

编号：FB21720006

核技术利用建设项目

宁波大学附属人民医院

核医学科改建项目

环境影响报告表

（公示稿）

宁波大学附属人民医院

2021年6月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

宁波大学附属人民医院

核医学科改建项目

环境影响报告表

建设单位名称：宁波大学附属人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：浙江省宁波市鄞州区百丈东路 251 号

邮政编码：315040

联系人：

电子邮箱：/

联系电话：

目 录

表 1 项目概况.....	1
表 2 放射源.....	11
表 3 非密封放射性物质.....	11
表 4 射线装置.....	12
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	13
表 6 评价依据.....	14
表 7 保护目标与评价标准.....	16
表 8 环境质量和辐射现状.....	25
表 9 项目工程分析与源项.....	29
表 10 辐射安全与防护.....	35
表 11 环境影响分析.....	49
表 12 辐射安全管理.....	64
表 13 结论与建议.....	69
表 14 审批.....	72

表 1 项目概况

建设项目名称		宁波大学附属人民医院核医学科改建项目			
建设单位		宁波大学附属人民医院			
法人代表		■	联系人	■	联系电话
注册地址		浙江省宁波市鄞州区百丈东路 251 号			
项目建设地点		浙江省宁波市鄞州区百丈东路 251 号住院综合楼			
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）	100	投资比例（环保投资/总投资）
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建	<input checked="" type="checkbox"/> 改建	<input type="checkbox"/> 扩建	<input type="checkbox"/> 其他
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input 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	/			
	<p>1.1 项目概述</p> <p>1.1.1 建设单位简介</p> <p>宁波大学附属人民医院（宁波市鄞州人民医院）是集医疗、教学、科研、急救、保障、预防及康复等为一体的三级乙综合性医院，是宁波市医保定点疗机构，医院始建于 1949 年 9 月，原名为鄞县县立人民医院。医院占地面积 3.7 万平方米，建筑面积 9.8 万平方米，固定资产 8.51 亿元。现有职工 1700 多名，其中高级卫技人员 360 余名，正高职称 110 余名，硕博士学位人员 230 余名。医院目前开放床位 1150 张，年门诊 150 万余人次左右，年手术 2.5 万余例次，设 31 个病区、60 个专科门诊。拥有直线加速器、核磁共振、ECT、DSA、64 排螺旋 CT、数字 X 光机等大型医疗仪器。</p>				

1.1.2 项目建设目的和任务由来

医院核医学科现有 SPECT 一台，使用核素包括 ^{99m}Tc （用于 SPECT 显像）、 ^{18}F （用于 SPECT 显像）、 ^{67}Ga （用于 SPECT 显像）、 ^{89}Sr （骨转移癌治疗）、 ^{153}Sm （骨转移癌治疗）、 ^{32}P （敷贴治疗）、 ^{131}I （甲亢治疗），为乙级非密封放射工作场所，已于 2006 年 10 月完成环保验收，验收文号：浙环辐验[2006]17 号。

为提高医疗技术水平，丰富影像诊断方法，改善群众就医环境，宁波大学附属人民医院拟对住院综合楼一层核医学科 SPECT 区域进行改建，拆除部分墙体，部分区域改建为 PET 候诊区，拟搬迁原有 1 台复合线路 SPECT，拟新增 1 台 PET/CT，使用非密封放射性物质 ^{18}F 开展 PET 显像诊断项目，并配套使用 2 枚放射源 ^{68}Ge 用于设备校准。本项目涉及原核医学科部分平面布局以及屏蔽防护措施的变动，本次评价将对改造后的核医学科进行评价。

为加强辐射环境管理，防止放射性污染和意外事故的发生，确保非密封放射性物质和射线装置的使用不对周围环境和公众产生不良影响，根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等的规定，本项目在实施前须进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》的有关规定的要求，需编制环境影响报告表。为此，宁波大学附属人民医院委托浙江建安检测研究院有限公司开展“宁波大学附属人民医院核医学科改建项目（简称‘本项目’）”的环境影响评价工作。评价单位在现场踏勘和收集有关资料的基础上，并结合项目特点，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》（HJ10.1-2016）等规定要求编制了本环评报告表，供生态环境审批部门审查。

1.1.3 项目建设内容和规模

本项目拟对住院综合楼一层西侧原核医学科进行改建，在该区域内新增 1 台 PET/CT 装置，使用 ^{18}F 核素用于显像诊断，每天最多诊断 20 人，每人最大用量为 $3.70 \times 10^8\text{Bq}$ （10mCi），则 ^{18}F 日实际最大操作量 $7.4 \times 10^9\text{Bq}$ ，日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^6\text{Bq}$ 。

原核医学科为使用乙级非密封放射性物质工作场所，主要使用非密封放射性物质 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{67}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 、 ^{32}P 、 ^{131}I 分别开展 SPECT 显像诊断、骨转移癌治疗、敷贴治疗和甲亢治疗/甲功测定，原核医学科已许可的核素情况一览表见表 1-1，核医学

科1台SPECT拟搬迁至新院区，该SPECT所涉及的核素 ^{99m}Tc 、 ^{67}Ga 、 ^{18}F 移至新院区使用，核医学科其他核素包括 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 、 ^{32}P 、 ^{131}I 仍保持不变。改造后核医学科工作场所经计算日等效最大操作量为 $9.66 \times 10^8 \text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目PET/CT拟配置校准源，校准源枚数及活度暂未确定，校准源为V类放射源，因此本环评不对其进行评价。待医院确定校准源枚数及活度后，在校准源购买前应履行相关环评手续，并应在辐射安全许可证上进行登记。

1.1.3.1 改造规模

改造后核医学科核素使用情况见表1-2。核医学科原有布局见图1-1，改造后核医学科平面布局见图1-2，原核医学科因成立时间较早，在平面布局、废气、废水管道及衰变池设置方面存在部分问题，本次改造对以下问题进行了优化和完善，使核医学科运行流程更加合理和顺畅，更有利于核技术利用项目运行过程中的辐射安全管理和监管。

表 1-1 核医学科原有的核素情况一览表

序号	核素名称	日等效最大操作量	用途	许可的活动种类和范围	拟暂停使用的时间
1	^{99m}Tc	1.85E+09	显像诊断	使用乙级非密封放射性物质工作场所	改造工程开始前一周
2	^{89}Sr	1.48E+08	骨癌治疗		
3	^{153}Sm	1.85E+09	骨癌治疗		
4	^{32}P	1.85E+08	敷贴治疗		
5	^{131}I	7.4E+09	甲功测定 甲亢治疗		
6	^{67}Ga	1.85E+08	显像诊断		
7	^{18}F	1.48E+09	显像诊断		
8	^{125}I	1.85E+10	粒子植入	在肿瘤科开展	

表 1-2 改造后核医学科拟用核素情况一览表

序号	核素名称	用途	日最大操作量 (Bq)	日等效操作量 (Bq)	许可的活动种类和范围
1	^{18}F	显像诊断	7.4E+09	7.4E+06	使用乙级非密封放射性物质工作场所
2	^{89}Sr	骨癌治疗	1.48E+08	1.48E+07	
3	^{153}Sm	骨癌治疗	1.85E+09	1.85E+08	
4	^{32}P	敷贴治疗	1.85E+08	1.85E+07	
5	^{131}I	甲功测定 甲亢治疗	7.4E+09	7.4E+08	
6	^{125}I	粒子植入	1.85E+10	/	密封源

1.1.3.2 改造范围

本项目改造范围为原核医学科工作场所，主要包括对原有平面布局、原有废水废气管道的改造，原有衰变池可以满足要求，本次不对衰变池容积进行改造。原核医学科平面布局及改造范围见图 1-1，改造后核医学科平面布局见图 1-2。

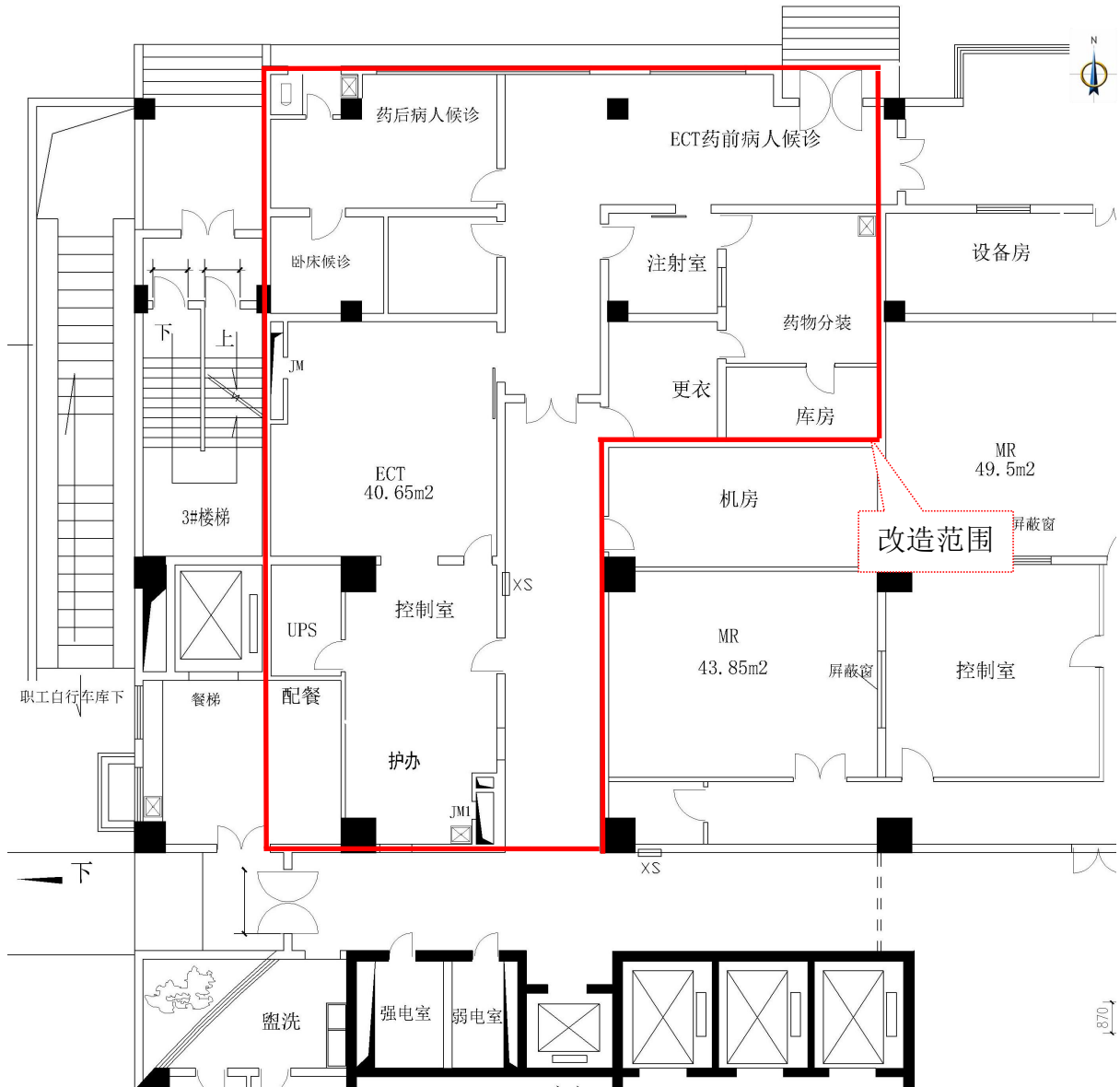


图 1-1 原核医学科平面布置及改造范围

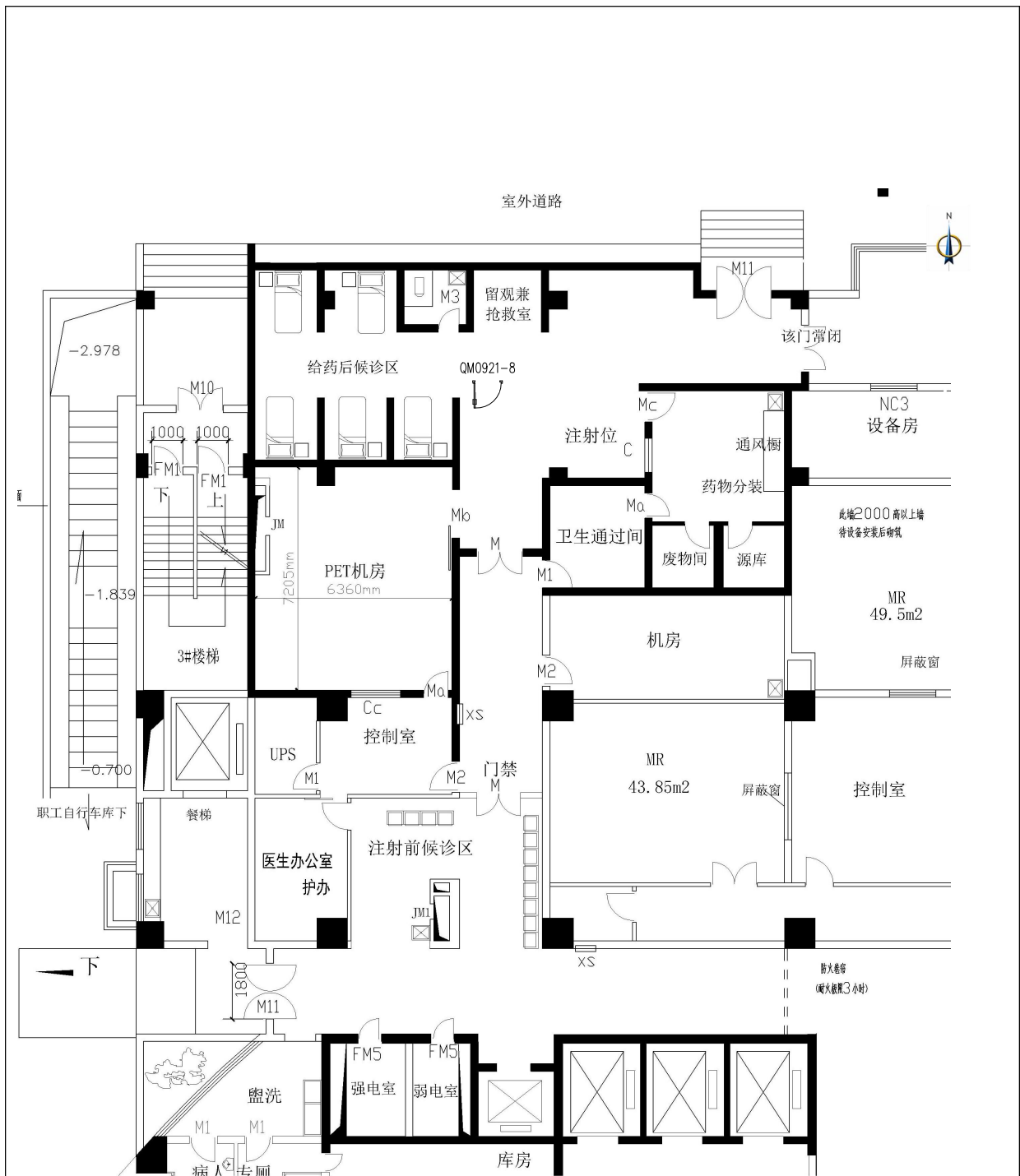


图 1-2 改造后核医学科平面布局

1.1.3.3 改造目标

对于非密封放射性工作场所，在使用过程中放射性物质可能会侵入墙体或者地面，改造过程中若盲目拆除，不但使各部分的材料混杂，给清理工作带来麻烦，还会导致残留放射性物质的材料遗留原地，造成辐射影响。

本次核医学科改造项目的目标是尽量减少改造过程中人员受照的剂量，并对改造过程中产生的废物进行必要的去污，达到表 1-3 工作场所的放射性表面污染控制水平要求

后按普通废物进行处理，工作场所中的某些设备与用品，经去污使其污染水平降低至下表所列设备类的控制水平的五分之一以下时，经审管部门或审管部门授权的部门确认后，可当做普通物品使用。

表 1-3 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		α放射性物质		β放射性物质
		极度性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 ⁻¹	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4×10 ⁻¹	4×10 ⁻¹	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻²	4×10 ⁻²	4×10 ⁻¹
1) 该区的高污染子区除外。				

1.2 项目选址及周边环境保护目标

1.2.1 医院地理位置

宁波大学附属人民医院位于浙江省宁波市鄞州区百丈东路 251 号，医院东侧为甬港北路，隔路为荣合公馆和停车场；南侧为百丈东路，隔路为东城百汇大厦；西侧为舟孟北路，隔路为潜龙社区；北侧为甬港小区。

项目地理位置见附图 1，周边环境关系见附图 2。

1.2.2 项目周边环境关系

(1) 项目所在楼四至关系

本项目核医学科位于住院综合楼一层，为独栋建筑。住院综合楼东侧为内部道路；住院综合楼南侧距本项目核医学科约 60m 为舟孟北路 10 号商业用房；住院综合楼西侧距本项目核医学科约 40m 为潜龙社区；住院综合楼北侧距本项目核医学科约 73m 为甬港小区。医院总平面布置图详见附图 3。

(2) 本项目工作场所四至关系

本项目核医学科东侧（紧邻）为放射科用房，南侧为过道，西侧和北侧均为院内道路，楼下为自行车库、仓库和停尸间，楼上为检验中心，本项目核医学科平面布局详见附图 4。

因此，本项目核医学科实体边界外 50m 评价范围主要为医院内部的建筑物、道路和居民区，50m 范围内居民区为西侧潜龙社区，与本项目核医学科最近距离为 40m。

1.2.3 选址合理性分析

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中关于“选择核医学场址”的规定：

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

本项目所在的住院综合楼位于医院内部，项目用地属于医疗卫生用地，周围无环境制约因素。本项目拟建辐射工作场所实体边界外 50m 评价范围内主要为医院内部建筑、道路和居民区，项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众的辐射影响是可接受的，因此项目选址合理。

1.3 原有核技术利用项目许可情况

医院已取得浙江省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》，证书编号为浙环辐证[B0029]（见附件2），有效期至2025年7月19日，许可种类和范围为“使用III类放射源，II类、III类射线装置，使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所”。医院现有核技术利用项目环评及环保验收批复复印件见附件3。医院原有核技术利用情况见表1-5。

表 1-5 医院原有核技术利用项目清单

放射源									
序号	名称	批准总活度 (Bq)	类别	环评情况	许可情况	验收情况	备注		
1	Ir-192	3.7E+11	III	已环评	已许可	已验收	在用		
非密封放射性物质应用一览表									
序号	工作场所名称	工作场所等级	核素	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	环评情况	许可情况	验收情况	备注
1	核医学科	乙级	Tc-99m	1.85E+9	3.7E+13	已环评	已许可	已验收	在用
2		乙级	Sr-89	1.48E+8	1.48E+10				在用
3		乙级	Sm-153	1.85E+9	1.85E+11				在用
4		乙级	P-32	1.85E+8	1.85E+10				在用
5		乙级	I-131	7.4E+9	2.22E+11				在用
6		乙级	I-125 (粒子源)	1.85E+10	9.25E+11				在用
7		乙级	Ga-67	1.85E+8	1.85E+10				在用
8		乙级	F-18	1.48E+9	2.22E+11				在用
射线装置									
序号	射线装置名称	型号	类别	环评情况	许可情况	验收情况	备注		

1	直线加速器	ELEKTA Synergy	II	已环评	已许可	已验收	在用
2	直线加速器	23EX	II	已环评	已许可	已验收	在用
3	DSA	CV12	II	已环评	已许可	已验收	在用
4	DSA	Atis zee III ceiling	II	已环评	已许可	已验收	在用
5	DSA	Allura-Xper-Fd20	II	已环评	已许可	已验收	在用
6	CT	BRILLIANCE64	III	已环评	已许可	已验收	在用
7	CT	Definition As	III	已环评	已许可	已验收	在用
8	乳腺DR	Selenia	III	已环评	已许可	已验收	在用
9	CT	PP3-1	III	已环评	已许可	已验收	在用
10	胃肠机	ESSENTA RC	III	已环评	已许可	已验收	在用
11	牙片机	IRIX70	III	已环评	已许可	已验收	在用
12	体外碎石机	compact deltaII	III	已环评	已许可	已验收	在用
13	中C 臂	ENDURA	III	已环评	已许可	已验收	在用
14	模拟定位机	Acuity	III	已环评	已许可	已验收	在用
15	C 臂机	BV ENDURA	III	已环评	已许可	已验收	在用
16	16 排CT	Discovery RT590	III	已环评	已许可	已验收	在用
17	DR 拍片机	Digital-diagnost	III	已环评	已许可	/	在用
18	DR 拍片机	DR-TH	III	已环评	已许可	已验收	在用
19	CT	Uct510	III	已环评	已许可	已验收	在用
20	床边机	MUX-100DJ	III	已环评	已许可	已验收	在用
21	医用诊断X 射线装置	Udr596I	III	已环评	已许可	已验收	在用
22	床边机	SM-50H-F-B-D	III	已环评	已许可	已验收	在用
23	医用诊断X 射线装置	MUX-200D	III	已环评	已许可	/	在用
24	CT	uCT550	III	已环评	已许可	/	在用
25	SPECT	Millennium	III	已环评	已许可	已验收	在用
26	医用诊断X 射线装置	PLX118F/b	III	已环评	已许可	/	在用
27	医用诊断X 射线装置	Prodigypro	III	已环评	已许可	/	在用

1.4.2 现有核技术利用项目管理情况

(1) 医院已成立了辐射安全管理小组，制定了一系列的辐射工作管理制度，其中

包括辐射事故应急预案、工作人员职业健康体检管理制度、辐射监测、人员培训计划制度、个人剂量管理制度、辐射工作人员岗位职责、设备操作规程等。

医院现有管理制度内容较为全面，符合相关要求，现有规章制度基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。医院严格落实各项规章制度，各辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实及档案管理等方面运行较好。

本项目建成后，可依托医院现有比较健全的管理组织机构。医院目前配置的领导小组人员学历大部分为本科学历，都具有一定的管理能力，本项目开展后，辐射管理成员为同一套班子成员，目前医院的管理人员也能满足配置要求。由于本项目为开展核医学科 PET/CT 工作，医院应针对本项目特点对现有辐射制度进行补充和完善后，则本项目辐射规章制度可以满足要求。

(2) 辐射工作期间，要求辐射工作人员佩戴个人剂量计，建立剂量健康档案并终生存档保存，个人剂量计每三个月送检一次。医院开展了辐射工作人员剂量监测，现有辐射工作人员个人剂量监测统计见附件 5。由监测报告结果可以看出：现有辐射工作人员年度的个人剂量监测结果符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对辐射工作人员要求的剂量限值。

(3) 医院现有辐射工作人员均持有初级辐射安全与防护培训合格证书，取得合格证书人员需按时接受再培训。

(4) 医院对现有辐射工作人员开展有健康监护，并建有职业健康档案。辐射工作人员岗前、在岗期间和离岗前均进行职业健康体检，在岗期间体检周期不超过 2 年。根据医院提供的职业健康体检报告，在岗辐射工作人员均可继续从事放射性工作。

(5) 医院现有辐射工作场所设置有电离辐射警示牌、报警装置和工作状态指示灯等。

(6) 医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，根据建设单位提供的监测报告，各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求，医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。

(7) 辐射应急演练和年度评估

医院已制定有《辐射事故应急预案》，医院每年均定期开展辐射事故应急演练，并对演练结果进行总结，及时对辐射事故应急预案进行完善和修订。经医院核实，自辐射

活动开展以来，未发生过辐射事故。

医院执行有年度评估制度，编制有《辐射安全和防护状况年度评估报告》，对现有放射性同位素和射线装置辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、放射性同位素和射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况等进行年度总结和评估，并及时提交至发证机关。

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
	无							

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/低毒 半衰期 109.7min	使用	7.4×10 ⁹	7.4×10 ⁶	1.85×10 ¹²	PET/CT 显像检查	很简单操作	住院综合楼 一层核医学科	根据实际使用量向有资质单位购买（现买现用），购买后的放射性药物连同铅罐包装放置于核医学科源库，源库设双人双锁管理。

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	装置名称	类别	数量	型号	加速粒籽	最大 X 射线能量 (MV)	活动种类	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
	无										

(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	装置名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	PET/CT	III	1	待定	150	1000	诊断	住院综合楼一层核医学科	新增

(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	
	无												

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
放射性废水 (核医学)	液态	¹⁸ F	/	/	≈0Bq	β≤10Bq/L	暂存于 2 个并联衰变池中， 每个衰变池 11m ³ ，总容积 为 22m ³	符合 GB18871-2002 排放条件后，进入医 院污水处理站处理 后排入城市污水管 网。
放射性固废 (核医学)	固态	¹⁸ F	/	/	250kg/a	<1×10 ¹ Bq/g	分装室设 1 个铅桶 留观室设 1 个铅桶 候诊室各设 1 个铅桶 废物间设置 1 个铅衰变暂存 容器	放射性废物衰变十 个半衰期，经检测符 合排放标准后，作为 医疗废物委托有资 质单位处置。
放射性废气 (核医学)	气态	¹⁸ F	微量	微量	微量	/	核医学设 2 支管线，废气通过 2 支管线由排风井 排至住院综合楼楼顶排放，排风口设活性炭吸附 装置。	

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/m³）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 9 号，2014 年），自 2015 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（中华人民共和国主席令第 48 号 2016 年修订，2016 年 9 月 1 日起施行）及《关于修改〈中华人民共和国劳动法〉等七部法律的决定》（第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议，2018 年 12 月 29 日）；</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 6 号，2003 年），自 2003 年 10 月 1 日起实施；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（中华人民共和国国务院令第 682 号，2017 年），自 2017 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（中华人民共和国生态环境部令第 16 号），自 2021 年 1 月 1 日起施行；</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 709 号修订，2019 年 3 月 2 日起施行；</p> <p>(7) 《放射性废物安全管理条例》（国务院令第 612 号，2012 年），自 2012 年 3 月 1 日起施行；</p> <p>(8) 《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，2017 年），2018 年 1 月 1 日起施行；</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) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令第 18 号），2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(11) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法（2021 年修订版）》，2021 年 1 月 4 日公布并施行；</p> <p>(12) 《关于发布《射线装置分类》的公告》（环境保护部 国家卫生计生委公告 2017 年第 66 号，2017 年），自 2017 年 12 月 5 日起施行；</p> <p>(13) 《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》（浙江省生态环境厅 浙江省卫生健康委员会，浙环函[2019]248 号）。</p>
------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<p>(14) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》(2011年10月25日浙江省人民政府令第288号公布,根据2014年3月13日浙江省人民政府令第321号公布的《浙江省人民政府关于修改〈浙江省林地管理办法〉等9件规章的决定》第一次修正,根据2018年1月22日浙江省人民政府令第364号公布的《浙江省人民政府关于修改〈浙江省建设项目环境保护管理办法〉的决定》第二次修正,根据2021年2月10日浙江省人民政府令第388号公布的《浙江省人民政府关于修改〈浙江省价格监测预警办法〉等9件规章的决定》第三次修正);</p> <p>(15) 《浙江省辐射环境管理办法》(2011年12月18日浙江省人民政府令第289号公布,根据2021年2月10日浙江省人民政府令第388号公布的《浙江省人民政府关于修改〈浙江省价格监测预警办法〉等9件规章的决定》修正);</p> <p>(16) 浙江省生态环境厅关于发布《省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单(2019年本)》的通知(浙环发[2019]22号)。</p>
<p>技 术 标 准</p>	<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》(HJ10.1-2016);</p> <p>(2) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021);</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);</p> <p>(4) 《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020);</p> <p>(5) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010);</p> <p>(6) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005);</p> <p>(7) 《医院污水处理技术指南》(环发[2003]197)。</p>
<p>其 他</p>	<p>(1) 《辐射防护手册》(第一分册),李德平、潘自强主编;</p> <p>(2) 《辐射防护手册》(第三分册),李德平、潘自强主编;</p> <p>(2) 《简明放射性同位素应用手册》,卢玉楷主编;</p> <p>(3) 《放射防护实用手册》,赵兰才、张丹枫;</p> <p>(4) 医院提供的其它与本项目有关的技术资料。</p> <p>(5) 委托书</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）规定及本项目的实际情况，确定本项目辐射环境评价范围为乙级非密封放射物质工作场所边界外50m区域。

7.2 保护目标

根据现场踏勘情况，本项目辐射工作场所边界外50m范围内主要为医院内部建筑、道路及居民区，无自然保护区、保护文物、风景名胜区、水源保护区等环境敏感点，评价范围示意图详见附图2。本次评价范围内的主要环境保护目标为本项目职业人员、医院非辐射工作人员及公众人员、居民区公众人员。

7.3 评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》（GB18871-2002）

（1）豁免和解控

4.2.4 豁免

4.2.4.1 如果源符合下列条件之一，并经审管部门确认和同意，则该源或利用该源的实践可以被本标准的要求所豁免：

a) 符合本标准附录 A（标准的附录）中所规定的豁免要求；

b) 符合审管部门根据本标准附录 A（标准的附录）规定的豁免准则所确定的豁免水平。

4.2.4.2 对于尚未被证明为正当的实践不应予以豁免。

4.2.5 解控

4.2.5.1 已知或已获准实践中的源（包括物质、材料和物品），如果符合审管部门规定的清洁解控水平，则经审管部门认可，可以不在遵循本标准的要求，即可以将其解控。

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

表 7-1 本项目涉及放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度（摘自附录 A 中表 A1）

核素	活度浓度/（Bq/g）	活度/Bq
¹⁸ F	1E+01	1E+06

（2）剂量限值

①职业照射

4.3.2.1 应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录 B）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；

b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；

c) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv；

②公众照射

B1.2.1 实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a) 年有效剂量，1mSv；

对于职业人员，取年有效剂量限值的四分之一，即不超过 5mSv 作为年剂量约束值；对于公众，本项目取年有效剂量限值 1mSv 的四分之一，即不超过 0.25mSv 作为年剂量约束值。

（3）分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

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

6.4.2 监督区

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

区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

(4) 表面放射性污染的控制

工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B（标准的附录 B）B2 所规定的限制要求。

B2 表面污染控制水平

工作场所的表面污染控制水平如表 B11 所列。

表 B11 工作场所的放射性表面污染控制水平 (Bq/cm²)

表面类型		β放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4×10 ¹
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻¹
1) 该区内的低污染子区除外		

(5) 非密封源工作场所的分级

C1 非密封源工作场所分级

应按表 C1 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 C1 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

(6) 放射性物质向环境排放的控制

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

a) 每月排放的总活度不超过 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，其具体数值可按 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定获得)；

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

摘录 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定，ALI_{min} 采用下式计算：

$$ALI_{min} = DL / e_j$$

DL 表示辐射工作人员接触限值，20mSv/a；

e_j 表示 GB18871-2002 表 B3 工作人员吸入和食入单位摄入量所致的待积有效剂量，取其中最大值。

表 7-2 放射性废水排放导出限值

核素	e_j (Sv/Bq)	月排放限值 (Bq)	一次排放限值 (Bq)
^{18}F	9.3×10^{-11}	5.38×10^9	2.15×10^8

二、《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)

5 工作场所的放射防护要求

5.1 工作场所平面布局和分区

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

5.1.2 核医学科平面布局设计应遵循如下原则：

a) 使工作场所的外照射水平和污染发生的概率达到尽可能小；
 b) 保持影像设备工作场所内较低辐射水平以避免对影像质量的干扰；
 c) 在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射；

d) 在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。

5.1.3 核医学科从功能设置可分为诊断工作场所和治疗工作场所。其功能设置要求如下：

a) 对于单一的诊断工作场所应设置给药前患者或受检者候诊区、放射性药物贮存室、分装给药室（可含质控室）、给药后患者或受检者候诊室(根据放射性核素防护特性分别设置)、质控（样品测量）室、控制室、机房、给药后患者或受检者卫生间和放射性废物储藏室等功能用房；

b) 对于单一的治疗工作场所应设置放射性药物贮存室、分装及药物准备室、给药室、病房（使用非密封源治疗患者）或给药后留观区、给药后患者专用卫生间、值班室和放置急救设施的区域等功能用房；

c) 诊断工作场所和治疗工作场所都需要设置清洁用品储存场所、员工休息室、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房；

d) 对于综合性的核医学科，部分功能用房和辅助用房可以共同利用；

e) 正电子药物制备工作场所至少应包括回旋加速器机房工作区、药物制备区、药物分装区及质控区等。

5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。控制区一般包括使用非密封源核素的房间（放射性药物贮存室、分装及（或）药物准备室、给药室等）、扫描室、给药后候诊室、样品测量室、放射性废物储藏室、病房（使用非密封源治疗患者）、卫生通过间、保洁用品储存场所等。监督区一般包括控制室、员工休息室、更衣室、医务人员卫生间等。应根据 GB18871 的有关规定，结合核医学科的具体情况，对控制区和监督区采取相应管理措施。

5.2 放射防护措施要求

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

5.2.2 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为 I、II、III 三类。不同类别核医学科用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表 7-3。

表 7-3 不同核医学科用房室内表面及装备结构的基本方式防护要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^a	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备

^a 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。

^b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

核医学科分类见表 7-4。

表 7-4 核医学科分类一览表

分类	操作最大量放射性核素的加权活度 (MBq)
I	> 50000

II	50—50000
III	<50

核医学科分类的加权活度计算方法如下：

$$\text{加权活度} = \frac{\text{计划的日操作最大活度} \times \text{核素的毒性权重因子}}{\text{操作性质修正因子}}$$

核医学常用放射性核素的毒性权重因子相关参数见表 7-5，不同操作性质的修正因子取值见表 7-6。

表 7-5 核医学常用放射性核素的毒性权重因子

类别	放射性核素	核素的毒性因子
A	⁷⁵ Se、 ⁸⁹ Sr、 ¹²⁵ I、 ¹³¹ I	100
B	¹¹ C、 ¹³ N、 ¹⁵ O、 ¹⁸ F、 ⁵¹ Cr、 ⁶⁷ Ge、 ^{99m} Tc、 ¹¹¹ In、 ¹²³ I、 ²⁰¹ Tl	1
C	³ H、 ¹⁴ C、 ^{81m} Kr、 ¹²⁷ Xe、 ¹³³ Xe	0.01

表 7-6 不同操作性质的修正因子

操作方式和地区	操作性质修正因子
贮存	100
废物处理 闪烁法计数和显像 候诊区及诊断病床区	10
配药、分装及施给药 简单放射性药物制备 治疗病床区	1
复杂放射性药物制备	0.1

5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1 核医学科控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5μSv/h，控制区内屏蔽体外表面 0.3 m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h，宜不大于 2.5μSv/h；核医学科的分装柜或生物安全柜，应采取一定的屏蔽防护，以保证柜体外表面 5cm 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 25μSv/h；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。

8 医用放射性废物的放射防护管理要求

8.1 放射性废物分类，应根据医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等，将放射性废物进行分类收集和分别处理。

8.2 设废物储存登记表，记录废物主要特性和处理过程，并存档备案。

8.3 放射性废液衰变池应合理布局，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，并

有防泄漏措施。

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

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

8.6 污物桶内应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,及时转送存储室,放入专用容器中存储。

8.7 对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物,应先装入利器盒中,然后再装入专用塑料袋内。

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

8.9 储存场所应具有通风设施,出入口设电离辐射警告标志。

8.10 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器应安全可靠,并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。

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

三、《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)

7.1.2 应从源头控制,减少放射性废物的产生,防止污染扩散。

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

7.1.4 应做好废物产生、处理、处置(包括排放)的记录,建档保存。

7.2.1 不得将放射性废液排入普通下水道;不允许利用生活污水系统洗涤被放射性污染的物品。

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

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

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

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

四、《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)

该标准适用于医疗机构污水排放的控制,医疗机构建设项目的环境影响评价、环境保护设施设计、竣工验收及验收后的排放管理。

4.1.2 县级及县级以上或 20 张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表 2 的规定。直接或间接排入地表水体和海域的污水执行排放标准,排入终端已建有正常运行城镇污水处理厂的下水道的污水,执行预处理标准。

5.4 医疗机构的各种特殊排水应单独收集并进行处理后,再排入医院污水处理站。

5.4.1 低放射性废水应经衰变池处理

表 2 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放标准(日均值)

序号	控制项目	排放标准	预处理标准
23	总 α (Bq/L)	1	1
24	总 β (Bq/L)	10	10

6.1 污水取样与及监测

6.1.1 应按规定设置科室处理设施排出口和单位污水外排口,并设置排放口标志。

6.1.2 总 α 、总 β 在衰变池出口取样监测。

五、《医院污水处理技术指南》(环发[2003]197号)

7.1 放射性废水来源

放射性废水主要来自诊断、治疗过程中患者服用或注射放射性同位素后所产生的排泄物,分装同位素的容器、杯皿和实验室的清洗水,标记化合物等排放的放射性废水。

7.2 放射性废水的水质水量和排放标准

7.2.1 放射性废水浓度范围为 $3.7 \times 10^2 \text{Bq/L} \sim 3.7 \times 10^5 \text{Bq/L}$ 。

7.2.2 废水量为 100~200L/床.d。

7.2.3 医院放射性废水排放执行新制定的《医疗机构污染物排放标准》规定:在放射性污水处理设施排放口监测其总 $\alpha < 1 \text{Bq/L}$, 总 $\beta < 10 \text{Bq/L}$ 。

7.3 放射性废水系统及衰变池设计

7.3.1 放射性废水应设置单独的收集系统,含放射性的生活污水和试验冲洗废水应分开收集,收集放射性废水的管道应采用耐腐蚀的特种管道,一般为不锈钢管道或塑料管。

7.3.2 放射性试验冲洗废水可直接排入衰变池,粪便生活污水应经过化粪池或污水处

理池净化后再排入衰变池。

7.3.3 衰变池根据床位和水量设计或选用。

7.3.4 衰变池按使用的同位素种类和强度设计，衰变池可采用间歇式或连续式。

7.3.5 间歇式衰变池采用多格式间歇排放；连续式衰变池，池内设导流墙，推流式排放。衰变池的容积按最长半衰期同位素的 10 个半衰期计算，或按同位素的衰变公式计算。

7.3.6 衰变池应防渗防腐。

7.4 监测和管理

7.4.1 间歇衰变池在排放前监测；连续式衰变池每月监测一次。

7.4.2 收集处理放射性污水的化粪池或处理池每半年清掏一次，清掏前应监测其放射性达标方可处置。

本项目放射性废水处理设施由 2 个并联的衰变池组成，本项目只有 ^{18}F 病人会进行注射后候诊，其余核素治疗人员在核医学科均不驻留，衰变池总有效容积满足放射性废水中最长半衰期核素贮存 10 个半衰期的要求。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置和场所位置

宁波大学附属人民医院位于浙江省宁波市鄞州区百丈东路 251 号，医院地理位置见附图 1。

本项目位于住院综合楼，住院综合楼位于医院西侧，核医学科工作场所位于住院综合楼一层，工作场所具体位置详见附图2。

8.2 辐射环境质量现状评价

1、监测目的

本次监测目的为了解项目拟建地及周围辐射环境背景水平。

2、监测项目

X- γ 空气吸收剂量率、 β 射线表面污染。

本项目 ^{18}F 为非挥发性核素，且无放射性废液排出，但会产生一定量的放射性废水，主要来源于服药患者的排泄物以及工作场所清洗废水等，有专用下水道通往衰变池，故未对大气、水体、土壤等环境介质中的 ^{18}F 进行监测。

3、监测方法

依据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）的要求和方法进行现场监测。在核医学科运行间隙进行监测。

4、监测点位

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）有关布点原则进行布点，共计布点 12 个，分别布置于住院综合楼核医学科场地及周围建筑物。监测点位详见图 8-1。

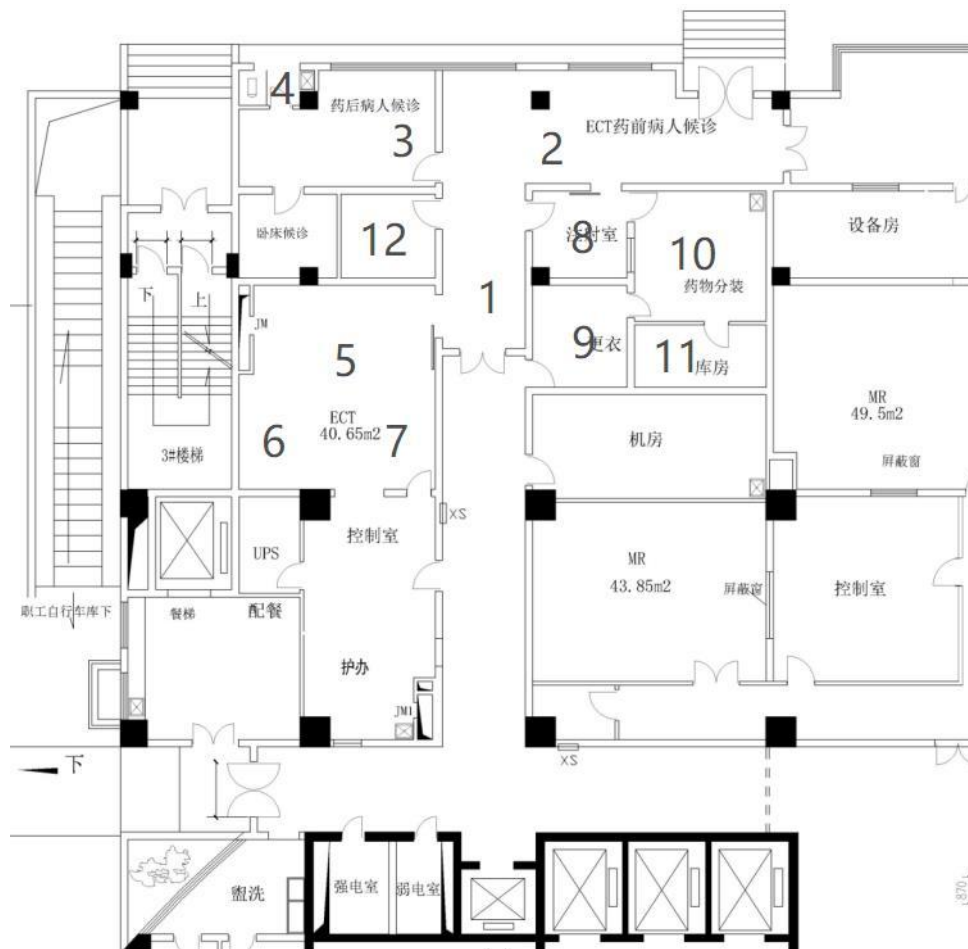


图 8-1 项目拟建场址本底监测点位图

5、监测仪器

监测仪器的参数详见表 8-1 和表 8-2。

表 8-1 X-γ射线巡测仪参数

仪器型号	FH 40G-L10+ FHZ 672E-10
仪器名称	便携式 X、γ 辐射周围剂量当量率仪
生产厂家	Thermo SCIENTIFIC
仪器编号	05035404
能量范围	30KeV~4.4MeV
量程	10nSv/h~100mSv/h,100nSv~1Sv
检定单位	上海市计量测试技术研究院
校准证书	2021H21-10-3059578001
校准日期	2021 年 02 月 26 日

表 8-2 表面污染仪参数

仪器型号	LB 124
仪器名称	α、β 表面污染仪
生产厂家	BERTHOLD

仪器编号	05032686
能量范围	/
量 程	/
检定单位	上海市计量测试技术研究院
校准证书	2020H21-20-2531501001
校准日期	2020年06月08日

6、监测单位

浙江建安检测研究院有限公司

7、监测时间

2021年5月19日

8、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。
- 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，经过校核、审核，最后由技术总负责人审定。

9、监测结果

本项目辐射工作场所拟建场址辐射环境监测结果详见表 8-3 及表 8-4。

表 8-3 核医学科场所及周围空气吸收剂量率检测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果 (nGy/h)	
		测量值	标准差
1#	核医学科过道	148	1
2#	ECT 药前病人候诊区	162	1
3#	ECT 药后病人候诊区	168	1
4#	ECT 药后病人候诊区卫生间	274	2
5#	ECT 机房内 (1)	179	2
6#	ECT 机房内 (2)	181	1
7#	ECT 机房内 (3)	182	2
8#	注射室	235	1
9#	更衣室	143	1
10#	药物分装室	237	2
11#	库房	204	2
12#	办公室	143	2

附注：1、测量时探头距地面约 1m；2、所有测量值均未扣除宇宙射线，宇宙射线为 30nGy/h，每个检测点测量 10 个数据取平均值；3、测量值经校准因子修正。

表 8-4 核医学科场所及周围 β 表面污染检测结果

序号	检测点位置	检测结果 (Bq/cm ²)
1#	核医学科过道	<0.25
2#	ECT 药前病人候诊区	<0.25
3#	ECT 药后病人候诊区	<0.25
4#	ECT 药后病人候诊区卫生间	6.55
5#	ECT 机房内 (1)	<0.25
6#	ECT 机房内 (2)	<0.25
7#	ECT 机房内 (3)	<0.25
8#	注射室	<0.25
9#	更衣室	<0.25
10#	药物分装室	<0.25
11#	库房	<0.25
12#	办公室	<0.25

注：1、所列检测值均已扣除本底值，本底值为<0.25Bq/cm²；

2、0.25Bq/cm²为 CoMo170 型α、β表面污染仪/05032686 探测下限。

由表 8-3 检测结果可知，本项目核医学科内各监测点位的γ辐射剂量率在 14.3~27.4×10⁻⁸Gy/h 之间（Sv 与 Gy 换算因子保守取 1），处于正常波动范围内。由表 8-4 检测结果可知，本项目核医学科场所控制区表面污染检测结果均低于 40Bq/cm²，监督区表面污染检测结果均低于 4Bq/cm²，个别点位（ECT 药后病人候诊区卫生间）已存在表面污染，但仍处于控制区正常范围内。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工程分析

本项目拟改造的核医工作场所位于医院原有的住院综合楼一层。

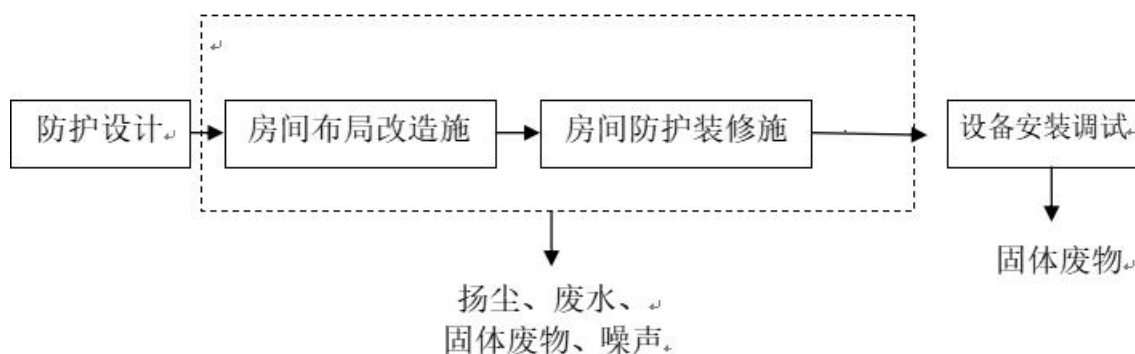


图 9-1 施工期工艺及产污环节图

本项目施工期污染物主要包括：

（一）扬尘

由于本项目施工期工程量较小，均为防护改造和装修装饰，故产生扬尘量较小。建设单位应加强施工场地管理，施工采取湿法作业，尽量降低建筑粉尘对周围环境的影响，现场堆积建筑原料或建筑垃圾应采取一定的遮盖措施，避免风力扬尘。

（二）噪声

施工期噪声包括各类机械、运输车辆的噪声以及土建施工产生的噪声，由于施工范围小，施工噪声对周围环境的影响较小。施工设备应考虑选择低噪音设备，施工过程防止机械噪声的超标。

（三）废水

施工期产生的废水主要包括施工废水和施工人员的生活污水，施工废水循环使用，生活污水产量较小，可依托医院现有化粪池等生活污水处理设施处理后纳入市政污水管网，不得随意排放。

（四）固体废物

装修过程中产生的装修垃圾和施工人员产生的生活垃圾可依托市政垃圾收运系统收集处理。施工产生的废弃物应妥善保管，及时回收处理。核医学科内拟拆除的设施去污后经监测满足表面污染解控水平（ $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）经审管部门确认或批准后方可进行拆除施工。本项目放射性固体废物在监测满足相关要求后回收处理。

9.2 工程设备和工艺分析

本项目核医学科拟配置 7 名辐射工作人员，均为原有辐射工作人员。其中核素分装注射共 3 人，轮岗操作；PET/CT 配置医生 2 人，负责显像诊断、阅片，技师 2 人，负责设备操作和摆位，各工作人员不与其他核素诊疗项目人员交叉使用。

一、非密封放射性物质

本项目主要使用的非密封放射性物质有 ^{18}F （PET/CT 显像）。

（1）性能参数和计划工作量

本项目使用的 ^{18}F 根据病人的需要使用手动分装仪分装。使用的放射性同位素均按照每日用量提前订购，运输到医院后当日可在源库暂存，不贮存。

本项目核素的性能参数见表 9-1，计划工作量见 9-2。

表 9-1 本项目放射性同位素的性能参数

核素	半衰期	衰变类型及分支比 (%)	主要 α 、 β 辐射能量 (keV)	主要 γ 、X 射线能量 (keV)	空气比释动能率常数 ($\text{R}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{mCi}^{-1}$)
^{18}F	109.7min	EC (3.27) β^+ (96.73)	640	511	5.7

表 9-2 本项目放射性同位素的计划工作量

核素	每人平均用量	日最大检查诊疗人数	年最大检查（治疗）人数	日最大用量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途
^{18}F	$3.70\times 10^8\text{Bq}$ (10mCi)	20 人	5000 人(每周 5 天, 年 50 周)	7.4×10^9	1.85×10^{12}	PET 显像检查

二、核医学科 PET/CT 诊断工作原理及工作流程

PET/CT (Positron Emission Tomography and Computer TOMO graphy)，全称正电子发射断层与计算机断层诊断技术，是在 PET (Positron Emission TOMO graphy) 和 CT(Computer TOMO graphy) 的基础上发展起来的新设备，充分结合了 PET 高灵敏度和 CT 高分辨率的优势。其原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，藉此诊断疾病，又称为生化显像或功能分子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术；同时结合应用高档多排 CT 技术进行精确定位，可精确地提供靶器官的解剖和功能双重信息，并

能够独立完成多排螺旋 CT 的临床显像，大大提高临床使用价值。

PET/CT 扫描系统主要由扫描仪、显像床、电子柜、操作工作站、分析工作站和影像硬拷贝等组成，它是决定图像质量的基础。CT 扫描仪位于 PET 扫描仪的前方，两者组合在一个机架内，后配 PET、CT 融合对位工作站，一次成像同时完成 CT 及 PET 扫描。本项目医院核医学科拟配置的 PET/CT，型号尚未确定，仅确定其中使用的 CT 最大管电压不超过 150kV，电流不超过 1000mA。



图 9-2 PET/CT 外观

本项目 PET 显像诊断采用 ^{18}F 放射性同位素标记，同位素从专业放射性同位素供货商购买，购买规格为铅罐罐装，由医院采用手动分装仪自行分装。

(3) 工作流程及产污环节分析

核医学科 PET/CT 主要工作流程如下：

- ①接收患者，并告知患者诊断过程存在辐射危害；
- ②医生根据病情确定使用核素的类别和剂量；
- ③病人通过注射将放射性药物摄入。在药品摄入过程中存在 γ 射线污染，同时会产生放射性废水、固废(注射器、棉球、一次性手套等)；
- ④病人摄入药品后通过仪器进行器官显像和诊断，在此过程中病人带有 γ 射线；
- ⑤病人由出行通道离开。

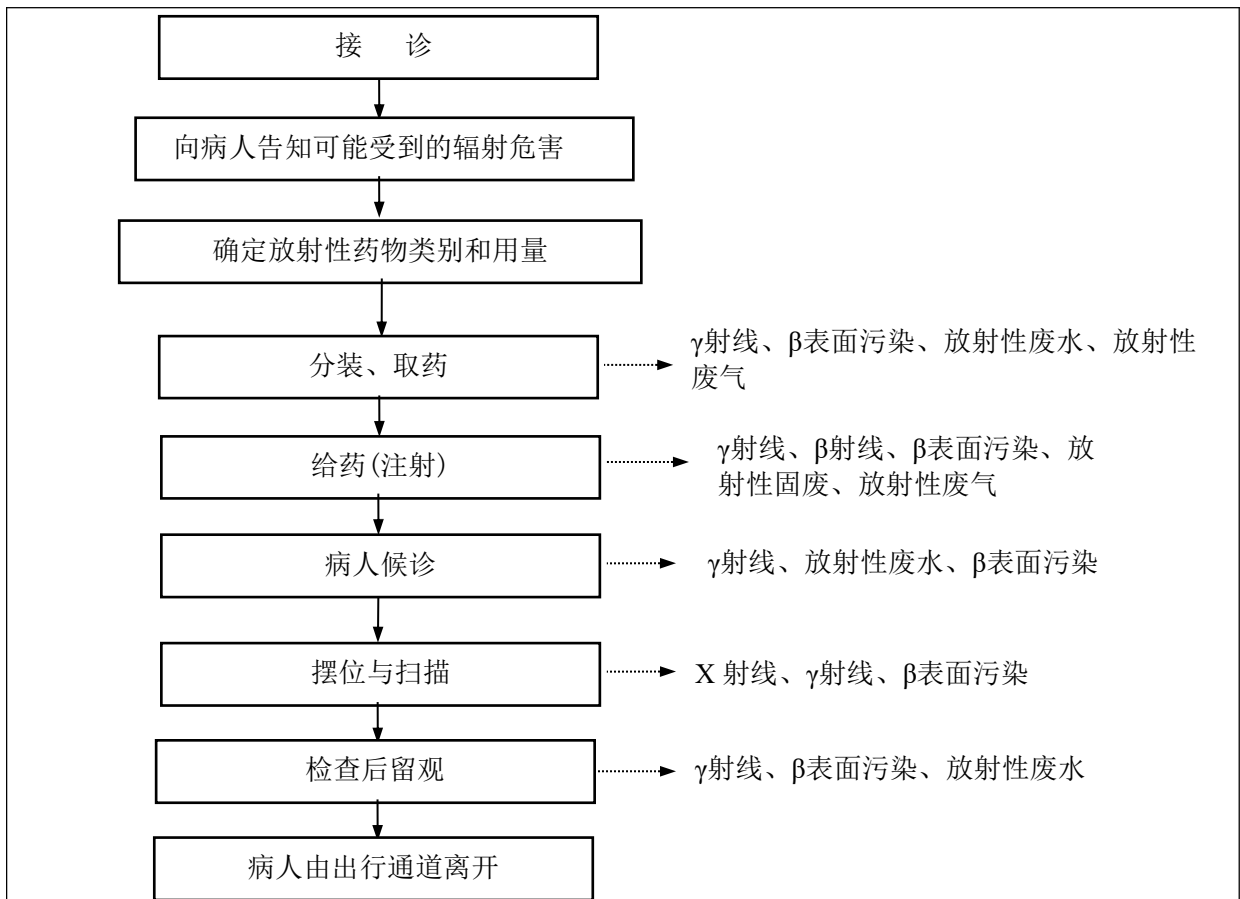


图 9-3 核医学科诊断工艺流程及产污位置图

因此，用 ^{18}F 等核素标记项目污染因子是： γ 射线、 β 表面污染、放射性废水和放射性固废、放射性废气。

(4) PET 配套用 CT

由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。因此，CT 装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，X 射线成为污染环境的主要因子。

(5) 人流、物流路径规划

① 患者路径

显像检查病人通过核医学科南侧进入核医学科，在给药前候诊区接受问诊、宣教，根据叫号进入核医学科放射诊疗工作场所，核素显像检查的病人注射后前往相应候诊室休息、候诊，然后进入机房接受检查，PET/CT 显像检查病人在完成扫描后需进行留观，确认无需进行二次扫描的患者可直接由东北侧门离开核医学科，核医学科北侧为地上一层室外区域，该区域人流量较少。

核医学科病人通道出入口和工作人员通道出入口分开设置，核医学科区域进出防护

门拟设置门禁系统，允许医护人员在必要时进入放射性工作区，只允许单向通行，防止给药后患者进入非放射工作区，或无关人员进入放射性工作区。

②医护人员路径

核素操作人员、PET/CT 设备操作人员均由核医学科南侧医护人员通道进入核医学科，其中核素操作人员通过卫生通过间进入分装注射室进行施药；设备操作人员进入机房控制室进行显像扫描。

本项目放射工作人员工作结束后均按原路返回，离开核医学科。

本项目拟设置的卫生通过间内拟设置更衣、淋浴及放射性表面污染检测功能，相关工作人员拟经卫生通过间更衣后方可进入放射工作场所，工作结束仍需经卫生通过间淋浴更衣，检测放射污染合格，才能回到非放射工作场所。

③放射性药物路径

按照建设单位与送药单位的协定，药物配送人员每天上班前从核医学北侧病人出口进入核医学科将预定的放射性药物送至储源室内，并由专人进行交接，交接过程均在监控下进行，医院拟制定放射性药物管理制度，做好放射性药物的台账管理。

④污物路径

分装注射室、PET 候诊室、PET 留观室各设 1 个脚踏式铅桶，废物间设置 1 个衰变箱，放射性固废经分类收集后转至废源室的衰变箱衰变十个半衰期以上，经检测符合排放标准后，选择在下班后无病人时段，送至医院医疗废物库集中收集后按医疗废物处置。

9.3 污染源项描述

9.3.1 正常工况下污染源项描述

本项目 PET/CT 显像使用 ^{18}F 核素标记。

① β 射线和 γ 射线： ^{18}F 发射的正电子与负电子相结合，能产生湮没 γ 光子辐射，能量为 0.511MeV。因此 γ 射线是 PET/CT 显像过程主要污染因子。

②表面污染：由于操作过程可能会对工作台、地面造成放射性表面污染。

③放射性废气： ^{18}F 为非挥发性核素，少量放射性废气。

④放射性废水：使用过程不产生放射性废液，但会产生一定量的放射性废水，主要来源于服药患者的排泄物以及工作场所清洗废水等。PET/CT 候诊室及留观室设有患者专用卫生间，有专用下水道通往衰变池。

⑤放射性固废：放射性固体废物主要来源于患者使用的一次性注射器、药棉、纱布、

手套、破碎杯皿及污染地面的物品等。

因此，用 ^{18}F 核素标记显像诊断项目评价因子是： γ 射线、 β 表面污染、放射性废水和放射性固废。

(3) 放射性废水源强

本项目核医学科放射性废水主要为核素操作人员淋洗废水、患者候诊或留观期间产生的如厕废水以及工作场所清洗废水。本项目核医学科均为门诊治疗，病人在核医学科停留时间短，采用节水型洁具。医院核医学科每日门诊按最大检查病人量 20 人计，每年则 5000 人次。参考《建筑给水排水设计规范》（GB50015-2015），门诊患者每人每次用水定额取 10L，排水系数取 0.8，则患者就诊每年产生放射性废水 40m^3 。工作人员在完成一天的分装、注射工作后需进行污染监测，并进行去污清洗而产生放射性废水，同时工作场所需进行场所清洗，每天清洗废水产生量约 200L，每年工作 250 天，则每年产生的清洗废水约 50m^3 。因此本项目核医学科工作场所废水产生量为 $90\text{m}^3/\text{a}$ ，平均 $0.36\text{m}^3/\text{d}$ （以 250 天计）。

(4) 放射性固废源强

放射性固体废物主要为注射器、针头、手套、药棉、纱布、破损杯皿、擦拭污染地面的物品、一次性杯子以及废气处理更换的废活性炭等。

根据本项目开展方案，PET (^{18}F) 诊断每年为 5000 人次。类比同类型医院，患者门诊诊疗过程放射性固废产生量约 $0.05\text{kg}/\text{人次}$ ，经估算，PET 诊断过程产生的放射性固废为 $250\text{kg}/\text{年}$ 。

本项目废气排放口设置有 2 套活性炭过滤装置，活性炭填装量分别为 50kg、100kg，平均每半年更换一次，则废活性炭每年产生量为 300kg。

9.3.2 非正常工况污染源项描述

(1) 核医学科非正常工况源项

①PET/CT 机房门灯联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房，对人员造成误照射。

②由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因致使放射性药物撒漏，造成意外照射和辐射污染。

③由于未锁好核医学科进出口的大门或取用药物后未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射性药剂丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 辐射工作场所布局

本项目核医学科位于住院综合楼一层（该楼地下 1 层，地上主楼共 22 层）。楼下为自行车库、仓库和停尸间，楼上为检验中心。核医学科东侧为放射科用房，南侧为过道西侧和北侧均为室外院内道路。

核医学科工作场所由放射性区域和非放射性区域组成，非放射性区域主要包括控制室、注射前候诊区、护士站、医生办公室、设备机房等，放射性区域主要包括PET/CT 机房、给药后候诊区、药物分装室、源库、废物间、留观室、卫生通过间等。

衰变池设置在住院综合楼西北侧室外道路地面以下。辐射工作场所放射性废水经埋地耐腐蚀和防护屏蔽的管道接入到衰变池。源库位紧邻分装室，通风橱设置单独排风管道，风速不低于 0.5m/s，经离心风机抽至住院综合楼屋顶排放，排放口设置活性炭吸附装置，废气经活性炭吸附处理后排放。

核医学科工作场所控制区走廊出入口防护门设置有门禁系统，PET/CT 显像诊断区域药物分装、注射与扫描检查分开，注射后等候室内设有注射后病人专用卫生间，项目设置有源库和放射性衰变池，设有独立的通风系统，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中关于临床核医学科对于布局的要求以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GBZ11930-2010）中关于安全操作的要求。

10.1.2 放射性废水衰变池选址合理性分析

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“源的选址与定位”的规定：

9.3.2.1 为具有大量放射性物质和可能造成这些放射性物质大量释放的源选择场址时，应考虑可能影响该源的辐射安全的各种场址特征和可能受到该源影响的场址特征，并应考虑实施场外干预（包括实施应急计划和防护行动）的可行性。

9.3.2.2 在确定装置和设施（例如医院和制造厂）内的小型源的位置时，应考虑：

- a) 可能影响该源的安全和保安的因素；
- b) 可能影响该源引起职业照射和公众照射的因素，包括诸如通风、屏蔽、距人员活动区的距离等；
- c) 考虑了上述因素后工程设计上的可行性。

据此，国家只对“具有大量放射性物质和可能造成这些放射性物质大量释放的源”应考虑场址特征的规定，对其它源的选址未作明文规定，而医院内的小型源更关注辐射安全防护和工程设计的可行性。本项目在正常运行和事故工况下，均不会造成大量放射性物质释放。因此，本次环评仅针对衰变池的选址在辐射安全防护、工程设计及日常管理可行性进行分析其选址可行性。

根据医院提供的图纸资料，本项目沿用医院核医学科原有衰变池，放射性废水处理设施设置在住院综合楼西北侧室外道路地面下。放射性废水处理间由混凝土浇筑而成，处理间内放置2个并联衰变池，衰变池顶棚采用混凝土防护，可确保辐射防护安全。处理间上方设置有检修口，便于处理间内衰变池自动控制系统、衰变池池体、水泵、管道维修及监督检查。医院拟为本项目衰变池设置液位传感器和压力传感器，自动切换废水收集和排放，且拟设置手动排放装置，便于自动排放系统出现故障时可保证废水的正常排放。废水出口设置有自动取样检测系统，并设置阈值报警装置，阈值报警后废水每次排放前均自动取样检测合格后方可排放，同时每个衰变池均设有人工取样口，便于监督检查。医院拟为本项目衰变池安装监控系统，拟设置于核医学科医生办公室，可实现远程操控和远程监控。本项目放射性废水管道拟重新布设，拟采用镀锌钢管并用1.5mmPb防护涂料包裹进行屏蔽防护，放射性废水可通过重力引流至衰变池内。衰变池位于核医学科楼下，可以最大程度上缩短放射性废水收集管线距离，有利于辐射防护与安全。处理间基坑在工程设施可与负一层整体基坑一并施工，整体支护，在施工工艺和工程设计上是可行的。

本项目衰变池拟设置的自动取样检测系统拟每年定期进行校准。

综上所述，本项目放射性废水处理系统设置在住院综合楼一层在辐射安全防护、工程设计及日常管理等方面是可行的。衰变池位置及结构图详见附图8和附图9。

10.1.3 非密封放射性物质工作场所分级、分类和分区管理

(1) 非密封放射性物质工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录C提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法（日等效最大操作量计算公式为：日等效最大操作量=日最大操作量×毒性组别修正因子/操作方式修正因子），可以计算出各核素的日等效最大操作量。计算得到本项目改建后核医学科的各核素的日等效操作量及分级结果见表10-1。

表 10-1 非密封源工作场所的分级

序号	核素名称	日最大操作量 (Bq)	毒性因子	操作因子	日等效操作量 (Bq)	工作场所分级
1	¹⁸ F	7.4E+09	0.01 (低毒)	10 (很简单的操作)	7.4E+06	最大日等效操作量合计: 9.66 × 10 ⁸ Bq 乙级
2	⁸⁹ Sr	1.48E+08	0.1 (中毒)	1 (简单的操作)	1.48E+07	
3	¹⁵³ Sm	1.85E+09	0.1 (中毒)	1 (简单的操作)	1.85E+08	
4	³² P	1.85E+08	0.1 (中毒)	1 (简单的操作)	1.85E+07	
5	¹³¹ I	7.4E+09	0.1 (中毒)	1 (简单的操作)	7.4E+08	

注：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）规定：医疗机构使用 ¹⁸F 相关活动视为“很简单的操作”。

由上表可知，本项目工作场所日等效最大操作量为 9.66×10⁸Bq，根据 GB18871-2002 非密封源工作场所的分级原则，本项目属于乙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 非密封放射性物质工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）对核医学科场所具体分类办法，本评价项目使用的放射性核素加权活度见表 10-2。

表 10-2 非密封放射性物质（核素）加权活度

工作场所	核素	计划日操作最大活度 (Bq)	毒性权重因子	操作修正因子	核素加权活度 (Bq) ②	场所加权活度 (Bq) 及分类
分装注射室	¹⁸ F、 ⁸⁹ Sr、 ¹⁵³ Sm、 ³² P、 ¹³¹ I	1.7×10 ¹⁰	1	1	1.7×10 ¹⁰	1.7×10 ¹⁰ (II类)
源库	¹⁸ F、 ⁸⁹ Sr、 ¹⁵³ Sm、 ³² P、 ¹³¹ I	1.7×10 ¹⁰	1	100	1.7×10 ⁹	1.7×10 ⁹ (II类)
废物间	¹⁸ F、 ⁸⁹ Sr、 ¹⁵³ Sm、 ³² P、 ¹³¹ I	1.7×10 ⁸	1	100	1.7×10 ⁶	1.7×10 ⁶ (II类)
PET/CT 检查室 PET/CT 候诊区	¹⁸ F	7.4×10 ⁹	1	10	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁸ (II类)
留观室	¹⁸ F	7.4×10 ⁹	1	10	7.4×10 ⁸	7.4×10 ⁸ (II类)

注：1、加权活度=（计划的日操作最大活度×核素的毒性权重因子）/操作性质修正因子；2、操作放射性核数的最大加权活度 > 5×10¹⁰Bq 的为 I 类临床核医学科，操作放射性核数的最大加权活度 5×10⁷~5×10¹⁰Bq 的为 II 类临床核医学科。

本项目核医学科工作场所均属于 II 类工作场所，对照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中关于“按不同级别工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求”，各类工作场所要求见下表 10-3。

表 10-3 按不同级别工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^a	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b

注^a: 下水道宜短, 大水流管道应有标记以便维修检测。
 b: 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

医院应按表 10-3 的要求, 在辐射工作区的地面采取易清洁、不易渗透的材料, 如 PVC 胶; 墙面采取易清洁不易渗透的瓷砖, 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; 含放射性废液的排水管道在满足需要的情况下, 尽量缩短管道长度, 并做有标记。

(3) 分区管理

①分区原则

为了便于加强管理, 切实做好辐射安全防范工作, 按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的要求, 在辐射工作场所内划出控制区和监督区, 在项目运营期间采取分区管理措施。

控制区: 在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散, 以及在一定程度上预防或限制潜在照射, 要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志, 并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序(如进入控制区的工作许可证)和实体屏蔽(包括门锁和联锁装置)限制进出控制区, 放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

监督区: 未被确定为控制区, 正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施, 但要不断检查其职业照射状况的区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标记; 并定期检查工作状况, 确认是否需要防护措施和安全条件, 或是否需要更改监督区的边界。

②控制区和监督区划分情况

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施, 项目建设单位应做到:

A、控制区防护手段与安全措施

- a、控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志；
- b、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；
- c、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；
- d、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；
- e、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。

B、监督区防护手段与安全措施

- a、以黄线警示监督区的边界；
- b、在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；
- c、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。

本项目核医学科的控制区和监督区划分情况见附图 10。

表 10-4 本项目核医学科控制区和监督区划分情况

场所	控制区	监督区
住院综合楼一层核医学科	患者走廊、PET/CT机房、注射后候诊区及专用卫生间、分装注射室、源库、废物间、留观抢救室、卫生通过间	控制室、医生走廊、医生办公室

10.1.4 辐射工作场所屏蔽设计

(1) 辐射工作场所屏蔽设计

根据医院提供的辐射防护设计，本项目核医学科辐射防护屏蔽设计参数表见表 10-5。

表 10-5 辐射工作场所屏蔽设计方案

场所名称	屏蔽体	屏蔽防护现状
PET/CT 机房	墙体	24cm 实心粘土砖+4cm 硫酸钡水泥
	顶棚	10cm 砼+4cm 硫酸钡水泥
	地坪	30cm 砼
	观察窗	8mmPb 铅玻璃
	防护门	4mm 铅板
候诊室	墙体	24cm 实心粘土砖+4cm 硫酸钡水泥
	顶棚	10cm 砼+4cm 硫酸钡水泥
	地坪	30cm 砼
	防护门	4mm 铅板
留观室	墙体	24cm 实心粘土砖+4cm 硫酸钡水泥
	顶棚	10cm 砼+4cm 硫酸钡水泥
	地坪	30cm 砼

	防护门	4mm 铅板
卫生间	墙体	24cm 实心粘土砖+4cm 硫酸钡水泥
	顶棚	10cm 砼+4cm 硫酸钡水泥
	地坪	30cm 砼
	防护门	4mm 铅板
分装注射室	墙体	24cm 实心粘土砖+4cm 硫酸钡水泥
	顶棚	10cm 砼+4cm 硫酸钡水泥
	地坪	30cm 砼
	注射窗	40mmPb 铅当量铅玻璃
	防护门	4mm 铅板
源库	墙体	24cm 实心粘土砖+4cm 硫酸钡水泥
	顶棚	10cm 砼+4cm 硫酸钡水泥
	地坪	30cm 砼
	防护门	4mm 铅板
废物间	墙体	24cm 实心粘土砖+4cm 硫酸钡水泥
	顶棚	10cm 砼+4cm 硫酸钡水泥
	地坪	30cm 砼
	防护门	4mm 铅板
患者通道	墙体	24cm 实心粘土砖+4cm 硫酸钡水泥
	顶棚	10cm 砼+4cm 硫酸钡水泥
	地坪	30cm 砼
核医学区域进出防护门		8mm 铅板

注：①施工使用的混凝土砖密度 $\geq 2.3t/m^3$ ，实心砖密度 $\geq 1.65t/m^3$ ；硫酸钡防护涂料密度不小于 $3.8g/cm^3$ ，1mmPb 当量等于 1cm 防护涂料。

本项目核医学科改造各功能用房四侧墙体拟采用实心砖墙+防护涂料进行屏蔽防护。防护涂料为硫酸钡防护涂料，密度不低于 $3.8g/cm^3$ ，当墙面防护涂料防护厚度大于3cm 时采取在墙体两面粉刷的形式，减少墙体单面的粉刷厚度。采用以上形式的防护措施，即做到选材最优亦能够保证满足屏蔽防护性能的需求和空间利用需求。

本项目 PET/CT 属 III 类射线装置，其机房有效使用面积及屏蔽设计满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关要求。

表 10-6 射线装置机房有效使用面积和最小单边长度一览表

机房	拟设置情况		标准要求		符合性评价
	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m ²)	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m ²)	
PET/CT 机房	6.3	45.3	4.5	30	符合

表 10-7 射线装置机房屏蔽防护设计评价表

机房名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度	折算后铅当量 (mmPb)	标准要求 (mmPb)	是否符合要求
PET/CT 机房 (1 间)	四侧墙体	24cm 实心粘土砖+4cm 硫酸钡水泥	6	2.5	是
	顶棚	10cm 砼+4cm 硫酸钡水泥	5.2		是

	地坪	30cm 砼	3.7		是
	防护门	内衬 4mm 铅板	4		是
	观察窗	8mmPb 当量铅玻璃	8		是

注：混凝土密度取 2.35g/cm³ 核算等效屏蔽厚度，折算铅当量参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中附录 C 中式（C.1）、式（C.2）及表 C.2，得顶棚 100mm 混凝土（主束方向）折算为 1.25mmPb 当量。由于《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中未提供实心砖在 140kV 在非有用线束方向上的拟合参数，无法进行等效铅当量厚度的计算，故参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，实心砖密度取 1.65g/cm³ 核算等效屏蔽厚度，36cm 实心砖折算为 3mmPb 当量。

10.1.5 核医学科辐射安全和防护、环保相关设施

1、辐射安全措施

①PET/CT机房设置门灯联锁装置 1 套，机房与控制室之间拟设置对讲装置与监视器，以对辐射工作场所的情况进行实时监控。

②在PET/CT机房防护门、分装注射室防护门、源库防护门、废物间防护门、通风橱、衰变桶等处设置电离辐射警告标志；在PET/CT机房、分装注射室防护门上方安装工作状态指示灯。

③核医学科进出防护门均设单向门禁（只进不出或只出不进），严禁带药受检者随意进出，严禁无关人员滞留或误入。在PET/CT控制室内拟设有监视和对讲系统；在PET/CT 机房、PET候诊室、留观室、注射窗口、病人走廊处等拟设有监控系统，监控显示屏拟设置在控制室内，以便于控制室工作人员及时掌握病人状态和活动情况，及时发现突发情况并及时进行处理。

④医院：¹⁸F、核素操作在独立的通风橱内进行，通风橱材质主要为铅板，正面为铅玻璃，综合防护当量分别不低于 40mmPb，通风橱通风速率不小于 0.5m/s，设独立排风管道；且工作人员穿戴相应的防护用品。

⑤注射后候诊室及留观室设置患者专用厕所，分装注射室卫生通过间设有清洗和去污设施，放射废水直接流向衰变池。给药后受检者在各自给药后候诊室内进行候诊严禁串门，PET候诊室床位之间设置 240mm砖墙隔开，以防止患者之间相互照射影响，严禁患者在通道内穿行，以避免与其他受检者之间的交叉照射；受检者的排泄、呕吐物等均由受检者专用厕所排放至衰变池内。

⑥淋浴间和注射后候诊室、留观室的卫生间洗手台均设置为感应式水龙头，受检者专用卫生间的便池拟设为感应式节水座便马桶。

⑦源库保险柜拟实行视频监控和双人双锁管理，并做好防火、防盗措施。对于核

素种类、生产单位、活度、出入库使用及注销等，严格登记建档。

⑧射线装置运行过程中，X射线与空气作用会产生少量臭氧、氮氧化物等有害气体，PET机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风。

⑨防护设备与防护用品

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中个人防护用品的配置要求，结合本项目的情况，建设单位拟配置的个人防护用品见表 10-8。

表 10-8 核医学科工作场所拟配置的个人防护用品表

序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
1	通风橱	分装注射室	1 台	40mmPb
2	储源铅罐	分装注射室	2 个	50mmPb 和 20mmPb
3	衰变箱	废源室	1 个	4mmPb
4	脚踏式铅桶	分装注射室、PET 候诊室、留观室	5 个	10mmPb
5	注射器防护套	分装注射室	2 个	¹⁸ F 为 20mmPb 防护套
6	人员立式注射防护车	分装注射室	1 个	20mmPb
7	PET 转运注射罐	分装注射室	1 个	20mmPb
8	注射窗口	分装注射室	1 个	40mmPb 铅玻璃
9	铅提盒	分装注射室	1 个	4mmPb
10	去污工具组	淋浴间	1 套	/
11	PET 机房移动式铅屏风	PET/CT 机房	1 个	20mmPb
12	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	PET/CT 机房	3 套	0.5mmPb
13	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	分装注射室	2 套	0.5mmPb
14	工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	/	按需购买	/

医院拟根据PET/CT使用情况，为本项目重新配置监测仪器，拟配置的监测仪器见表 10-9 所示。

表 10-9 核医学科拟配置的监测仪器一览表

名称	量程参数	数量（台/套）
α/β表面污染仪	α: 0~9999cps, 0.03~10 ⁴ Bq/cm ² β: 0~9999cps, 0.3~10 ⁴ Bq/cm ²	1
便携式 X-γ射线巡测仪	剂量当量率: 0.01μSv/h~300 mSv/h	1
活度计	0~250GBq(6Ci)	2
个人剂量报警仪	剂量当量率: Hp (10) 0.1μSv/h - 99.99mSv/h	3

本项目核医学科运行期间主要污染物为 X- γ 射线、 β 表面污染等，根据项目特点，医院拟配置 α/β 表面污染仪、便携式 X- γ 射线巡测仪，项目配备的监测仪器符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对监测仪器的配置要求。

2、源库的辐射安全措施

①核医学科使用的放射性药物（ ^{18}F 等）应向厂商按需订购，生产厂商根据医院订购合同，按时定量将放射性药物送达核医学科源库，使用时工作人员从源库内拿出，连同铅罐包装放置于通风橱内。

②源库应防火、防盗（保险柜、防盗门、双人双锁、房间内设置视频监控并入科室和 110 监控系统、门口设置红外报警系统和电离辐射标志）。

③应建立放射性药物的出入库登记制度，贮存、领取、使用放射药物时，应当进行登记、检查，做到账物相符。

④应定期检查放射性药物的实际库存数量及贮存场所。

3、放射性表面污染控制

为保证非密封源工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，环评提出以下管理措施和要求：

①放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏；

②操作放射性药物时，须在有负压的通风橱内进行，防止放射性物质飞散；所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。

③放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品。

④操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

4、人员防护措施

人员主要指本项目辐射工作人员、受检者/患者及本次评价范围内其他人员。

（1）辐射工作人员的防护

在实际工作中，为了减少辐射工作人员所受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护、时间防护和距离防护。

①屏蔽防护：将辐射源安置在专用、固定的工作场所内，通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的有害辐射；为核素操作人员配备铅防护手套、铅橡胶围裙等个人防护用品，注射器配备注射防护套。PET 机房内设置移动铅屏风。

②时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

③距离防护：在不影响工作质量的前提下，保持与辐射源尽可能大的距离，使距离最大化。

④本项目核医学所有辐射工作人员均应配备个人剂量计并定期送检，开展职业健康监护并建立个人职业健康监护档案。

(2) 受检者、其他人员的防护

为减少受检者、其他人员的照射剂量，主要采取屏蔽防护、时间防护和距离防护措施。

①屏蔽防护：PET/CT 机房内拟为受检者配备个人防护用品，如铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子等，PET 候诊室床位之间采取 240mm 砖墙隔断，以防止病人间相互照射。

②时间防护：在满足检查要求的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

③距离防护：尽可能增加受检者与射线源的距离，减少受检者的受照剂量。

④ 辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚、门、窗等实体进行屏蔽防护。工作场所周围设置明显的警示、隔离措施，提示其他人员尽可能减少在辐射工作场所周围的停留时间，增大人员与辐射场所之间的防护距离。

5、操作过程中的防护措施

(1) 放射性药品的操作防护

除注射给药外，其余涉及放射性药物的所有操作均在通风橱内进行，通风橱操作台面要求光滑、平整、易于清洗去污。所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。通风橱底部拟设有 10mmPb 废物收集桶，用于暂时收集放射性废物，装满的收集桶置于污物间。

放射性药物在注射过程中医生均要做好个人防护措施，包括穿戴铅衣、铅帽、铅手套和铅围脖等，均具备 0.5mmPb 当量，注射操作台拟采用 40mm 铅当量的铅玻璃防护，并使用注射防护手套。注射操作时，医生（采取相应防护措施）与病人及药物分别位于铅玻璃的两侧。病人注射后进入相应的候诊室等候。

(2) 服药和注射后病人防护措施

首先告知病人及家属辐射可能带来的危害性， ^{18}F 注射病人与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在候诊室内驻留，医院需要划定专门的陪护人员等候区并尽量远离非密封源工作场所，同时要求病人在注射后观察期内及住院期间禁止随意走动，观察期间的呕吐物和排泄物要排入候诊室内专用厕所，最终排入本项目拟建衰变池。

6、内照射防护措施

操作非密封型放射性药物时，液体洒落、挥发泄漏造成地面、工作台面、操作人员衣服、手套和空气等污染，污染的表面一方面成为外照射的辐射源，一方面通过皮肤渗透、呼吸、进食使放射性物质进入体内形成内照射。

为降低内照射对工作场所内辐射工作人员的影响，本项目要求放射性药物暂存、分装、使用均在通风橱中进行，通风橱通风速率不低于 0.5m/s 。分装注射室设有 ^{18}F 显像药物专用通风橱，可以有效降低高活室内空气中的放射性物质浓度。严格规范辐射工作人员工作和生活习惯，禁止在核医学科场所饮食饮水、化妆等；辐射工作人员定期进行培训，严格按照操作规程操作，尽量避免放射性药物撒漏，并经常用湿法清洁台面、地面及设备表面。严格遵守个人卫生制度和安全操作规程，穿戴个人防护用品，如工作服、手套、口罩、帽子、防护眼镜等，防止放射性核素沾染手和体表。辐射工作人员离开核医学科在卫生通过间进行必要的表污监测和污染洗消后才能离开。

10.2 “三废”治理

本项目拟建核医学科使用非密封性同位素过程中会产生放射性固废、放射性废水和放射性废气，医院拟采取以下“三废”治理措施。

(一) 放射性废水

本项目核医学科产生的放射废水包括：工作人员操作过程手部受到微量污染的清洗废水，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水，以及患者冲洗排便用水。

核医学产生的放射性废水均排放至住院综合楼负西北侧地面以下放射性废水处理间的核医学科衰变池内。该衰变池为原有衰变池，由厚的混凝土浇筑而成，上方留有检修口，检修口由盖板封闭。每个衰变池容积为 11m^3 ($2\text{m}\times 2.35\text{m}\times 2.35\text{m}$)，并已配置人工取样口，方便监管取样检测。检修口衰变池上方，衰变池及水泵等设备维护、废水取样检测均可由检修口进入放射性废水处理间进行维护或取样。医院拟为衰变池配置放

射性废水处理系统，终端由触摸屏控制器自动控制，如需反控可进入手动界面，控制器可反应系统故障、报警及排放记录等。

(1) 核医学科放射性废水收集管线

医院核医学科产生的放射性废水通过专门的管道进行统一收集，并埋地管道排入放射性废水处理设施，在放射性废液衰变系统内进行降解、衰变、取样、监测等过程。当衰变后的废水经放射性废液衰变系统的取样监测单元检测达标后（同时需人工取样检测符合排放标准并经审管部门同意或批准后方可排放），排入医院污水处理系统。核医学科废水处理流程示意图见图 10-4。

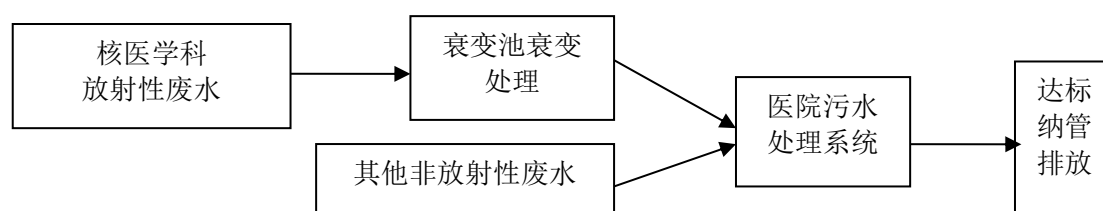


图 10-4 核医学科现有建核医学科废水处理流程示意图

核医学科放射性废水管道均拟重新布置，新废水管道要求抗酸碱、耐腐蚀并有一定防辐射功能。本项目的放射性废水管道拟采用镀锌钢管并用 1.5mmPb 防护涂料包裹进行屏蔽防护。

核医学科放射性废水管线走向见附图 8。

(2) 放射性废液衰变池

放射性废水处理间位于住院综合楼负西北侧地面以下，由混凝土浇筑，为二个并联的相同体积的衰变池，每个容积为 11m³。衰变池进水口设置有生物降解池，废水出口设置有自动取样监测装置，可远程控制取样或每次排放自动取样测量，当浓度高于设定则报警提示。整个衰变组合池采用“槽式”排放，通过阀门切换并联运行，进水管上设电磁阀，出水采用潜水泵压力排出。运行时先关闭第二池进水管上电磁阀，打开第一池进水管上的电磁阀，使废水进入第一池；待第一池达到设计液位后，打开第二池进水管上的电磁阀，关闭第一池进水管上的电磁阀，使废水进入第二池，待第二池达到设计液位后，关闭第二池进水管上的电磁阀，打开第一池潜水泵，将经过衰变后的废水排入医院污水处理站进一步处理。在每个衰变池排放出口设置自动采样监测口和自动监测装置（自动监测辐射剂量率和比活度），任意一衰变池经衰变后的废水需经采样监测符合排放标准后，方可排入医院污水处理站，最后经处理达标后排放纳入市政污水管网。三个

衰变池按照上述程序，轮流反复交替使用。衰变池如图 10-5 所示。

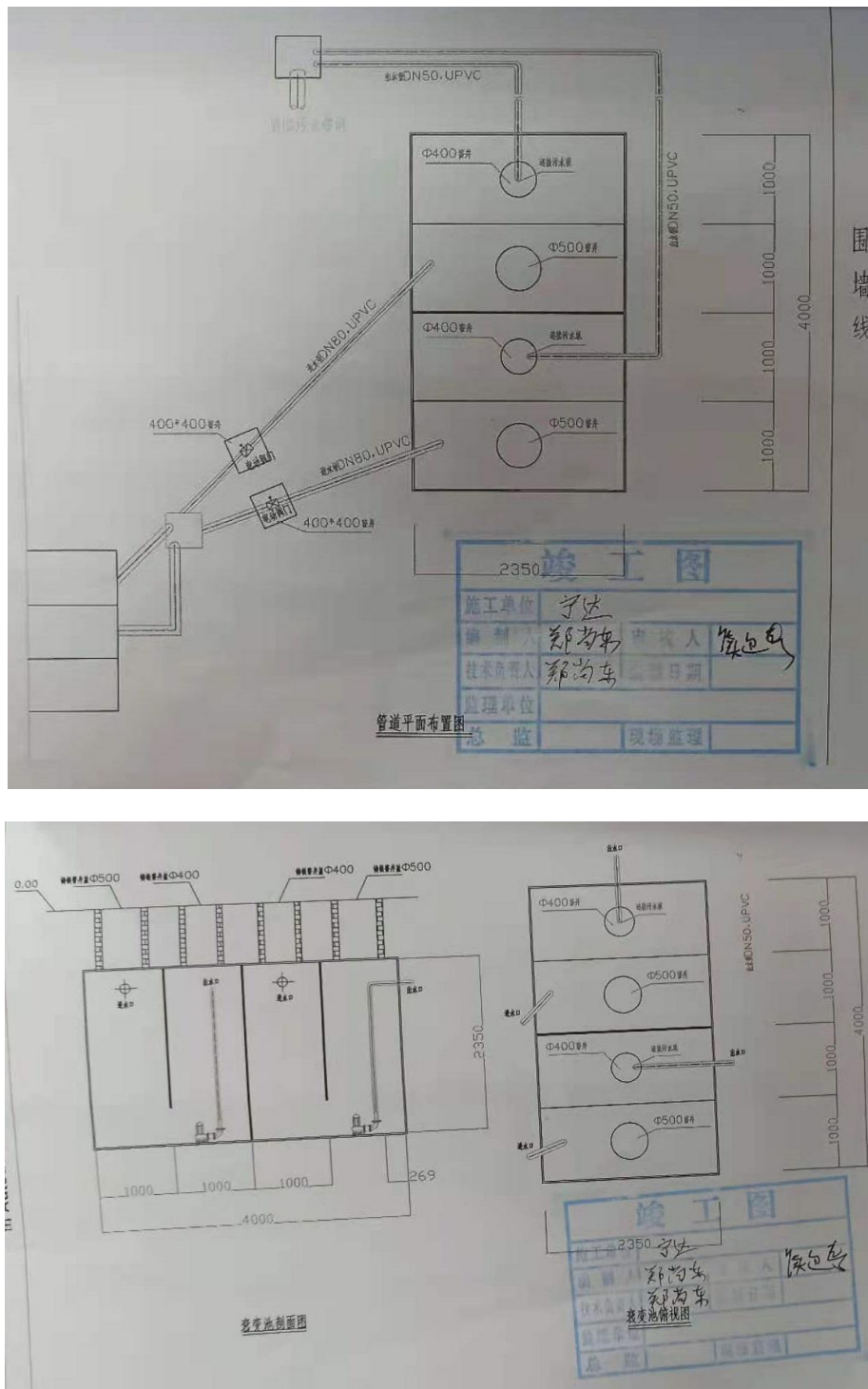


图 10-5 核医学放射性废水衰变池结构示意图

衰变池进水管上的电磁阀和衰变池排水泵采用PLC可编程控制器自动控制。衰变池组的自动化控制系统除能自动控制电磁阀开关及自动启停排水泵外，还能实时监控池内液位状态，水位超过设定正常水位能自动报警，各衰变池的液位、衰变时间自动显示在

电脑的显示屏和控制柜的文本显示器上，并可随时查阅或打印当前和历史的相关记录。

衰变池的管理应做到以下几个方面：

(1) 放射性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。

(2) 规定患者治疗期间使用专用厕所，不得使用其他厕所。

(3) 专用厕所应具备使病人排泄物迅速全部冲洗入池的条件，而且随时保持便池周围清洁。

(4) 每个衰变池设置标准取样检测口，以方便取样检测。

(二) 放射性废气

本项目核医学科排风井位于核医学科南侧，采用竖向风管将核医学科废气排放至住院综合楼楼顶。核医学科排风管道分为2支，1支连接分装室内的通风橱，另外1支连接PET/CT候诊室、源库、废物间、分装注射室、PET/CT机房、病人走廊、留观室。通风管道布置如附图7所示。

核医学科产生的废气经由南侧排风井内单独管道排至住院综合楼楼顶排放。各排风管道内保持负压，拟安装防回流装置，并拟在风机出风段设活性炭吸附装置，活性炭吸附装置对放射性气溶胶吸附效率不小于90%。所使用的活性炭需定期更换，更换下来的活性炭应按放射性固体废物进行处理。

(三) 放射性固废

本项目核医学科运行过程会产生废弃的服药杯子、注射器、棉棒、一次性卫生用品和垫料等放射性废弃物。医院拟将上述放射性固体废物收集于工作场所铅污物桶内专用塑料袋，包装袋显著位置要标明废物类型、收贮时间、核素种类及数量等内容。装满后的专用塑料袋应密封、不破漏，及时转运暂存于废物间的铅衰变暂存容器，让放射性物质自行衰变，待十个以上半衰期后经检测符合排放标准后，按照医疗废物处置。废气处理更换的废活性炭按放射性废物处置，衰变十个以上半衰期经监测符合排放标准后按医疗固废处置。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 施工期环境影响分析

本项目拟改建的核医科工作场所位于原有的住院综合楼一层。

施工期间的污染物主要包括废气、废水、噪声及废弃的装修材料等。

(1) 废气

由工程分析可知，项目施工期废气主要为涂料废气，本评价只对该废气作一般性估算，根据市场调查，涂料废气中有害气体主要为甲醛、二甲苯和甲苯，该废气的排放属无组织排放，排放量较少。污染物产生后，通过通风一段时间后，可稀释扩散，对周围环境不会产生显著影响。

项目装修阶段产生排放甲苯和二甲苯，项目在装修时要采用符合国家标准的室内装饰和装修材料，委托正规的装修公司进行装修，并做好装修后的通排风工作，采取适当措施后，装修期废气影响可得到有效控制。

(2) 废水

项目施工期施工人员主要为施工单位人员，施工人员生活污水，依托主体工程进行处理。污水产生量很少，对环境影响很小。

(3) 噪声

施工期的噪声主要可分为机械噪声、施工作业噪声和施工车辆噪声。在这些施工噪声中对声环境影响最大的是机械噪声，建设期间通过绿化带降噪等措施减少噪声排放强度，可有效控制噪声对周围环境的影响。

(4) 固体废物影响分析

固体废弃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，可依托医院已有的环保设施，经医院垃圾桶收集后定期清运。在施工活动中，应严格禁止影响城市生态环境和随意抛洒垃圾的行为。

本项目主要对核医学科进行改造、装修施工，建筑垃圾主要为墙体装修施工产生少量的建筑垃圾，无土石方产生。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，由施工单位或承建单位与市政部门联系外运至政府部门指定的建筑垃圾堆放场。评价认为施工期的建筑垃圾及生活垃圾均有合适的处置方式，是可行的、合理的，可有效减轻对工程所在地区的不利影响。

(5) 辐射影响分析

本项目放射性固体废物包括拆除的防护门、注射窗和通风橱。核医学科内拟拆除的设施去污后经监测满足表面污染解控水平（ $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ）经审管部门确认或批准后方可进行拆除施工。本项目放射性固体废物在监测满足相关要求后回收处理。

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

11.1.2 设备安装调试期间的环境影响分析

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

11.2 营运期环境影响分析

11.2.1 β 表面污染环境影响分析

为了解项目核医学科运行时工作场所 β 表面污染影响，本次环评类比浙江金华广福肿瘤医院核医学科项目竣工环境保护验收监测数据（浙辐监（YS）字（2016）第113号），由于 β 表面污染与核素种类和核素日等效操作量有关，与工作场所屏蔽防护无关。项目可比性分析详见表11-1，类比对象 β 表面污染监测结果详见表11-2和表11-3。

表 11-1 类比对象可比性分析

		类比项目（浙江金华广福肿瘤医院）	本项目	用途
^{18}F	日等效最大操作量（Bq）	7.40×10^7	5.55×10^6	PET/CT一般器官显像
	年最大使用量（Bq）	2.20×10^{12}	3.48×10^{12}	

表 11-2 类比对象PET/CT工作场所 β 表面污染监测数据

监测场所	点位编号	点位描述	β 表面污染（ Bq/cm^2 ）
控制区	1	PET注射室地面	未检出
	2	PET药物分装柜表面	未检出

	3	注射窗台面	未检出
	4	废物桶表面	未检出
	5	VIP给药候诊室地面	未检出
	6	给药后候诊室地面	未检出
	7	VIP给药后候诊室南走廊地面	未检出
	8	PET/CT机房地面	未检出
监督区	9	PET和ECT工作场所之间走廊地面	未检出
	10	PET/CT机房控制室地面	未检出
	11	病人离开PET工作场所通道地面	未检出
	12	污物间地面	未检出

类比对象制区各监测点和监督区各监测点均未检出β表面污染，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的控制区β表面污染小于 40Bq/cm²，监督区β表面污染小于 4Bq/cm² 要求。类比项目与本项目具有可比性，因此通过类比，可以推测本项目运行时核医学科工作场所监督区和控制区β表面污染符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关标准。

11.2.2 γ 射线辐射环境影响分析

本项目负责PET/CT及¹⁸F操作的人员，不再进行其他核素使用操作。

1、诊疗人数及使用量

PET/CT：¹⁸F，每台检查 20 人次/天，100 人次/周，5000 人次/年，每人使用的核素最大活度为 370MBq(10mCi)。

2、核素操作场所屏蔽体外剂量率计算公式

辐射工作人员进行相关放射性药物的分装和给病人注射放射性核素，这个过程主要是放射性核素产生的γ射线引起的辐射照射。当病人注射了放射性药物之后，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。

核素操作场所屏蔽计算公式参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），辐射剂量率估算公式为：

$$H=10^{-X/TVL} \cdot A \cdot \Gamma / R^2 \quad (\text{式 11-1})$$

式中：

H ——屏蔽体外关注点剂量率，单位为μSv/h；

X ——屏蔽厚度，单位为 mm；

TVL ——γ射线的十分之一值层厚度，单位为 mm，见表 11-4；

A ——单个患者或受检者所用放射源的最大活度，单位为 MBq；

Γ ——距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$ ；

R ——参考点与放射源间的距离，m。

表 11-4 本项目涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	^{18}F
铅什值层厚度 TVL ($\rho=11.3\text{t}/\text{m}^3$)	16.6mm
混凝土什值层厚度 TVL ($\rho=2.35\text{t}/\text{m}^3$)	176mm
砖什值层厚度 TVL ($\rho=1.65\text{t}/\text{m}^3$)	263mm
周围剂量当量率常数 (裸源) $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	0.143
患者体外 1m 处的周围剂量当量率 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	0.092

居留因子参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007) 选取，具体数值见表 11-5。

表 11-5 居留因子的选取

场所	居留因子 (T)		停留位置
	典型值	范围	
全停留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分停留	1/4	1/2-1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然停留	1/16	1/8-1/40	1/8: 各治疗室房门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场，车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

3、工作场所辐射水平分析及预测

(1) 源库和废物间

本项目使用的核素 ^{18}F ，医院根据与病人预约情况向药物供应商订货，由药物供应商将药物放置于铅罐，直接运输至源库待用。放射药物置于铅罐内再放入源库内。源库四侧墙体为 240mm 实心砖+4mmPb 防护涂料，顶棚为 100mm 混凝土+4mmPb 防护涂料，地坪为 300mm 混凝土，防护门内衬 4mm 铅板，放射性药物在源库暂存期间对周围辐射环境影响很小。

核素应用过程中产生的固废表面核素活度按不超过使用量的 1% 计，放射性固废暂存于污物间铅衰变暂存容器，污物间四侧墙体为 240mm 实心砖+4mmPb 防护涂料，顶棚为 100mm 混凝土+4mmPb 防护涂料，地坪为 300mm 混凝土，防护门内衬 4mm 铅板，放射性固废在污物间暂存衰变期间对周围辐射环境影响很小。

(2) 分装注射室

医护人员给药前，将放射性药物从源库连同铅罐拿到分装室，放置于通风橱内，给药前的相关操作均在通风橱内进行。所用核素 ^{18}F 均由核医学科护士按单人注射量分装后放入注射器防护套内，注射前医护人员在 40mmPb 的通风橱内直接从铅罐内拿出带有防护套的注射器，并穿戴有 0.5mmPb 防护衣。

^{18}F 注射时，药物置于注射器防护套内（ ^{18}F 为 20mmPb 防护套），在铅玻璃注射窗后进行（ ^{18}F 为 40mmPb 当量铅玻璃），并穿戴有 0.5mmPb 防护衣。

(3) 候诊室、留观室

核医学科拟设置 5 间 PET/CT 候诊室，每个候诊室设置 1 张床位，源强为 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ (370MBq)。PET/CT 每次仅能扫描一个病人，病人注射药物 ^{18}F 后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)，偏保守的角度仍按单个病人 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ (10mCi) 的点源计算。

核医学科拟设置 1 间留观室，病人扫描后如有需要在留观室进行观察。核医学科拟使用的核素为 ^{18}F ，根据核素的照射量常数及半值层厚度，留观室最大源强活度为： $3.7\times 10^8\text{Bq}(10\text{mCi})^{18}\text{F}$ 。

(4) 机房摆位人员

摆位过程工作人员穿着 0.5mmPb 当量的防护衣，在防护屏风（PET/CT 机房为 20mm 铅当量）后进行摆位工作，按身体距离病人约 50cm 进行估算。

(5) 病人走廊

病人走廊可能存在使用 ^{18}F 的患者，注射 ^{18}F 的患者病人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)，偏保守的角度仍按单个病人 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ (10mCi) 点源计算。

根据式 11-1，拟建核医学科辐射剂量率计算结果见表 11-6，关注点位置见附图 11。

表 11-6 核医学科辐射剂量率计算结果

关注点序号	位置		距离 (m)	源强	屏蔽厚度	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	分装注射室	通风橱外	0.05	^{18}F : $7.4\times 10^9\text{Bq}$	50mmPb 铅罐 + 40mmPb 通风橱 + 0.5mmPb 铅橡胶围裙	$1.49\text{E}+00$
2		^{18}F 注射位	0.50	^{18}F : $3.7\times 10^8\text{Bq}$	0.5mmPb 防护衣 + 40mmPb 注射窗	$7.69\text{E}-01$

3		东侧墙体外 30cm 处	2.6	^{18}F : $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	240mm实心砖 +4mmPb当量硫酸钡防护涂料 +20mmPb防护套	3.43E-02
4		北侧墙体外 30cm 处	2.5	^{18}F : $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	240mm实心砖 +4mmPb当量硫酸钡防护涂料 +20mmPb防护套	3.71E-02
5		上层地面上 方 30cm 处	5.0	^{18}F : $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	100mm混凝土 +4mmPb当量硫酸钡防护涂料	3.28E-01
6		下层地面上 方 30cm 处	5.0	^{18}F : $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	300mm混凝土	4.17E-02
7	源库	南侧墙体外 30cm 处	1.4	^{18}F : $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$	50mmPb铅罐 +240mm实心砖 +4mmPb当量硫酸钡防护涂料	3.69E-02
8		下层地面上 方 30cm 处	5.0	^{18}F : $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$	50mmPb铅罐 +300mm混凝土	8.13E-04
9		上层地面上 方 30cm 处	5.0	^{18}F : $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$	50mmPb铅罐 +100mm混凝土 +4mmPb当量硫酸钡防护涂料	6.39E-03
10		东侧墙体外 30cm 处	1.4	^{18}F : $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$	50mmPb铅罐 +240mm实心砖 +4mmPb当量硫酸钡防护涂料	3.69E-02
11	废物间	南侧墙体外 30cm 处	1.4	^{18}F : $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$	240mm现浇混凝土+4mmPb当量硫酸钡防护涂料 +4mmPb衰变箱	2.17E-01
12		下层地面上 方 30cm 处	5.0	^{18}F : $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$	300mm混凝土 +4mmPb衰变箱	4.80E-03
13		上层地面上 方 30cm 处	5.0	^{18}F : $7.4 \times 10^7 \text{Bq}$	100mm混凝土 +4mmPb当量硫酸钡防护涂料 +4mmPb衰变箱	3.78E-02
14	PET 候诊 区	北侧墙体外 30cm 处	1.4	^{18}F : $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	240mm现浇混凝土+4mmPb当量硫酸钡防护涂料	1.89E-00
15		西侧墙体外 30cm 处	1.4	^{18}F : $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	240mm现浇混凝土+4mmPb当量硫酸钡防护涂料	1.89E-00
16		南侧墙体 30cm 处	3.9	^{18}F : $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	240mm现浇混凝土+4mmPb当量硫酸钡防护涂料	2.44E-01
17		上层地面上 方 30cm 处	5.0	^{18}F : $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	100mm混凝土 +4mmPb当量硫酸钡防护涂料	3.28E-01

18		下层地面上方 30cm 处	5.0	^{18}F : $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	300mm混凝土	4.17E-02
19	留 观、 抢救 室	抢救位	0.5	^{18}F : $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	0.5mmPb铅橡胶 围裙	1.97E+02
20	PET /CT 机房	医生摆位处	0.5	^{18}F : $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	20mm铅屏风 +0.5mmPb铅橡 胶围裙	1.23E+01
21		西侧墙体外 30cm 处	3.5	^{18}F : $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	240mm现浇混凝 土+4mmPb当量 硫酸钡防护涂料	3.03E-01
22		操作位	3.9	^{18}F : $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	8mmPb当量铅玻 璃	1.14E+00
23		上层地面上 方 30cm 处	5.0	^{18}F : $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	100mm混凝土 +4mmPb当量硫 酸钡防护涂料	3.28E-01
24		下层地面上 方 30cm 处	5.0	^{18}F : $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	300mm混凝土	4.17E-02
25	医生 办公 室	办公室内	7.3	^{18}F : $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	240mm现浇混凝 土+4mmPb当量 硫酸钡防护涂料	1.96E-02
26	核医 学科 入口	门外 30cm 处	2.8	^{18}F : $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	8mm铅板	2.22E+00
27	核医 学科 出口	门外 30cm 处	2.8	^{18}F : $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	8mm铅板	2.22E+00
28	核医 学科 东侧 常闭 门	门外 30cm 处	4.5	^{18}F : $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$	8mm铅板	8.61E-01

由上表估算结果可知，核医学科控制区实体屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内屏蔽体外表面 30cm 处周围剂量当量率均小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，通风橱外表面 5cm 处周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，屏蔽设计满足要求，对周围辐射环境影响较小。

实际上，患者在注射后候诊室等待过程中，由于衰变作用导致患者体内核素的活度不断减少，因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

4、工作人员及公众所受剂量评价

根据医院提供的资料，项目正式开展后，每年工作 250 天，每周工作 5 天，每天工作 8h。核医学科工作场所各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见表 11-7。

表 11-7 辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

工作场所	操作内容	操作时间	人员数量
护士站	预约登记	8 小时/天	3 人
分装注射室	核素分装注射	¹⁸ F 每年分装 5000 次, 每次 1min, 每年注射 5000 次, 每次 30s	3 人
PET/CT 机房	指导患者躺至正确的位置	每人次摆位 1 分钟	2 人
PET/CT 控制室	设备校准	每次校准准备 1 分钟, 每年校准 12 次。	
	PET/CT 控制、图像采集	每人次扫描 5 分钟	
抢救室	负责显像诊断、阅片, 对患者进行抢救	每次抢救按 30 分钟计, 一年不超过 10 次	2 人

根据表11-6预测的各关注点处辐射剂量率, 结合医院预估工作量, 关注点处人员居留因子等参数, 由式11-2计算即可得到辐射工作人员的年有效剂量, 见表11-8。

个人有效剂量估算公式如下:

$$Hr = H \times t \times T \times 10^{-3} \dots \dots \text{(式 11-2)}$$

式中:

Hr—辐射外照射人均年有效剂量, mSv;

H—辐射剂量率, μSv/h;

t—一年工作时间, h;

T—居留因子, 保守按照 1 考虑。

表11-8 辐射工作人员个人年有效剂量估算

工作场所	人员类型	操作	核素	辐射剂量率 (μSv/h)	居留因子	年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
分装注射室	护士	分装	¹⁸ F	1.49E+00 (1#)	1	83.3h (1min/次×20次/d×250d)	1.24E-01
		注射	¹⁸ F	7.69E-01 (2#)	1	41.7h (30s/次×20次/d×250d)	3.21E-02
护士站		预约登记	/	1.96E-02 (25#)	1	2000h	3.92E-02
PET/CT 机房摆位	技师	摆位	¹⁸ F	1.23E+01 (20#)	1	83.3h (1min/次×20次/d×250d)	1.02E+00
PET/CT 操		扫	¹⁸ F	1.14E+00	1	416.7h	4.75E-01

作位		描		(22#)		(5min/次×20次/d×250d)		
抢救室	医生	抢救	¹⁸ F	1.97E+02 (19#)	1	5h (30min/次×10次)	9.87E-01	0.49/人

根据上述估算结果可知：辐射工作人员人均年有效剂量最大为0.75mSv，可满足本项目职业人员年剂量约束值不超过5mSv的要求。

5、公众受照剂量估算

根据表11-6预测的各关注点处辐射剂量率，结合核医学科周围公众情况、关注点处人员居留因子等参数，由式11-2计算即可得到核医学科周围公众的年有效剂量，见表11-9。

表11-9 核医学科公众人员年有效剂量估算

关注场所	人员类型	核素	辐射剂量率 (μ Sv/h)	居留因子	受照时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
东侧放射科走廊	公众	¹⁸ F	8.61E-01 (28#)	1/20	2000	8.61E-02
西侧过道		¹⁸ F	1.89E-00 (15#)	1/20	2000	1.89E-01
北侧过道		¹⁸ F	1.89E-00 (14#)	1/20	2000	1.89E-01
南侧机房		¹⁸ F	1.09E-00 (11#)	1/20	2000	1.09E-01
楼上检验中心		¹⁸ F	3.28E-01 (17#)	1/8	2000	8.20E-02
楼下自行车库、仓库、停尸间		¹⁸ F	4.17E-02 (18#)	1/8	2000	1.04E-02
西侧居民区		¹⁸ F	1.18E-03*	1	2000	2.36E-03

注：西侧居民区为潜龙社区，距离本项目西侧边界约40m，该处的辐射剂量率根据核医学科西侧15号关注点的剂量率与该距离的距离平方反比得出。

根据上述估算结果可知：公众年有效剂量最大为0.19mSv，能满足本项目公众年剂量约束值不超过0.25mSv的要求。

综上所述，一层核医学科工作场所辐射工作人员和周围的公众所受外照射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“限值”要求，也低于本评价提出的工作人员5mSv和公众0.25mSv年剂量约束值。

6、患者离开医院对环境的影响

^{18}F 半衰期仅有 109.7min，患者接受 PET/CT 检查后，体内滞留的 ^{18}F 经就诊过程中的自然衰变，患者经候诊和诊断离开医院至少需要 1h，则患者离开医院时带药量约 6.8mCi，距离患者 1m 处剂量率约为 33.8 $\mu\text{Gy/h}$ ，在十个半衰期内公众近距离接触患者时间为 2h，则保守估算公众受到的外照射剂量约 0.068mSv。

因此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。在患者回家后，家中任何成员不可能始终与其保持在同一距离上，所以，实际上家庭中的成员所受到的剂量要比估算值小得多。因此，对于接受检查的患者，回家后无需采取特殊防护措施，均不会给家庭成员造成明显的辐射影响。但对于幼儿和婴孩由于其吸收剂量系数较大，患者返家后的二日内不宜近距离接触他们。

7、X 射线影响分析

本评价项目拟建的 PET/CT 拥有专用的机房，射线机房的使用面积、辐射屏蔽厚度及相关防护措施均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对诊断 X 射线机房的防护设施的技术要求。《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）是以保证机房外的人员可能受照剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的要求为目的，进行推算规定射线机房的屏蔽厚度要求，由此可进一步得知本项目在运行阶段，PET/CT 扫描装置产生的 X 射线对机房外环境的影响可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的相关要求。

除此外，PET/CT 机房设有观察窗，其设置的位置便于观察到受检者和受检者状态。机房内布局合理，避免了有用线束直接照射门、窗和管线口位置；机房设置动力排风系统，并保持良好的通风。机房门外设有电离辐射警告标志、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；机房门设有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。医院规定受检者和陪检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不得滞留在机房内。

11.2.3 核医学“三废”影响分析

（一）放射性废水

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）规定，使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于 $2\times 10^7\text{Bq}$ 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。

医院核医学科产生的放射性废水通过专门的管道进行统一收集，并经管道排入衰变池，经衰变处理达标后排入医院污水处理系统。本项目核医学放射性废水管线走向见附图 8。

核医学产生的放射性废水均排放至住院综合楼负西北侧地面以下放射性废水处理间的核医学科衰变池内。该衰变池为原有衰变池，由厚的混凝土浇筑而成，上方留有检修口，检修口由盖板封闭。本项目衰变池为二个相同体积的混凝土衰变池，每个池子容积为 11m^3 ，衰变池并联设置，交替使用。医院拟增加衰变池监控系统，在衰变池排出口设置自动取样测量系统，可自动监测废水中核素比活度，任意一衰变池经衰变后的废水需经采样监测符合排放标准后（每个池子设有人工取样口，排放前应委托有资质的单位，监测指标为：总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ 、总 $\alpha < 1\text{Bq/L}$ ），方可排入医院污水处理系统。医院应根据监测数据结果制定排水计划，可定期将废水排放至医院医疗废水处理站进一步处理后纳入市政管网。每次排放应做好废水排放台账，详细记录废水排放量、排放时间及排放浓度，并存档保存。

核医学科放射性废水主要来源是工作台面、地面去污时产生的放射性废水，工作人员操作过程中手部受到微量污染的清洁废水，患者冲洗排便废水。本项目进放射性废水涉及的核素主要为 ^{18}F （半衰期为 109.7min ）。

根据医院提供的资料，本项目核医学科放射性废水产生量估算如下：

核医学科工作场所最大工作量为： ^{18}F ，5000人次/年。参考《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019），门诊患者每人每次用水定额取 10L ，废水排污系数取 0.8 ，则患者每年产生放射性废水 40m^3 。工作人员在完成一天的给药和注射工作后需进行污染检测，并进行去污清洗而产生放射性废水，每天清洗废水产生量约为 200L ，每年工作 250 天，则每年产生放射清洗废水约 50m^3 。因此，核医学科工作场所每年产生放射性废水约 90m^3 ，平均每天产生量约 0.36m^3 （以 250 天计）。

本项目二个衰变池采用“槽式”排放，通过阀门切换并联运行，单个衰变池容积为 11m^3 ，考虑最高水位，有效容积按 0.85 计，则放射性废水注满一个衰变池需要 36 个工作日（即 50 天）。第一个衰变池最后进入的废水存储时间为： $11\text{m}^3 \times 0.85 / 0.36\text{m}^3 \approx 26$ 个工作日（即 36 天）（即为第二个衰变池注满的时间）。本项目的放射性废水可以在衰变池内暂存 36 天，放射性废水主要含有 ^{18}F ， ^{18}F 半衰期为 109.7min ，废水可以在衰变池中贮存达 471 个半衰期，因此本项目衰变池的容积满足放射性废水在衰变池贮存至

少 10 个半衰期以上的要求。

由 GB18871-2002 附录 B 的 B1.3.4 和 B1.3.5 可知，放射性核素 ALI_{min} 采用下式计算：

$$ALI_{min}=DL/E_j \quad (\text{式 11-4})$$

DL 表示职业人员接触限值，取 20mSv/a；

E_j 表示 GB18871-2002 表 B3 工作人员吸入和食入单位摄入量所致的待积有效剂量，取其中最大值。

项目废水各核素排放导出限值详见表 11-9，排放情况详见表 11-11。

表11-9 废水中核素排放导出限值

核素	e _j (Sv/Bq)	月排放限值 (Bq)	一次排放限值 (Bq)
¹⁸ F	9.3×10 ⁻¹¹	5.38×10 ⁹	2.15×10 ⁸

表 11-10 项目放射性废水核素活度

核素名称	半衰期	日最大用量 (Bq)	体内核素排入废水比例	单日衰变池核素最大排入量 (Bq)
¹⁸ F	109.7min	7.4×10 ⁹	20%	1.48×10 ⁹

表11-11 废水排放情况表

核素名称	半衰期	单日衰变池核素最大排入量 (Bq)	注满一池核素活度 (Bq)	衰变时间	衰变后核素排放量 (Bq)	ALI _{min} (Bq)	排放浓度 (Bq/L)
¹⁸ F	109.7min	1.48×10 ⁹	8.99×10 ¹⁰	50d	<0.01	<0.01	<0.01

由上表可知，本项目放射性废水经衰变池衰变后，废水中各放射性核素一次排放量均小于相应核素的 1ALI_{min}，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中放射性废液排放的相关要求，同时满足《医疗机构水污染物排放标准》中总β小于 10Bq/L、总α<1Bq/L 的要求。

（二）放射性废气

由污染源分析可知，核医学科使用的放射性同位素为非挥发性核素，使用过程介质均为液体，操作比较简单，不需加热、振荡等步骤。核医学科拟安装专用通风橱，经专用风道由风机抽吸排出，通风橱排气速率不小于 0.5m/s。

核医学科产生的废气经由核医学科南侧排风井排至住院综合楼楼顶，并高出本建筑屋脊排放。各排风管内保持负压，拟安装防回流装置，并拟在风机出风段设活性炭吸附装置，活性炭吸附装置对放射性气溶胶吸附效率不小于90%。所使用的活性炭需定期更换，更换下来的废活性炭应按放射性固体废物进行处理。

(三) 放射性固废影响分析

本项目放射性固废主要为工作人员操作过程产生的服药杯子、污染物的注射器、针头、手套、药棉、纱布、破碎杯皿、擦拭污染物地面的物品和更换的废活性炭等放射性废弃物。

根据本项目开展方案，PET/CT (^{18}F) 诊断每年5000人次。类比浙江同类型医院核医学科开展情况，患者门诊诊疗过程放射性固废产生量约0.05kg/人次，经估算，PET/CT诊断过程产生的放射性固废为250kg/年。

另外本项目核医学科放射性废气排风口设置有活性炭吸附装置，经设计单位介绍，活性炭设置于主楼排风机进口端。由于不同厂家设计的活性炭过滤装置活性炭用量不同，因此无法给出单次活性炭使用量和更换频次。建设单位拟配备的活性炭过滤装置必须配有活性炭饱和报警系统来监测过滤装置的性能情况，以保证活性炭得到及时更换。

根据医院制度要求，核医学科分装注射室设置1个脚踏式铅桶，注射后候诊室和留观室各设置1个脚踏式铅桶。废物间设有1个衰变箱，收集的固废放置于衰变柜中衰变10个半衰期。环评要求根据核素衰变周期分类收集、分类储存，医护人员定期将收集的放射性废物按类别转移至废物间放射性废物衰变柜内。

医院拟将上述放射性固体废物收集于工作场所铅污物桶内专用塑料包装袋，包装袋要标明收贮时间、种类及数量等内容。每袋废物的表面剂量率控制在0.1mSv/h以下，重量不超过20kg。装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于污物间的铅衰变暂存容器，让放射性物质自行衰变，待贮存衰变十个以上半衰期后按照医疗废物处置。

每袋密封暂存的衰变袋显著位置应标注有废物类型、核素种类、存放日期、数量等说明。本次评价建议将含 ^{18}F 核素的固废集中贮存衰变3天，满足贮存10个半衰期以上的要求，经检测符合排放标准后按医疗固废委托当地有资质单位处置。

核医学科废气排放口更换的废活性炭也属于放射性废物，医院将更换下的活性炭先统一存放于衰变箱中，标注活性炭名称、存放日期、存放量等，待10个半衰期后，经监测符合排放标准后当作医疗固废委托有资质单位处置。

医院应做到：

(1) 严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，应力求控制和减少放射性废物产生量。

(2) 对所有放射性固体废物采用先收集在各自相关工作场所的铅污物桶内，再将铅污物桶内的固体废弃物连同专用塑料包装袋，存放到废物间的衰变暂存容器内，集中收储一段时间后（视不同的核素，控制不同的收贮时间，以减少放射性废物的收贮量）再分类处理。受不同核素污染的固体废物分开收储，每次收集时专用塑料包装袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间，内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如硬牛皮纸外套）。

(3) 放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令 第 612 号）的相关规定。

11.3 辐射事故分析和防范措施

11.3.1 可能发生的故事

主要考虑电离辐射损伤、放射源和药物失控对环境的影响。

①PET/CT 机房门灯联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房，对人员造成误照射。

②由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因致使放射性药物撒漏，造成意外照射和辐射污染。

③由于未锁好核医学科进出口的大门或取用药物后未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射性药剂丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

11.3.1 核医学科工作场所防范措施

(1) 制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物撒漏事故的发生。若少量放射性物质洒漏，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。若大量放射性物质洒漏，医院应立即封锁相关场所，并向上级有关部门报告，等待专业人员前来处理。事故处理结束后，使用表面污染检测仪对洒漏放射性液态的区域进行表面污染监测，符合国家相关标准后，结束应急状态。事后及时总结经验，形成纸质报告并存档。

(2) 制定和完善放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。专用贮存间设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

当发生显像剂（或放射源）丢失事故时，事故发生者应立即报告医院辐射事故应急指挥领导小组，保护现场。领导小组立即启动本单位辐射事故应急预案，疏散现场无关

人员，设置警戒区及警示标志；向当地生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门报告，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告单》；协助公安、环保和卫生主管部门对丢失显像剂（或放射源）进行侦查和追缴，力争在最短时间内将放射性物品找回。

（3）加强对有药患者的管理，在不影响诊断和治疗的情况下，限制其服药量，限制患者出院时的放射性药物携带量，并对出院的有药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面的指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公众场所活动，并避免与家人近距离密切接触。

（4）加强放射性废物的管理，对储存的放射性废物在废物桶外标明放射性废物的型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。放射性废水和固体废物经足够长的时间衰变后，方可排放或按照普通医疗垃圾处理，并做好监测记录。

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

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

11.3.2 事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条及《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关规定，医院应制定医院辐射事故应急预案，医院应在以后辐射工作开展过程中定期进行演练，及时进行整改。同时医院应配置必要的应急装备、器材以及应急资金。

医院在落实本次环评提出的环境事故风险防范措施，并落实辐射事故应急预案中提出的各项应急措施和设施的前提下，本项目辐射事故影响可控制在可接受水平内。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境管理机构的设置

12.1.1 机构设置

根据医院提供的资料，宁波大学附属人民医院已按照《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》等有关法律法规，结合卫生、环保等行政主管部门的规章制度，成立了辐射安全与环境保护管理机构。组员由放射科相关部门、科室负责人组成，院分管领导任小组组长。建议医院进一步明确辐射安全管理领导小组职责及各成员职责。

12.1.2 辐射人员管理

本项目为医院新开展核医学科工作，拟配置辐射工作人员共 7 人，该 7 名人员均应取得相关的辐射安全培训合格证书或通过生态环境部培训平台上的线上考核方可上岗。

(1) 职业健康检查

医院现有辐射工作人员均已要求每两年进行在岗期间职业健康体检，并建立了职业健康档案。根据建设单位提供的资料，现有辐射工作人员在岗期间职业健康体检结论均为可继续从事放射岗位工作。

本项目辐射工作人员拟从现有辐射工作人员中调用或由医院非辐射工作人员经培训后转岗，新增辐射工作人员应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，每一年或两年委托有相关资质的单位对现有辐射工作人员进行职业健康检查，建立职业健康档案。

(2) 辐射工作人员培训

医院现有辐射工作人员均参加了辐射安全与防护培训并培训合格，针对本项目新增辐射工作人员，上岗前应参加浙江卫生计生监督微信公众号或生态环境部在线平台的辐射防护与安全培训，经考核合格后方可上岗，并按时接受再培训。

(3) 个人剂量检测

医院现有辐射工作人员均配备了个人剂量计，每三个月委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案。医院现有辐射工作人员个人剂量监测统计见附件 5，由监测报告结果可以看出：现有辐射工作人员年度的个人剂量监测结果符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对辐射工作人员要求的剂量限值。本项目新增辐射工作人员均应配备个人剂量计，并按期（一般为一个月，最长不超过三个月）委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案。

医院应做到以下几个方面：

本项目辐射工作人员的职业健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量监测档案三个文件上的人员信息应统一；职业照射个人监测档案应终生保存。建设单位应设专人进行环保档案的整理、存档，项目环保档案应包括：项目环境影响评价资料、相关环保会议纪要、辐射安全许可证申请资料、项目竣工环境保护验收资料、日常监测资料（或台账）、辐射工作人员培训资料、体检报告、个人剂量监测报告及相关调查资料。以上资料按年度进行整理、规范化保存，发现问题及时上报、解决，以满足生态环境主管部门档案检查的要求。

12.1.3 年度评估报告

宁波大学附属人民医院已按要求进行了辐射安全与防护状况评估，每年定期上报至发证机关。本项目建成运行后，医院应将本项目纳入年度评估报告，定期上报至发证机关。经与医院核实，医院历年未发生辐射事故。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用放射性同位素、射线装置的单位，应有“健全的操作规程、岗位职责、辐射防护与安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，还应有完善的辐射应急措施”。

根据医院提供的辐射防护工作管理制度，医院已制定的辐射防护工作制度有：《辐射安全防护和管理制度》、《辐射安全和安全保卫制度》、《设备检修维护制度》、《射线装置使用登记制度》、《人员培训计划、体检及保健制度》、《监测计划》、《辐射事故应急预案》、《操作规程》、《岗位职责》等规章制度。

鉴于建设单位目前已有核医学科，尚未开展过 PET/CT 诊断工作，在本项目建设后运行中，建设单位应根据本项目核技术利用项目的特点，制定和完善以下方面的管理制度，并对现有制度进行补充和完善，以保证核医学科放射诊疗工作安全有序开展。

- (1) 安全管理制度：根据项目的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度；
- (2) 放射性药物的采购、领取、保管等制度；
- (3) 放射性药物登记、使用、核对及注销制度；
- (4) 放射性核素安全操作及防护制度；
- (5) 放射性三废的管理：放射性三废的管理规定，对放射性三废的收集、处理、

处置等作出的明确规定；

(6) 核医学科仪器使用和管理制度以及 PET/CT 设备设备的操作规程。

12.3 辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，项目单位需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人剂量监测。

12.3.1 监测计划

A、年度监测

继续委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年；年度监测报告应作为《辐射安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并提交给发证机关。

B、日常自行监测

定期自行开展辐射监测，制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案，监测周期至少 1 次/月。

C、监测内容和要求

监测内容：周围剂量当量率； β 表面污染水平等、放射性废水、放射性固废。

监测布点及数据管理：监测布点应参考环评提出的监测计划或验收监测布点方案。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。

表 12-1 辐射工作场所监测计划建议

工作场所	监测内容	监测点位	监测周期	
			自行监测	委托监测
核医学科	β 表面放射性污染	工作台、注射窗、通风橱/工作服、手套、工作鞋、手、皮肤、设备表面、患者通道、分装注射室、源库、污物贮存间、注射后候检室、墙壁及地面等可能污染的位置	1次/半月	1次/年
	周围剂量当量率	控制区： PET/CT机房、PET候诊室、专用卫生间、分装注射室、废物间、源库、卫生通过间、留观抢救室、患者走廊 监督区： 医护走廊、注射前等候区、医生办公室	1次/月	1次/年
	放射性废水	衰变池排放口总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$	每次排放前	1次/年
	放射性固废	废源室（建议每袋废物表面剂量率处于本底水平后排放）	每次排放前	1次/年

监测范围：控制区和监督区域及周围环境

(3) 放射性固废处理

放射性固废在废物暂存间放置 10 个半衰期，环评建议含 ^{18}F 核素的放射性固废在废物间贮存衰变 3 天后可作为一般医疗废物进行处理。

医院应建立固废排放台账，每次固废排放应详细记录固废排放量、固废种类、核素种类、贮存时间等参数，并存档备查。

(4) 放射性废水排放

放射性废水在衰变池衰变 10 个半衰期，环评建议医院废水每半年排放一次，则废水中总 β 浓度满足《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)规定的限值（总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ）。

医院应建立废水排放台账，记录每次废水排放量、排放时间、监测数据等参数，并存档备查。

12.3.3 环保竣工验收

医院应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》（生态环境部公告 2018 年第 9 号）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

12.4 辐射应急

12.4.1 应急预案的要求

根据国务院第 449 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条对辐射事故应急预案内容的要求，辐射事故应急预案应当包括下列内容：

- (1) 应急机构和职责分工；
- (2) 应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- (3) 辐射事故分级与应急响应措施；
- (4) 辐射事故的调查、报告和处理程序。

12.4.2 医院现有应急预案存在的问题与不足

根据医院目前制定的《辐射事故应急预案》，包括了辐射事故应急处理机构与职责、放射性事故应急救援应遵循的原则、放射性事故应急处理程序。此辐射事故应急预案存在的问题有：

(1) 此预案缺少“应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备”，应按照相关法律法规要求补充完整；

(2) 此预案应按照医院现有射线装置的类型及本项目新增 PET/CT 及本项目 ^{18}F 等核素的特点，补充完善相关事故处理措施和处理流程。

12.4.3 辐射事故上报的要求

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况的，应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》等要求，向生态环境主管部门报告。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并根据要求在 2h 内填写《辐射事故初始报告表》，向生态环境主管部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生部门报告。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 辐射安全与防护分析结论

(1) 辐射安全防护措施结论

本项目核医学科辐射工作场所墙体采用实心砖墙+防护涂料进行屏蔽，各防护门均采用铅防护门，观察窗为铅玻璃观察窗。核医学科分装注射室拟配备专用通风橱、放射药物专用注射窗，放射性核素操作人员拟配备铅衣等个人防护用品；核医学科工作场所拟设置电离辐射警示标识、工作状态指示灯、对讲及监控设施，配有表面污染仪、个人剂量报警仪等监测设备；设置有满足要求的并联衰变池组、放射性固废收集铅桶、放射性废气专用排风管线及活性炭吸附装置。

在满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护，减少不必要的照射，根据理论估算分析结果，本项目拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。

(2) 辐射安全管理结论

宁波大学附属人民医院已成立辐射安全与环境保护管理机构，并指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作；该院应根据实际情况及本报告要求，制定和完善相关辐射安全管理制度，以适应当前环保的管理要求；该院已对辐射工作人员进行了职业健康监护和个人剂量监测，并建立了个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

13.1.2 环境影响分析结论

(1) 辐射影响分析结论

经模式预测，在正常工况下，本项目核医学科工作场所监督区边界外 30cm 处剂量率均小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的目标控制值，对周围环境影响较小；本项目所致工作人员年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“限值”要求，也低于本次评价提出的 5.0mSv 年剂量约束值；项目所致公众年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求，也低于本次评价提出的 0.25mSv 年剂量约束值。

(2) “三废”影响分析

放射性废水在二个并联的衰变池停留 10 个半衰期以上时间，经监测达标后排入医院污水处理站进一步处理达标后纳入市政污水管网，对周围水环境影响很小。

核医学放射性固废采用专门的固废收集铅桶收集后，在废物间暂存衰变 10 个半衰

期经监测达标后按照普通医疗废物处理，不外排，对周围环境影响较小。

核医学科产生的放射性废气经由排风井排至住院综合楼楼顶排放，并设置活性炭吸附装置吸附处理后排放，对周围环境影响较小。

13.1.3 可行性分析结论

(1) 产业政策分析结论

根据国家发展和改革委员会制订的《产业结构调整指导目录（2019年本）》，本项目改建核医学科属鼓励类第六项“核能”第6条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”项目，属于国家鼓励类产业，符合国家现行产业政策。

(2) 实践正当性分析结论

医院实施本项目，目的在于开展放射诊疗工作，最终是为了治病救人，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）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

(3) 选址的合理性结论

本项目所在的住院综合楼位于现有医院住院综合楼内，住院综合楼用地属于医疗卫生用地，周围无环境制约因素。本项目辐射工作场所周围50m范围内均无学校等环境敏感目标，项目选址合理。

(4) 项目可行性

综上所述，宁波大学附属人民医院核医学科改建项目选址符合国家相关法律法规，平面布局合理可行。医院在落实本报告提出的各项污染防治措施后，其辐射工作场所辐射安全措施及安全管理措施满足从事相应辐射活动的要求，辐射工作人员和公众年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，营运期对周围环境产生的辐射影响在可接受范围内，因此本项目运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.2 建议与承诺

13.2.1 建议

医院应加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施自觉性，杜绝放射性事故的发生。

13.2.2 承诺

(1) 医院承诺按照相关法律法规要求严格履行环评制度、环保验收制度、辐射安全许可制度，加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。

(2) 医院承诺严格按照本报告的屏蔽防护设计方案、辐射安全措施、辐射安全设施及装置、“三废”治理装置及措施等辐射环保内容进行建设。

(3) 医院承诺加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用具的使用。严格按照本报告提出的要求进行辐射工作人员的培训、个人剂量监测、健康检查，并按要求建立保管辐射工作人员档案。

(4) 医院承诺制定完善各项辐射安全管理制度和辐射事故应急预案，并监督执行各项制度。按照应急预案处理和上报辐射事故，并及时将应急预案向生态环境主管部门备案。

(5) 医院承诺严格执行辐射监测计划，发现问题及时整改。

(6) 医院承诺本项目环评审批后，及时重新申领辐射安全许可证，办理前应登录“全国核技术利用辐射安全申报系统”中实施申报登记。

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