

表 1 项目基本情况

建设项目名称		海南医学院附属医院 PET-CT 中心建设项目			
建设单位		海南医学院附属医院			
法人代表	李丽	联系人	*****	联系电话	*****
注册地址		海南省海口市龙华路 31 号			
项目建设地点		海南省海口市龙华路 31 号			
立项审批部门		海南省卫生和计划生育委员会	批准文号	琼卫职审字[2016]01 号	
建设项目总投资（万元）		3200	环保投资（万元）	1000	投资比例 28.6%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积 (m ²) /
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input checked="" type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类		
	其他	/			
	1、建设单位情况简述 <p>海南医学院附属医院位于海南省海口市龙华路 31 号，项目地理位置详见图 1-1。该院是集医疗、教学、科研、预防、保健、急救、社区服务于一体的三级甲等综合医院。医院成立于 1973 年，目前全院编制床位 1500 张，临床科室 44 个，全院职工 2316 人。年门诊量 110.41 万人次，住院病人 3.58 万人次，年住院手术 12508 台，医疗与临床教学资源丰富，是海南省重要的骨干医疗机构。</p>				
2、核技术利用项目建设规模、目的和任务的由来 <p>PET-CT 是目前国际上最尖端的医学影像诊断设备，也是目前在分子水平上进行人体功能显像的最先进的医学影像技术。PET-CT 是将 PET 扫描仪和 CT 设备功能的一体化融合，临床主要应用于肿瘤、脑和心脏等领域重大疾病的早期发现和诊断，具有能早期诊断、安全无创、检查结果准确、快速等优势。</p> <p>为了提高医院的医疗技术服务水平，进一步满足群众就医的需求，海南医学院附属医</p>					

院拟将医院医技楼二层原放疗科辅助用房（医生办公室、治疗计划室、物理测量室、技术室、库房等）改建成 PET-CT 中心，并拟使用 PET-CT 1 台（内含 3 枚 ^{68}Ge 校准源，均属 V 类密封源），使用非密封放射性物质 ^{18}F 和 ^{11}C 进行显像诊断。

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《建设项目环境影响评价分类管理名录》（环境保护部令 第 33 号）可知，海南医学院附属医院 PET-CT 中心建设项目应进行辐射环境影响评价并编制辐射环境影响报告表。为此医院于 2016 年 5 月正式委托江西省核工业地质局测试研究中心（国环评证乙字第 2306 号）进行辐射环境影响评价。江西省核工业地质局测试研究中心则立即组织人员进行了现场踏勘和资料收集等相关工作，在此基础上编制完成了该医院的辐射环境影响报告表。

3、核技术利用项目概况

本项目内容为将医技楼二楼原放疗科辅助用房（医生办公室、治疗计划室、物理测量室、技术室、库房等）改建成 PET-CT 中心，新增使用 PET-CT 1 台（内含 3 枚 ^{68}Ge 校准源，均属 V 类密封源），使用非密封放射性核素 ^{18}F 和 ^{11}C 进行显像诊断。

本项目环评内容情况见表 1-1～表 1-4。

表 1-1 医院本次拟使用的非密封放射性物质一览表

序号	核素名称	放射性活度	日最大操作量	活动种类和范围	备注
1	^{18}F	$1.85 \times 10^{12} \text{ Bq/a}$ (50Ci/a)	$7.4 \times 10^9 \text{ Bq}$ (200mCi)	使用、乙级非密封放射性物质工作场所	在 PET-CT 中心分装室的通风柜中进行操作
2	^{11}C	$6.94 \times 10^{11} \text{ Bq/a}$ (18.75Ci/a)	$2.78 \times 10^9 \text{ Bq}$ (75mCi)		

表 1-2 医院本次拟使用的非密封放射性物质应用情况一览表

名称	人均用量/次	最大用量/次	日最大诊疗人次 (人次)	年最大诊疗人次 (人次)
^{18}F	$1.85 \times 10^8 \text{ Bq/(5mCi)}$	$3.7 \times 10^8 \text{ Bq/(10mCi)}$	20	5000
^{11}C	$3.7 \times 10^8 \text{ Bq/(10mCi)}$	$5.55 \times 10^8 \text{ Bq/(15mCi)}$	5	1250

表 1-3 本项目拟配置 PET-CT 设备基本参数情况一览表

序号	设备名称	数量 (台)	型号	类别	主要参数	项目性质	应用目的和任务	设备拟安装位置
1	PET-CT	1	西门子 Biograph mCT Flow 64	III	140kV 666mA	新建	放射诊断	医技楼二楼 PET-CT 中心扫描室

表 1-4 本项目拟使用的密封源情况一览表

序号	核素名称	使用场所	放射性活度	活动种类和范围	数量
1	^{68}Ge	医技楼二楼 PET-CT 中心（PET-CT 用校准源）	$9.25 \times 10^7 \text{ Bq}$	使用，V 类放射源	1 枚
2	^{68}Ge		$4.6 \times 10^7 \text{ Bq}$	使用，V 类放射源	2 枚

4、项目周围环境概述以及选址合理性分析

海南医学院附属医院位于海南省海口市龙华路 31 号。医院西北面为华龙路和海南医学院宿舍，东北面为义龙横路和龙华商城，西南面为医院职工生活区和龙昆上村居民区。医院的地理位置详见图 1-1。



图 1-1 项目地理位置图

本项目拟建的PET-CT中心设置在医技楼二楼，医技楼位于医院东侧三角地带。医技楼为八层建筑，PET-CT中心楼下为放射物理治疗中心，楼上为CT扫描室和核磁共振成像室。医技楼东面为维修间和义龙横路；南侧与医院围墙之间为宽4m~5m的过道，墙外均为2~5层的村民民房；西南面为ECT楼、行政楼和检验楼；西北面为内科大楼和门急诊楼；东北面为义龙横路和行政仓库等。医院总平面及外环境关系图见图1-2。PET-CT中心楼上楼下及周边环境的现场照片见图1-3。

由于医院历史较久，近年来随着医院发展，用地、用房日趋紧张。由于受院区内面积所限，PET-CT中心改建于医技楼二楼原放疗科辅助用房。PET-CT中心楼上为CT室、楼下为放疗室，西侧为ECT楼（原有核医学科），放射性同位素与射线装置核技术应用项目相对集中，便于管理，同时该区域人员流动相对较小，选址基本合理。

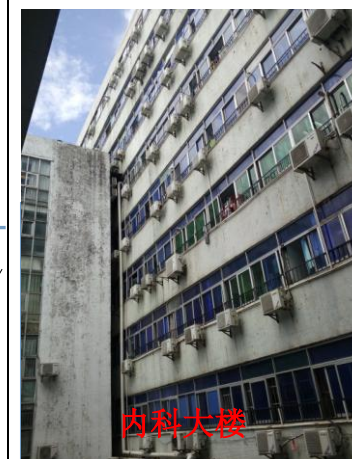
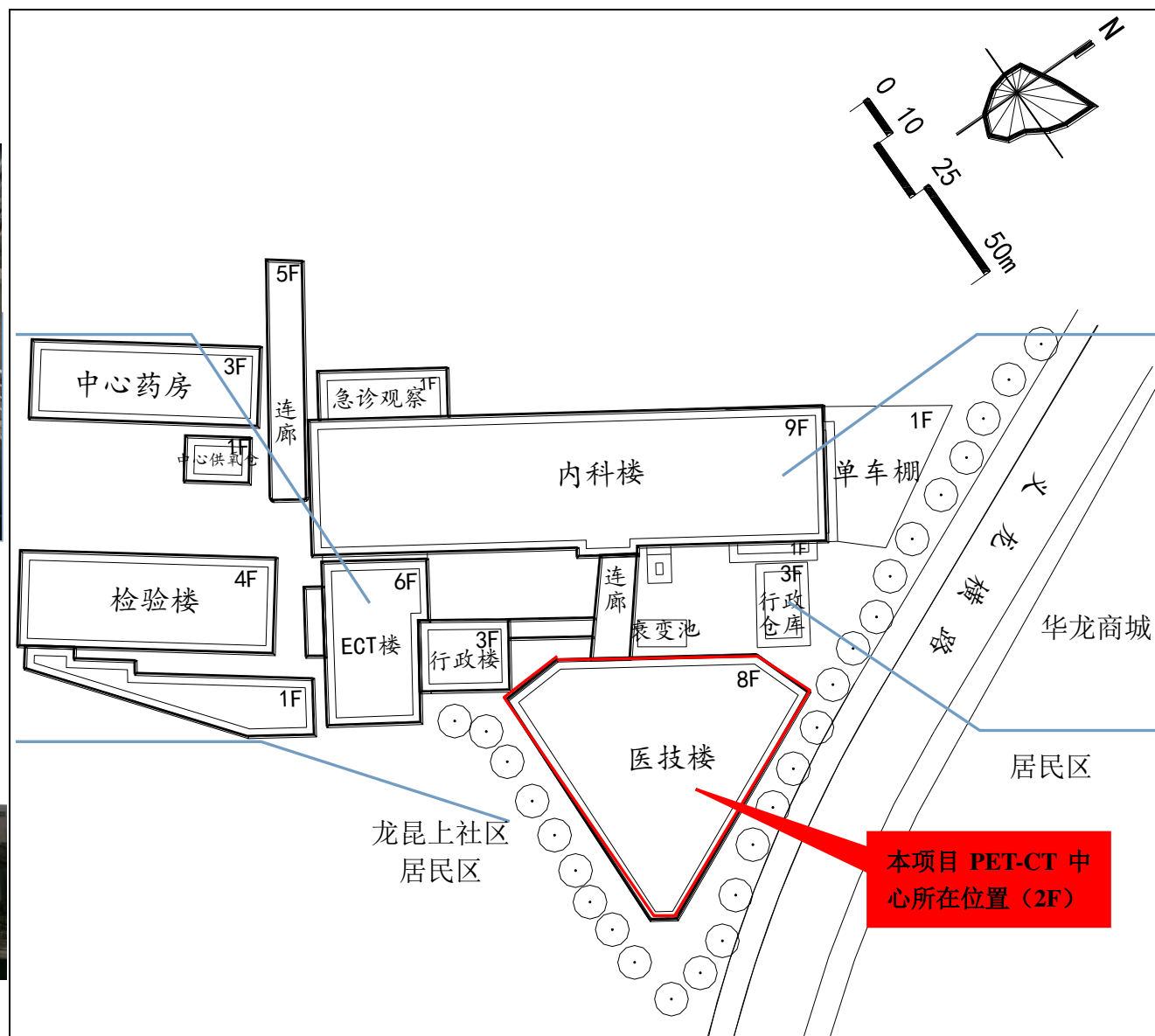


图 1-2 项目周边外环境关系图

图 1-3 项目周边情况的现场照片



PET-CT 中心楼上为 CT 扫描室、核磁共振成像室



PET-CT 中心楼下为放射物理治疗中心



注射后休息室、检查后休息室楼上为特殊扫描室、CT 扫描室及控制室



注射后休息室楼下为模拟定位机机房、控制室和设备间



储源室、分装室楼上为核磁共振机房、设备间

5、医院原有核技术应用项目许可情况

医院放射性同位素与射线装置（一期）项目于 2007 年履行了辐射环境影响评价手续，并于 2007 年获得原海南省国土环境资源厅的环评报告表批复（附件 3，琼土环资核表字[2007]2 号）；医院于 2009 年 2 月 16 日委托海南省辐射环境监测站完成一期项目竣工环境保护验收报告，并于 2009 年 5 月 25 日获得原海南省国土环境资源厅的项目环境保护设施竣工验收批复（附件 4，琼土环资审字[2009]90 号）。医院办理了辐射安全许可证，证书编号琼环辐证[00014]。

医院一期放射性同位素与射线装置基本情况，履行环评和验收手续的情况详见表 1-5~1-7。

表 1-5 医院一期辐射项目密封源一览表

序号	核素名称	使用场所	放射性活度 (Bq)	活动种类和范围	环评情况	验收情况	备注
1	^{192}Ir	核医学科一楼后装机房	4.44×10^9	使用 III 类放射源	琼土环资核表字 [2007]2 号	琼土环资审字 [2009]90 号	在用
2	^{125}I 粒籽	外科大楼四楼手术室	2.22×10^9	使用 V 类放射源			在用
3	^{90}Sr	核医学科	4.4×10^9	使用 V 类放射源			在用

表 1-6 医院一期辐射项目非密封放射性物质一览表

序号	核素名称	使用场所	年等效最大用量 (Bq/a)	日等效最大操作量 (Bq)	活动种类和范围	环评情况	验收情况	备注
1	^{125}I	放免室	5.55×10^6	1.85×10^4	使用、乙级非密封放射性物质工作场所	琼土环资核表字 [2007]2 号	琼土环资审字 [2009]90 号	已停用
2	^{131}I	核医学科	1.48×10^{10}	7.4×10^8				在用
3	^{32}P		7.4×10^9	3.7×10^7				在用
4	$^{99\text{m}}\text{Tc}$		8.88×10^9	7.4×10^8				在用
5	^{153}Sm		1.2×10^9	5.55×10^8				已停用
6	^{201}Tl		5.92×10^7	1.48×10^6				已停用

表 1-7 医院一期辐射项目射线装置一览表

序号	设备名称	型号	工作场所	活动种类和范围	环评情况	验收情况	备注
1	模拟定位机	山东新华 SL-1	医技楼一楼机房	使用 III 类射线装置	琼土环资核表字 [2007]2 号	琼土环资审字 [2009]90 号	在用
2	数字胃肠机	意大利 GMMopera	医技楼三楼机房				在用
3	床边 X 线机	日本岛津 KL-95	医技楼四楼机房				在用
4	床边 X 线机	日本东芝 ME-10L	医技楼四楼机房				在用
5	乳腺机	GESENOGRAHE 2000P	医技楼四楼机房				在用

6	数字 X 线机	美国 GE Definjun6000	医技楼四楼机房	使用Ⅲ类 射线装置	琼土 环资 核表 字 [2007] 2 号	琼土 环资 审字 [2009] 90 号	在用
7	CT	Light speed VCT	医技楼三楼机房				在用
8	C 臂血管造影装置	美国 GE INNOUA3100	医技楼五楼机房	使用Ⅱ类 射线装置			在用
9	小 C 臂血管造影 装置	美国 OEC9600	外科楼四楼手术室	使用Ⅲ类 射线装置			迁址到新外科 楼 3 楼 3 号间
10	口腔全景 X 线机	日本 IIIECMAuto	医技楼四楼机房				迁址到口腔科
11	X 线机	日本东芝 KXO-15R	医技楼四楼机房				报废
12	X 线机	意大利 Gimius8503	医技楼四楼机房				报废
13	数字 X 线机	北京航天中兴 LDRD-01B	医技楼四楼机房				报废
14	CT	日本岛津 SCT-7000TB	CT 楼一楼机房内				报废
15	碎石机定位系统	深圳惠康 ESWL-VM 型	碎石中心楼一楼机 房内				报废
16	牙科 X 线机	福建梅生 MSD-III 微焦点	门诊楼五楼机房				报废
17	直线加速器	德国西门子 7440	医技楼一楼直加机 房	使用Ⅱ类 射线装置			报废

由表 1-5~1-7 可知，一期辐射项目现今医院实际仅使用 ^{90}Sr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{32}P 、 ^{125}I 粒籽、 ^{131}I 、 ^{192}Ir 等 6 种放射性同位素以及 DSA、CT、DR 等 10 台射线装置（Ⅱ类射线装置 2 台，Ⅲ类射线装置 8 台）。针对上述情况医院于 2015 年 9 月 25 日向海南省生态环境保护厅申请变更了辐射安全许可证（许可证见附件 6）。

医院自 2009 年至今新增以及更换使用场所的射线装置共 17 台，其中Ⅱ类射线装置 1 台，Ⅲ类射线装置 16 台。针对上述 17 台射线装置，医院于 2016 年委托编制完成了海南医学院附属医院医用辐射项目（二期）环境影响报告表，并于 2016 年 5 月 3 日获得海南省生态环境保护厅的环评报告表批复（附件 5，琼环函[2016]620 号）。

医院医用辐射项目（二期）包括的 17 台射线装置的具体情况见表 1-8。

表 1-8 医院二期辐射项目包含射线装置情况一览表

序号	设备名称	类别	型号	主要参数	机房位置	备注	环评情况	验收情况
1	小 C 臂血管造 影装置	Ⅲ类	OEC9600	150kV 15mA	手术室，新外科 楼 3 楼 3 号间	搬迁 由外科楼四楼 手术室迁入	琼环 函 [2016] 620 号	将尽 快委 托验 收
2	术中 X 线三维 成像系统 C 臂	Ⅲ类	ARCADIS Orbic 3D	110kV 20mA	外科楼手术室 4 楼 13 号间	新增		
3	DR	Ⅲ类	Axiom Aristos VX Plus	150kV 500mA	新外科楼 M 层	新增		
4	数字胃肠机	Ⅲ类	AXIOM LaminosDrf	150kV 1000mA	医技楼四楼	新增		
5	16 排 CT	Ⅲ类	Somatom Emotion	130kV 345mA	放射科 医技楼四楼	新增 (原来数字 X 线机机房)		

6	移动 X 线机	III类	Polymobil Plus	125kV 250mA	移动使用，医技楼四楼	新增		
7	移动 X 线机	III类	Polymobil Plus	125kV 250mA	移动使用，医技楼四楼	新增		
8	全景 X 线机	III类	Planmeca	84kV 16mA	口腔科，新址二楼	新增		
9	X 线数字牙片机	III类	ESX	65kV 10mA	口腔科，新址二楼	新增		
10	口腔全景 X 线机	III类	III ECM Auto	90kV 10mA	口腔科，新址二楼	搬迁 由医技楼四楼迁入		
11	DR	III类	Digieye560	120kV 500mA	体检中心，门诊二楼	新增		
12	DR 机	III类	Millennium saturn 9000	120kV 250mA	体检车（车里面）	新增		
13	骨密度仪	III类	Explorer	140kV 10mA	核医学室一楼	新增		
14	数字化医用 X 线摄影系统	III类	Digita Diagnost 3	150kV 800mA	海医广场病区（综合内科 4 楼）	新增		
15	直线加速器	II 类	美国瓦里安 VARIAN CX	6MV、 16MeV	放疗科 医技楼一楼	新增 （原加速器机房）		
16	DR	III类	Digita Diagnost3	150kV 800mA	医技楼四楼	新增		
17	CT	III类	/	140kV 800mA	拟定新门急诊楼负一楼	拟新增		

琼环函
[2016]
620 号

将尽快委托验收

医院辐射安全管理现状如下：

海南医学院附属医院严格遵守了《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关放射性法律、法规，配合各级环保部门监督和指导，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，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医院已建立《放射安全防护管理制度》、《放射工作人员健康检查制度》、《个人剂量计监测制度》、《放射性药品登记、使用、核对、保管及注销制度》、《放射性药品配置、质控、记录制度》、《放射防护及废物处理制度》、《放射性药品污染处理制度》、《体内放射性药品使用观察制度》、《放射性药品不良反应及报告制度》、《高活度区防护隔离制度》、《核医学科个人防护措施》、《安全管理措施》、《放射诊疗患者防护措施》、《核医学科仪器设备的使用、管理措施》、《放射防护检测制度》、《保证影像诊断质量的相关措施》、档案保管制度》等制度，并严格按照规章制度执行。

②为加强对辐射安全和防护管理工作，医院成立了放射防护领导小组，明确辐射防护责任，并加强了对射线装置的监督和管理。

③医院从事辐射工作的部分工作人员定期参加了环保部门组织的上岗培训，接受辐射防护安全知识和法律法规教育，提高守法和自我防护意识。

④辐射工作期间，辐射工作人员均佩戴个人剂量计，接受剂量监测，建立剂量健康档案并存档（见附件 7）。

⑤医院放射性工作场所均设置有电离辐射警示牌和工作指示灯。

⑥医院按照有关规定每年向环保主管部门提交年度评估报告。

存在问题：

①医院原有核医学科（ECT 楼）未建设含放射性废水处理设施，不满足《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ 133-2009）的相关规定。医院拟对原有核医学科（ECT 楼）进行整改并拟建一套满足相关要求的放射性废液衰变池用于处理原有核医学科排放放射性废水。目前医院相关整改方案正在设计中。

②医院将尽快向海南省生态环境保护厅申请更换辐射安全许可证，将已履行了环评手续的二期辐射项目内容纳入新的辐射安全许可证中。

③医院尚有部分辐射工作人员未参加环保部门组织的辐射防护与安全培训。医院将尽快安排未参加培训辐射工作人员按批次参加培训并取得合格证。

6、评价目的

（1）对医院拟建 PET-CT 中心及周边的辐射环境现状进行现场调查和监测，以掌握该场址的辐射水平和辐射环境质量现状。

（2）通过环境影响评价，预测建设项目对其周围环境影响的程度和范围，提出环境污染控制对策，为建设项目的工程设计和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，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”。

（4）提出环境管理和环境监测计划，使该项目满足国家和地方环境保护部门对建设项目环境管理规定的要求，为辐射环境管理提供科学依据。

7、评价因子及评价重点

本项目的污染因子为放射性同位素与射线装置应用产生的电离辐射。本次评价采用 X- γ 辐射剂量率、 β 表面污染及含放射性废水中的总 β 放射性作为评价因子，重点评价其产生的电离辐射对环境敏感点人群的影响。

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	9.25×10 ⁷ ×1	V 类	使用	设备校正	PET-CT 机房	校准使用时置于 PET-CT 设备中, 不使用时屏蔽在铅外壳的容器中存放于储源室	
2	⁶⁸ Ge	4.6×10 ⁷ ×2	V 类	使用	设备校正			

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	使用	7.4×10 ⁹	7.4×10 ⁶	1.85×10 ¹²	显像诊断	很简单的操作	医技楼二层	屏蔽在铅罐中存放于储源室内
2	¹¹ C	液态	使用	2.78×10 ⁹	2.78×10 ⁷	6.94×10 ¹¹	显像诊断	简单操作	医技楼二层	屏蔽在铅罐中存放于储源室内

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）以及《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）。

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
/	无	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（二）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	
/	无	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（三）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	西门子 Biograph mCT Flow 64	140	666	放射诊断	医技楼二层	

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性废液	液态	/	/	/	预计年排放量 62.55m^3 ； 总 β 放射性 $\leq 625500\text{Bq}$ 。	总 $\beta < 10\text{Bq/L}$	放射性废液在内科大楼与医技楼连廊右侧地埋式三个并联式的衰变池（容积均为 4m^3 ）中	在衰变池中经过 10 个半衰期以上，经有资质的单位检测达标后，可排入医院污水处理站处理，然后排入城市污水管网。
放射性固体废物	固态	/	/	/	固体废物： 150kg/a ；比活度 $\leq 3.0 \times 10^6\text{Bq}$ 。	医用废物： 比活度 $\leq 2 \times 10^4\text{Bq/kg}$	用专用屏蔽容器收集	贮存 10 个半衰期后，经有资质的单位检测其比活度 $\leq 2 \times 10^4\text{Bq/kg}$ 后，由环保主管部门批准后作为普通医疗垃圾处理。
						活性炭：比活度 $\leq 2 \times 10^4\text{Bq/kg}$		
						废药盒		
						废 ^{68}Ge 校准源	置于铅罐中暂存于废物室	最终交由厂家回收或环保部门放射性废物库处置。
放射性废气	气态	/	/	/	/	少量	在通风柜分装、稀释液态放射性药品，操作时间较短，在正常情况下，通风柜排出废气的放射性活度很小。	经活性炭吸附后引入楼顶排气口排放。

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

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

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(中华人民共和国主席令 第九号 2014 年修订);</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(中华人民共和国主席令 第七十七号 2016 年修订);</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(中华人民共和国主席令第六号);</p> <p>(4) 《中华人民共和国职业病防治法》(中华人民共和国主席令, 第 52 号 2016 年修订);</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》(国务院令 第 253 号);</p> <p>(6) 《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);</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2008 年修订 国家环境保护部令 第 3 号);</p> <p>(8) 《放射性废物安全管理条例》(国务院令 第 612 号);</p> <p>(9) 《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);</p> <p>(10) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》(环境保护部令 第 33 号)。</p>
技术标准	<p>(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/T10.1-2016);</p> <p>(2) 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93);</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61-2001);</p> <p>(4) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);</p> <p>(5) 《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013);</p> <p>(6) 《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》(GBZ 165-2012);</p> <p>(7) 《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120—2006);</p> <p>(8) 《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ 133-2009);</p> <p>(9) 《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》(GBZ 114-2006);</p> <p>(10) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005);</p> <p>(11) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2002);</p> <p>(12) 《职业性内照射个人监测规范》(GBZ129-2002)。</p>
其他	<p>(1) 委托书;</p> <p>(2) 《中国环境天然放射性水平》。</p>

表 7 保护目标与评价标准

1、评价范围

本项目为使用乙级非密封源工作场所电离辐射项目，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》（HJ/T10.1-2016），考虑到该项目的实际情况，本项目评价范围为 PET-CT 中心各工作场所实体屏蔽物外 50m。

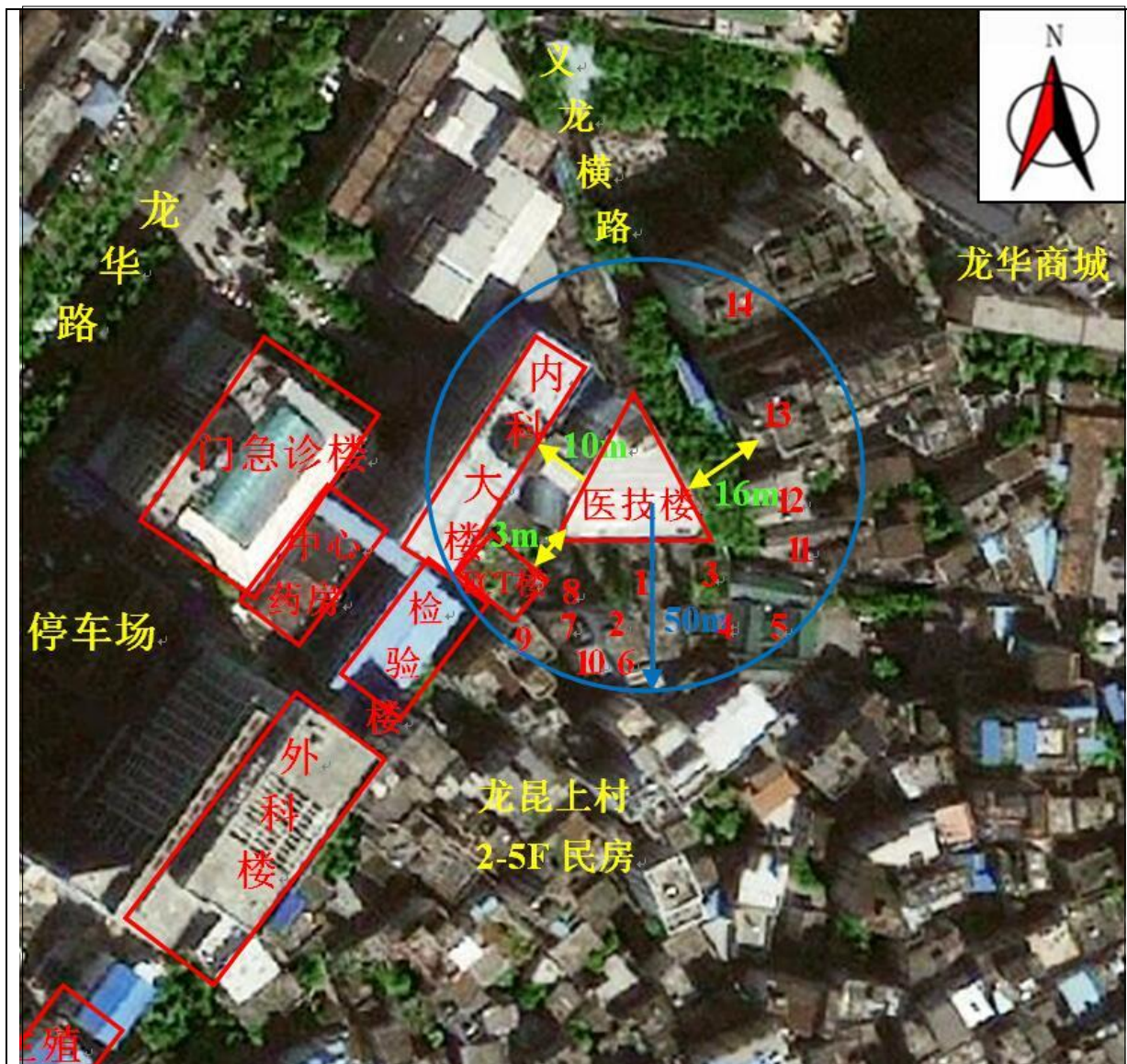
2、保护目标

按照本项目的评价范围及项目的特殊性，确定本项目的主要环境保护目标。本项目给药前，放射性药品均暂存在储源室铅罐内，医生在铅制通风柜内分装药品，经过铅容器、铅制通风柜的屏蔽以及墙体的屏蔽，对周围环境的 γ 辐射很弱。放射性废物收集在铅制废物桶内，放置在废物库内，其活度相对降低，又有铅容器的屏蔽和墙体的屏蔽，对周围环境的 γ 辐射更弱。因此，不考虑储源室、分装室和废物室周围环境目标所受的辐射影响。本项目PET-CT中心主要考虑注射给药室、注射后休息室、检查后休息室、PET-CT扫描室周围环境保护目标所受的辐射影响。根据项目平面布置图7-1可知，注射给药室东面16m处为居民楼，注射后休息室和检查后休息室南面临宽4m~5m的过道为院内围墙，墙外均为2~5F居民区民房，PET-CT扫描室西北面为内科大楼和门急诊楼。检查后/VIP休息室南面为ECT楼、检验楼和内科大楼。

本项目的环境保护目标主要为医院的职业工作人员、病人以及居民区居民，具体环保目标见表 7-1。

表 7-1 环境保护目标一览表

名称	具体辐射工作场所	周围环境	主要环境保护目标	
			相对方位、距离	名称
PET-CT 中心	3#注射后休息室南墙外	过道、居民区	南面 6-50m	龙昆上村公众人员
	检查后 VIP 休息室南墙外	过道、居民区	南面 5-50m	龙昆上村公众人员
	检查后 VIP 休息室西墙外	ECT 楼、检验楼、内科大楼	西面 4-50m	院内外非职业工作人员、公众人员
	PET-CT 扫描室西北墙外	内科大楼、门急诊大楼	/	医院内非职业工作人员、公众人员
	PET-CT 扫描室北墙外	PET-CT 控制室、阅片室	/	职业人员
	注射给药室东墙外	淋浴室、更衣室、分装室	/	职业人员
		居民区	东面 16m	居民区公众人员
	注射给药室西墙外	直加机房上空	/	无人员到达
	注射给药室北墙外	患者通道、患者更衣室	/	患者
	注射给药室南墙外	废物室、过道	/	职业工作人员
		居民区	南面 14-50m	龙昆上村公众人员



编号为 1-14 的环境保护目标具体情况如下：

编号	环保目标	编号	环保目标
1	龙昆上村 7 号 3 层村民吴财连自建房	2	龙昆上村 6 号 2 层村民许建秀自建房
3	龙昆上村 142 号 3 层村民陈华自建房	4	龙昆上村公庙-武圣庙
5	龙昆上村 3 号 4 层村民蒙阳雄自建房	6	龙昆上村 4 号 4 层村民蒙发彪自建房
7	龙昆上村 10-11 号 1-2 层村民吴坤武自建房	8	龙昆上村 12-13 号 4 层村民吴坤武自建房
9	龙昆上村 10-11 号 1-2 层村民吴坤武、吴坤豪自建房	10	龙昆上村 14 号 3 层村民吴坤豪自建房
11	义龙横路 19 号 2 层居民楼（吴来全）	12	义龙横路 17 号 4 层居民楼（蒙爱花）
13	义龙横路 13 号 10 层鄱阳湖大酒店	14	龙昆上村综合楼 9 层（迷你商务宾馆）

图 7-1 本项目评价范围内环境保护目标分布示意图

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

在实践过程中，工作人员所受的剂量限值为连续 5 年的年平均有效剂量不超过

20mSv/a；公众所受有效剂量不超过 1mSv/a。在环境评价中，出于“防护与安全的最优化”原则，对于某单一项目的剂量控制，可以取这个限值的几分之一进行管理，本项目取其四分之一，即工作人员的有效剂量不超过 5mSv/a，公众的有效剂量不超过 0.25mSv/a。

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）B2 所规定的限制要求。

B2 表面污染控制水平

B2.1 工作场所的表面污染控制水平如表 7-2 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		β 放射性物质 (Bq/cm ²)
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4×10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻¹

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	>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。

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

- a) 每月排放的总活度不超过 10ALI_{min}（ALI_{min} 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者。
- b) 每一次的排放的活度不超过 1 ALI_{min}，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

(2) 《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）

5 X 射线设备机房防护设施的技术要求

5.1 X 射线设备机房（照射室）应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护和安全。

5.2 每台 X 射线机（不含移动式 and 携带式床旁摄影机与车载 X 射线机）应设有单独的机房，机房应满足使用设备的空间要求。对新建、改建和扩建的 X 射线机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应不小于表 7-4 要求。

表 7-4 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

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

5.3 X 射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求：

表 7-5 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用线束方向铅当量 mm
标称 125kV 以上的摄影机房	3	2
CT 机房	2（一般工作量） ^a 2.5（较大工作量） ^a	
a 按 GBZ/T180 的要求		

5.4 在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处，机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

b) CT 机机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h；其余各种类摄影机房外人员可能受到照射的年有效剂量约束值应不大于 0.25mSv；测量时，测量仪器读出值应经仪器响应时间和剂量检定因子修正后得出实际剂量率。

5.5 机房应设有观察窗或摄影装置，其设置的位置便于观察到患者和受检者的状态。

5.6 机房内布局要合理，应避免有用线束，直接照射门、窗和管线口位置；不得堆放与诊断工作无关的杂物。机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风。

5.7 机房门外应有电离辐射标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句；机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相同的门能有效联动。

5.8 患者和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。

5.9 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4（见表 7-6）基本种类要求的工作人员、患者和受检者防护用品与辅助设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅防护衣；防护用品和辅助设施的铅当量应不低于 0.25mmPb；应为

不同年龄儿童的不同检查，配备有保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助设施的铅当量应不低于 0.5mmPb。

表 7-6 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
CT 体层扫描 (隔室)	——	——	铅橡胶性腺防护围裙 (方形)或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	——
注：“——”表示不需要				

(3) 《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》(GBZ 165-2012)

CT 机房的防护要求：

CT 机房应有足够的使用空间，面积应不小于 30m³；

CT 机房的墙壁应有足够的防护厚度，距机房外表面 0.3m 处空气比释动能率应 <2.5μGy/h。

(4) 《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120—2006)

临床核医学工作场所的放射防护要求：对临床核医学工作场所具体分类，本评价项目中的核医学科项目属于 II 类核医学工作场所，该工作场所的防护设计要求见表 7-7。

表 7-7 核医学工作场所的室内表面及装备结构要求

场所分类	地面	表面	通风橱	室内通风	管道	清洗及去污设备
II	易清洗且不易渗透	易清洗	需要	有较好通风	一般要求	需要

(5) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)

总 β 放射性控制在《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005) 中表 2 规定的限值内：总 β 放射性最高允许排放浓度为 10Bq/L。

(6) 《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ 133-2009)

使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于 2×10⁷Bq 的临床核医学单位和医学科研机构，应设置有放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放。产生放射性废液而可不设置放射性污水池的单位，应将仅含短半衰期核素的废液注入专用容器中通常存放 10 个半衰期后，经审管部门核实准许，可作普通废液处理。对含长半衰期核素的废液，应专门收集存放。

本评价项目使用的放射性同位素日等效最大操作量为 3.52×10⁷Bq，大于 2×10⁷Bq，所以本评价项目应设置有放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放。

表 8 环境质量和辐射现状

一、监测计划

1. 监测内容与点位

为了解拟建项目所在区域的环境现状，对拟建工作场所及周边辐射环境进行了现状监测。监测因子为 X-γ 辐射剂量率。监测布点图见图 8-1 和图 8-2。

2. 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

仪器名称	X-γ 剂量率仪
仪器型号	FH40G
生产厂家	Thermo 公司
测量范围	10nSv/h~1Sv/h
监测规范	《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）
监测单位	江西省核工业地质局测试研究中心
监测时间	2016 年 05 月 26 日
检定证书编号	hnjln2016012-90
有效日期	2016 年 4 月 5 日至 2017 年 4 月 4 日
检定单位	湖南省电离辐射计量站

3. 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，检定合格后方可使用。
- d 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常，并用检验源对仪器进行校验。
- 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，最后由技术总负责人审定。

二、辐射环境质量现状监测结果

项目拟建放射工作场所及周边辐射环境检测数据见表 8-2，监测报告见附件 8。

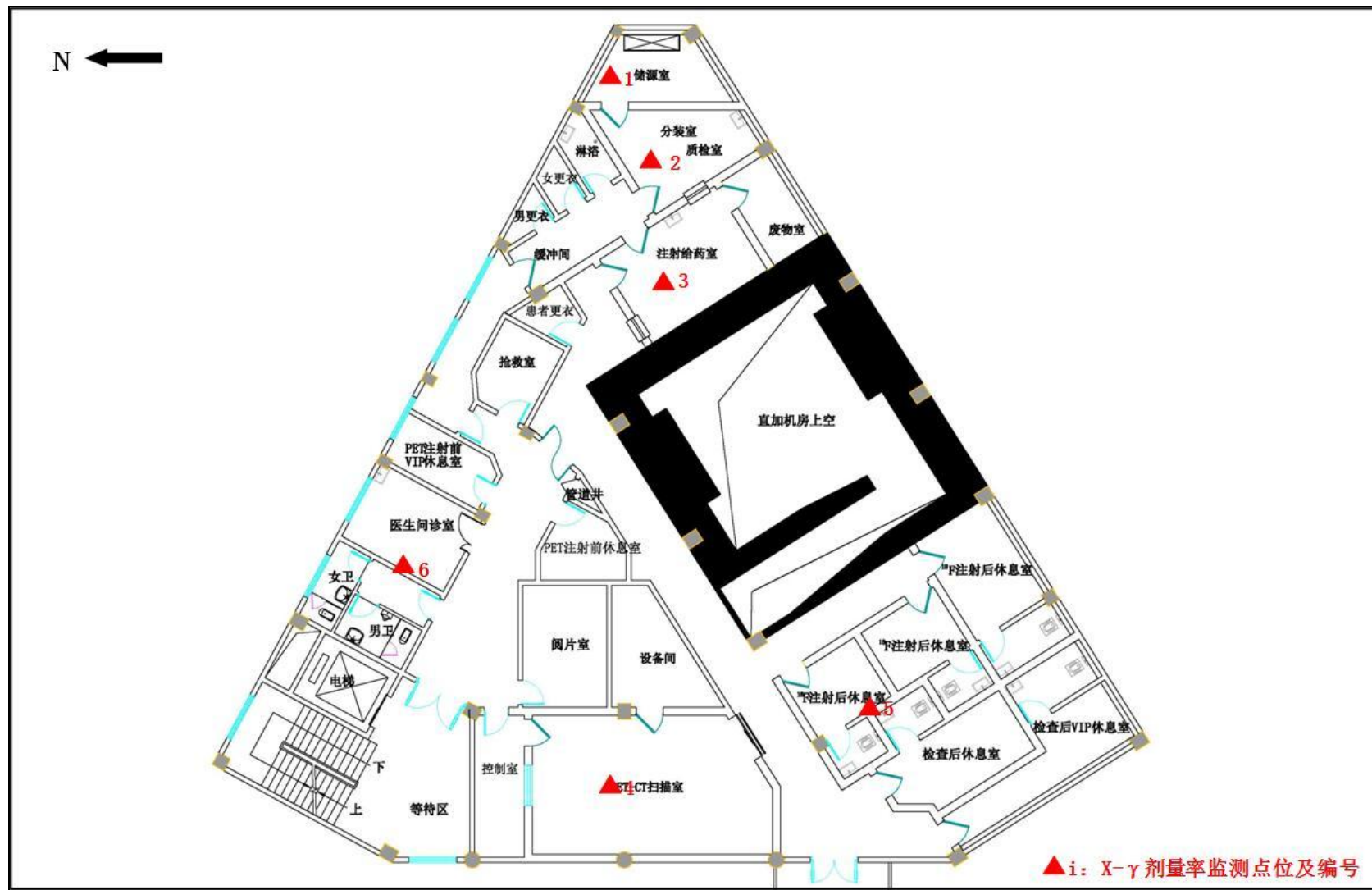


图 8-1 拟建 PET-CT 中心工作场所现场测量布点图

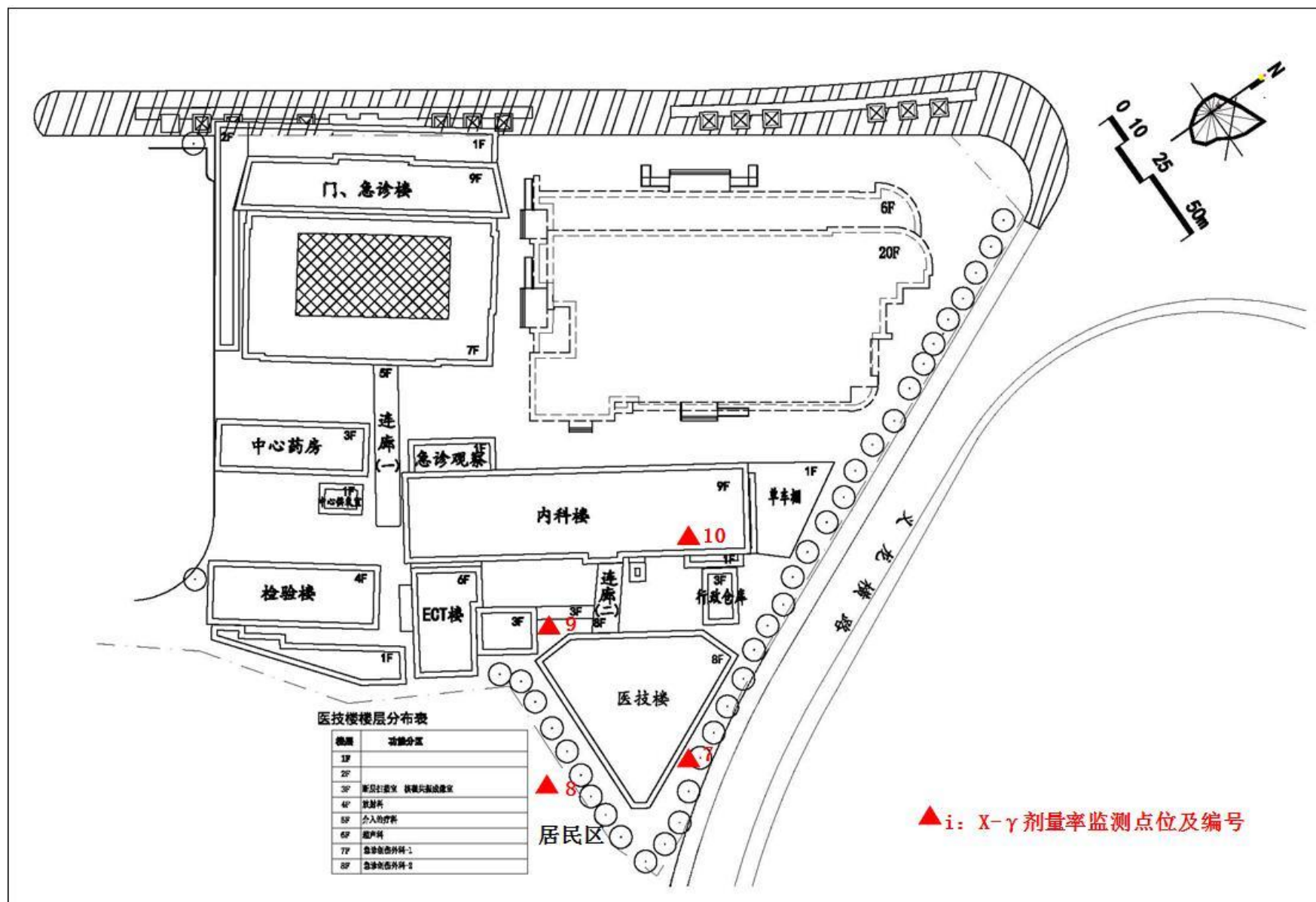


图 8-2 拟建 PET-CT 中心所在医技楼周边现场测量布点图

表 8-2 医院拟建 PET-CT 中心辐射工作场所及其周围环境 X- γ 辐射剂量监测结果

序号	监测位置		环境 X- γ 辐射剂量率 (nSv/h)		
			范围	均值	标准偏差
1	医技楼二楼 拟建 PET-CT 中心	储源室	63.3~69.3	66.6	2.4
2		分装室	63.2~70.9	67.8	2.8
3		注射给药室	63.1~75.8	69.5	4.3
4		PET-CT 机房	67.1~86.7	76.7	7.5
5		注药后休息室	69.5~88.4	80.9	8.5
6		医生办公室区域	65.4~77.5	73.4	5.2
7	医技楼东侧空地 (室外)		58.1~67.8	62.5	4.6
8	医技楼南面院墙外居民区 (室外)		67.7~86.7	77.6	6.9
9	医技楼西面空地 (室外)		59.0~70.0	65.4	4.9
10	医技楼北面内科大楼 (室内)		84.8~91.8	88.0	2.7

注：以上数据均未扣除宇宙射线的贡献；

从现场检测结果可见，海南医学院附属医院本次环评拟建的 PET-CT 中心放射性工作场所及周围环境 X- γ 辐射剂量率为 58.1nSv/h~91.8nSv/h 之间，即 58.1~91.8nGy/h 之间，处于海南地区室外和室内辐射环境本底范围值内（注：海南地区室外辐射环境本底范围值 20.4~144.3nGy/h，室内辐射环境本底范围值 35.3~207.8nGy/h，来源于《中国环境天然放射性水平》）。

表 9 项目工程分析与源项

一、工程设备和工艺分析

本项目 PET-CT 中心建设项目包括 1 台正电子放射计算机扫描系统（PET-CT）、1 套质控放射源（共 3 枚 ^{68}Ge 放射源）以及放射性核素 ^{18}F 和 ^{11}C 。

1、PET-CT 显像诊断

（1）工作原理

①PET-CT 工作原理

PET 是 Positron Emission Computed Tomography(正电子断层显像)的缩写，是目前最先进的放射性核素显像技术。PET 的基本结构由探头(晶体、光电倍增管、高压电源)、电子学线路、数据处理系统、扫描机架及同步检查床组成。PET 工作的目的是显示正电子核素标记的示踪剂在体内的分布。通过化学方法，将发射正电子的核素与生物学相关的特定分子连接而成的正电子放射性药物注入体内后，正电子放射性药物参加人体相应的生物活动，同时发出正电子射线，湮灭后形成能量相同(511keV)、方向相反的两个 γ 光子。在 PET 的探测器接收光子过程中应用电子准直或符合探测技术，即可得到正电子放射性药物的分布情况，并经计算机图像重建后进一步转化为肉眼可视的图像。在很多情况下，它可提供其他方法所不能提供的重要诊断信息。用于显像的同位素都属于短半衰期的核素，如 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F 等。

本项目拟购置的 PET-CT（正电子发射计算机断层扫描装置）是将 PET 功能图像和高分辨率的 CT 解剖图像结合起来，把两者的定性和定位优势进行了有机结合，提高了诊断的准确性。PET/CT 示意图见图 9-1。

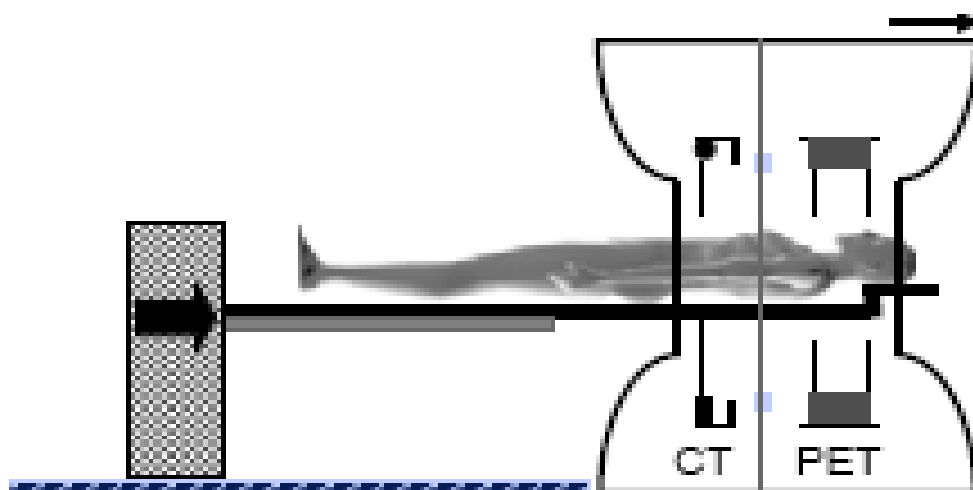


图 9-1 PET/CT 实物示意图

将PET和CT联合在一起，通过PET扫描和CT扫描重叠联合扫描，使两者的硬件和软件

有机地结合在一起。这样就可以采用CT图像对PET功能图像进行解剖定位，同时又可以采用人体X射线衰变图的衰变系数对 γ 射线在人体内的衰减进行校正，它自身带有1部CT机，属于III类射线装置。将放射性同位素或放射性同位素标记的各种化合物（放射性示踪剂或探针）引入人体后，放射性示踪剂会到达特定的组织或器官，在体外用显像设备探测体内不同组织/器官放射性示踪剂分布情况，通过计算机重建成断层图像，反映不同组织/器官的血流、功能与代谢状态。

②放射性核素显像诊断工作原理

本项目PET-CT使用的显像放射性核素为 ^{18}F 和 ^{11}C 。

^{18}F 和 ^{11}C 主要用于代谢显像，主要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-CT装置探测器所接受，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任何影像，包括平面影像、动态影像、断层影像及全身影像。

（2）工作流程

海南医学院附属医院PET-CT中心使用的放射性药物均为外购，由于半衰期较短，均是根据临床诊疗所需药物的使用量，向放射性核素供应单订购，并在放射性核素送达当天全部使用完，因此该PET-CT中心不会有放射性核素存放过夜。

医院根据临床诊疗所需药物的使用量，向放射性核素供应单位订购，供应单位在约定的时间负责运送至PET-CT中心，建设单位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储源室内。

实施PET-CT放射诊断时，辐射工作人员在分装室通风柜内进行分装。受检患者进入辐射工作场所到达注射窗口前，医护人员在注射室内采用隔室操作的方式通过注射台对受检患者实施放射性核素静脉注射。注射后的注射器以及棉签等固体废物丢入注射窗旁的废物桶，注射了放射性核素后的患者被安排至注射后休息室休息。患者一般在注射后休息室休息30-60分钟后，进入PET-CT扫描室，这时辐射工作人员将从PET-CT控制室进入扫描室辅助患者摆位，随后离开扫描室进入控制室，操作PET-CT机对患者进行扫描诊断。

诊断结束后，患者将根据实际情况在检查后休息室休息留观一段时间，最后经相关医生同意后离开PET-CT中心。

主要流程如下图：

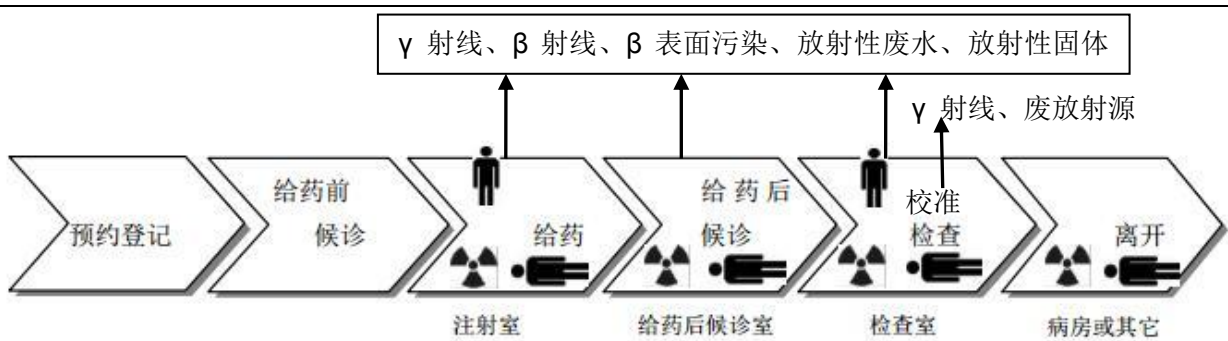


图 9-2 显像检查、校准流程及产污环节示意图

2、密封源使用项目

本次评价项目 PET-CT 装置配有 1 套用于检测 PET-CT 性能的稳定性和图像信息的准确性的质控源，共包含 3 枚 ^{68}Ge 密封源。质控校准源是借助放射源产生的正电子为设备进行质控校准。**校准流程如下：**

PET-CT 安装到位后，正式使用之前需进行校正测试，以确保设备的各项参数达到相关标准要求。该工作一般由厂家工程师完成，医院专门工程技术人员配合和监督。

①CT 检测校正，主要对 CT 进行稳定性测试、CT 剂量指数测试和低对比度测试。

②PET 检测校正，依照相关检测方法，对 PET 探头或探测组件进行检测，确定无晶体损坏或电子设备故障后再做 PET 的三维校正、归一化和 fov 偏移校正。PET 探头及探测组件的检测和机架偏移校正用 ^{68}Ge 棒源来执行。归一化和日常质量控制都使用 ^{68}Ge 均匀性模体。其步骤为定位 ^{68}Ge 均匀性模型，用 CT 机架视野外激光打将模型垂直居中，激光应刚好与模型的边缘相接，选择质量控制程序，系统将执行校正工作。实施校正时输入该模型体积、启用时间和放射源活度。

^{68}Ge 放射源产生的 γ 射线辐射，对人体产生的主要影响为外照射，无含放射性废水和废气产生， ^{68}Ge 废放射源交由放射性废物贮存库收贮或由放射源生产单位回收。

二、污染源项分析

1、污染源概况

本项目涉及的辐射污染源包括射线装置、非密封放射性核素和密封放射源三大类。射线装置参数具体见表 1-3，非密封放射性核素特征参数和预计使用情况见表 9-1、9-2 和表 9-3，密封源参数见表 9-4。

表 9-1 PET-CT 中心拟使用的非密封放射性核素有关参数

核素名称	半衰期	物理化学性状	日等效最大操作量 (Bq)	日最大加权活度 (MBq)	能量 (MeV)	主要辐射类型	使用目的
^{18}F	109.8min	液态	7.4×10^7	7400	0.511	γ	诊断用药
^{11}C	20.4min	液态	2.775×10^7	2775	0.511	γ	诊断用药

根据国家《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（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。同时根据《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）中相关内容：医疗机构使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{125}I 粒籽源相关活动视为“很简单的操作”，使用 ^{131}I 核素相关活动视为“简单操作”。

本评价项目的核医学科使用的各放射性核素的毒性组别修正因子、操作方式修正因子情况详见表 9-2。

表 9-2 PET-CT 中心拟使用的非密封放射性核素日等效最大操作量计算

核素名称	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日实际最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	合计	
					日实际最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）
^{18}F	0.01	10	7.4×10^9	7.4×10^6	1.018×10^{10}	3.52×10^7
^{11}C	0.01	1	2.78×10^9	2.78×10^7		

由表 9-2 计算结果可知，本项目 PET-CT 中心使用的非密封放射性核素日等效最大操作量为 $3.52 \times 10^7 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

根据《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）对临床核医学工作场所具体分类办法，操作最大量放射性核素的加权活度（MBq）等于计划的日操作最大活度与该核素毒性权重因子的积除以与操作性质修正因子所得的商。本评价项目使用的放射性核素的日实际操作最大活度以及各核素毒性权重因子，操作性质修正因子及加权活度见表 9-3。

表 9-3 放射性核素加权活度及计算参数

核素名称	日操作最大活度（MBq）	权重因子	操作性质修正因子	加权活度（MBq）
^{18}F	7.4×10^3	1	1	7.4×10^3
^{11}C	2.78×10^3	1	1	2.78×10^3
合计				1.018×10^4

评价项目的加权活度最大为 $1.018 \times 10^4 \text{MBq}$ ，大于 50MBq 且小于 50000MBq ，因此该工作场所属于 II 类核医学工作场所。

本项目 PET-CT 中心拟使用密封源相关参数见表 9-4。

表 9-4 PET-CT 中心拟使用的密封源情况一览表

核素名称	使用场所	放射性活度	活动种类和范围	数量	半衰期	衰变方式
^{68}Ge	医技楼二楼 PET-CT 中心（PET-CT）	$9.25 \times 10^7 \text{Bq}$ （2.5mCi）	使用，V 类放射源	1 枚	288d	EC
		$4.6 \times 10^7 \text{Bq}$ （1.24mCi）	使用，V 类放射源	2 枚		EC

注：衰变方式栏中 EC 表示轨道电子俘获。

2、辐射来源和种类

(1) 正常工况

①放射性药品 ^{18}F 和 ^{11}C 发射的 γ 射线；

②放射性药品使用过程中产生的 β 表面污染；

③放射性废水：医院 PET-CT 中心预计每年受检者约为 6250 人，每人每天排泄物废水产生量约 10L，则产生含放射性排泄物废水量约为 $62.5\text{m}^3/\text{a}$ ；同时放射性核素应用可能会发生药品洒落事故，事故状态下会产生含放射性清洗废水，废水量很少，约为 50L。

④放射性固体废物：废药瓶、吸管、棉签、棉球、手套等放射性固体废物，年产生量约 150kg/a。

⑤放射性药品产生的微量放射性气溶胶。

⑥PET-CT 使用 CT 功能扫描时发出的 X 射线。

⑦医院拟使用的 ^{68}Ge 密封源产生的 γ 射线对人体产生外照射，而无放射性废水和废气排放。废放射源交由放射性废物贮存库收贮或由放射源生产单位回收。

⑧注射放射性药品后的受检者，由于体内分布有放射性核素，成为一个移动放射源，工作人员和公众可受到其体内释放的 γ 射线产生的照射。

(2) 事故工况

①非密封放射性物质 ^{18}F 和 ^{11}C 事故状态下，放射性药品不慎溅洒，对职业人员产生的 γ 外照射和 β 表面污染。职业人员应加强安全管理，熟悉操作规程，若有溅洒，应立即用酒精棉擦拭，用水清洗工作台，直到表面污染监测结果达标。事故处理过程中会产生少量含放射性的固废和清洗废水。

②由于管理不善，发生放射性物品（ ^{18}F 和 ^{11}C ）失窃，造成放射性污染事故，因此放射性药品存放间设置防盗门，且设置双人双锁管理，防止药品被盗。

③PET-CT 可能发生的事故状态包括：X 射线无法停束故障；工作人员或病人家属在防护门关闭前尚未撤离扫描室，PET-CT 运行可能产生误照射；安全装置发生故障状况下，人员误入正在运行的 PET-CT 扫描室。

④放射源 ^{68}Ge 丢失或被盜，屏蔽罐被打开，对公众产生外照射。

⑤外力撞击导致放射源 ^{68}Ge 跌落裸露时，使工作人员或公众受到外照射。

表 10 辐射安全与防护

一、项目安全设施

(1) 工作场所辐射屏蔽设计

本项目 PET-CT 中心的辐射工作场所的相关墙体、顶板、地板以及观察窗、防护门的设计均采取了辐射屏蔽。根据医院提供设计资料及预评价报告，本项目 PET-CT 中心各用房防护厚度情况见表 10-1，防护措施情况见表 10-2。

表 10-1 PET-CT 中心各用房防护厚度情况一览表

布局	PET-CT 中心位于医技楼二楼，包括储源室、分装质控室、注射给药室、废物室、给药后候诊室、PET-CT 扫描室、检查后休息室。 其他：控制室、医生问诊室、抢救室、注射前休息室、阅片室、设备间、更衣室。			
场所名称及功能	墙	顶板	底板	门、窗
储源室	南、东、北墙：18cm 实心砖墙；西墙：钢骨架挂 2mmPb 铅板	20cm 混凝土 +1mmPb 铅板	20cm 混凝土 +1mmPb 铅板	门：1mmPb
分装、质控室	东、西、北墙：钢骨架挂 2mmPb 铅板；南墙：18cm 实心砖墙	20cm 混凝土 +1mmPb 铅板	20cm 混凝土 +1mmPb 铅板	门：2mmPb
注射给药室	东、南、北墙：钢骨架挂 10mmPb 铅板；西墙：120cm 混凝土	20cm 混凝土 +10mmPb 铅板	20cm 混凝土 +10mmPb 铅板	门：10mmPb
废物室	北墙：钢骨架挂 10mmPb 铅板；南墙：18cm 实心砖墙；东墙：钢骨架挂 2mmPb 铅板 西墙：120cm 混凝土	20cm 混凝土 +1mmPb 铅板	20cm 混凝土 +1mmPb 铅板	门：10mmPb
PET-CT 扫描室（扫描检查）	东、南、西、北墙：钢骨架挂 10mmPb 铅板	20cm 混凝土 +2mmPb 铅板	20cm 混凝土 +2mmPb 铅板	10mmPb
1# ¹⁸ F 注射后休息室	东、南、西、北墙：钢骨架挂 10mmPb 铅板	20cm 混凝土 +10mmPb 铅板	20cm 混凝土 +10mmPb 铅板	门：10mmPb
2# ¹⁸ F 注射后休息室	东、南、西、北墙：钢骨架挂 10mmPb 铅板	20cm 混凝土 +10mmPb 铅板	20cm 混凝土 +10mmPb 铅板	门：10mmPb
3# ¹⁸ F 注射后休息室	南墙：18cm 实心砖墙 +6mmPb 铅板；西、北墙：钢骨架挂 10mmPb 铅板；东墙：120cm 混凝土	20cm 混凝土 +10mmPb 铅板	20cm 混凝土 +10mmPb 铅板	门：8mmPb
检查后 VIP 休息室（ ¹⁸ F 扫描后患者休息）	东、北墙：钢骨架挂 10mmPb 铅板；南、西墙：18cm 实心砖墙+5mmPb 铅板	20cm 混凝土 +8mmPb 铅板	20cm 混凝土 +8mmPb 铅板	门：1mmPb
检查后休息室	东、南、西、北墙：钢骨架挂 16mmPb 铅板	20cm 混凝土 +16mmPb 铅板	20cm 混凝土 +16mmPb 铅板	门：6mmPb
患者通道	侧墙 18cm 砖+4mmPb 防护涂料，其中与“注射前休息室”共用墙部分再加厚 4mmPb 防护涂料	20cm 混凝土	20cm 混凝土	6mmPb
患者出口楼梯	在 PET-CT 中心与内科大楼之间的连廊设置隔栏，防止其他人员进入监督区。			

表 10-2 PET-CT 中心各用房防护措施情况一览表

通风柜	分装质控室拟设置通风柜一个，厚 38mm 铅当量，观察窗铅玻璃 10mmPb，柜内设置排风系统，风速不小于 1.0m/s，且设置活性炭过滤器。
其他防护用品	拟配备 35mmPb 的给药注射窗 1 扇，50mmPb 铅罐 1 个，铅注射防护套 2 个、移动注射台 1 个、20 mmPb 铅废物桶 2 个等防护用品。 拟配备铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、儿童防护用品等个人防护用品。
标志及隔离措施	病人出入口、各功能用房设置电离辐射警告标志。 监督区和控制区将设置电离辐射警告标志和隔离措施。 PET-CT 机房门口设置电离辐射警告标志及工作指示灯。 休息室内设置视频监控系统和对讲装置。
废气处置措施	通风厨内废气由排放系统直通医技楼屋顶高出屋脊 1m 排放，通风厨风速不小于 1.0m/s，且设置活性炭过滤器。
废水处置措施	注射后休息室及检查后休息室均设置了病人专用卫生间，病人排泄物废水及含放射性废水采用废液衰变池进行衰变处理。医院拟建设 3 个专门用于 PET-CT 中心放射性废水的衰变池（有效容积均为 4m ³ ，共 12m ³ ）并联交替使用。PET-CT 中心产生的含放射性废水经足够时间衰变后经有资质的单位检测达标后，方可排放到医院污水处理站处理后排入城市污水管网。衰变池四周设栏杆隔离并张贴辐射警示标志。
固废处置措施	本项目运行时拟将放射性固体废物按半衰期长短和性状不同先分类收集存放在塑料袋内，塑料袋装满后，将袋装封号并贴上标签，注明放射性核素种类、封口时间等，将塑料袋放置在铅制放射性废物桶内置于废物间，经过十个半衰期以上衰变后，经有资质的单位检测合格后，交有资质单位处理。 产生的放射性废物暂存于废物室。废药盒存放在铅罐内储存在贮藏室中待厂家回收。
监测仪器	已配备 INSPECTOR METER 型辐射测量仪 1 台。拟新购置辐射剂量仪、个人报警仪、表面污染测量仪各 1 台用于 PET-CT 中心。
其他	操作人员佩带个人剂量计。禁止工作人员在控制区和监督区进食、饮水、吸烟，工作人员操作后在离开工作室前洗手。 制定相关的规章制度。

（2）辐射防护措施符合性分析

海南医学院附属医院 PET-CT 机房辐射防护措施合理性分析采用《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ 130-2013）和《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》（GBZ 165-2012）中对 CT 机房的防护设施的技术要求对照分析，医院 PET-CT 机房的辐射防护措施符合性分析见表 10-3。

医院非密封放射性物质工作场所辐射防护措施合理性分析采用《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ 120-2006）进行分析，辐射防护措施符合性分析见表 10-4。

表 10-3 医院 PET-CT 辐射防护措施符合性分析表

射线装置类型	标准防护要求	本项目方案	符合性
CT	CT 机房应有足够的使用空间,面积应不小于 30m ² , 单边长度不小于 4m。机房内不应堆放无关杂物。	本项目 PET-CT 机房尺寸为 9m×5m, 面积约为 43.62m ² 。机房内无无关杂物堆放。	符合
	CT 机房的墙壁应有足够的防护厚度, 机房外人员可能受到照射的年有效剂量小于 0.25mSv (相应的周有效剂量小于 5μSv), 距机房外表面 0.3m 处空气比释动能率<2.5μGy/h。	表 11-2 估算结果表明, 医院配置的 PET-CT 在正常扫描 (注射 ¹⁸ F) 状态下, 机房周边各监测点的 X-γ 剂量率均小于 2.5μSv/h 之间; 表 11-4 剂量估算表明, PET-CT 机房外人员可能受到照射的年有效剂量小于 0.25mSv。由于 ¹⁸ F 衰变产生的 γ 射线能量大于 CT 产生的 X 射线能量, 故机房防护满足 ¹⁸ F 扫描要求也一定能满足 CT 扫描的要求。	符合
	CT 机房外明显处设置电离辐射警告标志, 并安装醒目的工作状态指示灯。	PET-CT 机房门外拟设置电离辐射警告标志和工作指示灯。	符合
	CT 机房应保持良好的通风	PET-CT 机房拟设置通风设施。	符合
	CT 机房: 有用线束与非有用线束方向, 一般工作量, 铅当量 2mm; 有用线束与非有用线束方向, 较大工作量, 铅当量 2.5mm。	PET-CT 机房机房四周墙体均为钢骨架挂 10mmPb 铅板 (整体防护厚度达 10mmPb 当量); 顶棚和底板均为 20cm 混凝土 +2mmPb 防护涂料或铅板 (整体防护厚度达 4.5mmPb 当量); 铅玻璃观察窗铅当量为 10mm、铅防护门铅当量为 10mm。	符合
其他	配备适量的符合防护要求的各种辅助防护用品, 如铅衣、铅手套、铅围裙等	医院拟配备铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、儿童防护用品等防护用品。	符合

表 10-4 非密封放射性物质工作场所辐射防护措施符合性分析表

标准	标准防护要求	本项目方案	符合性
《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ 120-2006)	按表 1 划分的三类核医学工作场所室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表 4。	医院 PET-CT 中心的非密封放射性物质工作场所应按照《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006) 中工作场所的要求进行了设计、装修, 即 PET-CT 中心辐射工作区的地、墙面拟采取易清洁不易渗透的 PVC 材料, 地板和墙壁接缝采用无缝隙设计; 工作台表面采用易清洗的不锈钢材料。分装质控室配备通风柜。配备清洗及去污设备。	符合
	合成和操作放射性药物所用的通风橱, 工作中应有足够风速 (一般风速不小于 1m/s), 排气口应高于本建筑屋脊, 并酌情设有活性炭过滤或其他专用过滤装置, 排出空气浓度不应超过有关法规标准规定的限值。	医院 PET-CT 中心分装室的通风速率不小于 1m/s, 产生的废气通过管道楼屋顶高出屋脊 1m 排放, 且设置活性炭过滤装置。	符合

凡 I 类工作场所和开展放射性药物治疗的单位应设有放射性污水池，以存放放射性污水直至符合排放要求时方可排放。废原液和高污染的放射性废液应专门收集存放。	医院拟设置 3 个容积均为 4m ³ 的废液衰变池专门用于收集 PET-CT 中心放射性废水。放射性废液在衰变池中经过 10 个半衰期以上，经检测达标后，方可排入医院污水处理站处理，然后排入城市污水管网。	符合
临床核医学工作场所应备有收集放射性废物的容器，容器上应有放射性标志。放射性废物应按长半衰期和短半衰期分别收集，并给予适当屏蔽。固体废物如无人的针头、注射器和破碎的玻璃器皿等应贮于不泄漏、较牢固、并有核实屏蔽的容器内。放射性废物应及时按 GBZ 133 进行处理。	医院 PET-CT 中心非密封放射性物质工作场所设有铅废物衰变桶用于收集 ¹⁸ F 和 ¹¹ C 药物使用过程中产生的放射性固体废物，废物衰变桶表面设有电离辐射警告标志。	符合
临床核医学诊断机治疗用工作场所（包括通道）应注意合理安排与布局。其布局应有助于实施工作程序，如一端为放射性物质贮存室，依次为给药室、候诊室、检查室、治疗室等。并且避免无关人员通过。	由工作场所分区分析可知，医院 PET-CT 中心布局基本合理。	符合
临床核医学诊断用给药室与检查室分开。如必须在检查室给药，应具有相应的放射防护设备。	医院 PET-CT 中心给药室和检查室为单独用房。	符合
临床核医学诊断用候诊室应靠近给药室和检查室，宜有受检者专用厕所。	医院 PET-CT 中心注射后休息室和检查后休息室均设有患者专用卫生间。	符合

由表 10-3 及表 10-4 可知，医院 PET-CT 机房及非密封放射性物质工作场所按相关标准要求进行了设计，各工作场所的辐射防护措施符合相关规定要求。医院放射性同位素与射线装置工作场所应由有相应施工资质的单位按设计要求进行施工建设。

（3）工作场所设计布局及分区情况

本项目拟建的 PET-CT 中心位于医技楼二楼，原为放疗科辅助用房，现均已空置。该场所成近似“等角三角形”分布，层高 3.2m，净高 2.7m，总面积 507.88m²。建成后的 PET-CT 中心工作场所包括辐射工作区和非辐射工作区，其中辐射工作区包括储源室、分装室、注射给药室、废物室、注射后休息室、PET-CT 扫描室和辐射区通道等，具体平面布局见图 10-1。

①控制区与监督区划分

对于使用非密封放射性物质的核医学项目工作场所，应进行分区管理。将高辐射和可能发生高污染的区域划定为控制区，将控制区外较低辐射的区域划定为监督区，监督区的边界设置醒目的电离辐射警示标志，禁止辐射工作人员和受诊病人以外的其他无关人员进入监督区的范围。

本项目将储源室、分装室、注射给药室、废物室、注射后休息室、PET-CT 扫描室、扫描后休息室、卫生通过间和注射后患者通道划为控制区，控制区主要是涉及放射性核素操作的区域和注射放射性核素后的患者活动场所，控制区边界的出入口均设置明显的工作场

所性质标示牌和电离辐射警示标志，PET-CT 扫描室除设置电离辐射警示标志外还将设置工作状态指示灯。分装室外的卫生通过间（包括淋浴间、更衣室以及缓冲区）作为放射性核素操作人员离开辐射工作场所时必经的缓冲区，在该区域将配备放射性污染检测设备和去污设施，工作人员淋浴后需经检测合格后方可离开辐射工作场所。设备间、注射前休息室、阅片室、PET-CT 控制室、医院问诊室、抢救室、卫生间、未给药前通道均划为监督区。

该评价项目的辐射工作场所具体的分区管理见图 10-1。

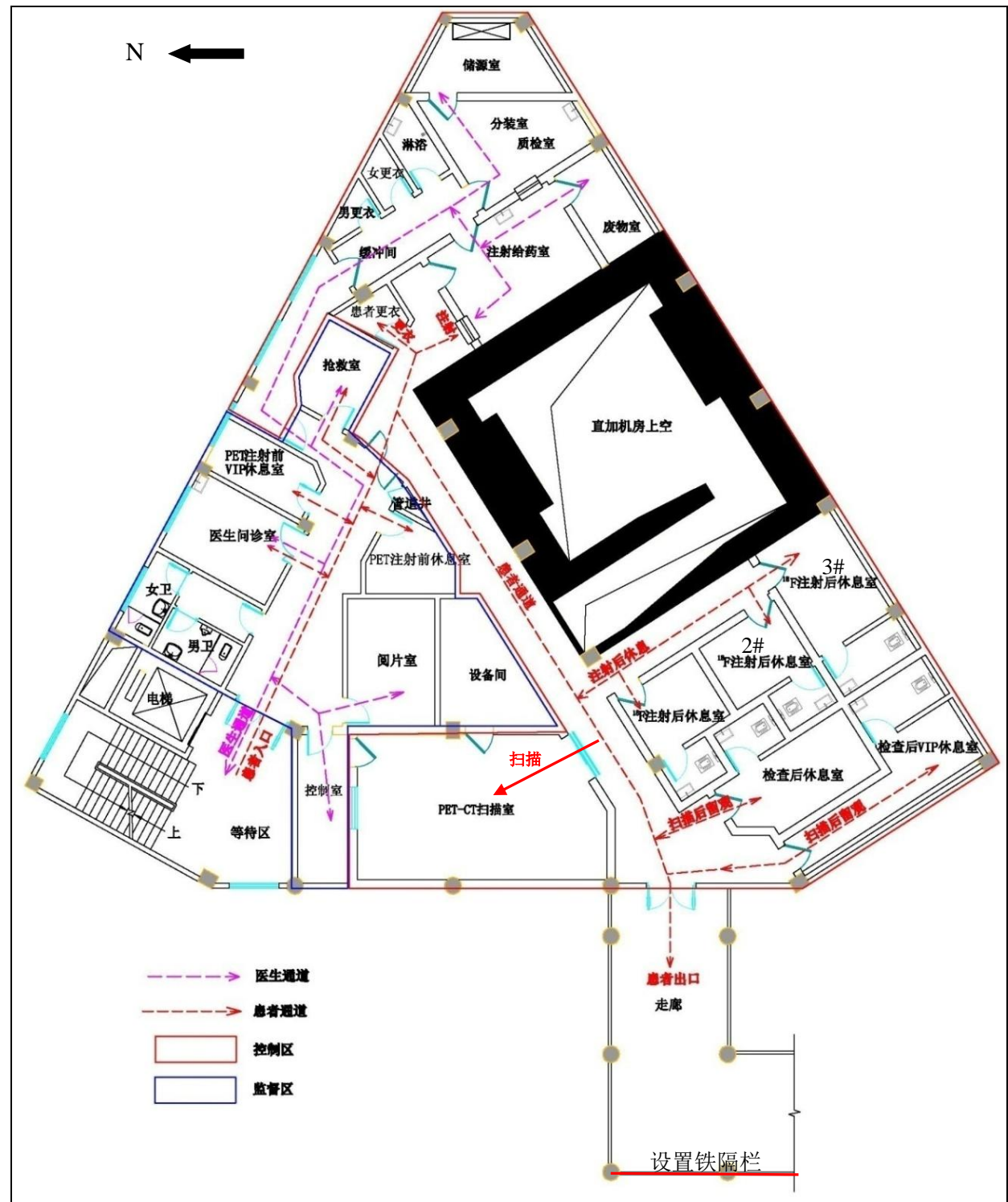


图 10-1 本项目 PET-CT 中心平面布置、分区及人员通道示意图

(4) 通道

本项目 PET-CT 中心工作场的医护人员、受检患者、放射性药品和废物均设计了独立分开的通道，这样的设计可避免交叉污染，具体路线图见图 10-1。

在非放射性区域，医护人员和受检者共用一个通道：受检者从西北角楼梯或电梯上二楼，暂时在等待区等候，根据医生安排，依次通过隔离门进入共用通道，然后进入注射前休息区等待；医护人员从楼梯或电梯上二楼，通过隔离门进入共用通道，然后根据需要分别进入相关房间。

在放射性区域，医护通道和受检者通道分别设置，并在储源室楼外设置传递运输装置，作为放射性药物和放射性废物运输通道。各通道的设置有利于避免或减少放射性物质的污染和对相关人员的辐射影响。

医护人员进出放射性区域通道：从专用通道进入缓冲间，更衣后进入分装室（质检室），从储源室取药进行分装，然后进入注射室为受检者注射。工作结束后沿原路线返回，在卫生通过间进行污染监测和清洗后返回非放射性区域。PET/CT 扫描医护人员由共用通道直接进入 PET/CT 扫描工作室。医护人员在全部工作结束后由西北角门口出隔离门，再由楼梯或电梯离开。

受检者进出放射性区域通道：受检者从注射药物前休息室通过专设的单向门（只进不出）进入患者通道，从该通道进入注射室接受注射，然后沿患者通道进入注射后休息室休息后，再进入 PET/CT 机房接受扫描，扫描后进入检查后休息室进行留观，如无异常情况，即从西侧单向门走出，直接从楼外的受检者楼梯下楼离开。该患者通道的南侧墙壁借用了加速器机房屏蔽墙，该加速器机房为单层建筑，其高度高于 PET/CT 工作场所所在的二层。

物流通道：在储源室北外楼体墙面设置专用传输装置，用于放射性药物和固体放射性废物的传输。放射性药物供应人员根据预定在约定时间将放射性药物储存在专用铅罐中并将铅罐放入储源室北面的专用传输装置内，通过机械传动，放射性药品由一楼进入二楼储源室并由医院专人接收并将放射性药品妥善放置在储源室内，医院物流通道设计有利于避免或减少放射性物质的污染和对相关人员的辐射影响，合理可行。

(5) 病人防护管理

接收核素显像诊断的病人在注射放射性药物后，本身是一个辐射源，对周围的环境及人员可能造成外照射影响。为做好受检病人的辐射防护工作，医院制定了《放射诊疗患者防护措施》、《体内放射性药品使用观察制度》、《高活度区防护隔离制度》、《放射性药品不良反应及报告制度》，并加强宣传教育，提高患者防护意识。同时医院拟为受检病人配备个人防护用品，并发放书面告知材料，指导受检病人离开医院后尽量避免接触家人和公众所需的时间。

辐射工作人员应尽可能控制每一间注射后候诊室内候诊患者的数量不超过 2 人。当 2 名患者同时候诊时，病人之间至少保持 1m 以上的距离。医院拟在病人之间配置铅屏风进行防护。

（6）布局合理性分析

本项目 PET-CT 中心辐射工作场所将高辐射和可能发生高污染的区域划定为控制区，将控制区外较低辐射的区域划定为监督区。医生办公场所与患者通道之间通过各功能用房屏蔽墙体进行了隔离，患者通道进出口设置了门禁系统以防止无关人员进入非密封放射性物质工作场所，通过上述措施防止了工作人员与患者的交叉流动。本项目 PET-CT 中心辐射工作场所布局基本合理。

（7）核医学工作场所的防护设计合理性分析

本项目 PET-CT 中心辐射工作区的地、墙面拟采取易清洁不易渗透的 PVC 材料，地板和墙壁接缝采用无缝隙设计；工作台表面采用易清洗的不锈钢材料。PET-CT 中心注射后和检查后的病人休息区域的专用卫生间内的排水管道与非污染区相对独立，专用卫生间内的废水经收集后排入专用废液衰变池，经衰变池衰变足够时间后，排入医院污水处理站处理后排入城市污水管网。分装室内拟设置通风柜，通风柜内废气由排放系统直通医技楼屋顶高出屋脊 1m 排放，满足《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120—2006）中 II 类核医学工作场所的防护设计要求。

本项目 PET-CT 中心各辐射工作场所的防护门上拟设置符合国家标准电离辐射警示标志，制定安全防护措施，辐射工作区拟安装监控摄像头，严格限制进出控制区，保证控制区的辐射安全。

综上所述，本项目 PET-CT 中心各工作场所采取的辐射防护与安全措施整体合理可行。

二、三废的治理

本项目非密封源和密封源使用过程中会产生放射性废水、放射性废气及放射性固体废物，相关产生及处理方案如下：

（1）放射性固体废物

本项目放射性固体废物主要有非密封放射性核素使用过程中产生的废弃的注射器、一次性手套、吸水纸、口罩、放射性污染的物品以及大约 2 年更换一次的校正设备用的 3 枚 ^{68}Ge 源。

这些放射性废物按核素种类、污染水平及产生时间进行分类收集，暂存于废物室的废物桶内，待其放射性比活度低于国家放射性固体废物豁免标准以后，按一般医疗废物处理。

废 ^{68}Ge 校准源更换后将置于铅罐中并暂存于废物室，最终由设备供应商回收或送环保部门的城市放射性废物库进行收储。

（2）放射性废液

本项目放射性废水主要来源于工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废液以及患者冲洗排便用水。该项目产生的液态放射性污染物主要含有放射性核素 ^{18}F 和 ^{11}C 等。

上述放射性废水处理主要是通过建造衰变池来进行存储，放射性水平降至豁免值以下进行排放，排放限值按照一次不超过 1ALI_{\min} ，一个月累计不超过 10ALI_{\min} ，加以严格控制。

本项目 PET-CT 中心注射后休息室（3 间）和检查后休息室（2 间）均设计了独立的病人专用厕所，对病人的排泄物实施统一收集和管理。同时医院在医技楼与内科楼之间连廊右侧地下（废水衰变池具体位置见图 1-2）拟设置 3 个地埋式有效容积均为 4m^3 的衰变池（共 12m^3 ）专门收集 PET-CT 中心产生发放射性废水。衰变池拟采用三个并联式排水设计，三个衰变池按序轮流收贮、存放、排放，经第一个衰变池收贮存满，再开启第二个衰变池收贮废水，当第二个衰变池收贮存满，再开启第三个衰变池收贮废水，当第一个衰变池收贮废水临近存满时，则可将第一个衰变池内的废水进行排放，废水可直接排放入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。每个衰变池拟设置高水位报警装置，利用阀闸控制进水流向。放射性废水收集系统设计示意图见 10-2。

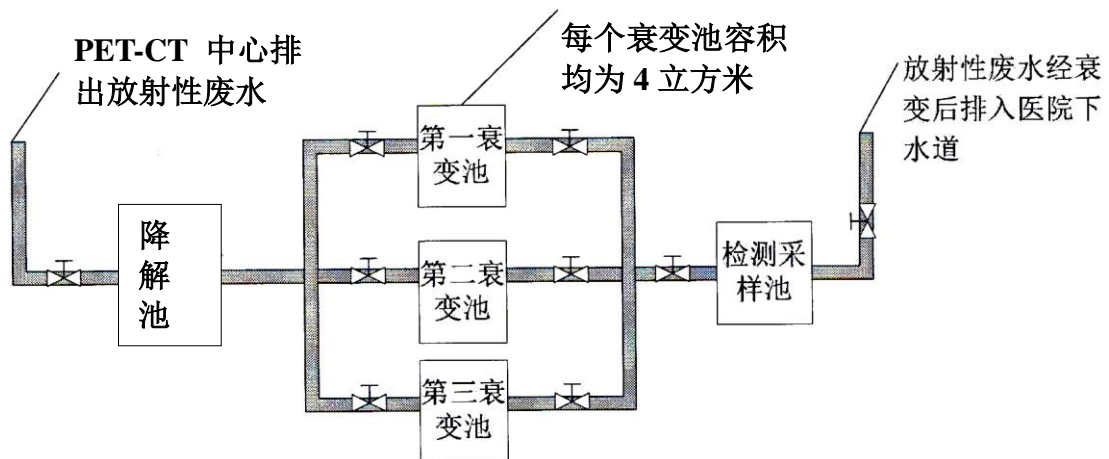


图 10-2 本项目放射性废水收集系统设计示意图

单个衰变池核素最大排入量计算如下：

使用 ^{18}F 和 ^{11}C 核素的患者需要等候、扫描等操作，在PET-CT中心停留时间较长且需要上厕所，保守按核素使用量的20%排入衰变池考虑。根据医院提供资料，医院拟建的PET-CT使用 ^{18}F 和 ^{11}C 显像检查病人产生放射性排泄物的日平均人数为25人/天（年工作数按250天计），假设受检病人每次诊断期间使用厕所的频率平均为2次，每次使用产生5L废水，因此估计每天产生的废水总量为250L（ 0.25m^3 ）。根据衰变池的容积可计算出每装满一个小分池需要16天的时间，废水装满第一衰变池，则关闭该衰变池入口水闸，打开第二衰变池的入口水闸，废水排入第二衰变池，以此类推排入第三衰变池，实现3个衰变池的独立交替使用。第3个衰变池满时，第一衰变池已衰变32天。放射性废水中含有的放射性核素为 ^{18}F 和 ^{11}C ， ^{18}F 的半衰期相对较长，按 ^{18}F 半衰期（1.83h）进行计算，32天的时间即已经过419.7个半衰期的衰变，因此该方案能够满足核医学科项目排放的放射性废水在废水衰变池停留足够时间后达标排放的要求。衰变池排出的废水排入医院污水处理站处理，然后排入城市污水管网。

由GB18871-2002附录B的B1.3.4及B.1.3.5可知，相应的单位摄入量的待积有效剂量的值得到放射性核素j的年摄入量的限值 $I_{j,L}$ 的计算公式如下：

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

式中：

DL——相应的有效剂量的年剂量限值；GB18871-2002 附录 B 中职业照射 工作人员连续 5 年的年平均有效剂量为 20mSv，本次评价取管理限值 5mSv/a；

e_j ——标准表 B3 和 B6、B7 中给出的放射性核素的 j 的单位摄入量所致的待积有效剂量的相应值，具体见表 10-5。

表 10-5 放射性废液中各核素的 ALI_{min} 值

序号	核素名称	工作人员吸入和食入单位摄入量所致的待积有效剂量 e_j (g)		年摄入量限值 I (Bq)	ALI _{min} (Bq)
1	¹⁸ F	吸入	9.30×10^{-11}	5.38×10^7	5.38×10^7
		食入	4.90×10^{-11}	1.02×10^8	
2	¹¹ C	吸入	/	/	2.08×10^8
		食入	2.4×10^{-11}	2.08×10^8	

本项目废水排出时¹⁸F和¹¹C的活度情况见表10-6。

表 10-6 拟建放射性废水排放时第一个衰变池中各核素活度估算一览表

核素名称	计划日核素使用最大量 (Bq)	单日衰变池核素最大排入量 (Bq)	半衰期	排出时至少衰减倍数	衰变后排放总活度 (Bq)	单一核素 ALI _{min} (Bq)	评价
¹⁸ F	7.4×10^9	1.48×10^9	109.8min	大于 2^{50}	<0.0001	5.38×10^7	废水中相关核素衰变后的总活度均低于相应核素 ALI _{min} ，达到排放要求。
¹¹ C	2.78×10^9	5.56×10^8	20.4min	大于 2^{50}	<0.0001	2.08×10^8	

由上表可知，放射性废水经在衰变池贮存衰变后，相关核素衰变后的总活度均低于相应核素 ALI_{min}，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“每月排放的总活度不超过 10ALI_{min}；每一次的排放的活度不超过 1 ALI_{min}，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。”

（3）放射性废气

本项目放射性药物的分装会产生气载放射性废物。医院拟在 PET-CT 中心辐射工作场所设置两组独立通风系统，通风系统及排风口位置见图 10-3。各通风系统气流方向如下：

①分装注射区域：

患者更衣室→缓冲间→注射给药室→分装室、废物室→储源室→管道至楼顶

②扫描、注射及检查后休息区域：

PET/CT 扫描机房 → 注射后休息室 → 检查后休息室 → 管道至楼顶

表 11 环境影响分析

一、建设阶段对环境的影响

项目建设期不涉及放射性同位素与射线装置的使用，故建设过程中对环境的影响很小。但在安装调试的过程当中，一定要严格按照相关使用说明、相关管理制度执行。

二、运行阶段对环境的影响

1、工作场所的辐射屏蔽分析

本项目 PET-CT 中心选址于医技楼二楼，楼下为放射物理治疗中心，楼上为 CT 扫描室和核磁共振成像室。拟建辐射工作场所的辐射防护设计方案见表 10-1。

对于工作场所的射线屏蔽，核素的操作区（即分装室、注射室、废物室）、注射后休息室和患者通道主要考虑各种放射性药物产生的 γ 射线的影响；对于 PET-CT 扫描室的射线屏蔽，则需考虑来自受检病人体内放射性注射液所产生的 γ 射线，以及 PET-CT 机本身产生的 X 射线两部分。

1.1 理论计算公式

辐射工作人员在放射性核素操作区进行相关放射性核素操作，这个过程主要是放射性核素发射的 γ 射线引起的辐射照射。当病人注射了放射性核素之后，病人又成为一个活动的辐射体，其所在的工作场所则要考虑来自病人身体的射线辐射。进行 PET-CT 诊断前病人需先接受放射性核素注射，病人一般在静脉注射放射性核素之后休息约 30-60 分钟，再到扫描室进行放射扫描诊断。

（1） γ 点源的比释动能率

$$D = \frac{A \cdot \Gamma}{K \cdot r^2} \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

式中：D—参考点上的剂量当量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

A— γ 点源的活度，Bq；

r—空气比释动能率常数， $\text{Gy m}^2/\text{Bq s}$ ；

由《辐射安全手册》（潘自强 主编，2011）可知相应核素的空气比释动能率常数为： ^{18}F 为 $3.97 \times 10^{-17} \text{Gy m}^2/\text{Bq s}$ ；

r—考查点离点源的距离(屏蔽体外 30cm)，m；

K—减弱倍数；

$K=2^n$ 或 $K=10^n$ ；

n—半值层厚度（HVL）数或十值层厚度（TVL）数；

公式①来自《辐射防护导论》。

(2) 附加年有效剂量估算

$$H_y = 0.7 \times D' \times T \times 10^{-3} (\text{mSv}) \quad \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

式中： H_y ——附加年有效剂量，mSv；

D' ——机房外考查点剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

T ——年工作时间，h。

0.7——有效剂量当量率与空气吸收剂量率比值。

1.2 PET-CT 用放射性药物 ^{18}F 和 ^{11}C 的辐射影响分析

(1) 参数取值

①放射性药物活度 A：根据本项目 PET-CT 中心放射性药品的使用情况， ^{18}F 注射量最大为 370MBq/人， ^{11}C 注射量最大为 555MBq/人，因 ^{18}F 、 ^{11}C 两种核素均为发射正电子核素，其产生的 γ 射线的能量相等，均为 0.511MeV， ^{18}F 的半衰期 109.8min，远长于 ^{11}C 的半衰期 20.4min，且 ^{18}F 受检人数远大于 ^{11}C 的受检人数。因此，本项目以 ^{18}F 核素为代表，对屏蔽设计进行核算。储源室、分装室的放射源活度均按日最大使用活度（10180MBq）计算；对于注射给药室、注射后休息室均按 1 名受检者最大注射量计算（370MBq）；受检者注射药物后需等待 30-60min 后进行扫描，故 PET-CT 扫描室按衰变后的活度进行屏蔽计算

（279MBq）；受检者扫描后在检查后休息室留观 15-30min 后方可离开，其放射源活度按注射后等待（45min）以及扫描（20min）衰变后的活度进行屏蔽计算（246MBq），检查后休息室内最多可容纳 5 名受检者留观，检查后 VIP 休息室仅容纳 1 人，故其放射源活度分别为 1395MBq 和 246MBq。

②TVL 值：

本项目使用的 ^{18}F 和 ^{11}C 两种核素，其产生的 γ 射线的能量相等，均为 0.511MeV。参考《辐射安全手册》（潘自强 主编，2011）提供的资料，本项目 TVL 取值见表 11-1。

表 11-1 本项目核素的 TVL 值取值表

屏蔽材料 \ 核素名称	^{18}F	^{11}C
普通混凝土（密度 2.5g/cm^3 ）	16.7cm	16.7cm
Pb（密度 11.3g/cm^3 ）	16.5mm	16.5mm
砖（密度 1.6g/cm^3 ）	26.3cm	26.3cm

计算公式见公式①，计算时，服药病人按点源考虑，位于机房中央位置，注射工作人员在 35mmPb 的药物注射窗后操作，摆位时穿戴 0.5mmPb 的铅衣，计算结果见表 11-2。

表 11-2 本项目 PET-CT 中心各非密封源工作场所空气比释动能率估算结果

核素名称及位置		源活度 A (Bq)	空气比释动能率常数 r (Gy m ² /Bq s)	距离 r (m)	十值层厚度 (TVL) 数	屏蔽物质及厚度	减弱倍数 k	屏蔽后的剂量 当量率 (μGy/h)
储源室	东墙外 30cm 处	1.018×10 ¹⁰	3.97×10 ⁻¹⁷	2.48	砖: 26.3cm Pb: 1.65cm	18cm 实心砖墙+50mmPb 铅罐	5184.6	0.05
	南墙外 30cm 处			1.98	Pb: 1.65cm	钢骨架挂 2mmPb 铅板 +50mmPb 铅罐	17475.3	0.02
	西墙外 30cm 处			2.4	Pb: 1.65cm		17475.3	0.01
	顶棚			1.75	混凝土: 16.7cm Pb: 1.65cm	20cm 混凝土+1mmPb 铅板 +50mmPb 铅罐	19431.8	0.02
	底板			2.0			19431.8	0.02
分装室	南墙外 30cm 处	1.018×10 ¹⁰	3.97×10 ⁻¹⁷	2.3	砖: 26.3cm Pb: 1.65cm	18cm 实心砖墙+38mmPb 铅当量通风柜	971.5	0.28
	顶棚			2.25	混凝土: 16.7cm Pb: 1.65cm	20cm 混凝土+1mmPb 铅板 +38mmPb 铅当量通风柜	3641.2	0.08
	底板			2.0			3641.2	0.18
	操作位			0.3	Pb: 1.65cm	38mm 铅当量通风柜 +0.5mmPb	215.4	75.04
注射给药室	东墙外 30cm 处	5.55×10 ⁸	3.97×10 ⁻¹⁷	2.5	Pb: 1.65cm	钢骨架挂 10mmPb 铅板 +35mmPb 铅当量注射窗	533.67	0.024
	顶棚			1.75	混凝土: 16.7cm Pb: 1.65cm	220cm 混凝土+1mmPb 铅板 +35mmPb 铅当量注射窗	2395.6	0.007
	底板			2.0			2395.6	0.01
	操作位			0.3	Pb: 1.65cm	35mmPb 铅当量注射窗 +0.5mmPb	141.7	6.22
1#注射后休息室	顶棚	5.55×10 ⁸	3.97×10 ⁻¹⁷	1.75	混凝土: 16.7cm Pb: 1.65cm	20cm 混凝土+10mmPb 铅板	63.63	0.41
	底板			2.0			63.63	0.31
2#注射后休息室	顶棚	5.55×10 ⁸	3.97×10 ⁻¹⁷	1.75	混凝土: 16.7cm Pb: 1.65cm	20cm 混凝土+10mmPb 铅板	63.63	0.41
	底板			2.0			63.63	0.31
3#注射后休息室	南墙外 30cm 处	5.55×10 ⁸	3.97×10 ⁻¹⁷	2.01	砖: 26.3cm Pb: 1.65cm	18cm 实心砖墙+6mmPb 铅板	11.17	1.76
	南墙外 5m 处 (龙昆上村 村民自建房)			7			11.17	0.14
	顶棚			1.75	混凝土: 16.7cm Pb: 1.65cm	20cm 混凝土+10mmPb 铅板	63.63	0.41
	底板			2.0			63.63	0.31

PET-C T 机房	东墙外 30cm 处	2.79×10^8	3.97×10^{-17}	3.36	Pb: 1.65cm	钢骨架挂 10mmPb 铅板	4.037	0.87
	西墙外 30cm 处			3.36	Pb: 1.65cm		4.037	0.87
	北墙外 30cm 处			5.31	Pb: 1.65cm		4.037	0.35
	顶棚			1.75	混凝土: 16.7cm Pb: 1.65cm	20cm 混凝土+2mmPb 板	256.9	0.05
	底板			2.0	混凝土: 16.7cm Pb: 1.65cm		256.9	0.04
	控制室防护门外 30cm 处			5.31	Pb: 1.65cm	10mmPb	4.037	0.35
	观察窗外 30cm 处			5.31	Pb: 1.65cm	10mmPb	4.037	0.35
	摆位处			1	Pb: 1.65cm	0.5mmPb	1.072	37.19
	西墙外 10m 处内科大楼			12.06	Pb: 1.65cm	钢骨架挂 10mmPb 铅板	4.037	0.07
检查后 休息室	顶棚	1.395×10^9	3.97×10^{-17}	1.75	混凝土: 16.7cm Pb: 1.65cm	20cm 混凝土+16mmPb 铅板	147	0.44
	底板			2	混凝土: 16.7cm Pb: 1.65cm		147	0.34
检查后 VIP 休息室	西墙外 30cm 处	2.46×10^8	3.97×10^{-17}	1.74	砖: 26.3cm Pb: 1.65cm	18cm 实心砖墙+5mmPb 铅板	9.715	1.20
	西墙外 3m 处 (ECT 楼)			4.44	砖: 26.3cm Pb: 1.65cm		9.715	0.18
	南墙外 30cm 处			1.95	砖: 26.3cm Pb: 1.65cm		9.715	0.95
	南墙外 5m 处 (龙昆上村 村民自建房)			6.65	砖: 26.3cm Pb: 1.65cm		9.715	0.08
	顶棚			1.75	混凝土: 16.7cm Pb: 1.65cm	20cm 混凝土+8mmPb 铅板	48.13	0.24
	底板			2	混凝土: 16.7cm Pb: 1.65cm		48.13	0.18
	西墙外 30cm 出口处			5.15	砖: 26.3cm Pb: 1.65cm	18cm 实心砖墙+4mmPb 板	20.91	0.06
	出口处防护门外 30cm 处			6.42	Pb: 1.65cm	6mmPb	2.31	0.37

由上表估算结果可知，除 PET-CT 机房东墙和西墙外 30cm 处、3#注射后休息室南墙外 30cm 处、检查后 VIP 休息室西墙和南墙外 30cm 处的辐射剂量率比本底偏高以外，医院拟建的 PET-CT 中心辐射工作场所四周墙体及防护门的辐射剂量率均与海南地区辐射环境本底相当。根据该工作场所设计图及现场调查可知，PET-CT 机房东墙外为阅片室和设备间，西墙外临空；3#注射后休息室南墙外 30cm 处、检查后 VIP 休息室西墙 30cm 处和南墙外 30cm 处均临空，公众人员均无法到达。

本项目最近敏感目标南侧 5m 处龙昆上村村民自建房处的辐射剂量率值为 $0.14\mu\text{Sv/h}$ ，西侧最近的 ECT 楼的辐射剂量率值为 $0.18\mu\text{Sv/h}$ ，西北侧最近的内科大楼的辐射剂量率值为 $0.07\mu\text{Sv/h}$ ，均与当地辐射环境本底水平相当，故本项目运行后对周边环境辐射影响很小。

2.2 有效剂量

2.2.1 现有核医学科放射工作人员个人剂量及其评价

医院原核医学科（ECT 楼）所有辐射工作人员均佩戴个人剂量计上岗，并每季度送海南省疾病预防控制中心进行监测，建立了完善的个人剂量档案。医院现有核医学科放射工作人员近期连续四个季度个人累积剂量监测结果见表 11-3。具体检测报告见附件 7。

表 11-3 医院核医学科放射工作人员连续 4 季度个人累积剂量监测结果表

时间 姓名	2014 年 12~2015 年 2 月	2015 年 3~6 月	2015 年 7~9 月	2015 年 9~10 月	2015 年 10~12 月	2015 年 12~2016 年 1 月	合计 (mSv/a)
潘卫民	0.072	0.368	0.001	0.004	0.010	0.003	0.458
王身坚	0.094	0.322	0.011	0.028	0.001	0.027	0.483
颜卫文	0.131	0.375	0.084	0.009	0.001	0.110	0.71
陈 勇	0.0920	0.013	/	0.021	0.002	0.035	0.163
谢 权	0.122	0.375	0.086	0.114	0.001	0.080	0.778
周 影	0.080	0.220	0.305	0.006	0.001	0.033	0.645
王超群	0.088	0.255	/	/	/	/	0.343
孙 雯	0.099	0.045	0.001	0.013	0.001	0.042	0.201
严娟娟	0.072	0.031	0.001	0.006	0.001	0.032	0.143
黄 莹	0.083	0.266	0.064	0.001	0.001	/	0.415
陈鸿颜	0.101	0.245	0.066	0.050	0.004	0.048	0.514
吴龙妙	0.214	0.645	0.156	0.222	0.068	0.174	1.479
李 丹	0.119	0.266	0.437	0.035	0.027	/	0.884
邱秀娜	0.175	0.206	0.462	0.105	0.028	/	0.976
王业花	0.120	0.241	0.016	0.014	0.002	0.015	0.408
肖 欢	0.135	0.754	0.019	0.001	/	0.050	0.959

注：①上表中“/”为当时未从事放射性工作。

②上表中姓名加粗的辐射工作人员现为 ECT 楼原有核医学科辐射工作人员，待 PET-CT

中心投入运行后，将调入 PET-CT 中心，不再担任原有核医学科辐射工作人员。

由上表可知：2014 年 12 月份至 2016 年 1 月份连续 4 个季度医院原有核医学科（ECT 楼）所有辐射工作人员的累积剂量均在 0.143~1.479mSv/a 范围内，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）的要求，低于管理限值 5mSv，亦可表明医院原有核医学科对工作人员采取的辐射防护与安全管理措施合理有效。

2.2.2 本项目 PET-CT 中心放射工作人员个人剂量及其评价

由医院提供资料可知，本次拟建 PET-CT 中心预计年病人数及工作人员接触放射性药品的时间如下：

^{18}F 显像检查病人数为 5000 人/年， ^{11}C 显像检查病人数为 1250 人/年。医生分装时间约 1min/人，注射时间约 30s/人，摆位时间约 1min/人，病人扫描时间约 10min/人。本项目拟配备医护人员 8 名（其中包括 2 名护理人员，2 名技师），医院核医学科现有 16 名放射工作人员，其中核医学医师 7 人，影像专业 3 人，技师 2 人，护理 4 人。本项目正式运行后，主要由该院现有核医学科和其他科室医务人员中抽调或招聘，其中计划 4 人进行核素操作。原有核医学科辐射工作人员调入 PET-CT 中心后不再担任原有核医学科辐射工作人员。故本次剂量估算不叠加工作人员在原有核医学科进行核素操作所接受的照射剂量。

根据公式②计算 PET-CT 中心辐射工作人员和公众的最大年有效剂量，估算结果见表 11-4。

表 11-4 PET-CT 中心辐射工作人员及公众成员的年有效剂量估算结果表

核素名称	成员	操作类型	附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
$^{18}\text{F}+^{11}\text{C}$	工作人员	分装医生	75.04	6250 人/年 \times 30s/人=52.08	2.74
		注射护士	6.22	6250 人/年 \times 30s/人=52.08	0.23
		摆位技师	37.19	6250 人/年 \times 1min/人=104.17	2.71
		观察窗扫描	0.35	6250 人/年 \times 10min/人=1041.7	0.26
本项目 PET-CT 中心拟设置分装医生 2 人，注射护士 2 人，摆位技师 2 人，扫描人员 2 人，则每个分装、注射护士、摆位技师、扫描人员年有效剂量分别为 1.37mSv、0.12mSv、1.36mSv、0.13mSv。					
$^{18}\text{F}+^{11}\text{C}$	公众人员	注射后休息室楼上（接待室、特检室）	0.41	7h/d \times 250d/a/4=437.5	0.13
		注射后休息室楼下（放疗控制室）	0.31	7h/d \times 250d/a/4=437.5	0.09
		检查后休息室楼上（CT 检查室）	0.44	7h/d \times 250d/a/4=437.5	0.13
$^{18}\text{F}+^{11}\text{C}$	公众人员	检查后休息室楼下（模拟定位机房）	0.34	7h/d \times 250d/a/4=437.5	0.10
		检查后 VIP 休息室楼上（CT 控制室）	0.24	7h/d \times 250d/a/4=437.5	0.07

	检查后 VIP 休息室楼下（模拟定位机机房）	0.18	7h/d×250d/a/4=437.5	0.06
	出口处防护门外 30cm 处	0.37	7h/d×250d/a/4=437.5	0.11
	PET-CT 中心西墙外 3m 处（最近的 ECT 楼）	0.18	7h/d×250d/a/4=437.5	0.039
	PET-CT 中心南墙外 5m 处（龙昆上村村民自建房）	0.14	7h/d×250d/a/4=437.5	0.043

由上表可知，本项目运行后工作人员职业照射的最大年有效剂量值为1.37mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于管理限值5mSv。对医院内公众照射的最大年有效剂量值为0.13mSv/a，对医院外最近的龙昆上村村民自建房（距3#注射后休息室南墙5m处的）公众照射的最大年有效剂量值为0.043mSv/a，均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也远低于管理限值0.25mSv/a。由于 γ 射线的强弱与距离的平方成反比，通过类比推算可知本项目评价范围内所有公众的年有效剂量均能满足相关限值要求。

3、密封源 ^{68}Ge 的辐射影响分析

PET-CT 装置需要定期使用 ^{68}Ge 放射源对机器进行灵敏度校准和均匀度校准，频率为每半年一至二次，每次校准持续时间为 8 小时，操作方式为简单操作，操作人员安装好校准源（大概需 20 分钟）在机房外等候，在正常情况下，校准过程对操作人员的影响相对于 PET-CT 诊断过程中的注射药液、摆位等操作甚微。 ^{68}Ge 放射源每 2 年更换一次。

4、放射性废物分析

本次评价项目可能产生的放射性废物主要来自 PET-CT 中心辐射工作场所，该项目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）固体废物

本项目放射性固体废物主要有核素使用过程中产生的废弃的注射器、一次性手套、吸水纸、口罩、放射性污染的物品以及 2 年更换 1 次的校正设备用的 3 枚 ^{68}Ge 源。

核素使用过程中产生的废弃的注射器、一次性手套、吸水纸、口罩、放射性污染的物品应按核素种类、污染水平及产生时间进行分类收集，分别暂存于废物室的铅防护废物桶，铅防护废物桶表面拟贴电离辐射警示标志和文字提醒。铅防护废物桶内放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏。待其放射性比活度低于国家放射性固体废物豁免标准以后，按一般医疗废物处理。对于注射器和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他包装材料中，然后再装入专用塑料袋内。废物袋、废物桶及其他存放废物的容器必须安全可靠，并应在显著位置标有废物类型、核素种类、比活度水平和存放日期等说明。 ^{18}F 和 ^{11}C 使用过程中将产生废药瓶、吸管、棉签、棉球、手套、废注射器等放射

性固体废物，年产生量约 150kg/a。医院拟配备 2 个铅防护废物桶。

本项目用于校正设备用 ^{68}Ge 源更换后将置于铅罐中并暂存于废物室，同时医院将与设备供应商签订回收协议；如不能回收，则送环保部门的城市放射性废物库进行收储。

（2）放射性废液

本项目的放射性废水的主要来源是工作人员操作过程中手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废液以及患者、工作人员冲洗排便用水。

本项目拟使用的 ^{18}F 和 ^{11}C 核素的患者需要等候、扫描等操作，在 PET-CT 中心停留时间较长且需上厕所，此部分药物产生的废液主要为病人产生的排泄物，医院注射后休息室和检查后休息室均设立了独立的病人专用厕所，对病人的排泄物实施统一收集和管理。同时医院在医技楼与内科楼之间连廊右侧地下（废水衰变池具体位置见图 1-2）拟设置 3 个专门收集 PET-CT 中心放射性废水的埋地式有效容积均为 4m^3 的衰变池（共 12m^3 ），衰变池拟采用三个并联式排水设计。三个衰变池按序轮流收贮、存放、排放，经第一个衰变池收贮存满，再开启第二个衰变池收贮废水，当第二个衰变池收贮存满，再开启第三个衰变池收贮废水，当第一个衰变池收贮废水临近存满时，则可将第一个衰变池内的废水进行排放，废水可直接排放入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。每个衰变池拟设置高水位报警装置，利用阀闸控制进水流向。

根据医院提供资料，医院拟建的 PET-CT 使用 ^{18}F 和 ^{11}C 显像检查病人产生放射性排泄物的日平均人数为 25 人/天（年工作数按 250 天计），假设受检病人每次诊断期间使用厕所的频率平均为 2 次，每次使用产生 5L 废水，因此估计每天产生的废水总量为 250L（ 0.25m^3 ）。根据衰变池的容积可计算出每装满一个小分池需要 16 天的时间，废水装满第一衰变池，则关闭该衰变池入口水闸，打开第二衰变池的入口水闸，废水排入第二衰变池，以此类推排入第三衰变池，实现 3 个衰变池的独立交替使用。第 3 个衰变池满时，第一衰变池已衰变 32 天。放射性废水中含有的放射性核素为 ^{18}F 和 ^{11}C ， ^{18}F 的半衰期相对较长，按 ^{18}F 半衰期（1.83h）进行计算，32 天的时间即已经过 419.7 个半衰期的衰变，因此设计方案能够满足核医学科项目排放的放射性废水在废水衰变池停留足够时间后达标排放的要求。衰变池排出的废水排入医院污水处理站处理，然后排入城市污水管网。

本项目埋地式放射性废液衰变池所在区域拟设置围栏，并设置辐射警示标志，防止无关人员靠近。

由于本项目是利用医院原有用房结构进行扩建 PET-CT 中心，场地及布局受限，衰变池只能设置在医技楼与内科大楼之间连廊右侧地下，采取上述并联式排水设计等辐射防护措施

后，从管理角度本项目放射性废液衰变池设计合理可行。

（3）放射性废气

放射性药物的分装会产生气载放射性废物。工作人员在通风柜分装、稀释液态放射性药品，操作时间较短，在正常情况下，通风柜排出气体的放射性活度很小。

本项目拟在分装注射区域和扫描、注射及检查后休息区域拟设置两套独立通风系统，气流的组织方向由清洁区到低活性区，再到高活性区，最后经过滤系统排出室外，排风口拟设置在医技楼楼顶，高出楼顶1m 左右，并设有活性炭过滤或其他专用过滤装置，通风柜中通风风速不小于1.0m/s，符合《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）要求，即“合成和操作放射性废物所用的通风橱，工作中应有足够风速（一般不小于1m/s），排气口应高于本建筑屋脊，并酌情设有活性炭过滤或其他专用过滤装置，排出空气浓度不应超过有关法规标准规定的限值。”

综上所述本项目含放射性废气对周边环境的影响较小。

4、事故期间的风险分析及应急措施

PET-CT 放射诊断项目可能发生的辐射事故主要包括以下几种情况：

- ①放射性液体洒漏，使工作环境受到污染，工作人员受到外照射；
- ②操作人员身体受放射性物质表面沾污，可能发生的外照射；
- ③保管不善，放射性物品被盗，流失到社会，对局部环境产生污染，并可能使部分公众受到照射。

④对注射了放射性药物后受诊者的活动管理不善，对周围的人群造成外照射影响，其可能排放的排泄物对环境造成放射性污染。

本项目发生事故的风险主要是管理问题，主要的预防措施严格各项管理制度，定期检查各项辐射防护措施，严格遵守显像诊断项目的操作规程。辐射事故应急措施主要包括以下几个方面：

（1）放射性污染控制

当核医学项目发生放射性污染时，应当及时采取得当的应急措施，使放射性污染得到及时有效地控制。具体的处理方法如下。

- ① 确认引起放射性污染事件的发生及当事人。
- 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，并采取下列相应的放射性污染处理方法进行去污处理：

a.手、脚等人体部位的污染：在实验操作中不能直接用手接触放射性物物品，手（皮肤）等一旦被放射性物质污染，应尽快清除，清洗液可用肥皂、EDTA 或 1%的柠檬酸反复清洗。

b.衣、裤、工作服装的去污：可根据污染的性质、程度进行放置或清洁。清洗剂可用 1% 的盐酸。

c.仪器和器械的去污：先用水反复冲洗，如不能除去可将污染小部件浸于 3% 盐酸或 1% 的柠檬酸一小时后用水冲洗，然后再浸入重铬酸钾溶液中 15 分钟，最后用清水清洗。

d.工作室表面去污：如遇到少量放射性液体溅在工作台面等地方，应立即用吸水材料将其吸干，再用湿布、洗涤剂由外向里反复擦洗，直到污染降低至规定控制水平。

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、密封源偷盗、丢失事件的处理

① 确认放射性核素、密封源被偷盗、丢失事件的发生。

② 查证放射性核素、密封源的核素名称、数量、活度。

③ 及时向环保、卫生部门报告，积极配合公安部门的调查。

④ 写出事件处理结果报告，查找事件发生的原因及可能的环节，评估事件影响。

（3）应急方案的启动

① 一旦发生辐射事故，即时启动《核医学辐射事故处理应急预案》。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相应救助措施。

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

③ 各应急救助物质应准备充分、调配及时。

④ 发生事故后应在 2 小时内报告环保、卫生行政和公安部门。

表 12 辐射安全管理

<p>一、辐射安全与环境保护管理机构的设置</p> <p>为保证项目建设期和运营期的辐射防护措施落实情况，医院成立了以郝新宝为组长，吴国平、高炳玉、林书安、陈赛明、符传胜为副组长，施玉森、王顺、张大水、潘为民、金桂云、李天发、郑立平、郑根建、孟志斌、徐宇杰、伍保忠、颜卫民、王如亮等为组员的海南医学院附属医院放射防护领导小组，主要职责如下：</p> <ul style="list-style-type: none">（1）在医院应急领导小组的领导下，负责科室突发核与辐射事件的应急处理工作；（2）制定和修订《核医学科核与辐射事件应急处理预案》；（3）组织、协调科室突发核与辐射事件的应急工作，决定启动和实施本预案；（4）负责组织核与辐射事件的应急处置演练；（5）定期组织对放射诊疗场所、设备和人员放射防护情况进行自查和监测，发现事故隐患及时上报医院有关部门并落实整改措施。
<p>二、辐射安全管理规章制度</p> <p>医院根据国家相关法律法规，并结合项目内容情况，制定了《放射安全防护管理制度》、《放射工作人员健康检查制度》、《个人剂量计监测制度》、《放射性药品登记、使用、核对、保管及注销制度》、《放射性药品配置、质控、记录制度》、《放射防护及废物处理制度》、《放射性药品污染处理制度》、《体内放射性药品使用观察制度》、《放射性药品不良反应及报告制度》、《高活度区防护隔离制度》、《核医学科个人防护措施》、《安全管理措施》、《放射诊疗患者防护措施》、《核医学科仪器设备的使用、管理措施》、《放射防护检测制度》、《保证影像诊断质量的相关措施》、档案保管制度》等制度，并得到了有效的落实，有利的保障了医院放射性同位素与射线装置的安全运行。</p>
<p>三、辐射监测</p> <p>1、已有项目的辐射监测开展情况</p> <p>①验收监测：医院已运行项目，部分已完成环保竣工验收监测。2016 年 6 月履行了环评手续的项目将尽快委托有相关监测资质的监测单位对辐射工作场所的辐射防护设施进行全面的验收监测。</p> <p>②常规监测：每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的监测，包括射线机房的各面屏蔽墙、观察窗和防护门等以及非密封源工作场所，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。</p> <p>③辐射工作人员佩戴个人剂量计上岗，并每季度送海南省疾病控制预防中心进行监测，个人剂量检测报告见附件 7。</p>

2、此次项目辐射监测计划

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》（HJ/T 61-2001）、《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）等的要求，医院针对此次核技术应用项目制定相应的辐射监测计划，包括：

①给新增辐射工作人员配备个人剂量计，并定期（每季度 1 次）送检。

②每年委托有资质的单位对辐射工作场所进行辐射环境的监测，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

③医院利用已有或配备新的 X-γ 辐射监测仪、β 表面沾污仪等仪器自行定期对医院各工作场所进行监测。

表 12-1 辐射监测计划

监测对象		监测方案	监测项目	监测频率
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、楼下等	X-γ 辐射剂量率	每年 1 次
	安全联锁	实测并检查	安全	每次使用前
PET-CT 中心	PET-CT 中心各功能室	实测	X-γ 辐射剂量率	每年 1 次
			β 表面沾污	每次操作后、事故状态下
	专用衰变池排口	实测	排放前废水中总 β 放射性	排放前
	放射性固体废物	实测	放射性比活度	排放前
辐射工作人员		佩带个人辐射剂量计	年有效剂量	操作时，每季度送检 1 次
外环境		实测	X-γ 辐射剂量率	每年 1 次

四、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》，医院根据可能发生的辐射事故的风险，成立了以郝新宝为组长，吴国平、高炳玉、林书安、陈赛明、符传胜为副组长，施玉森、王顺、张大水、潘为民、金桂云、李天发、郑立平、郑根建、孟志斌、徐宇杰、伍保忠、颜卫民、王如亮等为组员的海南医学院附属医院放射防护领导小组负责本单位的放射事故应急管理工作。发生辐射事故时，单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要的防护措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护主管部门、公安部门和卫生部门报告。

医院运行至今，未发生放射性事故。但本项目运行后，还应做好以下工作：

- （1）医院每年应组织人员进行应急演练，并记录；
- （2）医院应定期修改完善应急预案等相关规章制度。

表 13 结论与建议

1、结论

海南医学院附属医院 PET-CT 中心项目建设内容为将医技楼二层改建成 PET-CT 中心，使用 1 台 PET-CT（内含 3 枚 ^{68}Ge 校准源，均属 V 类密封源），使用非密封放射性物质 ^{18}F 和 ^{11}C 进行显像诊断，本项目 PET-CT 中心为乙级非密封源工作场所。

（1）可行性分析结论

本项目建设运行后，将为患者提供一个更优越的诊疗环境，具有明显的社会效益，同时能在保障病人健康的同时为医院创造更大的经济效益。做好辐射管理工作和采取必要的防护措施后，其获得的利益远大于辐射所造成的损害，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”的要求。

该项目属于综合医院项目，对照《产业结构调整指导目录》（2011 年本，2013 修正）的规定其属于国家鼓励类的项目，故该项目符合国家产业政策。

（2）选址以及布局合理性分析

由于医院用地、用房矛盾突出，院区内面积受限，PET-CT 中心位于医技楼二楼。楼上为 CT 室、楼下为放疗室，西侧为 ECT 楼（原有核医学科），放射性同位素与射线装置核技术应用项目相对集中，便于管理，同时该区域人员流动相对较小，选址基本合理。

本项目 PET-CT 中心辐射工作场所将高辐射和可能发生高污染的区域划分为控制区，将控制区外较低辐射的区域划分为监督区。医生办公场所与患者通道之间通过各功能用房屏蔽墙体进行了隔离，患者通道进出口设置了门禁系统以防止无关人员进入非密封放射性物质工作场所，有效防止了工作人员与患者的交叉流动，布局基本合理。

（3）辐射安全与防护分析

由机房辐射防护措施分析可知，拟建的 PET-CT 机房防护设施的技术要求总体上满足《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》（GBZ 165-2012）及《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ 130-2013）中的相关要求。

拟建的 PET-CT 中心放射工作场所布局较为合理，拟采取的各项辐射防护及污染防治措施符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）等对辐射防护、安全操作以及防护监测的要求。

（4）环境影响分析结论

由表 8-2 现场监测结果可知，本次环评拟建的 PET-CT 中心放射性工作场所及周围环境 X- γ 辐射剂量率为 58.1nSv/h~91.8nSv/h 之间，处于海南地区室外和室内辐射环境本底范围值内。

由表11-4可知，本项目运行后工作人员职业照射的最大年有效剂量值为1.37mSv/a，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也低于管理限值5mSv。对医院内公众照射的最大年有效剂量值为0.13mSv/a，对医院外最近的龙昆上村村民自建房（距3#注射后休息室南墙5m处的）公众照射的最大年有效剂量值为0.043mSv/a，均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，也远低于管理限值0.25mSv/a。由于 γ 射线的强弱与距离的平方成反比，通过类比推算可知本项目评价范围内所有公众的年有效剂量均能满足相关限值要求。

（5）总结论

本评价项目建设方案中已按照环境保护法规和有关辐射防护要求进行设计，建设过程如能严格按照设计方案进行施工，建筑施工质量能达到要求时，并且完善本次评价对该项目提出的各项要求及措施，则本评价正常运行时，对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，从环境保护和辐射防护角度论证，该评价项目是可行的。

2、建议

建议项目单位认真做好以下几项工作：

（1）医院此次项目环评批复后，医院应及时更换新的辐射安全许可证，运行后应及时向环保主管部门申请环保竣工验收。

（2）进一步完善安全管理制度、辐射监测工作方案和事故应急预案，并制定详细的放射性药品采购、登记、使用、核对、保管及注销制度以及核医学辐射事故处理应急预案等相关规章制度。

（3）新进辐射工作人员及未参加培训的辐射工作人员应尽快参加省环保部门组织的辐射防护与安全培训并取得合格证。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人：

盖章

年 月 日

审批意见：

经办人：

盖章

年 月 日