

核技术利用建设项目

达州医科肿瘤医院有限公司
新增 PET/CT 核技术利用项目

环境影响报告表

(公示本)

达州医科肿瘤医院有限公司

2020 年 9 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

达州医科肿瘤医院有限公司 新增 PET/CT 核技术利用项目

环境影响报告表

建设单位名称：达州医科肿瘤医院有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：陈朝平

通讯地址：四川省达州市通川区朝阳西路665号

邮政编码：635000

联系人：梁育

电子邮箱：522245803@qq.com

联系电话：15828516070

目 录

表 1	项目基本情况.....	1
表 2	放射源.....	14
表 3	非密封放射性物质.....	14
表 4	射线装置.....	15
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）.....	16
表 6	评价依据.....	17
表 7	保护目标及评价标准.....	19
表 8	环境质量和辐射现状.....	21
表 9	项目工程分析与源项.....	24
表 10	辐射安全与防护.....	28
表 11	环境影响分析.....	41
表 12	辐射安全管理.....	59
表 13	结论与建议.....	63

附表 建设项目环评审批基础信息表

附图

- 附图 1：本项目地理位置图；
- 附图 2：本项目外环境关系；
- 附图 3：PET 检查区域所在楼层平面布置图；
- 附图 4：PET 检查区域放射性废气排放示意图；
- 附图 5：PET 检查区域放射性废水排放示意图；
- 附图 6：PET 检查区域一体式衰变设施设计图；
- 附图 7：PET 检查区域人流、物流及两区划分图；
- 附图 8：本项目监测布点图。

附件

- 附件 1：委托书；
- 附件 2：辐射安全许可证；
- 附件 3：无辐射安全事故的说明；
- 附件 4：《关于成立辐射安全与防护安全管理领导小组的通知》（达医科院〔2020〕005 号）；
- 附件 5：名称准予变更登记通知书；
- 附件 6：原达州市通州区环境保护局环评批复（通区环审批[2016]13 号）；
- 附件 7：《关于达州中科肿瘤医院环境影响评价有关问题的复函》原达州市环境保护局；
- 附件 8：个人剂量检测报告；
- 附件 9：辐射工作场所辐射水平年度监测报告；
- 附件 10：本项目工作场所辐射水平监测报告；
- 附件 11：辐射安全与防护培训合格证书；
- 附件 12：辐射工作人员参加培训的承诺书；
- 附件 13：相关技术参数的确认说明。

表 1 项目基本情况

建设项目名称		新增 PET/CT 核技术利用项目				
建设单位		达州医科肿瘤医院有限公司				
法人代表		陈朝平	联系人	梁育		
注册地址		四川省达州市通川区朝阳西路汽车西站二层 2-1、2-2 号-1. 2-2 号-2. 3-1. 3-2 号-1. 3-2 号-2 号				
项目建设地点		四川省达州市通川区朝阳西路 665 号达州医科肿瘤医院内				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)		2500	项目环保投资 (万元)	282.7	投资比例 (环保投资/总投资) 11.3	
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建	<input type="checkbox"/> 改建	<input type="checkbox"/> 扩建	占地面积 (m ²) /	
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I <input type="checkbox"/> II <input type="checkbox"/> III <input type="checkbox"/> IV <input type="checkbox"/> V			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I (医疗使用) <input type="checkbox"/> II <input type="checkbox"/> III <input type="checkbox"/> IV <input checked="" type="checkbox"/> V			
	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 <input type="checkbox"/> III			
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II <input type="checkbox"/> III			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II <input checked="" type="checkbox"/> III			
	其它	/				
	<p>项目概述</p> <p>一、概况</p> <p>1、建设单位简况</p> <p>达州医科肿瘤医院有限公司 (统一社会信用代码: 91511702MA62787F71) 是由达州中科肿瘤医院有限公司变更医疗机构名称而来 (见附件 2), 是以肿瘤放疗为主的专科医院, 医院建筑面积 1 万 5 千平方米, 设置床位 100 多张。原达州中科肿瘤医院建设地点与原达州普济心血管医院一致, 除涉及辐射项目已取得省环保厅环评批复外, 其余设施均利用原达州普济心血管医院已有设施, 且设置床位由 150 张下降为 100 张, 在环境影响评价上不属于重大变动。鉴于原达州普济心血管医院已对建设项目进行了环境影响评价并于 2016 年 9 月 1 日取得了原达州市通州区环境保护局环评批复 (通区环审批[2016]13 号) (见附件 6), 因此达州医科肿瘤医院 (原名达州中科肿瘤医院) 无需重新报批环评文件, 原环评</p>					

批复目前依然有效。

达州医科肿瘤医院设有内科、外科、肿瘤科、放射科、医学检验科、药剂科、影像科（CT 诊断、磁共振成像诊断、超声诊断及心电诊断）等十多个科室，能满足各类肿瘤病人的治疗需求。医院目前配置有先进的大型诊断设备，如：头部伽马刀、体部伽马刀、电子直线加速器、核磁共振、CT、全自动凝血分析仪、生化分析仪、全自动血细胞分析仪、全自动化学发光测定仪、尿液分析仪、电解质分析仪、数字 X 光机（DR）、彩超、心电图等医用设备。

目前，达州医科肿瘤医院有限公司已取得四川省生态环境厅核发的《辐射安全许可证》（川环辐证[00616]），许可种类和范围为：使用 II 类放射源；使用 II、III 类射线装置，有效期至 2023 年 9 月 11 日。

2、项目由来

为拓展达州地区医学诊断业务范围，提高区域医疗服务水平，建设单位拟开展放射性医学诊断业务，并配置使用乙级非密封放射性物质工作场所、III 类射线装置和 V 类放射源，涉及使用的非密封放射性物质为氟-18。

为加强核技术应用项目的辐射环境管理，防止辐射污染和意外事故的发生，确保其使用过程不对周围环境和工作人员及公众产生不良影响，根据《中华人民共和国环境保护法》、《放射性同位素与射线装置防护条例》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《中华人民共和国放射性污染防治法》等相关法律法规要求，建设单位须对该项目进行环境影响评价。同时，根据中华人民共和国生态环境部 1 号令《关于修改<建设项目环境影响评价分类管理名录>部分内容的决定》和中华人民共和国环境保护部第 44 号令《建设项目环境影响评价分类管理名录》，本项目涉及使用“乙级非密封放射性物质工作场所、III 类射线装置和 V 类放射源”，应编制环境影响报告表。因此，达州医科肿瘤医院有限公司委托四川省核工业辐射测试防护院（四川省核应急技术支持中心）开展环境影响评价工作（见附件 1）。环评编制单位接受委托后，通过现场勘察、收集资料等工作，结合本项目的特点，按照国家有关技术规范要求，编制完成《达州医科肿瘤医院有限公司新增 PET/CT 核技术利用项目环境影响报告表》。

3、环境影响评价信息公开

为进一步保障公众对环境保护的参与权、知情权和监督权，加强环境影响评

价工作的公开、透明，方便公民、法人和其他组织获取生态环境主管部门环境影响评价信息，加大环境影响评价公开力度。依据国家环境保护部颁布的《建设项目环境影响评价政府信息公开指南》（试行）的规定：建设单位在向生态环境主管部门提交建设项目环境影响评价报告表以前，应依法、主动公开建设项目环境影响评价报告表的全本信息；各级生态环境主管部门在受理建设项目环境影响评价报告表后应将主动公开的环境影响评价政府信息，通过本部门政府网站向社会公开受理情况，征求公众意见。

根据以上要求，建设单位于 2020 年 7 月 16 日在环评爱好者网站上对该项目进行了全文公示（<http://www.eiafans.com/thread-1313991-1-1.html>），以征求公众意见。截止目前，建设单位未收到任何信息反馈。公示网站截图如下：



图 1-1 本项目全文公示截图

二、建设项目概况

1、项目建设内容及规模

达州医科肿瘤医院位于四川省达州市通川区朝阳西路 665 号，医院大楼为地

下三层，地面十二层建筑，1F 分为爱尔眼科接待大厅、达州医科肿瘤医院接待大厅、达州客运西站接待大厅，2F-3F 为爱尔眼科，2F-3F 凸出部分为达州客运西站，-1F- -3F、4F-12F 为达州医科肿瘤医院。其中-3F 为直线加速器室，-2F 为核磁共振室，-1F 为 CT 室、头部伽马刀机房、体部伽马刀机房，4F-8F 为诊断业务区域及医生办公场所等，11F 为行政办公室区，其他楼层为暂时闲置。本次在医院 4F 西侧将医生、病人休息区拆除后新建为 PET 检查区域，目前已拆除为空地，医院大楼呈凸形，PET 检查区域楼顶无人。

(1) 非密封放射性物质工作场所

本项目 PET 检查区域位于 4F 西侧，总面积约 431.96m²，主要辐射工作场所包括：注射操作室（5m²）、注射后休息室 1（5m²）、注射后休息室 2（5m²）、注射后休息室 3（5m²）、PET/CT 检查室（56m²）、控制室（14m²）、储源间（3.25m²）、放射性废物间（1m²）、留观区（7.6m²）、抢救室（5m²）、清洗间（4.6m²）等，以上辐射工作场所墙体防护为 240mm 实心砖墙+1cm~6cm 硫酸钡；地面为 20cm 混凝土楼板，留观室增加 6cm 硫酸钡防护涂料，其他区域增加 2cm 硫酸钡防护涂料；顶面为 12cm 混凝土，留观室顶面增加 1cm 硫酸钡防护涂料，其他区域无需增加防护；屏蔽门为 4-8mm 铅当量铅钢防护门；观察窗、注射窗为 8-50mm 铅当量铅玻璃。

相关配套功能房间包括更衣室（6m²）、候诊区（102m²）、办公室（17.6m²）、处置室（15.6m²）、阅片室（38m²）、打片室（10m²）等，以上配套功能房间地面为 20cm 混凝土楼板，增加 2cm 硫酸钡防护涂料；顶面为 12cm 混凝土，无需增加防护。

涉及使用的非密封放射性物质为氟-18，日等效最大操作量为 2.2×10⁷Bq，年最大用量为 5.5×10¹²Bq，整个场所属于乙级非密封放射性物质工作场所，见表 1-1。

表 1-1 氟-18 显像诊断病人量及用药量

核素名称	工作场所	治疗人数	单个病人最大用量 (Bq)	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大操作量 (Bq)	场所等级
氟-18	PET/CT 检查室	32 人/天 250 天/年	3.7×10 ⁸ (10mCi)	2.2×10 ¹⁰	2.2×10 ⁷	5.5×10 ¹²	乙级

(2) 射线装置及放射源

PET/CT 检查室位于 PET 检查区域，面积为 56m²，配置使用 1 台额定管电压为 150kV，额定管电流为 1000mA 的 PET/CT 进行显像诊断，属于 III 类射线装置，PET/CT 型号待定，年最大出束时间为 300h。

PET/CT 配套使用 3 枚锞-68 V 类放射源，用于 PET/CT 校准，暂存地点为 PET 检查区域储源间，其放射源活度见表 1-2。

表 1-2 放射源表

序号	核素	类别	活度 (Bq)	数量 (枚)	用途	使用场所	活动种类
1	锞-68	V 类	4.625×10 ⁷	2	校准	PET/CT 检查室	使用
2	锞-68	V 类	9.25×10 ⁷	1	校准	PET/CT 检查室	使用

2、项目组成及主要环境问题

本项目具体项目组成及主要的环境问题见表 1-3。

表 1-3 项目组成及主要的环境问题表

	建设内容及规模		可能产生的环境问题	
			施工期	运营期
主体工程	非密封放射性物质工作场所	<p>总面积约 431.96m²，主要辐射工作场所包括：注射操作室（5m²）、注射后休息室 1（5m²）、注射后休息室 2（5m²）、注射后休息室 3（5m²）、PET/CT 检查室（56m²）、控制室（14m²）、储源间（3.25m²）、放射性废物间（1m²）、留观区（7.6m²）、抢救室（5m²）、清洗间（4.6m²）等，以上辐射工作场所墙体防护为 240mm 实心砖墙+1cm~6cm 硫酸钡；地面为 20cm 混凝土楼板，留观室增加 6cm 硫酸钡防护涂料，其他区域增加 2cm 硫酸钡防护涂料；顶面为 12cm 混凝土，留观室顶面增加 1cm 硫酸钡防护涂料，其他区域无需增加防护；屏蔽门为 4-8mm 铅当量铅钢防护门；观察窗、注射窗为 8-50mm 铅当量铅玻璃。</p> <p>相关配套功能房间包括更衣室（6m²）、候诊区（102m²）、办公室（17.6m²）、处置室（15.6m²）、阅片室（38m²）、打片室（10m²）等，以上配套功能房间地面为 20cm 混凝土楼板，增加 2cm 硫酸钡防护涂料；顶面为 12cm 混凝土，无需增加防护。</p> <p>涉及使用的非密封放射性物质为氟-18，日等效最大操作量为 2.2×10⁷Bq，年最大用量为 5.5×10¹²Bq，整个场所属于乙级非密封放射性物质工作场所。</p>	施工废水、固体废物、噪声、扬尘等	β、γ射线、废水、固体废物、β表面沾污

	射线装置	面积为56m ² ,配置使用1台额定管电压为150kV,额定管电流为1000mA的PET/CT进行显像诊断,属于III类射线装置,年最大出束时间为300h。		X射线、臭氧
	放射源	PET/CT配套使用3枚锞-68V类放射源,用于PET/CT校准,暂存地点为PET检查区域储源间。		γ射线
辅助工程	相关配套功能房间包括更衣室(6m ²)、候诊区(102m ²)、办公室(17.6m ²)、处置室(15.6m ²)、阅片室(38m ²)、打片室(10m ²)等,以上配套功能房间地面为20cm混凝土楼板,需增加2cm硫酸钡防护涂料;顶面为12cm混凝土,无需增加防护。		施工废水、固体废物、噪声、扬尘等	/
环保工程	新建一体式并联衰变池1座(1个沉淀池2个衰变池)总有效容积4m ³ ,沉淀池有效容积1.4m ³ ,单个衰变池有效容积为1.3m ³ 。			/
	放射性废物间1间(1m ²)。			废水、固体废物、废气
	PET检查区域控制区设立独立通排风系统及下水系统。			
公用工程	依托已有的配电、供电、通讯系统及污水处理系统等。		/	

3、非密封放射性物质工作场所分级

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录C非密封放射性物质工作场所的分级判据如表1-4。放射性同位素日等效操作量计算结果见表1-5。

表1-4 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 $\sim 2 \times 10^7$

表1-5 本项目非密封放射性物质工作场所分级表

工作场所	PET检查区域
核素名称	氟-18
日最大操作量/Bq	2.2×10^{10}
毒性分组	低毒
毒性组别修正因子	0.01
性状	液态
操作方式	很简单操作
方式与状态修正因子	10
日等效最大操作量/Bq	2.2×10^7
工作场所级别	乙级

*注:①毒性修正因子和操作方式修正因子根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录C确定;②日等效操作量=日最大操作量*毒性修正因子/操作方式修

正因子；③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）的规定，医疗机构使用氟-18 相关活动视为“很简单的操作”。

根据表 1-5，本项目 PET 检查区域日等效最大操作量为 $2.2 \times 10^7 \text{Bq}$ ，场所等级确定为乙级。

4、主要技术参数

本项目放射源、射线装置和非密封放射性物质工作场所使用的放射性核素的主要技术参数见表 1-6 和表 1-7。

表 1-6 PET 检查区域射线装置配置及主要技术参数

序号	射线装置	数量(台)	型号	射线装置类别	工作场所名称	设备主要参数	单个病人最长照射时间(min)	年最大出束时间(h)	用途	活动种类
1	PET/CT	1	待定	III类	PET/CT 检查室	最大管电压 150kV, 最大管电流 1000mA	10	300	显像诊断	使用

表 1-7 本项目主要技术参数表

核素名称	半衰期	主要衰变方式	主要β粒子能量/MeV	主要γ射线能量/MeV	药品名称	用途
^{18}F	109.7min	β^+ (97%) EC (3%)	0.64	0.511	氟-18 标记物注射液	PET 显像诊断
^{68}Ge	280d	β^+ (89.1%) EC (10.9)	1.899	1.883	氯化镓[^{68}Ge]	PET 校准

三、工作人员及工作制度

1、劳动定员

医院现有职工 48 人，其中辐射工作人员 9 人。本项目拟新增辐射工作人员 6 人，具体人员配置情况表 1-8。本项目辐射工作人员不会从事其它辐射工作，不存在剂量叠加的问题。

表 1-8 辐射工作人员配置情况表

序号	拟配置人数(人)	备注
1	2 名护士	氟-18 分装、注射操作
2	2 名技师	PET/CT 操作
3	2 名医护及场所管理人员	医护及场所管理

2、工作制度

本项目实行 8 小时单班工作制度，年工作日为 250 天。

四、产业政策符合性及实践正当性分析

本项目系核和辐射技术用于医学领域,属高新技术。根据国家发展改革委《产业结构调整指导目录(2019 年本)》查阅,本项目属于该指导目录中鼓励类第六项“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”,符合国家产业发展政策。

本项目的建设可以更好地满足公众多层次、多方位、高质量、便利的诊断需求,提高对疾病的诊断能力。本项目核技术应用项目的开展,可达到一般非放射性诊断方法所不能及的效果,是其它诊断项目无法替代的,对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用,由于放射诊断的方法效果显著,其优势明显,因此,该项目的实践是必要的。本项目在诊断过程中,对放射源、射线装置、非密封放射性物质的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施,并建立相应的规章制度和辐射事故应急预案。因此,在正确使用和管理的情况下,可以将本项目产生的辐射影响降至尽可能小,该核技术利用的实践具有正当性。

五、项目选址合理性与平面布置合理性分析

1、选址合理性分析

本项目位于四川省达州市通川区朝阳西路 665 号达州医科肿瘤医院内,院区西北侧为朝阳西路,东北侧为金山路,东南和西南侧紧邻达州汽车西站。

根据现场踏勘,本项目 50m 范围内西北侧约 33m 为朝阳西路,西南侧约 15m 为罗浮道城小区,东南侧 10m 为达州汽车西站停车场,东北侧 50m 为金山路,项目评价范围内不存在自然保护区、保护文物、风景名胜区、饮用水源保护区、学校等生态敏感目标和环境敏感目标。

本项目所在医院已取得原达州市通州区环境保护局(通区环审批[2016]13 号)批复,医院整体项目选址合理性已在相关环评报告中进行了论述,本项目仅为医院整体项目的配套建设项目,不新增用地,且建设的射线装置机房、非密封放射性场所为专门的辐射工作场所,有良好的实体屏蔽设施和防护措施,产生的辐射经屏蔽和防护后对周围环境影响较小,从辐射安全防护的角度分析,本项目选址是合理的。

2、平面布置合理性分析

达州医科肿瘤医院位于四川省达州市通川区朝阳西路 665 号,医院大楼为地

下三层，地面十二层建筑，1F 分为爱尔眼科接待大厅、达州医科肿瘤医院接待大厅、达州客运西站接待大厅，2F-3F 为爱尔眼科，2F-3F 凸出部分为达州客运西站，-1F- -3F、4F-12F 为达州医科肿瘤医院。各个单位分开独立通行，互不交叉。

本项目 PET 检查区域位于医院大楼 4F 西侧（其平面布置见附图 3），PET 检查区域东北侧为医院其他工作场所，西北侧为绿化带。PET 检查区域楼上无人，楼下为爱尔眼科、达州汽车西站，整个 PET 检查区域相对封闭，呈长方形布置。由东北向西南依次为 VIP 室、候诊区、控制室、PET/CT 检查室、设备间、留观区、注射区、注射后休息室 1、注射后休息室 2、注射后休息室 3、抢救室、注射后卫生间、衰变池、主任办公室、阅片室、打片室、男女更衣室。PET 检查区域划分为控制区和监督区，使得医生通道、注射或服用药物的受检者通道、药物通道合理分区。

衰变池位于 PET/CT 检查区域西侧，已避开人群集中活动区域，且下水管道位均位于建筑体内。

本项目辐射工作场所设有专用的候诊区域和就诊通道，医生用房独立成区，受检者、医生流线尽量互不交叉。PET 检查区域总图布置时已考虑了项目特点和周围环境对本项目可能存在的影响，使受检者能够就近诊断，这样既方便了诊断，又使辐射工作场所相对集中，以便于 PET 检查区域对辐射工作场所的集中统一管理。因此，本评价认为本项目总平面布置是合理的。



图 1-2 医院所在大楼立面图

3、人流、物流路径规划合理性分析

(1) 人员流通合理性

患者和医生通过大厅电梯进入四层，然后进入注射区进行氟-18 标记物注射，注射后进入注射后休息室内等待，等待后进入 PET/CT 检查室进行显像诊断，显像后病人进行留观，留观后通过撤离通道电梯（就诊后病人专用电梯）离开，此路径可以实现病人单向流通。PET/CT 检查室控制室和注射室医生通过大厅电梯进入。普通卫生间和病人专用卫生间分开独立设置。整个场所各功能房间布局紧凑，并可以实现医生通道和服药病人通道分开独立设置，互不交叉，并能有效控制服药病人流通范围，避免污染扩散。从布局来说，人员流向合理。

医生及病人流通过程见图 1-2。

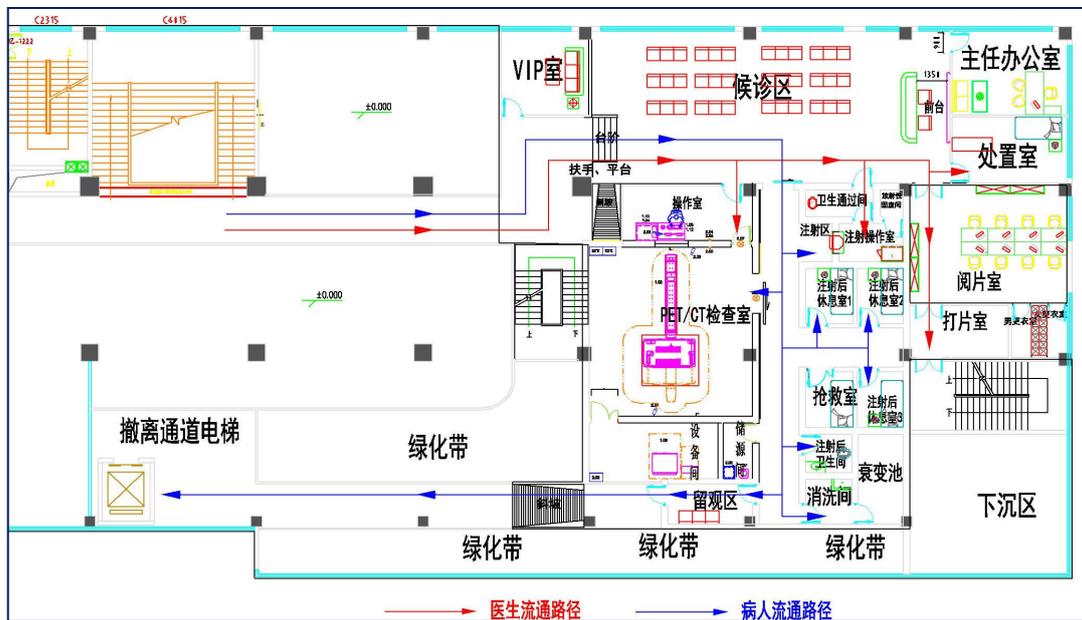


图 1-3 医生、病人流通过程图

(2) 药物及废物通道合理性

放射性药物及放射源均从撤离通道电梯转入，其中放射性药物转入注射操作间，放射源转入储源室，含氟-18 固体废物日常暂存于专用放射性废物间内，达到解控水平后通过撤离通道电梯转出，整个放射性药物、放射源和含氟-18 固体废物均在接诊病人前后及上班前下班后进行转入或转出，且不在四层非辐射工作区域流通，有效控制药物转移过程中因撒漏造成的表面污染范围，从布局来说，药物及废物通道设置合理。

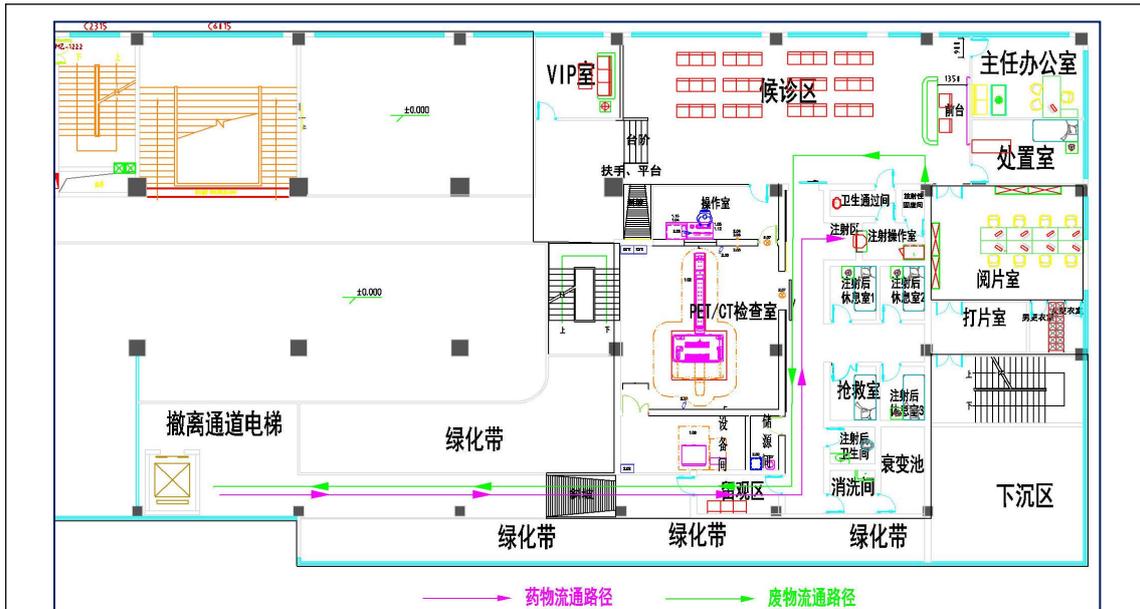


图 1-4 药物、废物流路径图

从功能分区来看，接诊等候、核素注射、扫描检查、工作人员办公区域划分明确，相对隔离，可以尽量减少公众和医护人员不必要的照射。医院将加强对 PET 检查区域工作场所的管理，人员或语音广播引导受检者就诊，地面粘贴引导标志，告诫注射药物的待检者在规定区域候诊，提醒陪护者和无关人员避免进入候诊走廊和注射药物候诊区域。

综上所述，整个 PET 检查区域位置相对封闭且独立，各组成部分功能分区明确，满足诊治工作要求，既能有机联系，又不相互干扰，从辐射安全的角度考虑，本项目平面布置是合理的。

4、与周边环境的兼容性分析

本项目利用医院内现有的水资源供给系统，生活废水经医院已有废水处理设施进行处理后排入市政污水管网，经达州市污水处理厂处理后达标排放，不会对当地水质产生明显影响；本项目产噪设备为风机，声级较小，噪声影响不大，不会改变区域声环境功能区规划。医疗固废属于危险废物，解控后的废物依托已有危废间暂存，最后按医疗废物处置，定期交由有资质单位进行处置，生活垃圾由市政环卫部门统一清运。

因此本项目的建设没有对周边产生新的环境污染，项目与周边环境相容。

六、原有核技术利用许可情况

1、根据原达州市环境保护局《关于达州中科肿瘤医院环境影响评价有关问题的复函》（附件7），达州医科肿瘤医院（原名达州中科肿瘤医院）建设地点与原达州普济心血管医院一致，除涉及辐射项目已取得省环保厅环评批复外，其余设施均利用原达州普济心血管医院已有设施，且设置床位由150张下降为100张，在环境影响评价上不属于重大变动。鉴于原达州普济心血管医院已对建设项目进行了环境影响评价并于2016年9月1日取得了原达州市通州区环境保护局环评批复（通区环审批[2016]13号）（见附件6），因此达州医科肿瘤医院（原名达州中科肿瘤医院）无需重新报批环评文件，原环评批复目前依然有效。本项目原为医生、病人休息区，拆除后为空地，没有遗留环境问题。



图 1-5 本项目原有用途及现状

2、达州医科肿瘤医院有限公司已取得四川省生态环境厅核发的《辐射安全许可证》（川环辐证[00616]），许可种类和范围为：使用 II 类放射源；使用 II、III 类射线装置，有效期到 2023 年 9 月 11 日。

（1）已许可使用放射源

达州医科肿瘤医院有限公司已获许可使用的放射源具体情况见表1-9。

表1-9 达州医科肿瘤医院有限公司已获许可使用放射源

序号	装置名称	放射源核素名称	放射源最大活度	放射源类别	放射数量	来源	工作场所名称
1	头部伽马刀	Co-60	9.62E+12	II	30	中核高通	放疗科
2	体部伽马刀	Co-60	9.62E+12	II	25	中核高通	放疗科

(2) 已许可使用射线装置

达州医科肿瘤医院有限公司已获许可使用的 II、III 类医用射线装置共 3 台，具体情况见表 1-10。

表 1-10 医院已获许可使用的医用射线装置

序号	装置名称	规格型号	类别	电压 kV	电流 mA	功率/能量	用途	工作场所
1	医用电子直线加速器	XHA600E	II	/	/	X 射线最大能量为 6MV, 无电子线	肿瘤治疗	肿瘤放疗中心负二层医用电子直线加速器机房
2	X 射线电子计算机断层扫描装置(CT)	uCT510	III	140	420	/	诊断	肿瘤放疗中心负二层 CT 机房
3	数字化 X 线摄影系统 (DR)	DP580	III	150	630	/	诊断	综合大楼四楼 DR 机房

3、开展辐射监测的情况

(1) 个人剂量检测

达州医科肿瘤医院有限公司按规定给所有辐射工作人员配备了个人剂量计，每季度对个人剂量计进行检测，并按要求建立了个人剂量档案。医院有专人负责个人剂量检测管理工作。发现个人剂量检测结果异常时，及时调查原因，并将有关情况及时报告医院放射防护管理领导小组。

根据医院现有辐射工作人员最近一年度的剂量检测报告（见附件 8）（有人员流动），辐射工作人员个人剂量计监测结果满足职业人员年剂量 5mSv 的约束限值，无人员超标情况。

(2) 工作场所辐射水平监测

达州医科肿瘤医院有限公司每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行监测。对于医用射线装置使用场所，主要对射线装置机房周围（四周墙体、楼上和楼下、防护门和观察窗外）、控制室进行监测，监测数据记录存档。

达州医科肿瘤医院有限公司委托了四川世阳卫生技术服务有限公司开展了辐射环境现状监测，根据辐射环境监测报告，现有辐射工作场所的周围 X~ γ 辐射剂量率范围为 0.29~0.32 μ Sv/h，小于 2.5 μ Sv/h 的标准值，屏蔽防护设施和措施均

能满足辐射防护要求；医用射线装置工作中所致职业人员所受剂量满足5mSv/a的年剂量约束值，所致公众所受剂量均满足0.1mSv/a的年剂量约束值。

4、医院自使用射线装置以来，未发生过辐射安全事故（见附件3）。

5、医院现有工作人员共48人，辐射工作人员9名，其中6名辐射工作人员参加了辐射安全培训，取得了合格证书（附件11）。根据《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）：“自2020年1月1日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020年1月1日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。医用承诺未参加培训及拟新增的辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗，且每5年进行一次再学习和考核（见附件12）。

6、医院2019年对在用的医疗射线装置安全与防护状况进行了评估，其年自查评估报告已提交四川省生态环境厅审核。医院应每年1月31日前通过全国核技术利用辐射安全申报系统（<http://rr.mee.gov.cn/rsmsreq/login.jsp>）提交年度自查评估报告。

根据医院《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告（2019年度）》，现医院辐射安全管理情况如下：

（1）放射防护与设施运行、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、辐射应急处理措施、档案管理方面均满足相应规定要求。

（2）现单位地址未发生变动，对《辐射安全许可证》单位名称和法人进行了变更；

（3）个人剂量档案和职业健康档案齐全；

（4）现有放射性同位素与射线装置与台账明细一致；

（5）医院调整了放射防护管理领导小组成员；

（6）医院对放射设备进行防护监测与性能监测，所有检测符合有关标准，确保设备运行使用正常，质量可靠。

（7）按要求完成射线装置场所环境监测，监测结果合格。

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	Co-60	$2.88 \times 10^{14} / 9.6 \times 10^{12} \times 30$	II类	使用	肿瘤治疗	肿瘤放疗中心负一层头部伽马刀机房	肿瘤放疗中心负一层头部伽马刀机房	已上证
2	Co-60	$2.4 \times 10^{14} / 9.6 \times 10^{12} \times 25$	II类	使用	肿瘤治疗	肿瘤放疗中心负一层体部伽马刀机房	肿瘤放疗中心负一层体部伽马刀机房	已上证
3	锆-68	$9.25 \times 10^7 / 4.625 \times 10^7 \times 2$	V类	使用	校准	PET/CT 检查室	铅罐密封暂存于储源间保险柜	本项目新增
4	锆-68	$9.25 \times 10^7 / 9.25 \times 10^7 \times 1$	V类	使用	校准	PET/CT 检查室	铅罐密封暂存于储源间保险柜	

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	氟-18	液态	使用	2.2×10^{10}	2.2×10^7	5.5×10^{12}	诊断	很简单操作	PET检查室	注射操作间通风橱

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》(GB18871-2002)。

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 X 射线 能量 (MeV)	剂量率 (Gy/min)	用途	工作 场所	备注
1	医用电子直线加速器	II类	1	新华 XHA 600E	电子	X 射线最大 能量为 6MV, 无电 子线	6Gy/min	肿瘤 治疗	肿瘤 放疗 中心 负二 层医 用电 子直 线加 速器 机房	已上 证

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电 压 (kV)	最大管电 流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	PET/CT	III类	1	待定	150	1000	显像 诊断	综合大楼四楼 PET/CT 检查室	本项目 新增
2	CT	III类	1	uCT510	140	420	诊断	综合大楼肿瘤 放疗中心负二 层 CT 机房	已备案 已上证
3	DR	III类	1	DP580	150	630	诊断	综合大楼四楼 DR 机房	已备案 已上证

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名 称	类 别	数 量	型 号	最大管电 压 (kV)	最大靶电 流 (μ A)	中子强度 (n/s)	用 途	工作 场所	氚靶情况			备 注
										活度 (Bq)	贮存 方式	数量	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称		状态	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
固体废物	一次性注射器、口罩、擦拭纸和空药瓶、手套、注射器及擦拭棉签等	固态	400kg/a	< 10 ⁴ Bq/kg	集中收集暂存于放射性固体废物存储间，并编号记录存储日期	衰变 10 个半衰期后作为医疗废物处理。
	更换下的过滤器	固态	10 kg/a			
	退役后的锞-68 废源	固态	仅在放射源更换时产生	/	/	由生产厂家回收处理或由有资质单位回收
废水	病人排泄废水	液态	96m ³ /a	总β< 10Bq/L	废水通过专用管道排至衰变池中暂存	暂存停留 10 个半衰期监测达标后进入市政污水管网。
废气		气态	2.2×10 ⁸ Bq	73.3Bq/m ³	过滤后直接排放	环境大气
臭氧		气态	少量	/	直接排放	环境大气

注：1、常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；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/m²）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（2015 年 1 月 1 日实施）；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月 29 日实施）；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日实施）；</p> <p>(4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年 3 月 2 日修改并实施《国务院关于修改部分行政法规的决定》，中华人民共和国国务院令 第 709 号）；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第 449 号令）；</p> <p>(6) 《放射性废物安全管理条例》（国务院令 第 612 号）；</p> <p>(7) 《四川省辐射污染防治条例》（四川省十二届人大常委会第 24 次会议通过，2016 年 6 月 1 日实施）；</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部第 18 号令）；</p> <p>(9) 《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）；</p> <p>(10) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年 1 月 18 日国家环境保护总局令 第 31 号公布，2017 年 12 月 12 日《环境保护部关于修改部分规章的决定》（部令 第 47 号）对其进行了修改）；</p> <p>(11) 《建设项目环境影响评价分类管理目录》（环境保护部第 44 号令）；</p> <p>(12) 《关于修改<建设项目环境影响评价分类管理名录>部分内容的决定》（生态环境部 1 号令）；</p> <p>(13) 《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）。</p>
<p>技术标准</p>	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(2) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；</p> <p>(3) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）</p>

	<p>(4) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）；</p> <p>(5) 《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）；</p> <p>(6) 《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）；</p> <p>(7) 《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）；</p> <p>(8) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2016）；</p> <p>(9) 《医疗废物专用包装袋、容器和警示标志标准》（HJ421-2008）；</p> <p>(10) 《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》（GBZ165-2012）；</p> <p>(11) 《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》（GBZ/T180-2006）；</p> <p>(12) 《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>(13) 《临床医学患者防护要求》（WS533-2017）；</p> <p>(14) 《公众成员的放射性核素年摄入量限值》（WS T613-2018）。</p>
其他	<p>(1) 《环保部辐射安全与防护监督检查技术程序》（第三版）；</p> <p>(2) 《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环办发[2016]1400 号）；</p> <p>(3) 《关于印发<四川省环境保护厅辐射事故应急响应预案（2015 版）>的通知》（川环发[2015]60 号）；</p> <p>(4) 《达州医科肿瘤医院放射防护设计方案》（济南居里宝辐射防护器材有限公司）；</p> <p>(5) 建设单位提供的相关技术参数资料。</p>

表 7 保护目标及评价标准

评价范围
 按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的有关规定，对于乙级非密封放射性物质工作场所，评价范围确定为屏蔽墙体边界外 50m 范围。

保护目标
 本项目的�主要环境影响因素为电离辐射。根据本项目评价范围、辐射工作场所平面布置及外环境特征，本项目环境保护目标见表 7-1 所示。

表 7-1 主要环境保护目标

保护名单	位置	方位	人数（人）	距离辐射源最近距离	
				水平（m）	垂直（m）
职业人员	医院四层 PET 检查区域	/	6	0.5	/
公众	一、二、三层爱尔眼科，达州汽车西站	楼下	流动人群	/	4
	达州汽车西站	楼下	20	/	4
	四层候诊区	/	流动人群	10	/
	朝阳西路	西北侧	流动人群	33	20
	罗浮道城小区	西南侧	1000	15	/
	达州汽车西站停车场	东南侧	流动人群	10	20
	金山路	东北侧	流动人群	50	20

评价标准

1、个人剂量约束值

①职业照射：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 4.3.2.1 条的规定，对任何工作人员，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量不超过由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯平均）20mSv。项目对于职业人员，要求按上述标准中规定的职业照射年有效剂量的 1/4 执行（即 5mSv/a），作为本项目职业照射年有效剂量约束值。

②公众照射：第 B1.2.1 条的规定，实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过年有效剂量 1mSv。项目要求按上述标准中规定的公众照射年有效剂量的 1/10 执行，即 0.1mSv/a，作为本项目公众照射年有效剂量约束值。

2、放射性表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 B11 工

作场所的放射性表面污染的控制水平见表 7-2。

表 7-2 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	40
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		0.4

3、废水排放标准

废水执行《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)表 2 限值,标准值见表 7-3。

表 7-3 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值(日均值)

控制项目	衰变池排放口排放标准(Bq/L)
总 β	10

4、众成员吸入放射性核素年摄入量限值

本项目产生的气溶胶含有氟-18,公众照射年有效剂量约束值为 0.1mSv/a 时,根据《公众成员的放射性核素年摄入量限值》(WS T613-2018)规定公众成员吸入放射性核素年摄入量限值最低为 1.6×10^6 Bq。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

本项目为使用乙级非密封放射性物质工作场所、III类射线装置和V类放射源，主要的污染因子为电离辐射，对环境空气、地表水及地下水影响较小，因此本次评价没有对区域环境空气质量、地表水和地下水环境质量进行监测评价，重点对评价区域开展了辐射环境现状监测评价。为掌握项目拟建地辐射水平，对项目拟建地辐射环境进行了现场监测。

一、监测方法与标准

- (1) 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61-2001)；
- (2) 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-1993)；
- (3) 《表面污染测定 第一部分： β 发射体($E_{\beta\max}$) 0.15MeV)和 α 发射体》(GB/T 14056.1-2008)。

二、监测点位布设

根据现场踏勘，拟建地现为空地，且拟建地周围评价范围内没有其他电离辐射源，因此周围辐射环境趋于一致。根据本项目各辐射工作场所布置情况，本次选择在拟建地场所内和场外敏感目标处布设监测点位以反映区域辐射环境质量本底状况，其监测点位布设合理。监测点位布设见表 8-1。

表 8-1 监测点位布设表

序号	点位名称	备注
1	拟建 PET/CT 检查室	室内
2	拟建候诊区	室内
3	拟建注射操作室	室内
5	拟建衰变池处	室内
6	达州医科肿瘤医院 4F 楼梯口	室内
7	拟建 PET/CT 检查室下方 3F 爱尔眼科	室内
8	拟建 PET/CT 检查室西侧罗浮道城小区	室外

三、监测时间及现场环境状况

2020 年 07 月 02 日，我院监测人员对项目拟建地进行了现场监测，监测时环境温度：26℃~29℃；环境湿度：67%~70%；天气状况：晴。

四、监测仪器

表 8-2 监测仪器一览表

项目	仪器名称及编号	检出限	检定有效期	检定单位
γ辐射剂量率	仪器名称：辐射防护用 X-γ辐射剂量当量率仪 仪器型号：AT1123 (平衡帽： 0.025MeV-3MeV) 仪器编号：54088	50nSv/h	2019年09月12日 ~2020年09月11日	四川省核工业辐射测试防护设备计量检定站
αβ表面污染	仪器名称：α、β表面污染仪 仪器型号：LB124 编号：10-9145	0Bq/cm ²	2019年09月12日 ~2020年09月11日	中国测试技术研究院

五、质量保证

本次监测单位为四川省核工业辐射测试防护院（四川省核应急技术支持中心），具有中国国家认证认可监督管理委员会颁发的资质认定证书（编号：160021181133），并在许可范围内开展监测工作和出具有效的监测报告，保证了监测工作的合法性和有效性。具体质量保证措施如下：

- （1）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；
- （2）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；
- （3）监测仪器按规定定期经计量部门检定，检定合格后方可使用；
- （4）监测仪器经常参加国内各实验室间的比对，确保监测数据的准确性和可比性；
- （5）每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否良好；
- （6）由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录；
- （7）监测报告实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术负责人审定。

六、监测结果

本项目辐射工作场所辐射剂量率本底值监测结果见表 8-3。

表 8-3 项目拟建地周围 γ 辐射剂量率监测结果

测量点号	测量点位置	γ 辐射剂量率(nSv/h)	标准差	备注
1	拟建 PET/CT 检查室	110	2.9	/
2	拟建候诊区	111	1.5	/
3	拟建注射操作室	114	1.7	/
4	拟建衰变池处	116	1.7	/
5	达州医科肿瘤医院 4F 楼梯口	99	2.9	/
6	拟建 PET/CT 检查室下方 3F 爱尔眼科	102	1.2	/

表 8-4 项目拟建地周围 $\alpha\beta$ 表面污染监测结果

测量点号	测量点位置	β 表面污染 (Bq/cm ²)	标准差	备注
1	拟建 PET/CT 检查室地面	0.17	0.005	/
2	拟建候诊区地面	0.18	0.006	/
3	拟建注射操作室地面	0.18	0.005	/
4	拟建衰变池处地面	0.20	0.008	/
5	达州医科肿瘤医院 4F 楼梯口地面	0.16	0.005	/
6	拟建 PET/CT 检查室下方 3F 爱尔眼科地面	0.15	0.005	/
7	拟建 PET/CT 检查室西侧罗浮道城小区地面	0.22	0.007	/

由表8-3可知，本项目周围 γ 辐射剂量率背景值为99nSv/h~116nSv/h，在普通生活环境状态下，辐射环境权重因子按1进行考虑，则拟建场所周围 γ 辐射剂量率背景值为99nGy/h~116nGy/h，对照2019年四川省内29个电离辐射环境监测自动站测得的 γ 辐射空气吸收剂量率（小时均值）范围76.8nGy/h~163 nGy/h（引自《2019年四川省生态环境状况公报》），属于当地天然本底范围。

由表 8-4 可知，本项目周围各监测点 β 表面污染为 0.15 Bq/cm²~0.22Bq/cm²，符合《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于工作场所控制区和监督区 β 表面污染分别不超过 40Bq/cm² 和 4Bq/cm² 的要求。

表9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、施工期污染源项分析

本项目施工改造将原有墙体全部拆除，新建 PET 检查区域。施工期主要为各个辐射工作场所的建设、设计、装修，新建废水衰变池、给水排水管网、新风系统、排风系统等。施工期需要使用的主要施工机械设备包括人工锤、气锤、混凝土输送泵、混凝土搅拌机、电锯、切割机、冲击钻等，主要的污染因子为：噪声、粉尘、弃渣、生活污水和生活垃圾等。

噪声：各施工设备噪声源强约为75~100dB，项目施工期噪声源强较大，对项目周围环境有一定影响。

扬尘：扬尘主要来自于施工过程中建筑材料（水泥、沙子、石子等）现场搬运及堆放产生的扬尘、切割打磨装饰材料产生的粉尘、建筑垃圾清理产生的扬尘。通过洒水抑尘、施工材料加盖篷布等措施可以降低扬尘的产生和影响。

生活污水：施工人员产生的生活污水。项目施工期每天最大约 10 人在施工现场作业，生活用水量约为 50L/人·d 计，污水产生系数按用水量的 0.9 计，则生活污水排放量为 0.45m³/d。施工期产生的生活污水依托现有厕所处理，进入市政管网，不会对环境产生影响。

建筑垃圾：主要为废木料、水泥、砂石、石材、塑料包装、金属材料、碎玻璃及拆除固废，根据类比同类型的项目，产生的所有建筑垃圾约为3t，运往指定的建筑渣土堆放场堆放。

生活垃圾：施工期产生的生活垃圾按每天10人计，每人每天产生生活垃圾 0.5kg，则每天产生5kg，依托原有收集设施收集后交环卫部门统一回收处理。

施工期工艺流程如图9-1所示：

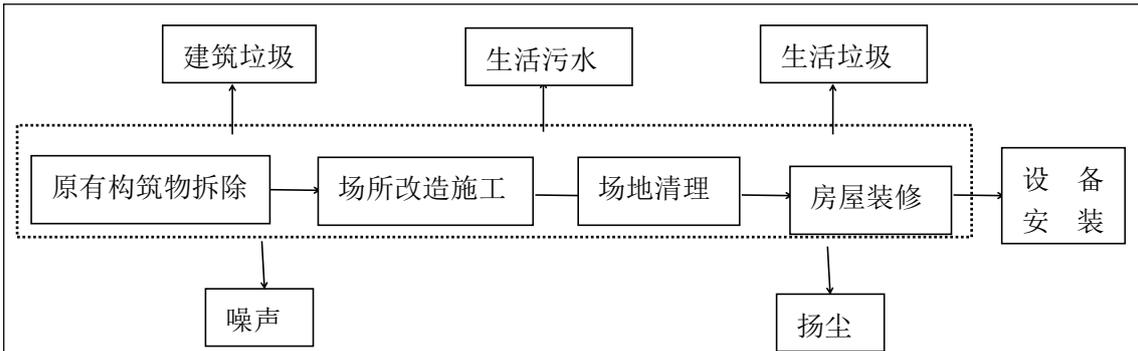


图 9-1 施工期施工流程图

二、运营期污染源项分析

(一) 放射性同位素应用

^{18}F 的半衰期为 109.8min，衰变类型为 β 衰变，电子俘获(EC)，主要射线为 511KeV 的 γ 光子，最大正电子能量为 633KeV，平均正电子能量为 203KeV。

本项目使用的放射性药物为 ^{18}F -FDG (氟代脱氧葡萄糖)，其完整的化学名称为 2-氟-2-脱氧-D-葡萄糖，通常简称为 FDG。葡萄糖是人体三大能源物质之一，将可以被 PET 探测并形成影像的正电子核素 ^{18}F 标记在葡萄糖上，即 ^{18}F -FDG，它可准确反映体内器官/组织的葡萄糖代谢水平，是目前 PET-CT 显像的主要显像剂。恶性肿瘤细胞由于代谢旺盛，导致对葡萄糖的需求增加，因此静脉注射 ^{18}F -FDG 后，大多数肿瘤病灶会表现为对 ^{18}F -FDG 的高摄取，通过 PET-CT 显像可早期发现全身肿瘤原发及转移病灶，准确判断其良、恶性，从而正确指导临床治疗决策。此外，通过对心肌、脑组织的 ^{18}F -FDG 糖代谢功能测定，可早期发现和诊断存活心肌和脑功能性病变，干预疾病的发生发展，达到早期防治目的。

(二) PET 显像工作原理

PET 即正电子发射断层显像 (Positron Emission Tomography) 的英文缩写。它作为一种先进的核医学影像手段，对于功能、代谢和受体分布等的显示具有优势，被称为“生化显像”或“分子成像”，利用核素示踪原理，在分子水平上，通过动态、定量的监测人体内部的生化变化来观察其功能状态，显示人体器官组织正常或病变。其临床显像过程为：将发射正电子的放射性核素标记到能够参与人体组织血流或代谢过程的化合物上，将标有带正电子化合物的放射性核素注射到受检者体内。让受检者在 PET 的有效视野范围内进行 PET 显像。

CT 是计算机断层 X 射线摄影技术(Computed Tomography)的简称，它使用了

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

PET 在成像过程中由于受多种因素的影响，采集的数据与实际情况并不一致，图像质量失真，必须采用有效措施进行校正，才能得到更真实的医学影像。用 CT 图像对 PET 进行衰减校正，使 PET 图像的清晰度大为提高，图像质量明显优于同位素穿透源校正的效果，且易于操作。校正后的 PET 图像与 CT 图像进行融合，经信息互补后得到更多的解剖结构和生理功能关系的信息对于肿瘤病人手术和放射治疗定位具有极其重要的临床意义。PET/CT 同机融合具有相同的定位坐标系统，病人扫描时不必改变位置，即可进行 PET/CT 同机采集，避免了由于病人移位所造成的误差。采集后两种图像不必进行对位、转换及配准，计算机图像融合软件便可方便地进行 2D、3D 的精确融合，融合后的图像同时显示出人体解剖结构和器官的代谢活动，大大简化了整个图像融合过程中的技术难度、避免了复杂的标记方法和采集后的大量运算，并在一定程度上解决了时间、空间的配准问题，图像可靠性大大提高。

(三) ^{68}Ge 密封源

^{68}Ge 密封源是用于 PET 的质量控制。PET 在正式运行后，随着时间的推移，图像质量会明显下降，这时，采用 ^{68}Ge 密封源对 PET 性能进行全面检测和系统修正。通过 ^{68}Ge 密封源绕轨道运行，探头同时进行连续的数据采集，直至完成整个质量控制与系统校正过程。

(四) 操作流程

(1) 根据预约的病人量向供药公司订购非密封放射性物质氟-18，每日最大操作量为 $2.2 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，并由供药公司运输到医院；

(2) 供药公司在早晨或下午将订购量的氟-18 送往医院，运输过程由供药公司负责，运输过程氟-18 药物放在铅罐内；

(3) 供药公司送来的药物放入注射操作间通风橱暂存，待工作人员准备好后对病人进行注射，由于氟-18 半衰期极短（109.7min），每次订购的放射性药物当天全部用完；

(4) 注射室工作人员（作好防护措施，穿铅衣、铅手套等）将装有放射性

核素的铅罐放在 50mm 铅当量通风橱内进行分装，单次最大分装量为 10mCi，分装对病人进行药物注射，注射时，工作人员和病人采用隔离操作，注射台为 50mm 铅当量；

(5) 每一位病人注射完药物后进入休息室进行静息观察，观察等待时间约 30min~45min，期间禁止人员陪护，病人不得离开休息室；

(6) 观察时间结束后，病人进入 PET/CT 检查室进行扫描，单次扫描时间约 2~10min；

(7) 扫描完成后，病人进行留观静息，期间多喝水排泄，大约 5min 后，病人离开。

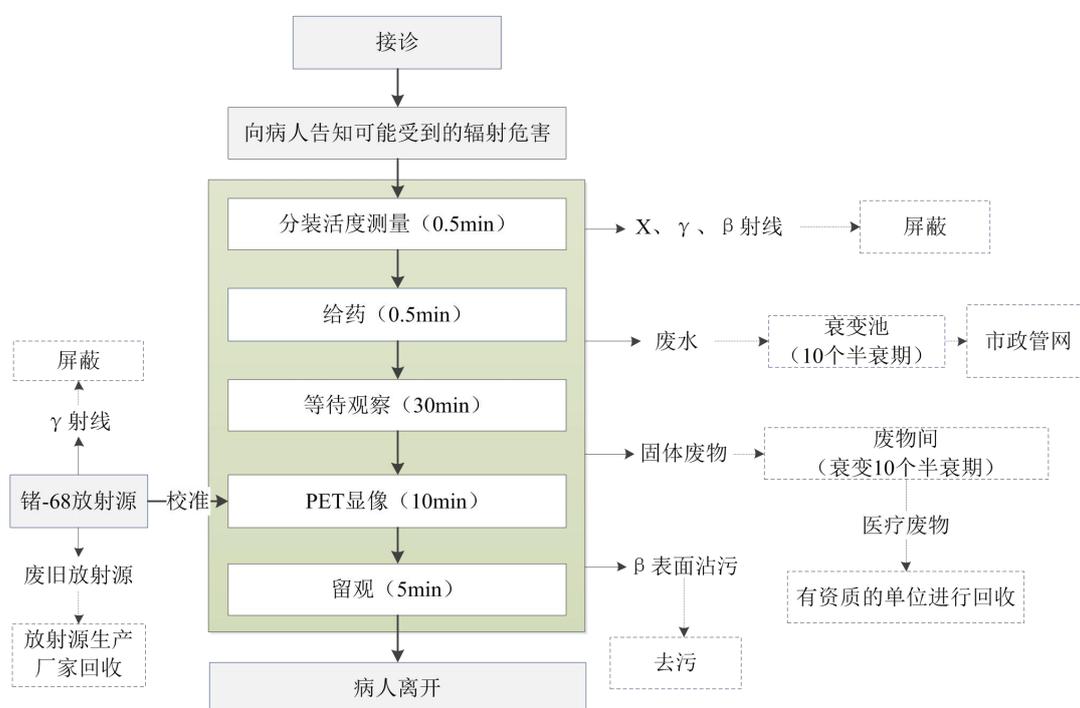


图 9-2 PET 显像诊断工作流程图

(五) 工作负荷

PET/CT 检查区域只使用一种放射性核素，氟-18。根据建设单位提供资料，PET/CT 检查区域投入使用后，每天进行放射诊断的患者最多 32 人，每人注射的放射性药物最多为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

根据“工作流程”分析可知，为降低由于自然衰变引起的放射性核素损失，如果当天受诊者较多，将分 2 次订购放射性核素 ^{18}F 。每次订购的放射性核素移交后，PET/CT 检查区域将立即对放射性药物进行分装，并对第 1 名预约患者进行放射性药物的注射。即：每一批订购的 ^{18}F 送抵 PET/CT 检查区域后，将有 $3.7 \times$

10^8Bq 的 ^{18}F 立即被实施注射到 1 名患者身体中。此后，每隔 12 分钟对一名患者实施注射操作，即每隔 12 分钟将有 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ 的 ^{18}F 被实施注射到 1 名患者身体中。在考虑 ^{18}F 的自身衰变因素后，医院向供应单位订购的 ^{18}F 需求量实际上要大于实际使用量(操作量)，建设单位每一批订购的放射性药物的量为 $1.1\times 10^{10}\text{Bq}$ ，详见表 9-1。医院每天最多订购 2 批放射性药物，因此每天订购的 ^{18}F 活度最大量为 $2.2\times 10^{10}\text{Bq}$ 。

表 9-1 每天放射性药物使用情况

患者序号	注射时间		注射量 (Bq)	相应注射量在收到放射性药物时的量(Bq)
	上午	下午		
1	8:00	13:00	3.7×10^8	3.7×10^8
2	8:12	13:12	3.7×10^8	3.99×10^8
3	8:24	13:24	3.7×10^8	4.31×10^8
4	8:36	13:36	3.7×10^8	4.65×10^8
5	8:48	13:48	3.7×10^8	5.01×10^8
6	9:00	14:00	3.7×10^8	5.41×10^8
7	9:12	14:12	3.7×10^8	5.83×10^8
8	9:24	14:24	3.7×10^8	6.29×10^8
9	9:36	14:36	3.7×10^8	6.79×10^8
10	9:48	14:48	3.7×10^8	7.32×10^8
11	10:00	15:00	3.7×10^8	7.90×10^8
12	10:12	15:12	3.7×10^8	8.52×10^8
13	10:24	15:24	3.7×10^8	9.19×10^8
14	10:36	15:36	3.7×10^8	9.91×10^8
15	10:48	15:48	3.7×10^8	1.07×10^9
16	11:00	16:00	3.7×10^8	1.15×10^9
总计			1.184×10^{10}	2.22×10^{10}

医院预计全年最多工作 250 天，则每年诊断的患者人数最多为 8000 人，每年为患者注射的放射性药物最多为 $2.96\times 10^{12}\text{Bq}$ ，每年放射性药物的订购量最多为 $5.50\times 10^{12}\text{Bq}$ 。PET/CT 检查区域工作负荷及放射性药物的使用情况，见表 9-2。

表 9-2 PET/CT 检查区域工作负荷及放射性药物的使用情况

核素名称	工作场所	治疗人数	单个病人最大用量 (Bq)	实际日最大注射量 (Bq)	实际日最大订购量 (Bq)	实际年最大注射量 (Bq)	实际年最大订购量
氟-18	PET/CT 检查室	32 人/天 250 天/年	3.7×10^8 (10mCi)	1.184×10^{10}	2.22×10^{10}	2.96×10^{12}	5.5×10^{12}

根据以上分析，该辐射工作场所每天使用（操作）的量是稍少于订购量，操作时是订购量在衰减后剩下的量（活度），本项目以订购量进行工作场所分级核算，保守评价。

（六）核素的购买和管理

医院拟通过向有相关资质的放射性核素供应单位购买，来获得本项目所需的非密封放射性核素 ^{18}F 。目前医院购买非密封放射性核素 ^{18}F 的单位尚未确定。 ^{18}F 的质保期为 6 个小时，只要从生产厂家到医院注射时间能满足 6 个小时的，都可以购买使用 ^{18}F 。

医院根据临床诊断所需药物的使用量，向放射性核素供应单位订购，供应单位在约定的时间负责将放射性药物运送至该医院 PET/CT 检查区域，医院安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在分装/注射室内的分装柜中。医院将自行对购买的放射性核素进行分装。严禁无关人员进入 PET/CT 检查区域，严禁辐射操作人员违规操作放射性核素。医院将在放射性核素交接结束后，开展进行 PET 放射诊断工作；核素交接结束前，医院严禁无关人员（包括进行 PET 放射诊断的患者）进入注射间区域。由于放射性核素 ^{18}F 半衰期很短，只有 109.74min，因此医院应根据临床诊断所需的使用量，向有相关资质的放射性核素供应单位订购，并在放射性核素送达当天全部使用完，不会有放射性核素存放过夜。特殊情况下，由于病人未来就诊等原因，剩余放射性核素放置于铅罐内，剩余核素及铅罐由供应厂家回收。

医院制定放射性核素的管理制度，做好核素的领取、使用登记工作，并且在 PET/CT 检查区域各出入口设置监控系统和门禁系统，确保放射性药物的安全。

污染源项描述

一、施工期工艺污染源分析

本项目主要是在预留的场地上进行修建、装修施工，在施工过程中，主要环境问题表现为扬尘、废水、噪声、废渣和装修废气等。由于本项目工程量小，施工期短，通过作业时间控制，合理安排好各种噪声施工机具的使用时间，加强施工现场的管理等手段，对周围声环境产生较小的影响，该影响是暂时性的，对周围声环境的影响随建设期的结束而消除。施工所产生的少量生活废水经原有废水收集系统排入市政污水管网，在建设施工中采取湿法作业，尽量降低扬尘对周围环境的影响。建设施工所产生的施工废渣送指定的建筑垃圾处置场。

在安装调试阶段，主要环境影响为 X 射线、 γ 射线和包装固体废物影响。

二、运行期正常工况污染源分析

1、电离辐射

氟-18 放射性同位素发生 β^+ 衰变，产生 β 粒子能量为 0.64MeV，同时衰变产生的正电子与游离负电子发生湮灭反应产生能量为 0.51MeV γ 射线。同时由于操作不当以及服药病人管理不善，会造成氟-18 溶液的溅洒形成 β 表面沾污。

锞-68 放射性同位素发生 β^+ 衰变，产生 β 粒子能量为 1.899MeV，同时衰变产生的正电子与游离负电子发生湮灭反应产生能量为 1.883MeV γ 射线。

X 射线装置机开机工作时，通过高压发生器和X光管产生高速电子束，电子束撞击钨靶，靶原子的内层电子被电离，外层电子进入内层轨道填补空位，放出具有确定能量的X射线，PET/CT 产生的最大 X 射线能量均为 150kV，不开机状态不产生辐射。

2、废水

(1) 本项目氟-18 诊断病人均不需要进行住院观察，在注射后在候诊及留观过程中会产生一定量的排泄废水及清洗废水，根据《建筑给排水设计规范》

(GB50015-2010)，门诊病人用水定额取 15L/次·人，废水产生量核算见表 9-1。

表 9-1 废水排放汇总表

核素名称	产生来源	用水量 (L/d·人)	排放量* (L/d·人)	日最大病人 数 (人)	日产生量 (L/d)
^{18}F	排泄、清洗废水	15	12	32	384

*注：废水排放系数取 0.8。

(2) 本项目医务人员及非 PET 检查病人产生的废水直接依托医院已有的废水处理设施进行处理后排入市政污水管网。

3、固体废物

(1) 氟-18 采取注射的方式进行给药，产生的含氟-18 固废废物包括：一次性注射器、针头、手套、药瓶、擦拭棉签等，产生量约 50g/人·次。

(2) PET/CT 使用的锞-68 校准源每 2~3 年更换一次，更换时将产生锞-68 废旧放射源。

(3) 本项目废气排风口设置有活性炭过滤器，建设单位将每半年进行校正和更换，产生约 10kg/a 的含氟-18 固废废物。

根据前述分析，固废产生情况见表 9-2。

表 9-2 固废汇总表

核素名称	产生来源	产生量	日最大病人人数 (人)	日产生量 (kg/d)
¹⁸ F	一次性注射器、口罩、手套、药瓶以及擦拭棉签废物等	50g/人·次	32	1.6
	过滤器	10kg/a	/	/
⁶⁸ Ge	废旧放射源	/	/	/

(4) 医务人员产生的办公垃圾以及非 PET 检查病人产生的生活垃圾依托已有垃圾回收系统收集后交由市政环卫部分进行收集处理。

4、废气

(1) 含氟-18 气溶胶

本项目氟-18 为氟[¹⁸F]代脱氧葡萄糖注射液 (¹⁸F-FDG)，属于非挥发性液态物质，病人给药方式为注射，¹⁸F-FDG 进入场所前采用负压瓶进行密封存储，且采取注射器进行抽取分装，并最终通过静脉注射进入病人体内，在整个诊断过程中含氟-18 气溶胶量很少，本次评价保守按氟-18 日最大用量 (2.2×10^{10} Bq) 0.1% 进行源项核算，根据设计废气排放口总的排风量为 3000m³/h，过滤器过滤效率大于 90%，经计算氟-18 排放速率= 2.2×10^{10} Bq \times 0.1% \times (1-90%) / (1 小时) = 2.2×10^5 Bq/h，排口平均排放浓度= 2.2×10^5 Bq/h/3000m³/h =73.3Bq/m³。

(2) 臭氧

空气在γ射线和 X 射线照射下电离产生的有害气体臭氧，由于射线装置及放射源能量较低，其臭氧产生量较少。

5、噪声

风机工作时将产生一定的噪声，其噪声源强不超过 65dB(A)。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

通过污染源分析可知，本项目产生的主要污染物为 X 射线、 γ 射线、 β 射线和表面沾污。同时病人诊断过程还会产生废水和固体废物。针对这些污染物，建设单位在设计阶段均制定了相应的污染防治措施。

一、辐射防护屏蔽措施

1、辐射防护措施

(1) 防护要求

根据《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）放射性核素的权重活度分为三级，见表 10-1。

表 10-1 工作场所分级

分级	权重活度, MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50

注：权重活度=（计划的日最大操作活度×核素毒性权重系数）/操作性质修正系数。

本项目各个核素权重活度计算结果见表 10-2。

10-2 非密封放射性物质工作场所权重活度核算结果表

工作场所	核素	日最大订购量 (Bq)	操作性质修正系数	毒性权重系数	计算结果 (Bq)	防护分级
注射操作间、注射区	^{18}F	2.2×10^{10}	1	1	$2.2\text{E}+10$	II
留观室、卫生间、消洗间	^{18}F	2.2×10^{10}	10	1	$2.2\text{E}+09$	II
储源间、放射性废物间	^{18}F	2.2×10^{10}	100	1	$2.2\text{E}+08$	II
注射后休息室 ^①	^{18}F	2.2×10^{10}	10	1	$2.2\text{E}+09$	II
PET/CT 检查室 ^②	^{18}F	2.2×10^{10}	10	1	$2.2\text{E}+09$	II

根据表 10-2 计算结果，可以得出不同级别工作场所室内防护要求，见表 10-3。

表 10-3 防护要求表

工作场所	工作场所	地面	通风橱	表面	室内通风	管道*	清洗及去污设备
II	注射操作间、注射区、留观室、储源间、放射性废物间、注射后休息室、PET/CT 检查室、卫生间、消洗间	易清洗且不易渗	需要（风速不小于 1m/s）	易清洗	有较好通风	一般要求	需要

*注：下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检修。

综上所述，注射操作间、注射区、留观室、储源室、放射性废物间、注射后

休息室、PET/CT 检查室需达到 II 级场所防护要求。

(2) 辐射防护措施

本项目非密封放射性物质工作场所采取的辐射防护与放射性污染防治措施主要包括以下方面：

① 建筑物屏蔽设计

本项目辐射工作场所的辐射防护设计由济南居里宝辐射防护器材有限公司（鲁济药监械经营备 20160394）实施，房间的四周及屋顶均装修相应的屏蔽体对射线进行有效的屏蔽，屏蔽状况见表 10-4。

表 10-4 PET 检查区域非密封放射性物质工作场所防护方案一览表

工作场所	工作台面	地面	墙体	屋顶和地板	通风	防护门	观察窗
注射操作间	易清洗不锈钢台面	墙面与地面交接应作圆角处理，地面应全部敷设易去污并可以拆除更换的材料，其边缘应高出地面 15~25cm，且地面光滑，并具有易去污，受辐射后不易老化，且防水	东墙 240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料，其余墙体 240mm 实心砖+50mm 硫酸钡涂料	地面为 20cm 混凝土楼板，留观室需增加 6cm 硫酸钡防护涂料，其他区域需增加 2cm 硫酸钡防护涂料。顶面为 12cm 混凝土，留观室需增加 1cm 硫酸钡防护涂料，其他区域顶面无人无需增加防护。	有	8mm 铅当量防护门	50mm 铅当量通风橱
注射间	无		四面墙体 240mm 实心砖+50mm 硫酸钡涂料		有	8mm 铅当量防护门	50mm 铅当量防护注射台
储源间	无		四面墙体 240mm 实心砖+50mm 硫酸钡涂料		有	4mm 铅当量防护门	无
放射性废物间	无		北、西面墙体 240mm 实心砖+20mm 硫酸钡涂料，东墙 240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料，南墙 240mm 实心砖+50mm 硫酸钡涂料		有	4mm 铅当量防护门	无
注射后休息室 1	无		四面墙体 240mm 实心砖+50mm 硫酸钡涂料		有	6mm 铅当量防护门	无
注射后休息室 2	无		东墙 240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料，其余墙体 240mm 实心砖+50mm 硫酸钡涂料		有	6mm 铅当量防护门	无
注射后休息室	无		东墙 240mm 实心砖+60mm 硫酸钡涂料，		有	6mm 铅当量防护	无

3			其余墙体 240mm 实心砖+50mm 硫酸钡涂料			门	
抢救室	无		四周墙体 240mm 实心砖+50mm 硫酸钡涂料		有	6mm 铅当量防护门	无
注射后卫生间	无		四周墙体 240mm 实心砖+50mm 硫酸钡涂料		有	6mm 铅当量防护门	无
PET/CT 检查室	无		四周墙体 240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料		有	辅助设备门、控制室门、机房大门均为 8mm 铅当量防护门	8mm 铅当量铅玻璃
消洗间	无		四周墙体 240mm 实心砖		有	4mm 铅当量防护门	无
留观室	无		四周墙体 240mm 实心砖+100mm 硫酸钡涂料		有	8mm 铅当量防护门	无

根据表 10-4，PET 检查区域非密封放射性物质工作场所辐射防护设计满足《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）防护要求。

②储存过程的防护措施

本项目订购的氟-18 放射药物装入带有 50mm 铅当量屏蔽层的铅罐中，且转入 PET 检查区域前表面辐射剂量率水平满足《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019），转入 PET 检查区域后直接转入注射操作间通风橱中，该通风橱具有 50mm 铅当量，由于氟-18 半衰期较短，不进行大量贮存，一般根据当日病人量进行订购，且每次订购的氟-18 放射性药物均在当天全部用完。

PET/CT 校准用放射源暂存于储源间的双人双锁保险柜中，储源间设置有实体屏蔽措施、红外监控摄像头及红外报警装置，防止放射性物品丢失、被盗或破坏。

③操作过程防护措施

辐射工作人员在进行氟-18 的注射操作前首先做好个人防护，包括穿铅衣，戴铅眼睛、口罩、工作帽等，由医生将放射性药物从储源间转入注射操作间内，

通风橱有 50mm 铅当量的防护厚度，通风橱设置独立排风管道，从而保持通风橱内空气通畅，通风管引至 4F 屋顶。操作侧下方设两个活动式铅门，作为两个操作口，医生通过此操作口在通风柜内进行分装操作。分药时铅罐均放置在垫有滤纸的瓷盘内进行，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染。病人注射时，医生将分装后的放射性药物转入注射室内，病人与医生之间设置 50mm 铅当量防护注射台。操作台下面需设置放射性废物储存桶（30mm 铅当量），用于收集废弃的一次性注射器、空药瓶及擦拭棉签等。

表 10-5 放射性药物操作过程设计配备的防护装置

序号	名称	规格	铅当量	数量
1	单联分装通风橱	1000×700×2000	50mmpb	1
2	一体化注射装置	900×1900	50mmpb	1
3	扫描床前屏风	1000*1800	10mmpb	1
4	手动分装装置	Φ115*340	50mmpb	1
5	床旁隔离屏风	1800*1500	10mmpb	2
6	注射器防护盒	240 mm×95mm×95mm	5mmPb	2
7	注射器防护套	2ml	9mmPb	2
8	注射器防护套	5ml	9mmPb	2
9	放射性废物储存桶	300 mm×300 mm×450mm	30mmPb	4
10	铅帽子	通用型	0.5mmPb	4
11	铅颈套	通用型	0.5mmPb	4
12	铅衣	通用型	0.5mmPb	4
13	铅眼镜	/	0.5mmPb	4
14	铅衣架	/	0.5mmPb	2

④对注射后病人防护措施

用药病人在入院前及出院前，医生需提前告知病人及家属辐射可能带来的辐射危害性。对于就诊人员，均实行病人与陪护人员及其他公众的隔离管理，隔离期间禁止病人随意流动及随意吐痰或丢弃使用过的擦拭物，并使用病人专用厕所进行大小便，在观察结束后按指定线路单向离开 PET 检查区域。

二、辐射防护安全装置/设备

1、辐射防护安全装置配备综合要求

为防止发生辐射事故，根据《环境保护部辐射安全与防护监督检查技术程序》和《关于印发〈四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）〉的通知》（川环办发[2016]1400 号）中对乙级非密封放射性物质工作场所、III类射线装置和V

类放射源辐射防护安全装置的要求，本次评价根据建设单位采取的辐射安全装置及设备进行了对照分析，具体情况见表 10-6。

表 10-6 辐射安全装置配置要求汇总对照分析表

乙级非密封放射性物质工作场所				
序号	项目	规定的措施和制度	落实情况	备注
1	安全设施 (设备)	明确的监督区、控制区划分和标识	/	拟设置
2		场所门外电离辐射警示标志	/	拟设置
3		独立的通风设施（流向）	已设计有	/
4		有负压和过滤的工作箱/通风柜	已设计有	/
5		注射或口服药用屏蔽	/	拟配置
6		易去污的工作台和防污染覆盖材料	/	拟配置
7		移动放射性液体时容器不易破裂或有不易破裂的套	/	拟配置
8		病人专用卫生间	已设计有	/
9		放射性同位素暂存或设施	已设计有	/
10		放射性固体废物收集容器和放射性标识	/	拟配置
11		安全保卫设施（储存场所）	已设计有	/
12	监测设备	便携式 X-γ辐射监测仪	/	拟配置
13		β表面沾污仪	/	拟配置
14		个人剂量计	/	拟配置
15		个人剂量报警仪	/	拟配置
16		放射性活度计	/	拟配置
17	三废	放射性下水系统及标识	/	拟设置
18		放射性固体废物暂存间（设施）	已设计有	/
19		废物暂存间屏蔽措施	已设计有	/
20		废物暂存间通风系统	已设计有	/
21	防护器材	铅衣、铅围裙、铅眼镜等个人防护用品	/	拟配置
22		放射性表面去污用品和试剂	/	拟配置
23		灭火器材	/	拟配置
PET/CT 检查室				
序号	项目	规定的措施和制度	落实情况	备注
1	安全设施 (设备)	隔室操作	设计中有	/
2		观察窗防护	设计中有	/
3		门窗防护	设计中有	/
4		患者局部防护	/	拟配置
5		入口处电离辐射警示标志	/	拟设置
7		入口处机器工作状态显示	/	拟设置
8		门灯连锁装置	/	拟设置
9		监测设备	个人剂量计	/
10	便携式 X-γ辐射监测仪		/	拟配置
储源间				
1	安全设施	防盗门	/	拟配置

2	(设备)	红外监控系统	/	拟设置
3		双人双锁保险柜	/	拟配置
4		入口处电离辐射警示标志	/	拟配置
5	监测设备	便携式 X-γ辐射监测仪	/	拟配置
6		个人剂量计	/	拟配置

2、安全装置作用及安装要求

①紧急止动开关：PET/CT 操作台及床旁均设置紧急止动按钮（各按钮分别与出束系统连接）。出束过程中，一旦出现异常，按动任一个紧急止动按钮，均可停止 X 射线系统出束，以避免机房内人员尚未完全撤离的情况下开机，产生误照射。

②工作状态指示灯：PET/CT 检查室防护门口醒目处安装工作状态指示灯，并设有警示语，灯亮起时，指示该机房内射线装置处于工作状态，灯熄灭时，指示该机房内射线装置处于停机状态，工作人员可以安全进入。

③视频监控系统：本项目非密封放射性物质工作场所区域内重点区域（废物间、注射操作间、储源室、PET/CT 检查室、休息室和留观室等区域）安装有视频监控摄像头，其中储源室实行 24 小时连续监控并于制备室中控系统联网，并设立 24h 值班人员监控和巡查。

④双人双锁：储源室入口配置防盗锁，并在储源室内设置双人双锁保险柜，钥匙两人分别管理。

⑤电离辐射警示标志：非密封放射性物质工作场所、射线装置机房、储源室等入口醒目处均应设置符合标准要求的电离辐射警示标志，如图 10-4 所示。

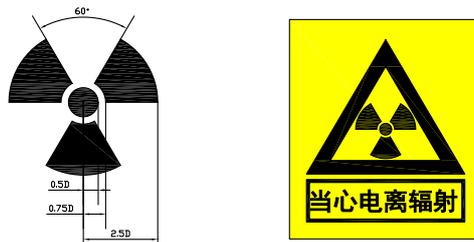


图 10-3 电离辐射标志和电离辐射警告标志

三、工作区域管理

为加强核技术应用医疗设备所在区域的管理，限制无关人员受到不必要的照射，划定控制区和监督区。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

（GB18871-2002）控制区和监督区的定义划定控制区和监督区。其定义为“控制区：在辐射工作场所划分的一种区域，在这种区域内要求或可能要求采取专门的

1、控制区防护手段与安全措施

- ①控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志（图 10-3）；
- ②制定职业防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；
- ③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；
- ④在更衣室备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；
- ⑤定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

2、监督区防护手段与安全措施

- ①以黄线警示监督区为边界；
- ②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；
- ③定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

四、辐射工作场所安全保卫措施

为确保本项目所使用的乙级非密封放射性物质工作场所、III类射线装置及V类放射源的辐射安全，本项目采取的安全保卫措施见表 10-8。

表 10-8 辐射工作场所安防措施一览表

措施类别	对应措施
防火	整个 PET 检查区域安装有烟气报警装置和消防栓，且各个房间功能单位需满足《建筑设计防火规范》（GB50016-2006），本项目 PET 检查区域禁止储存易燃、易爆、腐蚀性等其他一切与本项目无关的物品。同时储源室内人员易接触的地方配备干粉式灭火器。
防水	本项目距离地表水体距离较远，不受地表水体影响，同时整个 PET 检查区域地面均做了较好的防水设计，项目区域不受地下水影响。
防盗、防抢和防破坏	①整个 PET 检查区域控制区进行封闭管理，并设有门禁系统，非相关人员不能直接进入控制区内。 ②储源室设置有保险柜并设置双人双锁，放射源的转入、转出均由专人进行台账管理； ③整个 PET 检查区域控制区内外及储源室设置严密的监控系统，实行 24h 实施监控，并将 PET 检查区域作为保安人员重点巡查范围。
防泄漏	①本项目使用的非密封放射性物质及放射源均来自于正规生产厂家，出厂时包装用铅罐密闭，铅罐表面剂量满足标准要求，且用完后的空铅罐经表面去污处理后放置于储源间内待厂家进行回收；

	<p>②PET 检查区域采取有效的实体屏蔽措施，能够达到《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）中的Ⅱ级工作场所的防护要求；</p> <p>③建设单位自行配备便携式 X-γ辐射监测仪及β表面沾污仪，并进行定期或不定期场所监测，发现异常及时查明原因并进行处置，防治射线泄漏。</p>
	<p>①本项目所使用的Ⅲ射线装置和均购置于正规厂家，出厂时 X 射线漏射满足《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》（GBZ165-2012）；</p> <p>②射线装置工作场所均已按照《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》（GBZ/T180-2006）和《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）进行了辐射防护设计，机房屏蔽体外 30cm 处剂量率能满足 2.5μSv/h 标准要求。</p>

三废的治理

一、含氟-18 气溶胶治理措施

本项目 PET 检查区域注射操作间设置有通风橱，其风速不小于 1m/s，并保持通风橱内负压环境，保持由外向内的空气流通。同时，整个控制区范围设置独立排风系统，其入口排风量为 3000m³/h（PET 检查区域排风图见附图 4），排风管道最终通过风井管道引至 PET 检查区域楼顶，高于 4F 楼顶 3m 进行排放，排风管道内设置两级过滤器，前置高效过滤器后置活性炭过滤装置，过滤效率大于 90%，同时为保证过滤效率的有效性，建设单位需根据设备特性定期进行过滤器维护和校准，并将更换下的过滤器作为放射性固废进行管理。同时为防止公众进入楼顶避免不必要的照射，要求建设单位需将楼顶划为管控区域，并进行封闭管理。

二、含氟-18 固体废物处理措施

本项目 PET 检查区域产生的含氟-18 固体废物主要是一次性注射器、针头、手套、药瓶、擦拭棉签等，本项目注射操作间、注射后休息室、留观室、卫生间等均设置有专用固废收集桶，每天由专人转入放射性废物间内屏蔽收集桶内；退役产生的废旧放射源直接交由生产厂家或有资质单位进行回收处理；定期更换下的过滤器耗材也应作为放射性固废进行收集处理。根据《医用放射性固废的卫生防护管理》（GBZ133-2009）针对氟-18 固体废物的收集、贮存和处理提出如下管理措施要求：

（1）含氟-18 固体废物收集

①含氟-18 固体废物收集桶应避开工作人员和经常走动的区域；②放射性固废收集桶内应放置于专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，并及时转运至放射性废物间进行衰变处置；③对破碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的

放射性废物，应先装入硬纸盒或其它包装材料中，然后在装入专用塑料袋内；④每袋废物的表面剂量不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。

(2) 固废临时贮存和最终处理

①建立放射性废物收集、暂存、转运、回收台账，确保放射性固废不乱丢、不乱弃；②收集容器在密封衰变过程中需在外表面醒目处需张贴电离辐射警告标志，并注明固废的废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等信息；③建立放射性固废来源、去向及监测结果台账记录，以便备查；④根据《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》（GB11928-89）放射性固废收集容器密封暂存后其表面 1m 处剂量率应小于 0.1mSv/h， β 表面沾污小于 4Bq/cm²。⑤暂存的放射性废物须衰变 10 个半衰期并经监测达标后（ γ 剂量率接近本底水平， β 表面沾污小于 0.08Bq/m³），按照普通医疗废物执行转移联单制度，由有资质单位统一回收处理。

三、含氟-18 废水处理措施

本项目含氟-18 废水主要来自于病人的排泄废水和清洗废水，本项目设置有独立的病人专用卫生间，且设置有独立的排水系统，并与一体式衰变设施相连，该衰变设施位于 PET/CT 检查区域西侧，已避开人群集中活动区域，且下水管道位均位于建筑体内。

本项目一体式衰变设施，采取并联储存衰变，并设置高度智能控制系统、人性化操作管理、通过 PLC 和触摸屏设定工作参数和状态提醒机制，所有运行状态自行监控，可在无人值守状态下实现全自动稳定运行。衰变设施内置泵体采用切割式潜水泵（沉淀池内设两台潜水泵一备一用），可将固体杂质粉碎成颗粒排除，阀门采用电/手动双控制球阀，为后续设备维护检修提供保障，同时衰变池内部做防渗漏处理。

放射性区域废水流入集水坑，其内置浮球液位经检测达到预设定高液位时由内置潜水泵打入沉淀池，当沉淀池达到高液位时经 1#潜水泵打入衰变区域，此时 A1 电动阀打开，废水流入 1#衰变池，其内置浮球液位经检测达到预设定高液位时经 PLC 处理信号此时关闭 A1 电动阀开始计时，同时开启 A2 电动阀，放射性废水流入 2#衰变池，当 2#衰变池达到高液位时再次排入 1#衰变池完成进水一个循环。当 1#衰变池达到高液位后计时时间达到其衰变周期后 3#潜水泵开启，

将衰变完成的废水排入市政排水管网，同理 2#衰减池排水过程。本项目一体式衰变设施设计图见附图 6。

本项目一体式衰变设施沉淀池设计容积为 1.6m^3 ，有效容积约 1.4m^3 ，1#池体设计容积为 1.5m^3 ，有效容积约 1.3m^3 ，2#池体有效容积约 1.3m^3 ，总有效容积约 4m^3 ，根据污染源分析，单日最大废水产生量约 0.384m^3 ，废水核素组成仅为氟-18，其半衰期为 109.7min ，10 个半衰周期仅 18h （小于 1 天）。本项目衰变设施设计有效容积为 4m^3 ，可满足 10 天的废水排放量及衰变贮存。

为保障该衰变池的长效可靠运行还需采取如下管理措施：

1、衰变池拟设废水液位计、取样口和检修口，衰变后的含氟-18 废水首次排放前应对放射性废水进行取样监测，监测结果符合排放标准（总 β 排放标准 10Bq/L ）后方可排放。

2、建立衰变池排放台账，记录每次排放时间、排放量等，并由专人负责管理记录；

3、衰变池需设立明显的电离辐射警告标志，避免人员在衰变池旁长时间停留。

4、衰变池属于重点防渗区，池壁和池底采取防渗措施，等效黏土防渗层 $M_b \geq 6.0\text{m}$ ， $K \leq 10^{-7}\text{cm/s}$ 。施工单位要进行严格的渗漏检测，确保含 ^{18}F 废水在暂存期间不发生渗漏。衰变池池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，放射性衰变池应加以密封，应有防雨、防渗和防漏的措施。

5、定期对衰变设施进行巡检维护，发现问题立即停运，并进行维修。

由于本项目只使用非密封放射性核素 ^{18}F ，放射性半衰期较短，且废水排放量较少，废水中放射性核素的活度浓度也较低。因此，废水输送和贮存过程放射性核素衰变产生的辐射对周围环境的影响十分轻微。

四、表面污染控制措施

β 表面沾污的影响主要来源于医生操作时，药物逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对职业人员和公众造成辐射影响，因此，为了使本项目非密封放射性物质工作场所的 β 表面污染水平达到 GB18871-2002 规定的要求，建设方要做到以下防护措施：

①使用、操作非密封放射性物质的人员应经过培训，具备相应的技能与防护

知识：

②开瓶、转移、标记、分离纯化等易产生非密封放射性物质逸出或飞散的操作，其操作须在通风柜内进行；

③操作非密封放射性物质应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料；

④吸取液体的操作必须用合适的器具，严禁用口吸取；

⑤不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；

⑥放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、清洗、去污。工作人员应进行淋浴；

⑦放射性药品用后应及时存放在专用柜内，需防盗、防水、防火、柜外应有电离辐射标志；

⑧做好就诊病人的管理，特别是已服药和注射放射性药品的病人管理工作，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动；

⑨如 β 表面污染水平超过 GB18871-2002 规定值（规定限值见本报告表 7-2 工作场所放射性表面污染控制水平），应暂停开展核医学活性区的相关业务，去污染经监测符合标准后方可重新开展业务，同时辐射工作人员出现手、皮肤、内衣、工作袜等出现污染情况（超过 0.4 Bq/cm^2 ）需及时进行去污操作并暂停放射性物质操作评估其受照射剂量，并根据评估结果采取下一步措施（调整工作或接受治疗等）。

五、噪声控制措施

本项目噪声主要来源于通排风系统的风机，各机房所使用的通排风系统均为低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理机，其降噪措施主要采取减振和隔离措施。

六、射线装置报废处理

根据《四川省辐射污染防治条例》，本项目 PET/CT 在报废处置时，建设单位应当对射线装置内的高压射线管进行拆解和去功能化，并确保 PET/CT 不能正常通电，防止二次使用造成人员误照射。

七、环保措施及其投资估算

项目辐射防护措施及其投资估算见表 10-9。

表 10-9 辐射防护设施（措施）及投资估算一览表

项目	设施（措施）	数量	金额 (万元)	备注
辐射 屏蔽 措施	PET/CT 检查室、注射操作间、放射性废物间、注射后休息室 1、注射后休息室 2、注射后休息室 3、消洗间、卫生间、抢救室、留观室等墙体、门、观察窗等防护	/	100	/
	单联分装通风橱	1 台	10.0	50mmPb
	一体化注射装置	1 台	5.0	50mmPb
	扫描床前屏风	1 个	5.0	10mmPb
	手动分装装置	1 个	10.0	50mmPb
	床旁隔离屏风	1 个	5.0	10mmPb
	注射器防护盒	2 个	2.0	5mmPb
	注射器防护套	2 个	2.0	2ml, 9mmPb
安全 装置/ 设施	注射器防护套	2 个	2.0	5ml, 9mmPb
	工作状态指示灯	2 个	1.0	带警示语
	控制区监控系统	/	20.0	场所全覆盖
	储源间保险柜	1 个	2.0	双人双锁
	PET/CT 检查室操作台紧急止动开关	1 个	1.0	/
	控制区入口及出口单向门禁系统	1 套	1.0	/
	电离辐射警告标志	若干	0.5	/
个人 防护 用品	场所控制区、监督区划分地面标识	若干	0.5	/
	个人剂量报警仪	6 人×1 个	8.0	/
	个人剂量计	6 人×2 个	1.8	/
	辐射工作人员防护铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾（0.5mm 铅当量）等	4 套	8.0	/
废水	表面污染清洗剂	/	0.5	/
	控制区独立下水系统	1 套	20.0	/
固体 废物	一体式衰变设施（有效容积 4m ³ ）	1 套	20.0	/
	注射操作间、1#~3#注射后休息室、卫生间、留观室等专用废物收集桶	6 间×1 个	1.0	/
放射 性废 气	放射性废物储存桶	4 个	4.0	30mmPb
	通风橱及控制区房间独立排风系统	1 套	20.0	/
监测 设备	活性炭过滤装置	1 套	10.0	过滤效率大于 90%
	X-γ辐射剂量率监测仪	1 台	2.0	/
其他	β表面沾污仪	1 台	3.0	/
	辐射工作人员上岗培训	6 人	2.4	/
	规章制度上墙	/	5.0	/
	应急和救助的物资准备	/	10.0	/
合计			282.7	/

本项目总投资 2500 万元，环保投资 282.7 万元，占总投资的 11.3%。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

一、大气环境影响分析

本项目施工期产生废气的作业主要为施工时产生的扬尘及装修废气等。本项目施工期间产生的扬尘量较小，通过建设施工中采取湿法作业，尽量降低粉尘对周围环境的影响，施工期产生的少量扬尘对项目周围大气环境影响较小。装修过程中产生的废气污染物相对较少，采用“环保型”油漆及涂料，加强通风或室内空气净化措施，可将装修废气的影响降至最低，装修废气不会对周围环境产生大的影响。

综上所述，本项目工程量较小，施工期大气污染物对项目所在地环境空气质量影响较小，且这些影响将会随施工期的结束而结束。

二、声环境影响分析

本项目施工期噪声源主要有施工机械和设备，由于本项目工程量小，施工作业较少，施工方式主要为人工施工，机械设备的使用较少，同时项目施工噪声影响是暂时的，将随着施工期的结束而消失。因此，本项目施工对周围声环境影响时间和强度均较小。施工期间，施工机械、设备的噪声时起时停，针对施工期声环境影响，施工期噪声污染防治措施具体有：

①合理安排施工进度和作业时间，对主要噪声设备应采取相应的限时作业，22:00~6:00 禁止施工作业。

②优先选用低噪声设备，日常应注意对施工机械、设备的维修、保养，使其保持良好的运行状态。

③对施工人员进场进行文明施工教育，施工中不准大声喧哗。

经采取上述有效措施后，可大大降低本项目施工过程中噪声对周围的影响，场界噪声可满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523 -2011）标准的要求，影响也是可以接受的，且施工期只在短时期对局部环境造成影响，待施工结束后这些影响也随着消失，施工期噪声对周围声学环境不会造成明显影响。

三、水环境影响分析

本项目施工期间，施工人员生活会排放一定量的生活污水，依托已有废水处理设施进行处理后排入市政污水管网，经达州市污水处理厂处理后达标排

放，不会对周围水环境产生大的影响。

四、固体废物

固体废物主要是生活垃圾和建筑垃圾。

施工期生活垃圾产生量较小，依托已有的环保设施，经垃圾桶收集后定期清运。在施工活动中，应严格禁止随意抛洒垃圾的行为。本项目产生的建筑垃圾首先对其中可回收利用部分进行回收，其次对建筑垃圾要定点堆放，并由施工单位与市政部门联系外运至指定的建筑垃圾堆放场。

五、电离辐射

本项目 PET/CT 的安装、调试应请设备厂家专业人员进行，建设单位不得自行安装设备。在安装调试阶段，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，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房必须上锁并派人看守。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。采取相应措施后对环境影响较小。

六、小结

综上所述，本项目施工期较短，施工量较小，在建设单位的严格监督下，施工方遵守文明施工、合理施工的原则，做到各项环保措施，对环境影响较小，施工结束后，项目施工期环境影响将随之消除。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

(一) 非密封放射性物质辐射影响分析

本项目 PET/CT 检查拟使用核素 ^{18}F 作为显像剂，根据提供的资料，保守估算核素 ^{18}F 的日等效最大操作量为 $2.2 \times 10^7 \text{Bq}$ ，属于乙级非密封放射性物质工作场所，根据《电离辐射防护与辐射源安全标准》（GB18871-2002）规定，应参照 II 类密封型放射源工作场所的相关要求实施辐射安全管理。

根据项目工程分析，非密封放射性物质工作场所的污染特点是放射性核素可能释入环境，既有电离辐射污染，又可使仪器设备、环境等受到放射性污染，还可能产生含 ^{18}F 气溶胶的废气、含 ^{18}F 废水及含 ^{18}F 固体废物。

1、 β 射线辐射影响分析

本项目涉及使用的氟-18 核素在衰变过程中会有 β 粒子，但由于氟-18 衰变产生的是正电子，迅速发生湮灭反应其 β 射线辐射影响较小。

2、 γ 射线辐射影响分析

(1) 工作负荷

PET/CT: ^{18}F , 检查 32 人次/天, 160 人次/周, 8000 人次/年, 每人使用的核素最大活度为 370MBq (10mCi)。

(2) 预测模式

由《辐射防护手册》第三分册查出铅、混凝土和砖对 ^{18}F 的半值层分别为 5.7mm、64mm 和 91mm; ^{18}F 的照射量常数 Γ 查表得到为 $0.143\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ 。公式参考《辐射防护技术与管理》第一卷、《辐射源室屏蔽设计与评价》，辐射剂量率计算公式为：

$$D_r = f \cdot K^{-1} \cdot A \cdot \Gamma / R^2 \dots\dots\dots \text{式 11-1}$$

$$K^{-1} = 2^{-(h/HVL)} \dots\dots\dots \text{式 11-2}$$

$$H = 0.7 \times D_r \times T \times t \times U \dots\dots\dots \text{式 11-3}$$

式中: D_r 为 γ 剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

K^{-1} 为屏蔽减弱系数, 无量纲;

A 为放射源的预期最大放射性活度, MBq;

Γ 为空气吸收剂量率常数, $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$;

R 为距放射源的距离, m;

h 为屏蔽层的厚度, mm;

HVL 为半值层厚度, mm;

H 为年有效剂量当量, $\mu\text{Sv/a}$;

t 为年受照射时间, h/a;

T 为居留因子;

U 为使用因子, 取 1;

f 为转换因子, 取 1。

本项目所用核素 ^{18}F , 影像中心根据与受检者预约情况向药物供应商订货, 由药物供应商按需将药物放置于防护罐 (50mmPb), 运输至分装室待用。

根据影像中心提供的资料, 本项目 PET/CT 每间注射后休息室最多 1 人候诊; 检后留观室内最多有 3 人; PET/CT 扫描间每次仅能扫描 1 个受检者, 受检者注

射药物经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)。保守计算，不考虑受检者在候诊过程中药物衰减，按单个受检者 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi) 点源计算。实心砖 (密度为 1.65g/cm^3)，混凝土密度 (2.5g/cm^3)，硫酸钡防护涂料 (密度为 3.8g/cm^3)。预测关注点示意图见图 11-1、11-2。

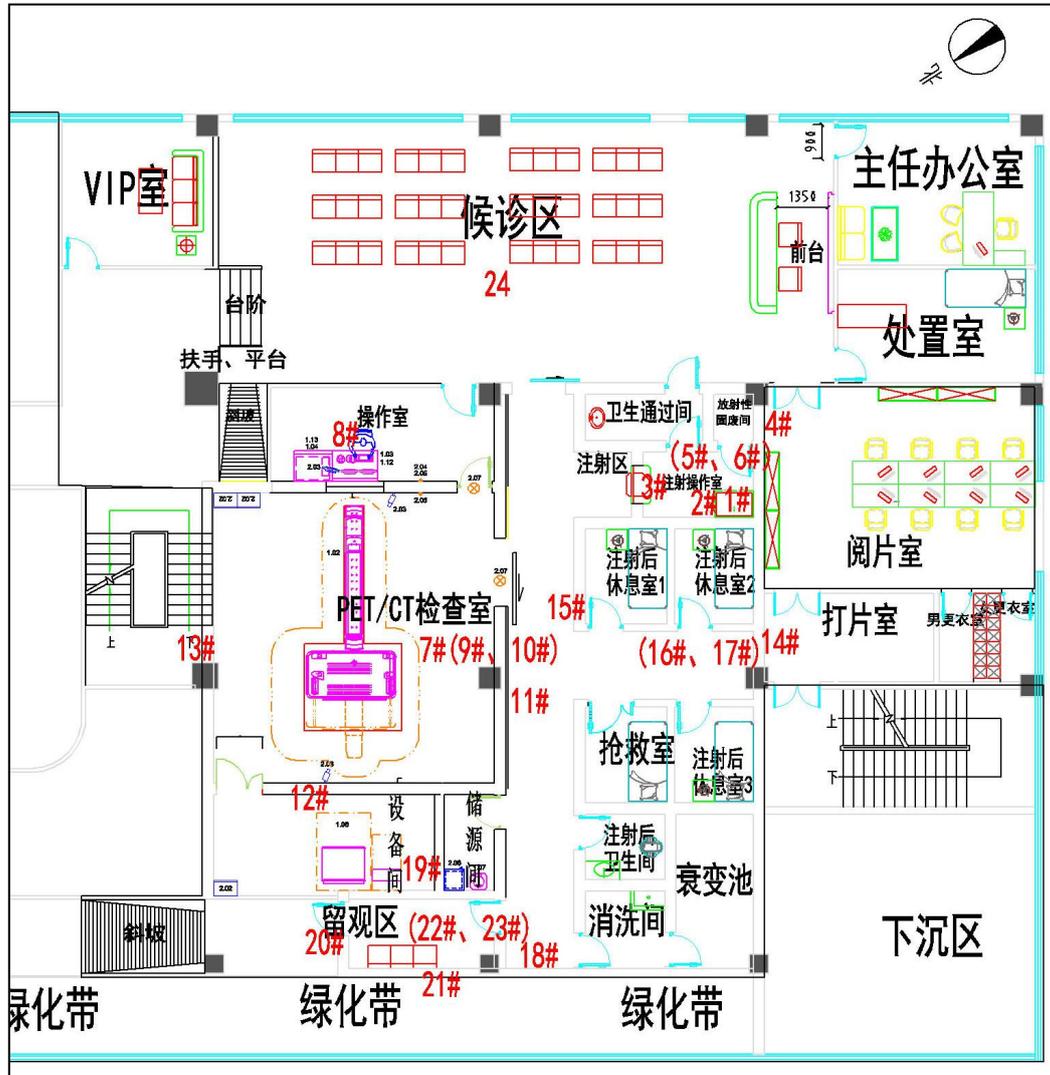


图 11-1 预测关注点示意图



图 11-2 预测关注点示意图

根据式 11-1、11-2，PET 检查区域辐射剂量率计算结果见表 11-1。

表 11-1 PET 检查区域辐射剂量率计算结果表

点位	关注点位置	受照者类型	源强 (MBq)	与源的距离 (m)	屏蔽材料及厚度	辐射水平 ($\mu\text{Gy/h}$)
1#	注射室分装柜取药位	职业照射	22000	0.5	50mmPb 铅罐 +50mmPb 分装柜 +0.5mmPb 铅衣	0.062
2#	注射室分装柜分装位	职业照射	370	0.5	50mmPb 分装柜 +0.5mmPb 铅衣	0.455
3#	注射室注射位	职业照射	370	0.5	50mmPb 注射窗 +5mmPb 注射器防护套 +0.5mmPb 铅衣	0.248
4#	注射室西南侧墙体外 30cm 处	公众照射	370	4.0	240mm 实心砖 +50mm 硫酸钡涂料	0.22

					(等效为 355mm 实心砖)	
5#	注射室顶棚上方 外 30cm 处	公众 照射	370	3.3	120mm 混凝土	1.32
6#	注射室下方离地 1m 处	公众 照射	370	4.0	200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 (等效为 230mm 混凝土)	0.27
7#	PET/CT 扫描间医 生摆位处	职业 照射	370	1.0	8mm 铅屏风 +0.5mmPb 铅衣	18.821
8#	PET/CT 操作间医 生操作位	职业 照射	370	4.0	8mm 铅玻璃	1.25
9#	PET/CT 扫描间顶 棚上方 30cm 处	公众 照射	370	3.3	120mm 混凝土	1.32
10#	PET/CT 扫描间下 方离地 1m 处	公众 照射	370	4.0	200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 (等效为 230mm 混凝土)	0.27
11#	PET/CT 扫描间西 南侧墙体外 30cm 处	公众 照射	370	4.0	240mm 实心砖 +30mm 硫酸钡涂料 (等效为 309mm 实心砖)	0.314
12#	PET/CT 扫描间西 北侧墙体外 30cm 处	公众 照射	370	4.0	240mm 实心砖 +30mm 硫酸钡涂料 (等效为 309mm 实心砖)	0.314
13#	PET/CT 扫描间东 北侧墙体外 30cm 处	公众 照射	370	4.0	240mm 实心砖 +30mm 硫酸钡涂料 (等效为 309mm 实心砖)	0.314
14#	注射后休息室西 南侧墙体外 30cm 处	公众 照射	370	3.5	240mm 实心砖 +50mm 硫酸钡涂料 (等效为 309mm 实心砖)	0.41

15#	注射后休息室东北侧墙体外 30cm 处	公众照射	370	3.5	240mm 实心砖 +50mm 硫酸钡涂料 (等效为 309mm 实心砖)	0.41
16#	注射后休息室顶棚上方 30cm 处	公众照射	370	3.3	120mm 混凝土	1.32
17#	PET/CT 待检室下方离地 1m 处	公众照射	370	4.0	200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 (等效为 230mm 混凝土)	0.27
18#	检后留观室西南侧墙体外 30cm 处	公众照射	370×3	4.0	240mm 实心砖 +100mm 硫酸钡涂料 (等效为 470mm 实心砖)	0.28
19#	检后留观室东南侧墙体外 30cm 处	公众照射	370×3	4.0	240mm 实心砖 +100mm 硫酸钡涂料 (等效为 470mm 实心砖)	0.28
20#	检后留观室东北侧墙体外 30cm 处	公众照射	370×3	4.0	240mm 实心砖 +100mm 硫酸钡涂料 (等效为 470mm 实心砖)	0.28
21#	检后留观室西北侧墙体外 30cm 处	公众照射	370×3	4.0	240mm 实心砖 +100mm 硫酸钡涂料 (等效为 470mm 实心砖)	0.28
22#	检后留观室顶棚上方 30cm 处	公众照射	370×3	3.3	120mm 混凝土 +10mm 硫酸钡涂料 (等效为 135mm 混凝土)	2.136
23#	检后留观室下方离地 1m 处	公众照射	370×3	4.0	200mm 混凝土 +60mm 硫酸钡涂料 (等效为 338mm 混凝土)	1.126

24#	候诊区	公众 照射	370×3	10	240mm 实心砖 +50mm 硫酸钡涂料 (等效为 309mm 实 心砖)	0.15
25#	PET 检查区域场 所外朝阳西路	公众 照射	370×3	33	240mm 实心砖 +50mm 硫酸钡涂料 (等效为 309mm 实 心砖)	0.014
26#	PET 检查区域场 所外罗浮道城小 区	公众 照射	370×3	15	240mm 实心砖 +50mm 硫酸钡涂料 (等效为 309mm 实 心砖)	0.067
27#	PET 检查区域场 所外达州汽车西 站停车场	公众 照射	370×3	10	240mm 实心砖 +50mm 硫酸钡涂料 (等效为 309mm 实 心砖)	0.15
28#	PET 检查区域场 所外金山路	公众 照射	370×3	50	240mm 实心砖 +50mm 硫酸钡涂料 (等效为 309mm 实 心砖)	0.006

从表 11-1 可以看出，工作场所四周的辐射剂量率小于 2.5 μ Gy/h，屏蔽设计满足要求。

实际受检者在 PET/CT 待检室、检后留观室等待过程中，因 ^{18}F 的半衰期较短，由于衰变的作用，受检者体内核素的活度不断减小，因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

(二) 射线装置辐射影响分析

1、屏蔽厚度合理性分析

本项目 PET/CT 检查室有效使用面积为 56m²，最小单边长度为 7.346m，满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）表 2 中 CT 机（单管头）最小有限使用面积 30m² 和最小单边长度 4.5m 要求。根据《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013），X 射线设备机房屏蔽防护应满足表 11-2 所列要求。

表 11-2 X 射线设备机房标准防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 (mm)	非有用线束方向铅当量 (mm)
CT 机房 (单管头)	2 (一般工作量)	2.5 (较大工作量)

本项目III类射线装置机房屏蔽状况见表 11-3。

表 11-3 PET/CT 检查室屏蔽状况

工作场所	墙体	屋顶	地面	防护门	观察窗
PET/CT 检查室	四周墙体 240mm 实心砖+30mm 硫酸钡涂料(>3mm 铅当量)	120mm 混凝土 (>3mm 铅当量)	200mm 混凝土 +20mm 硫酸钡涂料 (>3mm 铅当量)	8mm 铅当量防护铅门	8mm 铅当量铅玻璃

根据表 11-3，本项目所使用的 PET/CT 检查室的设计屏蔽状况满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 屏蔽防护铅当量厚度要求，其屏蔽设计合理。

2、辐射影响分析

PET/CT 系统 CT 部分为 III 类医用射线装置，机房墙体、门、窗、顶棚的防护厚度均能满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)、《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》(GBZ180-2006) 中要求，以上标准中机房屏蔽厚度参数是以机房外人员受照剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中剂量要求而设定的，而本项目机房设计方案各项防护参数均大于标准要求，由此偏保守推测，设备正常运行时对机房外环境的影响可满足本项目评价标准要求。

(三) 放射源辐射影响分析

PET/CT 设备使用 3 枚 ⁶⁸Ge 校准源，购于有资质单位销售厂家，放射源在进场时带有至少 10mm 铅罐进行屏蔽，一般情况下放射源储存在储源室的保险柜内，进行图片质量校准时从储源室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，贮存容器和储源室的屏蔽设施能够完全屏蔽掉γ射线对周围环境的影响。校准状态时，使用场所在做了专门防护的扫描间内，且校准时，源需放置在设备自带屏蔽体内部，对周围环境影响可忽略不计。

校准时间选择在非运营时间，故不会有非相关人员的进入。专门负责的校准工作人员穿着专门的铅衣在扫描间对机器进行校准，且本项目使用的校准源活度较低，根据《密封γ放射源容器卫生防护标准》(GBZ114-2006) 密封γ源容器外

表面 100cm 处任一点的空气比释动能率（活度小于 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ ）不得超过 0.05mGy/h ”，本项目单枚放射源年存取时间小于 1h，操作 3 枚放射源职业人员受照射剂量小于 0.15mSv/a 。因此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。

（四）保护目标所受剂量评价

本项目拟新增辐射工作人员 6 人（2 名护士、2 名技师、2 名医护及场所管理人员）。PET 检查区域药物分装和注射均由护士负责，设备操作和摆位由技师负责。根据上述估算的瞬时剂量率以及提供的资料，在严格按照设计提供的屏蔽防护方案建设后，辐射工作人员和周边公众年有效剂量计算结果如下：

1、分装取药时的剂量估算

根据以上估算，分装取药过程中工作人员在分装柜前受照剂量为 $0.455 \mu\text{Gy/h}$ 。

本项目 PET/CT 显像检查中， ^{18}F 每天的订购量为 $2.2 \times 10^{10} \text{Bq}$ ，每人分装约 0.5min，分装时间约 16min，一年工作 250d，由 2 名护士轮流负责分装工作。居留因子 T 取 1，使用因子 U 取 1，根据式 11-3 计算可得，分装放射性药物时，每名护士所受的年有效剂量为 0.015mSv 。

2、注射放射性药物时的影响分析

根据以上估算，注射室注射位工作人员的受照剂量为 $0.248 \mu\text{Gy/h}$ 。

本项目中 ^{18}F 在注射室采用静脉注射的方式给药。本项目 PET/CT 显像检查的使用量最大为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ /人次，年就诊人数按 8000 人计，每次注射时间按 0.5min 计，由 2 名护士轮流负责注射工作。居留因子 T 取 1，使用因子 U 取 1，根据式 11-3 计算可得，注射放射性药物时，每名护士所受的年有效剂量为 0.0058mSv 。

2、操作PET/CT时的影响分析

根据以上估算，操作间工作人员受照最大剂量为 $1.25 \mu\text{Gy/h}$ ，由 2 名技师轮流负责操作工作，操作间工作人员年受照射时间为 2000h。居留因子 T 取 1，使用因子 U 取 1，根据式 11-3 计算可得，操作设备时，每名技师所受的年有效剂量为 0.875mSv 。

4、摆位时的影响分析

根据以上估算，摆位过程中工作人员身体受照剂量为 $18.821 \mu\text{Gy/h}$ ，摆位人

员在扫描间内指导受检者正确摆放姿势,偏安全考虑,不考虑注射后药物的衰减,按摆位一个受检者大约需要1min。PET/CT按8000人计,摆位过程中受照射的总时间为133.34h,2名技师轮流负责摆位工作,居留因子T取1,使用因子U取1,根据式11-3计算可得,操作设备时,每名技师所受的年有效剂量为0.879mSv。

综上所述,各个岗位工作人员年受照射剂量预测结果如表11-4所示。

表11-4 PET检查区域工作人员年受照射剂量预测结果表

岗位	人均年有效剂量 (mSv)	合计 (mSv)
分装放射性药物	0.015	0.02
注射放射性药物	0.0058	
操作PET/CT	0.875	1.904
摆位	0.879	
⁶⁸ Ge校准源	0.15	

根据以上估算,PET检查区域辐射工作人员年受照射最大年有效剂量为1.904 mSv,低于职业人员5.0mSv的评价标准要求。

3、公众人员所受剂量

根据以上估算,本项目PET检查区域场所内外公众可能接受的年有效剂量估算详见表11-5。

表11-5 PET检查区域场所内外公众年有效剂量估算结果表

关注区域		受照射剂量率 (μ Gy/h)	居留因 子	年工作 时间 (h)	年有效剂 量 (mSv)
PET 检查区 域场所内	三层爱尔眼科、 达州汽车西站	0.27	1/4	2000	0.0945
	四层候诊区 (东南侧)	0.15	1/4		0.0525
PET 检查区 域场所外	朝阳西路	0.014	1/4		0.0049
	罗浮道城小区	0.067	1/2		0.067
	达州汽车西站停车场	0.15	1/4	0.0525	
	金山路	0.006	1/4	0.0021	

根据以上估算,PET检查区域场所内公众所受的年有效剂量最大为0.0945mSv,PET检查区域场所外公众所受的年有效剂量最大为0.067mSv,均低于公众人员0.1mSv的评价标准要求。

(五) 诊断患者离开核医学诊断工作场所对环境的影响

目前,对于使用核素 ¹⁸F 的患者,国家相关标准中没有明确规定其离开医院

的体内最大活度。本项目 ^{18}F 注射量为 10mCi，患者诊断离开 PET 检查区域至少需要 30min，则患者离开 PET 检查区域时带药量约 7.96mCi，离开医院经 8h 后距离患者 1m 处的剂量率为 $0.00078\mu\text{Gy/h}$ ，医院应对患者离院做出书面指导，短期内禁止到公共场活动，避免与家人亲密接触，则患者离院后对周围环境影响不大。

五、大气环境影响分析

1、大气环境影响分析

(1) 含氟-18 气溶胶

PET 检查区域设计独立的通风系统，本项目在 PET/CT 扫描间、注射后休息室、留观室内设置机械排风装置。通风橱设置独立机械排风装置。上述排风装置相应节点设置截止阀防止气体倒灌，其总排风口设于 PET 检查区域楼顶，并高出 4F 屋顶 3 米。在排风口配置高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施。

PET 检查区域使用的 ^{18}F 由专业供应商放置在铅罐内密封保存，核素分装操作在负压的分装柜中进行，底部衬托吸水滤纸。PET/CT 显像使用的 ^{18}F 核素药物为 2-氟-2-脱氧-D-葡萄糖溶液 (FDG)，为非挥发性液态物质，因此 ^{18}F 挥发量极少，取日最大操作量的 1/1000。本项目 ^{18}F 日最大操作量为 $2.2\times 10^{10}\text{Bq}$ ，每天分装时间为 1h，活性炭吸附效率不低于 99%，PET 检查区域设计使用总排风量为 $3000\text{ m}^3/\text{h}$ 的排风机，则 PET 检查区域气溶胶排放浓度为 $73.34\text{Bq}/\text{m}^3$ ，本项目全年分装工作 250h，假设人呼吸量为 $1.2\text{m}^3/\text{h}$ ，则公众年吸入量为 $2.2\times 10^4\text{Bq}$ ，远小于《公众成员的放射性核素年摄入量限值》(WS T613-2018)规定的公众成员吸入含 ^{18}F 气溶胶摄入量限值 $1.6\times 10^6\text{Bq}$ 。因此，本项目产生的含 ^{18}F 气溶胶废气经高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施处理后排放对周围环境影响是可接受的，不会对周围公众造成不利影响。

(2) 臭氧

由于臭氧产生量较小，通过通排风系统引至 PET 检查区域楼顶，高于楼顶 3m 进行排放，经自然稀释后，对大气环境影响较小。

六、水环境影响分析

(1) 本项目一体式衰变设施沉淀池设计容积为 1.6m^3 ，有效容积约 1.4m^3 ，1#池体设计容积为 1.5m^3 ，有效容积约 1.3m^3 ，2#池体有效容积约 1.3m^3 ，总有效

容积约 4m³，根据污染源分析，单日最大废水产生量约 0.384m³，废水核素组成仅为氟-18，其半衰期为 109.7min，10 个半衰周期仅 18h（小于 1 天）。本项目衰变设施设计有效容积为 4m³，可满足 10 天的废水排放量及衰变贮存。

放射性废水先排入一体式衰变设施，衰变池拟设废水取样口和检修口，首次排放前应对放射性废水进行取样监测，监测结果符合排放标准后方可排放。建设单位应根据首次监测数据，结合废水在衰变池中的储存周期制定排水计划，按照计划定期将废水排放至医院已有废水处理设施进行处理后排入市政污水管网。

每次排放应做好排放时间、监测数据、排放量等应详细记录，设置专门的废水排放台账，台账应有专人管理，存档保存。

(2) 本项目医务人员及非 PET 检查病人产生的废水直接依托医院已有的废水处理设施进行处理后排入市政污水管网。

七、固体废物环境影响分析

(1) 本项目诊断过程产生的含氟-18 固体废物量为 2.75kg/天，核素种类仅氟-18，建设采用固废收集桶分类收集后，衰变 10 个半衰期并监测达标后，按照普通医疗废物执行转移联单制度，由有资质单位统一回收处理，不排外；更换下的活性炭过滤器产生量为 10kg/a，衰变 10 个半衰期并监测达标后作为普通固废处置；退役废旧放射源由厂家或有资质单位回收处理。

(2) 医务人员及非 PET 检查病人产生的固体废物直接依托已有垃圾回收系统收集后交由市政环卫部分进行收集处理。

八、声环境影响分析

本项目射线装置工作场所使用的设备为低噪设备，运行时基本无噪声产生；工作场所的通排风系统设备运行时产生噪声，其噪声源强小于 65dB（A），通过选用低噪声节能排风机和低噪声节能空气处理设备并通过减振和隔离措施后，对周围声环境影响较小。

九、辐射事故影响分析及应急措施

（一）事故等级判断依据

根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 449 号）和《四川省环境保护厅辐射事故应急预案》，根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故（I 级）、

重大辐射事故（Ⅱ级）、较大辐射事故（Ⅲ级）和一般辐射事故（Ⅳ级）等四级，详见表 11-6。

表 11-6 辐射事故等级划分表

事故等级	危害结果	放射性同位素失控（泄漏）量化指标
特别重大辐射事故（Ⅰ级）	I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果；放射性同位素或射线装置失控导致3人以上（含3人）急性死亡。	①事故造成水环境污染时液态放射性物质的释放量大于等于 $1.0E+13Bq$ 的Sr-90当量； ②事故造成地表、土壤污染（未造成地下水污染）时液态放射性物质的释放量大于等于 $1.0E+14Bq$ 的Sr-90当量。
重大辐射事故（Ⅱ级）	I类、II类放射源丢失、被盗、失控；放射性同位素或射线装置失控导致2人以下（含2人）急性死亡或者10人以上（含10人）急性重度放射病、局部器官残疾。	①事故造成水环境污染时液态放射性物质的释放量大于等于 $1.0E+12Bq$ 且小于 $1.0E+13Bq$ 的Sr-90当量； ②事故造成地表、土壤污染（未造成地下水污染）时液态放射性物质的释放量大于等于 $1.0E+13Bq$ 且小于 $1.0E+14Bq$ 的Sr-90当量。
较大辐射事故（Ⅲ级）	III类放射源丢失、被盗、失控；放射性同位素或射线装置失控导致9人以下（含9人）急性重度放射病、局部器官残疾。	①事故造成水环境污染时液态放射性物质的释放量大于等于 $1.0E+11Bq$ 且小于 $1.0E+12Bq$ 的Sr-90当量； ②事故造成地表、土壤污染（未造成地下水污染）时液态放射性物质的释放量大于等于 $1.0E+12Bq$ 且小于 $1.0E+13Bq$ 的Sr-90当量。
一般辐射事故（Ⅳ级）	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控；放射性同位素或射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。	①事故造成水环境污染时液态放射性物质的释放量小于 $1.0E+11Bq$ 的Sr-90当量； ②事故造成地表、土壤污染（未造成地下水污染）时液态放射性物质的释放量小于 $1.0E+12Bq$ 的Sr-90当量。

同时根据《实用辐射安全手册》（第二版）（丛慧玲，北京：原子能出版社）急性放射病的发生率以及急性放射病的死亡率与辐射剂量的关系，见表 11-7。

表 11-7 急性放射病的发生率、死亡率与辐射剂量的关系

辐射剂量/Gy	急性放射病发生率/%	辐射剂量/Gy	死亡率/%
0.70	1	2.00	1
0.90	10	2.50	10
1.00	20	2.80	20
1.05	30	3.00	30
1.10	40	3.20	40
1.20	50	3.50	50
1.25	60	3.60	60
1.35	70	3.75	70
1.40	80	4.00	80
1.60	90	4.50	90

(二) 非密封放射性物质辐射事故影响分析

1、事故类型

根据污染源分析本项目可能存在的最大潜在辐射事故包括：

- ①放射性药物试剂发生丢失或被盗；
- ②试剂操作时打翻、洒漏造成操作台、地面、仪器设备表面污染；
- ③发生火灾造成的放射试剂瓶撒漏。

根据《四川省环境保护厅辐射事故应急响应预案》中“一般辐射事故”规定：非密封放射性物质操作时，发生辐射事故判定因子为：事故造成一定范围内环境剂量率、事故造成水环境污染时放射性物质的释放量（以 Sr-90 当量为标准）、事故造成地表、土壤污染时放射性物质的释放量（以 Sr-90 当量为标准）。

2、判定因子：环境剂量率

(1) 事故情景假设

- ①放射性核素分装过程中导致放射性药物试剂瓶或铅罐打翻或破碎，或放射性药物分装过程中造成放射性药物泄漏，本次以核素单日最大操作量计算。
- ②若发生洒漏，事故持续过程中按点源考虑；
- ③受照人员不考虑任何屏蔽措施。

(2) 计算结果

根据事故情景假设条件计算得出，距源 0.5m~12.6m 范围内剂量率，计算结果见表 11-8。

表 11-8 放射性药物丢失和撒漏事故和下不同距离处剂量率分布表

距源距离 (m)	各事故持续时段的 γ 射线剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
0.5	14.74
1	3.68
2	0.92
5	0.15
6	0.102
10	3.69E-02
12.6 (500m² 范围)	2.32E-02
15	1.64E-02
20	9.21E-03

(3) 事故后果

根据《四川省环境保护厅辐射事故应急响应预案》中“一般辐射事故”规定：

500m²（半径为 12.6m）范围的环境剂量率超过 0.1mSv/h，结合表 11-31 可知，本项目放射性药品在裸露情况下 500m² 边界环境剂量率为 2.32×10⁻²μSv/h，小于 0.1mSv/h，仅造成一般辐射事故。

3、判定因子：事故造成水环境、地表、土壤污染时放射性物质的释放量（以 Sr-90 当量为标准）

锶-90 当量释放量=评价核素释放量（Bq）×评价核素食入待积有效剂量（Sv/Bq）/锶-90 食入待积有效剂量（Sv/Bq）

本次以单日最大操作量作为事故状态下的释放量进行评价，事故状态下锶-90 当量释放量见表 11-9。

表 11-9 事故状态下锶-90 当量释放量计算表

核素	评价核素日最大操作量（Bq）	锶-90 食入所致待积有效剂量（Sv/Bq）*	评价核素食入所致待积有效剂量（Sv/Bq）*	锶-90 当量释放量（Bq）
氟-18	2.2E+10	2.3×10 ⁻⁷	1.8×10 ⁻⁷	1.72E+10

*注：食入所致待积有效剂量根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表 B6 查得。

根据《四川省环境保护厅辐射事故应急响应预案》中“一般辐射事故”规定：事故造成水环境污染时液态放射性物质的释放量小于 1.0E+11Bq 的 Sr-90 当量时或者事故造成地表、土壤污染（未造成地下水污染）时液态放射性物质的释放量小于 1.0E+12Bq 的 Sr-90 当量时为一般辐射事故。根据表 11-12 计算结果，本项目发生辐射事故，各核素事故造成水环境、地表、土壤污染时放射性物质的释放量均小于上述限值，为一般辐射事故。

综上，本项目非密封放射性物质使用过程中发生辐射事故时，为一般辐射事故。

4、判定因子：手部剂量

①事故情景假设

A、假设发生事故时溅洒活度为日最大活度，手部沾染量取日最大操作活度的 1%；

B、假设溅洒溶液在手部均匀分布，沾染面积取成人平均手部表面积 280cm²，

C、假设事故处理时间持续 30s。

(2) 事故后果影响分析

根据《RADIONUCLIDE AND RADIATION PROTECTION DATA

HANDBOOK 2002》(Published by Nuclear Technology Publishing)，不同放射性核素溅洒到手部时，每 $1\text{kBq}\cdot\text{cm}^{-2}$ 对皮肤造成的剂量率及事故状态下受照剂量见表 11-11。

表 11-11 放射性溶液溅洒对手部照成的剂量计算表

核素	手部沾染活度 (kBq)	每 $1\text{kBq}\cdot\text{cm}^{-2}$ 对皮肤造成的剂量率辐射剂量率 (mSv/h)	事故中皮肤受照剂量 (mSv)
F-18	2.20E+05	1.95	1E+06

经计算，单次事故状态下职业人员手部最大受照剂量为 $1.001\times 10^6\text{mSv}$ ，大于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中对四肢(手和足)或皮肤的年当量剂量 500mSv 的限值，属于一般辐射事故。

5、非密封放射性物质辐射事故应急措施

(1) 由于操作不慎，有少量的液态药物溅洒。发生这种事故应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。最后用表面沾污仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。

(2) 因不慎造成放射性核素大面积污染了地面或台面时，应先用吸收滤纸将其吸干，以防扩散，并立即标记污染范围，注明放射性核素名称、日期。根据污染程度及时报告上级领导和有关部门。人体溅污放射性核素时，应先用吸水纸吸干体表，避免污染面积扩大，之后根据不同核素分别去污，最终去污标准需达到 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

(3) 若发生放射性试剂丢失、被盗，应立即启动辐射事故应急预案；分析确定丢失、被盗事故的具体时间及原因，向相关部门提供信息，根据有关线索，组织人员协同相关部门查找丢失、被盗放射性同位素，在查找过程中携带辐射监测仪器，防止事故处理人员受到照射；对放射性同位素丢失前存放场所进行监测，根据现场辐射剂量率的大小确定是否受污染。如现场受到污染出现辐射剂量率异常情况，根据辐射剂量率大小划定警戒线，撤离警戒区域内的所有人员，事故处理人员应穿戴防护用品，佩戴个人剂量计进入事故现场。

(4) 放射性废物处置或管理不当造成污染时，立即划定警戒区，并设置放

射性污染标识，限制无关人员靠近，由专业人员处理，经监测满足解控要求后再解除警戒。

(三) 射线装置辐射事故影响分析

1、事故类型

根据污染源分析，射线装置主要环境风险因子为 X 射线，危害因素为 X 射线超剂量照射，射线装置只有在开机状态下才会产生 X 射线，一旦切断电源便不会再有射线产生。本项目可能发生的辐射事故如下：

①辐射工作人员或公众还未全部撤出机房，外面人员启动射线装置，造成有关人员被误照，引发辐射事故。

②安全联锁装置发生故障，射线装置工作时无关人员打开屏蔽门并误入，造成有人员被误照射，引发辐射事故。

③射线装置检修、维护过程，工作人员误操作或者曝光参数设置错误，造成人员被误照射，引发辐射事故。

2、事故后果计算

对于Ⅲ类射线装置，由于其 X 射线能量不大，曝光时间都比较短，事故情况下，人员误入或误照射情况下，最大受照射剂量约 1mGy，可能导致人员受到超过年剂量限值的照射，为一般辐射事故。

3、事故防范措施

为了杜绝上述辐射事故的发生，建设方应严格执行以下风险预防措施：

(1) 定期认真地对本单位射线装置的安全和防护措施、设施的安全防护效果进行检测或者检查，制定各项管理制度并严格按照要求执行，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生；

(2) 建设单位需制定射线装置操作规程。凡涉及对射线装置进行操作，必须按操作规程执行，并做好个人的防护，并应将操作规程张贴在操作人员可看到的显眼位置；

(3) 定期对使用射线装置的安全装置进行维护、保养，对可能引起操作失灵的关键零配件定期更换，并建立射线装置维护、维修台账。

(三) 放射源辐射事故影响分析

1、事故类型

根据污染源分析，放射源主要环境风险因子为 γ 射线，危害因素为 γ 射线超剂量照射。本项目可能发生的辐射事故如下：

- (1) 暂存放射源受外力作用，放射源屏蔽容器破损，造成裸源事故；
- (2) 暂存放射源因管理不善发生丢失、被盗等事故。

2、事故后果计算

假设放射源丢失、被盗、被破坏照成裸源状态， γ 射线直接照射人体身上，受照射剂量可用式 11-1、11-2 和 11-3 进行计算，参数取值见表 11-10，计算结果见表 11-11。

表 11-10 计算参数取值表

放射源	类别	活度 (Bq)	放射性核素 Γ 常数 ($R\cdot m^2/h\cdot Ci$)
锶-68	V类放射源	4.625×10^7 (1.24E-03Ci)	0.543
锶-68	V类放射源	9.25×10^7 (2.5E-03Ci)	0.543

表 11-11 放射源裸露状态下辐射环境 γ 剂量率不同距离计算结果 ($\mu Sv/h$)

预测点距源距离(m)	V类放射源	
0.5	23.51	47.21
1	5.88	11.80
2	1.47	2.95
3	0.65	1.31
4	0.37	0.74
5	0.24	0.47
10	0.06	0.12

根据表 11-11，V类放射源裸源丢失、被盗、失控状态下构成一般辐射事故，最大影响范围（小于 $2.5\mu Sv/h$ ）3m。

3、事故防范措施

为了杜绝上述辐射事故的发生，环评要求建设方严格执行以下风险预防措施：

(1) 定期认真地对放射源库辐射防护安全设施、设备的安全防护效果进行检测或者检查，制定各项管理制度并严格按照要求执行，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故的发生；

(2) 建设单位需制定严格放射源台账管理制度，定期核查放射源数量、种类、编码等信息，保持在存放放射源与台账记录一致，出现异常立即查实，若发现放射源丢失被盗，应立即启动公司辐射事故应急预案。

(3) 放射源入库和出库需进行台账记录，并按公司规章制度履行审批程序，

落实放射源出库后的管理责任人。

(4) 严格落实放射源库的监测计划，出现监测异常时，立即查清原因，必要时启动公司辐射事故应急预案。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求,使用乙级非密封放射性物质工作场所、III类射线装置和V类放射源的单位应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。根据相关要求,建设单位以“达医科院[2020]005号”文成立辐射安全与防护安全管理领导小组,成员组成见表12-1。

表 12-1 辐射安全管理领导小组成员组成表

组长	廖震
成员	李通、肖茜、陈维松

辐射安全管理领导小组职责包括:①负责辐射防护与环境保护工作的监督与检查,并经常检查各项相关规章制度、辐射防护措施及环境保护措施落实情况;②根据相关法律法规政策组织修订辐射事故应急预案及规章制度;③负责辐射工作人员个人剂量和健康管理,并组织开展对辐射工作场所进行年度监测和年度评估报告的编制工作;④组织实施辐射安全与防护相关法律法规的培训学习,并落实辐射工作人员上岗培训计划;⑤负责对所有辐射安全与防护设施、设备进行定期保养,做好保养记录,如有损坏及时协同相关部门进行处理;⑥组织开展辐射事故应急演练及辐射事故应急处置及调查公众。

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许可管理办法》(2008年修改)(环境保护部第3号令)和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环保部第18号令)的相关管理要求,放射源、射线装置及非密封放射性物场所的单位应当具备有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。并根据《关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲(2016)>的通知》(川环办发[2016]1400号)的相关要求,将建设单位需要制定的列于表12-2。

表 12-2 管理制度汇总对照表

序号	检查项目		落实情况
1	综合	辐射安全和防护管理规定(综合性文件)	已制定
2		放射性药物管理规定(购买、领用、保管和盘存)	已制定
3		辐射工作场所安全保卫制度	已制定

4	场所设施	场所分区管理规定（含人流、物流路线图）	拟制定
5		非密封放射性物质操作规程（分操作核素或诊治类别进行制定）	拟制定
6		去污操作规程	拟制定
7		PET/CT 操作规程、放射源校准操作规程	拟制定
8		辐射安全和防护设施维护维修制度（包括机构人员、维护维修内容与频度）	拟制定
9		患者管理规定	拟制定
10		放射性药物（体内）治疗病房管理规定	拟制定
11	监测	监测方案	拟制定
12		监测仪表使用与校验管理制度	拟制定
13	人员	辐射工作人员培训/再培训管理制度	已制定
14		辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定
15	应急	辐射事故/事件应急预案	已制定
16	三废	放射性“三废”管理规定	已制定
17	大纲	放射性治疗保证大纲及质量控制计划	已制定

建设单位需在辐射安全管理领导小组组织下及时定制上述各项规章制度，明确各科室人员责任，并严格落实。辐射安全管理领导小组需定期对辐射安全规章制度执行情况进行评议，并根据具体实践存在的问题及时进行修改和完善。同时各辐射工作场所职业人员操作室或医生办公室内需将所有制度中关于“辐射工作场所安全管理制度”、“操作规程”、“辐射工作人员岗位职责”和“应急响应程序”的内容需张贴上墙，且上墙制度的长宽尺寸不得小于 600mm×400mm。

综上所述，建设单位辐射安全管理机构健全，有领导分管，人员落实，责任明确，在落实辐射事故应急预案与安全规章制度后；可满足防护实际需要。对现有场所而言，建设单位也已具备辐射安全管理的综合能力。

辐射监测

根据《四川省辐射污染防治条例》“使用射线装置的单位应当建立辐射监测制度，组织对从业人员个人辐射剂量、工作场所及周围环境进行监测，并建立相应档案”为了保证本项目运行过程的安全，为控制和评价辐射危害，设置了相应的辐射剂量监测手段，使工作人员和公众所受照射尽可能低。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）、《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2016）、《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）中的相关规定，本项目个人辐射剂量、工作场所及周围环境监测要求如下：

1、个人剂量监测

项目建成投运后，建设单位应保证每名辐射工作人员均配备个人剂量计，并根据原四川省环境保护厅“关于进一步加强辐射工作人员个人剂量管理的通知”（川环办发[2010]49号）做好个人剂量管理的工作。加强检测管理和辐射工作人员职业健康检查管理，保证每名辐射工作人员的个人剂量计每个季度送有资质部门检测一次，并建立个人剂量档案终生保存。

当单个季度个人剂量超过 1.25mSv 时，建设单位要对该辐射工作人员进行干预，并进一步调查明确原因，并由当事人在情况调查报告上签字确认；当全年个人剂量超过 5mSv 时，建设单位需进行原因调查，并最终形成正式调查报告，经本人签字确认后，上报发证机关；当单年个人剂量超过 50mSv 时，需调查超标原因，确认是辐射事故时启动应急预案。

2、辐射工作场所监测

(1) 监测内容：射线装置工作场所监测因子为：X 辐射剂量率，非密封放射性物质工作场所监测因子为： γ 辐射剂量率、 β 表面沾污及衰变池废水总 β 。

(2) 监测布点及数据管理：监测布点应与环评监测布点、验收监测布点一致，监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查；

(3) 监测频度：对于 X- γ 辐射剂量率和 β 表面沾污应自行配备监测设备每 1 个月监测 1 次，废水总 β 应在每次排放前委托有资质单位进行采样监测。另外建设单位需委托有监测资质的单位在项目正式投运前开展验收监测，并在投运后每年定期开展年度监测，年度监测数据纳入年度自评估报告，并于每年 1 月 31 日前向四川省生态环境厅提交（<http://rr.mee.gov.cn/rsmsreq/login.jsp>）。

(4) 监测范围：射线装置工作场所主要监测屏蔽墙、防护门、观察窗外以及楼上、楼下区域和穿线空洞外 X 辐射剂量率。非密封放射性物质工作场所主要监测控制区人员易接触的工作台、地面、墙面、桌椅等表面沾污，以及控制区内所有场所及控制区外邻近房间的 γ 辐射剂量率。

(5) 监测设备：X- γ 辐射剂量率仪、 β 表面沾污。

(6) 质量保证：制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用上级监测部门的监测数据与建设单位监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案。

表 12-3 监测计划一览表

项目	工作场	监测项目	监测范围	监测频次	监测设备
----	-----	------	------	------	------

	所				
自主 监测	射线装置工作场所	X辐射剂量率	机房四周屏蔽体外、防护门外、观察窗外、穿线孔洞处	每月一次（记录监测数据存档）	X-γ辐射剂量率仪
	非密封放射性物质工作场所	β表面沾污	人员易接触的工作台、地面、墙面、病床、桌椅等	每月一次（记录监测数据存档）	β表面沾污仪
		γ辐射剂量率	控制区内所有场所、控制区外邻近房间	每月一次（记录监测数据存档）	X-γ辐射监测仪
委托 监测	射线装置工作场所	X辐射剂量率	机房四周屏蔽体外、防护门外、观察窗外、穿线孔洞处	(1) 竣工环保验收监测；(2) 编制辐射防护年度评估报告（每年）	X-γ辐射剂量率仪
	非密封放射性物质工作场所	β表面沾污	人员易接触的工作台、地面、墙面、病床、桌椅等		表面沾污仪
		γ辐射剂量率	控制区、监督区		X-γ辐射监测仪
	其它	个人剂量	所有辐射工作人员	一季度一次（需建立个人剂量档案）	个人剂量计
		总β	衰变池排放口	首次排放前	委托监测

辐射事故应急

为了加强对非密封放射性物质的安全和防护的监督管理，促进非密封放射性物质的安全应用，保障人体健康，保护环境，建设单位需根据最新要求制定《辐射事故应急预案》，其内容应包括：①应急机构和职责分工；②应急人员的组织；③培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；④辐射事故分级及应急响应措施；辐射事故调查、报告和处理程序。

一旦发生辐射事故，应立即启动应急预案，采取必要的应急措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，由应急领导小组逐级上报地方及省级生态环境主管部门，同时上报公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。并及时组织专业技术人员排除事故。配合各相关部门做好辐射事故调查工作。

表 13 结论与建议

结论

1、项目概况

项目名称：新增 PET/CT 核技术利用项目

建设单位：达州医科肿瘤医院有限公司

建设性质：新建

建设地点：四川省达州市通川区朝阳西路 665 号达州医科肿瘤医院内

本项目建设内容：新增使用乙级非密封放射性物质工作场所、1 台正电子断层扫描仪（PET/CT）III类射线装置和 3 枚锞-68 V 类放射源，涉及使用的非密封放射性物质为氟-18。项目总投资 2500 万元，环保投资 282.7 万元，占总投资 11.3%。

2、本项目产业政策符合性分析

本项目系核和辐射技术用于医学领域，属高新技术。根据国家发展改革委《产业结构调整指导目录(2019 年本)》查阅，本项目属于该指导目录中鼓励类第六项“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业发展政策。

3、本项目选址及平面布局合理性分析

项目所在区域道路、给排水、电力等城市基础配套设施完善，为项目建设提供了良好条件；项目周围没有项目建设的制约因素，且该辐射工作场所相对独立，为专门的辐射工作场所，本项目产生的辐射通过采取相应的治理措施后对周围环境影响较小，其选址是合理的。本项目辐射工作场所根据工作要求、有利于辐射防护和环境保护来进行布置，功能分区明确，既能有机联系，又不互相干扰，且最大限度避开了人流量较大的门诊区或其它人流活动区；在设计阶段，所有辐射工作场所均进行了合理的优化布局，同时兼顾了病人就诊的方便性。综上所述，项目总平面布置是合理的。

4、工程所在地区环境质量现状

本项目周围 γ 辐射剂量率背景值为 99nSv/h~116nSv/h，在普通生活环境状态下，辐射环境权重因子按 1 进行考虑，则拟建场所周围 γ 辐射剂量率背景值为 99nGy/h~116nGy/h，对照 2019 年四川省内 29 个电离辐射环境监测自动站测得

的 γ 辐射空气吸收剂量率（小时均值）范围 76.8nGy/h~163 nGy/h（引自《2019年四川省生态环境状况公报》），属于当地天然本底范围。

本项目周围各监测点 β 表面污染为 0.15 Bq/cm²~0.22Bq/cm²，符合《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于工作场所控制区和监督区 β 表面污染分别不超过 40Bq/cm²和 4Bq/cm²的要求。

5、环境影响评价结论

（1）辐射环境影响分析

经现场监测和模式预测，在正常工况下，对职业人员造成的年附加有效剂量低于本次评价 5mSv 的职业人员年剂量约束值；对公众造成的年附加有效剂量低于本次评价 0.1mSv 的公众人员年剂量约束值。

（2）大气的环境影响分析

本项目射线装置在运行过程中产生的臭氧经排风系统排出后浓度低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中规定的二级标准限值要求；非密封放射性物质工作场所产生的废气经过两级过滤器过滤后对周围辐射环境影响较小。

（3）废水的环境影响分析

本项目废水先排入衰变池，废水在衰变池停留 10 个半衰期后，排入市政污水管网。放射性废水先排入一体式衰变设施，衰变池拟设废水液位计、取样口和检修口，衰变后的含氟-18 废水首次排放前应对放射性废水进行取样监测，监测结果符合排放标准（总 β 排放标准 10Bq/L）后方可排放。

（4）固体废物的环境影响分析

本项目诊断过程产生含氟-18 固体废物采用专门固废收集桶分类收集后，衰变 10 个半衰期并监测达标后转移至医疗废物暂存库，按照普通医疗废物执行转移联单制度，由有资质单位统一回收处理，不外排；更换下的活性炭过滤器经暂存衰变 10 个半衰期并监测达标后作为普通固废处置；退役废旧放射源由厂家或有资质单位回收，对周围环境影响较小。

6、事故风险与防范

建设单位需按本报告提出的要求补充制定相关安全管理规章制度并完善辐射事故应急预案，项目建成投运后，应认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

7、环保设施与保护目标

建设单位需按环评要求配备较全、效能良好的环保设施，使本次环评中确定的绝大多数保护目标，所受的辐射剂量，保持在合理的、可达到的尽可能低的水平。

8、辐射安全管理的综合能力

建设单位辐射安全管理机构健全，有领导分管，人员落实，责任明确，辐射工作人员配置合理，在落实辐射事故应急预案与安全规章制度和环保设施和措施要求下可满足防护实际需要。对现有场所而言，建设单位也已具备辐射安全管理的综合能力。

9、项目环保可行性结论

建设单位在采取切实可行的环保措施，落实本报告提出的各项污染防治措施后，本评价认为，本项目在四川省达州市通川区朝阳西路 665 号达州医科肿瘤医院内进行建设，从环境保护和辐射安全角度看是可行的。

建议

(1) 在实施诊治之前，应事先告知患者或被检查者辐射对健康的潜在影响；应注意对陪护者的防护，使其在陪护患者的全程诊治中，所受的辐射剂量做到最小化。

(2) 认真学习贯彻国家相关的环保法律、法规，不断提高遵守法律的自觉性和安全文化素养，切实做好各项环保工作。

(3) 不断提高工作人员素质，增强职工环保意识和安全意识，做好辐射防护设施、设备的维护保养，避免发生辐射事故。

承诺

(1) 辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗，且每 5 年进行一次再学习和考核。。

(2) 加强对用药病人活动区的辐射安全管理。

(3) 项目应按照国家相关法律法规尽快进行验收。

(4) 接受生态环境行政主管部门的监督检查。

项目竣工验收检查内容

根据《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》（国务院 682 号令），工程建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。项目投入运行后，建设单位应当按照国务院环境保护行政主管部门规定的标准和程序，自行对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，并依法向社会公开验收报告。

表 13-1 竣工环境保护验收一览表

项目	设施（措施）	数量	备注
辐射屏蔽措施	PET/CT 检查室、注射操作间、注射区、放射性废物间、注射后休息室 1、注射后休息室 2、注射后休息室 3、消洗间、卫生间、抢救室、留观室等墙体、门、观察窗等防护	/	/
	单联分装通风橱	1 台	50mmPb
	一体化注射装置	1 台	50mmPb
	扫描床前屏风	1 个	10mmPb
	手动分装装置	1 个	50mmPb
	床旁隔离屏风	1 个	10mmPb
	注射器防护盒	2 个	5mmPb
	注射器防护套	2 个	2ml, 9mmPb
	注射器防护套	2 个	5ml, 9mmPb
安全装置/设施	工作状态指示灯	2 个	带警示语
	控制区监控系统	/	场所全覆盖
	储源间保险柜	1 个	双人双锁
	PET/CT 检查室操作台紧急止动开关	1 个	/
	控制区入口及出口门禁系统	1 套	/
	电离辐射警告标志	若干	/
	场所控制区、监督区划分地面标识	/	/
个人防护用品	个人剂量报警仪	6 人×1 个	/
	个人剂量计	6 人×1 个	/
	辐射工作人员防护铅服、铅帽、铅眼镜、铅围脖、铅围巾（0.5mm 铅当量）等	4 人×1 套	/
	表面污染清洗剂	/	/
废水	控制区独立下水系统	1 套	/
	一体式衰变设施（有效容积 4.0m ³ ）	1 套	/
固体废物	注射操作间、1#~3 注射后休息室、卫生间、留观室等专用废物收集桶	6 间×1 个	/
	放射性废物间暂存屏蔽容器	4 个	30mm 铅当量

放射性废气	通风橱及控制区房间独立排风系统	1套	/
	高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施	1套	过滤效率大于90%
监测设备	X-γ辐射剂量率监测仪	1台	/
	β表面沾污仪	1台	/
综合管理	制定辐射事故应急预案及应急和救援的物资准备	/	/
	个人剂量档案	/	/
	放射源管理台账	/	/
	非密封放射性物质管理台账	/	/
	固体废物及废水转移或排放管理台账	/	/
	本项目所有辐射工作人员均应加强辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的学习，并通过相关考试，持证上岗	/	/
	制定的所有规章制度中关于“辐射工作场所安全管理制度”、“操作规程”、“辐射工作人员岗位职责”和“应急响应程序”的内容需在各辐射工作场所内张贴上墙，且上墙制度的长宽尺寸不得小于600mm×400mm	/	/

审批

下一级环保部门预审意见：

经办人签字

年 月 日

单位盖章

年 月 日

审批意见：

签发人签字

年 月 日

单位盖章

年 月 日