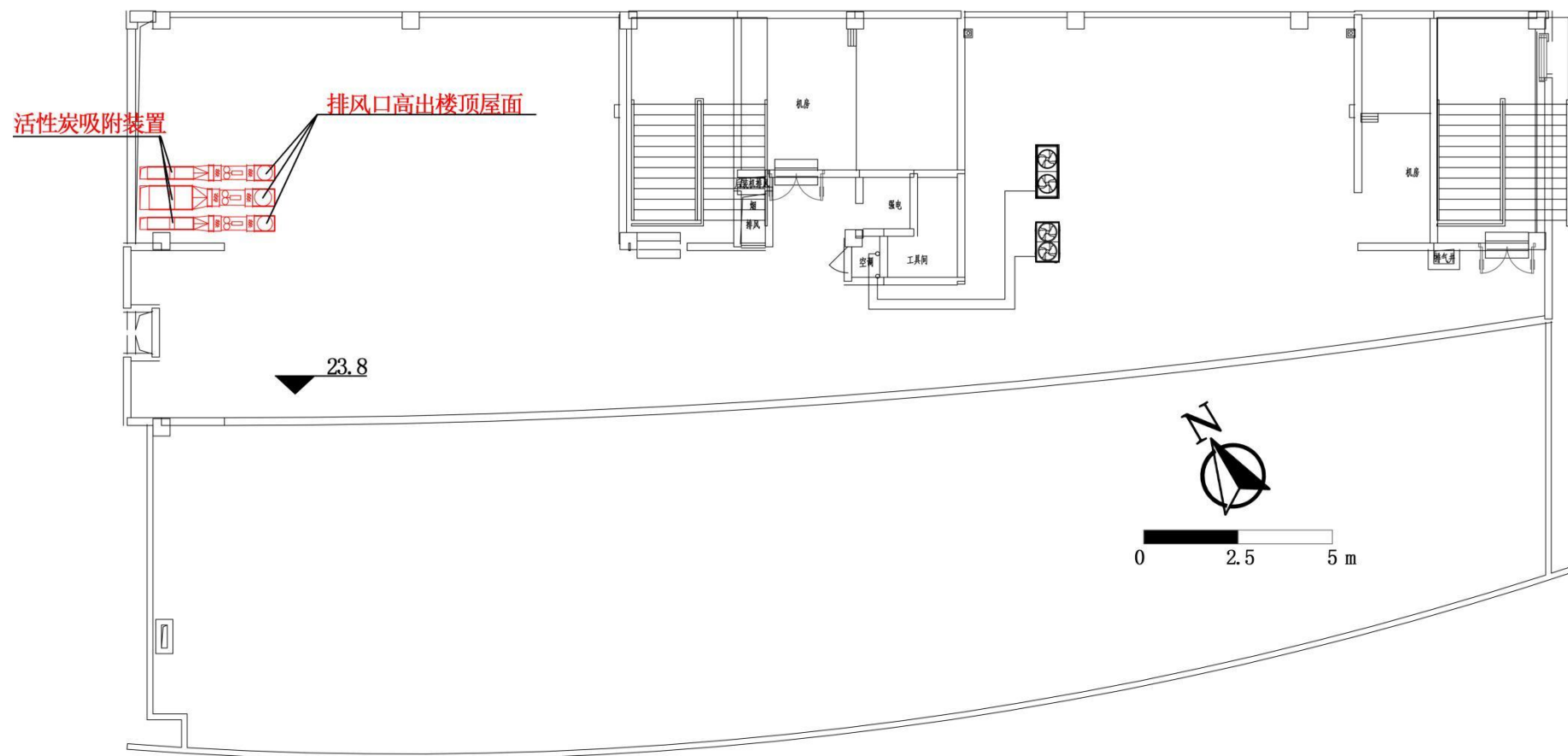


图 10.4-8 本项目楼顶排气管道布局示意图

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目将建设于医院 4 号楼内，土建施工主要是墙体和局部顶板的施工，包括拆除原有部分墙体，建设水泥砖砌墙和硫酸钡水泥层，安装铅玻璃观察窗和铅防护门，安装埋地下水管道，在楼外建设混凝土现浇的放射性衰变池，并安装不锈钢槽式衰变罐及管道阀门等，在吊顶内安装相应的通风管道和风机等。该辐射防护施工系在原 4 号楼内外局部区域的建设，均限制在医院范围内，会对周围环境产生如下影响：

（1）大气：本项目在建设施工期需进行的拆除、水泥砌砖墙、涂抹硫酸钡砂浆、混凝土浇筑和铅板铺设、挖埋管道等作业，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：①及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；②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；③施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

（2）噪声：整个建筑施工阶段，如搅拌机及载重车辆等在运行中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。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，尽量使用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业。

（3）固体废物：项目施工期间，产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，委托有资质的公司清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落。

（4）废水：项目施工期间，有一定量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水在施工场地内进行初级沉淀处理，并经隔渣后排；施工人员的生活污水主要依托 4 号楼内原有的生活污水处理设施处理排放。

建设单位应在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在本单位内局部区域，对周围环境影响较小。

本项目放射性药物/衰减校正源未运抵之前，PET/CT 射线装置未通电启动前，均不会对周围环境产生辐射污染。

11.2 运营阶段对环境的影响

（1）发射 γ 射线的核素的屏蔽计算

对于本项目使用发射 γ 射线的正电子药物，无论是送来的成罐药物还是分装后的针剂，以及给患者注射后，均聚集在罐/注射器/人体内，其周围关注点空气比释动能率可近似按照点源模式计算，采用《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I 中给出的瞬时剂量率计算方法，计算关注点空气比释动能率：

$$\dot{H}_P = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} \cdot \eta \quad (11-1)$$

上式中：

H_P ——关注点周围剂量当量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

A ——放射源活度（Bq）；

Γ ——放射源 1m 处周围剂量当量率常数（ $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$ ），见放射性核素特性一览表；

R ——放射源到关注点的距离（m）；

η ——透射比，无屏蔽情况下取 1；有屏蔽情况下，按照放射源的平均射线能量及屏蔽材料的厚度查参考资料得到相应的透射比；也可采用什值层法计算。

按公式 11-1 分别核算控制区墙外、门外、窗外及顶上各典型关注点处 γ 空气比释动能率。

（2）关注点人员的有效剂量计算

关注点人员的有效剂量由《辐射防护导论》给出的公式算出：

$$D_{\text{Eff}} = K_{\alpha} \cdot t \cdot T \cdot U \quad (11-2)$$

上式中： D_{Eff} ——关注点人员有效剂量（Sv）；

K_{α} ——关注点的周围剂量当量率（Sv/h）；

t ——关注点处年曝光时间（h）；

T ——居留因子，取值在 1/32~1，典型值：全部居留 $T=1$ ，部分居留 $T=1/4$ ，偶尔居留 $T=1/16$ ；

U ——使用因子，放射性核素以点源考虑， U 取 1；

根据公式 11-1 预测的各关注点处辐射剂量率，结合工作时间，辐射工作人员和公众

停留概率，即可得到各关注点处公众及辐射工作人员的年受照剂量。

11.2.1 PET 中心屏蔽效果

PET 中心使用的核素均为正电子衰变核素，在发生正电子湮灭时仅产生 0.511MeV 的 γ 射线，因此采用公式 11-1 分别核算 PET 中心控制区墙外、门外、窗外及顶上各关注点处 γ 射线的空气比释动能率。本项目中，PET 中心门诊的分药及注射时，均按各核素单次使用的最大活度估算。

分装的 ^{18}F 、 ^{68}Ga 药物，注射时位于一次性针筒内，或注射入病人体内，都可以看做是近似裸源状态。因此，放射性药物的分装和活度测量，均需在铅手套箱的良好屏蔽下进行；药物也需要在屏蔽良好的全屏蔽注射窗口给病人注射；注射后的带药病人，其候诊和显像扫描也必须被限制在具有完全屏蔽的室内，减小其 γ 射线对外环境的影响。

下面就 PET 中心控制区屏蔽防护设计，核算其是否满足放射性药物的使用要求。

考虑 ^{18}F 和 ^{68}Ga 的射线能量， ^{18}F 略大；单次给药活度相同，日诊断规模 ^{18}F 为 25 人， ^{68}Ga 为 5 人。因此 ^{18}F 的辐射影响要大于 ^{68}Ga ，后续理论影响估算以 ^{18}F 给药的情况为主。

供货商送来的 ^{18}F 正电子药物，一般为西林瓶中密封的高活度原液，PET/CT 日最大需求使用量为 $9.25\text{E}+9\text{Bq}$ (0.25Ci)，考虑 ^{18}F 的衰变情况，每日药物分两次送达，分别为医院早上上班前及医院下午上班前，每次送药量为使用量的两倍，即每次送药 $9.25\text{E}+9\text{Bq}$ (0.25Ci)。药物放置在 40mm 铅当量的防护罐中运输至分装注射室，再放入 50mmPb 铅当量专用的手套箱中。护士每次需手持套有 5mmPb 铅套的一次性注射器抽取所需活度的正电子药物，并在活度计内测量确认活度，随后护士手持带铅套的一次性注射器，根据叫号，在分装室的全屏蔽注射窗口给病人注射，注射窗口安装有 50mmPb 铅当量的铅玻璃注射窗，每次仅进行一个病人的注射。

^{18}F 注射后病人从控制区走廊进入指定的注射后休息室静躺候诊，人均候诊约 40 分钟。本项目设置有一间双人的注射后休息室，一间单人的注射后休息室。最多可容纳三个带药病人同时静躺候诊。随后注射后病人根据叫号进入 PET/CT 扫描室进行显像扫描，每次只进行一个病人的扫描。根据公式 11-1 可估算出 PET 中心各关注点处辐射水平，预测结果见表 11.2.1。

表 11.2.1 PET/CT 项目关注点处辐射水平估算结果一览表

房间/ 通道	源强 (MBq)	位置	关注点名称	屏蔽措施	衰减距离		估算结果 (μSv/h)
					数值 (m)	取值说明	
分装室	1110 (每次送药最大剂量)	手套箱表面 30cm 处操作位		药物放置在 40mmPb 铅罐+铅手套箱 50mmPb	0.65	手套箱尺寸为 170cm×70cm×220cm (长×宽×高)，药物在手套箱中间	1.42×10 ⁻²
		手套箱表面 5cm 处			0.4		3.76×10 ⁻²
		北墙外 30cm	注射后休息间	药物放置在 40mmPb 铅罐+铅手套箱 50mmPb+200mm 厚实心砖墙+10mmPb 硫酸钡砂浆	0.85	手套箱紧贴北墙放置，药物在手套箱中间，距北墙外 30cm 处的最近距离	3.61×10 ⁻⁴
		南墙外 30cm	4 号楼内手工操作区	药物放置在 40mmPb 铅罐，铅手套箱 50mmPb+370mm 厚实心砖墙+4mmPb 硫酸钡砂浆	7.95	手套箱紧贴北墙放置，药物在手套箱中间，距南墙外 30cm 处的最近距离	2.14×10 ⁻⁶
		西墙外 30cm	放射性废物间	药物放置在 40mmPb 铅罐+铅手套箱 50mmPb+200mm 厚实心砖墙+10mmPb 硫酸钡砂浆	1.8	手套箱紧贴北墙放置，药物在手套箱中间，距西墙外 30cm 处的最近距离	8.05×10 ⁻⁵
		东墙外 30cm	患者走廊	药物放置在 40mmPb 铅罐+铅手套箱 50mmPb+200mm 厚实心砖墙+8mmPb 硫酸钡砂浆	2.5	手套箱紧贴北墙放置，药物在手套箱中间，距东墙外 30cm 处的最近距离	5.50×10 ⁻⁵
		东注射窗口窗外 30cm	患者走廊	药物放置在 40mmPb 铅罐+铅手套箱 50mmPb+50mmPb 当量玻璃	2.5	手套箱紧贴北墙放置，药物在手套箱中间，距注射窗口外 30cm 处的最近距离	9.36×10 ⁻⁷
		楼上 30cm	肿瘤内科病房走廊	药物放置在 40mmPb 铅罐+铅手套箱 50mmPb+120mm 厚混凝土+14mmPb 铅板	4	净空高度 4.68m，药物距地面 1.1m，楼板厚度 0.12m，则与楼上地面 30cm 处的距离为 4m	1.88×10 ⁻⁵
		楼下 30cm	直线加速器机房	药物放置在 40mmPb 铅罐+铅手套箱 50mmPb+1500mm 厚混凝土	2.9	地下楼板厚 1.5m，药物距地面 1.1m，则与楼下顶板 30cm 处的距离为 2.9m	2.15×10 ⁻¹²
患者走廊 (注	370 (单名患者最大剂	西注射窗口 30cm	分装室	50mmPb 当量玻璃	1	患者位于注射窗口外 0.5m 处，距注射窗口内 30cm 处的最近距离	5.15×10 ⁻²
		南防护门	急救室	15mmPb 铅防护门	1.65	患者位于注射窗口 0.5m 处，距南防护	2.43

房间/ 通道	源强 (MBq)	位置	关注点名称	屏蔽措施	衰减距离		估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
					数值 (m)	取值说明	
射 位)	量)	外 30cm				门外 30cm 处的最近距离	
		南墙外 30cm	急救室	200mm 厚实心砖墙+8mmPb 硫酸 钡砂浆	1.65	患者位于注射窗口 0.5m 处, 距南墙外 30cm 处的最近距离	1.11
		东防护门 外 30cm	患者缓冲间	16mmPb 铅防护门	3.17	患者位于注射窗口 0.5m 处, 距东防护 门外 30cm 处的最近距离	5.72×10^{-1}
		楼上 30cm	肿瘤内科病房走廊	120mm 厚混凝土+14mmPb 铅板	4.3	净空高度 4.68m, 患者注射位置距地面 0.8m, 楼板厚度 0.12m, 则与楼上地面 30cm 处的距离为 4.3m	8.54×10^{-2}
		楼下 30cm	直线加速器机房	1000mm 厚混凝土+2mmPb 铅板	2.1	地下楼板厚 1m, 患者注射位置距地面 0.8m, 则与楼下顶板 30cm 处的距离为 2.1m	1.89×10^{-5}
注射 后休 息室	370×2 (两名 患者最 大剂量)	北墙外 30cm	患者走廊	200mm 厚实心砖墙+10mmPb 硫酸 钡砂浆	2.8	按照两名患者在房间中央距北墙外 30cm 处的最近距离	5.85×10^{-1}
		南墙外 30cm	分装室	200mm 厚实心砖墙+10mmPb 硫酸 钡砂浆	2.8	按照两名患者在房间中央距南墙外 30cm 处的最近距离	5.85×10^{-1}
		西墙外 30cm	清洁间	200mm 厚实心砖墙+8mmPb 硫酸 钡砂浆	2.45	按照两名患者在房间中央距西墙外 30cm 处的最近距离	1.01
		东墙外 30cm	患者走廊	200mm 厚实心砖墙+10mmPb 硫酸 钡砂浆	2.45	按照两名患者在房间中央距东墙外 30cm 处的最近距离	7.64×10^{-1}
		东防护门 外 30cm	患者走廊	15mmPb 铅防护门	2.45	按照两名患者在房间中央距东防护门外 30cm 处的最近距离	2.20
		楼上 30cm	肿瘤内科病房走廊	120mm 厚混凝土+20mmPb 铅板	4.3	净空高度 4.68m, 患者距地面 0.8m, 楼 板厚度 0.12m, 则与楼上地面 30cm 处的 距离为 4.3m	7.43×10^{-2}
		楼下 30cm	直线加速器机房	1500mm 厚混凝土	2.6	地下楼板厚 1.5m, 患者距地面 0.8m, 则 与楼下顶板 30cm 处的距离为 2.6m	4.70×10^{-8}

房间/ 通道	源强 (MBq)	位置	关注点名称	屏蔽措施	衰减距离		估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
					数值 (m)	取值说明	
VIP 注射 后休 息室	370 (单 名患者 最大剂 量)	北墙外 30cm	院内楼间通道	370mm 厚实心砖墙+6mmPb 硫酸 钡砂浆	3.22	按照一名患者在房间中央距北墙外 30cm 处的最近距离	8.70×10^{-2}
		南墙外 30cm	患者走廊	200mm 厚实心砖墙+6mmPb 硫酸 钡砂浆	3.05	按照一名患者在房间中央距南墙外 30cm 处的最近距离	4.30×10^{-1}
		西墙外 30cm	留观室	200mm 厚实心砖墙+8mmPb 硫酸 钡砂浆	2.15	按照一名患者在房间中央距西墙外 30cm 处的最近距离	6.55×10^{-1}
		东墙外 30cm	PET/CT 设备间	200mm 厚实心砖墙+6mmPb 硫酸 钡砂浆	2.15	按照一名患者在房间中央距东墙外 30cm 处的最近距离	8.64×10^{-1}
		南防护门 外 30cm	患者走廊	10mmPb 铅防护门	3.05	按照一名患者在房间中央距南防护门外 30cm 处的最近距离	1.42
		楼上 30cm	肿瘤内科病房	120mm 厚混凝土+14mmPb 铅板	4.3	净空高度 4.68m, 患者距地面 0.8m, 楼 板厚度 0.12m, 则与楼上地面 30cm 处的 距离为 4.3m	8.54×10^{-2}
		楼下 30cm	直线加速器机房	1500mm 厚混凝土	2.6	地下楼板厚 1.5m, 患者距地面 0.8m, 则 与楼下顶板 30cm 处的距离为 2.3m	2.35×10^{-8}
留观 室	185×2 (两名 患者体 内最多 残余剂 量)	北墙外 30cm	院内楼间通道	370mm 厚实心砖墙+6mmPb 硫酸 钡砂浆	3.22	按照两名患者在房间中央距北墙外 30cm 处的最近距离	8.70×10^{-2}
		南墙外 30cm	患者走廊	200mm 厚实心砖墙+6mmPb 硫酸 钡砂浆	3.22	按照两名患者在房间中央距南墙外 30cm 处的最近距离	3.85×10^{-1}
		西墙外 30cm	4 号楼楼外绿化带	370mm 厚实心砖墙+6mmPb 硫酸 钡砂浆	2.07	按照两名患者在房间中央距西墙外 30cm 处的最近距离	2.11×10^{-1}
		东墙外 30cm	VIP 注射后休息室	200mm 厚实心砖墙+8mmPb 硫酸 钡砂浆	1.9	按照两名患者在房间中央距东墙外 30cm 处的最近距离	8.39×10^{-1}
		南防护门 外 30cm	患者走廊	15mmPb 铅防护门	3.22	按照两名患者在房间中央距南防护门外 30cm 处的最近距离	6.37×10^{-1}
		楼上 30cm	肿瘤内科病房康复室	120mm 混凝土+20mmPb 铅板	4.3	净空高度 4.68m, 患者距地面 0.8m, 楼	3.72×10^{-2}

房间/ 通道	源强 (MBq)	位置	关注点名称	屏蔽措施	衰减距离		估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
					数值 (m)	取值说明	
						板厚度 0.12m, 则与楼上地面 30cm 处的 距离为 4.4m	
		楼下 30cm	直线加速器机房	1500mm 厚混凝土	2.6	地下楼板厚 1.5m, 患者距地面 0.8m, 则 与楼下顶板 30cm 处的距离为 2.6m	2.35×10^{-8}
放射 性废 物间	22.2 (废 物桶中 放射性 固废的 最大活 度)	北墙外 30cm	注射后休息室卫生间	200mm 厚实心砖墙+8mmPb 硫酸 钡砂浆	2.18	放射性废物放置在房间中央距北墙外 30cm 处的最近距离	3.82×10^{-3}
		南墙外 30cm	分装室	200mm 厚实心砖墙+6mmPb 硫酸 钡砂浆	2.18	放射性废物放置在房间中央距南墙外 30cm 处的最近距离	5.05×10^{-3}
		西墙外 30cm	4 号楼外道路	200mm 厚实心砖墙+2mmPb 硫酸 钡砂浆	1.4	放射性废物放置在房间中央距西墙外 30cm 处的最近距离	2.13×10^{-2}
		东墙外 30cm	分装室	200mm 厚实心砖墙+10mmPb 硫酸 钡砂浆	1.4	放射性废物放置在房间中央距东墙外 30cm 处的最近距离	7.02×10^{-3}
		南防护门 外 30cm	分装室	6mmPb 铅防护门	2.18	放射性废物放置在房间中央距南防护门 外 30cm 处的最近距离	2.91×10^{-2}
		楼上 30cm	肿瘤内科病房	120mm 厚混凝土+5mmPb 铅板	5.1	净空高度 4.68m, 放射性废物放置在地 面, 楼板厚度 0.12m, 则与楼上地面 30cm 处的距离为 5.1m	1.27×10^{-3}
		楼下 30cm	直线加速器机房	1500mm 厚混凝土	1.8	地下楼板厚 1.5m, 放射性废物放置在地 面, 则与楼下顶板 30cm 处的距离为 1.8m	2.94×10^{-10}
PET/ CT 机 房	259 (单 名患者 注射休 息后体 内最大 剂量)	北墙外 30cm	院内楼间通道	200mm 厚实心砖墙+4mmPb 硫酸 钡砂浆	5.1	PET/CT 扫描床中心距北墙外 30cm 处的 最近距离	1.42×10^{-1}
		南墙外 30cm	控制室	370mm 厚实心砖墙+2mmPb 硫酸 钡砂浆	5.27	PET/CT 扫描床中心距南墙外 30cm 处的 最近距离	3.96×10^{-2}
		西墙外 30cm	患者走廊	200mm 厚实心砖墙+8mmPb 硫酸 钡砂浆	3.1	PET/CT 扫描床中心距西墙外 30cm 处的 最近距离	2.21×10^{-1}

房间/ 通道	源强 (MBq)	位置	关注点名称	屏蔽措施	衰减距离		估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
					数值 (m)	取值说明	
		东墙外 30cm	办公室	370mm 厚实心砖墙+8mmPb 硫酸 钡砂浆	3.27	PET/CT 扫描床中心距东墙外 30cm 处的 最近距离	4.47×10^{-2}
		南防护门 外 30cm	控制室	15mmPb 铅防护门	5.27	PET/CT 扫描床中心距南防护门外 30cm 处的最近距离	1.66×10^{-1}
		西防护门 外(患者走 廊) 30cm	患者走廊	12mmPb 铅防护门	3.1	PET/CT 扫描床中心距西防护门外 30cm 处的最近距离	7.29×10^{-1}
		西防护门 外(设备 间) 30cm	设备间	12mmPb 铅防护门	3.1	PET/CT 扫描床中心距西防护门外 30cm 处的最近距离	7.29×10^{-1}
		南观察窗 外 30cm	控制室	15mmPb 铅玻璃	5.27	PET/CT 扫描床中心距南观察窗外 30cm 处的最近距离	1.66×10^{-1}
		楼上 30cm	肿瘤内科病房	120mm 厚混凝土+14mmPb 铅板	4.6	净空高度 4.68m, PET/CT 扫描床放置在 距地面 0.5m 处, 楼板厚度 0.12m, 则与 楼上海面 30cm 处的距离为 4.6m	5.22×10^{-2}
		楼下 30cm	直线极速器控制室	1500mm 厚混凝土+5mmPb 硫酸钡 砂浆	2.3	地下楼板厚 1.5m, PET/CT 扫描床放置 在距地面 0.5m 处, 则与楼下顶板 30cm 处的距离为 2.3m	2.56×10^{-1}
送药 路线	1110 (每 次送药 最大剂 量)	南墙外 30cm	4 号楼内走廊	370mm 厚实心砖墙+4mmPb 硫酸 钡砂浆+40mmPb 铅罐	3.45	送药路线与南墙外 30cm 处的最近距离	1.17×10^{-2}
		西防护门 外 30cm	院内道路	15mmPb 铅防护门+40mmPb 铅罐	2.45	送药路线与西防护门外 30cm 处的最近 距离	1.29×10^{-1}
		东防护门 外 30cm	医护人员缓冲间	6mmPb 铅防护门+40mmPb 铅罐	2.65	送药路线与东防护门外 30cm 处的最近 距离	3.83×10^{-1}

由上述所有理论估算结果可知：

本项目 PET 中心具有良好的屏蔽防护设计，控制区防护门、窗、墙、顶、地面外的关注点辐射剂量率最大值为 $2.43\mu\text{Sv/h}$ （患者注射位置南侧防护门外 30cm 处，急救室），所有控制区关注点辐射水平均未超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。满足《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20 号）对辐射工作场所的屏蔽要求“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 $10\mu\text{Sv/h}$ ”。注射后休息室东防护门外 30cm 处（患者走廊）、患者注射位置南侧防护门外 30cm 处（急救室）的剂量率估算结果大于 $2.0\mu\text{Sv/h}$ ，小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，偏大。两处居留因子分别为 1/16、1/4，均不大于 1/2，不属于人员经常居留的区域。本次评价要求医院应严格按照设计文件安排各房间用途，不得随意变更急救室作为其他房间使用，避免出现辐射剂量率、年有效剂量超标的情况。

11.2.2 PET/CT 射线装置工作影响及叠加影响预测

为分析本项目 PET/CT 机房工作时周围的辐射水平，本次评价收集了《福建医科大学附属第二医院东海分院核技术利用项目竣工环境保护验收监测报告表》中 Brilliance CT BigBore 型的 X 射线计算机断层摄影设备（CT 模拟定位系机）进行类比分析。类比可行性及检测结果见下表。

表 11.2.2 PET-CT 类比条件一览表

项目	类比对象	本项目 PET/CT	对比结果
管电压	140kV	140kV	一致
管电流	500mA	1000mA	接近
四壁屏蔽	24cm 实心砖+4mmPb 铅木复合板	东墙 37cm 厚实心砖墙+8mmPb 硫酸钡砂浆；南墙 37cm 厚实心砖墙+2mmPb 硫酸钡砂浆；西、北墙 20cm 厚实心砖墙+4mmPb 硫酸钡砂浆	本项目优
顶板	100mm 混凝土+1.5mmpb 防护涂料（约合 2.5mmPb）	12cm 混凝土+14mmPb 铅板	本项目优
地面	/	20cm 混凝土+5mmPb 硫酸钡砂浆	/
防护门	3.0mmPb	15mmPb	本项目优
观察窗	3.0mmPb	15mmPb	本项目优

表 11.2.3 福建医大二院东海分院 CT 模拟定位机机房周围当量剂量率监测结果

序号	点位名称	环境空气比释动能率 ($\mu\text{Sv/h}$)		附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
		关机	开机	
1#	机房防护门外 30cm 处（上侧）	0.13	0.14	0.01
2#	机房防护门外 30cm 处（下侧）	0.12	0.15	0.03
3#	机房防护门外 30cm 处（左侧）	0.13	0.14	0.01
4#	机房防护门外 30cm 处（右侧）	0.13	0.17	0.04
5#	机房防护门外 30cm 处（中侧）	0.12	0.15	0.03
6#	铅玻璃观察窗外表面 30cm（上侧）	0.13	0.17	0.04
7#	铅玻璃观察窗外表面 30cm（下侧）	0.14	0.18	0.04
8#	铅玻璃观察窗外表面 30cm（左侧）	0.16	0.14	0.00
9#	铅玻璃观察窗外表面 30cm（右侧）	0.15	0.15	0.00
10#	铅玻璃观察窗外表面 30cm（中侧）	0.13	0.14	0.01
11#	控制室操作位	0.15	0.17	0.02
12#	机房北墙外 30cm 处	0.14	0.14	0.00
13#		0.15	0.15	0.00
14#	机房东墙外 30cm 处	0.15	0.16	0.01
15#		0.16	0.18	0.02
16#	管线口	0.14	0.15	0.01
17#	机房正上方院内地面停车场离地 100cm 处	0.15	0.17	0.02
18#		0.15	0.18	0.03

对比表 11.2.3 的验收数据可知，设备在正常运行情况下，对控制室（观察窗、操作位）的附加辐射当量剂量率最大值为 $0.04\mu\text{Sv/h}$ ，对机房周围其他区域最大附加辐射当量剂量率为 $0.04\mu\text{Sv/h}$ 。从表 11.2.1 可以看出，服药后病人在 PET/CT 机房距 PET/CT 机房的防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率在 $0.0396\sim 0.729\mu\text{Sv/h}$ 之间，叠加类比数据后，仍低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《核医学科放射防护要求》（GBZ 120-2020）中的相关要求。

11.2.3 取药、分装、注射、摆位时辐射剂量率预测

（1）分装过程：本项目采用手套箱自动分装，因此不考虑分装过程对工作人员的影响。

（2）取药、注射过程：按患者单次最大注射 ^{18}F 为 $3.70\times 10^8\text{Bq}$ （10mCi）进行预测，取药过程工作人员穿着 0.5mmPb 铅当量防护衣，用防护转运盒（防护效果为 12mmPb 铅当量）将套有注射器防护套（防护效果为 5mmPb 铅当量）的注射器提至注射防护装置外，取药过程药物距离身体约 50cm；注射时，注射人员穿着 0.5mmPb 当量防护衣，通

过 50mmPb 铅当量注射防护窗对患者进行注射，注射过程药物距离身体约 50cm。

(3) 摆位过程：按单个病人体内残余 $2.59 \times 10^8 \text{Bq}$ (7mCi) ^{18}F 点源计算，摆位过程工作人员穿着 0.5mmPb 铅当量的防护衣，在 10mmPb 铅当量防护屏风后进行摆位工作，按身体距离病人约 50cm 进行估算。

表 11.2.4 取药、注射、摆位时 γ 辐射剂量率预测结果

操作过程	关注点描述	估算条件	活度 (Bq)	屏蔽措施	衰减距离 r (m)	估算结果 ($\mu\text{Sv/h}$)
取药	工作人员 (护士)	1 人次	3.70×10^8	0.5mmPb 铅衣 +12mmPb 防护套 +5mmPb 注射器	0.5	18.7
注射		1 人次	3.70×10^8	0.5mmPb 铅衣 +5mmPb 注射器 +50mmPb 防护窗	0.5	0.096
摆位	工作人员 (技师)	1 人次	2.59×10^8	0.5mmPb 铅衣 +10mmPb 铅屏	0.5	34.5

从表中可以看出，工作人员在摆位和取药过程中，工作人员受到的辐射剂量也较大。

11.2.4 校准源的环境影响

PET/CT 使用 2 枚 ^{68}Ge 和 2 枚 ^{57}Co 校准源。一般情况下 1 枚放射源位于设备机头屏蔽罐内，另外的放射源储存在储源防护保险柜内，每月进行图片质量校准时从储源防护保险柜中取出放置在需要校准的设备上采集信息。处于贮存状态时，贮存容器和机房的屏蔽设施能够有效屏蔽 γ 射线对周围环境的影响。校准状态时，在设备自带屏蔽体和机房防护设施的屏蔽下，其对周围环境的影响也可以忽略不计。

校准时间选择在非运营时间，因此不会有非相关人员进入。专门负责的校准工作人员穿着铅衣在设备的机房对机器进行校准，且本项目使用的校准源活度较低，校准源使用过程中对周围环境影响很小，对工作人员的剂量贡献较低。

11.2.5 周边核技术利用项目对本项目工作场所的辐射剂量率影响

本项目计划建设于院区东侧 4 号楼一层，目前 4 号楼在用的核技术利用项目项目为：4 号楼一层东侧核医学科以及 4 号楼负一层直线加速器。根据前文表 8 “环境质量和辐射现状”，本次评价的 γ 辐射剂量率检测期间 4 号楼一层东侧核医学科（本项目东侧）、4 号楼负一层直线加速器项目（本项目楼下）的核技术利用场所正常运行。根据监测结果，本项目所在地及工作场所的 γ 辐射剂量率不高于正常环境本底水平。因此可以推断周边核技术利用项目工作场所对本项目的叠加影响较小，周边核技术利用项目造成的辐射影响几乎全部湮灭在环境本底中。

11.2.6 保护目标有效剂量估算

根据表 11.2.1 预测的各关注点处辐射剂量率，结合工作时间、辐射工作人员和公众居留因子，代入公式 11-2，即可得到各关注点处公众及辐射工作人员的年受照剂量。

(1) 工作人员

本项目 PET 中心拟安排辐射工作人员 5 人：负责分装、注射的核素操作人员 3 人，负责扫描、摆位的 SPECT/CT 操作人员 2 人；医院安排轮岗，轮流值班分摊注射以及扫描、摆位的工作量。因此本项目分装、注射工作人员工作时间为年诊断时间的 1/3，扫描、摆位工作人员工作时间为年诊断时间的 1/2。本项目每日最大诊断患者数量为 30 人，每周工作 5 天，每年工作 50 周。

表 11.2.5 本项目辐射工作人员年受照剂量计算一览表

序号	人员	环节	一次受照时间 (min)	年照射时间 (h/a)	吸收剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子 1)	年受照剂量 (mSv/a)
1	护士	取药	2	250	18.7	1/3	1.558
2		注射	1	125	0.096	1/3	0.004
3		小计	/	/	/	/	1.562
4	技师	摆位	1	62.5 ^①	34.5	1/2	1.078
5		扫描	10	1250	0.729 ^②	1/2	0.456
6		小计	/	/	/	/	1.534

注：①按一半的病人需要摆位计， $1\text{min} \times 15\text{人} \times 250\text{天} = 62.5\text{h/a}$ ；②表 11.2.1 控制室最大预测值。

从预测结果看，本项目工作人员最大年吸收剂量为 1.562mSv，低于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）提出的工作人员管理限值（5mSv/a）。

(2) 公众

医院 4 号楼及周边的公众受照剂量率根据表 11.2.1 相应预测点预测结果取值。

本项目东侧最近的公众居留场所为 4 号楼门厅，距本项目给药后患者活动区域的最近距离约为 14m，中间至少隔有一堵防护墙（患者走廊东墙，370mm 厚实心砖墙+4mmPb 硫酸钡砂浆），在保守估算不考虑其他墙体、门的情况下，4 号楼门厅处的剂量率约为 0.00607 $\mu\text{Sv/h}$ ；4 号楼东侧距离更远的核医学科、院内道路、印斗北路均按照此剂量率保守进行年附加剂量估算。

本项目北侧最近的公众居留场所为 4 号楼北侧院内道路，其在表 11.2.1 中的最大预测结果为 0.142 $\mu\text{Sv/h}$ ，4 号楼北侧距离更远的配电室也按照此剂量率保守进行年附加剂量估算。

本项目南侧距离最近的公众居留场所为 4 号楼楼前停车场，距本项目给药后患者活

动区域的最近距离约为 20m，中间至少隔有一堵防护墙（患者走廊南墙，200mm 厚实心砖墙+8mmPb 硫酸钡砂浆），在保守估算不考虑其他墙体、门的情况下，4 号楼楼前停车场的剂量率约为 0.00757 μ Sv/h；4 号楼南侧距离更远的设备房也按照此剂量率保守进行年附加剂量估算。

本项目西侧医院 2 号楼距本项目给药后患者活动区域的最近距离约为 30m，中间至少隔有一堵防护墙（注射后休息室西墙，370mm 厚实心砖墙+6mmPb 硫酸钡砂浆），在保守估算不考虑其他墙体、门的情况下，西侧医院 2 号楼的剂量率约为 0.001 μ Sv/h。

表 11.2.6 本项目周围公众年照射剂量计算一览表

公众		剂量率 (μ Sv/h)	年辐照时间 (h)	居留 因子	年受照剂量 (mSv/a)
本项目医生办公室、打片室工作人员		0.0447	2000	1	0.0894
本项目设备间工作人员		0.864	2000	1/20	0.0864
4 号楼内的医护人员和病人及其陪护家属	4 号楼东侧核医学科	0.00607	2000	1/2	0.00607
	4 号楼门厅	0.00607	2000	1/20	0.000607
	楼上肿瘤内科病房走廊	0.0854	2000	1/16	0.018
	楼上肿瘤内科病房	0.0854	2000	1/2	0.0854
	楼下直线加速器机房	0.0000189	2000	1	0.00004
4 号楼北侧院内道路流动人员		0.142	2000	1/40	0.0071
4 号楼北侧配电室工作人员		0.142	2000	1/20	0.0142
4 号楼南侧停车场流动人员		0.00757	2000	1/40	0.000525
4 号楼南侧设备房工作人员		0.00757	2000	1/20	0.00105
4 号楼西侧院内道路流动人员		0.129	2000	1/40	0.00645
4 号楼西侧 2 号楼医护人员和病人及其陪护家属		0.001	2000	1/2	0.001
4 号楼东侧院内道路流动人员		0.00607	2000	1/40	0.0003
4 号楼东侧院外印斗北路流动人员		0.00607	2000	1/40	0.0003

注：居留因子参考《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）附录 A 取值；年辐照时间按照本项目年工作时间 250 天 \times 8h 计。

根据上表估算得，本项目公众年有效剂量最大为 0.0894mSv，低于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）提出的剂量约束值（公众人员 0.1mSv/a）。

11.2.7 β表面污染控制分析评价

β表面污染主要是由放射性药物洒落或者施用放射性药物的病人随地吐痰、排泄引起。医院已有的非密封放射性物质工作场所运行至今未发生放射性药物洒落事故，且本项目的放射性药品底部设置托盘，发生放射性药品洒落的几率很小。在注射和服用药物后，医生将叮嘱病人严禁随地吐痰，防止对地面产生β表面污染。本项目在注射后等候室中设置病人专用卫生间，施用放射性药物病人排泄物统一收集，防止β表面污染。此外，每次工作结束后，本项目工作人员将对项目辐射工作场所进行β表面污染巡测，检测人员在检测过程中，注意保护表面污染检测仪不被沾污，在检测工作结束后，用检测仪器对自身的表面污染水平进行评估，特别是鞋底部分。

通过以上分析可知，在正常情况下，放射性药物产生的β表面污染较小。

11.2.8 PET/CT 机房屏蔽效果

本项目使用的 PET/CT，属于III类射线装置，最大管电压 140kV。本次评价采用的《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）表 3 中，给出了不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求。本项目 PET/CT 机房，GBZ 130-2020 要求有用束方向和非有用束方向铅当量均不小于 2.5mmPb。本项目 CT 机房的四周墙壁、屋顶、防护门窗等效铅当量均符合 GBZ 130-2020 要求，详见下表。

表 11.2.5 PET/CT 机房屏蔽防护及等效屏蔽一览表（140kV）

屏蔽方位	屏蔽材料及屏蔽厚度	等效铅当量	GBZ 130-2020 标准铅当量要求
东墙	370mm 厚实心砖墙+8mmPb 硫酸钡砂浆	不低于 8mmPb	2.5mmPb
南墙	370mm 厚实心砖墙+6mmPb 硫酸钡砂浆	不低于 6mmPb	
西、北墙	200mm 厚实心砖墙+6mmPb 硫酸钡砂浆	不低于 6mmPb	
铅观察窗	15mmPb 铅玻璃	15mmPb	
屋顶	120mm 混凝土+14mmPb 铅板	不低于 14mmPb	
地板	200mm 混凝土+5mmPb 硫酸钡砂浆	不低于 5mmPb	
防护门（控制室）	15mmPb 铅防护门	15mmPb	
防护门（患者通道、设备间）	12mmPb 铅防护门	12mmPb	

11.3 三废的环境影响分析

本项目运行过程中的放射性废水均由屏蔽良好的专用管道收集后流入放射性衰变

池，采用 4 个衰变池贮存衰变方式。本项目放射性废水的衰变池具有足够的容积，满足 HJ 1188-2021 “所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放”的放射性废水贮存要求。医院安排专人管理放射性废水衰变及排放系统，每次排放都确保放射性废水总排放口在接入医院污水管网之前，达到“总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ”的要求。医院放射性废水治理措施满足 HJ 1188-2021 对放射性废水的所有要求。

本项目分装用铅手套箱内部排风风速不小于 0.5m/s。项目运行过程中，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，工作场所排风风量大于新风风量维持负压和各区之间的压差。负压通风的排风，铅手套箱的排风，由活性炭过滤后，从各自独立的通风管道最终引至 4 号楼楼顶且高出的排风口排放。放射性废气排放口高度为 23.8m，与高层周边环境敏感点的距离不低于 50m。通风系统定期更换的活性炭过滤将作为放射性固废收集和处理。上述场所和铅手套箱的通风设计均满足 HJ 1188-2021 对放射性废气的所有要求。

本项目运行过程中，PET 中心放射性固废就近存放在放射性废物间内，分类按序存放。无论是临时贮存的铅废物桶还是放射性废物间，均具有足够的容积和良好的屏蔽。放射性固废暂存 30 天（ $T < 24\text{h}$ 的核素）后，确认满足清洁解控水平（经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染 $< 0.08\text{Bq/cm}^2$ ， β 表面污染 $< \text{Bq/cm}^2$ ），再作为医疗废物处置。满足 HJ 1188-2021 对放射性固废的所有要求。

本项目 PET/CT 拟配备 2 枚 ^{68}Ge 源、2 枚 ^{57}Co 源，单枚活度分别为 $7.4\text{E}+7\text{Bq}$ 和 $1.17\text{E}+8\text{Bq}$ ，属 V 类密封源，约 2 年更换一次，退役时单枚的活度不超过 $1.2\text{E}+7\text{Bq}$ 。医院拟将该退役源送交原生产厂家回收，此举满足《中华人民共和国放射性污染防治法》对 V 类放射源的退役处置要求。

11.4 辐射事故影响分析

本次评价主要考虑 PET/CT 误照射和放射性药物失控对环境的影响。

（1）辐射工作人员、检查管理人员或检修维护人员在 CT 设备开机状态下误入、滞留机房造成的误照射。

（2）由于工作人员操作不熟练或违反辐射操作规程或误操作等其他原因造成的放射性药物泄漏，造成意外照射和辐射污染。

（3）保管不善造成放射性药物丢失，造成对公众和周围环境辐射污染。

(4) 核素治疗患者注射后未按规定线路离开，随意走动，导致对医护人员或公众遭受较大的外照射。

(5) 注射器排气时挤出放射性药物、注射器和药管有损漏以及注射针头没有装牢固，导致放射性药物漏洒。

(6) 放射性废物管理不善

①放射性废水未经足够的时间衰变即进行排放，使排放超出规定的限值，可能对环境或人体造成一定的危害。

②放射性固体废物未经足够的时间衰变，存放时间过短即进行擅自处理，可能造成污染和对公众造成危害。

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

(1) PET/CT 机房上设置了工作状态指示灯和警示标识，摆位技师或维修人员在防护门关闭后尚未撤离机房，可利用机房防护门内与控制室设置的人工紧急停机；另外，机房内设置的监控对讲系统也能很好的避免此类事故发生。

(2) 制定完善的操作规程，对操作人员定期培训，使之能熟练操作，严格依照操作规程操作，减少药物撒漏事故的发生。若发生撒漏等事故后，应迅速用药棉或纸巾从污染区的边沿向中心进行擦抹，以防止污染扩散，并采用塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，直至擦干污染区。用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染不能满足 GB 18871-2002 要求（即控制区的工作台、设备、墙壁、地面小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，监督区的工作台、设备、墙壁、地面小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，工作服、手套、工作鞋小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，手、皮肤、内衣、工作袜小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ），应采用酒精浸湿药棉或纸巾继续擦拭，直到满足 GB 18871-2002 要求。擦拭物应收集到放射性固体废弃物衰变桶中，作为放射性固体废物进行管理。

(3) 制订和完善放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用和登记工作，确保放射性药物的安全。

(4) 加强对患者的管理，严禁注射后的患者随地吐痰；在不影响诊断的情况下限制用药量；向出院受检者提供与他人接触的辐射防护书面指导，减少受检者对亲友之间的受照量。

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

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

(7) 将本项目纳入辐射事故应急预案体系中，并定期演练。发生辐射事故时，单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要的防护措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护主管部门、公安部门和卫生部门报告。

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

12.1.1 机构设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定，使用乙、丙级非密封放射性物质工作场所、使用Ⅴ类源和Ⅲ类射线装置的单位，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。

医院已成立了由院党委书记为组长的辐射安全与防护管理领导小组，指定专人负责辐射安全与环境保护管理工作，并明确了管理小组的工作职责，满足环保相关管理要求。

12.1.2 辐射工作人员的配备、培训、体检、个人剂量情况

依据《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》的规定，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。

本项目拟安排的辐射工作人员 5 人，均为新增人员，新进的辐射工作人员应及时在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加培训，经考核合格后方可上岗，辐射工作人员每 5 年应接受一次再培训。

新录用或调入的拟从事放射诊疗的人员必须进行上岗前职业健康检查，符合《放射工作人员健康标准》的方可从事放射诊疗工作。放射工作人员在工作期间必须按规定佩带个人剂量计，每 3 个月检测一次，一年四次，并按时定期送检。检测结果抄录在《放射工作人员证》中。所有放射工作人员上岗后间隔不超过 2 年进行一次职业健康检查。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的有关要求，使用射线装置的单位要健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、使用登记制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施。

医院已根据现有核技术利用项目和本项目具体情况制定了相关的辐射安全管理

制度，主要有《放射工作人员放射防护培训制度》、《放射工作人员个人剂量监测制度》、《放射诊疗安全防护管理制度》、《放射事故应急处理预案》等。针对本项目，本报告对现有的相关管理制度提出如下建议和要求：

（1）操作规程方面：针对本次拟使用各类放射性药物，考虑核素特性，应明确 PET/CT 显像检查的详细具体步骤，以及操作过程中采取的具体防护措施。重点是：

①严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故。②从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪或剂量检测仪器，正确使用和穿戴个人防护用品。③伴有强 γ 外照射的操作，应注重提高操作熟练程度，合理使用时间防护、距离防护和屏蔽防护。④液体放射性药物的分装及注射等操作，应在铺有吸水纸的塑料或不锈钢等易去污的台面上或搪瓷盘内进行。⑤不应裸手直接进行非密封放射性物质操作和去除放射性污染操作，在非密封开放性工作场所严禁吸烟、进食。⑥放射性“三废”的处理，需严格按照操作规程执行。在铅手套箱内进行放射性核素操作前务必提前打开排风装置，保持铅手套箱在整个操作过程中的负压排气状态，避免放射性气溶胶的溢出。⑦建立清洁卫生制度，明确污染区清洁工具专用，不得拿至其他区（室）使用，以防污染扩散。

（2）岗位职责方面：医院岗位职责制度还应明确辐射管理人员、放射性同位素台账管理人员、放射性药物分装注射人员、预约登记叫号人员、保洁人员等的岗位职责，并落实到人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

（3）辐射防护和安全保卫方面：医院应针对本次新增项目，重点完善，①确保放射性药物的安全保管和使用，定期查验。②定期检查相关的辐射安全装置和监测仪器，如控制区出入口的单向门禁及闭门器、环境辐射巡测仪、表面沾污仪、个人剂量报警仪等，发现问题及时修理或更换，不能存在拖延和侥幸心理；③辐射工作人员配备数量足够的放射性污染防护服、注射器铅套等个人防护用品，在开展辐射工作时正确穿戴；并为陪检者准备铅橡胶衣用于陪检时穿戴。④辐射工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护并建立个人剂量档案。

（4）放射性核素使用登记方面：医院应建立核素的使用登记台账，从购入到使用均有据可查，并有专人管理，确保正确无误，帐物相符。

（5）设备维修方面：主要是针对 PET/CT 设备、铅手套箱、活度计、辐射检测仪器的维护维修。还需补充放射性废水系统和放射性废气通风系统、放射性废物间等三废处理设施在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保放射性废水

贮存衰变系统的定期检查检测、放射性废气过滤装置的定期更换、放射性固废贮存衰变的安全有效运转。

（6）人员培训方面：医院已建立人员培训计划制度，明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。取得核技术利用辐射安全与防护考核合格成绩单的人员，应当每五年重新培训考核。

（7）监测方案方面：辐射监测主要包括环境监测、场所监测以及个人剂量监测及相关记录档案等内容，医院辐射环境监测方案应包括上述内容，并明确监测频次、监测项目等。具体内容可参考本报告辐射监测章节制定。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求，使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告（含监测报告）。年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

（8）事故应急方面：根据《核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲（试行）的通知》和《福建省生态环境厅关于印发福建省辐射事故应急预案的函》要求，医院已制定辐射事故应急预案，并成立院领导带头的辐射事故应急领导小组。针对可能产生的辐射污染情况制定事故应急制度，该制度要明确事故情况下应采取的防护措施和执行程序，有效控制事故，及时制止事故的恶化，保证及时上报、渠道畅通，并附上各联系部门及联系人的联系方式。同时根据本单位实际情况，每年至少开展一次综合或单项的应急演练，并做好记录。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测设备配置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的要求，使用非密封放射性物质的单位应“配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测设备”，“对直接从事生产、销售、使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案”。

医院为本项目 PET 中心配备 1 台环境辐射巡测仪，用于辐射工作场所定期自行检测；配备 2 台表面沾污仪，用于非密封工作场所的表面污染检测，以及供辐射工作人员从卫生通过间离开时进行手、足、物品的表面污染监测，避免将放射性核素污染带

出（超标即去污）；配备 2 台个人剂量报警仪，用于 PET/CT 机房及控制区、监督区日常工作过程中瞬时辐射剂量的报警。PET 中心需购置上述辐射监测仪器，方能及时了解辐射工作场所辐射水平及辐射工作人员的受污染情况。以上方能满足辐射监测仪器配备要求。

12.3.2 辐射工作场所监测

（1）日常监测计划

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的相关要求，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托有资质的环境监测机构进行监测，定期将监测结果及时上报生态环境部门，以便了解和监护防护设施的运行情况，为下一步辐射防护决策提供科学技术依据。

具体监测方案如下：

①每年委托有资质的单位对辐射工作场所及周围环境辐射水平进行监测，于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

②监测项目： γ 辐射剂量率、 β 表面污染、衰变池出口总 α 、总 β 、废气排放口放射性活度。

③监测频度：见表 12.3.1。

④监测范围：主要对辐射工作场所及周围进行监测，其中，重点对控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面进行辐射水平的监测；重点对操作台、设备表面、墙壁和地面、注射后休息室、留观室、衰变桶和包装袋表面，以及工作人员的手、皮肤暴露部分和工作服、手套、鞋、帽等进行表面放射性污染的监测。

⑤定期检查工作场所的辐射水平，周期：每月 1 次；定期检查工作场所的表面放射性污染，周期：每次工作结束。

（2）本项目验收监测计划

本项目工作场所建成后，及时组织开展竣工环保验收工作，并根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）以及《核医学科放射防护要求》（GBZ 120-2020）中相关规定对辐射工作场所开展竣工环保验收监测。本项目竣工环境保护验收辐射监测内容包括辐射工作场所、敏感点和“三废”监测，本项目竣工环境保护验收辐射监

测计划见表 12.3.1。

12.3.3 个人剂量监测

所有进入核医学科从事辐射工作的人员均需佩戴个人剂量计，按每季度 1 次的频率送相关单位进行个人剂量监测，并根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，建立个人剂量档案。医院应关注工作人员每一次的累积剂量监测结果，对监测结果超过剂量管理限值的原因进行调查和分析，优化实践行为，并向生态环境部门和卫生行政部门报告。

本项目工作人员也将委托有资质的第三方检测机构对个人剂量进行持续监测，并做好档案管理。

12.3.4 监测计划汇总

表 12.3.1 本项目辐射监测计划

监测对象	监测点位	监测方案	监测项目	年度监测频率
辐射工作场所	本项目核医学科各功能室屏蔽墙及窗外、防护门及缝隙处、操作台等，以及核医学科四周和上方以及衰变池上方活动场所、进出通道外；对操作台、设备表面、墙壁和地面、注射后休息室、留观室、衰变桶和包装袋表面，以及工作人员的手、皮肤暴露部分和工作服、手套、鞋、帽等	实测	γ 辐射剂量率、 β 表面污染	每年 1 次委托有资质单位监测； 辐射水平：每月 1 次设备科巡测； 表面放射性污染：每次工作结束
敏感点	4 号楼二层肿瘤内科病房、4 号楼负一层直线加速器机房及控制室、4 号楼周边院内道路、停车场、设备房、医院东侧印斗北路	实测	γ 辐射空气吸收剂量率	每年 1 次委托有资质单位监测
污染物	放射性废气排放口	实测	总放射性活度	
	槽式放射性废液衰变池出口	实测	总 α 、总 β	每次排入污水处理站前
	固废表面	实测	β 表面污染	每次清运前
辐射工作人员	佩戴个人辐射剂量计	实测	累计计量	每年 4 次委托有资质单位监测

12.4 辐射事故应急处置

医院已制定基本满足《核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲（试行）的通知》和《福建省生态环境厅关于印发福建省辐射事故应急预案的函》要求的辐射事故应急预案。辐射事故应急预案主要包括：

- （1）单位辐射项目基本情况；

- (2) 应急管理机构以及职责分工；
- (3) 辐射事故分级与类型；
- (4) 辐射事故应急处理措施；
- (5) 辐射事故的报告；
- (6) 应急终止程序与后续整改；
- (7) 应急预案的管理；
- (8) 应急工作流程图及相关人员/部门联系电话；
- (9) 辐射事故初始报告表格式。

医院在持有辐射环境安全许可证期间，未发生辐射事故。

医院应加强职工辐射防护知识的培训，学习结束后应进行总结，积极开展辐射应急演练，发现问题及时解决，尽可能避免辐射事故的发生。

发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后 2 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告。同时，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

12.5 建设项目竣工环境保护验收一览表

表 12.5.1 本项目竣工环境保护验收一览表

验收项目	验收内容	验收标准及要求
辐射安全管理机构	医院成立辐射安全与环境保护管理领导小组，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规中辐射安全管理的要求
辐射工作场所分区	PET/CT 辐射工作场所按其功能划分为控制区和监督区，并实施分区管理。控制区包括：PET 中心分装室、配套的放射性废物间、注射后休息室（含卫生间）、VIP 注射后休息室（含卫生间）、留观室（含卫生间）、急救室、PET/CT 机房的扫描间、PET/CT 机房的设备间、相应的患者通道、放射性废水衰变间。监督区包括：其余区域，如各辐射工作场所的卫生通过间、缓冲间和配套的淋浴间、机房的控制室、打片室、办公室	满足 GB 18871-2002 和 HJ 1188-2021 中的辐射工作场所分区规定
		满足 HJ 1188-2021 和《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20

辐射安全和防护措施	<p>屏蔽措施： 控制区均采取实体屏蔽方式，墙体主要采取混凝土或水泥砖+硫酸钡墙体，顶棚采取混凝土+铅板，防护门窗采取含铅门窗。拟设置铅屏风、铅废物桶等。详见表 10.2.1。</p>	<p>号) 中屏蔽要求和剂量约束值要求： ①辐射工作场所的屏蔽要求 “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 $10\mu\text{Sv/h}$”；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 $25\mu\text{Sv/h}$。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 $2.5\mu\text{Sv/h}$； ②项目辐射工作人员、周围公众年剂量满足 GB 18871-2002 中剂量限值要求和 HJ 1188-2021 剂量约束值要求：职业人员年剂量不超过 5mSv/a，公众年剂量不超过 0.1mSv/a</p>
	<p>辐射安全和防护措施： （1）电离辐射警告标志及控制区、监督区标志：本项目的控制区出入口，放射性衰变池盖板，放射性废物桶表面设置符合 GB 18871-2002 规范的电离辐射警告标志。在控制区和监督区总出入口分别张贴控制区和监督区标示和患者导向标识或提示； （2）III类射线装置机房的工作场所防护：按 GBZ</p>	<p>符合 GB 18871-2002、HJ 1188-2021、GBZ 120-2020、GBZ 130-2020 以及《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中的相关要求，符合本项目的辐射安全需要</p>

	<p>130-2020 设置 CT 机房的工作状态指示灯和放射防护注意事项，闭门装置；</p> <p>（3）辐射防护用品：按表 10.3.2 为辐射工作人员和患者配备足够种类足够数量的辐射防护用品，以及辐射事故应急包；</p> <p>（4）带药患者辐射安全管理措施：通过设置监控叫号、单向门、闭门器、门禁等实现对控制区内带药患者的监督管理；</p> <p>（5）放射性药物及放射源的安全管理措施：放射性药物按需订购，医院指定专人负责药物的接收登记及使用记录，确保帐物相符。V类源存放在双人双锁带铅屏蔽的放射源保险箱内</p>	
三废处理措施	<p>医院放射性衰变池为槽式衰变结构，短半衰期放射性废水确保每次排放时已暂存超过 30 天，可直接排放。每次排放都确保放射性废水总排放口在接入医院污水管网之前，达到“总$\alpha \leq 1\text{Bq/L}$、总$\beta \leq 10\text{Bq/L}$”的要求</p> <p>其中医护人员缓冲间、分装室、急救室、废物间、注射后休息室、VIP 注射后休息室、留观室、患者通道以及休息室/留观室的卫生间产生的放射性废气由支管道汇入主管道后，最终引至 4 号楼楼顶的活性炭过滤装置处理后排放（排气筒距地面高度 23.8m）；手套箱设置独立的净化通风系统（风速不小于 0.5m/s），排风口引至 4 号楼楼顶的活性炭过滤装置处理后排放（排气筒距地面高度 23.8m）；PET/CT 机房也设置单独的排风系统，排风口引至 4 号楼楼顶的活性炭过滤装置处理后排放（排气筒距地面高度 23.8m）</p> <p>PET 中心因放射性药物分装及注射产生的放射性固废，装袋标记日期后按序暂存于放射性废物间内。经过 30 天的暂存，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 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理；通风装置设置的吸附用活性炭过滤器等应根据设备厂家提供的更换周期定期更换，更换下来的活性炭过滤器根据过滤核素半衰期作为相应放射性固废处理。退役V类源送交原生产厂家回收</p>	符合 H J1188-2021 中对放射性三废处置相关要求
人员配备	<p>所有辐射工作人员均持有效期内的辐射安全培训证书/合格成绩单</p> <p>所有辐射工作人员均配备个人剂量计，并定期（不超过 3 个月/次）送有资质部门进行监测，建立辐射工作人员个人剂量档案</p>	<p>满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《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》中人员培训要求</p> <p>满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《职业性外照射</p>

		个人监测规范》中个人剂量监测的要求
	所有辐射工作人员均定期（不少于1次/2年）进行职业健康体检，建立辐射工作人员职业健康档案	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中职业健康体检的要求
监测	配备1台环境辐射巡测仪	仪器配备齐全后，方满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中监测仪器配备的要求
	配备2台表面沾污仪，放置于本项目控制区的出入口	
	配备2台个人剂量报警仪，其中一台放置于PET/CT机房操作室	
辐射安全管理	应针对本项目具体情况补充完善辐射安全管理制度，制度主要应包括：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、放射性同位素、射线装置使用登记制度、人员培训计划、个人剂量监测方案、辐射环境监测方案、放射性三废管理制度、事故应急预案。其还应在之后的实际工作中不断根据法律法规及实际情况对各管理制度进行补充和完善	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射安全管理的要求，满足本项目辐射工作需要

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

厦门医学院附属第二医院位于厦门市集美区盛光路 566 号，为保障厦门市集美区及其周边地区的医疗服务，提高医院服务质量及服务水平，厦门医学院附属第二医院计划在本院内 4 号楼新增 PET/CT 放射诊断项目，用于开展医学诊断、教学、科研等工作。

厦门医学院附属第二医院计划利用院区东侧 4 号楼一层新增 PET/CT 放射诊断项目，并配套在 4 号楼西侧楼外新建槽式放射性废水衰变池。4 号楼一层目前现有厦门医学院附属第二医院核医学科在用，本次主要在原有结构基础上建设 PET/CT 工作场所、其他工作用房以及放射性废水衰变池，并对内部进行建设、改造、装修以及设备安装，设置防护门、防护窗和动力通风装置等防护措施。医院计划新增 1 台 PET/CT，配套使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 用于显像检查诊断，使用 ^{68}Ge 、 ^{57}Co 用于衰减校准。

13.1.2 选址合理性分析

本项目设置于医院内 4 号楼西侧，位置相对独立，充分考虑周围场所的安全，不毗邻产科、儿科、食堂等部门，与周边非放射性工作场所不交叉，尽可能做到相对独立布置和集中设置，有单独出、入口，出口不设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。本项目辐射工作场所四周人员停留较少，项目 50m 评价范围大部分位于医院内（评价范围仅东侧少部分涉及院外印斗北路），经防护设施、距离以及楼内隔室墙体衰减后，对周围环境影响不大。综上所述，项目选址考虑了周边及楼上情况，避开人群聚集区，按照设计的防护措施，运行时对周围环境辐射影响小。因此，项目选址是合理的。

13.1.3 辐射安全与防护分析结论

（1）辐射安全设施

由辐射工作场所的辐射防护措施分析可知，医院 PET/CT 机房屏蔽墙体厚度、最小有效使用面积、最小单边长度等防护设施的技术要求总体上满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关要求。

本项目采取的屏蔽墙体、防护门和窗等有效屏蔽设施能满足辐射防护要求。场所

布局较为合理，辐射工作场所控制区和监督区划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求。同时本项目按《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）以及《核医学科放射防护要求》（GBZ 120-2020）相关要求对屏蔽防护进行了设计，并设置相应放射防护措施；设有槽式放射性废液衰变池、放射性废物桶、放射性固体废物暂存间、通风系统及活性炭过滤装置等三废处置设施；配备相应的个人防护用品以及应急去污用品。本项目工作场所防护设施满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）以及《核医学科放射防护要求》（GBZ 120-2020）等标准的要求。

（2）辐射安全管理

厦门医学院附属第二医院已成立放射防护管理领导小组，已制定了较为完善的辐射安全管理制度和放射工作流程。本项目辐射工作人员均为新增人员，新进的辐射工作人员应及时在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台参加培训，经考核合格后方可上岗。在认真落实以上辐射安全管理制度的情况下，本项目辐射安全管理能满足辐射安全管理要求。

13.1.4 环境影响评价结论

（1）辐射工作人员及公众年附加剂量

本项目 PET 中心具有良好的屏蔽防护设计，控制区防护门、窗、墙、顶、地面外的关注点辐射剂量率最大值为 $2.43\mu\text{Sv/h}$ （患者注射位置南侧防护门外 30cm 处，急救室），所有控制区关注点辐射水平均未超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。满足《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函[2023]20 号）对辐射工作场所的屏蔽要求“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 $10\mu\text{Sv/h}$ ”。本项目辐射工作人员年有效剂量最大为 1.562mSv ，公众年有效剂量最大为 0.0894mSv ，低于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）提出的剂量约束值（职业人员 5mSv/a ，公众人员 0.1mSv/a ）。

（2）事故影响

在严格落实本报告提出的各项防护措施及厦门医学院附属第二医院《辐射事故应急处理预案》的基础上，项目运行过程中可能发生的辐射事故造成的环境影响可控制

在可接受水平内。

13.1.5 “三废” 处置措施

(1) 施工期

大气：本项目在建设施工期需进行的拆除、水泥砌砖墙、涂抹硫酸钡砂浆、混凝土浇筑和铅板铺设、挖埋管道等作业，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：①及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；②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；③施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

噪声：整个建筑施工阶段，如搅拌机及载重车辆等在运行中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。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，尽量使用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业。

固体废物：项目施工期间，产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，委托有资质的公司清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落。

废水：项目施工期间，有一定量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水在施工现场内进行初级沉淀处理，并经隔渣后排；施工人员的生活污水主要依托 4 号楼内原有的生活污水处理设施处理排放。

(2) 运营期

本项目运行过程中的放射性废水均由屏蔽良好的专用管道收集后流入放射性衰变池，采用 4 个衰变池贮存衰变方式。本项目放射性废水的衰变池具有足够的容积，满足 HJ 1188-2021 “所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放”的放射性废水贮存要求。医院安排专人管理放射性废水衰变及排放系统，每次排放都确保放射性废水总排放口在接入医院污水管网之前，达到“总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ”的要求。医院放射性废水治理措施满足 HJ 1188-2021 对放射性废水的所有要求。

本项目分装用铅手套箱内部排风风速不小于 0.5m/s。项目运行过程中，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，工作场所排风风量大于新风风量维持负压和各区之间的压差。负压通风的排风，铅手套箱的排风，由活性炭过滤后，

从各自独立的通风管道最终引至 4 号楼楼顶且高出楼顶的排风口排放。放射性废气排放口高度至少为 23.8m，与高层周边环境敏感点的距离不低于 50m。通风系统定期更换的活性炭将作为放射性固废收集和处理。上述场所和铅手套箱的通风设计均满足 HJ 1188-2021 对放射性废气的所有要求。

本项目运行过程中，PET 中心放射性固废就近存放在放射性废物间内，分类按序存放。无论是临时贮存的铅废物桶还是放射性废物间，均具有足够的容积和良好的屏蔽。放射性固废暂存 30 天（ $T < 24h$ 的核素）后，确认满足清洁解控水平（经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染 $<0.08Bq/cm^2$ ， β 表面污染 $<Bq/cm^2$ ），再作为医疗废物处置。满足 HJ 1188-2021 对放射性固废的所有要求。

本项目 PET/CT 拟配备 2 枚 ^{68}Ge 源、2 枚 ^{57}Co 源，单枚活度分别为 $7.4E+7Bq$ 和 $1.17E+8Bq$ ，属 V 类密封源，约 2 年更换一次，退役时单枚的活度不超过 $1.2E+7Bq$ 。医院拟将该退役源送交原生产厂家回收，此举满足《中华人民共和国放射性污染防治法》对 V 类放射源的退役处置要求。

13.1.6 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令 29 号），本项目属于“鼓励类”中“三十七、卫生健康”中的“1、……医疗卫生服务设施建设……”项目，因此本次厦门医学院附属第二医院 PET 中心项目符合国家产业政策。

13.1.7 总结论

厦门医学院附属第二医院 PET/CT 放射诊断项目旨在保障厦门市集美区及其周边地区的医疗服务，提高医院服务质量及服务水平，建设方案中已按照环境保护法规和有关辐射防护要求进行设计，建设过程严格按照设计方案进行施工，建筑施工质量能达到要求，并且落实本次评价对该项目提出的各项辐射防护要求及措施，则本项目正常运行时，对周围环境的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护和辐射防护角度论证，该项目是可行的。

13.2 建议和要求

- （1）本环评获批后，医院应及时在全国核技术利用辐射安全申报系统中更新。
- （2）在设备安装的同时，应确保辐射防护设施和管理措施的建设，切实做到环

境保护设施和主体工程“同时设计、同时施工、同时投产”。

（3）根据《建设项目竣工环境保护验收管理办法》的规定，项目竣工后，按照规定程序开展竣工环境保护验收。验收期限一般不超过 3 个月；需要对环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。

（4）建议医院在开展辐射防护施工时，留存细致的施工记录，为后续的竣工环保验收提供依据，包括留存水泥砖墙、硫酸钡水泥涂层的密度及厚度，防护门窗所用铅厚度，以及施工过程中的电子照片档案等，供自主验收时确认。

（5）本项目系使用放射性核素的非密封辐射工作场所，当项目不再开展时，需完成非密封放射性物质工作场所的退役环评及退役手续，确保场地达到清洁解控水平，放射性“三废”得到妥善处理，方可开放场地另作他用。

（6）医院应每年安排 1~2 次应急预案模拟演练，强化避险救治常识，以培训、演练相结合，提高合作、协同的应急能力。

（7）建议医院在控制区患者出口处及衰变池范围，设置醒目的中文提示语句，如“高辐射区，危险，请勿逗留”，避免公众在其附近逗留。

表 14 审批

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