

核技术利用建设项目

漳州第三医院 PET/CT 放射诊断项目

生态环境影响报告表

（公开版）

漳州第三医院

二〇二六年九月

表 1 项目基本情况

建设项目名称		漳州第三医院 PET/CT 放射诊断项目			
建设单位		漳州第三医院			
法人代表	林*萍	联系人	谢*成	联系电话	0596-****963
注册地址		福建省漳州市龙文区迎宾大道 5 号			
项目建设地点		福建省漳州市龙文区迎宾大道 5 号医院肿瘤中心大楼一层核医学科			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）	**	项目环保投资（万元）	**	投资比例（环保投资/总投资）	**%
项目性质	☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它			占地面积（m ² ）	328.56
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
		☒ 使用	☐ I类（医疗使用） ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☒ V类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☐ 乙 ☒ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类		
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类		
		☒ 使用	☐ II类 ☒ III类		
	其他	/			

1.1 建设单位情况

漳州第三医院位于福建省漳州市龙文区迎宾大道5号，是一所集医疗、教学、科研于一体的三级乙等综合医院，为厦门医学院教学医院及漳州卫生职业学院非直属附属医院。医院规划床位2000张，开放床位925张，年门急诊人数超60万人次，年住院人数超5万人次，年总手术台数超2万台次，DSA心脑血管介入手术2000余台次。

医院设有 42 个临床医技科室、28 个护理单元及 18 个职能科室，拥有心血管内科、泌尿外科、神经外科、骨科、中医科等 8 个市级临床重点专科，核心专科诊疗能力突出。医院现有职工近 1600 名，其中卫生专业技术人员超 1300 名，含高级职称专家 120 余名、中级职称 308 名，临床研究生学历以上专业人才近 100 人。医院配备有 3.0T 核磁共振、医用直线加速器、DSA 等一系列先进医疗设备，为精准诊断与高效治疗提供坚实的技术

支撑。2024 年，医院先后通过国家级胸痛中心、三级医院卒中中心、福建省首批县域级创伤中心建设与认证，急危重症救治体系持续完善。

1.2 建设内容与项目由来

1.2.1 建设内容

为进一步提高区域医疗卫生服务水平，满足当地医疗需求，医院拟将肿瘤中心大楼一层西侧部分区域改建为核医学科 PET/CT 放射诊断场所。该区域现状主要为放射等候区、CT 扫描间及相关配套用房、门诊等候区及相关检查室等，本项目将拆除原有墙体并建设为 PET/CT 机房及配套核素诊断用房。本项目主要包括以下内容：

在 PET/CT 机房使用 1 台 PET/CT，最大管电压 140kV，最大管电流 420mA，属于 III 类射线装置；在核医学科 PET/CT 放射诊断区域使用 ^{18}F 进行显像诊断，日等效最大操作量为 $1.55 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于丙级非密封放射性物质工作场所；使用 2 枚 ^{68}Ge 放射源用于 PET/CT 设备校准，每枚放射源初始活度为 $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于 V 类放射源。

本项目拟使用射线装置情况见表 1-1，非密封放射性物质情况见表 1-2，放射源使用情况见表 1-3。

表 1-1 本项目拟使用射线装置情况

序号	设备名称	数量 (台)	型号	设备参数	类别	用途	设备安装位置
1	PET/CT	1	uMI 550	最大管电压：140kV 最大管电流：420mA	III 类	放射 诊断	肿瘤中心大楼 一层 PET/CT 机房

表 1-2 本项目拟使用非密封放射性物质一览表

场所 名称	核素 名称	用途	单个病人 最大用量 (mCi)	每日最 大病人 数(人)	实际日最 大操作量 (Bq)	毒性 分组及修 正因子	操作方 式及修 正因子	日等效最 大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)
PET/CT 放射诊 断区域	^{18}F	显像诊断 (5 天/周， 50 周)	10	15	1.55×10^{10}	低毒， 0.01	很简单 操作， 10	1.55×10^7	3.88×10^{12}

注：①医院计划根据预约病人量预定 ^{18}F 核素，每天计划最多就诊 ^{18}F 患者 15 人，由厂家每日配送 1 次 ^{18}F 放射性药物。

②由于 ^{18}F 半衰期较短，其日最大操作量根据患者注射时间及核素衰变情况进行初始活度估算。本项目每日最多预约 15 名 ^{18}F 患者，单人最大注射量为 10mCi，按照下表所列时间依次给药。经计算，每日 ^{18}F 定药量约为 **mCi，即约 **Bq。

表 1-3 本项目拟使用放射源一览表

序号	放射源名称	放射源活度及枚数	用途	类别	使用场所及储存位置
1	^{68}Ge	$7.4 \times 10^7 \text{Bq} \times 2$ 枚	PET/CT 校准	V 类	使用场所：肿瘤中心大楼一层 PET/CT 机房 储存位置：肿瘤中心大楼一层 储源间保险柜内

1.2.2 项目由来

根据《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），PET/CT 属于 III 类射线装置。

根据《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），本项目 ^{68}Ge 放射源属于 V 类放射源。

根据《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，本项目核医学科 PET/CT 放射诊断区域日等效最大操作量为 $1.55 \times 10^7 \text{Bq}$ ，为丙级非密封放射性物质工作场所。

根据《中华人民共和国生态环境法典》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订本）（国务院令 第 653 号）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（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）、《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版，生态环境部令 第 16 号）等国家生态环境管理相关法律法规的规定，漳州第三医院 PET/CT 放射诊断项目应进行生态环境影响评价并编制生态环境影响报告表。

漳州第三医院于 2026 年 7 月正式委托江西省地质局实验测试大队进行本项目生态环境影响评价。江西省地质局实验测试大队受委托后，立即组织人员进行现场踏勘和资料收集等相关工作，在此基础上编制完成了本项目的生态环境影响报告表。

1.3 项目地理位置及周边环境

（1）项目位置

漳州第三医院位于漳州市龙文区迎宾大道 5 号，中心坐标为：东经 $117^\circ 41'16''$ ，北纬 $24^\circ 31'9''$ ，地理位置图见图 1-1。

本项目拟建 PET/CT 机房及其配套核素诊断场所位于肿瘤中心大楼一层西侧。肿瘤中心大楼为地上 11 层建筑，东南侧为院内道路和 3 栋住院楼；西南侧为院内道路、老人活动中心、赤岭关帝庙；西北侧为发热门诊、肠道门诊和院内道路；东北侧为院内道路、停车场。

拟建核医学科 PET/CT 放射诊断区域东南侧为门诊等候、住院登记/收费、财务；西南侧为院内道路；西北侧为缓冲、操作室、辅助配电；东北侧为过道。拟建核医学科控制区楼上为肿瘤中心大楼二层计划室、MDT、暗室、检影、眼底照相、AB 超、验光检查、更衣间、诊室 1~3、过道、检查室、门诊治疗室、眼底激光、换鞋和临床营养科办公室；楼下为土层。

本项目 PET/CT 放射诊断区域及四周相邻工作场所周围环境情况见下表 1-4。

表 1-4 PET/CT 放射诊断区域及四周相邻工作场所周围环境

名称	东南侧	西南侧	西北侧	东北侧	楼上	楼下
肿瘤中心大楼	院内道路、3 栋住院楼	院内道路、老人活动中心、赤岭关帝庙	发热门诊、肠道门诊、院内道路	院内道路、停车场	/	/
核医学科 PET/CT 放射诊断区域	门诊等候、住院登记/收费、财务	院内道路	缓冲、操作室、辅助配电	过道	计划室、MDT、暗室、检影、眼底照相、AB 超、验光检查、更衣间、诊室 1~3、过道、检查室、门诊治疗室、眼底激光、换鞋和临床营养科办公室	土层

根据现场踏勘可知，本项目主要环境保护目标为本项目辐射工作人员、发热门诊、肠道门诊、赤岭关帝庙、老人活动中心的公众，以及项目所在的肿瘤中心大楼内非本项目工作人员、患者及家属。

（2）选址合理性分析

本项目核医学科 PET/CT 放射诊断区域位置相对独立，充分考虑了周围场所的安全，未毗邻产科、儿科、食堂等区域，与周边非放射性工作场所不交叉，尽可能做到了相对独立布置和集中设置，设有独立的出入口，且出口未设置在门诊大厅、收费处等人员密集区域。本项目控制区产生的放射性废气经排风管道引至肿瘤中心大楼高于屋顶 3m 排放，肿瘤中心大楼屋顶排放口 50m 范围内为最高建筑。本项目核医学科 PET/CT 放射诊断区域选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

1.4 可行性分析

（1）产业政策相符性分析

对照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》的规定，本项目属于“鼓励类”中“十三、医药”中的“4、……新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备……”以及“三十七、卫生健康”中的“1、……医疗卫生服务设施建设……”项目，因此漳州第三医院 PET/CT 放射诊断项目符合国家产业政策要求。

(2) 实践正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于辐射防护“实践的正当性”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。

目前,核医学科已在各大医院广泛推广,技术已成熟,在医疗保障领域起了十分重要的作用。此外,射线装置在放射诊断方面具有其他技术难以替代的特点。漳州第三医院核医学科项目的配置,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》(GB18871-2002)中辐射防护“实践正当性”原则。

1.5 评价目的

(1) 对本项目核技术利用场所及周边的辐射环境现状进行现场调查和监测,掌握该场址的辐射水平和辐射环境质量现状。

(2) 通过生态环境影响评价,预测本项目对其周围环境影响程度和范围,提出环境污染对策,为本项目的辐射环境管理提供科学依据。

(3) 对不利影响和存在的问题提出防治措施,使辐射环境影响满足相关标准要求和减少到“可合理达到的尽量低的水平”。

(4) 提出生态环境管理和环境监测计划,使该项目满足国家和地方生态环境部门对建设项目生态环境管理规定的要求,为辐射环境管理提供科学依据。

1.6 原有核技术利用项目许可情况

(一) 许可情况

医院已取得了辐射安全许可证,证书编号为闽环辐证[00313],许可的种类和范围为:使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置,证书有效期至2028年4月1日。

(二) 环保手续履行情况

医院现许可使用Ⅱ类射线装置3台、Ⅲ类射线装置22台,医院已许可射线装置相关情况见表1-5。

表 1-5 医院已许可射线装置一览表

序号	设备名称	型号	类别	数量	环评情况	验收情况	使用场所
1	X 射线计算机体层摄像设备	SOMATOM Drive	III	1 台	备案号： 2019350603000 00107	/	CT1 室
2	全身 X 线计算机断层扫描系统	Optima CT660	III	1 台	备案号： 2019350603 00000054	/	CT2 室
3	X 射线计算机体层摄像设备	Somation Emotion 16	III	1 台		/	CT3 室
4	X 射线计算机体层摄影设备	Optima CT520	III	1 台	备案号： 2021350603000 00080	/	CT 室
5	数字化医用 X 射线摄影系统	Optima XR646 HD	III	1 台		/	DR2 室
6	医用直线加速器	Precise	II	1 台	闽环辐评 (2018) 9 号	2020 年 1 月 20 日已自主验收	放射诊疗区
7	X 射线骨密度检测仪	Prodigy Pro	III	1 台	备案号： 2021350603000 00080	/	骨密度室
8	高频数字化 X 射线机	KP2018B 型	III	1 台	备案号： 2024350602000 00092	/	戒毒所 DR1 室
9	医用血管造影 X 射线机	Optima IGS 330	II	1 台	闽环辐评 (2020) 7 号	2020 年 4 月 7 日已自主验收	介入治疗区 1
10	医用血管造影 X 射线机	IGS 5_4	II	1 台	闽环辐评 (2021) 50 号	2022 年 8 月 13 日已自主验收	介入治疗区 2
11	数字化摄影 X 射线机	Raynova DRsc4	III	1 台	备案号： 2024350602000 00092	/	拘留所入所 五项健康检查 中心
12	口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备	X-TREND	III	1 台	备案号： 2020350603000 00003	/	口腔科口腔 CT 室
13	医用诊断 X 射线系统	DR-F	III	1 台	备案号： 2019350603 00000054	/	拍片室 1
14	移动式数字化医用 X 射线摄影系统	MobileDiagnost wDR	III	1 台		/	拍片室 2
15	乳腺 X 射线机	ANMMO C410	III	1 台	已环评	/	乳腺钼靶室
16	C 臂机	Cios Select S1	III	1 台	备案号： 2020350603000	/	手术室

					00003		
17	移动式 C 型臂 X 射线机	Cios Select S1	III	1 台	备案号: 2021350603000 00009	/	
18	移动式 C 型臂 X 射线机	SIREMOBIL COMPACT	III	1 台	备案号: 2019350603000 00055	/	
19	移动式 C 型臂 X 射线系统	PLX118F/a	III	1 台	已环评	/	
20	车载 X 射线机	DC5X0PB-2	III	1 台	备案号: 2020350603000 00010	/	体检车 1
21	车载数字化 X 射线摄影系统	DXR-560A	III	1 台	备案号: 2024350603000 00119	/	体检车 2
22	车载数字 X 射线机	AKHX-19D-1	III	1 台	备案号: 2026350603000 00199	/	体检车 3
23	数字化医用 X 射线摄像系统	Brivo XR575	III	1 台	已环评	/	体检科 DR 拍片室
24	医用诊断 X 射线机	PLD9600A	III	1 台	备案号: 2020350603000 00014	/	胃肠机室
25	高频牙科 X 射线机	MSG-7.0mA	III	1 台	备案号: 2020350603000 00003	/	牙片机室 1

(三) 辐射安全管理情况

漳州第三医院现有辐射工作场所的辐射防护设施运行工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

(1) 医院已成立放射（辐射）防护管理工作领导小组，全面负责医院辐射安全及应急管理工作。医院已制订《PET/CT 操作规程》《放射（辐射）工作人员职责》《放射（辐射）诊疗场所辐射防护安全管理制度》《辐射工作人员安全与防护培训管理制度》《放射（辐射）工作人员个人剂量监测管理制度》《自主监测制度》等规章制度，并要求工作人员严格按照规章制度要求执行。

(2) 医院每年委托有资质的单位对医院辐射工作场所进行监测，监测结果表明，医院各辐射工作场所周围剂量当量率均符合相关标准要求。

(3) 医院辐射工作场所设置有电离辐射警告标志和工作状态指示灯等。

(4) 医院于每年 1 月 31 日前提交上一年年度评估报告，2025 年年度评估报告已上

传至“全国核技术利用辐射安全申报系统”进行备案。

(5) 医院辐射工作人员培训、个人剂量监测和职业健康监护档案情况：

①辐射工作人员培训：医院现有II类射线装置工作人员均参加了国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）关于辐射安全与防护知识的学习，并取得了考核合格证书；III类射线装置的使用人员已按照《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部 公告2021年第9号）的有关要求，自行组织了培训考核，考核成绩均合格，持证上岗。

②医院所有辐射工作人员均配有个人剂量计，接受剂量监测，建立个人剂量监测档案并存档，根据医院2025年第三季度至2026年第二季度年度个人剂量监测结果可知，医院辐射工作人员年有效剂量均低于5mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）标准要求。

③医院辐射工作人员均已参加职业健康体检，建立健康体检档案，结果显示均可从事放射工作。

1.7 与“生态环境分区管控”相符性分析

(1) 生态保护红线

本项目用地位于福建省漳州市龙文区迎宾大道5号，项目用地不在国家级和省级禁止开发区域内，不涉及生态保护红线。

(2) 环境质量底线

根据现场监测，本项目拟建PET/CT放射诊断区域及周围环境的辐射水平未见异常。根据辐射环境影响预测，本项目运营过程中产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众健康的辐射影响处于可接受水平。本项目运行过程中将产生少量含¹⁸F放射性废水、放射性固体废物及放射性气溶胶，其中放射性废水经专用管道收集后进入衰变池系统暂存衰变，满足排放要求后排入医院污水处理系统；放射性固体废物分类收集后暂存于固废间，达到清洁解控要求后按医疗废物处理；放射性废气经排风系统收集、过滤后，通过独立排风管道引至肿瘤中心大楼高于屋顶3m排放。PET/CT运行过程中产生的少量臭氧和氮氧化物经PET/CT机房排风系统由排风管道引至肿瘤中心大楼高于屋顶3m排放。综上，本项目在落实各项污染防治及辐射防护措施后，符合环境质量底线要求。

(3) 资源利用上线

本项目运营过程中会消耗一定量的水、电资源，主要来自工作人员的日常工作用水

和设施用电，但项目规模小，资源消耗量相对区域资源利用总量较少，符合资源利用上线要求。

（4）生态环境准入清单

根据福建省生态环境分区管控综合查询报告，本项目所在位置属于龙文区重点管控单元 1（ZH35060320003）。本项目生态环境准入要求符合性分析表见表 1-6。

表 1-6 本项目生态环境准入要求符合性分析表

环境管控单元名称及代码	单元类型	生态环境准入要求		本项目情况	符合性
龙文区重点管控单元1 (ZH35060320003)	重点管控单元	空间布局约束	龙文区重点管控 1 主要包含步文街道、蓝田街道、碧湖街道、景山街道：1.禁止新建、扩建涉气重污染项目。2.严禁在人口聚集区新建涉及危险化学品的的项目。3.禁止在城镇居民区、文化教育科学研究区等人口集中区域建设畜禽养殖场、养殖小区。4.推进涉水企业入园，工业集聚区外且无法纳入市政污水管网的区域，禁止新建涉及水污染物排放的二类工业和三类工业，改、扩建项目不得新增水污染物排放因子和排放总量。5.西溪桥闸以上流域禁止新建、扩建造纸、制革、电镀、漂染行业，以排放氨氮、总磷等为主要污染物的工业项目，以及产生难以降解废物并对水环境产生较大污染的产业。6.开展城镇及周边未入园的工业企业进行摸底调查，建立“退城入园”项目库。7.禁止开发利用未经评估和无害化处理的列入建设用地污染地块名录及开发利用负面清单的土地；列入建设用地土壤污染风险管控和修复名录的地块，不得作为住宅、公共管理与公共服务用地。	本项目为核技术利用项目，不涉及大气重污染、危险化学品、畜禽养殖、涉水重污染工业及土壤污染地块开发等领域，符合空间布局约束要求。	符合
		污染物排放管控	1.大气污染型工业企业的新增二氧化硫、氮氧化物及 VOCs 排放量实行总量控制，落实相关规定要求。新建、改建、扩建、迁建涉 VOCs 产生工序的工业生产建设项目，需配套 RCO、RTO 等高效 VOCs 废气处理设施，确保有机废气处理效率高。2.工业企业新增化学需氧量、氨氮排放量实行总量控制，落实相关规定要求。3.加快污水管网建设，新（改/扩）建污水处理厂排放执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918—2002）一级 A 排放标准或更严者。4.通过实施清洁柴油车（机）、清洁运输和清洁油品行动，发展绿色交通、推广新能源汽车、强化城市扬尘污染管控和对加油站、储油库、油罐车等油气回收设施运行监管等措施减少城市交通源、扬尘源。	本项目不属于大气污染型工业企业，运行期间仅 PET/CT 产生少量的臭氧和氮氧化物，经 PET/CT 机房排风系统由排风管道引至肿瘤中心大楼高于屋顶 3m 排放；本项目不涉及 VOCs、二氧化硫、氨氮等工业污染物排放，不属于工业污染物总量管控范围，符合污染物排放管控要求。	符合

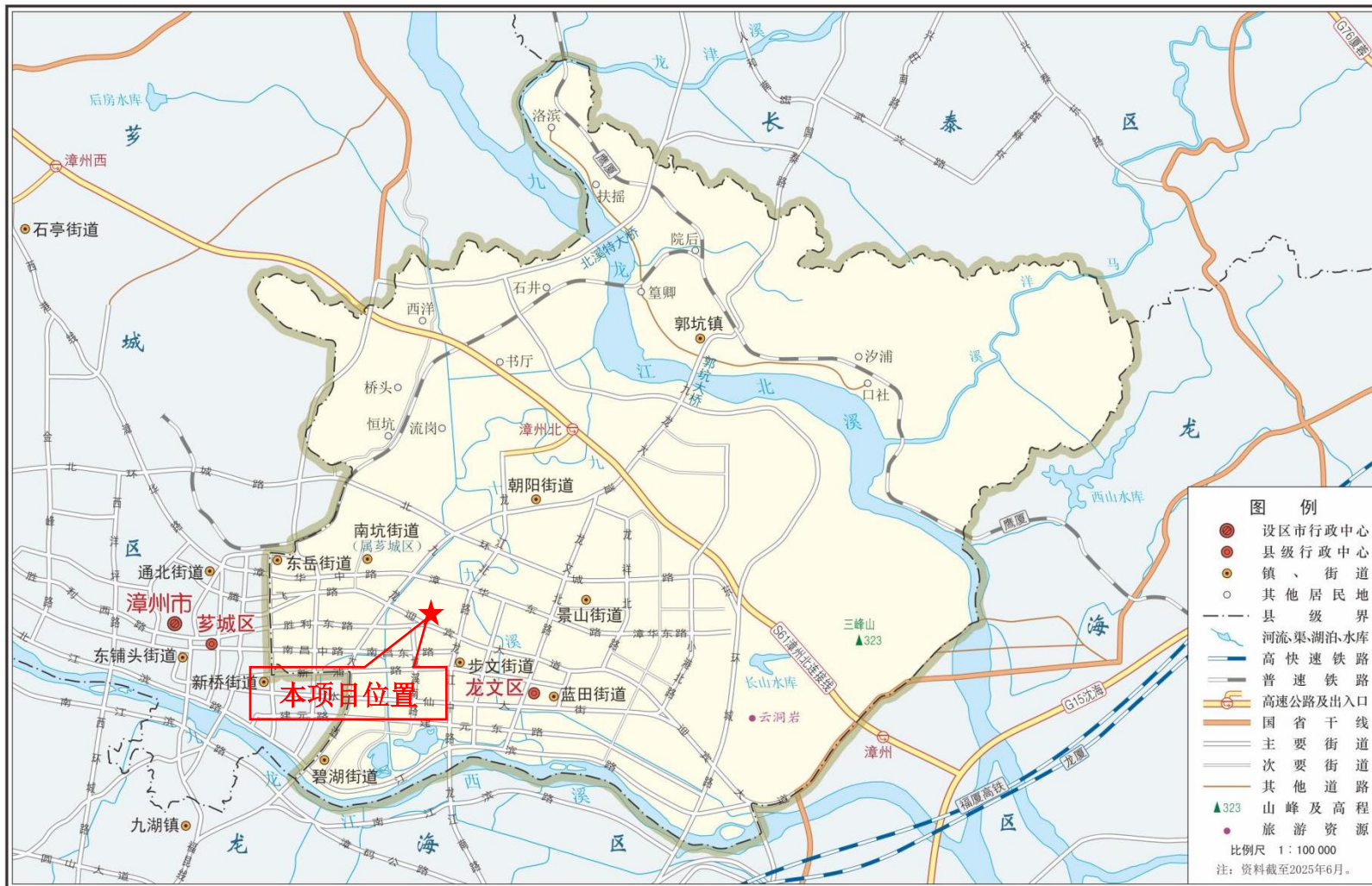
		环境 风险 防控	对单元内具有潜在土壤污染环境风险的企业应加强管理，实施项目环评、设计建设、拆除设施、终止经营全生命周期土壤和地下水污染防治，建立土壤和地下水污染隐患排查治理制度、风险防控体系和长效监管机制。制定环境风险应急预案，建设突发事件应急物资储备库，成立应急组织机构。	本项目已按要求建立放射性污染防治与环境风险应急预案，配备应急物资与应急组织机构，符合土壤和地下水污染防治及环境风险防控相关要求。	符合
		资源 开发 效率 要求	禁止使用、销售高污染燃料，禁止新建、扩建高污染燃料燃用设施。	本项目不涉及高污染燃料的使用、销售及高污染燃料燃用设施的新建、扩建，符合资源开发效率相关管控要求。	符合

1.8 与“三区三线”国土空间管控相符性分析

本项目选址位于城镇开发边界内的医院现有院区内部，属于城镇空间，不涉及生态保护红线、永久基本农田占用或穿越，符合“三区三线”国土空间管控要求。

龙文区地图

基本要素版



审图号：闽S(2025)323号

福建省制图院 编制 福建省自然资源厅 监制

图 1-1 项目地理位置图

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	7.4×10 ⁷ Bq×2 枚	V 类	使用	PET/CT 校准	肿瘤中心大楼一层 PET/CT 机房	肿瘤中心大楼一层储源间 保险柜内	/

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	液态, 半衰期 109.8min, 低毒	使用	1.55×10 ¹⁰	1.55×10 ⁷	3.88×10 ¹²	显像诊断	很简单操作	肿瘤中心大楼一层 PET/CT 放射诊断区域	肿瘤中心大楼一层 PET/CT 放射诊断区域分装注射室分装柜内

注：日等效最大操作量和操作方式见国家标准《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》（HJ1188-2021）。

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类	1	uMI 550	140	420	显像诊断	肿瘤中心大楼一层 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
放射性固体废物（包含一次性注射器、棉签、手套、药棉、纱布、吸水纸等放射性废弃物以及更换的活性炭等过滤装置）	固态	^{18}F	少量	/	/	清洁解控水平	分类收集后暂存于固废间的废物铅罐内	暂存超过 30 天后，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 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可按普通医疗废物处理。
废校准源	固态	^{68}Ge	微量	/	/	/	暂存于储源间的储源铅罐内	达到使用年限或不再使用后，由原放射源生产单位、供应单位或有相应资质单位回收处置。
放射性废气	气态	^{18}F	/	/	/	微量	不暂存	通过独立排风管道引至肿瘤中心大楼高于屋顶 3m 排放。
臭氧、氮氧化物	气态	/	微量	/	/	微量	不暂存	通过独立排风管道引至肿瘤中心大楼高于屋顶 3m 排放。
放射性废液	液态	^{18}F	微量	/	约 62.5m^3	/	4 个并联式衰变池，单池有效容积 3.375m^3 ，总有效容积 13.5m^3	经衰变池暂存超过 30 天后解控排放，排入医院污水处理系统。

表 6 评价依据

法律法规文件	(1) 《中华人民共和国生态环境法典》（2026年3月12日第十四届全国人民代表大会第四次会议通过，2026年8月15日起施行）； (2) 《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第682号）； (3) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第449号，2019年修订）； (4) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（国家环境保护部第3号令，2021年修正版）； (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（国家环境保护部令第18号）； (6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》（生态环境部令 第16号）； (7) 《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）； (8) 《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）； (9) 《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》（环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局 公告2017年 第65号）； (10) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》（生态环境部 公告 2021年 第9号，2021年3月15日起实施）； (11) 《关于发布〈建设项目竣工环境保护验收暂行办法〉的公告》（国环规环评〔2017〕4号，2017年11月20日）； (12) 《关于发布〈建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类〉的公告》（生态环境部公告2018年第9号，2018年5月16日印发）； (13) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》（2023年12月1日第6次委务会议审议通过，自2024年2月1日起施行）； (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）； (15) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环境保护部办公厅，环办辐射函〔2016〕430号）； (16) 原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）；
--------	--

	(17) 《福建省生态环境保护条例》（修改版，2026年7月24日福建省第十四届人民代表大会常务委员会第二十三次会议通过）； (18) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》（生态环境部令第9号，2019年11月1日起施行）； (19) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告2019年第57号，2020年1月1日起实施）。
技术标准	(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）； (2) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； (3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； (4) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； (5) 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）； (6) 《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）； (7) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）； (8) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）； (9) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）； (10) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）； (11) 《表面污染测定第 1 部分：β发射体（$E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$）和$\alpha$发射体》（GB/T 14056.1-2008）。
其他	(1) 委托书（附件 1）； (2) 《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年 7 月第 1 版）； (3) 《辐射防护手册》（李德平、潘自强主编，1991-01）； (4) 建设单位提供的其他资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

依据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）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，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和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）”。本项目为使用Ⅲ类射线装置，使用Ⅴ类放射源，使用丙级非密封放射性物质工作场所，考虑到项目的实际情况，本项目评价范围为 PET/CT 放射诊断区域控制区实体屏蔽外边界向外 50m 的范围。

7.2 保护目标

根据医院总平面布置及现场调查可知，本项目主要环境保护目标为本项目辐射工作人员、发热门诊、肠道门诊、赤岭关帝庙、老人活动中心以及项目所在的 PET 显像场所控制区实体边界外 50m 范围内非本项目工作人员、患者及家属。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

环境保护对象			相对方位	距离	规模	剂量约束值
PET/CT 放射诊断区域	职业人员	控制室	控制室	/	**人	5mSv/a
			分装注射室	/	**人	
	公众人员	门诊等候、住院登记/收费、财务	东南侧	紧邻	**人	0.1mSv/a
		院内道路	西南侧	紧邻	**人	
		缓冲、操作室、辅助配电	西北侧	紧邻	**人	
		过道	东北侧	紧邻	**人	
		计划室、MDT、暗室、检影、眼底照相、AB 超、验光检查、更衣间、诊室 1~3、过道、检查室、门诊治疗室、眼底激光、换鞋和临床营养科办公室	楼上	紧邻	**人	
		肿瘤中心大楼内其他区域	四周	≥0.3m	**人	
		发热门诊、肠道门诊	西北侧	27m	**人	
		赤岭关帝庙	西南侧	19m	**人	
		老人活动中心	西南侧	30m	**人	

7.3 评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

① 剂量限制和潜在照射危险限制

4.3.2.1 应对个人受到的正常照射加以限制,以保证除本标准 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)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。

B1 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;

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:

a) 年有效剂量, 1mSv;

② 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) B1.1 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 7-2 所列。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平

表 面 类 型		α 放射性物质 (Bq/cm ²)	β 放射性物质 (Bq/cm ²)
		极毒性	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4	4×10
	监督区	4×10 ⁻¹	4
工作服、手套、工作鞋	控制区 监督区	4×10 ⁻¹	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻²	4×10 ⁻¹

1) 该区内的高污染子区除外。

③非密封源工作场所的分级

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。

C1 应按表 7-3 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。

表 7-3 非密封源工作场所的分级

级 别	日等效最大操作量/Bq
甲	大于 4×10^9
乙	2×10^7 - 4×10^9
丙	豁免活度值以上 - 2×10^7

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见表 7-4、表 7-5。

表 7-4 放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
中毒	0.1
低毒	0.01

表 7-5 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较 低的固体	液体，溶液， 悬浮液	表面有污染 的固体	气体，蒸汽，粉末， 压力很高的液体、固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01

（2）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）

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。

5.1 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。

6.1 屏蔽要求

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

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 30 cm 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 30 cm 处的周围剂量当量率小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

7.2 固体放射性废物管理

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 0.08 Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8 Bq/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 0.1 mSv/h ，表

面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应小于 4 Bq/cm²、其他 α 发射体应小于 0.4 Bq/cm²。

7.3 液态放射性废物管理

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。

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。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。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。

7.3.2 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。

7.3.3 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。

(3) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)

6 X 射线设备机房防护设施的技术要求

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; 每台牙椅独立设置诊室的,诊室内可设置固定的口内牙片机,供该设备使用,诊室的屏蔽和布局应满足口内牙片机房防护要求。

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 2(表 7-6)的规定。

表 7-6 X 射线设备机房(照射室)使用面积、单边长度的要求

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
d 机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。 e 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 3 的规定。

6.2.2 医用诊断 X 射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录 C 中表 C.4~表 C.7(表 7-7)。

表 7-7 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 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
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 3(表 7-7)的要求。

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；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；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。

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

8 X 射线设备机房防护检测要求

8.1 X 射线设备机房防护设施和机房周围辐射剂量检测应满足下列要求：

b) X 射线设备机房的防护检测应在巡测的基础上，对关注点的局部屏蔽和缝隙进行重点检测。关注点应包括：四面墙体、地板、顶棚、机房门、操作室门、观察窗、采光窗/窗体、传片箱、管线洞口、工作人员操作位等，点位选取应具有代表性；

8.2 X 射线设备机房放射防护安全设施应进行竣工验收，在使用过程中，应进行定期检查和检测，定期检测的周期为一年。

8.3 在正常使用中，医疗机构应每日对门外工作状态指示灯、机房门的闭门装置进行检查，对其余防护设施应进行定期检查。

7.4 本次核技术利用项目相关限值要求汇总

根据上述相关标准取其中相对较严格的控制水平或限值作为本项目限值。本项目核医学辐射工作场所相关限值要求汇总详见表 7-9。

表 7-9 本项目核医学辐射工作场所限值要求汇总

项目	本项目控制要求	标准依据
人员年受照剂量	职业人员剂量限值：连续 5 年年平均有效剂量 20mSv，任何一年不超过 50mSv；公众年有效剂量限值 1mSv。 本项目剂量约束值：职业人员≤5mSv/a，公众≤0.1mSv/a。	GB 18871-2002、HJ 1188-2021
辐射剂量率控制水平	控制区内房间防护门、观察窗、墙壁外表面 30cm 处<2.5μSv/h；人员偶尔居留设备间等区域<10μSv/h；PET/CT 机房屏蔽体外关注点周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h，分装柜、注射窗人员操作位外 30cm<2.5μSv/h，非正对操作位<25μSv/h；固体废物收集桶及人员可接近废液设施外 30cm<2.5μSv/h。	HJ 1188-2021、GBZ 130-2020
工作场所放射性表面污染	工作台、设备、墙壁、地面：控制区β≤40Bq/cm ² ，监督区β≤4Bq/cm ² ；工作服、手套、工作鞋β≤4Bq/cm ² ；手、皮肤、内衣等β≤0.4Bq/cm ² 。	GB 18871-2002
放射性废液	含 ¹⁸ F 放射性废液暂存超过 30d 后，可直接解控排放。	HJ 1188-2021、《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）
放射性废气	工作场所设置独立排风系统，合理组织气流，保持放射性工作区域相对负压；分装柜设置独立排风及过滤装置，排风经独立管道引至建筑屋顶排放。	
放射性固废	含 ¹⁸ F 放射性固废暂存超过 30d，经监测辐射剂量率达到环境本底水平，β表面污染<0.8Bq/cm ² 后，可清洁解控并按医疗废物处理；废 ⁶⁸ Ge 密封源由原供源单位或有资质单位回收。	

表 8 环境质量与辐射现状

8.1 监测计划

1.项目地理和场所位置

本项目拟建核医学科 PET/CT 放射诊断区域位于福建省漳州市龙文区迎宾大道 5 号肿瘤中心大楼一层，项目地理位置见图 1-1。为掌握项目所在地的辐射环境质量现状，医院委托江西省地质局实验测试大队（CMA 号：161420180567）于 2026 年 7 月 10 日对项目所在地进行了辐射环境现状监测。

2.监测内容与点位

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）并结合本项目的实际情况进行监测布点，本次监测针对拟建辐射工作场所及周边环境γ辐射剂量率、β表面污染开展布设。各区域均按规范要求完成点位布设。

3.监测仪器与规范

电离辐射监测仪器的参数与规范见表 8-1。

表 8-1 监测仪器与监测规范表

便携式 X、γ辐射 周围剂量当量率 仪	仪器型号	FH40G 探头：FHZ672 E-10，F118
	生产厂家	Thermo
	监测规范	《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021） 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）
	监测单位	江西省地质局实验测试大队
	监测时间	2026 年 7 月 10 日
	检定单位	中国计量科学研究院
	检定证书编号	*****
	检定日期	2025 年 7 月 17 日
	量程范围	*****
	能量响应范围	*****
α、β表面污染仪	仪器型号	LB 124SC,F136
	生产厂家	NUVIA
	监测规范	《表面污染测定 第 1 部分：β发射体（E _{βmax} ）0.15MeV）和 α发射体》（GB/T 14056.1-2008）
	检定单位	上海市计量测试技术研究院（华东国家计量测试中心）
	检定证书编号	*****
	检定日期	2026 年 1 月 19 日
	监测日期	2026 年 7 月 10 日
	监测单位	江西省地质局实验测试大队

4.质量保证措施

- a 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性，同时满足标准要求。
- b 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。

- c 监测仪器每年定期经计量部门检定/校准，检定/校准合格后方可使用。
- d 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。
- e 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- f 监测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由授权签字人审定。

8.2 辐射环境质量现状监测结果

江西省地质局实验测试大队于 2026 年 7 月 10 日对评价项目场址及周边区域的辐射环境现状进行监测，监测结果见表 8-2～表 8-3。

表 8-2 拟建工作场所及周边关注点环境 γ 辐射剂量率监测结果

序号	测点位置	环境 γ 辐射剂量 (nGy/h)	标准差	备注
		平均值		
1	拟建分装注射室	**	**	室内监测点位
2	拟建护士站	**	**	
3	拟建缓冲间	**	**	
4	拟建核医学科等候大厅	**	**	
5	拟建急救室	**	**	
6	拟建注射后等候室 1	**	**	
7	拟建患者走廊	**	**	
8	拟建注射后等候室 2	**	**	
9	拟建 PET-CT 机房	**	**	
10	拟建控制室	**	**	
11	拟建公共办公区	**	**	
12	拟建主任办公室	**	**	
13	拟建留观室	**	**	
14	拟建放废暂存间	**	**	
15	临床营养科办公室	**	**	
16	诊室 1	**	**	
17	诊室 2	**	**	
18	诊室 3	**	**	
19	检查室	**	**	
20	门诊治疗室	**	**	
21	眼底激光	**	**	
22	更衣间	**	**	
23	过道	**	**	
24	验光检查	**	**	
25	AB 超	**	**	
26	眼底照相	**	**	
27	检影	**	**	

28	暗室	**	**	室外监测点位
29	计划室	**	**	
30	衰变池	**	**	
31	肿瘤中心大楼西南侧院内道路	**	**	
32	肿瘤中心大楼东南侧院内道路	**	**	
33	肿瘤中心大楼东北侧院内道路	**	**	
34	肿瘤中心大楼西北侧院内道路	**	**	
35	发热门诊门口	**	**	
36	肠道门诊门口	**	**	
37	老人活动中心门口	**	**	
38	赤岭关帝庙门口	**	**	

注：①以上数据均已扣除宇宙射线的贡献；②现场检测所有点位探头均朝下，离地 1m。

本项目表 8-2 所列监测数据已根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)第 5.5 条扣除仪器对宇宙射线的响应值，环境γ辐射剂量率测量结果按下式计算：

$$\dot{D}_{\gamma} = k_1 \times k_2 \times R_{\gamma} - k_3 \times \dot{D}_c$$

式中： $\dot{D}_{\gamma}$ —测点处环境γ辐射空气吸收剂量率值，Gy/h；

k_1 —仪器检定/校准因子；

k_2 —仪器检验源效率因子；

R_{γ} —仪器测量读数均值，Gy/h；

k_3 —建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子；

$\dot{D}_c$ —测点处宇宙射线响应值。

根据表 8-2 可知，本项目拟建场所及周边室内环境的γ辐射剂量率在**~**nGy/h 之间，周边外环境γ辐射剂量率在**~**nGy/h 之间，处于漳州市室内、室外辐射环境本底范围值内（注：漳州市室内辐射环境本底范围值 102.0~351.7nGy/h，漳州市室外辐射环境本底范围值 61.5~399.1nGy/h，来源于《中国环境天然放射性水平》第 390 页表 5）。

表8-3 拟建核医学科工作场所表面污染监测数据

序号	监测位置		β表面污染 (Bq/cm ²)
			测量结果
1	分装注射室	墙面	**
		地面	**
2	急救室	墙面	**
		地面	**
3	注射后等候室 1	墙面	**
		地面	**
4	注射后等候室 2	墙面	**

		地面	**
5	PET-CT 机房	墙面	**
		地面	**
6	患者走廊	墙面	**
		地面	**
7	清洁间	墙面	**
		地面	**
8	留观室	墙面	**
		地面	**
9	放废暂存间	墙面	**
		地面	**

根据表 8-3 可知，拟建核医学科工作场所 β 表面污染水平均未检出。

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 设备组成

PET 是正电子发射计算机断层成像的英文 Positron Emission Tomography 缩写，是反映病变基因、分子、代谢及功能状态的显像设备，利用正电子核素标记葡萄糖等人体代谢物作为显像剂，通过病灶对显像剂的摄取来反映其代谢变化，从而为临床提供疾病的生物代谢信息诊断。PET 扫描系统主要由扫描仪（scanner）、显像（imaging table）、电子橱（electronics cabinet）、操作工作站（operator sworkstation, OWS）、分析工作站（analysis workstation, AWS）和影像硬拷贝等组成。PET 扫描仪的外形为一个柱状的支架（gantry），扫描视野位于支架的中央，由探测器、射线屏蔽装置等组成。

PET/CT 由正电子发射断层成像（PET）和 X 射线断层成像扫描（CT）组成，使用同一个检查床和 PET 图像与 CT 图像融合对位工作站，同时具有 PET 与 CT 功能，同时利用 PET 和 CT 进行临床疾病的诊断。

9.1.2 工作原理

本项目 PET 显像用核素为 ^{18}F ，PET 显像用药物主要用于代谢显像，主要利用放射性核素注入人体内产生的湮没辐射 γ 光子构成影像。正电子只能瞬态存在，很快与组织中的负电子结合产生湮没辐射，产生两个能量（511keV）相等、方向相反的 γ 光子，光子被 PET 装置探测器所接收，产生的荧光辐射经光电转换器、放大器、脉冲幅度甄别器等处理后，通过计算机系统再现人体组织或器官的影像。正电子放射性核素可构成人体各部位的影像，包括平面影像、动态影像、断层影像及全身影像。

PET/CT 是将 PET 和 CT 整合在一台仪器上，组成一个完整的显像系统，被称作 PET/CT 系统（integrated PET/CT system），病人在检查时经过快速的全身扫描，可以获得 CT 解剖图像和 PET 功能代谢图像，两种图像优势互补，使医生在了解生物代谢信息的同时获得精准的解剖定位，从而对疾病做出全面、准确的判断。

（1）工作流程及产污环节

本次项目使用放射性核素 ^{18}F 进行 PET/CT 显像检查。本项目 ^{18}F 药物为外购，医护人员需在分装柜中手动进行药物分装。

①根据需要，接受显像检查的人员先进行预约登记，确定用药量，由核素供应商在约定的时间负责运送至核医学科，医院安排专人接收放射性核素，对药物名称、核素、活度、批次、包装完整性及配送信息等进行核对，确认无误并完成交接登记后，暂存于

PET/CT 放射诊断区域分装注射室分装柜内，由医护人员进行分装，分装时间为 1min/人；

②开展 PET/CT 显像检查前，工作人员按设备说明书及医院质控要求完成设备自检和日常质控，并按计划开展 PET、CT 性能检测及校准；PET 系统根据需要使用 ^{68}Ge 校准源进行校准。质控合格后方可开展临床检查。

③受检者按约定时间在给药前候诊区准备和等候，待叫号后进入注射室接受药物注射；

④核医学科药物注射医务人员佩戴个人剂量计、穿戴好个人防护用品后，手持带钨合金屏蔽套的注射器，在分装注射室注射窗口铅注射屏的屏蔽下为患者注射，药物注射时间约 30s/人次；

⑤注射了放射性药物的受检者进入注射后休息室，一般注射 ^{18}F -FDG 后需等待约 40min；

⑥注射了放射性药物的受检者根据工作人员叫号，从注射后休息室进入 PET/CT 机房检查，PET/CT 机房控制室技师协助受检病人摆好位后退出机房，进入控制室进行隔室操作，摆位时间约**min/人次，PET/CT 显像时间**min/人次，CT 扫描时间约**min/人次；

⑦检查完成后，受检者进入留观室，在留观室留观约**min，经主管医师确认图像质量满意后，受检者方可从专用通道离开核医学科区域。

(2) 人员配备情况、工作负荷以及核素使用情况

本项目 PET/CT 放射诊断区域拟配备辐射工作人员 4 人，年工作 250 天，其中 1 名核医学技师、1 名影像医师负责设备操作、患者摆位和扫描，1 名核医学医师、1 名护士负责 ^{18}F 药物接收、分装、注射。

由于 ^{18}F 药物涉及分装、注射，且半衰期短，因此 ^{18}F 日实际最大操作量需考虑到药物衰减量。本项目 ^{18}F 放射性药物每日配送 1 次，根据每日预约患者数量及各患者注射时间确定配送活度。每日最多安排 15 名 ^{18}F 患者，单人最大注射活度为**MBq，各患者均安排在上午依次完成注射及 PET/CT 显像检查。根据各患者注射时间及 ^{18}F 衰变情况反推初始活度， ^{18}F 日最大操作量约为**Bq。

PET/CT 放射诊断区域年工作时间 250 天，每日最大就诊患者 15 人。PET/CT 放射诊断区域 ^{18}F 药物使用情况详见表 9-1。

表 9-1 PET/CT 放射诊断区域 ^{18}F 药物使用情况

场所名称	核素名称	用途	单个病人最大用量 (mCi)	每日最大病人人数 (人)	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	备注
肿瘤中心大楼一层核医学科 PET/CT 检查区域	^{18}F	**	**	**	**	**	**	**

PET/CT 显像患者最大为**人次/天 (**人次/年)，药物接收每日**次，每次约**min/次 (**h/d, **h/a)，药物分装时间约**min/人 (**h/d, **h/a)，药物注射时间约**s/人 (**h/d, **h/a)，摆位时间约**min/人 (**h/d, **h/a)，患者 PET/CT 扫描时间约**min/人 (**h/d, **h/a)，CT 扫描时间约**min/人 (**h/d, **h/a)。PET/CT 设备使用 ^{68}Ge 密封放射源进行定期校准，校准频率按每半年**次考虑，单枚校准源每次操作时间约**min，保守按每半年**次计，则单枚校准源年最大操作时间约**h。

9.2 污染源项描述

9.2.1 施工期的污染源项

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，主要是对本项目辐射工作场所及配套用房进行建设、装修以及设备安装，以满足各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。

(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

施工期用水主要为车辆和机械设备清洗废水。其次，施工期会产生少量施工人员生活污水。

(4) 固体废弃物

本项目工程量较小，项目施工期间固废主要为施工人员生活垃圾、少量建筑垃圾及施工废物料。

9.2.2 运行期的污染源项

9.2.2.1 PET/CT 的 CT 功能

CT 为采用 X 射线进行扫描成像的设备，X 射线是随机器的开、关而产生和消失，其主要放射性污染因子为 X 射线对公众及辐射工作人员的外照射，运行期均没有放射性废气、废水和固体废弃物产生。

（一）正常工况

在采取隔室操作的情况下，并且在设备安全和防护硬件及措施到位的正常情况下，X 射线机房外的工作人员及公众基本上不会受到 X 射线的照射。

空气在强辐射照射下，会发生辐照分解现象，其主要产物为臭氧（O₃）及氮氧化物。本项目 CT 机 X 射线能量较低，与空气相互作用会产生微量的臭氧（O₃）及氮氧化物，经 PET/CT 机房排风系统由排风管道引至肿瘤中心大楼高于屋顶 3m 处排放。

（二）事故工况

- ①PET/CT 机发生 X 射线无法停束故障，人员入内，受到误照射。
- ②工作人员在防护门关闭前尚未撤离机房，PET/CT 机运行出束可能产生误照射。
- ③安全装置发生故障状况下，人员误入正在运行的 PET/CT 机房内而受到误照射。

9.2.2.2 非密封放射性核素

本项目使用核素的半衰期、衰变方式等情况见表 9-2。

表 9-2 本项目非密封放射性核素及放射源的相关属性

核素名称	状态	半衰期	毒性级别	衰变方式	主要射线和能量（MeV）
¹⁸ F	**	**	**	**	**
⁶⁸ Ge	**	**	**	**	**

注：衰变方式栏中 EC 表示轨道电子俘获。

（一）正常工况

本项目非密封放射性物质使用过程中产生的主要放射性污染物和污染途径如下：

①外照射

放射性药物经由静脉注射、输注等方式进入患者体内，分布到特定器官并释放β射线、γ射线。因此，本项目 PET/CT 放射诊断过程中主要辐射影响为 ¹⁸F 正电子湮灭产生的 511keV γ射线所致外照射。

②表面污染

工作人员在操作非密封放射性物质时，有可能会引起工作台、地面等放射性玷污，

造成 β 放射性表面污染。

③放射性固体废物

本项目产生的放射性固体废物主要包括 ^{18}F 放射性药物分装、注射及患者检查过程中产生的被放射性核素污染的一次性注射器、针头、棉签、药棉、纱布、吸水纸、一次性手套及其他防护用品、去污擦拭物、放射性药物包装物等，以及排风系统更换的过滤材料和少量残余放射性药物及其包装物。

④放射性废水

放射性废水来自 ^{18}F ，包括淋浴间辐射工作人员受污染后的清洗废水、洁具间场所清洁废水、事故应急时的场所清洗废水等。控制区内所有下水口均设有专用下水管道通往衰变池。

⑤放射性废气

本项目使用的核素药物不易挥发。

（二）事故工况

该评价项目使用的非密封放射性物质主要发生的放射性污染事故工况有：

①辐射安全管理缺失或辐射安全措施失效情况下，放射性药品丢失或被盗，造成辐射事故。

②工作人员违反操作规程或辐射安全措施失效情况下，发生放射性药品意外泄漏，造成辐射事故。

③核医学科放射性废液收集管路破裂、衰变池体破裂导致放射性废液少量泄漏或者大量溢出而对周边环境造成辐射事故。操作放射性药物时发生容器破碎，药物泼洒等意外事件，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。药物洒漏可能形成少量含 ^{18}F 的放射性气溶胶，污染清除将产生少量的放射性固体废物。此外，给药患者呕吐或者排泄及放射性废物处置或管理不当，也可能导致环境的放射性污染。放射性废液泄漏，可能导致管道、池体及周边环境受到放射性污染。

9.2.2.3 放射源

本项目使用的 ^{68}Ge 为 V 类密封放射源，用于 PET/CT 机校准。使用过程中可能产生以下影响：

（一）正常工况

由于放射源是密封源，源活性物质不会泄漏， β 射线射程短、穿透能力弱，因此在正常情况下， γ 射线将对人体产生主要影响的外照射，且无放射性废水和放射性废气排放。 ^{68}Ge

放射源达到使用年限或不再使用后，按照国家有关规定由原供源单位或有相应资质的单位回收处置，不作为一般放射性固体废物处理。

（二）事故工况

- （1）放射源丢失或被盗，储源铅罐被打开或放射源脱离屏蔽，对公众产生外照射。
- （2）外力撞击导致放射源跌落裸露时，工作人员或公众受到外照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所布局

本项目核医学科 PET/CT 放射诊断区域位于肿瘤中心大楼一层。PET/CT 放射诊断区域东南侧为门诊等候、住院登记/收费及财务等区域，西南侧为院内道路，西北侧为缓冲、操作室及辅助配电，东北侧为过道；区域楼下为土层。PET/CT 放射诊断区域楼上为肿瘤中心大楼二层，主要布置有计划室、MDT、暗室、检影、眼底照相、AB 超、验光检查、更衣间、诊室 1~3、过道、检查室、门诊治疗室、眼底激光、换鞋及临床营养科办公室等用房。

PET/CT 放射诊断区域内按照 PET 诊断流程设置分装注射室、储源间、固废间、注射后等候室 1（卫生间）、注射后等候室 2（卫生间）、PET/CT 机房、控制室、留观室（卫生间）、患者走廊、放废暂存、清洁间、急救室、缓冲间、护士站、卫生通过间及淋浴间等功能用房，并在区域外围设置核医学科等候大厅、问诊室、主任办公室及公共办公区等辅助用房。

本项目放射性药物的接收、暂存、分装及注射等操作集中设置于相应功能用房内，给药后受检者进入注射后等候室候诊，之后经患者通道进入 PET/CT 机房进行显像检查，检查结束后进入留观室短暂留观，随后经患者专用通道离开。工作人员、给药前受检者和给药后受检者活动区域相对独立，放射性药物及放射性废物运输路径结合场所布局设置，可减少人员交叉及给药后受检者对其他人员造成不必要的照射。

此外，本项目拟在肿瘤中心大楼西南侧地下区域设置 1 套放射性废水衰变处理系统，用于收集和暂存 PET/CT 放射诊断区域产生的放射性废水。该系统由 1 个降解池和 4 个并联式衰变池组成，其中降解池有效容积约**m³，单个衰变池有效容积约**m³，4 个衰变池总有效容积约**m³。

10.1.2 工作场所分区管理

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）相关要求，本项目辐射工作场所实行分区管理，把工作场所分为控制区、监督区，避免人员误闯入或误照射。按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中相关定义，控制区内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。监督区为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。辐射工作场所详细分区情况见表 10-1。

表 10-1 本项目工作场所具体分区情况一览表

区域	控制区	监督区
PET 诊断区	PET/CT 机房、留观室（卫生间）、清洁间、放废暂存间、患者走廊、注射后等候室 1（卫生间）、注射后等候室 2（卫生间）、急救室、分装注射室、储源间、固废间、衰变池上方	控制室、主任办公室、公共办公区、缓冲间、核医学科等候大厅、护士站、卫生通过间、淋浴间、住院登记/收费、财务、操作室、辅助配电、过道

本项目非密封放射性物质工作场所控制区设置墙体、防护门、观察窗等辐射屏蔽设施，入口设置明显的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，病人入口、出口设置单向门禁。监督区入口设置标明监督区的标志，标志图形、颜色、字体等均按照 GB18871-2002 规定要求设置。

综上所述，本项目放射性工作场所监督区、控制区划分明确、独立，设置合理，能满足《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）中的相关要求。

10.1.3 本项目工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 C 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，本项目非密封放射性物质工作场所使用的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 10-2。

表 10-2 本项目非密封放射性物质工作场所情况一览表

操作场所	核素名称	日最大操作量（Bq）	毒性组别修正因子	操作方式	操作方式修正因子	日等效最大操作量（Bq）	场所等级
PET 诊断区	**	**	**	**	**	**	**

由表 10-2 可见，本项目非密封放射性物质工作场所属于丙级非密封放射性物质工作场所。

10.1.4 本项目工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）第5.2.2条的要求，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。本项目放射性核素的毒性权重因子见表10-3，不同操作性质的修正因子见表10-4，根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 G，本项目工作场所各核素的加权活度核算结果见表10-5。

表10-3 本项目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
B	^{18}F	**

表 10-4 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	**
废物处理 闪烁法计数和显像 候诊区	**
配药、分装以及施给药	**

注：数据来源于 INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Nuclear Medicine Resources Manual, IAEA, Vienna (2006)。

表 10-5 本项目工作场所各核素最大加权活度核算结果

区域	场所	核素	操作性质	日操作最大活度 (Bq)	毒性权重因子	操作性质修正因子	总加权活度 (MBq)	场所分类
PET/CT 放射诊断区域	分装注射室	**	**	**	**	**	**	**
	注射后候诊室 1 (含卫生间)	**	**	**	**	**	**	**
	注射后候诊室 2 (含卫生间)	**	**	**	**	**	**	**
	PET/CT 机房	**	**	**	**	**	**	**
	留观室 (含卫生间)	**	**	**	**	**	**	**

注：本项目注射后等候室 1、注射后等候室 2 均可能接收给药后受检者，由于医院未明确两个等候室固定的患者分流比例，本次评价保守按 ^{18}F 日最大操作活度分别进行核算。

根据上述核算结果，本项目分装注射室、注射后等候室 1、注射后等候室 2、PET/CT 机房及留观室的 ^{18}F 最大加权活度处于**~**MBq 范围内，属于II类核医学工作场所。根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）第 5.2.2 条及附录 G 的规定，本项目相关核医学工作场所均按II类核医学工作场所进行管理。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）5.2.2 条的要求，本项目核医学科工作场所室内表面及结构的防护要求见表 10-6。

表 10-6 本项目核医学科工作场所室内表面及结构的防护要求

种类	分类	
	II类场所要求	本项目设计
结构屏蔽	需要	各功能用房根据辐射防护要求设置相应屏蔽结构
地面	与墙壁接缝无缝隙	控制区采用 PVC 地板，地面与墙壁衔接处采用抹角设计，接缝严密
表面	易清洗	控制区墙面采用木纹抗菌树脂板、陶瓷薄板等表面平整、易清洗、易去污的材料，分装柜及工作台面采用不锈钢等平整光滑、易清洗去污材料。
分装柜	需要	分装注射室设置具有屏蔽和通风功能的分装柜
通风	良好通风	核医学工作场所设置机械排风系统
管道	普通管道	放射性废水采用专用管道收集后排入衰变池系统
盥洗与去污	洗手盆和去污设备	设置卫生间、淋浴间及相应洗消设施

10.1.5 人员、物流路径

①辐射工作人员路线

PET/CT 机操作技师从医院外经东南侧门进入大厅，经过道进入公共办公区，随后进入控制室，然后通过控制室防护门进入机房内对患者进行摆位，摆位完成后返回控制室。

分装/注射人员从医院外经东南侧门进入大厅，经过道进入核医学科等候大厅，随后分别从护士站、卫生通过间穿过，穿戴防护用品后再进入分装注射室，在分装注射室分装柜内进行药物分装后，通过注射窗口给患者进行注射。工作结束后返回卫生通过间，在卫生通过间内用配备的便携式 X-γ 辐射监测仪及表面污染监测仪进行监测，经监测无污染后离开核医学科。若有异常则进入淋浴间进行清洗，清洗后再做监测，直至无污染后才能离开核医学科。

②患者路线

患者从医院外经东南侧门进入大厅，经过道进入核医学科等候大厅，穿过缓冲间进入注射地点进行药物注射，注射 ^{18}F 药物后的病人进入注射后等候室 1 或注射后等候室 2 等待扫描，待听到呼叫系统的检查通知后，再沿患者走廊进入 PET/CT 机房接受扫描检查，检测完毕后从该机房出来进入留观室进行留观，观察无异常后再从西南侧的患者出口防护门离开，防护门外为院内道路。

③放射性药物路线

本项目的放射性药物 ^{18}F 为外购，按约定时间（上班前）由供应商经西南侧药物入口送至分装注射室分装柜内。核医学科送药路径短捷，采取了管理措施在时间上确保将人流与物流分开，同时送药过程中药物储存在铅防护罐内并辅有防洒落措施。

④放射性固废路线

PET/CT 放射诊断区域产生的放射性固废通过铅废物桶就近收集，然后定期由工作人员转移至固废间内集中暂存衰变，待满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）要求的存放周期后并经检测符合标准要求后，通过分装注射室西南侧防护门转移出控制区按普通医疗废物处理。

本项目 PET/CT 放射诊断区域分装注射室辐射工作人员路线在空间上无可避免地与放射性药物运输路线、放射性废物转移路线重合，但是考虑到放射性药物运送和放射性废物转移均采取错峰运输，放射性药物运送时间均要求供货单位在科室正式上班前送达，放射性废物转移均在下班后进行，因此在时间上可以避免人员路线与放射性药物、放射性废物路线交叉。

综上所述，本项目场所控制区设置单向出、入口，且设置门禁系统，防止病人注射后从入口离开控制区，在出、入口处设置醒目的电离辐射警告标志，禁止受诊病人以外的其他无关人员进入，设置了工作人员退出工作场所时用于放射性污染检测的检测淋浴间。人员、物流通道采取错峰运输，防止了工作人员与患者的交叉流动，能够有效防止交叉污染，避免公众、工作人员受到不必要的外照射，从辐射防护及环境保护方面考虑，该路径合理可行。

10.1.6 辐射防护设计

本项目核医学科辐射工作场所防护设计情况见表 10-7。

表 10-7 PET/CT 放射诊断区域各功能用房屏蔽设计方案一览表

机房名称	项目	屏蔽设计方案
卫生通过间	四周墙体	南墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆，东墙、西墙、北墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆
	室顶	**mm 厚混凝土+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆
	地板	建筑底板+土层（无地下室）
	西侧防护门	**mmPb（铅板）
分装注射室	四周墙体	东墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆，西墙、南墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆，北墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆
	室顶	**mm 厚混凝土+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆

		地板	建筑底板+土层（无地下室）
		西侧防护门	**mmPb（铅板）
		北侧防护门	**mmPb（铅板）
		南侧防护门	**mmPb（铅板）
		西侧注射窗	**mmPb（铅板+铅玻璃）
	储源间	四周墙体	东墙、西墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆，北墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆 南墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆
		室顶	**mm 厚混凝土+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆
		地板	建筑底板+土层（无地下室）
		北侧防护门	**mmPb（铅板）
	固废间	四周墙体	东墙、西墙、北墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆，南墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆
		室顶	**mm 厚混凝土+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆
		地板	建筑底板+土层（无地下室）
		北侧防护门	**mmPb（铅板）
	急救室	四周墙体	东墙、西墙、南墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆，北墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆
		室顶	**mm 厚混凝土+**mmPb（铅板）
		地板	建筑底板+土层（无地下室）
		南侧防护门	**mmPb（铅板）
	注射后等候室 1	四周墙体	东墙、西墙、南墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆，北墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆
		室顶	**mm 厚混凝土+**mmPb（铅板）
		地板	建筑底板+土层（无地下室）
		南侧防护门	**mmPb（铅板）
	注射后等候室 2	四周墙体	东墙、西墙、南墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆，北墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆
		室顶	**mm 厚混凝土+**mmPb（铅板）
		地板	建筑底板+土层（无地下室）
		南侧防护门	**mmPb（铅板）
	PET/CT 机房	四周墙体	东墙、西墙、南墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆，北墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆
		室顶	**mm 厚混凝土+**mmPb（铅板）
		地板	建筑底板+土层（无地下室）
		西侧防护门	**mmPb（铅板）
		南侧防护门	**mmPb（铅板）
		西侧防护窗	**mmPb（铅玻璃）

清洁间	四周墙体	东墙、西墙、南墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆，北墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆
	室顶	**mm 厚混凝土+**mmPb（铅板）
	地板	建筑底板+土层（无地下室）
	南侧防护门	**mmPb（铅板）
留观室	四周墙体	东墙为**mm（清洁间）+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆 / **mm（主任办公室）厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆，南墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆，西墙、北墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆
	室顶	**mm 厚混凝土+**mmPb（铅板）
	地板	建筑底板+土层（无地下室）
	南侧防护门	**mmPb
放废暂存间	四周墙体	东墙、北墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆，西墙、南墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆
	室顶	**mm 厚混凝土+**mmPb（铅板）
	地板	建筑底板+土层（无地下室）
	东侧防护门	**mmPb（铅板）
患者过道	四周墙体	北墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆，南墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆
	室顶	**mm 厚混凝土+**mmPb（铅板）
	地板	建筑底板+土层（无地下室）
	北侧防护门	**mmPb（铅板）
	南侧防护门	**mmPb（铅板）

10.1.7 工作场所拟配备辐射防护用品及辐射安全设施情况

（1）辐射防护用品

根据相关标准要求，放射诊断过程中相关辐射工作人员应配备防护用品，以减少不必要的照射，本项目工作场所拟配备的辐射防护设备及用品详见表 10-8。

表 10-8 本项目辐射防护用品配备情况

名称	数量 (个)	铅当量	用途	拟存放位置
分装柜	**	**mmPb	药物暂存及分装	分装注射室
注射窗	**	**mmPb	药物注射	
铅防护罐	**	**mmPb	送药过程防护	
注射器防护套（3mL）	**	**mmPb	药物传递	
注射器防护套（5mL）	**	**mmPb		
放射性铅废物桶（脚踩式）	**	**mmPb	放射性固废收集	分装注射室、 固废间
储源铅罐	**	**mmPb	贮存校准源	储源间
铅防护屏风	**	**mmPb	受检者之间屏蔽、患者摆位时工作人员防护	注射后等候室 1、注射后等候室 2、PET/CT 机房各 1 个
铅防护衣	**	**mmPb	工作人员防护	卫生通过间
铅橡胶帽子	**	**mmPb		
铅橡胶颈套	**	**mmPb		
铅防护眼镜	**	**mmPb		
铅橡胶手套	**	**mmPb		
手套、工作服、防污帽、口罩等一次性用品	**	/		

（2）辐射安全设施

医院拟在 PET/CT 放射诊断区域相关区域张贴电离辐射警告标志，PET/CT 机房患者出入防护门外上方醒目位置拟设置工作状态指示灯，门上拟张贴电离辐射警告标志，机房与控制室之间的墙体上设置观察窗，可以观察到患者的状态及防护门开闭情况。控制室防护门为平开防护门，拟设置自动闭门装置，患者出入防护门为电动推拉防护门，拟设置防夹装置。设备及控制室操作台拟安装紧急停机按钮，便于操作人员在发生紧急情况时切断系统电源。

场所内安装视频监控、对讲装置，能够随时监控场所内人员情况并实现对讲，以了解患者的有关信息，发现异常或可疑情况立即进行处理。场所内地面上设置明确的患者导向标识，用以规范 PET 场所内患者定向流动。

本项目拟在过道、控制室、门诊等候各设置 1 个固定式剂量监测报警装置。患者通道入口门和患者出口门拟安装单向门禁系统来限制患者的活动范围，并设置自动回门装置，其他控制区入口上锁，以防止无关人员误入。除此之外，工作人员通道入口处，药物通道出入口处均设置有密钥门禁系统，由医务人员负责，可有效防止无关人员进入该管控区域内。

卫生通过间内拟设置淋浴间及冲淋消洗装置，用于应急消洗。储源间设置视频监控系统，并实行双人双锁管理，用于加强 ^{68}Ge 校准源的安全防护，防止放射源丢失或被盗。

（3）其他辐射防护措施

本项目拟配备 1 台便携式 γ 剂量率仪，1 台表面污染检测仪等，能满足工作的需要。

从控制区取出任何物品都应进行表面污染水平检测，严禁将超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）规定的 β 表面污染控制水平的物品带出；控制区人流、物流通道采用分区设置，避免交叉辐射污染；非密封放射性物质操作时在分装柜或者密闭容器内进行；吸取液体的操作使用负压吸液器械，防止放射性液体溅出。本项目拟配置的防护设施和防护用品满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中的相关要求，也满足医院拟开展核技术利用项目运行的要求。

10.1.8 内照射防护措施

内照射防护的基本原则是：积极采取各种有效措施，切断放射性物质进入体内的各种途径，尽可能地减少或避免放射性核素进入体内的一切机会，以使进入体内的放射性物质不超过国家规定的放射性核素年摄入量限制，减少或防止体内受到内照射危害。为此，医院拟制定以下防护基本措施：

①围封隔离：对于工作场所，采取两区划分管理，严密而有效的围封隔离控制区，以限制可能被污染的体积和表面，防止放射性物质向周围环境扩散，防止由于人员或物体的移动而将污染带到相邻房间等措施。内照射以吸入途径可能性最大，故本项目工作场所拟设置通风系统，以降低空气中的放射性浓度。核医学科工作人员进行放射性药物分装等操作过程均在屏蔽且密封负压的分装柜内进行，基本不会有放射性物质的散布。辐射工作人员均不直接接触核素，放射性药物都处于良好的屏蔽状态。核医学科工作人员操作放射性药物需在带独立通风系统的分装柜中进行操作。

②保洁去污：操作者必须遵守安全操作规定，防止或减少污染的发生，保持工作场所内的清洁卫生，对受到污染的表面应及时去污。

③个人卫生防护：操作开放型放射性核素的人员，应根据工作性质正确穿戴相应的防护衣具如工作服、工作帽、靴鞋、手套和口罩，必要时可穿戴隔绝式或活性炭过滤面具或特殊防护口罩。限制暴露于污染环境中的时间。遵守个人卫生规定，不得在开放型放射工作场所或污染区进食或吸烟等。

10.1.9 核医学科拟采取的其他防护措施

①患者出入口设置门禁系统，入口防护门只进不出，出口防护门只出不进，实现病人单向流动。工作人员通道设置门禁系统，防止无关人员入内。

②在患者及工作人员出入口、各功能用房设置电离辐射警告标志。PET/CT 机房门口设置了电离辐射警告标志及工作状态指示灯，机房设置观察窗及对讲装置。PET/CT 机房的电缆管线，室内部分以地沟形式在地坪以下部位布设，在控制室侧墙体下方位置以“U”字形从地坪下方穿越墙体，并在机房内、外穿墙电缆沟上方采用**mm 铅当量的铅盖板进行覆盖。

③在核医学科工作场所控制区、监督区地面设置明确的受检者（患者）路径导向标识或导向提示，在各功能房张贴标识房间用途的门牌。

④在辐射工作场所工作人员出口设置表面污染监测仪及 X-γ辐射剂量率监测仪，辐射工作人员及物品从控制区出口离开时，对人体体表、衣物等进行监测，监测无异常后才能离开核医学科辐射工作场所。

⑤本项目洗消设备旁设置香皂、中性肥皂等一般清洗用品，同时也配备生理盐水、专用

去污剂，配备软毛刷、毛巾、浴巾、纸巾、隔离布、隔离衣、隔离帽、手套、污染人员更换衣物、伤口处理工具等去污用品供工作人员去污使用。

发现人员被污染时，应尽可能现场就近处理，如在洗手池去污，再进行淋浴。尽快脱去污染的衣物和鞋，并转入污染物品袋；要尽早开始流动水冲洗去污。去污过程中，污染衣物的脱放、去污剂的选取、污染人员的管理等要避免放射性核素进入体内和避免放射性核素播散到他人处。去污产生的一般放射性废物置于废物桶内，污染的衣物等用品装入污染物品袋内，在放废暂存间内暂存，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，污染衣物等经足够时间衰变处理后，经检测无异常后，可清洗后重复使用。

本项目分装柜和工作台台面等拟采用不锈钢表面的一体产品，保证操作面平整光滑；控制区内地面铺设 PVC 材料地板，控制区内地面与墙壁衔接处采用抹角设计、无缝隙，墙面采用木纹抗菌树脂板、陶瓷薄板，易于清洗、去污。

⑥拟在核医学科控制区内设置视频监控和语音通话系统，对控制区内的注射药物后受检者进行管控，避免注射药物后的受检者进入非放射性工作区或者随意走动。

10.1.10 放射源的防护措施

本项目 PET/CT 放射诊断区域储源间设置保险柜，用于存放 PET/CT 设备校准源，保险柜表面张贴电离辐射警告标志。医院对校准源统一管理，在储源间门口设置视频监控系统，配备灭火器材，实行双人双锁，以确保放射源的存放安全。放射源的存放场所不得堆放易燃、易爆、腐蚀性等物品。制定放射源台账、定期清点制度，建立领取、使用、归还制度，建立安全状态检查、剂量测量制度。

10.1.11 其他

①医院应对外购的放射性药物供应商资质进行审核，确保放射性药物由符合国家相关要求的供应商提供。如辐射安全许可证、放射性物质运输资质等，供应商应取得销售非密封放射性物质的辐射安全许可证，本项目使用的核素在供应商的辐射安全许可范围内。

②表面污染监测

本项目核医学科辐射工作场所工作人员离开控制区出口时按以下方法进行表面污染监测，并将原始记录存档。

1) 测量时，先测量仪器本底，证实仪器正常后再开始测量。探测器表面尽量靠近表面，但不要贴到表面，以免仪器被玷污。测量 β 表面污染时应不大于 1cm 为宜。

2) 测量应先上后下，先后后背，人体直立，四肢和手指分开，在全面巡测的基础上，再重点监测暴露部位（手、脸等）。

3) 控制好监测仪器探头移动速度，移动速度应与监测仪器读数响应时间相匹配。

4) 实施测量的地点, 应避开 γ 辐射场的干扰。

5) 每次测量完成后应对污染仪器做本底测量, 证实监测仪器未被污染。监测设备应定期(每年至少 1 次)送检。

③医院给所有辐射工作人员配备个人剂量计, 定期送有资质单位监测, 建立监测档案。

④医院制定相关规章制度, 禁止工作人员在控制区和监督区进食、饮水、吸烟, 工作人员工作结束后离开辐射工作场所前洗消检测合格后方可离开。

⑤在核医学科各辐射工作场所地面设置受检者路径导向标识, 在各功能房张贴标识房间用途的门牌。

10.1.12 辐射防护措施符合性分析

本项目核医学科工作场所辐射防护措施合理性分析采用《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 和《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 进行分析, 辐射防护措施符合性分析见表 10-9。

表 10-9 核医学科工作场所辐射防护措施与标准符合性分析对照表

《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
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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。	本项目工作场所均进行专业防辐射设计, 屏蔽体外表面的周围剂量当量率水平满足标准要求, 工作场所屏蔽计算结果详见表 11 章节。	符合
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 $25\mu\text{Sv/h}$ 。		
6.2.1 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。	本项目分装柜和工作台台面等拟采用不锈钢表面的一体产品, 保证操作面平整光滑; 室内地面铺设 PVC 材料地板, 室内地面与墙壁衔接处采用抹角设计、无接缝, 墙面采用木纹抗菌树脂板、陶瓷薄板, 易于清洗、去污。	符合
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、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。	本项目场所级别为丙级, 场所配备分装柜等设备用于操作放射性核素。拟为药物操作人员配备铅衣、铅帽、铅围脖、铅眼镜等防护用品, 并拟配备注射器防护套、注射防护车等防护用品, 注射后等候室 1、注射后等候室 2 均配置移动铅防护屏风, 可根据候诊人数及患者位置进行调整, 以减少给药后受检者之间及对医护人员的不必要照射。	符合

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。	本项目工作场所控制区出口拟配备表面污染监测仪器，并设置有淋浴间、清洗去污设施。从控制区离开的人员和物品均将进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，将采取相应的去污措施。	符合
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。	本项目 PET/CT 放射诊断区域设置储源间，2 枚 ^{68}Ge 贮存于储源间保险柜内。储源间实行双人双锁管理，并设置视频监控及电离辐射警告标志。医院建立放射源管理台账，对放射源的领取、使用、归还及库存情况进行登记，确保账物相符，并定期开展辐射水平监测和安全状态检查。	符合
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。	医院拟配备专用铅防护罐等放射性药物转运容器，容器表面张贴规范的电离辐射警告标志，转运时采取可靠固定措施，防止药物翻倒和跌落。	符合
6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。	PET/CT 机房患者门框上方拟设置工作状态指示灯，灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句。	符合
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。	工作场所设置排风系统，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。	符合
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、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。	本项目放射性药物 ^{18}F 分装操作在分装柜进行。分装柜连接单独的排风系统，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。拟在分装柜的顶壁安装活性炭过滤装置。	符合
《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）	本项目情况	是否符合要求
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。	PET/CT 机房设置观察窗，设置的位置便于观察受检者状态及防护门开闭情况。	符合
6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	PET/CT 机房严禁堆放与设备诊断工作无关的杂物。	符合
6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。	PET/CT 机房拟设置动力通风装置，可以保持良好的通风。	符合
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。	PET/CT 机房防护门外拟设置电离辐射警告标志；患者防护门上方拟设有醒目的工作状态指示灯，灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句； 在候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。	符合

6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；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。	PET/CT 机房控制室防护门为平开门，拟设置自动闭门装置。PET/CT 机房病人进出防护门为推拉式机房门，拟设曝光时关闭机房门的管理措施；机房上方的工作状态指示灯能与机房门有效关联。PET/CT 机房电动推拉门拟设置防夹装置。	符合
6.4.9 CT 装置的安放应有利于操作者观察受检者。	PET/CT 机根据机房的布局来安放，在观察窗外有利于操作者观察受检者。	符合
CT机：机房内最小有效使用面积30m ² ，机房内最小单边长度4.5m。	本项目 PET/CT 机房大小：6m×7.31m（43.86m ² ）。	符合
CT机房：有用线束方向、非有用线束方向铅当量2.5mmPb。	PET/CT 机房： 四周墙体：东墙、西墙、南墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆（约**mmPb 当量），北墙为**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡防辐射砂浆（约**mmPb 当量）；室顶**mm 混凝土+**mmPb（铅板）（约**mm 铅当量）；防护门**mmPb；观察窗**mmPb。	符合

根据上述对照分析结果可知，本项目核医学科工作场所拟采取的辐射安全与防护措施符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的相关要求。

10.2 三废的治理

（1）放射性固体废物

本项目产生的放射性固体废物主要包括放射性药物分装、注射及患者检查过程中产生的被放射性核素污染的一次性注射器、针头、棉签、药棉、纱布、吸水纸、手套、一次性防护用品以及剩余放射性药物包装物等。

医院拟在核医学科 PET/CT 放射诊断区域放射性药物操作区域、注射区域等设置带有铅防护的放射性废物收集桶，废物桶内套专用塑料袋，用于收集放射性固体废物，每袋放射性废物重量不超过 20kg，装满后的废物袋应密封，并及时转运至核医学科固废间暂存。收集后的放射性固体废物按核素种类进行分类，并暂存于核医学科固废间内设置的铅衰变箱中，待满足解控要求后进行后续处理。

核医学科工作场所产生的放射性固体废物应严格按照核素类别进行收集和管理。对于注射器、针头、玻璃安瓿等含尖锐物品的放射性废物，应先采取防刺伤措施后再进行包装收集，避免造成工作人员伤害及污染扩散。每袋放射性废物表面剂量率、重量等应满足相关标准要求，并做好废物收集日期、核素种类、废物重量等信息登记。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），含 ¹⁸F 等半衰期小于 24h 核素的

放射性固体废物，暂存时间超过 30 天后，经监测其辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $^{**}\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可进行清洁解控，并作为医疗废物进行处理。对于经暂存衰变后仍不能达到清洁解控要求的放射性固体废物，应按照放射性废物管理有关规定进行收集、整备，并送交有资质的单位处理。

本项目 PET/CT 设备校准使用的 ^{68}Ge 密封校准源属于密封放射源，废弃后按照国家相关规定，由有资质单位或原供源单位负责回收处理，不作为一般放射性固体废物进行管理。

医院拟安排专职辐射工作人员负责放射性废物的分类收集、暂存及管理工作。固废间入口设置电离辐射警告标志，采取防火、防盗、防丢失措施，并建立放射性废物管理台账，记录废物产生、暂存、处理等信息。放射性废物暂存间不得存放易燃、易爆及腐蚀性物品。

综上所述，本项目产生的放射性固体废物主要为短半衰期正电子核素污染废物，数量较少，经过分类收集、暂存衰变及监测解控等措施后，可满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求，正常运行情况下对周边环境影响较小。

（2）放射性废液

①放射性废液收集及衰变处理设施

本项目拟在肿瘤中心大楼西南侧地下区域设置 1 套智能化放射性废水衰变池系统，用于收集和处理核医学科 PET/CT 放射诊断区域运行过程中产生的放射性废液。本项目放射性废液主要包括给药后受检者卫生间排水、工作人员洗消及场所清洗废水、事故应急清洗废水等。放射性药物分装、注射过程中产生的少量含 ^{18}F 残液采用专用容器收集，盛放放射性废液的容器表面设置电离辐射警告标志。控制区及卫生通过间内相关洗手、冲淋等用水设施采用脚踏式或自动感应式开关。

衰变池区域采用钢筋混凝土结构建设，池体外围采取防渗处理措施，顶部设置检修口，并采取相应辐射防护措施，防止放射性废液渗漏及其产生的辐射对周围环境造成影响。衰变池系统采用并联式结构，共设置 4 个衰变池，每个衰变池尺寸约为 $^{**}\text{m}\times^{**}\text{m}\times^{**}\text{m}$ ，设计最高液位高度约 $^{**}\text{m}$ ，单池有效容积为 $^{**}\text{m}^3$ ，总有效容积为 $^{**}\text{m}^3$ 。衰变池西南侧设置降解池，用于对进入系统的放射性废水进行预处理，降解池有效容积约 $^{**}\text{m}^3$ 。衰变池系统采用耐腐蚀、防渗漏、防老化的不锈钢材质，衰变池有效容积综合考虑本项目正常运行期间放射性废水产生量及事故应急清洗废水的收集需求。

PET/CT 放射诊断区域产生的放射性废水经专用污水管道收集后，首先进入降解池，经预处理后进入衰变池系统。放射性废水专用管道按照短捷、少死区的原则布置，相关管道设置明显标识，并便于检查、维修和异常情况排查。系统通过自动控制装置对 4 个衰变池进行循环控制，废水首先进入 1 号衰变池，当池内液位达到预设高液位后，自动关闭该池进水阀，

并切换至 2 号衰变池继续收集废水；2 号衰变池达到设定液位后依次切换至 3 号、4 号衰变池。当 4 号衰变池达到设定液位后，1 号衰变池内废液已完成规定时间的暂存衰变，随后开启排水阀，将废水排入医院污水处理系统。1 号衰变池排空后重新进入收集状态，各衰变池如此循环运行，实现放射性废液的连续收集、暂存和衰变处理。

②放射性废液产生量及暂存时间分析

本项目核医学科 PET/CT 放射诊断区域使用的放射性核素主要为 ^{18}F ，用于开展正电子发射断层显像诊断。项目运行过程中产生的放射性废液主要来源于患者注射放射性药物后的排泄废水以及核医学工作场所清洗过程中产生的废水。对于放射性药物操作过程中可能发生的少量药物洒漏废液，采用吸水材料进行收集，收集后的污染物按照放射性固体废物进行管理。

本项目 PET/CT 显像预计年检查患者约**人次（平均**人次/d）。患者注射 ^{18}F 显像药物后，预计每人进入卫生间 2 次，每次冲洗废水量约**L，则每位患者产生放射性废水约**L。因此，患者产生的放射性废水量约为**m³/天。工作人员每天清洗（含场所清洗和淋浴）产生废水**L/天（**m³/天）。综上，本项目 PET/CT 放射诊断区域产生的放射性废水量约为**m³/天。

本项目拟在肿瘤中心大楼西南侧地下区域设置放射性废水衰变池系统，用于收集和处理 PET/CT 检查过程中产生的含 ^{18}F 放射性废液。衰变池采用并联式结构，共设置 4 个衰变池，每个衰变池单池有效容积为**m³，总有效容积为**m³。放射性废水经核医学科工作场所污水管道收集后，首先进入衰变池系统暂存衰变。按照每日产生放射性废水量**m³ 计算，单个衰变池装满所需时间约为**个工作日（约**个自然日）。按最不利情况考虑，1 号衰变池停止进水后，需待 2 号、3 号及 4 号衰变池依次装满后方进行排放，因此 1 号衰变池内放射性废液在排放前的实际暂存时间约为**~**个工作日，其中最短暂存时间约为**个工作日（约**个自然日）。满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期小于 24 小时（ ^{18}F ）的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放”要求。

医院拟建立放射性废液管理台账，对放射性废液的产生、收集、暂存及排放等过程进行记录，并定期对衰变池、管道、阀门及自动控制系统等设施运行状态进行检查和维护，防止发生渗漏、溢流等异常情况。本项目设置的放射性废液收集及衰变处理设施能够实现放射性废液的集中收集、暂存和衰变处理，在严格落实相关运行管理及监测措施的情况下，可有效降低放射性废液对周围环境的影响。

综上所述，从辐射防护角度本项目放射性废液衰变池设计合理可行，本项目放射性废水经衰变池贮存衰变处理后能达标排放。

（3）放射性废气

本项目核医学科 PET/CT 放射诊断区域使用的非密封放射性核素为 ^{18}F 。在放射性药物分装、注射及放射性废物收集等操作过程中，可能产生少量含 ^{18}F 的放射性气溶胶。 ^{18}F 显像药物挥发性较低，正常运行情况下放射性废气产生量较少。

根据本项目核医学科通风设计，核医学科相关工作场所拟设置 2 套机械排风系统，工作场所排风管道沿核医学科区域布置，并分别在分装注射室、注射后等候室 1 及其卫生间、注射后等候室 2 及其卫生间、PET/CT 机房、留观室及其卫生间、清洁间、急救室以及患者走廊等区域设置排风口，各区域废气经排风支管排出后汇入相应排风主管。通风系统按照气流由非放射区域向放射性工作区域流动的原则进行设计，通过合理设置送、排风量，使控制区相对于周围区域保持一定负压，避免放射性气溶胶向非放射性区域扩散。各排风支管设置风量调节及防倒流措施，以防止特殊工况下排风管道内气体倒流。

本项目放射性药物分装等操作在分装柜内进行，工作人员严格按照操作规程开展放射性药物分装、转移和注射等操作，可有效降低放射性药物操作过程中产生放射性气溶胶并扩散至工作场所的可能性。核医学科各功能用房通过合理布置送风口和排风口，保证工作场所通风顺畅，减少通风死角和气流短路。

核医学科控制区各功能用房的排风经相应机械排风系统汇入独立排风管道，并引至肿瘤中心大楼高于屋顶 3m 排放。排风系统设置相应的过滤装置，对可能产生的少量放射性气溶胶进行过滤后排放。过滤装置应根据实际使用情况定期检查和更换，更换后的过滤材料按照放射性固体废物进行收集、暂存和管理。

PET/CT 运行过程中产生的少量臭氧和氮氧化物经 PET/CT 机房机械排风系统收集后，随排风气流经排风管道一并引至肿瘤中心大楼高于屋顶**m 排放。本项目仅使用 ^{18}F 开展 PET/CT 显像诊断，采取机械通风等措施可控制工作场所放射性气溶胶水平，防止其扩散至非放射性区域。综上，本项目核医学科通风排风设计能够满足辐射防护要求，正常运行情况下产生的放射性废气对周围环境影响较小。

10.3 环保投资

本项目总投资为**万元，其中环保投资为**万元，占总投资的**%。环保投资情况见表 10-10。

表 10-10 环保投资情况一览表

类别	环保措施	环保投资金额 (万元)	
辐射防护 设计施工	PET/CT 机房及核医学科相关工作场所墙体、顶棚、地板辐射屏蔽施工，以及防护门、防护窗、硫酸钡防护材料等。	**	合计：**
三废处置	核医学科通风排风设施、放射性废水处理设施、放射性固体废物处理设施。	**	
防护用品	分装柜、注射窗、铅防护罐、储源铅罐、注射器防护套、铅废物桶、移动铅屏风、铅防护眼镜、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅围裙、铅橡胶手套等。	**	
监测设备	辐射剂量率监测仪、表面污染监测仪、固定式剂量监测报警装置等。	**	
辐射防护措施	工作场所电离辐射警告标志、工作状态指示等相关辐射安全设施。	**	
人员	4 名辐射工作人员职业健康检查、个人剂量监测及辐射安全与防护培训等。	**	

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

建设阶段主要对本项目肿瘤中心大楼一层核医学科 PET/CT 放射诊断区域及配套用房进行建设、改造、装修和设备安装，并配套设置防护门、防护窗、机械通风装置、放射性废液收集管道等辐射防护设施；同时在肿瘤中心大楼西南侧地下区域设置 1 套放射性废液衰变池系统，衰变池由 4 个并联式衰变池组成，用于收集和暂存 PET/CT 诊断过程中产生的含 ^{18}F 放射性废液。本项目施工期产生的环境影响主要为施工过程中产生的噪声、扬尘、施工废水及固体废物等。

11.1.1 施工噪声环境影响分析

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**~**dB（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。

为了降低施工噪声对周围环境的影响，本项目将通过文明施工，合理安排施工时间，加快施工进度；选择噪声级尽可能低的施工机械进行施工，对施工机械采取消声降噪措施；施工场所采取消声减震等措施。

11.1.2 施工期扬尘影响分析

本项目在施工过程中会产生少量的扬尘，通过合理安排施工时间、封闭施工、洒水等相关措施，将对外环境扬尘影响降至最低。

11.1.3 施工期废水影响分析

本项目施工期废水主要为施工人员生活污水及少量施工设备、工具清洗废水。项目施工内容主要为室内装修、设备安装及配套设施施工，施工废水产生量较少。施工过程中应加强施工管理，避免施工废水随意排放，少量清洗废水经简单收集、沉淀后妥善处置，不直接排入外环境。项目施工期间施工人员约**人，根据给水排水设计规范，按每人每天用水**L 计算，施工时间按**天计算，则施工期总用水量约为**t（**t/d），污水排放量按用水量的**%计算，则生活污水总排放量约**t。施工人员生活污水依托医院现有卫生间及污水收集、处理设施，经医院现有污水处理系统处理后排放。

11.1.4 施工期固体废物影响分析

本项目工程量较小，项目施工期间固废主要为施工人员生活垃圾、少量建筑垃圾及施工废物料。施工期间，施工人员按**人计算，生活垃圾量按**kg/人·d 计算，则施工期内产生生活垃圾约**kg。生活垃圾分类收集至相应的垃圾箱，后交由环卫部门清运。本项目

的装修及设备安装过程将产生少量建筑装修垃圾、包装纸箱、泡沫填充物和废胶桶等。建筑装修垃圾由施工方统一交由有资质的渣土运输公司处置，包装纸箱等可回收利用的施工废物料应予以回收利用，废胶桶等由厂家回收，其他部分分类收集后交由环卫部门清运。

项目施工期环境影响只是一个短期效应，其影响将随着施工期停止而结束，施工过程中采取抑尘措施、合理安排施工秩序、施工时间等措施，尽量将环境影响降低到最小。因此，总体来说，本项目施工期对周围环境的影响较小。

本项目设备的安装、调试由设备厂家专业人员进行，医院不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在各个机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。由于各设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，医院需及时回收包装材料及其他固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

综上所述，项目工程量较小，施工周期较短，通过合理安排施工时间和施工工序，采取洒水抑尘、及时清运施工固体废物、加强施工现场管理等措施，可有效降低施工活动对周围环境的影响。施工期环境影响具有暂时性，随着施工活动结束，相关环境影响亦随之消失。因此，在落实各项施工期环境保护措施的情况下，本项目施工期对周围环境及环境保护目标的影响处于可接受水平。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 辐射防护措施分析

本次评价的 PET/CT 机为Ⅲ类射线装置，从对 X 射线屏蔽的角度考虑，以《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的相关要求为准，对射线装置机房与标准进行对比分析，具体见表 10-9。通过以上对照分析可知，本次评价项目的 PET/CT 机房面积、最小单边长度均大于标准要求，各屏蔽机房四面墙体、顶棚、地板、防护门以及观察窗等的建设均采取了辐射屏蔽，充分考虑邻室（含楼上下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，本评价的各Ⅲ类射线装置机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关防护设施的技术要求。

11.2.2 运行时屏蔽体外辐射剂量率

由于《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）是以保证机房外的人员可能受照剂

量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中规定的要求为目的而进一步推算规定射线装置机房的屏蔽厚度要求，从机房防护及辐射安全分析可知本评价项目的射线机房设计符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对诊断 X 射线机房的防护设施的技术要求，可进一步得知本次评价的Ⅲ类射线装置正常运行情况下，机房屏蔽体外 30cm 处的剂量率 $\leq$ ** μ Sv/h。

根据前述分析，本项目Ⅲ类射线装置机房在满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）标准要求的机房尺寸和屏蔽防护厚度情况下，机房外的周围剂量当量率最大为** μ Sv/h。根据本项目Ⅲ类射线装置机房屏蔽厚度情况，均在满足标准情况下合理设计一定余量。根据屏蔽体铅当量比标准值要求多出一定余量的铅当量，采用 NCRP147 号报告中给出的不同管电压 X 射线辐射在铅中衰减的 α 、 β 、 γ 拟合值计算辐射透射因子 B，本次评价采用** μ Sv/h 与辐射透射因子 B 相乘即可得到Ⅲ类射线装置经屏蔽后机房外的辐射剂量率。

相关参数及机房屏蔽体外剂量率估算结果见表 11-1。

表 11-1 本项目Ⅲ类射线装置机房屏蔽体外辐射剂量率估算参数取值一览表

序号	设备名称	最大管电压 (kV)	H_0 (μ Sv/h)	大于标准最小 铅当量 (mmPb)	α	β	γ	透射因子 B	H (μ Sv/h)
1	PET/CT	140	**	**	**	**	**	**	**

11.2.3 核医学科非密封放射性物质工作场所

11.2.3.1 辐射源活度等相关参数取值

PET/CT 检查区使用 ^{18}F 进行显像诊断。分装注射室分装柜按最大药量**mCi 置于**mmPb 铅罐进行计算；分装注射室按 ^{18}F 单次最大注射量**mCi 进行计算。

分装时按单次分装最大药物**mCi 进行计算； ^{18}F 注射后休息室尽量安排 2 人休息待检，最不利情况为注射后休息室 1、2 各有 2 名受检者（1 人刚注射**Bq，另 1 人注射后已候诊衰变**分钟，剩余药量为**MBq），注射后叠加计算（**MBq）；抢救室按 1 人**Bq 进行计算；受检者注射药物后需等待**min 后进行扫描，故 PET/CT 扫描室机房衰变后的活度（**MBq）进行屏蔽计算。受检者扫描后进入留观室留观，根据医院提供资料可知，留观室内最多 2 位受检者同时留观，2 名受检者均按注射**mCi 后候诊休息（**min）、显像扫描（**min）后的活度（**MBq）叠加后进行屏蔽计算。计算时，忽略铅屏风的影响。

计算时，注射放射性药物后的受检者按点源考虑，源距地 1m，位于机房/用房中央位

置，注射工作人员在**mmPb 的药物注射窗后操作，摆位时穿戴**mmPb 的铅衣。

表 11-2 ^{18}F 核素相关参数一览表

核素	裸源周围剂量当量率常数 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$	患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处周围剂量当量率 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$	TVL(mm)		
			铅	砖	混凝土
^{18}F	**	**	**	**	**

11.2.3.2 估算结果

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的附录 I 中公式 I.1 进行转换，关注点处周围剂量当量率计算公式见式（11-1）。

$$H = \frac{A \times \Gamma}{r^2} \times 10^{-X/TVL} \dots\dots\dots \text{式（11-1）}$$

式中：H—关注点处的周围剂量当量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

A— γ 点源的活度，MBq；

r—周围剂量当量率常数， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$ ；

将式 11-1 代入相关参数进行计算，本项目 PET/CT 检查区辐射工作场所剂量率估算结果见表 11-3。

表 11-3 本项目 PET/CT 检查区辐射工作场所剂量率估算结果

核素名称及位置		屏蔽物质及厚度	源活度 (MBq)	剂量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)	距离 (m)	屏蔽后剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
分装柜 (^{18}F 贮存状态,柜体尺寸为 1.1m×0.8m×2.2m)	正面 30cm	分装柜**mmPb+铅药罐**mmPb	**	**	**	**
	背面 5cm	分装柜**mmPb+铅药罐**mmPb			**	**
	左面 5cm				**	**
	右面 5cm				**	**
	上面 5cm				**	**
	下面 5cm				**	**
分装注射室（东西5.828m×南北3.945m×高3.8m）	北墙外 30cm （护士站、卫生通过间）	**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡涂料+**mmPb 注射器防护套	**	**	**	**
	南墙外 30cm （储源间、固废间）	**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡涂料+**mmPb 注射器防护套			**	**
	东墙外 30cm （住院登记/收费）	**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡涂料+**mmPb 注射器防护套			**	**
	西墙外 30cm （患者走廊）	**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡涂料+**mmPb 注射器防护套			**	**
	顶棚外 30cm （临床营养科办公室、诊室1）	**mm 厚混凝土+**mmPb+**mmPb 注射器防护套			**	**
	顶棚外距地 1m （临床营养科办公室、诊室1）				**	**
	北侧防护门外 30cm （卫生通过间）	**mmPb+**mmPb 注射器防护套			**	**
	南侧防护门外 30cm （药物入口）	**mmPb+**mmPb 注射器防护套			**	**
	南侧防护门外 30cm （储源间、固废间）	**mmPb+**mmPb 注射器防护套			**	**
	西侧防护门外 30cm （患者走廊）	**mmPb+**mmPb 注射器防护套			**	**
	西侧注射窗外 30cm （患者走廊）	**mmPb+**mmPb 注射器防护套			**	**
注射后等候室1（东西2.66m×南北	北墙外 30cm （核医学科等候大厅）	**mm 厚实心砖+**mmPb 硫酸钡涂料	**	**	**	**
	南墙外 30cm	**mm 厚实心砖			**	**

4.36m×高 3.8m)	(患者走廊)	+**mmPb 硫酸钡涂 料				
	东墙外 30cm (急救间)				**	**
	西墙外 30cm (卫生间)				**	**
	顶棚外 30cm (过道、诊室 3)	**mm 厚混凝土 +**mmPb			**	**
	顶棚外距地 1m (过道、诊室 3)				**	**
	南侧防护门外 30cm (患者走廊)	**mmPb			**	**
注射后等 候室 2 (东 西 2.78m× 南北 3.46m×高 3.8m)	北墙外 30cm (弱电室)	**mm 厚实心砖 +**mmPb 硫酸钡涂 料	**	**	**	**
	南墙外 30cm (患者走廊)	**mm 厚实心砖 +**mmPb 硫酸钡涂 料			**	**
	东墙外 30cm (卫生间)				**	**
	西墙外 30cm (PET/CT 机房)				**	**
	顶棚外 30cm (过道、检查室)	**mm 厚混凝土 +**mmPb			**	**
	顶棚外距地 1m (过道、检查室)				**	**
	南侧防护门外 30cm (患者走廊)	**mmPb			**	**
PET/CT 机 房 (东西 6m×南北 7.31m×高 3.8m)	北墙外 30cm (过道)	**mm 厚实心砖 +**mmPb 硫酸钡涂 料	**	**	**	**
	南墙外 30cm (患者走廊)	**mm 厚实心砖 +**mmPb 硫酸钡涂 料			**	**
	东墙外 30cm (弱电室、注射后等 候室 2)				**	**
	西墙外 30cm (公共办公区、控制 室)				**	**
	顶棚外 30cm (过道、检查室)	**mm 厚混凝土 +**mmPb			**	**
	顶棚外距地 1m (过道、检查室)				**	**
	西侧防护门外 30cm (控制室)	**mmPb			**	**
	南侧防护门外 30cm (患者走廊)	**mmPb			**	**

	西侧观察窗外 30cm (控制室)	**mmPb			**	**
留观室(东西 3.312m× 南北 2.68m×高 3.8m)	北墙外 30cm (卫生间、主任办公室)	**mm 厚实心砖 +**mmPb 硫酸钡涂 料	**	**	**	**
	南墙外 30cm (放废暂存间、患者 走廊)	**mm 厚实心砖 +**mmPb 硫酸钡涂 料			**	**
	东墙外 30cm (清洁间)				**	**
	东墙外 30cm (主任办公室)	**mm 厚实心砖 +**mmPb 硫酸钡涂 料			**	**
	西墙外 30cm (辅助配电)				**	**
	顶棚外 30cm (计划室)	**mm 厚混凝土 +**mmPb			**	**
	顶棚外距地 1m (计划室)				**	**
	南侧防护门外 30cm (患者走廊)	**mmPb			**	**
患者走廊	北侧入口防护门外 30cm	**mmPb	**	**	**	**
	南侧出口防护门外 30cm	**mmPb			**	**
	南墙外 30cm	**mm 厚实心砖 +**mmPb 硫酸钡涂 料			**	**
	顶棚外 30cm	**mm 厚混凝土 +**mmPb			**	**
	顶棚外距地 1m				**	**
¹⁸ F 铅药罐表面 30cm		**mmPb 铅罐 +**mmPb 防护服	**	**	**	**
分装		分装柜 **mmPb+**mmPb 防 护服	**	**	**	**
注射		注射窗 **mmPb+**mmPb 防 护注射套+**mmPb 防护服	**	**	**	**
摆位		**mmPb 防护服	**	**	**	**

由表 11-3 可知, 本项目 ¹⁸F 非密封源工作场所控制区外人员可达处各计算点的周围剂量当量率满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ1188-2021) 中“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**μSv/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**μSv/h”的要求; 分装柜外表面的周

围剂量当量率均满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“放射性药物分装柜、通风柜、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于**μSv/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**μSv/h”的要求。由此可知，本项目 ¹⁸F 非密封源工作场所辐射防护措施合理可行。

11.2.3.2 校准用 V 类放射源

本项目校准用放射源为 ⁶⁸Ge。PET/CT 校准源安装好后，人员在机房外操作；由于 ⁶⁸Ge 放射源产生的γ射线能量低于 ¹⁸F 湮没辐射能量，故 PET/CT 机房均能很好地屏蔽校准源的γ射线影响。放射源 30cm 处的剂量率见表 11-4。

表 11-4 校准用放射源 30cm 处剂量率估算表

核素名称	源活度 (Bq/枚)	剂量率常数 (Gy·m ² /Bq·s)	关注点处剂量率μGy/h	
			0.3m	1m
⁶⁸ Ge	**	**	**	**

11.2.3.3 PET/CT 射线装置产生的 X 射线贡献辐射剂量率

结合表 11-1、11-3 计算结果，本项目 PET/CT 机房外各关注点辐射剂量率见表 11-5。

表11-5 PET/CT机房外各关注点辐射剂量率计算结果

机房	关注点	CT机贡献辐射剂量率	核素贡献辐射剂量率	H(μSv/h)
PET/CT 机房	北墙外 30cm (过道)	**	**	**
	南墙外 30cm (患者走廊)	**	**	**
	东墙外 30cm (弱电室、注射后等候室 2)	**	**	**
	西墙外 30cm (公共办公区、控制室)	**	**	**
	顶棚外 30cm (过道、检查室)	**	**	**
	观察窗外 30cm (控制室)	**	**	**
	西侧防护门外 30cm (控制室)	**	**	**
	南侧防护门外 30cm (患者走廊)	**	**	**

根据表 11-5 可知，PET/CT 机房屏蔽体外 30cm 处各关注点辐射剂量率满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“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**μSv/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**μSv/h”和《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“CT 机房外的周围剂量当量率应不大于**μSv/h”的标准要求。

11.2.3.4 有效剂量估算

(1) 外照射所致人员有效剂量

根据前述各关注点周围剂量当量率估算结果，结合本项目辐射工作人员及公众成员在相应关注点的年受照时间和居留情况，对人员年有效剂量进行估算。计算公式如下：

$$E = \dot{H} \times T \times t \times 10^{-3} \dots\dots\dots (\text{式 } 11-1)$$

E——关注点的年有效剂量，单位 mSv/a；

$\dot{H}$ ——关注点处周围剂量当量率，单位 $\mu\text{Sv/h}$ ；

T——人员在关注点的居留因子；

t——相应辐射源项的年照射时间（或年运行时间），单位 h/a；

10^{-3} —— μSv 与 mSv 之间的单位换算系数。

本项目 PET/CT 放射诊断区域拟配备辐射工作人员 4 人，年工作 250 天，其中 1 名核医学技师、1 名影像医师负责设备操作、患者摆位和扫描，1 名核医学医师、1 名护士负责 ^{18}F 药物接收、分装、注射。

PET/CT 显像患者最大为**人次/天（**人次/年），药物接收每日**次，每次约**min/次（**h/d，**h/a），药物分装时间约**min/人（**h/d，**h/a），药物注射时间约**s/人（**h/d，**h/a），摆位时间约**min/人（**h/d，**h/a），患者 PET/CT 扫描时间约**min/人（**h/d，**h/a），CT 扫描时间约**min/人（**h/d，**h/a）。根据医院提供的工作制度，本项目 PET/CT 放射诊断区域每日开展诊断工作时间约**h，年工作**天，因此相邻公众场所年最大可能受照时间按**h/a 考虑。PET/CT 放射诊断区域工作人员及公众成员的年有效剂量估算结果表见表 11-6。

表 11-6 本项目工作人员及公众成员的年有效剂量估算结果表

成员	核素名称	操作类型	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	接触时间 (h)	居留因子	年有效剂量 (mSv)	
职业人员	^{18}F	接收药物	**	**	**	**	**
		药物分装	**	**	**	**	
		注射	**	**	**	**	
		摆位	**	**	**	**	**
		扫描检查	**	**	**	**	
		CT 扫描	**	**	**	**	
公众人员	分装注射室东侧住院登记/收费		**	**	**	**	
	PET/CT 机房北侧过道		**	**	**	**	

留观室西侧辅助配电	**	**	**	**
患者走廊南侧院内道路	**	**	**	**
PET/CT 机房上方暗室、检影、门诊治疗室、眼底激光、眼底照相	**	**	**	**
PET/CT 机房上方过道	**	**	**	**
留观室上方计划室	**	**	**	**
注射后等候室 2 北侧弱电室	**	**	**	**
注射后等候室 2 上方检查室	**	**	**	**
注射后等候室 1 北侧核医学科等候大厅	**	**	**	**
注射后等候室 1 上方诊室 3、AB 超	**	**	**	**
分装注射室上方临床营养科办公室	**	**	**	**

(2) 校准用 V 类放射源

本项目校准用放射源为 ^{68}Ge 。PET/CT 校准源安装好后，人员在机房外操作。校准用放射源所致工作人员年有效剂量估算结果表见表 11-7。

表 11-7 校准用放射源所致工作人员年有效剂量估算结果表

核素名称	单枚源活度 (Bq/枚)	总枚数	单枚关注点处剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	距离 (m)	接触时间 (h)	年有效剂量 (mSv/a)
^{68}Ge	**	**	**	**	**	**

本项目校准放射源使用过程所致工作人员附加受照剂量为**mSv/a，与 PET/CT 工作人员因 ^{18}F 非密封放射性核素及 CT 扫描所致年有效剂量叠加后，年有效剂量约为**mSv/a。本项目拟使用的校准源表面**m 处的剂量率最大值为** $\mu\text{Gy/h}$ ，公众位于机房屏蔽体外，且与校准源之间具有一定距离。因此，在不考虑机房屏蔽的极端保守情况下，公众关注点处剂量率还将随距离增加按平方反比进一步衰减，实际情况下还需同时考虑 PET/CT 机房屏蔽作用，因此公众实际受照剂量率将远低于上述保守估算值，可忽略不计。

(3) 内照射影响分析

本项目核医学科使用的非密封放射性物质主要为 ^{18}F 正电子放射性核素，主要用于 PET/CT 显像诊断，具有半衰期较短的特点， ^{18}F 半衰期约为**min，正常工作状态下产生的内照射风险主要来源于放射性药物分装、注射过程中可能发生的药物洒漏，以及工作人员接触患者排泄物或受到放射性污染后经吸入、摄入等途径造成的内照射。

由于本项目使用核素均为正电子核素，不涉及 ^{131}I 等挥发性放射性核素，因此正常运行过程中不存在放射性碘挥发造成空气污染的影响。项目运行过程中，医院将通过规范放射性药物操作流程、加强工作场所管理及污染监测等措施，降低放射性核素进入人体造成内照射的风险。

内照射防护的基本原则是采取有效措施，切断放射性物质进入人体的途径，减少工作人员与放射性物质的接触机会，使工作人员受到的内照射剂量保持在合理可接受水平。

为降低工作人员内照射风险，医院拟采取以下防护措施：

① 围封隔离措施

本项目核医学科工作场所按照功能划分实施分区管理，对放射性药物操作区域采取必要的围封措施，限制放射性物质污染范围，防止污染扩散。放射性药物分装、注射等操作均在规定区域内进行，工作人员严格按照操作规程开展工作，避免放射性药物洒漏。

② 保洁去污措施

工作人员应严格遵守放射性药物操作规程，保持工作场所清洁卫生。若发生放射性药物洒漏或工作台面、地面等区域受到污染，应及时采取去污措施，并利用表面污染监测仪对污染区域进行检测，确保污染水平满足相关标准要求。

③ 个人防护措施

工作人员进入核医学工作区域时，应正确穿戴个人防护用品，如工作服、一次性手套等。操作放射性药物时应尽量减少操作时间，保持与放射性物质的合理距离，避免直接接触污染物。工作人员不得在放射性工作场所内饮食、吸烟，严格执行个人卫生管理制度。

④ 污染监测措施

医院配置表面污染监测设备，定期对放射性药物操作区域、注射区域、PET/CT 放射诊断区域及相关工作场所进行表面污染监测。工作人员在开展监测工作时，应注意避免监测设备受到污染，并做好监测记录。

综上，本项目使用 ^{18}F 正电子放射性核素，核素半衰期较短，且不存在挥发性放射性核素产生的空气污染影响。在采取上述内照射防护措施后，正常运行情况下工作人员因放射性核素摄入造成内照射的可能性较低，内照射影响较小。

根据前述外照射剂量估算结果，本项目核医学科工作人员受到的年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，低于本项目设定的剂量约束值 5mSv/a ；公众成员受到的年有效剂量低于公众剂量约束值 0.1mSv/a 。

11.2.3.5 β 表面污染环境影响分析

β 表面污染主要由放射性药物分装、注射过程中发生药物洒漏，以及患者注射放射性药物后体液排泄造成。本项目主要使用 ^{18}F 正电子放射性核素，核素半衰期较短，正常运行情况下产生的 β 表面污染水平较低。

为防止放射性药物操作过程中造成工作场所表面污染，本项目在放射性药物分装、注射过程中采取规范操作流程，设置专用操作区域，并配备必要的防护用品。患者检查结束后，工作人员对 PET/CT 放射诊断区域、注射区域及相关工作场所开展表面污染监测，确保工作场所表面污染水平满足相关标准要求。

此外，项目配置便携式表面污染监测仪，工作人员定期对工作场所地面、操作台、设备表面等区域进行污染监测。监测人员在检测过程中注意避免监测仪探头受到污染，并在检测结束后对仪器表面污染水平进行检查。

通过采取上述污染防治措施，正常运行情况下，本项目放射性药物产生的 β 表面污染影响较小。

11.2.3.6 放射性废物对周边环境的影响分析

本项目非密封放射性物质工作场所产生的放射性废物主要为放射性废液、固体废物以及少量的挥发放射性气体。

（1）放射性固体废物

本项目产生的放射性固体废物主要包括放射性药物分装、注射及患者检查过程中产生的被放射性核素污染的一次性注射器、针头、棉签、药棉、纱布、吸水纸、手套、一次性防护用品以及剩余放射性药物包装物等。

医院拟在 PET/CT 核医学科放射性药物操作区域、注射区域等设置带有铅防护的放射性废物收集桶，废物桶内套专用塑料袋，用于收集放射性固体废物。收集后的放射性固体废物按核素种类进行分类，并暂存于核医学科固废间内设置的铅衰变箱中，待满足解控要求后进行后续处理。

核医学科工作场所产生的放射性固体废物应严格按照核素类别进行收集和管理。对于注射器、针头、玻璃安瓿等含尖锐物品的放射性废物，应先采取防刺伤措施后再进行包装收集，避免造成工作人员伤害及污染扩散。每袋放射性废物表面剂量率、重量等应满足相关标准要求，并做好废物收集日期、核素种类、废物重量等信息登记。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），含 ^{18}F 等半衰期小于 24h 核素

的放射性固体废物，暂存时间超过 30 天后，经监测其辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $^{**}\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，可进行清洁解控，并作为医疗废物进行处理。

本项目 PET/CT 设备校准使用的 ^{68}Ge 密封校准源属于密封放射源，废弃后按照国家相关规定，由有资质单位或原供源单位负责回收处理，不作为一般放射性固体废物进行管理。

医院拟安排专职辐射工作人员负责放射性废物的分类收集、暂存及管理工作。放射性废物暂存间内外设置电离辐射警告标志，采取防火、防盗、防丢失措施，并建立放射性废物管理台账，记录废物产生、暂存、处理等信息。放射性废物暂存间不得存放易燃、易爆及腐蚀性物品。

综上所述，本项目产生的放射性固体废物主要为短半衰期正电子核素污染废物，数量较少，经过分类收集、暂存衰变及监测解控等措施后，可满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求，正常运行情况下对周边环境影响较小。

（2）放射性废液

本项目核医学科 PET/CT 放射诊断区域运行过程中产生的放射性废液主要包括受检者注射 ^{18}F 后产生的排泄废水以及工作人员洗消、场所清洗等产生的废水。放射性药物操作过程中发生少量洒漏时，采用吸水材料处理，污染物作为放射性固体废物管理。

本项目 PET/CT 显像检查预计 ** 人次/d，受检者每人次产生放射性废水约 $^{**}\text{L}$ ，患者放射性废水产生量约 $^{**}\text{m}^3/\text{d}$ ；工作人员洗消及场所清洗废水约 $^{**}\text{m}^3/\text{d}$ ，因此本项目放射性废水产生量约为 $^{**}\text{m}^3/\text{d}$ 。

本项目设置 4 个并联式衰变池，单池有效容积约 $^{**}\text{m}^3$ ，总有效容积约 $^{**}\text{m}^3$ 。按每日产生 $^{**}\text{m}^3$ 放射性废水计算，单个衰变池装满约需 ** 个工作日，4 个衰变池依次完成进水约需 ** 个工作日。按最不利情况考虑，单个衰变池停止进水后的最短实际暂存时间约为 ** 个工作日，折合约 ** 个自然日，能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中的要求。

因此，本项目含 ^{18}F 放射性废水经衰变池系统暂存超过 $^{**}\text{d}$ 后可直接解控排放，正常运行情况下对周围水环境影响较小。

（3）放射性废气

本项目核医学科 PET/CT 放射诊断区域使用 ^{18}F 开展 PET/CT 显像诊断。在放射性药物分装、注射及放射性废物处理过程中，可能产生少量含 ^{18}F 放射性气溶胶。由于 ^{18}F 显像药物挥发性较低，正常运行情况下放射性废气产生量较少。

本项目相关工作场所设置独立排风系统，工作场所气流由非放射性区域向放射性工作区域流动，控制区保持相对负压。放射性药物分装在分装柜内进行，相关废气经排风系统及过滤装置处理后，通过独立排风管道引至肿瘤中心大楼高于屋顶 3m 排放。

PET/CT 运行过程中产生的少量臭氧和氮氧化物随 PET/CT 机房排风气流一并经排风管道引至屋顶排放。通过上述排风及过滤措施，可减少放射性气溶胶在工作场所内积聚及向非放射性区域扩散，正常运行情况下项目废气对周围环境影响较小。

11.2.4 辐射事故环境影响分析

11.2.4.1 X 射线装置

X 射线装置应用项目可能发生的辐射事故及风险的发生主要是在管理上出问题，工作人员平时必须严格执行各项管理制度，严格遵守设备的操作规程，进行辐射工作前检查是否已按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查机房的性能，以及有关的安全警示标志是否正常工作，避免无关人员误入正在使用机房内。一旦发生辐射事故，处理的原则是：

①立即消除事故源，防止事故继续蔓延和扩大，即第一时间断开电源，停止 X 射线的产生。

②及时检查、估算受照人员的受照剂量，如果受照剂量较高，应及时安置受照人员就医检查。

③及时处理，出现事故后，应尽快集中人力、物力，有组织、有计划地进行处理。这样，可缩小事故影响，减少事故损失。

④在事故处理过程中，要在可合理做到的条件下，尽可能减少人员照射。

⑤事故处理后应累积资料，及时总结报告。医院对辐射事故进行记录：包括事故发生的时间和地点，所有涉及的事故责任人和受害者名单；对任何可能受到照射的人员所做的辐射剂量估算结果；所做的任何医学检查及结果；采取的任何纠正措施；事故的可能原因；为防止类似事件再次发生所采取的措施。

11.2.4.2 非密封放射性物质辐射工作场所

本项目非密封放射性物质工作场所可能发生的辐射事故情形主要为以下几种：

①在操作放射性同位素的过程中，因容器破碎、药物泼洒等，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。

②放射性药物丢失或被盗，造成放射性事故；放射性药物在转移过程中由于操作人员违反操作规定或误操作引起意外泄漏而造成放射性表面污染。

③因受到爆炸、火灾等各种自然或人为灾害的破坏，可能会导致放射性药物包容破损、放射性液体泄漏，若处置不当，会对人员和环境造成危害。

④放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

⑤放射性废物管理不善，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。放射性废气未按专用排风系统收集并经活性炭过滤后在建筑楼顶外排，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

⑥工作人员未按要求穿戴个人防护用品等，造成附加照射剂量。

当发生放射性污染时，应及时采取适当的应急措施，对污染区域和污染源进行控制，防止污染扩大。具体处理方法如下。

（1）放射性污染控制

①确认引起放射性污染事故的发生及当事人。

②确定发生污染的核素名称、数量、剂量和放射性污染的具体位置、范围、放射性强度等和发生的时间。

③做好警示标识，及时隔离及限制污染现场，穿戴好铅衣等防护用品对污染部位采用肥皂等清洗剂反复清洗，至污染控制水平以下为止。

④评价去污处理效果：污染部位或污染物进行去污处理后应进行处理效果的评价，如用辐射监测仪进行表面污染放射性检测，同时用于去污处理的材料去污处理后应按放射性废物处置，以防放射性污染的扩大和二次污染的发生。被污染过的仪器和器械应暂停使用。

（2）放射性核素偷盗、丢失事故的处理

①确认放射性核素、密封源被偷盗、丢失事故的发生。

②查证放射性核素、密封源的核素名称、数量、活度，被偷盗、丢失的可能时间、地点和嫌疑人等。

③及时向生态环境、卫生健康部门报告，积极配合公安部门的调查。

④写出事故处理结果报告，查找事故发生的原因及可能的环节，评估事故影响。

（3）应急预案的启动

①一旦发生辐射事故，即时启动《辐射事故应急预案》。发生辐射事故时，当事人应即刻报告辐射事故应急处理小组组长，组长随即通知辐射事故应急处理小组有关成员采取应急响应救助措施。

②发生辐射事故时，应急处理小组各成员应认真履行各项职责，各相关部门应积极协调配合，以便妥善处理所发生的辐射事故。

③各应急救助物资应准备充分、调配及时。

④发生事故后应及时上报生态环境、卫生健康行政和公安部门。

11.2.4.3 ^{68}Ge 校准源

本项目 ^{68}Ge 校准源在使用过程中，可能发生的事故情况如下：

(1) 因工作人员操作不当或出现设备故障，在安装或拆卸放射源时，发生放射源由设备或容器中跌落出来，造成操作人员受到强辐射照射。此时，应及时将放射源装入自带的屏蔽容器内，减少对人员的照射。

(2) 由于管理不善，放射源发生被盗、丢失、遗弃等事故，而引发环境辐射污染。发生放射源丢失、被盗、遗弃事故时，应立即启动单位辐射事故应急预案，及时上报生态环境、卫生健康行政和公安部门。

11.2.5 退役影响分析

本项目核医学科工作场所退役后受放射性污染的工艺设备，经去污处理后，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中表 B11 中所列设备类控制水平的五十分之一时，经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后，可当作普通物品使用。对于无法达到污染控制水平的污染物，交由相关处理资质的单位处理。

退役过程中，擦拭、剥离、铲除等作业产生的受污染固体废物，经有相应资质机构测量达到豁免水平，经审管部门许可后，可作为一般废物进行处理，否则应作为放射性废物交由资质单位处理；退役过程中，产生的放射性液体废物，经检测达到清洁解控水平后，按要求经指定排放口排入市政污水管网。

本项目 PET/CT 达到设备使用年限时，产生的废旧 X 射线阴极管属于危险废物（国家危险废物名录 900-044-49），应委托有资质单位处置。拆除 X 射线管的设备在任何情况下均不会再产生 X 射线，医院可按照一般设备报废的相关规定进行处置。

本项目退役产生的废 ^{68}Ge 放射源达到使用年限或不再使用后，按照国家有关规定由原供源单位或有相应资质的单位回收处置，不作为一般放射性固体废物处理。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

本项目为丙级非密封放射性物质工作场所，配套使用Ⅲ类射线装置和 V 类放射源。漳州第三医院根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的有关规定，已成立了以王*为组长，刘*林为副主任，蔡*明、邓*喜、谢*成、管*为成员组成的放射（辐射）防护管理工作领导小组。

其主要职责内容包括：

负责制定并实施放射（辐射）防护管理规章制度；定期对放射（辐射）工作防护设施进行检查；负责对本单位内使用的射线装置进行维护、合理使用及射线装置 X 射线的常规监测工作；制定并落实放射（辐射）事故预防措施；负责放射（辐射）事故应急调查处理及上报。

- 1.落实责任制，分工合作，明确机构人员各自的工作职责和任务。
- 2.保证放射装置监测设备、报警仪器和防护用品的正常运转和使用。
- 3.在发生放射性事件时：相关成员要及时到现场开展工作。
- 4.注意资料收集、整理工作并建立档案资料；放射事件处理结束后要撰写工作总结和调查报告，并按要求报送有关机构。

12.2 辐射安全管理

（一）规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，使用放射性同位素、射线装置的单位应有健全的操作规程、岗位职责、放射防护和安全保卫制度、设备维修制度、人员培训计划、监测方案等，有完善的辐射事故应急措施。

漳州第三医院已根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的有关要求制定规章制度，医院已制定相关制度见表12-1。

表12-1 医院已制定的规章制度一览表

《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求成立的制度	医院已建立的管理制度	
	名称	内容
《操作规程》	《PET/CT 操作规程》	主要规定辐射工作人员操作射线装置的详细流程，能减少辐射事故的发生。
《岗位职责》	《放射（辐射）工作人员职责》	主要明确了辐射工作人员和管理人员在辐射工作中各自的责任。
《辐射防护制度》	《放射（辐射）诊疗场所辐射防护安全管理制度》	对医院辐射工作人员职责、工作程序和个人防护作出要求。
《安全保卫制度》		
《设备检修维护制度》	《放射（辐射）设备状态及防护检测制度》	提出了对射线装置的定期检修和维护要求，防止因设备损坏造成辐射事故。
《人员培训制度》	《辐射工作人员安全与防护培训管理制度》	主要规定了辐射工作人员培训方式、证书有效期。
《台账管理制度》	《放射性核素订购、领取、保管、使用登记、注销制度》	主要规定放射性核素从订购、领取、保管、给药使用直至注销、废物处置的全流程台账登记管理；对放射性药物到货活度、领用、患者给药剂量、残余药量、处置情况进行登记留存。
《监测方案》	《自主监测制度》	主要规定了委托监测和日常监测的频率和内容，并要求对监测结果存档保留。
	《放射（辐射）工作人员个人剂量监测管理制度》	主要规定了辐射工作人员个人剂量监测的频率以及个人剂量计的佩戴要求。

漳州第三医院制定的规章制度符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关要求。

（二）辐射工作人员拟配备人数

根据建设单位提供的资料，本项目 PET 拟配备 4 名辐射工作人员，均为新增辐射工作人员，主要包括核医学技师、影像医师、核医学医师、护士。详细的人员结构在后期项目运行期间将根据实际需要再进行调整。

（三）辐射工作人员培训

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的相关规定，使用射线装置的单位，其辐射工作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。

本项目拟配备的 4 名辐射工作人员均未参加辐射安全与防护培训及考核，因当前 PET 设备暂未投入运行，医院拟在 PET 设备正式投运前，组织相关人员参加生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”的辐射安全与防护培训，并通过“核医学”类别辐射安全与防护考核。所有人员考核合格后方可上岗，确保辐射工作人员具备 PET 设备操作及核医学工作岗位所需的辐射防护知识和能力，满足辐射安全管理要求。

（四）辐射工作人员职业健康体检

根据《中华人民共和国职业病防治法》第三十五条：对从事接触职业病危害的作业的劳动者，用人单位应当按照国务院卫生行政部门的规定组织上岗前、在岗期间和离岗时的职业健康检查，并将检查结果书面告知劳动者。

建设单位严格遵守相关法律法规要求，计划在本项目正式投运前，组织本项目辐射工作人员进行上岗前职业健康体检，体检合格后方可从事放射工作。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测目的

开展辐射监测的目的主要是及早发现和获取可能发生污染与危害的征兆，确保项目安全运行；防止对环境产生有害的影响和对工作人员造成不必要的危害；为采取相应的安全措施提供必要的依据；同时监测数据为运行阶段的环境现状提供参考资料；与本底数据进行对照，分析项目运行后对辐射环境的影响。

12.3.2 个人剂量监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第二十九条要求，生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位，应当严格按照国家关于个人剂量监测和健康管理的规定，对直接从事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。

医院拟为所有辐射工作人员配备个人剂量计，开展个人剂量监测。监测工作委托有资质的放射防护技术服务机构承担。个人剂量常规监测周期一般为1个月，最长不应超过3个月。医院拟建立完善的辐射工作人员个人剂量档案，个人剂量监测档案包括辐射工作人员个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等内容。个人剂量监测档案终生保存。

12.3.3 工作场所及周围环境监测

为了解项目运行过程中的辐射安全，控制和评价辐射危害，使工作人员和公众所受照射尽可能低，项目计划配备相应的辐射监测设备，定期开展外照射监测、表面污染监测等，并定期对工作场所及周围环境进行辐射环境监测，建立监测档案。

- ①验收监测：项目建设完成后，委托有资质的单位进行竣工环境保护验收监测。
- ②年度监测：每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行环境监测。
- ③日常监测：项目运行期间，使用配备的辐射监测设备，对辐射工作场所定期进行环境监测。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《辐射环境监测技

术规范》（HJ61-2021）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）以及《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求，本项目辐射环境监测计划见表12-2。

表12-2 辐射监测计划

监测对象		监测方案	监测项目	监测频率	监测方式
PET/CT 机房	防护性能	四周屏蔽墙外 30cm 处、操作位、防护门门缝处、观察窗、楼上、管线孔等	周围剂量当量率	每年 1 次	委托有资质单位监测
			周围剂量当量率	每月 1 次	自行监测
	安全连锁	实测并检查	安全	每次使用前	自行检查
非密封放射性物质辐射工作场所	控制区	日常外照射监测	四周屏蔽墙外 30cm 处、操作位、防护门门缝处、观察窗、楼上、管线孔等	周围剂量当量率	每月 1 次 自行监测
		场所表面污染监测	地面、墙面、操作台、设备表面	β 表面污染	每次工作结束后；撒漏时及时监测 自行监测
		工作人员体表监测	手、皮肤暴露部位、工作服等体表衣物	β 表面污染	每次离开控制区前 自行监测
	监督区	日常外照射监测	人员活动位、区域墙边	周围剂量当量率	每季度 1 次 自行监测
		场所表面污染监测	地面、常用接触面	β 表面污染	每季度 1 次 自行监测
	全场所	年度监测	控制区、监督区全点位	周围剂量当量率、 β 表面污染	每年 1 次 委托有资质单位监测

本项目制定的辐射监测计划符合医院实际情况，包括定期委托监测、自行监测、自行检查以及辐射工作人员个人剂量监测，内容全面，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）等标准要求。

综上所述，医院辐射监测计划较为全面，能够涵盖本项目核医学科各个环节，且监测频率较为合理，辐射监测计划整体可行。

12.4 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《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）要求，医院已编制《辐射事故应急预案》。

根据《辐射事故应急预案》，医院成立了放射辐射事件应急处理领导小组，组织、开展放射辐射事件的应急处理救援工作，领导小组成员名单如下：

组长：王*

副组长：刘*林

成员：蔡*明、邓*喜、谢*成、管*。

应急预案应明确应急组织机构及职责、事故报告程序、应急响应程序、现场处置措施、人员防护、辐射监测、污染控制及事故后评价等内容。

本项目可能涉及的辐射事故主要包括：PET/CT 误照射或人员误入机房造成异常照射； ^{18}F 放射性药物洒漏、容器破损等造成工作场所或人员表面污染；放射性废物、废液管理异常造成放射性污染； ^{68}Ge 密封放射源丢失、被盗或屏蔽容器损坏造成异常照射等。发生辐射事故时，应立即停止相关作业，控制事故现场，及时组织人员撤离或隔离污染区域，并根据事故性质采取辐射监测、污染去除、人员剂量评估及放射源查找回收等措施，同时按照有关规定及时上报有关主管部门。

主要职责为：

1.定期组织对放射辐射诊疗场所、设备和人员进行放射辐射防护情况的自查和监测，发现事件隐患及时报告并落实整改措施；

2.发生人员受超剂量照射事件，应启动本预案；

3.事件发生后立即组织有关部门和人员进行放射性事件应急处理；

4.负责向卫生行政部门及时报告事件情况；

5.负责放射性事件应急处理具体方案的研究确定和组织实施工作；

6.放射辐射事件中人员受照时，要通过个人剂量计或其它工具、方法迅速估算受照人员的受照剂量；

7.负责迅速安置超受照人员就医，组织控制区内人员的撤离工作，并及时控制事件影响，防止事件的扩散蔓延。

12.5 建设项目竣工环境保护验收一览表

本项目竣工环境保护验收一览表见表 12-3。

表 12-3 竣工环境保护验收一览表

污染源或保护源	主要环保措施	验收标准
核医学科辐射防护措施	PET/CT 放射诊断区域和衰变池四周墙体、顶棚、门、窗的防护详见表 10-3。核医学科配置的防护用品和监测仪器见表 10-4。	1.《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002） 2.《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021） 3.《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）
	PET/CT 机房控制室防护门采用平开防护门，并设置自动闭门装置；患者出入防护门采用电动推拉防护门，并设置防夹装置。PET/CT 设备及控制室操作台设置紧急停机按钮，发生紧急情况时可及时切断设备电源。	
	核医学科工作场所设置视频监控及对讲装置，可对场所内人员活动情况进行实时监控并进行语音对讲，发现异常情况及时处理。场所内地面设置明确的患者导向标识，规范患者在 PET/CT 放射诊断区域内的流动路线。	
	核医学科工作场所的室内表面及装备结构满足标准要求。	
放射性固体废物	本项目产生的放射性固体废物主要包括 ^{18}F 放射性药物分装、注射及患者检查过程中产生的被污染的一次性注射器、针头、棉签、药棉、纱布、吸水纸、手套、一次性防护用品、药物包装物及排风系统更换的过滤材料等。各类放射性固体废物分类收集后暂存于核医学科固废间内的铅衰变箱中。含 ^{18}F 等半衰期小于 24h 核素的放射性固体废物暂存超过 30 天，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 2Bq/cm^2 后，进行清洁解控并作为医疗废物处理。本项目 PET/CT 设备使用的 ^{68}Ge 校准源废弃后由原供源单位或有相应资质的单位回收处理。	
放射性废水	本项目在肿瘤中心大楼西南侧地下区域设置 1 套智能化放射性废水衰变池系统，共设置 4 个并联式衰变池，每个衰变池有效容积约 2m^3 ，总有效容积约 8m^3 ，并设置 1 个有效容积约 2m^3 的降解池。PET/CT 放射诊断区域产生的含 ^{18}F 放射性废水经专用管道收集后进入降解池及衰变池系统暂存衰变。按本项目废水产生量估算，放射性废液最短暂存时间约 2 个自然日，随后排入医院污水处理系统。	
放射性废气	本项目核医学科工作场所设置 2 套独立机械排风系统，各区域产生的少量含 ^{18}F 放射性气溶胶经相应排风系统收集、过滤后，通过独立排风管道引至肿瘤中心大楼高于屋顶 3m 排放。排风系统过滤装置定期检查、更换，更换后的过滤材料按照放射性固体废物进行收集、暂存和管理。	
辐射管理措施	制定相应的规章制度和事故应急预案，规章制度上墙。	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）
	所有辐射工作人员佩戴个人剂量计，并按时送检，建立完善的个人剂量档案；所有辐射工作人员间隔不超过两年应参加职业健康体检，并建立完善的职业健康档案。	
	所有辐射工作人员参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的辐射安全培训及考核，考核通过后方可上岗。应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 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统（ http://rmee.gov.cn ）提交上一年度的评估报告（含监测报告）。	

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

漳州第三医院拟利用肿瘤中心大楼一层新增核医学科项目，建设 1 间 PET/CT 机房及配套核素诊断场所，用于开展医学影像诊断等工作。本项目为医院首次开展核医学诊疗工作，拟新建 PET/CT 工作场所、放射性药物使用及相关辅助用房，并配套建设放射性废物暂存间等设施。PET/CT 放射诊断区域拟购置 1 台 PET/CT（管电压 140kV，管电流 420mA，属于Ⅲ类射线装置），并使用 ^{18}F 正电子核素开展医学显像诊断； ^{18}F 日最大操作量为 $1.55\times 10^{10}\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $1.55\times 10^7\text{Bq}$ ，工作场所属于丙级非密封放射性物质工作场所；拟使用 2 枚 ^{68}Ge 放射源用于 PET/CT 校准，单枚活度为 $7.4\times 10^7\text{Bq}$ ，属于 V 类放射源。

13.1.2 辐射安全与防护分析结论

（1）工作场所布局与分区

本项目射线装置设有独立机房，对辐射工作场所进行分区管理，设立监督区和控制区，分区布局合理。核医学科整体布局能够保证工作程序沿着相关房间单向开展，场所设计满足放射性活度由高到低梯次布置，控制区内医护人员及病人均具有独立的出入口和通道，注射后病人有专用卫生间连接衰变池，辐射工作场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于临床核医学工作场所对于布局的要求，布局合理。

（2）辐射安全措施

本项目PET/CT机房设置独立机房，机房屏蔽设计及工作状态指示灯、自动闭门、防夹、紧急停机等安全设施满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）相关要求。PET/CT放射诊断区域实行控制区、监督区分区管理，并设置门禁、电离辐射警告标志、视频监控、对讲、辐射监测及个人防护设施； ^{18}F 放射性药物分装、注射等操作均采取相应的屏蔽和通风防护措施。

同时，本项目设置放射性固体废物暂存设施、放射性废水衰变处理系统及机械排风系统，对运行过程中产生的放射性固体废物、废液和废气进行分类收集和处理；PET/CT校准使用的 ^{68}Ge 密封放射源贮存于储源间保险柜内，并实行双人双锁、视频监控及台账管理。综上，本项目辐射安全与防护措施总体合理，能够满足相关标准要求。

13.1.3 环境影响评价结论

根据本项目屏蔽设计方案，PET/CT 机房的使用面积、辐射屏蔽厚度及相关防护措施

均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对相应诊断 X 射线机房的防护设施的技术要求。核医学科辐射工作场所拟采取的辐射屏蔽措施符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关标准要求。根据理论计算结果，本项目投入使用后各辐射工作人员及公众人员年有效剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员年有效剂量限值 and 公众人员年有效剂量限值的要求，同时也满足本项目提出的对职业人员剂量约束值 $\leq 5\text{mSv/a}$ 及公众年剂量约束 $\leq 0.1\text{mSv/a}$ 的要求。

13.1.4 辐射安全管理符合性分析

医院已成立辐射安全与环境保护管理机构，制定相关的辐射安全管理制度和辐射工作流程。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。在认真落实辐射安全管理制度的情况下，本项目能满足辐射安全管理要求。

13.1.5 可行性分析结论

①实践正当性分析

目前核医学科已在各大医院广泛推广，技术已成熟，在医疗保障领域起了十分重要的作用。此外，射线装置的应用在放射治疗、放射诊断等方面有其他技术无法替代的特点，对保障健康、拯救生命起了十分重要的作用。漳州第三医院 PET/CT 放射诊断项目的配置，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。

②产业政策符合性分析

对照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》的规定，本项目属于“鼓励类”中“十三、医药”中的“4、.....新型医用诊断设备和试剂，高性能医学影像设备.....”以及“三十七、卫生健康”中的“1、.....医疗卫生服务设施建设.....”项目，因此，漳州第三医院 PET/CT 放射诊断项目符合国家产业政策。

13.1.6 总结论

综上所述，漳州第三医院 PET/CT 放射诊断项目在落实本报告表提出的各项污染防

治措施和辐射安全管理措施后，将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备相应的辐射安全防护措施，项目正常运行对周围生态环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从生态环境保护和辐射防护角度论证，该项目建设是可行的。

13.2 建议

（1）对本评价提出的辐射管理和辐射防护措施，建设单位应尽快落实，在项目建设同时，切实做到环保设施和主体工程“同时设计、同时施工、同时投产”。

（2）建设单位如需增加本报告表所涉及之外的放射性同位素、射线装置或对其使用功能进行调整，则应按要求向生态环境主管部门进行申报，并按污染控制目标采取相应的辐射防护措施。

（3）本项目环评批复后，建设单位应及时向生态环境主管部门办理辐射安全许可证重新申领手续并按要求开展竣工环境保护验收工作。

（4）建设单位应加强辐射安全与防护管理，及时组织辐射工作人员参加辐射安全与防护培训并通过考核，做到全体辐射工作人员持证上岗；培训证书有效期届满，拟继续从事辐射相关工作的，按规定每五年接受再培训与考核。建设单位应建立健全个人剂量和职业健康档案，所有辐射工作人员均应按要求佩戴个人剂量计并接受剂量监测。

表 14 审批

下一级生态环境主管部门预审意见：	
经办人：	盖 章 年 月 日
审批意见：	
经办人：	盖 章 年 月 日