

核技术利用建设项目 (公开本)

福建省立医院 PET-CT 中心扩建工程 环境影响报告表

福建省立医院

二〇一八年二月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

福建省立医院 PET-CT 中心扩建工程 环境影响报告表

建设单位名称：福建省立医院

建设单位法人代表：朱鹏立

通信地址：福州市东街 134 号

邮政编码：350001

联系人：余**

电子邮箱：274****03@qq.com

联系电话：188****7103

表 1 项目基本情况

建设项目名称		福建省立医院 PET-CT 中心扩建工程			
建设单位		福建省立医院			
法人代表	朱**	联系人	余**	联系电话	188****103
注册地址		福州市东街 134 号			
项目建设地点		福建省立医院 1 号楼 1 层西北角 PET-CT 中心			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	2000	项目环保投资 (万元)	180	投资比例(环保 投资/总投资)	9%
项目性质		☐ 新建 ☒ 扩建 ☐ 其他			占地面积 (m ²) /
应用 类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☒ 使用	☐ I 类(医疗使用) ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☒ V 类		
	非密封放射 性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☐ 乙 ☒ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☐ I 类 ☐ II 类 ☒ III 类		
	其他	/			
	1.1、建设单位情况 福建省立医院是福建省卫计委直属单位、非营利性三级甲等综合医院。医院创建于 1937 年，由华侨胡文虎先生投资兴建，是福建省最早创办的中国人管理的公立医院，为全省医疗、教学、科研中心和主要的干部保健基地。医院本部占地面积 38858 平方米，建筑面积 15.8 万平方米，开放床位 2398 张；年门诊量 200 万人次，住院量 8 万人次，年急诊量 20 余万人次。医院在职员工 3500 多名，医生 900 多名，护士 1500 多名。医院先后获得“全国百佳医院”、“全国卫生应急先进集体”、“全国群众满意的医疗机构”等荣誉称号，是一所具有光荣传统、在省内外有影响的著名医院。 1.2、项目建设规模与任务由来 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，福建省立医院拟对 1 号楼一层 PET-CT 中心进行扩建。				

本项目依托 PET-CT 中心原有回旋加速器以及衰变池，扩建工程的主要内容为：①新增一台 PET-CT(内含 2 枚校准源，属于 V 类密封源)；②将现有医生办公室改建为 PET-CT 机房，医生办公室南侧现有医生休息间改为注药后候诊室（室内设有病人专用卫生间）以及留观区；③将现有注射室 1 改建为注射候诊室，注射室 2 改建为注射室和缓冲区。④PET-CT 中心现有 10 名放射工作人员，扩建后原有人员保留，同时新增 1 名护师（药物注射）和 1 名技师（PET-CT 操作人员）。⑤PET-CT 中心目前平均每日病人接待量为 10 人，年平均接待量约为 2400 人， ^{18}F 年最大用量为 8.88×10^{11} (Bq/a)，扩建后，每日病人接待量最大可达 20 人，年最大接待量可达 4000 人， ^{18}F 年最大用量增大为 1.48×10^{12} (Bq/a)。

PET-CT 中心扩建前后平面布置图分别见图 1-1 和图 1-2，现状照片见图 1-3。

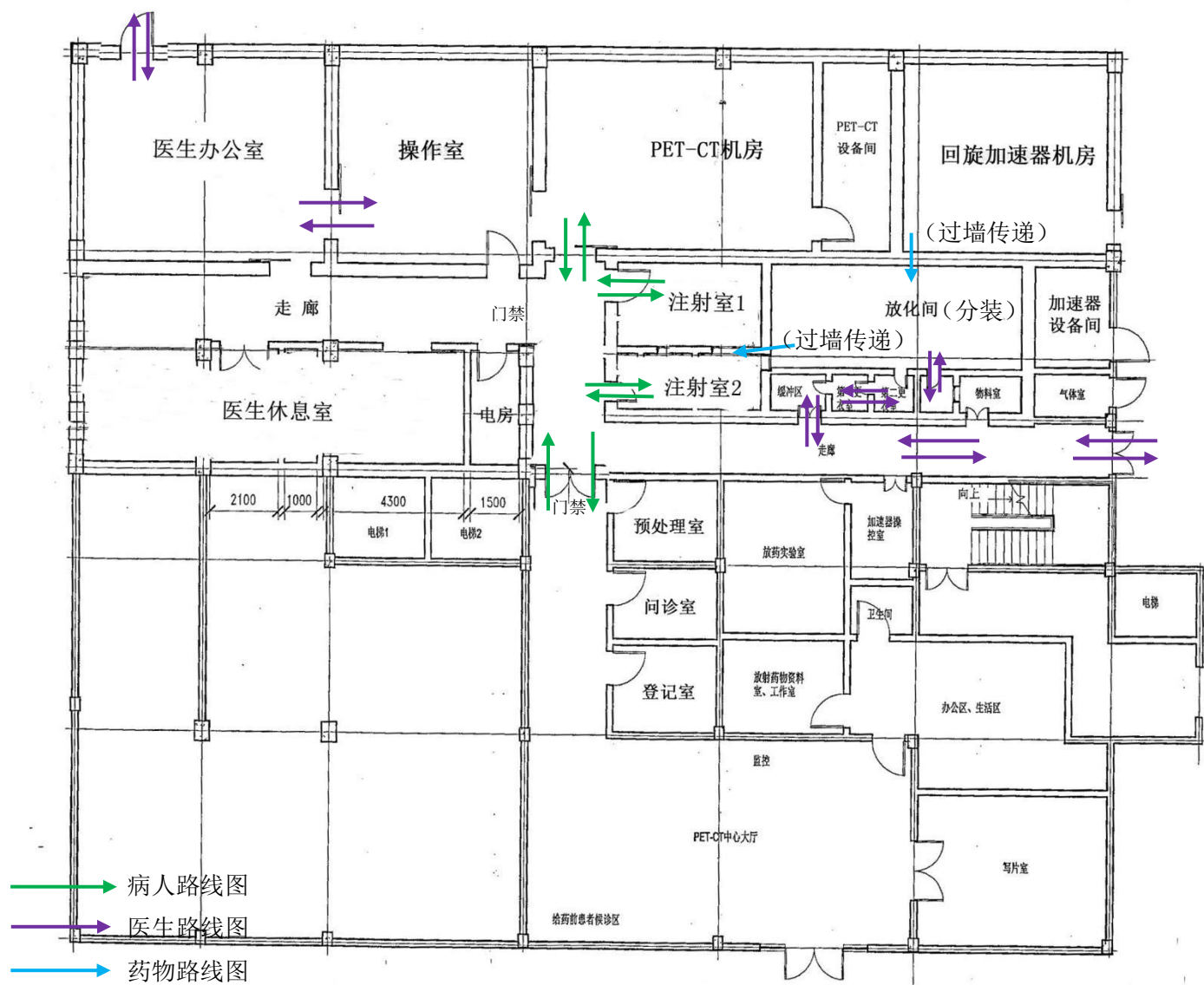
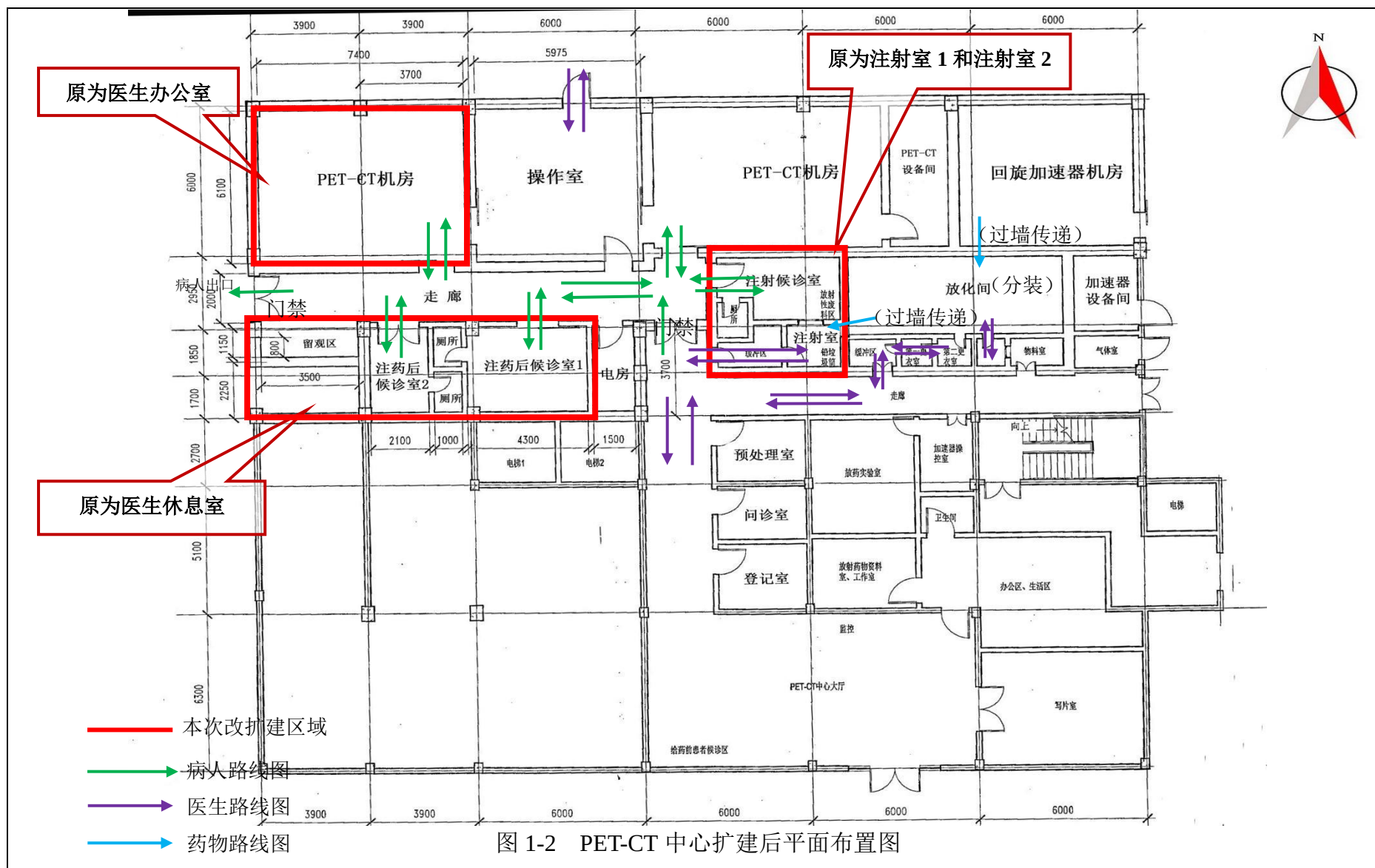


图 1-1 PET-CT 中心扩建前平面布置图





现有注射室



现有注射室 2



现有注射室 1



现有医生办公室



现有控制室



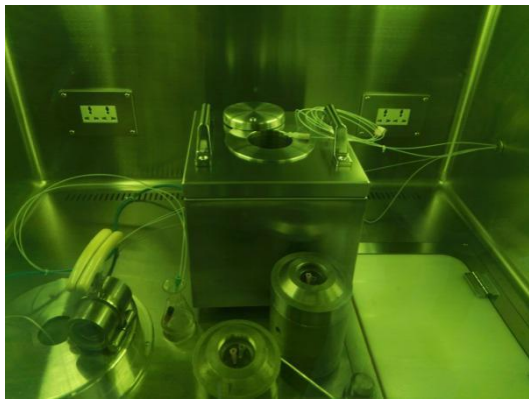
现有 PET-CT 机房



现有医生休息室



放化室通风橱



通风橱内自动分装设备及药物转移铅罐



放化室内铅衣及衰变桶



放化室药物过墙传递口



PET-CT 中心东侧过道



PET-CT 中心南侧入口



PET-CT 中心西侧通道



PET-CT 中心北侧通道



PET-CT 中心二楼输液区

图 1-3 PET-CT 中心现状照片

本次环评涉及放射源情况见表 1-1，射线装置情况见表 1-2，非密封放射性物质情况见表 1-3。

表 1-1 医院此次密封源情况一览表

序号	核素名称	使用场所	放射性活度 (Bq)	数量	活动种类和范围	备注
1	^{68}Ge	PET-CT 校准， 内置于设备机架内	$\leq 4.0 \times 10^7$	2	使用 V 类放射源	PET-CT 自带

表 1-2 医院此次环评射线装置情况一览表

序号	设备名称	数量 (台)	型号	类别	应用目的和任务	设备位置	备注
1	PET-CT	1	未定	III	诊断	PET-CT 中心西北角	/

表 1-3 医院此次环评非密封性放射性物质一览表

序号	核素名称	年最大使用量 (Bq/a)	日等效最大操作量 (Bq)	活动种类和范围	备注
1	^{18}F	1.48×10^{12}	7.4×10^6	使用、乙级非密封源工作场所	PET-CT 中心

PET-CT 中心扩建前后变化情况详见表 1-4。

表 1-4 PET-CT 中心扩建前后变化情况一览表

项目	扩前期				扩建后				变化量	
放射源	核素名称	总活度（Bq）/ 活度（Bq）×枚数			核素名称	总活度（Bq）/ 活度（Bq）×枚数			PET-CT 自带 2 枚 V 类校准源，扩建后新增 2 枚 ⁶⁸ Ge 校准源，总计 4 枚，活度均小于 4.0×10 ⁸ Bq	
	⁶⁸ Ge	4.0×10 ⁸ ×1			⁶⁸ Ge	4.0×10 ⁸ ×1				
		4.0×10 ⁷ ×1				≤4.0×10 ⁷ ×3				
射线装置	设备名称	管电压	管电流	数量	设备名称	管电压	管电流	数量	新增 1 台 PET-CT	
	PET-CT	140kV	500mA	1 台	PET-CT	140kV	500mA	1 台		
					PET-CT	≤140kV	≤500mA	1 台		
非密封放射性物质	核素名称	年最大用量（Bq/a）	日等效最大操作量（Bq）		年最大用量（Bq/a）	日等效最大操作量（Bq）		年最大用量（Bq/a）	日等效最大操作量（Bq）	
	¹⁸ F	8.88×10 ¹¹	3.7×10 ⁶		1.48×10 ¹²	7.4×10 ⁶		+5.92×10 ¹¹	+3.7×10 ⁶	
工作人员	10 人				10 人，根据工作量情况适当增加工作人员				原有人员保留，根据工作量情况适当增加工作人员	
工作场地	包括：PET-CT 机房 1 间、操作室、注射室、放化室、回旋加速器机房、医生办公室、医生休息室等。				包括：PET-CT 机房 2 间、操作室、注射室、注药候诊室、注药后候诊室 2 间、放化室、回旋加速器机房、留观区等。				新增注药后候诊室 2 间、留观区、PET-CT 机房 1 间，改造后注射室 1 间；减少医生办公室和医生休息室。	
病人接待量	每日病人接待量为 10 人，年接待量约为 2400 人				每日病人接待量最大可达 20 人，年最大接待量可达 4000 人				每日病人接待量最大可增加 10 人，年接待量最大可增加 1600 人	

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》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（修订本）（国务院令第 653 号）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2008 年修订 国家环境保护部第 3 号令）、《建设项目环境影响评价分类管理名录》（环境保护部令第 44 号）等国家辐射环境管理相关法律法规的规定，福建省立医院 PET-CT 中心扩建工程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，福建省立医院于 2017 年 10 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（委托书见附件 1）。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本项目的辐射环境影响报告表。

1.3、原有核技术应用项目许可情况

福建省立医院原有核技术应用项目均已环评，落实了相关辐射防护措施，并于2015年1月取得福建省环保厅颁发的辐射安全许可证（闽环辐证00072）。辐射工作许可的种类和范围为：使用Ⅲ类、Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；乙级非密封放射性物质工作场所（辐射安全许可证见附件2）。原有核技术应用项目许可情况见下表1-5~表1-7。

表 1-5 医院辐射安全许可证许可密封源一览表

序号	核素	类别	总活度 (Bq)	环评	验收	活动种类
1	^{192}Ir	Ⅲ类放射源	3.7×10^{11}	已环评	已验收	使用
2	^{90}Sr - ^{90}Y	Ⅴ类放射源	1.1×10^9		已验收	使用
3	^{68}Ge	Ⅴ类放射源	4.0×10^8			使用
4	^{68}Ge	Ⅴ类放射源	4.0×10^7			使用

表 1-6 医院辐射安全许可证许可非密封放射性物质一览表

序号	工作场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	环评	验收	活动种类
1	核医学科	乙级	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1.85×10^9	1.11×10^{13}	已环评	已验收	使用
2	核医学科	乙级	^{131}I	3.7×10^9	5.55×10^{12}			使用
3	核医学科	乙级	^{89}Sr	6.5×10^7	1.48×10^{10}			使用
4	核医学科	乙级	^{153}Sm	4.1×10^8	5.55×10^{10}			使用
5	核医学科	乙级	^{125}I 粒子	1.85×10^8	1.85×10^{11}			使用
6	核医学科	乙级	^{125}I 放免	3.7×10^6	1.85×10^7			使用
7	核医学科	乙级	^{14}C	1.2×10^4	3.7×10^6			使用
8	PET-CT	乙级	^{18}F	2.96×10^9	7.1×10^{12}			制备、使用

表 1-7 医院辐射安全许可证许可射线装置一览表

序号	设备名称	分类	数量（台）	环评	验收	活动种类
1	制备 PET 药物用直线加速器	II 类射线装置	1	已环评	已验收	使用
2	直线加速器	II 类射线装置	1			使用
3	DSA	II 类射线装置	3			使用
4	PET-CT	III 类射线装置	1			使用
5	SPE/CT	III 类射线装置	1			使用
6	CT	III 类射线装置	3			使用
7	DR	III 类射线装置	4			使用
8	X 光机	III 类射线装置	3			使用
9	胃肠机 X 光机	III 类射线装置	3			使用
10	乳腺 X 射线机	III 类射线装置	1			使用
11	移动 X 光机	III 类射线装置	8			使用
12	牙科 X 射线机	III 类射线装置	2			使用
13	骨密度仪	III 类射线装置	1			使用
14	体外碎石机	III 类射线装置	1			使用
15	模拟定位 CT	III 类射线装置	1			使用
16	模拟定位机	III 类射线装置	1			使用

1.4、项目地理位置及周边环境

本项目 PET-CT 中心位于福建省立医院急救中心大楼（1 号楼）一层西北角（西南角为医疗和手术电梯间），1 号楼东面为五四路，南面为东大路，西面为门诊大楼，北面为急救大楼（5 号楼），PET-CT 中心上方输液区。

项目地理位置见图 1-4，医院平面布置图见图 1-5，医院外环境关系见图 1-6。



图 1-4 福建省立医院地理位置图



图 1-5 福建省立医院平面布置图



图 1-6 医院外环境关系图

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	⁶⁸ Ge	≤4.0×10 ⁷ ×2	V类	使用	PET-CT 校准	PET-CT 中心	用铅罐贮存，暂存在放化室 通风橱铅罐内，进行校准时 取出使用	棒状， PET-CT 自带

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	半衰期为109.77min，液态，毒性分组为低毒组	使用	7.4×10^9	7.4×10^6	1.48×10^{12}	显像检查	很简单操作	PET-CT中心	屏蔽在铅罐中，存放于放化室通风橱内
2										
3										
4										
5										

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 能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场 所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	PET-CT	III类	1	未定	≤140	≤500	诊断	PET-CT 中心（原医生办公室）	

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性固体废物	固态	/	/	/	医用废物： 80kg/a	$\leq 10\text{Bq/kg}$	用专用屏蔽容器收集	暂存于废物室的废物桶内，经足够时间衰变后，待其放射性其比活度低于 $2 \times 10^4\text{Bq/kg}$ 后，作为一般医疗废物处理。
					废 ^{68}Ge 校准源	/	用铅罐贮存，暂存在通风柜内	生产厂家回收
					回旋加速器产生的废靶	/	用铅罐贮存	交城市放射性废物库收贮
放射性废气	气态	/	/	/	在通风橱中进行自动分装，操作时间较短，在正常情况下，基本无废气产生。			/
放射性废水	液态	^{18}F	/	/	预计年排放量 40m^3 ； 总 β 放射性 $\leq 40000\text{Bq}$	$\leq 10\text{Bq/L}$	PET-CT 中心放射性废水衰变池	在衰变池中经过 10 个半衰期以上衰变后排入医院污水处理站处理，然后排入城市污水管网。

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.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

法律、法规文件	(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) (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 48 号, 2016 年修订) (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) (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 48 号, 2016 年修订) (5)《建设项目环境保护管理条例》(国务院令第 682 号) (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, 2014 年修订) (7)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(国家环境保护部令第 3 号 2008 年修订) (8)《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环境保护部令 第 18 号) (9)《放射性废物管理规定》(GB14500-2002) (10)《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009) (11)《放射工作人员职业健康管理暂行办法》(卫生部第 55 号令, 2007 年) (12)《关于印发辐射安全许可座谈会会议纪要的函》(国家环境保护总局办公厅环办函[2006]629 号) (13)《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度》(环发[2006]145 号) (14)《建设项目环境影响评价分类管理名录》(环境保护部令第 44 号) (15)《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(环保部办公厅 环办辐射函[2016]430 号) (16)福建省环保厅关于印发《核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲》(试行)的通知(闽环保辐射〔2013〕10 号) (17)《放射性废物分类》(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)
---------	--

技 术 标 准	(1)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) (2)《放射性物质安全运输规程》(GB 11806-2004) (3)《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005) (4)《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ 120-2006) (5)《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009) (6)《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ 130-2013) (7)《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009) (8)《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001) (9)《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ/T10.1-2016)
其 他	委托书 (见附件 1)

表 7 保护目标与评价标准

7.1、评价范围

本项目主要是电离辐射对周围环境的影响，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）规定，考虑到该项目的实际情况，确定评价范围为PET-CT中心各工作场所实体屏蔽物外50m。

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，为了便于辐射防护管理和职业照射控制，控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围，将辐射工作场所分为控制区和监督区。本次评价项目各辐射工作场所的分区情况见表 7-1。本次评价范围重点是监督区与非限制区。

表 7-1 本项目各辐射工作场所的分区

场所名称	控制区	监督区	非限制区	分区形式
PET-CT 中心	回旋加速器机房、放化室、注射室、注射后候诊室、PET-CT 机房、留观区、注药后病人通道等区域	控制室、放化室南侧走廊	周围环境	实体隔离

7.2、保护目标

本辐射项目的环境保护目标主要为医院职业工作人员、病人及其陪护人员，具体环境保护目标见表下7-2，平面布置见图1-2，周围环境现状照片见图1-3。

表 7-2 福建省立医院 PET-CT 机房周边环境保护目标

环境保护对象		相对方位	最近距离	人数
职业工作人员	各工作场所操作人员	/	0.3m	10 人
公众成员	各工作场所周边偶尔路过或停留的其他非辐射工作人员	各工作场所四周	/	/

7.3、评价标准

评价标准采用《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），包括公众照射、职业照射剂量限值和剂量约束值；放射性废水总量排放标准； β 表面污染限值；放射性核素治疗患者体内放射性残留量出院标准。

7.3.1 剂量限值和剂量管理约束值

剂量限值适用于实践(如本项目)所引起的照射，而不适用于对病患者的医疗照射和无任何主要责任方负责的天然辐射源的照射。剂量限值分为有效剂量限值和对单个器官的当量剂量限值，根据本项目的情况，仅列出有效剂量限值。

（1）公众照射剂量限值为，实践(如本项目)使公众中有关关键人群组的成员所受到的

年平均有效剂量估计值不超过 1mSv。特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

对于单个伴有辐射的“实践”项目，其对公众照射的剂量约束值取剂量限值的若干分之一，《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)建议取值范围在每年 0.1~0.3mSv。根据项目及周围环境状况，本项目对公众照射的剂量管理约束值取每年 0.1mSv。

(2) 职业照射

职业照射剂量限值为，由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量不超过 20mSv，任何一年的有效剂量不超过 50mSv，本项目职业照射剂量管理约束值取每年 5mSv。

7.3.2 放射性废水总量排放标准

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定，经环保审管部门确认，满足下列条件的低放废液可以直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道；每月排放的总活度不超过 $10\text{ALI}_{\min}$ ，每次排放活度不超过 $1\text{ALI}_{\min}$ 。 $\text{ALI}_{\min}$ 的含意为相应于职业照射的食入和吸入年摄入量限值 (ALI) 中的较小者。

7.3.3 非密封源工作场所的等级划分标准

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的规定，非密封源工作场所的分级见表 7-3。

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	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

7.3.4 β 表面污染限值及清洁解控水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的规定，工作场所的放射性表面污染控制水平见表 7-4。

表 7-4 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 (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}
1) 该区内的高污染子区除外。		

7.3.5 患者体内放射性残留量出院标准

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的规定，接受 ^{131}I 治疗

的患者，其体内放射性活度降至低于 400MBq 之前不得出院。

本项目的 ^{18}F 非密封源工作场所参照执行。

7.3.6 其他标准

(1) 《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 7-5 要求。

表 7-5 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下表 7-6 要求：

表 7-6 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用线束方向铅当量 mm
CT 机房	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：

CT 机、乳腺摄影、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；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 7-7）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 7-7 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)	——		铅腺护围裙（方形）方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	——
注 “——” 表示不要				

(2) 《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120—2006)

——放射性药物操作的一般放射防护要求；

——临床核医学治疗的放射防护要求；

——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 7-8。

表 7-8 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

*注：下水道宜短，下水流管道应有标记以便维修检测。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

(1) 监测内容

为了解拟建项目所在区域的环境现状，环评单位于 2017 年 12 月 12 日对拟建工作场所及现有 PET-CT 机房周边辐射环境进行了现状监测。

(2) 监测因子： γ 剂量率。

(3) 监测点位：详见附件 12 项目监测报告。

(4) 监测仪器与规范

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
型号/规格	FH40G+FHZ672E-10
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)
监测单位及计量认证 证书编号	江西省核工业地质局测试研究中心 (资质认定计量认证证书编号：161420180567)
检定证书编号	GFJGL1005170001392
有效日期	2017.7.10-2018.7.9

8.2 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。

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。

8.3 监测结果与评价

PET-CT 中心周围 γ 剂量率监测结果见表 8-2。

表 8-2 福建省立医院 PET-CT 中心周围 X- γ 剂量率监测结果

序号	监测点位描述		X- γ 剂量率 (nSv/h)					
			开机状态			关机状态		
			范围值	平均值	标准差	范围值	平均值	标准差
1	医生办公室中央		/	/	/	113-120	115	3
2	医生办公室西侧墙体外 30cm		/	/	/	108-123	110	3
3	医生休息室中央		/	/	/	112-128	118	2
4	PET-CE 机房 (监测工况: 120kV, 180mA)	机房南侧病人 防护门外 30cm	156-170	161	2	143-165	151	2
5		机房西侧操作位	144-163	154	3	134-145	139	1
6		医生防护门外 30cm	142-168	158	2	142-158	146	2
7		机房北侧墙 30cm	143-165	154	2	133-145	139	3
8		楼上输液区	120-133	126	1	116-130	122	2

注：(1) 监测结果未扣除本底值。(2) 监测时，PET-CT 机房内有一名服用 9.8mCi 病人。

由表 8-2 可知，医生办公室、医生休息室、注射室、二楼输液区及墙体外环境 γ 剂量率在 113~165nSv/h 之间，属于福建省正常天然本底辐射水平 25.9~399.1nGy/h 内(来源于《中国环境天然放射性水平》)。本次 PET-CT 中心扩建前已有的一台 PET-CT 正常运行时，机房周边环境的 X- γ 剂量率在 120~170nSv/h 之间，低于《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ 130-2013)中 2.5 μ Sv/h 的要求。

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 中心拟新增 1 台正电子放射计算机扫描系统 (PET-CT)、1 套质控放射源 (共 2 枚 ^{68}Ge 放射源, 均为 V 类放射源), 使用 PET-CT 中心现有的一台 MINI Trace 型高能医用回旋加速器 (已环评、验收) 生产放射性核素 ^{18}F 进行显像诊断。

1、回旋加速器

(1) 工作原理

回旋加速器一般由磁场系统、射频系统、真空系统、离子源系统、提取系统、诊断系统、靶系统和冷却系统等组成, 各系统的主要作用如下:

磁场系统: 提供被加速的带电粒子所在控制的轨道中做圆周运动所需的磁场强度;

射频系统: 提供被加速带电粒子所需的高频振荡加速电压;

离子源系统: 产生需要加速的负离子;

束流提取系统: 直接将加速的带电负离子从真空箱中引出, 该系统的基础是剥离膜。被加速的负离子通过膜时被脱去 2 个电子而转变成阳离子, 并能够调整引出的束流进入所选定的核素生产靶;

靶系统: 是完成特定核反应而产生正电子核素的装置;

真空系统: 建立离子加速所需的真空压力水平, 降低束流的丢失, 为高电压射频场提供绝缘;

冷却系统: 从不同系统中将热量带出, 带出的热量在二级冷却系统中进行热交换, 并将热量传送到初级冷却系统。

回旋加速器的工作原理如下:

本项目采用的回旋加速器系统主要工作原理是使处于真空室内的带电粒子在高频、交变磁场作用下, 不断加速, 当加速粒子能量达到一定值时偏转引出, 引出到加速器外部的入射加速带电粒子与路径上的靶核碰撞, 入射粒子被靶核吸收, 激活的靶核发生核反应, 发射出中子或 α 粒子, 同时可产生具有一定阈能的正电子放射性核素。

本项目使用的回旋加速器加速粒子为质子(P), 回旋加速器工作原理简图见图 9-1。

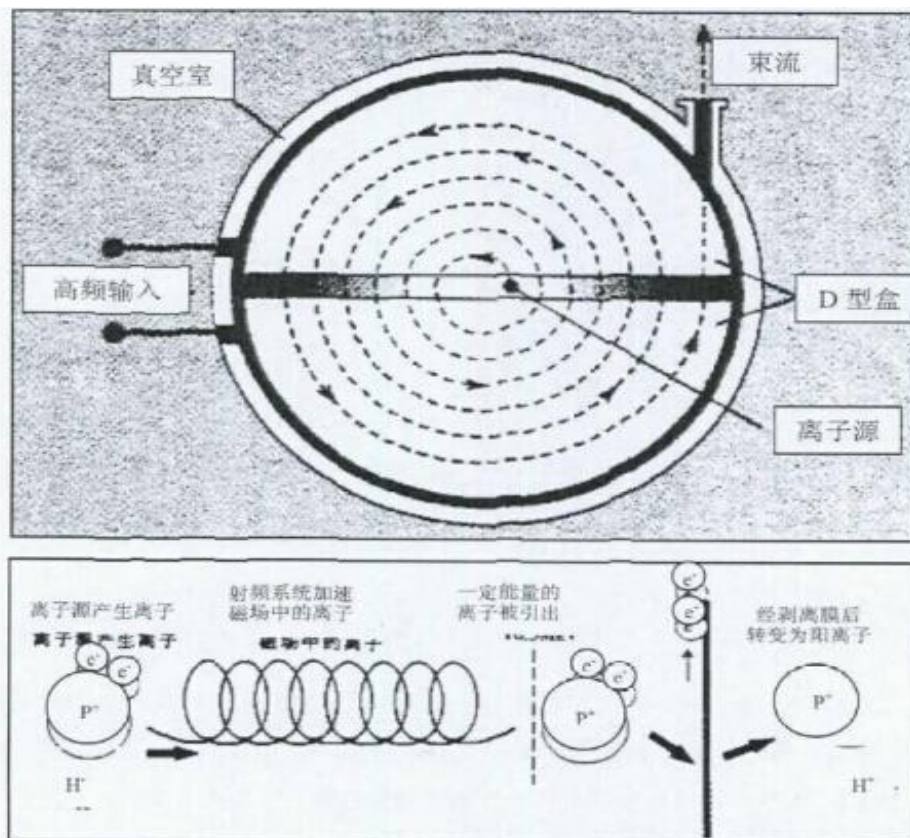


图 9-1 回旋加速器工作原理简图

(2) 特征参数

本项目使用的 MINI Trace 型回旋加速器质子加速能量最大为 16.5MeV，引出质子束流强度最大为 150 μ A。 ^{18}F 靶能承受最高束流为 100 μ A，正常运行时的束流为 70 μ A，单靶的最高产量为 3600mCi/h。

回旋加速器（含屏蔽系统）高 2.25m，占地面积 4.45m $\times$ 2.45m，自屏蔽系统外壳为金属及铅板，内填充重晶石混凝土及复合材料，屏蔽体重量达 56400kg，自带屏蔽体材料厚度见表 9-1，屏蔽结构件图 9-2。

表 9-1 自屏蔽材料厚度

Layer	Material	Thickness				
		Front	Side	Back	Upper	Lower
1 st	Polyethylene	25cm	25cm	15cm	20cm	0cm
2 nd	Iron	4.55cm	4.55cm	0cm	4.55cm	0cm
3 rd	Lead	1.65cm	1.65cm	1.2cm	1.65cm	0cm
4 th	Heavy Concrete	53.8cm	63.8cm	58.8cm	53.8cm	0cm

注：Polyethylene——聚乙烯，Iron——铁，Lead——铅，Heavy Concrete——重晶石混凝土。

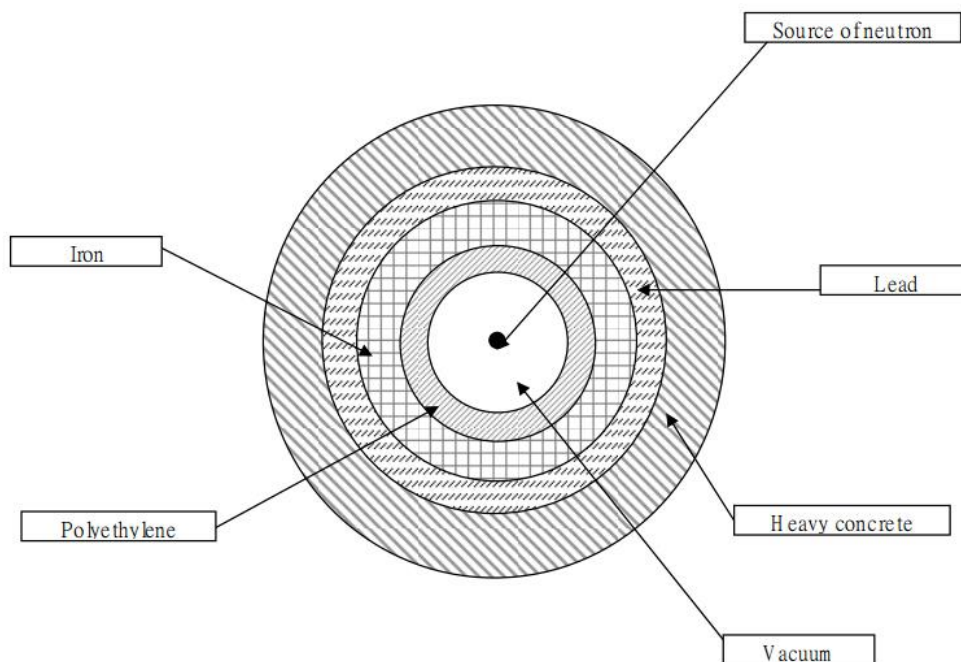


图 9-2 回旋加速器自屏蔽材料顺序图

(3) 操作流程

根据用药量设定设备参数，生产放射性药物。

2、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 9-3。

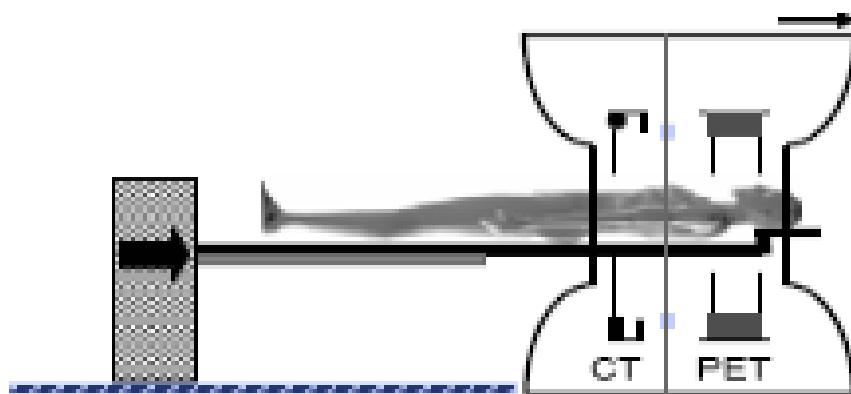


图 9-3 PET-CT 实物示意图

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显像诊断使用的放射性核素为 ^{18}F 。

^{18}F 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

本项目 PET-CT 中心使用的放射性药物 ^{18}F 均为 PET-CT 中心回旋加速器生产、制备，由于半衰期较短，均是根据临床诊疗所需药物的使用量，当天生产制备并在当天全部使用完，因此正常情况下 PET-CT 中心不会有放射性核素存放过夜。

实施 PET-CT 放射诊断时，辐射工作人员在放化室通风橱内进行分装。受检患者由患者专用通道进入辐射工作场所并到达注射窗前，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药后候诊室休息。患者一般在注药后候诊室休息 30-60 分钟后，进入 PET-CT 扫描室，此时辐射工作人员通过 PET-CT 控制室内视频监控系统和对讲装置指导患者摆位，然后完成扫描诊断。

诊断结束后，患者在留观区休息等待，经相关医生同意后患者可直接离院。

主要流程如下图：

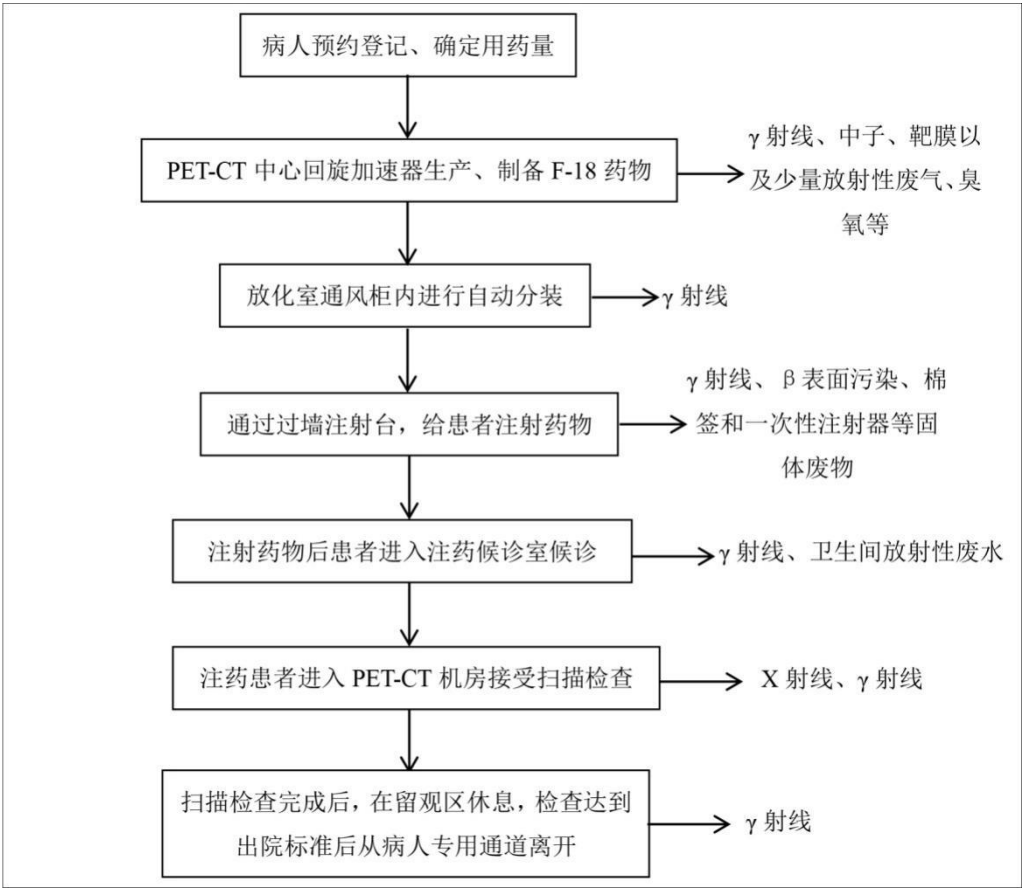


图 9-4 PET-CT 中心工作流程及产污环节示意图

3、密封源使用项目

本次评价项目 PET-CT 装置配有 2 套用于检测 PET-CT 稳定性和图像信息准确性的质控源，共包含 4 枚 ⁶⁸Ge 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, 不会产生放射性废水和废气, ^{68}Ge 废放射源交由放射源生产单位回收。

二、污染源项分析

1、回旋加速器

①正常工况

a.回旋加速器为自屏蔽装置, 但在使用过程中仍然会有少量 γ 射线及中子漏射出来, 穿过屏蔽墙、防护门和屋顶的中子和 γ 射线对工作人员和公众会产生一定辐射水平的照射。

b.在回旋加速器生产、合成 ^{18}F 制剂的过程中, 空气在辐射照射下, 会发生辐照分解现象, 其主要产物是臭氧 (O_3) 和氮氧化物 (NO 、 NO_2), 但质子束流强度较小, 仅为 $25\text{--}35\mu\text{A}$, 质子为重带电粒子, 产生 X- γ 射线的产额较小, 加速器自屏蔽体内的空气体积小, 产生的微量臭气和氮氧化物只能从缝隙漏出, 因此臭氧和氮氧化物对工作场所及周围环境影响较小, 可不予考虑。

c.长期使用后更换的废靶具有很强的放射性, 因此回旋加速器的靶膜由厂家专业人员负责更换, 换下的靶膜置于回旋加速器自带的铅罐中, 积累到一定量后送省放射性废物库收贮。

②事故工况

本项目涉及回旋加速器 (II 类射线装置) 的使用和放射性同位素的生产。在事故情况下, 可能出现的辐射事故 (事件) 如下:

a.人员在防护门关闭前尚未撤离机房, 加速器运行产生误照射。

b.安全连锁装置或报警系统发生故障状况下, 人员误入正在运行的加速器机房。

c.熔靶和靶水吸附事故：在回旋加速器打靶时，由于冷却水失效（冷却水断流或流量减小），束流将局部靶片加热超过熔点，靶窗被打穿，靶水进入加速器真空系统，靶物质冷凝于真空管壁上，造成污染。另外，打靶完成后，靶水从靶室输送到热室，如果N₂压力太大，输导太快，靶水有可能完全附着在管壁内，不能进入工作箱。发生此种事故时，可封闭加速器机房24h，利用¹⁸F等放射性同位素半衰期短的特点，经自然衰变后，再进行处理，可减少对环境的影响。

2、PET-CT（CT 部分）

X 射线在辐射场中可分为三种射线：由 X 射线管窗口出射的用于诊断检查的有用射线；由 X 射线管防护套泄漏出来的漏射线；以及由上述两种射线在诊断床、受检者身体上产生的散射线。CT 在使用过程中产生的主要辐射影响及影响途径如下：

①正常工况

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

本项目中使用的 PET-CT 均在显示频上观察诊断结果，并采用数字打印机打印诊断结果，不使用胶片摄影，不会产生废显影水、定影水，因此不存在污水污染的问题。

②事故工况

在使用 PET-CT 发射 X 射线进行扫描时，人员误入机房引起误照射。

3、PET-CT 中心非密封源工作场所

本项目涉及非密封放射性核素特征参数和预计使用情况见表 9-2。

表 9-2 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 ⁶	7400	0.511	γ	显像诊断

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。

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性组别修正因子}}{\text{操作方式与放射源状态修正因子}}$$

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 F-18 为很简单操作,操作方式有关的修正因子为 10,毒性组别为低毒组,毒性组别修正因子为 0.01。

本项目非密封放射性核素日等效最大操作量计算见表 9-3。

表 9-3 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)
^{18}F	0.01	10	7.4×10^9	7.4×10^6

由表 9-3 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 $7.4 \times 10^6 \text{Bq}$,为丙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 9-4。

表 9-4 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

评价项目的加权活度最大为 $7.4 \times 10^3 \text{MBq}$,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。

①正常工况

a.放射性药物的分装、注射等操作过程中,操作人员将受到放射性药物发出的射线的外照射,吸入、食入放射性核素后还会对病人产生内照射。

b.接受核素诊疗的病人注射或服用放射性药物后,本身短时间内便是一个辐射体(源),对周围的环境可能造成外照射影响。

c.进行PET-CT核素显像时,将有来自受诊病人身体中 γ 射线,经过PET-CT扫描室墙体的屏蔽,射线可能仍有一定的泄漏,环境影响途径为外照射。

d.放射性核素操作过程中将产生放射性废液和受污染的固体废物,核素操作过程中可能会产生放射性气体。

e.受诊病人在注射了放射性药物之后短时间内的排泄物也属于放射性污染物。

② 事故工况

该评价项目核医学科使用放射性核素主要发生的放射性污染有：

a.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；

b.操作人员身体受放射性物质表面沾污，可能发生的内照射；

c.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、密封源

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	PET-CT 中心 (PET-CT 设备)	4.0×10^8	使用，V 类放射源	1 枚	288d	EC
		$\leq 4.0 \times 10^7$	使用，V 类放射源	3 枚		EC

注：衰变方式栏中 EC 表示轨道电子俘获。

使用过程中可能产生以下影响：

①**正常工况：**由于放射源是密封源，源活性物质也不会泄露，因此在正常情况下，对人体产生的主要影响为 γ 射线外照射，而无放射性废水和放射性废气排放。废放射源交由放射源生产单位回收。

②事故工况：

a 放射源丢失或被盜，屏蔽罐被打开，对公众产生外照射。

b 外力撞击导致放射源跌落裸露时，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 中心扩建后的注射室、注射候诊室、注药后候诊室、PET-CT 机房以及留观区等辐射工作场所的相关墙体、顶板以及观察窗、防护门的设计均采取了辐射屏蔽。根据医院提供的资料，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 中心位于急诊大楼，包括注射室、注射候诊室、注药后候诊室、放化室、回旋加速器机房、PET-CT 扫描室、留观区。 其他：控制室、设备间等。		
场所名称及功能	墙	顶板/底板	门、窗
回旋加速器机房	37cm 实心红砖墙	12cm 混凝土	门：8mmPb
注射室	37cm 实心红砖墙	12cm 混凝土 +150mm 硫酸 钡砂浆	门：8mmPb，过墙注射台：35mmPb
注射候诊室	37cm 实心红砖墙		门：8mmPb
注药后候诊室	37cm 实心红砖墙		门：10mmPb
PET-CT 机房 (扫描检查)	37cm 实心红砖墙		窗：10mmPb 门：10mmPb
留观区	37cm 实心红砖墙		/

表 10-2 PET-CT 中心防护措施情况一览表

通风橱	放化室现有通风橱一个，厚 38mm 铅当量，观察窗铅玻璃 10mmPb。
其他 防护用品	已配备 50mmPb 铅罐 5 个，6mmPb 注射防护套 1 个、20mmPb 铅废物桶 2 个、铅衣 2 件、铅眼镜 2 副以及铅围脖 1 件等防护用品。 拟配备 35mmPb 的过墙注射台。
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。 控制室内设置视频监 系统和对讲装置。
废气处置 措施	药物在放化室通风橱中进行自动分装，操作时间较短，在正常情况下，基本无废气产生。
废水处置 措施	注药后候诊室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 1.5m ³ ，共 4.5m 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，经审管部门核准方可排入城市污水管网。衰变池四周需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放化室。
监测仪器	已配备 WF-3204 型 X-γ 剂量仪 1 台、Inspector 型表面污染仪 1 台、RAD60 型个人剂量报警仪 5 台。
其他	操作人员佩戴个人剂量计。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

福建省立医院 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 7.5m×6.1m，面积约为 45.75m ² 。	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 结果表明，医院配置的 PET-CT 在正常扫描状态下，机房周边各监测点的 X-γ 剂量率均小于 2.5μSv/h 之间；表 11-6 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。	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 37cm 实心砖墙；顶棚为 12cm 混凝土+2mmPb 涂料；观察窗为 45mm 铅玻璃（折 8mmPb）、铅防护门铅当量为 8mm。	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	医院已配备铅衣、铅眼镜以及铅围脖等防护用品。	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。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。	在通风橱中进行自动分装，操作时间较短，在正常情况下，基本无废气产生。	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 1.5m 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，经审管部门核准，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。固体废物如污染的针头、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 中心注射室设有铅废物衰变桶用于收集 ¹⁸ F 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 中心注射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 中心注药后候诊室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。

(3) 工作场所设计布局及分区情况

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。

扩建后的 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注射室、注射候诊室、注药后候诊室、放化室、回旋加速器机房、PET-CT 扫描室、留观区等，具体平面布局见图 10-1。

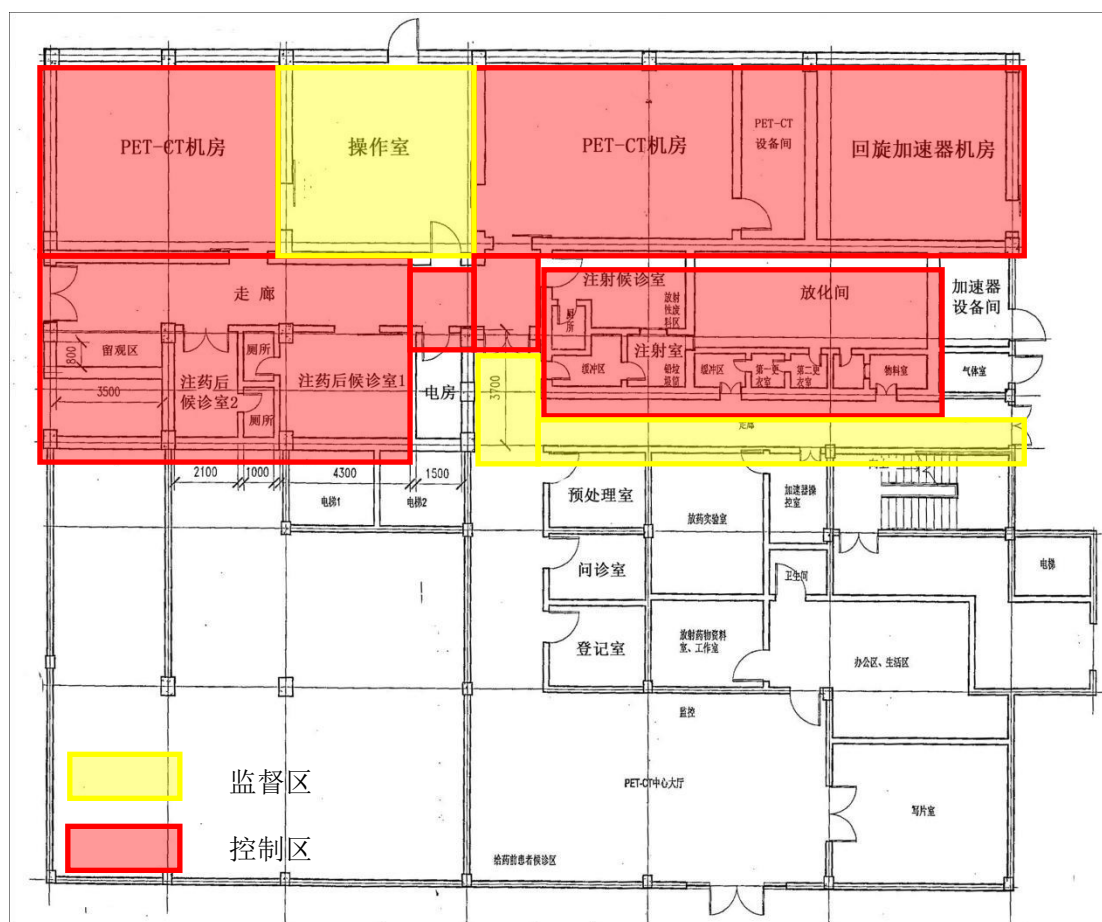


图 10-1 本项目 PET-CT 中心分区示意图

(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 1-2。

(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，医院需加强宣传教育，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。

（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，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，经审管部门核准后排入城市污水管网。

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 4 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，暂存于放化室的废物桶内，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放化室，最终由供应商回收。

(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 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 $10\text{ALI}_{\text{min}}$ ，加以严格控制。

本项目 PET-CT 中心注药后候诊室（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 1 号楼与 5 号楼之间地下（废水衰变池具体位置见图 1-5）设置了 3 个地埋式有效容积均为 1.5m^3 的衰变池（共 4.5m^3 ）专门收集 PET-CT 中心产生的放射性废水。衰变池拟采用三个串联式排水设计，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，当第三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。

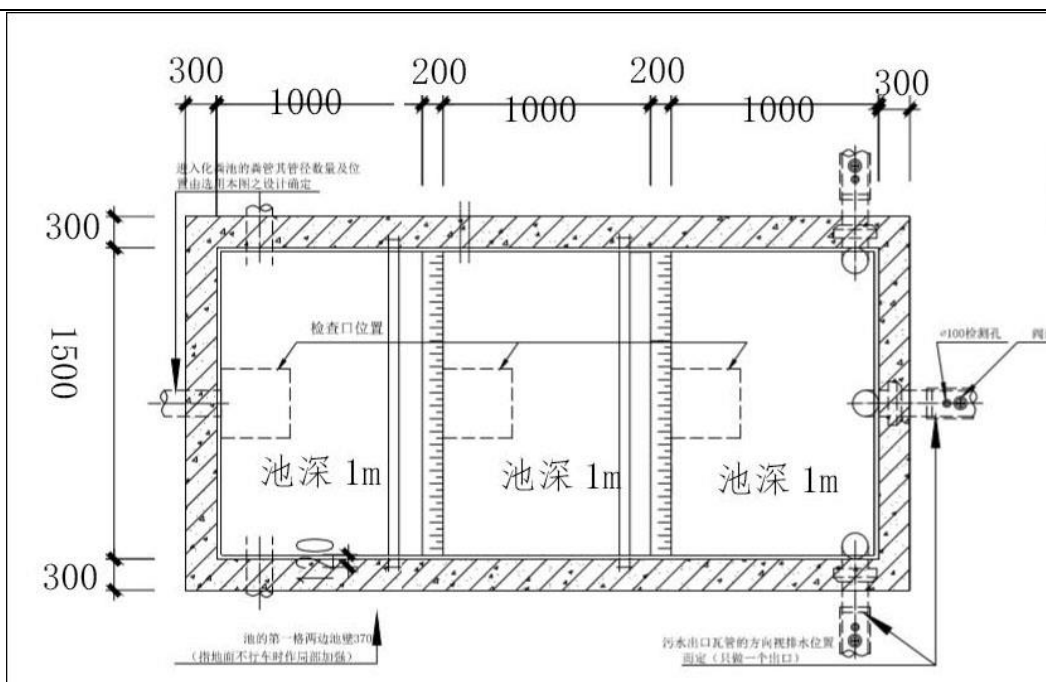


图 10-1 PET-CT 中心衰变池剖面图

单个衰变池核素最大排入量计算如下：

使用 ^{18}F 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，医院扩建后的PET-CT使用 ^{18}F 显像检查病人产生放射性排泄物的日平均人数为20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200L（ 0.2m^3 ）。根据衰变池的容积可计算出每装满一个小分池需要7.5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，第一个衰变池废水至少已衰变15天。放射性废水中含有的放射性核素为 ^{18}F ， ^{18}F 的半衰期相对较短，按 ^{18}F 半衰期（1.83h）进行计算，22.5天的时间即已经过196.7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 ——附表 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

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 $e(j)$, Sv/Bq		年摄入量限值 I (Bq)	ALI_{min} (Bq)
^{18}F	吸入	9.30×10^{-11}	5.38×10^7	5.38×10^7
	食入	5.90×10^{-11}	8.49×10^7	

本项目废水排出时 ^{18}F 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放量 (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	$>2^{50}$	<0.0001	5.38×10^7	达到排放要求。

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 $1ALI_{min}$ ，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

本项目放射性药物在通风橱中进行自动分装，操作时间较短，在正常情况下，基本无废气产生。

表 11 环境影响分析

11.1、建设阶段对环境的影响

本项目为利用 PET-CT 中心现有房间进行该扩建，施工主要集中在现有医生办公室和休息室，对现有 PET-CT 污染较小，施工期间以施工机械噪声、装修和设备安装噪声为主，同时伴有少量粉尘和固体废物产生，因施工期短，施工范围小，通过控制作业时间、加强施工现场的管理等手段，对周围环境影响较小，且该影响是暂时的，随着建设期的结束而消除。

11.2、运行阶段对环境的影响

对于工作场所的射线屏蔽，注射室、注射候诊室、注药后候诊室和留观区等主要考虑放射性药物产生的 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、X 射线装置的辐射影响分析

本项目新增的 PET-CT（CT 部分）未投入使用，故采用类比方法对其进行分析 and 评价。

类比对象为福建省立医院 PET-CT 中心已运行的 CT 射线装置，类比条件一览表见表 11-1，类比监测结果见表 11-2，类比监测报告详见附件 15。

表 11-1 PET-CT（CT 部分）类比条件一览表

项目	本项目	类比项目	备注
设备名称型号	未定	GE discovery	/
管电压、管电流	$\leq 140\text{kV}$ ， $\leq 500\text{mA}$	140kV，500mA	小于等于类比项目
屏蔽墙厚度	37cm 实心砖墙	37cm 实心砖墙	相同
防护门铅当量	8mm 铅当量	4mm 铅当量	优于类比项目
顶板厚度	12cm 混凝土+150mm 硫酸钡砂浆（约折合 3.0mmPb）	10cm 混凝土+2mmPb（约折合 3.0mmPb）	相同
观察窗铅当量	8mm 铅当量	8mm 铅当量	相同

由表 11-1 可知，PET-CT 管电压、管电流小于等于类比项目，而机房的屏蔽措施与类比项目相同，故类比条件充分。类比监测结果见下表 11-2：

表 11-2 CT(GE discovery)机房周围辐射环境监测结果

监测 点位	测点简述		剂量率(nSv/h)	
			开机状态	关机状态
1	PET-CE 机房 (监测工况: 120kV, 180mA)	机房南侧病人防护门外 30cm	161	151
2		机房西侧操作位	154	139
3		医生防护门外 30cm	158	146
4		机房北侧墙 30cm	154	139
5		楼上输液区	126	122

由表 11-2 类比监测结果可知, PET-CT 在正常使用件下, 机房周边各点 X- γ 剂量率监测结果在 122~161nSv/h 之间, 符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ 130-2013) 中“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<2.5 μ Gy/h”的要求。

2、非密封源放射工作场所的辐射影响分析

本项目 PET-CT 中心选址于急救中心大楼(1 号楼一层), 楼上为输液区。拟建辐射工作场所的辐射防护设计方案见表 10-1。

2.1 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、非密封放射性物质 ^{18}F

γ 点源的空气比释动能率计算公式如下:

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

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, $\text{Gy m}^2/(\text{Bq s})$;

r—考查点离点源的距离(屏蔽体外 30cm), m。

K—减弱倍数;

$K=2^n$

n—半值层厚度（HVL）数或者十值层（TVL）厚度数；

公式①来自《辐射防护导论》。

附加年有效剂量估算

$$H_{\gamma}=D' \times T \times 10^{-3}(\text{mSv}) \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{2}$$

式中： H_{γ} ——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。

2.2 PET-CT 用放射性药物 ^{18}F 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，对于注射室、注药后候诊室均按 1 名受检者最大注射量计算（370MBq）；受检者注射药物后需等待 45-60min 后进行扫描，故 PET-CT 扫描室按衰变（45min）后的活度（279MBq）进行屏蔽计算。受检者扫描后在留观区，其放射源活度按注射后等待（45min）以及扫描（11min）衰变后的活度（260MBq）进行屏蔽计算。

②TVL 值：

本项目使用的 ^{18}F 其产生的 γ 射线的能量为 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 11-3。

表 11-3 项目核素的 HVL 值取值表

屏蔽材料	核素名称	^{18}F
普通混凝土（密度 2.35g/cm^3 ）		64mm
Pb（密度 11.3g/cm^3 ）		5.7mm
砖（密度 1.6g/cm^3 ）		100mm

③屏蔽物质厚度取值

计算时，服药病人按点源考虑，位于机房中央位置；注射护士穿戴 0.5mmPb 的铅衣，在 35mmPb 的药物注射窗后操作，注射器配 6mmPb 的防护套。

④估算结果

计算公式见公式①，计算结果见表 11-4。

表 11-4 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

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)	屏蔽物质及厚度	屏蔽前的剂量当量率 (μGy/h)	减弱倍数 k	屏蔽后的剂量当量率 (μGy/h)
注射室	东墙外 30cm 处	3.7×10 ⁸	3.97×10 ⁻¹⁷	1.3	37cm 实心红砖墙+35mmPb 过墙注射窗+6mmPb 注射防护套	31.38	1901.6	1.65×10 ⁻²
	南墙外 30cm 处			2.0	37cm 实心红砖墙+35mmPb 过墙注射窗+6mmPb 注射防护套	13.22	1901.6	6.95×10 ⁻³
	顶棚			2.7	12cm 混凝土+35mmPb 过墙注射窗+6mmPb 注射防护套	7.25	536.7	1.35×10 ⁻²
	操作位			0.3	0.5mmPb 铅衣+35mmPb 铅注射窗+6mmPb 注射防护套	5.88×10 ²	155.5	3.78
	防护门			3.8	8mmPb 防护铅门	3.59	2.6	1.38
注药后候诊室 2 室	北墙外 30cm 处	3.7×10 ⁸	3.97×10 ⁻¹⁷	3.55	37cm 实心红砖墙	4.20	13.0	3.23×10 ⁻¹
	西墙外 30cm 处			1.95	37cm 实心红砖墙	13.91	13.0	1.07
	顶棚			2.7	12cm 混凝土+150mm 硫酸钡砂浆	7.27	25.77	2.82×10 ⁻¹
	防护门			3.55	10mmPb 防护铅门	4.22	3.4	1.24
PET-CT 机房	东墙外 30cm 处	2.79×10 ⁸	3.97×10 ⁻¹⁷	4.0	37cm 实心红砖墙	2.50	13.0	1.92×10 ⁻¹
	南墙外 30cm 处			3.3	37cm 实心红砖墙	3.67	13.0	2.82×10 ⁻¹
	西墙外 30cm 处			4.0	37cm 实心红砖墙	2.50	13.0	1.92×10 ⁻¹
	北墙外 30cm 处			3.3	37cm 实心红砖墙	3.67	13.0	2.82×10 ⁻¹
	顶棚			2.7	12cm 混凝土+150mm 硫酸钡砂浆	5.46	25.77	2.12×10 ⁻¹
	防护门			4.8	8mmPb 防护铅门	1.70	2.6	6.54×10 ⁻¹
留观区	西墙外 30cm 处	2.6×10 ⁸	3.97×10 ⁻¹⁷	2.1	37cm 实心红砖墙	8.42	13.0	6.48×10 ⁻¹
	北墙外 30cm 处			1.45	37cm 实心红砖墙	17.68	13.0	1.36
	顶棚			2.7	12cm 混凝土+150mm 硫酸钡砂浆	5.10	25.77	1.98×10 ⁻¹

由上表 11-4 计算结果可知，除注射室操作位的辐射剂量偏高外，PET-CT 中心其余辐射工作场所四周墙体及防护门的辐射剂量率均满足不大于 2.5 μ Sv/h 的要求。

2.3 有效剂量估算

2.3.1 现有 PET-CT 放射工作人员个人剂量及其评价

医院 PET-CT 中心现有辐射工作人员均佩戴个人剂量计上岗，并每季度送江苏宁大卫防检测技术有限公司进行检测，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 11-5。具体个人剂量监测报告见附件 11。

表 11-5 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	现从事工作/职称	2016.7.26 ~ 2016.10.23	2016.10.24 ~ 2017.1.24	2017.1.26 ~ 2017.4.26	2017.4.27 ~ 2017.7.26	合计 (mSv/a)
陈文新	主任医师（管理）	0.20	0.036	0.036	0.118	0.39
林美福	副主任医师（管理）	0.23	0.036	0.036	0.133	0.435
周硕	主任医师	0.23	0.036	0.036	0.133	0.435
陈彩龙	副主任医师	0.20	0.036	0.036	0.118	0.39
曹登敏	主治医师	0.082	0.036	0.036	0.036	0.19
陈国宝	技师（设备操作）	0.26	0.31	0.036	0.157	0.763
李君霞	护师（药物注射）	0.30	0.036	0.036	0.148	0.52
戴红峰	工程师（核素生产、设备维护）	0.26	0.036	0.036	0.162	0.494
李松	工程师（药物合成、分装）	0.30	0.036	0.036	0.135	0.507
郭莘	药师（药物合成、分装）	0.29	0.095	0.036	0.167	0.588

由上表可知：2016 年 7 月份至 2017 年 7 月份连续 4 个季度 PET-CT 中心现有辐射工作人员的累积剂量均在 0.19~0.763mSv/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 PET-CT 中心对现有工作人员采取的辐射防护与安全管理措施合理有效。

2.3.2 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， ^{18}F 显像检查病人数为 4000 人/年。医生注射时间约 2min/人，病人扫描时间约 11min/人。本项目辐射工作人员共 10 名（后期根据工作量情况适当增加工作人员）。

根据公式②计算 PET-CT 中心工作人员和公众的最大年有效剂量，估算结果见表 11-6。

表 11-6 PET-CT 中心辐射工作人员及公众成员的最大年有效剂量估算结果表

成员	操作类型	附加剂量率($\mu\text{Sv/h}$)	时间 (h)	附加年有效剂量 (mSv)	备注
工作人员	药物合成、分装	/	/	0.588	表 11-5, 郭莘年个人剂量
	控制室操作医生	/	/	0.763	表 11-5, 陈宝国年个人剂量
	注射护士	3.78	4000 人/年 $\times$ 2min/人 =133.33	0.504	/
PET-CT 中心原有设备操作医生 1 人、药物合成和分装人员 2 人，注射护士 1 人，年诊断病人 2400 人，扩建后设备操作医生增加为 2 人，药物合成和分装人员维持 2 人，注射护士增加为 2 人，年诊断病人 4000 人（为原年病人数的 1.67 倍）。由表 11-3 可估算，扩建后控制室操作医生年有效剂量为 $(0.763 \times 1.67) \div 2 = 0.64\text{mSv}$ 、药物合成和分装人员年有效剂量为 $0.588 \times 1.67 = 0.98\text{mSv}$ 、注射护士年有效剂量为 $0.504 \div 2 = 0.252\text{mSv}$ 。					
公众人员	PET-CT 机房北侧外	0.282	$0.5\text{h/d} \cdot \text{人}$ $\times 250\text{d/a} \div 4 = 21.25$	0.006	/
	PET-CT 机房上方卧输区	2.12×10^{-1}	$1.5\text{h/d} \cdot \text{人}$ $\times 250\text{d/a} \div 4 = 93.75$	0.02	/
	留观区西墙侧外	0.64	$0.5\text{h/d} \cdot \text{人}$ $\times 250\text{d/a} \div 4 = 21.25$	0.0136	/
	注药后候诊室上方二楼成人输液区	2.82×10^{-1}	$1.5\text{h/d} \cdot \text{人}$ $\times 250\text{d/a} \div 4 = 93.75$	0.026	/
注：PET-CT 中心每年工作约 250 天，居留因子取 1/4。					

由表 11-6 可知，PET-CT 中心正常运行时，对工作人员职业照射的最大年有效剂量值为 0.98mSv，对公众照射的最大年有效剂量值为 0.186mSv，均可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中规定剂量约束值要求（职业人员 5mSv，公众人员 0.1mSv）。

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) 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、口罩等放射性药品污染的医用放射性废物，产生量约为 120kg/a；PET-CT 设备校准用的 4 枚 ^{68}Ge 源大约 2 年更换一次，不能满足校准使用要求的 ^{68}Ge 源成为废放射源。

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污染水平和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 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，按 0.02kg/病人，则年产生量约 80kg/a。医院拟在注射室和放化室各配备 1 个 20mmPb 铅废物桶。

医用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，暂存于放化室的废物桶内，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。

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放化室，同时医院将与设备供应商签订回收协议。

(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 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 2 间注射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。医院在 1 号楼北面设置三组地埋式衰变池（总容积为 4.5m^3 ）专门收集 PET-CT 中心产生发放射性废水。每组衰变池由 3 个有效容积均为 1.5m^3 的水池串联，三组衰变池组串联式排水设计，两组衰变池组按序轮流收贮、存放、排放，经第一组衰变池收贮存满，再开启第二组衰变池收贮废水，当第二组衰变池收贮废水临近存满时，则可将第一组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。

使用 ^{18}F 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，医院扩建后的 PET-CT 使用 ^{18}F 显像检查病人产生放射性排泄物的日平均人数为 20 人/天，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 200L (0.2m^3)。根据衰变池的容积可计算出每装满一个小分池需要 7.5 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，第一个衰变池废水至少已衰变 15 天。放射性废水中含有的放射性核素为 ^{18}F ， ^{18}F 的半衰期相对较短，按 ^{18}F 半衰期（1.83h）进行计算，15 天的时间即已经过 196.7 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。

本项目地埋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。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

放射性药物在通风橱中进行自动分装，操作时间较短，在正常情况下，基本无废气产生。

5、表面污染分析

本项目 ^{18}F 使用过程中偶尔会有少量的 β 表面污染， β 表面污染主要是由放射性药物洒落或者注射放射性药物的病人随地吐痰、排泄引起。

医院在 1 号楼和 5 号楼之间空地下，设置有废液衰变池，统一收集注射放射性药物的病人排泄产生的放射性废液；对于注射时洒落的药物，可在注射窗口设置吸水性垫布，使药物洒落等事故情况下 β 表面污染范围控制在局部范围内，若有药品不慎洒落，应马上擦拭，清洗，进行 β 表面污染测量，直至符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的相关要求（控制区的工作台、设备、墙壁、地面 <40Bq/cm²，监督区工作台、设备、墙壁、地面<4Bq/cm²，工作服、手套、工作鞋<4Bq/cm²，手、皮肤、内衣、工作袜<0.4Bq/cm²），同时严禁服药病人随地吐痰，防止对地面产生 β 表面污染。

6、患者出院环境影响分析

¹⁸F 病人单次给药量最大为 10mCi（370MBq），给药后到出院的时间一般为 2h，出院时患者体内 ¹⁸F 的最大残留活度 A 为： $10\text{mCi} \times e^{-(120 \times 0.693/109.77)} = 3.88\text{mCi}$ 。¹⁸F 的 γ 照射量率常数 Γ 为 0.58(R m²/h Ci)，二者乘积 AΓ(¹⁸F)为 0.00225(R m²/h)。

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的患者出院时体内携带的 ¹³¹I 核素活度限值为 400MBq，相应的 AΓ 值为 0.0024(R m²/h)，¹⁸F 参照 ¹³¹I 执行。

表 11-7 患者出院时活度情况

核素	最大给药量 A(mCi)	γ 照射量率常数 Γ(R·m ² /h Ci)	AΓ(R·m ² /h)	标准值(R m ² /h)
¹⁸ F	10	0.58	0.00225	0.0024
标准：《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定的患者出院时体内携带的 ¹³¹ I 核素活度限值为 400MBq，相应的 AΓ 值为 0.0024(R m ² /h)。				

由上表 11-7 可知，出院患者均满足体内放射性残留量出院标准的要求，其对院外公众的 γ 外照射影响较小。

11.3、事故影响分析

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

12.1、辐射安全与环境保护管理机构的设置

福建省立医院根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部令第 3 号）的规定以及该院所使用放射源及射线装置的管理分类、数量，非密封源工作场所的分级所对应的分类管理要求，已成立了以主管分院长翁国星为组长，杜瑞宾（放射科主任）、陈文新（核医学科主任）、郑海翔（总务部主任）、孙黎明（设备处副处长）以及陈涛（医务部副主任）为成员的放射防护领导小组（见附件 5），放射防护领导小组挂靠放射科。其主要职责如下：

- （1）负责医院放射安全防护管理工作；
- （2）负责射线装置、非密封源工作场所、个人防护用品的购置以及管理等工作；
- （3）负责落实各项放射防护措施，以及放射科设备和场所安全监测；
- （4）负责许可证申报、每年设备和场所安全监测申报等工作；
- （5）负责辐射工作场所的日常监测工作；
- （6）负责落实各项放射防护措施，以及整个医院的放射工作人员培训、个人剂量监测、健康体检和档案管理等相关工作。

12.2、辐射安全管理规章制度

1、医院辐射安全管理现状

福建省立医院严格遵守《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《放射防护个人剂量监测与档案管理制度》、《放射卫生防护知识培训与档案管理制度》、《个人剂量监测管理制度》、《放射工作人员健康检查与档案管理制度》和《辐射事故（件）应急预案》等制度（详见附件 6~附件 9），并严格按照规章制度执行。

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

③PET-CT 中心从事辐射工作的工作人员均参加了苏州大学组织的辐射安全与防护培训班学习，并通过了规定的课程考试，取得了培训合格证书（详见附件 10）。

④辐射工作期间，辐射工作人员佩戴个人剂量计，接受剂量监测，建立剂量健康档案并存档。

⑤医院放射性工作场所设置有电离辐射警示牌、报警装置和工作指示灯。

2、此次环评项目

医院根据国家相关法律法规，并结合项目内容情况，制定并完善了《辐射事故(件)应急处理预案》制度，有利的保障了医院射线装置的安全运行，详见附件 9。

12.3、辐射监测

1、已有项目的辐射监测开展情况

①验收监测：医院 PET-CT 中心已运行，并委托福建省辐射环境监督站对辐射工作场所的辐射防护设施进行了全面的验收监测。

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。

③辐射工作人员佩戴个人剂量计上岗，并每季度送江苏宁大卫检测技术有限公司检测，个人剂量检测报告见附件 11。

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 X-γ 辐射监测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	监测点位	监测方案	监测项目	监测频率
PET-CT 中心	各功能室	实测	X- γ 辐射剂量率 β 表面污染	每年 1 次
	专用衰变池排放口	实测	排放前废水中 总 β 放射性	每季度 1 次
	放射性 固体废物	实测	放射性比活度	排放前
	机房周边	实测	X- γ 辐射剂量率	每年 1 次
外环境	PET-CT 中心四周墙外	实测	X- γ 辐射剂量率	每年 1 次
工作人员	个人剂量计	实测	个人剂量当量	每季度 1 次

12.4、辐射事故应急

福建省立医院应根据《核技术利用单位辐射事故/事件应急预案编制大纲》(试行, 闽环保辐射(2013)10号)对辐射事故/事件应急预案进行修订和完善。应按照《大纲》的要求, 针对本单位核技术利用类型, 进一步对辐射事故/事件应急预案进行补充完善, 并在辐射安全许可证相关申请或年度安全评估时提交发证单位备案。医院应定期、具有针对性的对可能发生的放射事故进行演练, 演练内容包括放射事故应急处理预案的可操作性、针对性、完整性。在发生辐射事故时, 能够立即启动本单位的应急预案, 采取应急措施, 及时向当地人民政府环境保护主管部门报告, 同时向当地人民政府、公安部门和卫生主管部门报告。

12.5、建设项目竣工环境保护验收一览表

建设项目竣工环境保护验收一览表见表 12-2。

表 12-2 建设项目竣工环境保护验收一览表

项目	验收内容	验收标准及要求
辐射防护措施	①各功能用房及出入口的电离辐射警告标志；PET-CT 机房门口的工作指示灯； ②四周墙体为 37cm 实心红砖，顶棚为 12cm 混凝土+150mm 硫酸钡砂浆，50mmPb 铅罐 5 个，6mmPb 注射防护套 1 个、20 mmPb 铅废物桶 2 个、铅衣 2 件、铅眼镜 2 副以及铅围脖 1 件等防护用品；35mmPb 的过墙注射台； ③配置 X-γ 剂量监测仪、β 表面污染监测仪，Inspector 多功能射线仪各一台，个人剂量报警仪 5 台； ④个人剂量计及检测报告； ⑤购置个人防护用品以及专用去污用品等； ⑥门禁处，安装可视化系统，确保无关人员不得进入放射工作区。 ⑦病人注射检查结束后，离院前进行一次剂量率检查。	符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)相关规定
管理制度	制定《辐射事故（件）应急预案》、《放射防护个人剂量监测与档案管理制度》、《放射卫生防护知识培训与档案管理制度》、《放射工作人员健康检查与档案管理制度》等制度。	符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)相关规定
环境监测	①PET-CT：机房四周 X-γ 剂量率，机房内的 β 表面污染； ② ¹⁸ F 工作场所各功能室 β 表面污染监测，各功能用房的 γ 辐射监测； ③放射性废水衰变池排出口总 β 监测。	符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)职业照射、公众照射限值等相关规定和《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)表 2 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值（日均值）总 β 为 10Bq/L
放射性固体废物	①放射性废物储存室； ②放射性铅废物桶； ③放射性药物使用项目固体放射性废物主要包括：手套、一次性垫纸、注射器、吸水纸、酒精棉等；事故情况下，放射性药品滴漏使用吸水纸酒精棉等；放置在放射性废物桶中 10 个半衰期以上，作为一般医疗垃圾处置； ④校准源失效后由生产厂家回收。	符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009)表 B.1 以核素活度浓度表示的清洁解控水平推荐值。
放射性废气	在通风橱中进行自动分装，操作时间较短，在正常情况下，基本无废气产生。	
放射性废水	①设置病人专用卫生间，废水经 10 个半衰期后方可作为普通废水处理； ②在衰变池旁设置电离辐射警示标志； ③衰变池为 3 级衰变池，每级容量 1.5m ³ 。	

表 13 结论与建议

13.1、结论

（一）辐射安全与防护分析结论

本项目建设运行后，将为患者提供一个更加优越的诊疗环境，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，建设具有其必要性；项目整体布局较为合理，工作场所屏蔽措施符合相关标准要求，也符合辐射防护最优化原则；本项目对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定的实践正当性原则。

（二）环境影响评价结论

由表 11-6 可知，PET-CT 中心正常运行时，对工作人员职业照射的最大年有效剂量值为 0.98mSv，对公众照射的最大年有效剂量值为 0.186mSv，均可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中规定剂量约束值要求（职业人员 5mSv，公众人员 0.1mSv）。

（三）产业政策符合性分析

根据《产业结构调整指导目录》（2011 年本，2013 修订版），本项目属于“第十三条 医药”中“第六款、数字化医学影像产品及医疗信息技术的开发与应用”，为鼓励类，因此本项目的建设符合国家当前产业政策。

（四）总结论

本项目 PET-CT 中心扩建工程旨在改善患者就医环境，提高医院服务质量，经评价分析，只要认真落实本报告提出的环境保护措施，严格按照程序操作，切实执行国家各项法规、制度，使本项目实践符合辐射实践的正当性、辐射防护的最优化、个人剂量的限制三原则，则该项目从辐射环保角度来说，其建设是可行的。

13.2、建议

- （1）在项目建设同时，切实做到环保设施和主体工程“同时设计、同时施工、同时投产”。
- （2）定期安排辐射工作人员参加环保部门组织的辐射安全与防护培训，并通过考核。
- （3）医院应于每年 1 月 31 日前向管理部门提交上一年度的安全与防护年度评估报告。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：		
公 章		
经办人	年	月 日

审批意见：		
公 章		
经办人	年	月 日