

核技术利用建设项目

张家港市第一人民医院

新建 PET/CT 诊断中心项目

环境影响报告表

张家港市第一人民医院

2025 年 10 月

生态环境部监制

目 录

表 1	项目基本情况	- 1 -
表 2	放射源	- 8 -
表 3	非密封放射性物质	- 8 -
表 4	射线装置	- 9 -
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	- 10 -
表 6	评价依据	- 11 -
表 7	保护目标与评价标准	- 15 -
表 8	环境质量和辐射现状	- 19 -
表 9	项目工程分析与源项	- 25 -
表 10	辐射安全与防护	- 34 -
表 11	环境影响分析	- 44 -
表 12	辐射安全管理	- 79 -
表 13	结论与建议	- 86 -
表 14	审批	- 93 -

表 1 项目基本情况

建设项目名称		张家港市第一人民医院新建 PET/CT 诊断中心项目			
建设单位		张家港市第一人民医院			
法人代表			联系人		联系电话
注册地址		江苏省苏州市张家港市暨阳西路 68 号			
项目建设地点		江苏省苏州市张家港市暨阳西路 68 号			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)			项目环保总投资 (万元)		投资比例(环保投资/总投资)
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他			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	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☐ II 类 ☒ III 类		
	其他	/			
	项目概述： 一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来 张家港市第一人民医院始建于 1962 年，是一所集医疗、教学、科研于一体的三级甲等综合性医院。 为了更好地为患者服务，提高医院的医疗质量，根据规划，张家港市第一人民医院拟对 4 号楼一层东部区域进行改造，在现有核医学科东侧新建 PET/CT 诊断中心，				

建设 1 座 PET/CT 机房及相关配套用房，配备 1 台 PET/CT（型号未定，最大管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，最大管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ），配合使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 放射性核素（日等效最大操作量为 $1.96\text{E}+07\text{Bq}$ ）开展核素显像诊断，属于丙级非密封放射性物质工作场所。若后续因 PET/CT 质量控制校正需配备校正源（为 V 类源），待确定校正源种类、数量和活度后，另行填报登记表。

医院拟于 4 号楼北侧地下新建放射性废水衰变系统，本项目产生的放射性废水由独立下水管道统一集中到衰变系统中。

张家港市第一人民医院本次新建 PET/CT 诊断中心项目使用 ^{18}F 放射性核素进行显像诊断的日接诊量最大为 20 人次、年工作 300 天，使用 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 放射性核素进行显像诊断的每个核素日接诊量最大均为 2 人次、年最多工作 50 天，故本项目年最大接诊量为 6300 人次。医院核医学科现有 6 名辐射工作人员，其中医师 3 人、技师 2 人、护士 1 人，本项目辐射工作拟由该 6 名辐射工作人员和其他科室调配的 1 名技师、2 名护士共同承担，此 9 名辐射工作人员除开展核医学科相关辐射工作外，不兼职其他辐射工作。

为保护环境和公众利益，防止辐射污染，根据《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《建设项目环境保护管理条例》《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》等法律法规的规定，张家港市第一人民医院新建 PET/CT 诊断中心项目需进行环境影响评价。受张家港市第一人民医院的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了新建 PET/CT 诊断中心项目的环境影响评价工作（见附件 1）。依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令 第 16 号，2021 年版），本项目属于“172 核技术利用建设项目”中的“丙级非密封放射性物质工作场所”项目，确定为编制环境影响报告表。南京瑞森辐射技术有限公司在资料调研、项目工程分析、现场勘察及现场监测等工作的基础上，编制了项目环境影响报告表。张家港市第一人民医院新建 PET/CT 诊断中心项目情况见表 1-1：

表 1-1 张家港市第一人民医院新建 PET/CT 诊断中心项目情况一览表

非密封放射性物质									
序号	工作场所等级	核素名称	日等效最大操作量（Bq）		工作场所名称	活动种类	环评情况	备注	
1	丙级	^{18}F	1.48E+07		4 号楼一层 核医学科 PET/CT 诊断中心	使用	本次环评	/	
2		^{68}Ga	7.40E+05			使用	本次环评	/	
3		^{64}Cu	3.70E+05			使用	本次环评	/	
4		^{89}Zr	3.70E+06			使用	本次环评	/	
射线装置									
序号	射线装置名称型号	数量	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	射线装置类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	备注
1	PET/CT （型号未定）	1	≤140	≤1000	Ⅲ类	4 号楼一层 核医学科 PET/CT 诊断中心	使用	本次环评	/

二、项目选址情况

张家港市第一人民医院位于江苏省苏州市张家港市暨阳西路 68 号，医院东侧为永安路，南侧为暨阳西路，西侧为金城花园(居民区)，北侧为泗杨路。本次新建 PET/CT 诊断中心项目位于 4 号楼一层，该楼为地上两层建筑，4 号楼东侧为院内道路、2 号楼（妇儿大楼，为地下一层、地上十七层建筑）、花园和 6 号楼（科教楼，为地下一层、地上十二层建筑），南侧为院内道路和空调冷却塔，西侧为院内道路和 5 号楼（后勤服务楼，为地上一层建筑），北侧为院内道路和 3 号楼（感染性疾病楼，为地上四层建筑）。张家港市第一人民医院地理位置示意图附图 1，院区平面布置和周围环境示意图见附图 2。

医院拟将 4 号楼一层东部氧舱设备房、备用房和走廊区域建设为 PET/CT 诊断中心，PET/CT 诊断中心拟建址东侧、北侧为院内道路，南侧为候诊大厅，西侧为核医学科现有工作场所，上方为仓库（现为氧舱大厅）和走廊，下方为土层。4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心平面布置及周围环境示意图见附图 4。

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》（HJ 10.1-2016）中“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目

的评价范围，乙、丙级取半径 50m 的范围”的规定，结合本项目的特点，确定本项目评价范围为本项目工作场所实体屏蔽体边界外周围 50m 范围内区域。本次新建 PET/CT 诊断中心项目周围 50m 评价范围均位于院区边界内，项目运行后的环境保护目标主要为医院辐射工作人员、院区内的其他医护人员、病患及陪同家属等其他公众。

本次新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所建于 4 号楼一层东部，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道，不与其他楼层交叉。新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离，本项目工作场所排风口位于 4 号楼楼顶北部，排风口位置尽可能远离周边高层建筑。

三、原有核技术利用项目许可情况

张家港市第一人民医院持有江苏省生态环境厅核发的辐射安全许可证（苏环辐证[00584]），有效期至：2029 年 2 月 19 日，许可种类和范围为“使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所”。医院辐射安全许可证正副本见附件 4。

医院已开展的核技术利用项目均已履行环保手续，无环保遗留问题。医院现有核技术利用项目情况见表 1-2。

表 1-2 张家港市第一人民医院现有核技术利用项目情况一览表

非密封放射性物质								
序号	辐射活动场所名称	场所等级	核素	活动种类	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	环评、许可及验收情况	备注
1	张家港市第一人民医院 CT 室	丙级	I-125 (粒子源)	使用	1.85E+07	4.63E+11	已环评、已许可、已监测	/
2	张家港市第一人民医院核医学科	乙级	Tc-99m	使用	1.11E+07	2.22E+12	已环评、已许可、已验收	/
3			I-131	使用	1.68E+08	3.35E+11	已环评、已许可、已验收	/
4			Re-186	使用	1.85E+08	3.70E+11	已环评、已许可	未开展
5			Sr-89	使用	1.48E+07	2.96E+10	已环评、已许可	未开展
6			Tl-201	使用	2.96E+06	5.92E+10	已环评、已许可	未开展
射线装置								

序号	辐射活动场所名称	装置名称	规格型号	类别	活动种类	环评、许可及验收情况	备注
1	张家港市第一人民医院 CT 室	CT	Asteion/4	III类	使用	已环评、已许可、已监测	/
		CT	Light Speed 16		使用	已环评、已许可、已监测	/
		CT	LightSpeed VCT		使用	已环评、已许可、已监测	/
		CT	Revolution Ace		使用	已环评、已许可、已监测	/
		CT	Aquilion ONE TSX-305A		使用	已环评、已许可、已监测	/
2	张家港市第一人民医院放疗中心	CT	Discovery RT	III类	使用	已环评、已许可、已监测	/
3		模拟定位机	LX-40A	III类	使用	已环评、已许可、已监测	/
4		医用直线加速器	Halcyon	II类	使用	已环评、已许可、已验收	/
		医用直线加速器	Clinac 23EX		使用	已环评、已许可、已验收	/
5	张家港市第一人民医院放射科	DSA	Azurion 7M20	II类	使用	已环评、已许可、已验收	/
		DSA	Allura Xper FD20/10		使用	已环评、已许可、已验收	/
		DSA	Artis FA		使用	已环评、已许可、已验收	/
6		CT	Optima CT520	III类	使用	已环评、已许可、已监测	/
7		CT	Zeedas CT 64S	III类	使用	已环评、已许可、已监测	/
8		数字胃肠机	ADR-1000A	III类	使用	已环评、已许可、已监测	/
9		双能骨密度仪	Discovery A	III类	使用	已环评、已许可、已监测	/
10		乳腺 X 射线机	Mammomat Novation DR	III类	使用	已环评、已许可、已监测	/
11		移动 X 射线机	MOBILETT XP Digital	III类	使用	已环评、已许可、已监测	/

		移动式 X 射线机	MobiEye 700		使用	已环评、已许可、已监测	/
12		DR	DigitalDiagnost C90	III类	使用	已环评、已许可、已监测	/
		医用 X 线摄影系统	Digital diagnost		使用	已环评、已许可、已监测	/
		DR	Axiom aristos FX plus		使用	已环评、已许可、已监测	/
		DR	Definium 6000		使用	已环评、已许可、已监测	/
13	张家港市第一人民医院核医学科	SPECT/CT	Symbia T16	III类	使用	已环评、已许可、已验收	/
14	张家港市第一人民医院口腔科	牙科全景机	PAPAYA Plus	III类	使用	已环评、已许可、已监测	/
15		口腔 CT	Kavo 3D exam	III类	使用	已环评、已许可、已监测	/
16		口腔颌面曲面体层 X 射线机	Planmeca ProMax	III类	使用	已环评、已许可、已监测	/
17		口内 X 光机	RAY98(M)	III类	使用	已环评、已许可、已监测	/
		口内 X 光机	Planmeca Prox		使用	已环评、已许可、已监测	/
18	张家港市第一人民医院内镜中心 ERCP	移动式 C 臂机	OEC Elite CFDx	III类	使用	已环评、已许可、已监测	/
19	张家港市第一人民医院手术室	移动 CT	NL3000	III类	使用	已环评、已许可、已监测	/
20		移动式 C 形臂 X 射线机	Cios Flow	III类	使用	已环评、已许可、已监测	/
21		移动式 C 臂 X 光机	Brivo OEC 850	III类	使用	已环评、已许可、已监测	/
		移动式 C 形臂 X 射线机	Cios Fusion		使用	已环评、已许可、已监测	/
		移动式 C 形臂 X 射线机	ARCADIS Orbic		使用	已环评、已许可、已监测	/
		移动式 C 形臂 X 射线机	OEC One		使用	已环评、已许可、已监测	/
22	张家港市第一人民医院体检中心	数字化医用 X 射线摄影系统	Q-RAD	III类	使用	已环评、已许可、已监测	/

23		CT	Aquilion PRIME TSX-302A	III类	使用	已环评、已许可、已监测	/
24		乳腺数字化体层摄影 X 射线机	DART-DM-3D	III类	使用	已环评、已许可、已监测	/
25	张家港市第一人民医院新生儿科	移动 X 射线机	DRXR-1	III类	使用	已环评、已许可、已监测	/

四、实践正当性分析

本项目的运行，可为患者提供放射诊断服务，并可提高当地医疗卫生水平，具有良好的社会效益和经济效益，经辐射防护屏蔽和安全管理后，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够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》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活度种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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 T _{1/2} =109.8min	使用	1.48E+10	1.48E+07	4.44E+12	显像诊断	很简单操作	4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心	按需订购，暂存于手套箱内，核医学科 PET/CT 诊断中心门诊使用
2	⁶⁸ Ga	液态/低毒 T _{1/2} =68.3min	使用	7.40E+08	7.40E+05	3.70E+10	显像诊断	很简单操作		
3	⁶⁴ Cu	液态/低毒 T _{1/2} =12.7h	使用	3.70E+08	3.70E+05	1.85E+10	显像诊断	很简单操作		
4	⁸⁹ Zr	液态/中毒 T _{1/2} =3.27d	使用	3.70E+08	3.70E+06	1.85E+10	显像诊断	很简单操作		
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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》（GB 18871-2002）。

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	型号未定	≤140	≤1000	医疗诊断	4号楼一层 核医学科	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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
沾有放射性核素的注射器、手套、棉签、滤纸、擦拭纸等	固体	^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr	/	约 10.5kg	约 126kg	β 表面污染小于 0.8Bq/cm ²	存放于 4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心废物库内。	所含核素半衰期小于 24h（ ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu ）的放射性固体废物暂存超过 30 天、所含核素半衰期大于 24h（ ^{89}Zr ）的放射性固体废物暂存时间超过 10 个半衰期，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 0.8Bq/cm ² 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。
手套箱顶壁和工作场所通风系统中置换下的含放射性核素的活性炭			/	/	约 20kg			
体内含有放射性核素的患者排泄物及工作场所清洗废水等	液态	^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr	/	约 7.75m ³	约 93m ³	总 β 不大于 10Bq/L	流入 4 号楼北侧地下衰变系统中。	所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期，监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放至医院污水处理系统，作为医疗废水处理。
液态放射性药物操作时挥发的微量气溶胶	气态	^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr	/	微量	微量	/	不暂存	在手套箱中操作，经管道内及屋顶排放口活性炭装置过滤后排放至大气。
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。
2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》，1989 年 12 月 26 日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过，2014 年 4 月 24 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订，中华人民共和国主席令 第九号，2015 年 1 月 1 日起实施； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，中华人民共和国主席令 第七十七号，2002 年 10 月 28 日发布，根据 2016 年 7 月 2 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第二十一次会议《关于修改〈中华人民共和国节约能源法〉等六部法律的决定》第一次修正，根据 2018 年 12 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议《关于修改〈中华人民共和国劳动法〉等七部法律的决定》第二次修正； (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，2003 年 10 月 1 日起实施； (4) 《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，2005 年 12 月 1 日起施行；2019 年修改，国务院令 第 709 号，2019 年 3 月 2 日施行； (5) 《建设项目环境保护管理条例》，中华人民共和国国务院令 第 253 号，1998 年 11 月 29 日发布，根据 2017 年 7 月 16 日《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》（中华人民共和国国务院令 第 682 号）修订，2017 年 10 月 1 日起施行； (6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正本），生态环境部令 第 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行； (7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），生态环境部令 第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行； (8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令 第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行； (9) 《放射性废物安全管理条例》，中华人民共和国国务院令 第 612 号，2012 年 3 月 1 日起施行；
------	--

	(10) 《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、国防科工局公告 2017 年公告第 65 号公布，自 2018 年 1 月 1 日起施行； (11) 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会，公告 2017 年 第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行； (12) 《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修正本），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会第二次会议第 2 号公告，2018 年 5 月 1 日起实施； (13) 《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，2016 年 3 月 7 日起施行； (14) 《关于发布〈建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法〉配套文件的公告》，生态环境部公告 2019 年 第 38 号，2019 年 10 月 25 日发布； (15) 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019 年 第 39 号，2019 年 10 月 25 日发布； (16) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019 年 第 57 号，2019 年 12 月 24 日发布； (17) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令 第 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行； (18) 《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，辐射函〔2023〕20 号，2023 年 9 月 11 日发布； (19) 《江苏省辐射事故应急预案》（2020 年修订版），苏政办函〔2020〕26 号，2020 年 2 月 19 日发布； (20) 《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187 号，2021 年 5 月 28 日发布； (21) 《江苏省生态环境厅关于印发辐射安全许可证办理等工作程序和规范的通知》，苏环规〔2025〕1 号，2025 年 9 月 21 日起施行； (22) 《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕74 号，2018 年 6 月 9 日发布； (23) 《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1 号，2020 年 1 月 8 日发布；
--	---

	(24) 《江苏省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，苏政发〔2020〕49号，2020年6月21日发布。
技术标准	(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； (2) 《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB 27742-2011）； (3) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）； (4) 《医用电气设备 第1-3部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断X射线设备的辐射防护》（GB 9706.103-2020）； (5) 《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）； (6) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）； (7) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）； (8) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； (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 10.1-2016）； (10) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； (11) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）； (12) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； (13) 《表面污染测定 第1部分：β发射体（$E_{\beta\max} > 0.15 \text{ MeV}$）和α发射体》（GB/T 14056.1-2008）。
其他	附图： (1) 张家港市第一人民医院新建PET/CT诊断中心项目地理位置示意图； (2) 张家港市第一人民医院院区平面布置及周围环境示意图； (3) 张家港市第一人民医院4号楼一层核医学科平面布置示意图（现状）； (4) 张家港市第一人民医院4号楼一层核医学科平面布置示意图（改造后）； (5) 张家港市第一人民医院4号楼一层核医学科PET/CT诊断中心工作场所区域划分及患者、医护人员流动路线示意图； (6) 张家港市第一人民医院4号楼二层平面布置示意图；

	(7) 张家港市第一人民医院 4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心工作场所进、排风管道布设示意图； (8) 张家港市第一人民医院 4 号楼楼顶核医学科 PET/CT 诊断中心排风口位置示意图； (9) 张家港市第一人民医院 4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心工作场所放射性废水排水管道布设示意图。 附件： (1) 项目委托书； (2) 放射性同位素和射线装置使用承诺书； (3) 核医学科 PET/CT 诊断中心工作场所屏蔽设计情况； (4) 辐射安全许可证正副本复印件； (5) 原有核技术利用项目基本情况一览表； (6) 核医学科现有工作场所验收检测报告； (7) 核医学科现有辐射工作人员近一年度个人剂量监测报告； (8) 本项目辐射环境现状监测报告； (9) 本项目江苏省生态环境分区管控综合查询报告书； (10) 本项目施工图设计文件审查合格书及苏州市民用建筑设计院有限公司（设计单位）施工说明。
--	---

表 7 保护目标与评价标准

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》（HJ 10.1-2016）中“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，乙、丙级取半径 50m 的范围”的规定，结合本项目的特点，确定本项目评价范围为本项目工作场所控制区实体屏蔽体边界外周围 50m 范围内区域，评价范围详见附图 2。
保护目标 本次新建 PET/CT 诊断中心项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜區、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区；不涉及受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74 号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1 号）要求，本项目建设址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。根据《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49 号），本项目建设址评价范围内不涉及江苏省内优先保护单元（详见附件 9）；本项目为核技术利用项目，根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。 本次新建 PET/CT 诊断中心项目主要考虑使用放射性核素和射线装置开展核素显像诊断工作过程中可能对周围环境产生的辐射影响。本项目周围 50m 评价范围均位于院区边界内，东侧隔院内道路为 2 号楼（最近约 36m）和 6 号楼（最近约 41m），北侧隔院内道路为 3 号楼（最近约 29m）。项目运行后的环境保护目标主要为从事本项目的辐射工作人员、院区内的其他医护人员、病患及陪同家属等其他公众。本项目保护目标详见表 7-1。

表 7-1 本项目保护目标一览表

序号	环境保护目标		方位	最近距离	保护对象类别	人口规模	剂量约束值要求
1	4 号楼一层核医学科	护士、医师、技师	核医学科工作场所内	/	辐射工作人员	9 人	5mSv/a (职业人员)
2	4 号楼一层~二层	其他医务人员	核医学科工作场所四周及上方	紧邻	公众	约 20 人	0.1mSv/a (公众)
		其他患者、周围公众				流动人员	
3	3 号楼	工作人员	北侧	约 22m	公众	约 150 人	
		患者、周围公众				约 50 张床位，其余为流动人员	
4	2 号楼	工作人员	东侧	约 36m	公众	约 50 人	
		患者、周围公众				约 10 张床位，其余为流动人员	
5	6 号楼	工作人员	东侧	约 41m	公众	约 10 人	
		周围公众				流动人员	
6	院内道路		北侧、东侧	约 2m	公众	流动人员	
			南侧	约 17m	公众	流动人员	
7	院内花园		东侧	约 39m	公众	流动人员	

评价标准

一、工作人员职业照射和公众照射剂量限值：

本项目辐射工作人员和公众的年有效剂量执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中个人剂量限值，见表 7-2。

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	要求
职业照射剂量限值	应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量，20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv； ③眼晶体的年当量剂量，150mSv； ④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

公众照射 剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果5个连续年的年平均剂量不超过1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv。
二、剂量约束值： 根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求，确定本项目剂量约束值为：职业照射的剂量约束值不超过5mSv/a，公众照射的剂量约束值不超过0.1mSv/a。 三、工作场所关注点处的周围剂量当量率参考控制水平： 根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）和《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求，本项目各关注点处的周围剂量当量率参考控制水平要求如下： （一）控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子$\geq 1/2$），周围剂量当量率应小于2.5μSv/h；控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子$< 1/2$），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于10μSv/h。 （二）放射性药物分装的箱体、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于2.5μSv/h，放射性药物分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于25μSv/h。 （三）非密封放射性物质工作场所控制区边界、机房屏蔽体外30cm处剂量率目标控制值为2.5μSv/h。 （四）固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面30cm处的周围剂量当量率小于2.5μSv/h。 （五）每袋废物的表面剂量率应不超过0.1mSv/h。 四、工作场所放射性表面污染控制水平要求： 根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的要求，核医学工作场所的放射性表面污染控制水平要求见表7-3。	

表 7-3 核医学工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		α 放射性物质 (Bq/cm ²)		β 放射性物质 (Bq/cm ²)
		极毒性	其他	
工作台、设备、 墙壁、地面	控制区 ^{a)}	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 ⁻¹	4	4
工作服、手套、 工作鞋	控制区 监督区	4×10 ⁻¹	4×10 ⁻¹	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻²	4×10 ⁻²	4×10 ⁻¹

^{a)} 该区内的高污染子区除外。

五、辐射环境质量现状检测评价参考值

根据《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》(辐射防护 第 13 卷第 2 期, 1993 年 3 月, 江苏省环境监测站) 确定本项目建设址的辐射环境质量现状检测评价参考值, 见表 7-4。

表 7-4 江苏省全省环境天然 γ 辐射水平调查结果 (单位: nGy/h)

	原野剂量率	道路剂量率	室内剂量率
测值范围	33.1~72.6	18.1~102.3	50.7~129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差 (s)	7.0	12.3	14.0

注: 测量值已扣除宇宙射线响应值, 现状评价时, 取测值范围数值: 即原野为 (33.1~72.6) nGy/h; 道路为 (18.1~102.3) nGy/h; 室内为 (50.7~129.4) nGy/h。

六、参考资料:

《辐射防护导论》, 方杰主编。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目位置、布局和周边环境

张家港市第一人民医院位于江苏省苏州市张家港市暨阳西路 68 号，医院东侧为永安路，南侧为暨阳西路，西侧为金城花园（居民区），北侧为泗杨路。

本次新建 PET/CT 诊断中心项目位于 4 号楼一层东部，PET/CT 诊断中心拟建址东侧、北侧为院内道路，南侧为候诊大厅，西侧为核医学科现有工作场所，上方为仓库（现为氧舱大厅）和走廊，下方为土层。

本次新建 PET/CT 诊断中心项目周围 50m 评价范围均位于院区边界内，东侧隔院内道路为 2 号楼（最近约 36m）和 6 号楼（最近约 41m），北侧隔院内道路为 3 号楼（最近约 29m）。项目运行后的环境保护目标主要为从事本项目的辐射工作人员、院区内的其他医护人员、病患及陪同家属等其他公众。本项目核医学科 PET/CT 诊断中心拟建址周边环境见图 8-1 至图 8-8。

图 8-1 本项目拟建址

图 8-2 本项目拟建址上方

图 8-3 本项目拟建址西侧

图 8-4 4 号楼北侧

图 8-5 4 号楼东侧

图 8-6 4 号楼南侧

图 8-7 2 号楼

图 8-8 6 号楼

二、辐射环境现状调查

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于本项目拟建址周围进行布点，测量 γ 辐射剂量率及 β 表面污染水平。监测结果见表 8-1 至表 8-2，监测点位示意图见图 8-9。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

监测项目： γ 辐射剂量率、 β 表面污染水平

监测日期：2025 年 2 月 13 日

天气：晴

温度：10℃

湿度：28%RH

监测布点：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）有关布点原则进行布点。

质量控制：本项目监测单位南京瑞森辐射技术有限公司已通过检验检测机构资质认定（证书编号：22102034350，检测资质见附件 8），具备有相应的检测资质和检测能力，监测按照南京瑞森辐射技术有限公司《质量管理手册》和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求，实施全过程质量控制。

监测人员、监测仪器及监测结果：监测人员均经过考核，监测仪器经过计量部门检定，并在有效期内，监测仪器使用前经过检验，监测报告实行三级审核。

数据记录及处理：1、 γ 空气吸收剂量率：开机预热，手持仪器或将仪器固定在三脚架上。一般保持仪器探头中心距离地面（基础面）为 1m。仪器读数稳定后，每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差。空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数分别取 1.20Sv/Gy。2、表面污染水平：选取直接测量，在探测器灵敏窗和待检表面避免接触的情况下，将探测器在表面上方慢慢地移动，读取测量值，每个点位读取 6 个数据，读取间隔不小于 2s。

评价方法：参照江苏省天然 γ 辐射剂量水平调查结果，评价项目周围的辐射环境质量。

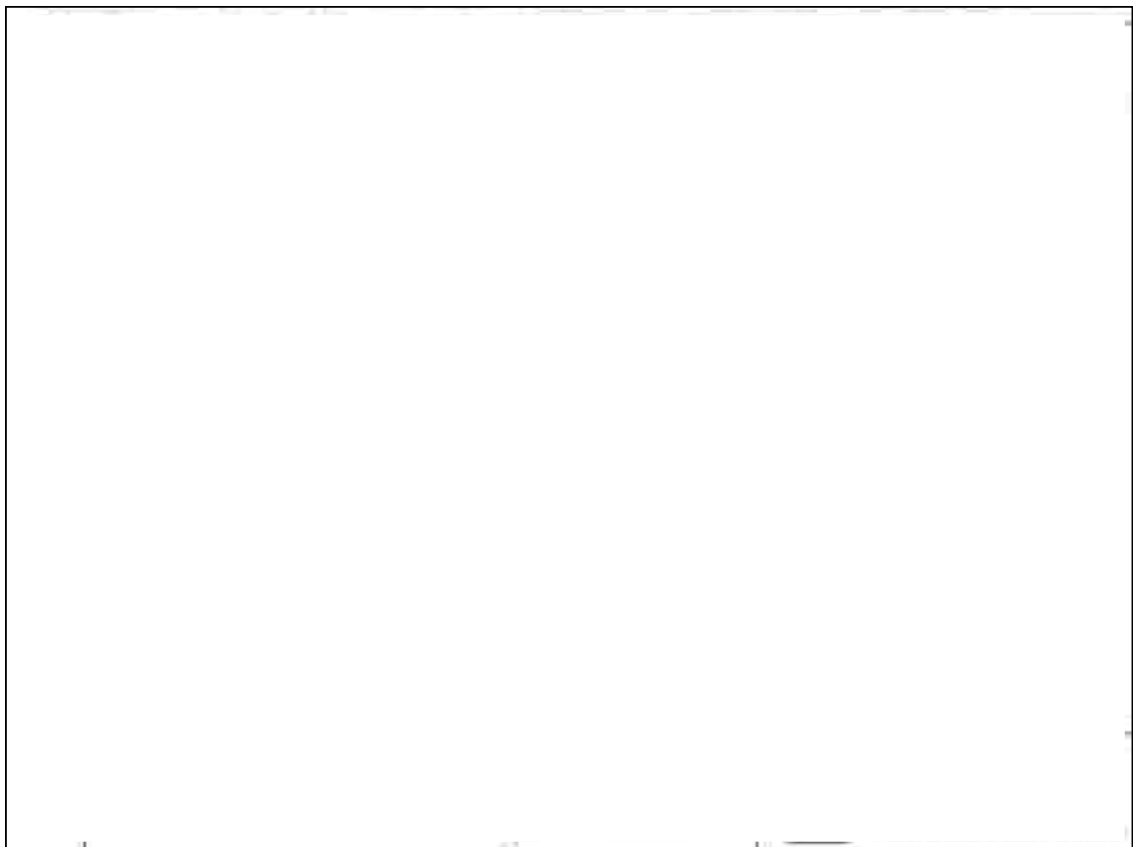


图 8-9 新建 PET/CT 诊断中心项目拟建址周围环境监测点位示意图

(一) γ 辐射剂量率

检测仪器：6150 AD 6/H+6150AD-b/H 型 X- γ 辐射监测仪（设备编号：NJRS-126，
检定有效期：2024 年 10 月 28 日~2025 年 10 月 27 日，检定单位：江苏省计量科学
研究院，检定证书编号：Y2024-0107802）

能量响应：20keV~7MeV

测量范围：1nSv/h~99.9 μ Sv/h

表 8-1 新建 PET/CT 诊断中心项目拟建址周围环境 γ 辐射水平

测点编号	测点描述	测量结果 (nGy/h)	标准差	备注
1	新建 PET/CT 诊断中心项目拟建址内东部	95	1	楼房
2	新建 PET/CT 诊断中心项目拟建址内南部	92	3	楼房
3	新建 PET/CT 诊断中心项目拟建址内西部	71	4	楼房
4	新建 PET/CT 诊断中心项目拟建址内北部	105	3	楼房
5	新建 PET/CT 诊断中心项目拟建址内中部	101	3	楼房
6	新建 PET/CT 诊断中心项目拟建址东侧	64	3	道路
7	新建 PET/CT 诊断中心项目拟建址南侧	88	2	楼房
8	新建 PET/CT 诊断中心项目拟建址西侧	84	2	楼房
9	新建 PET/CT 诊断中心项目拟建址北侧	66	2	道路
10	新建 PET/CT 诊断中心项目衰变池拟建址上方	66	2	道路
11	新建 PET/CT 诊断中心项目拟建址上方	110	3	楼房
12	3 号楼南侧	62	1	道路
13	2 号楼西南角	67	1	道路
14	6 号楼西北角	64	3	道路

注：1、上表数据已扣除检测仪器宇宙射线响应值。环境 γ 辐射剂量率测量结果按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中公式 $\dot{D} = C_f(E_f\bar{X} - \mu_c\bar{X}_c')$ 计算，其中， C_f 为仪器量程检定/校准因子，本项目为 1.02； E_f 为仪器检验源效率因子； $\bar{X}$ 为现场监测时仪器 n 次读数的平均值； μ_c 为建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房取值为 0.8，平房取值为 0.9，原野、道路取值为 1； $\bar{X}_c'$ 为测点处仪器对宇宙射线的响应值，本仪器的宇宙射线响应值为 25nGy/h；

2、检测时，核医学科现有工作场所内未开展放射诊疗项目。

由表 8-1 监测结果可知，张家港市第一人民医院新建 PET/CT 诊断中心项目拟建址室内点位周围环境天然 γ 辐射剂量率在（71~110）nGy/h，位于江苏省建筑物室内 γ 辐射（空气吸收）剂量率本底水平（50.7~129.4）nGy/h 范围内；室外点位周围环境 γ 辐射剂量率为（62~67）nGy/h，位于江苏省道路 γ 辐射（空气吸收）剂量率本底水平（18.1~102.3）nGy/h 范围内。

（二） β 表面污染水平

检测仪器：CoMo 170 型 α 、 β 表面污染测量仪（设备编号：NJRS-129，检定有效期：2024 年 3 月 28 日~2025 年 3 月 27 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2024-0027030）

测量范围：0cps~20000cps

表 8-2 新建 PET/CT 诊断中心项目拟建址周围 β 表面污染水平

测点编号	测点描述	测量结果（Bq/cm ² ）
1	新建 PET/CT 诊断中心项目拟建址内东部	<0.07
2	新建 PET/CT 诊断中心项目拟建址内南部	<0.07
3	新建 PET/CT 诊断中心项目拟建址内西部	<0.07
4	新建 PET/CT 诊断中心项目拟建址内北部	<0.07
5	新建 PET/CT 诊断中心项目拟建址内中部	<0.07
6	新建 PET/CT 诊断中心项目衰变间拟建址上方	<0.07

注：表面 β 放射性污染水平探测下限（LLD）为 0.07Bq/cm²。

由表 8-2 监测结果可知，张家港市第一人民医院新建 PET/CT 诊断中心项目拟建址周围 β 表面污染水平均低于仪器探测下限。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、工程设备

张家港市第一人民医院拟于 4 号楼一层扩建核医学科,配备 1 台型号未定 PET/CT (最大管电压 $\leq 140\text{kV}$,最大管电流 $\leq 1000\text{mA}$),使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 放射性核素(日等效最大操作量为 $1.96\text{E}+07\text{Bq}$)开展核素显像诊断,为丙级非密封放射性物质工作场所。

PET/CT 是将 PET 与 CT 融为一体,由 PET 提供病灶详尽的功能与代谢等分子信息,而 CT 提供病灶的精确解剖定位。PET 系统的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。探测系统是整个正电子发射显像系统中的主要部分,它采用的块状探测结构有利于消除散射、提高计数率。CT 主要由扫描部分、计算机系统、图像显示和存储系统组成,其中扫描部分由 X 线管、探测器和扫描架组成。本项目拟配备 1 台型号未定 PET/CT,主要设备技术参数见表 9-1, PET/CT 外观图见图 9-1。



图 9-1 常见 PET/CT 外观示意图

表 9-1 4 号楼一层核医学科 PET/CT 主要设备技术参数

指标名称	技术参数
型号	型号未定
位置	4 号楼一层核医学科 PET/CT 机房
最大管电压	$\leq 140\text{kV}$
最大管电流	$\leq 1000\text{mA}$
过滤片	2.5mmAl
距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率	1mGy/h
用途	显像

注：根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求，除牙科摄影和乳腺摄影用 X 射线设备外，X 射线有用线束中的所有物质形成的等效总滤过，应不小于 2.5mmAl；根据《医用电气设备 第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB 9706.103-2020）中 12.4 的相应要求，距靶 1m 处的泄漏辐射空气比释动能率为 1.0mGy/h。

二、工作原理及工作流程

（一）工作原理

PET 是利用接收核素衰变产生正电子湮灭时发射的 γ 光子成像的设备。正电子发射是放射性核素衰变的方式之一。这类核素在自发地从不稳定状态向基态衰变过程中，从核内释放出与普通电子一样但电荷相反的粒子，即正电子。正电子是一种反物质，从核内放出后很快与环境中自由电子碰撞湮灭，转化为一对方向相反、能量为 0.511MeV 的 γ 光子。如果在这对光子飞行方向上对置一对探测器，便可以几乎同时接收到这两个光子，并可推定光子发源（即正电子发射）点在两探头间连线上。通过环绕 360°排列的多组配对探头，经探头对之间符合线路检验判定每只探头信号时间耦合性，排除其他来源射线的干扰，得到探头对连线上的一维信息，再用滤波反投射方式，将信号按探头对的空间位置向中心点反投射，便可形成与探头组连线轴平行的断层面正电子发射示踪剂分布图像。这种探测方式一次只反映一个层面的信息。实用中常用多层排列的探头对，配合层间符合线路，以利探测并重建更多层面的图像。

PET/CT（Positron Emission Tomography and Computer Tomography），全称正电子发射断层与计算机断层诊断技术，是在 PET（Positron Emission Tomography）和 CT（Computer Tomography）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。

(二) 工作流程及产污环节

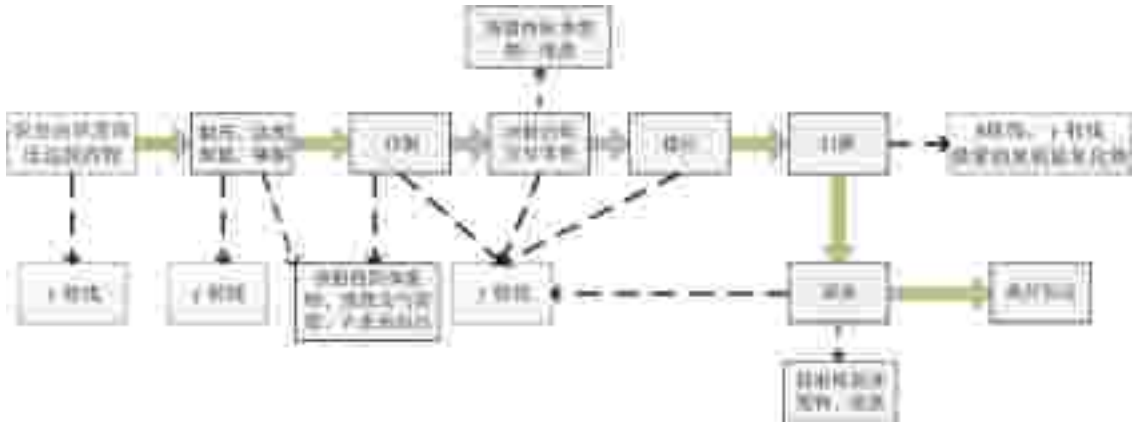


图 9-2 新建 PET/CT 诊断中心项目工作流程及产污环节分析示意图

张家港市第一人民医院新建 PET/CT 诊断中心项目工作流程及产污环节分析见图 9-2，工作流程如下：

- 1、医院根据患者预约情况提前向专业供应商订购放射性核素，由供应商于患者就诊前直接送至 4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心高活分装室。
- 2、放射性药物到货时为装入铅罐内的整罐药液，医护人员将整罐药液放入高活分装室手套箱内，按患者所需活度进行取药。本项目单人次最大用药量为 10mCi（3.70E+08Bq）；每次取药约 0.5~1mL，使用生理盐水稀释至 5mL 左右，排空注射器内空气后，静脉注射至患者体内。本项目 ¹⁸F 放射性核素进行显像诊断的日最大门诊量为 20 人，考虑到放射性药物的衰变，每天分上下午两批次进行送药，每批次送药量最大为 7.40E+09Bq（按照最大用药量的 2 倍备药），放置于 20mmPb 的铅罐内，上下午各送达 1 个铅罐。本项目使用 ⁶⁸Ga、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr 放射性核素进行显像诊断的日最大门诊量均为 2 人，⁶⁸Ga 核素单人单次最大用药量为 10mCi（3.70E+08Bq），每批次送药量最大为 7.40E+08Bq；⁶⁴Cu、⁸⁹Zr 核素单人单次最大用药量为 5mCi

($1.85\text{E}+08\text{Bq}$)，每批次送药量最大为 $3.70\text{E}+08\text{Bq}$ ，放置于 20mmPb 的铅罐内。

3、注射护士手持带铅套的注射器，在注射铅玻璃屏的屏蔽下为患者（建议提前预埋留置针）注射。注射完毕后，废弃注射器放入专用废物铅桶内。每次分装过程中近距离接触正电子药物的时间保守按 2min、注射过程按 1min 估算，医院拟为本项目配备 3 名护士，负责核素分装、注射。

4、患者根据注入的正电子药物特性，在注射后候诊室（双人间）或 VIP 注射后候诊室（单人间）内静坐或静躺候诊（等待约 30min）。

5、待药物代谢至靶器官，患者进入 PET/CT 机房，经医护人员摆位（每次约 1min）后，接受 PET/CT 的扫描，每次扫描约 20min。

6、扫描完成后，患者在留观室/抢救室（单人间）留观一段时间（约 10min）后，若无其他情况，从患者专用通道离开。

三、工作场所路线规划

本次新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所控制区和监督区内患者及医护人员均具有独立的出入口和流动路线，能够有效防止交叉污染，避免工作人员、公众受到不必要的外照射。本项目工作场所区域划分及患者、医护人员流动路线见附图 5。

（一）医护人员路线

1、4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心核素操作人员经卫生通过间进入高活分装室，工作结束后原路返回。

2、4 号楼一层核医学科 PET/CT 设备操作人员经候诊大厅到达控制室及机房（技师指导患者摆位/取消摆位一般使用语音对讲系统于控制室内进行隔室操作，若有行动不便患者，方进入 PET/CT 机房进行协助），工作结束后原路返回。

（二）患者路线

4 号楼一层核医学科患者经候诊大厅进入患者通道，听从语音指示按就诊流程依次经过注射窗口、注射后候诊室、机房、留观室/抢救室，最后由患者专用出口离开。

（三）放射性药物路线

放射性药物由专业供货商当天于患者就诊前经卫生通过间直接送至 4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心高活分装室，避免放射性药物与患者及其他人员发生交叉，结束后原路返回。

（四）放射性固体废物路线

4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心产生的放射性固体废物从各房间收集后，分别标记、分开贮存在废物库中的铅桶内，含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 放射性核素（半衰期均小于 24 小时）的废物在废物库的铅桶内自然衰变超过 30 天、含 ^{89}Zr 放射性核素（半衰期为 3.27 天、大于 24 小时）的废物在废物库的铅桶内自然衰变超过 10 倍半衰期（约 33 天）达到清洁解控水平推荐值后，经高活分装室、患者通道由患者专用出口错峰送出。

本项目相关配套布局能够保证各项工作程序沿着相关房间开展，减少了人员的流动性，有助于实施工作程序。医护人员与患者有各自独立的通道，控制区内设置有患者专用卫生间。医院拟采取向患者发放告知单及叫号等措施，避免患者随意走动，减少本项目对其他医护人员及患者的辐射影响。医院拟通过时间管理来控制注射后患者与放射性固体废物的交叉影响，给药后患者与放射性药物、注射放射性药物前的患者、辐射工作人员空间上不交叉，给药后患者与放射性固体废物时间上不交叉。本项目核医学科 PET/CT 诊断中心工作场所布局满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中关于临床核医学工作场所的要求。

污染源项描述

一、放射性污染

张家港市第一人民医院拟于 4 号楼一层扩建核医学科，配备 1 台 PET/CT，使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 放射性核素开展核素显像诊断。本项目涉及的工作场所使用的放射性核素日最大用量及年总用量见表 9-2。

表 9-2 本项目使用的放射性核素日使用量及年使用量

工作场所	核素名称	使用量	
4 号楼一层 核医学科 PET/CT 诊断中心	^{18}F	日最大用量	单次使用最大量 $10\text{mCi} \times \text{日最高峰 } 20 \text{ 人} \times 2 \text{ 倍备药量} = 1.48\text{E}+10\text{Bq}$
		年总用量	日最大用量 $1.48\text{E}+10\text{Bq} \times 300 \text{ 工作日} = 4.44\text{E}+12\text{Bq}$
	^{68}Ga	日最大用量	单次使用最大量 $10\text{mCi} \times \text{日最高峰 } 2 \text{ 人} = 7.40\text{E}+08\text{Bq}$
		年总用量	单次使用最大量 $10\text{mCi} \times \text{日最高峰 } 2 \text{ 人} \times 50 \text{ 工作日} = 3.70\text{E}+10\text{Bq}$

	⁶⁴ Cu	日最大用量	单次使用最大量 5mCi×日最高峰 2 人=3.70E+08Bq
		年总用量	单次使用最大量 5mCi×日最高峰 2 人×50 工作日 =1.85E+10Bq
	⁸⁹ Zr	日最大用量	单次使用最大量 5mCi×日最高峰 2 人=3.70E+08Bq
		年总用量	单次使用最大量 5mCi×日最高峰 2 人×50 工作日 =1.85E+10Bq

本项目 4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心工作场所具有《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：1、有相对独立、明确的监督区和控制区划分；2、工艺流程连续完整；3、有相对独立的辐射防护措施的特点，人流及物流具有自己的独立通道，不与其他楼层交叉。因此，4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心为一个独立的非密封放射性物质工作场所。

根据医院提供的预估工况分别核算其放射性核素日最大操作量和年总用量，根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）附录 A 表 A.1、表 A.2 及《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 C、附录 D，得到该核素的毒性组别及操作方式，根据核素的日最大操作量，经过毒性组别及操作方式的双重修正，得到整个非密封放射性物质工作场所的日等效操作量，并判断其工作场所等级。

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。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 9-3 和表 9-4。

表 9-3 放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表 9-4 放射性核素状态与操作方式修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较 低的固体	液体，溶液，悬 浮液	表面有污染的固体	气体，蒸汽，粉末， 压力很高的液体， 固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

本项目 4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心工作场所使用的放射性核素日等效最大操作量核算见表 9-5。

表 9-5 新建 PET/CT 诊断中心项目使用的放射性核素日等效最大操作量核算

工作场所	核素名称	日最大操作量 (Bq)	毒性组别 修正因子	操作方式与放射源状态 修正因子	日等效最大操 作量 (Bq)
4 号楼一层 核医学科 PET/CT 诊断中心	^{18}F	1.48E+10	低毒，0.01	很简单操作（液体），10	1.48E+07
	^{68}Ga	7.40E+08	低毒，0.01	很简单操作（液体），10	7.40E+05
	^{64}Cu	3.70E+08	低毒，0.01	很简单操作（液体），10	3.70E+05
	^{89}Zr	3.70E+08	中毒，0.1	很简单操作（液体），10	3.70E+06
	合计				1.96E+07

根据表 9-5 可知，4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心工作场所日等效最大操作量为 1.96E+07Bq。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），确定 4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心工作场所为丙级非密封放射性物质工作场所。

张家港市第一人民医院新建 PET/CT 诊断中心项目主要产生以下放射性污染：

（一）辐射

PET/CT 扫描时产生的 X 射线能量最大为 140kV，显像诊断用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 放射性核素在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中会产生 β 射线，衰变时同时伴随发射 γ 射线。以上射线会造成医务人员和公众的外照射；在进行上述

放射性核素操作过程中，引起操作台面、设备、墙壁、地面、工作服、手套等放射性沾污，造成β放射性表面污染。本项目拟使用的放射性核素特性见表 9-6。

表 9-6 放射性核素特性一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	α/β最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	周围剂量率当量率常数 (裸源) (μSv·m ² /MBq·h)
¹⁸ F	109.8min	β ⁺ , EC	0.63 (+)	0.511	0.143
⁶⁸ Ga	68.3min	β ⁺ , EC	1.9 (+)	0.511	0.134
⁶⁴ Cu	12.7h	β ⁻ , β ⁺ , EC	0.65 (+)	0.511, 1.346	0.029
⁸⁹ Zr	3.27d	β ⁺ , EC	0.906, 0.902, 0.013, 0.892	1.744, 1.712, 1.657, 0.909, 0.511, 0.015	0.154

注：数据来源于《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）和《放射性核素信息手册》（加拿大核监管机构，2023 年 1 月）。

PET/CT 扫描时 CT 发出的 X 射线，其贯穿能力远弱于放射性核素发出的γ射线，在γ射线得到充分屏蔽的条件下，CT 发出的 X 射线也能够得到足够的屏蔽。β射线穿透能力较弱，对周围环境影响很小，其对周围环境的辐射影响较放射性核素可忽略不计。而放射性核素衰变过程中产生的γ射线穿透能力较强，会对工作场所及周围环境产生一定的外照射影响。故本项目主要考虑放射性核素发出的γ射线的辐射影响。

张家港市第一人民医院本次新建 PET/CT 诊断中心项目使用 ¹⁸F 放射性核素进行显像诊断的日接诊量最大为 20 人次、年工作 300 天，使用 ⁶⁸Ga、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr 放射性核素进行显像诊断的日接诊量最大均为 2 人次、年最多工作 50 天，故本项目年最大接诊量为 6300 人次。医院核医学科现有 6 名辐射工作人员，其中医师 3 人、技师 2 人、护士 1 人，本项目辐射工作拟由该 6 名辐射工作人员和其他科室调配的 1 名技师、2 名护士共同承担，计划分为两组，共同承担核医学科的辐射工作，此 9 名辐射工作人员除开展核医学科相关辐射工作外，不兼职其他辐射工作。

（二）放射性废气

放射性核素在操作过程中，由于空气的流动而“挥发”出的微量放射性废气，被辐射工作人员吸入体内造成的内照射影响。本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（通风速率不少于 0.5m/s，排放口高于本建筑屋脊），开放液面挥发散逸的放射性同位素经通风系统内活性炭过滤后，从手套箱的通风管道

直接抽出，由 4 号楼屋顶排放至大气；新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所拟设置有新风系统及独立的排风系统，工作场所的气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持各工作场所的负压和各区之间的压差，能够有效防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

（三）放射性废水

本项目放射性废水主要为体内含有放射性核素的患者排泄物和工作场所清洗废水等。新建 PET/CT 诊断中心项目使用 ^{18}F 放射性核素进行显像诊断的日接诊量最大为 20 人次、年工作 300 天，使用 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 放射性核素进行显像诊断的日接诊量最大均为 2 人次、年工作 50 天，本项目年最大接诊量为 6300 人次。放射性废水产生量按 10L/人计算，工作场所每天的清洗废水约为 100L，则 4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心放射性废水排放量为 $93\text{m}^3/\text{年}$ （ $10\text{L}/\text{人} \times 6300 \text{人}/\text{年} + 100\text{L}/\text{天} \times 300 \text{天}/\text{年}$ ）。

（四）放射性固体废物

本项目可能产生的放射性固体废物主要包括放射性核素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸、擦拭纸等带微量放射性核素的医疗固体废弃物和手套箱顶壁及通风管道内更换下来的废活性炭，可能对周围环境产生一定的危害，污染途径为操作过程中及收集固废过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射。

新建 PET/CT 诊断中心项目年最大接诊量为 6300 人次，放射性固体废物产生量按 $0.02\text{kg}/\text{人}$ 计算，则放射性固体废物产生量为 $126\text{kg}/\text{年}$ （ $0.02\text{kg}/\text{人} \times 6300 \text{人}/\text{年}$ ）。核医学科 PET/CT 诊断中心手套箱顶壁及通风系统每年更换下来的废活性炭总量约 20kg 。

二、非放射性污染

（一）废气

PET/CT 机房内的空气在 γ 射线、X 射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体。

（二）废水

主要是辐射工作人员产生的生活污水。

（三）固体废物

主要是辐射工作人员产生的生活垃圾。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作场所布局及分区

张家港市第一人民医院新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所为丙级非密封放射性物质工作场所，位于 4 号楼一层东部，核医学科 PET/CT 诊断中心拟建址东侧、北侧为院内道路，南侧为候诊大厅，西侧为核医学科现有工作场所，上方为仓库（现为氧舱大厅）和走廊，下方为土层。

新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所建于 4 号楼一层东部，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道，不与其他楼层交叉。新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离，本项目工作场所排风口位于 4 号楼楼顶北部（位置见附图 8），排风口位置尽可能远离周边高层建筑，无环境制约因素，本项目选址合理。

4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心工作场所包括以下主要房间：PET/CT 机房、控制室、设备间、储源库（预留）、高活分装室、急救用品库、废物库、注射后候诊室、VIP 注射后候诊室、留观室/抢救室、污洗间、患者通道、卫生通过间、淋浴间、衰变间等。医院将核医学科 PET/CT 诊断中心工作场所进行分区管理，将涉及放射性核素操作及带药患者的主要活动区域划分为控制区，主要有 PET/CT 机房、储源库（预留）、高活分装室、废物库、急救用品库、注射后候诊室、VIP 注射后候诊室、留观室/抢救室、污洗间、患者通道、衰变间等。将与辐射剂量率较低、与辐射工作密切相关的区域或与控制区相邻的区域设为监督区，主要有控制室、设备间、卫生通过间、淋浴间等。4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心工作场所平面布置及分区见附图 5。

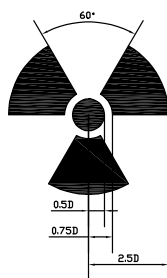
新建 PET/CT 诊断中心项目放射性废水衰变系统位于 4 号楼北侧地下，本项目拟将衰变间划分为控制区。

表 10-1 新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所的控制区、监督区划分情况一览表

工作场所	控制区	监督区
4 号楼北侧地下	衰变间	/
4 号楼一层 核医学科 PET/CT 诊断中心	PET/CT 机房、储源库（预留）、高活分装室、废物库、急救用品库、注射后候诊室、VIP 注射后候诊室、留观室/抢救室、污洗间、患者通道	控制室、设备间、卫生通过间、淋浴间

本项目控制区拟采用如下防护手段与安全措施：

（一）控制区的进出口设置电离辐射警告标志，核医学科 PET/CT 诊断中心工作场所内部放射性物质运送配备的贮存、转运等容器表面和收集固体放射性废物的专用废物桶表面设置电离辐射标志（如图 10-1）。



（a）电离辐射标志



（b）电离辐射警告标志

图 10-1 电离辐射标志和电离辐射警告标志

（二）制定辐射防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

（三）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；

（四）在卫生通过间备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；

（五）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。

本项目监督区拟采用如下防护手段与安全措施：

（一）采用实体边界或以黄线警示监督区的边界；

（二）在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

（三）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。

新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所的控制区和监督区划分明显，相关配套布局能够保证各项工作程序沿着相关房间开展，减少了人员的流动性，有助于实施工作程序；医院拟采取向患者发放告知单及叫号等措施，避免患者随意走动，减少本项目对其他医护人员及患者的辐射影响；本项目工作场所拟设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径，工作人员通道和患者通道分开，给药后患者与放射性药物、注射放射性药物前的患者、辐射工作人员空间上不交叉，给药后患者与放射性固体废物时间上不交叉，以减少给药后患者对其他人员的照射；控制区的出入口设有卫生缓冲区，为工作人员和患者提供了防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备，控制区内注射后候诊室、留观室/抢救室均设有给药后患者的专用卫生间，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中关于辐射工作场所的分区规定和核医学工作场所的布局要求，本项目工作场所布局合理。

二、辐射防护屏蔽设计

新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所的屏蔽防护设计方案见表 10-2。

表 10-2 新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所屏蔽设计一览表

工作场所名称		屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
4 号楼北侧地下	衰变间	四周墙体	300mm 混凝土
		顶部	300mm 混凝土（检修口为 8mm 铅板）
		底部	500mm 混凝土
4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心	高活分装室	北侧墙体	370mm 实心砖+1mm 铅板
		东、南、西侧墙体	370mm 实心砖
		顶部	110mm 混凝土+2mm 铅板
		防护门	8mm 铅板
		手套箱	60mm 铅当量手套箱
		注射窗	55mm 铅当量注射窗
	废物库、急救用品库、储源库（预留）	四周墙体	370mm 实心砖
		顶部	110mm 混凝土+2mm 铅板

		防护门	6mm 铅板
	VIP 注射后候诊室、注射后候诊室、留观室/抢救室	四周墙体	370mm 实心砖（注射后候诊室与高活分装室共墙部分为 370mm 实心砖+1mm 铅板）
		顶部	110mm 混凝土+3mm 铅板
		防护门	6mm 铅板
	PET/CT 机房	东墙、南墙、北墙	370mm 实心砖+2mm 铅板
		西墙	200mm 实心砖+370mm 实心砖
		顶部	110mm 混凝土+6mm 铅板（机房西北角（东西长 5.240m×南北长 6.267m）区域顶部防护为 200mm 混凝土+3mm 铅板）
		东侧防护门	6mm 铅板
		南侧防护门	8mm 铅板
		北侧防护门	6mm 铅板
		观察窗	8mm 铅当量铅玻璃
	污洗间	四周墙体	370mm 实心砖
		顶部	110mm 混凝土+2mm 铅板
		防护门	3mm 铅板
	患者通道	控制区内共墙	与相邻房间屏蔽一致
		控制区边界墙体	370mm 实心砖
		顶部	110mm 混凝土+2mm 铅板
		防护门	6mm 铅板
	穿线管道	本项目电缆线布设采用电缆沟，电缆孔处设置 4mm 铅板盖板；通排风管道均于吊顶上方铺设，穿墙方式采用直穿式，管道口接口处采用 4mm 铅板进行包裹。	

注：1、新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所下方为土层；

2、混凝土密度为 2.35g/cm³，实心砖密度为 1.65g/cm³，铅密度为 11.3g/cm³，铅玻璃密度不小于 3.86g/cm³；

3、顶部附加铅板采用钢龙骨架铺设于机房吊顶处，相关施工图已通过设计审查，审查合格书及苏州市民用建筑设计院有限公司（设计单位）施工说明见附件 10。

三、辐射安全和防护措施

（一）电离辐射警告标志

医院拟将新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所划分为控制区和监督区，在控制区、监督区入口处分别设置标明控制区、监督区的标志，在控制区入口处（包括 PET/CT 机房、高活分装室、注射后候诊室、留观室/抢救室门口）、废物桶、屏蔽铅套表面等均拟设置有符合规范的电离辐射警告标志；

（二）工作状态指示灯

PET/CT 机房门口拟设置工作状态指示灯，灯箱上拟设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，且工作状态指示灯与机房门有效关联，用于提示机房内设备的运行状态；平开机房门拟设有自动闭门装置，推拉式机房门拟设有防夹装置和曝光时关闭机房门的管理措施。

（三）视频监控和对讲装置

医院拟在 PET/CT 机房与控制室内设置双向语音对讲装置和监控系统，且 PET/CT 机房控制台处拟安装观察窗，在诊断过程中医务人员可以及时观察患者情况和与患者交流，保证诊断质量和防止意外情况的发生。

医院拟在核医学科 PET/CT 诊断中心工作场所控制区内安装监控及对讲设备，通过监控及对讲设备进行叫号，对控制区内用药后患者进行有序管理。

（四）对控制区内带药患者的监督管理

医院拟做好本项目控制区的监督管理工作，防止无关人员入内；拟在控制区出入口设置带有门禁系统的单向门，患者按照“入口只进不出、出口只出不进”的单向路线活动；加强对控制区内注射放射性药物患者的监督管理，避免其给药后随意走动；同时告知检查完成后患者离开路线，防止其对公众造成不必要照射。核医学科 PET/CT 诊断中心工作场所地面拟设置患者行进路线标识，引导患者行进。

（五）安全管理措施规定

新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所内不得安排与放射性无关的工作；在控制区和监督区内不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作及存放无关物件。工作人员离开工作室前洗手和做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，应采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。放射性药物送达后存放于工作场所高活分装室手套箱内，高活分装室拟设置有门禁系统，放射性药物的使用、贮存情况等由专人负责登记、专人形成台账、每

月核对，确保账物相符。

（六）工作场所表面放射性污染控制措施

新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所控制区内墙面、地面均拟采用易于去污的材料或涂料，并平整光滑；地面与墙面交接做成圆角，且有一定的坡度朝向地漏（如设置地漏）；放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处无接缝，易于清洗、去污。控制区内淋浴间、盥洗水盆、清洗池等均选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的放射性污染。

（七）工作人员防护用品

医院拟为本项目辐射工作人员配备的辐射防护装置及个人防护用品主要有放射性污染防护服、个人剂量报警仪、个人剂量计等。

本次新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所划分控制区和监督区，实施分区管理，布局基本合理，相关防护安全设施、污染防治措施等符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）的标准要求。

四、监测仪器和防护用品

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，开展辐射工作的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警、辐射监测等仪器。

表 10-3 个人防护用品、辅助防护和安全措施设置配置符合性

项目	拟采取措施	备注
安全措施	拟设置门禁系统、视频监控和对讲装置。	设置后满足要求
	PET/CT 机房、高活分装室、废物库、注射后候诊室、留观室/抢救室门外表面拟设置电离辐射警告标志。	
	建立放射性药物出入库台账，做好记录并存档备案。	
	拟配备 6 个放射性废物桶（防护厚度应不低于 10mmPb，放置在高活分装室、注射后候诊室、留观室/抢救室、废物库等房间内）。	
	拟配备 2 个铅屏风（防护厚度应不低于 5mmPb，放置在注射后候诊室、PET/CT 机房等房间内）。	
	拟配备 1 个注射器防护套（防护厚度应不低于 5mmPb）。	

	相关岗位职责和操作规程等工作制度在合适位置张贴上墙。	
	辐射工作人员需通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	按要求考核
个人防护	已配备 1 台辐射巡测仪。	按要求配备、送检，并确保正常运行
	拟为本项目配备表面污染测量仪 1 台（放置于卫生通过间）。	
	拟为本项目配备个人剂量报警仪 2 台。	按要求佩戴
	辐射工作人员均需佩戴个人剂量计，开展个人剂量监测。	按要求佩戴并送检
	拟配备放射性防护服、口罩、手套等。	按需配备

张家港市第一人民医院已配备有辐射巡测仪 1 台，拟为本项目配备表面污染测量仪 1 台和个人剂量报警仪 2 台。医院拟为辐射工作人员配备放射性污染防护服等个人防护用品和注射器屏蔽套、带有屏蔽的容器、托盘、放射性废物桶、手套箱等辅助防护用品。辐射工作人员工作时将佩戴个人剂量计，以监测累积受照情况。医院拟定期组织辐射工作人员进行健康体检，并按相关要求建立有辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

三废的治理

一、放射性“三废”

（一）放射性废气

在进行液态放射性药物活度操作过程中，若放射性药物液面处于开放状态，空气中可能挥发微量放射性同位素，污染途径为放射性药物在空气中挥发散逸造成人员吸入的内照射。本次新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所高活分装室内设有 1 个防护铅当量为 60mmPb 的手套箱，本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（设计通风速率不少于 0.5m/s）。为防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出，手套箱等密闭设备设计有单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭等过滤装置。

医院拟将排风口设在高于本建筑物（4 号楼）屋脊位置，排风口位置尽可能远离周边高层建筑，满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“排气口应高于本建筑物屋顶”的要求，能够有效防止放射性废气对周围环境产生的影响，符合放射性工作场所相关要求。同时医院在

手套箱管道内及屋顶排放口处设置活性炭过滤吸附装置，对放射性气溶胶进行吸附，降低放射性气溶胶外排浓度，吸附材料应定期更换（应定期检查吸附材料的有效性，及时更换失效的过滤吸附装置，更换周期不超过厂家推荐的使用时间）并作为放射性固体处理。本项目工作场所拟设置有新风系统及独立的排风系统，工作场所的气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持各工作场所的负压和各区之间的压差，能够有效防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所进、排风管道布设示意图见附图 7。

（二）放射性废水

新建 PET/CT 诊断中心项目产生的放射性废水主要包括：体内含有放射性核素的患者排泄物和工作场所清洗废水等。

医院拟于 4 号楼北侧地下新建放射性废水衰变系统，本项目产生的含 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 放射性核素（半衰期最长的核素为 ^{89}Zr ，为 3.27 天）的放射性废水由独立下水管道统一集中到衰变系统中（结构示意图见图 10-2）。



图 10-2 衰变系统结构示意图

衰变系统采用槽式衰变池，由 1 个沉淀池和 3 个衰变池组成，衰变池采用不锈钢罐体，池体坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑且具有防泄漏措施。单个衰变池体积约为 3.0m（长）×2.0m（宽）×2.0m（高），有效容积约 12m³，总有效容积约 36m³。衰变池池体均为成品不锈钢材质，进出水采用电动阀门控制，其工作流程为：4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心放射性废水经沉淀池后首先进入 1#衰变池；当 1#衰变池装满废水后封闭，启用 2#衰变池，以此类推，2#衰变池装满废水后封闭，启用 3#衰变池，待 3#衰变池装满废水时，1#衰变池内的废水存放时间已达到 90 天（12m³×2÷1.86m³/周×7d/周），监测合格后可将 1#衰变池内废水排放，满足《核医学

辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期，监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放”的要求。2#衰变池与 3#衰变池同 1#衰变池工作流程类似，交替运行。本项目衰变池上设有取样口，拟设置防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、衰变池超压的措施，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中的相关要求。

新建 PET/CT 诊断中心项目放射性废水经专用管道流入衰变系统，均采用地埋式排水管道，埋地深度约 1 米，管径为 110mm，无裸露管道，避免放射性废水流动时造成管道穿行区域的辐射泄漏。

本项目衰变系统为槽式衰变池，由 1 个沉淀池和 3 个衰变池组成，衰变间四周墙体和顶部采用 300mm 混凝土、底部采用 500mm 混凝土进行辐射屏蔽，顶板覆土 0.5m，衰变间检修口处设 8mm 铅板盖板（高于地面 1m），能够满足辐射屏蔽要求。本项目衰变系统建设于 4 号楼北侧绿化带处，周围人流量很小，医院拟在衰变系统上方周围使用栅栏设置物理隔断并粘贴电离辐射警告标志和警示标语，提醒无关人员勿靠近和在此逗留。故本项目衰变系统对周边环境的辐射影响很小。

本项目放射性废水的暂存和处理拟安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废水所含的核素名称、体积、废水产生起始日期、责任人员、排放时间等信息，能够满足放射性废水的辐射安全管理要求。

（三）放射性固体废物

本项目可能产生的放射性固体废物主要包括放射性核素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸、擦拭纸等带微量放射性核素的医疗固体废弃物和手套箱顶壁及通风管道内更换下来的废活性炭。核医学科高活分装室、注射后候诊室、留观室/抢救室等房间均拟设置 1~2 个放射性废物桶（防护厚度应不低于 10mmPb）。

4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心产生的放射性固体废物从各房间收集后分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等）集中到废物库（尺寸为 1.93m（长）×1.14m（宽）×4.84m（高），容积约为 10m³）内的铅桶中暂存，手套箱顶壁及通风管道内更换下来的废活性炭也暂存在废物库内。

根据医院对本次新建 PET/CT 诊断中心项目的接诊量预测放射性固体废物在所需暂存时间内的产生量，含 ¹⁸F、⁶⁸Ga、⁶⁴Cu 核素的放射性固体废物（暂存超过 30 天）

的产生量为 10.6kg (1.27m³)，含 ⁸⁹Zr 核素的放射性固体废物（暂存超过 10 倍半衰期，约 33 天）的产生量为 0.19kg (0.02m³)，暂存 4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心废物库内，该废物库容积约为 10m³，实际可容纳放射性废物约 5m³，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天”“所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍”的要求。

4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心产生的放射性固体废物可在废物库内暂存超过时间要求，经检测合格（辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 0.8Bq/cm²）后，委托有资质单位进行处置，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。同时放射性废物包装袋还应满足“放射性废物每袋不超过 20kg”“每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h”的标准要求。

医院拟安排专人负责放射性固体废物的存储和处理，并拟建立废物存储和处理台账，详细记录放射性固体废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息，能够满足放射性固体废物的辐射安全管理要求。

二、非放射性“三废”

（一）废气

PET/CT 机房内的空气在 γ 射线、X 射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，可通过工作场所拟设置的排风系统及新风系统排至室外，臭氧在常温下约 50 分钟可自行分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

（二）废水

辐射工作人员产生的生活污水，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

（三）固体废物

辐射工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本次新建 PET/CT 诊断中心项目机房及工作场所建设属于 4 号楼的部分工程，建设时将进行墙体隔断、辐射防护工程施工与内饰装潢，将产生施工噪声、扬尘和建筑垃圾污染，建设施工时对环境会产生如下影响：

一、大气

本项目在建设施工期需进行的墙体隔断、辐射防护工程施工等作业，各种施工将产生地面扬尘，另外机械作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：及时清扫施工场地，设立围挡，并保持施工场地一定的湿度。

二、噪声

整个建筑施工阶段，如墙体隔断、辐射防护工程与内饰装潢等施工中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的标准，尽量采用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业。

三、固体废物

项目施工期间，会产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，委托有资质单位进行清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落。

四、废水

项目施工期间，有一定量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水进行初级沉淀处理，并经隔渣后排放。

建设单位在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在院区内局部区域，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

张家港市第一人民医院拟于 4 号楼一层现有核医学科东侧扩建 PET/CT 诊断中心，建设 1 座 PET/CT 机房及相关配套用房，配备 1 台 PET/CT（型号未定），配合使用

^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 放射性核素开展核素显像诊断。

(一) β 射线辐射影响分析

β 射线的穿透性能较差， β 粒子在低 Z 物质中的射程，与能量等于 β 粒子最大能量的单能电子的射程是一样的，可以采用《辐射防护导论》中的公式（4.15）进行计算：

$$d = R/\rho \quad \text{公式 11-1}$$

式中： d — β 粒子的最大射程，cm；

R — β 粒子在低 Z 物质中的射程，g/cm²；

ρ —物质的密度，g/cm³。

本项目拟使用的放射性核素衰变发出的 β 射线，在低 Z 物质中的射程 R 可采用《辐射防护导论》中的公式（4.13）进行计算：

$$R = 0.412 \cdot E^{(1.265-0.0954 \cdot \ln E)} \quad (0.01 < E < 2.5 \text{ MeV}) \quad \text{公式 11-2}$$

式中： E — β 射线能量，MeV。

根据公式 11-1、公式 11-2，可预测出本项目放射性核素衰变发出的 β 射线在不同材料中的射程，预测结果见表 11-1。

表 11-1 β 射线在不同材料中的射程

核素名称	E (MeV)	R (g/cm ²)	屏蔽材料	ρ (g/cm ³)	d (cm)
^{18}F	0.63	0.23	铅	11.34	0.020
			混凝土	2.35	0.096
			实心砖	1.65	0.136
^{68}Ga	1.9	0.89	铅	11.34	0.079
			混凝土	2.35	0.380
			实心砖	1.65	0.541
^{64}Cu	0.65	0.23	铅	11.34	0.021
			混凝土	2.35	0.100
			实心砖	1.65	0.142
^{89}Zr	0.906	0.36	铅	11.34	0.032
			混凝土	2.35	0.155

			实心砖	1.65	0.220
--	--	--	-----	------	-------

本项目手套箱采用铅板及铅玻璃进行防护，工作场所墙体采用实心砖或实心砖+铅板、顶部采用混凝土或混凝土+铅板，各防护门均采用铅防护门，观察窗、注射窗均为铅玻璃窗进行辐射防护，本项目放射性核素β射线在上述屏蔽材料中射程均极短。

综上所述，本项目涉及使用的放射性核素在整个过程中均采取了有效的屏蔽措施屏蔽β射线，同时周围公众与放射性核素之前还采取了距离防护措施，因此β射线对辐射工作人员和周围公众辐射影响很小。

(二) β射线所致韧致辐射影响分析

β射线与物质相互作用会产生韧致辐射，在进行韧致辐射环境影响预测时，可采用《辐射防护导论》中的公式（4.20）进行计算：

$$\dot{D} = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \cdot \left(\frac{E_b}{r}\right)^2 \cdot \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right) \quad \text{公式 11-3}$$

式中： $\dot{D}$ —屏蔽层中由β粒子产生的韧致辐射在 r （m）处空气中的吸收剂量率，Gy/h；

A —放射源的活度，Bq；

Z_e —吸收β粒子的屏蔽材料（或靶核）的有效原子序数，由《辐射防护导论》表 4.4 查得；

E_b —韧致辐射的平均能量，MeV，根据《辐射防护导论》“韧致辐射具有连续能谱。在实际屏蔽计算时，可以假定韧致辐射的评价能量 E_b 是入射β粒子的最大能量的 1/3，即 $E_b \approx E_{max}/3$ ”；

r —放射源到考察点的距离，m；

μ_{en}/ρ —平均能量为 E_b 的韧致辐射在屏蔽材料中的质量能量吸收系数， $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ ，其值可由《辐射防护导论》附表 1 查得。

再采用《辐射防护导论》中的公式（4.21）进行计算：

$$\dot{H}_I = 10^6 \cdot \dot{D} \cdot q \cdot \eta \quad \text{公式 11-4}$$

式中： $\dot{H}_I$ —β射线在屏蔽材料中产生的韧致辐射在 r （m）处剂量当量率，μSv/h；

10^6 —单位转换系数；

q —β粒子的品质因子，取 1；

η —透射比，与衰减倍数 K 互为倒数。

首先考虑核素药物暂存在手套箱中时 β 射线所致轫致辐射影响，计算参数及计算结果见表 11-2。

表 11-2 β 射线所致轫致辐射影响理论预测计算参数及结果（手套箱外）

核素	单次最大操作量 (Bq)	Z_e	E_{max} (MeV)	E_b (MeV)	r (m)	μ_{en}/ρ (m ² /kg)	η	参考点辐射水平 (μSv/h)
¹⁸ F	7.40E+09	82	0.63	0.21	0.5	6.229E-02	2.00E-08	6.11E-06
⁶⁸ Ga	7.40E+08	82	1.9	0.63	0.5	7.132E-03	2.00E-04	6.36E-03
⁶⁴ Cu	3.70E+08	82	0.65	0.22	0.5	6.229E-02	2.00E-08	3.25E-07
⁸⁹ Zr	3.70E+08	82	0.906	0.58	0.5	7.132E-03	2.00E-04	2.68E-03

注：查取 K 值时，屏蔽厚度取手套箱+铅罐的屏蔽厚度，即 8cm 铅；当表中未给出 8cm 铅对应的衰减倍数时，取最接近但不超过 8cm 铅的衰减倍数。

其次考虑药物注射过程中 β 射线所致轫致辐射影响，计算参数及计算结果见表 11-3。

表 11-3 β 射线所致轫致辐射影响理论预测计算参数及结果（药物注射过程中）

核素	单次最大操作量 (Bq)	Z_e	E_{max} (MeV)	E_b (MeV)	r (m)	μ_{en}/ρ (m ² /kg)	η	参考点辐射水平 (μSv/h)
¹⁸ F	3.70E+08	82	0.63	0.21	0.5	6.229E-02	2.00E-08	3.05E-07
⁶⁸ Ga	3.70E+08	82	1.9	0.63	0.5	7.132E-03	5.00E-03	0.080
⁶⁴ Cu	1.85E+08	82	0.65	0.22	0.5	6.229E-02	2.00E-08	1.63E-07
⁸⁹ Zr	1.85E+08	82	0.906	0.58	0.5	7.132E-03	5.00E-03	0.033

注：查取 K 值时，屏蔽厚度取注射器铅套+注射窗的屏蔽厚度，即 5.5cm 铅；当表中未给出 5.5cm 铅对应的衰减倍数时，取最接近但不超过 5.5cm 铅的衰减倍数。

由表 11-2、表 11-3 计算结果可知，核素药物在分装及注射过程中，轫致辐射所致最大剂量率为 0.080μSv/h，对近距离接触的人员有一定辐射影响。本项目放射性核素 β 射线所致轫致辐射的影响低于核素 γ 射线的影响，当核医学科 PET/CT 诊断中心采取的屏蔽措施能满足 γ 射线的防护时，也能够满足 β 射线所致轫致辐射的防护。

（三） β 放射性表面污染影响分析

β 放射性表面污染的影响主要来源于辐射工作人员操作时，放射性物质逸出或飞

散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对辐射工作人员和周围公众造成辐射影响，因此，为了使本项目核医学科的 β 放射性表面污染水平达到 GB 18871-2002 规定的要求，环评要求建设方要做到以下防护措施：

- 1、使用、操作放射性核素的人员应经过专业学习并持证上岗，具备相应的技能与防护知识；
- 2、本项目放射性核素操作均在手套箱中进行；
- 3、操作放射性核素应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料；
- 4、不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；
- 5、放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、清洗、去污；
- 6、做好就诊患者的管理，特别是注射放射性药品的患者管理工作，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动；
- 7、如 β 放射性表面污染水平超过 GB 18871-2002 规定值，医院应暂停开展核医学科的相关业务，去污染经检测符合标准后方可重新开展业务，同时辐射工作人员出现手、皮肤、内衣、工作袜等出现污染情况需及时进行去污操作并暂停放射性物质操作评估其受照射剂量，并根据评估结果采取下一步措施（调整工作或接受治疗等）。

（四） γ 射线辐射影响分析

参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I，本项目核医学科 PET/CT 诊断中心工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。

$$x = TVL \times \lg\left(\frac{A \times \Gamma}{\dot{H}_p \times r^2}\right) \quad (I.1)$$

式中： x —屏蔽厚度，mm；

TVL — γ 射线的十分之一值层厚度，mm；

A —单个患者或者受检者所用放射源的最大活度，MBq；

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

$\dot{H}_p$ —屏蔽体外关注点剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

R —放射源到考察点的距离，m。

由公式 I.1 推导可得：

$$\dot{H}_p = \frac{A \times \Gamma}{r^2} 10^{(-\frac{x}{TVL})} \quad \text{公式 11-5}$$

本项目用于 PET/CT 显像检查的核素 (^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr) 中, 单次使用量和年用量最大为 ^{18}F 核素, γ 射线能量和周围剂量当量率常数最大的为 ^{89}Zr 核素, ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 核素与 ^{18}F 核素特性相似且单次用药量仅 ^{18}F 核素的一半, 因此本次选用 ^{18}F 、 ^{89}Zr 核素对本项目产生的辐射影响进行预测计算分析。

由《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)、《放射性核素信息手册》(加拿大核监管机构, 2023 年 1 月) 和《辐射安全手册》(潘自强主编) 查出铅、混凝土和实心砖对 ^{18}F 、 ^{89}Zr 什值层见表 11-4。

表 11-4 常用核素屏蔽材料十分之一值层厚度 (TVL)

核素	铅 (11.3g/cm ³)	砖 (1.65g/cm ³)	混凝土 (2.35g/cm ³)
^{18}F	16.6mm	263mm	176mm
^{89}Zr	34.0mm	342mm	267mm

根据工程分析可知, 新建 PET/CT 诊断中心项目辐射影响主要包括近距离操作药物 (包括药物分装、质控的活度测量过程)、注射、扫描等过程, 主要对本项目辐射工作人员及室外公众产生外照射辐射影响, 根据公式 11-5 可预测出新建 PET/CT 诊断中心项目周围各参考点处的辐射水平, 各参考点位置见图 11-1, 预测结果见表 11-5。



图 11-1 新建 PET/CT 诊断中心项目预测点位示意图

表 11-5 (a) 新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所辐射水平预测结果 (¹⁸F、⁶⁸Ga、⁶⁴Cu)

点位	参考点位置	源强 I'(Bq)	与源的距 离 (m)	屏蔽	参考点辐射水平	控制目标值	备注
1	核素操作工作位	分装： 8.51E+09	0.50	20m			铅罐为 20mmPb, 手套箱为 60mmPb
2	手套箱非正对人员操作位表面	分装： 8.51E+09	0.80				
3	高活分装室东门外表面 30cm	手套箱内： 8.51E+09	3.17	20mmPb			
		注射器内： 3.70E+08	4.10				
4	高活分装室南墙外表面 30cm	手套箱内： 8.51E+09	1.51	20mmPb			在计算手套箱内暂存的放射性药物致高活分装室外各关注点处的辐射剂量率时，考虑铅罐和手套箱对其的屏蔽影响
		注射器内： 3.70E+08	5.07	37			
5	高活分装室西墙外表面 30cm	手套箱内： 8.51E+09	1.23	20mmPb			
		注射器内： 3.70E+08	3.90	37			
6	患者通道入口门外表面 30cm ³⁾	手套箱内： 8.51E+09	2.25	20mmPb	6mmPb	4+1.461)	
		患者体内： 3.70E+08	3.97				

7	高活分装室北墙外表面 30cm	手套箱内： 8.51E+09	4.94	20mmPb+60mmPb+370mm 实心砖+1mmPb	5.17E-07	0.948 (2.58E-05+0.948)	10	
		注射器内： 3.70E+08	1.38	370mm 实心砖+1mmPb	0.034			
8	高活分装室上方外表面 30cm	手套箱内： 8.51E+09	4.25	20mmPb+60mmPb+110mm 混凝土+2mmPb	2.72E-06	0.526 (1.84E-04+0.526)	2.5	
		注射器内： 3.70E+08	4.25	110mm 混凝土+2mmPb	0.180			
9	注射位	3.70E+08	0.50	55mmPb+5mmPb	2.43E-04	0.051	2.5	注射窗为 55mmPb， 注射铅套为 5mmPb
10	注射后候诊室东墙 外表面 30cm	7.40E+08	5.35	370mm 实心砖	0.039	0.145	2.5	
11	注射后候诊室南墙 外表面 30cm	7.40E+08	1.48	370mm 实心砖+1mmPb	0.034	1.648	2.5	
12	注射后候诊室西墙 外表面 30cm	7.40E+08	3.43	370mm 实心砖	0.039	0.352	10	2 人候诊，假设候诊 时患者位于注射后 候诊室等候位上
13	注射后候诊室西门 外表面 30cm	7.40E+08	3.67	6mmPb	0.435	3.418	10	
14	注射后候诊室北墙 外表面 30cm	7.40E+08	2.82	370mm 实心砖	0.039	0.521	10	
15	注射后候诊室上方 外表面 30cm	7.40E+08	4.25	110mm 混凝土+3mmPb	0.156	0.916	2.5	
16	VIP 注射后候诊室 东墙外表面 30cm	3.70E+08	5.35	370mm 实心砖	0.039	0.072	2.5	1 人候诊，假设候诊 时患者位于 VIP 注

17	VIP 注射后候诊室 南墙外表面 30cm	3.70E+08	1.48	370mm 实心砖	0.039	0.947	10	射后候诊室等候位 上
18	VIP 注射后候诊室 西墙外表面 30cm	3.70E+08	3.43	370mm 实心砖	0.039	0.176	10	
19	VIP 注射后候诊室 西门外表面 30cm	3.70E+08	3.84	6mmPb	0.435	1.561	10	
20	VIP 注射后候诊室 北墙外表面 30cm	3.70E+08	2.99	370mm 实心砖	0.039	0.232	2.5	
21	VIP 注射后候诊室 上方外表面 30cm	3.70E+08	4.30	110mm 混凝土+3mmPb	0.156	0.448	2.5	
22	摆位工作位	3.70E+08	1.00	/	1.000	52.9	/	建议使用铅屏风降 低该处辐射剂量率
23	PET/CT 机房东门 外表面 30cm	3.70E+08	4.54	6mmPb	0.435	1.117	2.5	
24	PET/CT 机房东墙 外表面 30cm	3.70E+08	3.88	370mm 实心砖+2mmPb	0.030	0.104	2.5	
25	PET/CT 机房南墙 外表面 30cm	3.70E+08	4.62	370mm 实心砖+2mmPb	0.030	0.074	2.5	
26	PET/CT 机房观察 窗外表面 30cm	3.70E+08	4.53	8mmPb	0.330	0.850	2.5	
27	PET/CT 机房南门 外表面 30cm	3.70E+08	5.14	8mmPb	0.330	0.660	2.5	假设扫描时患者位 于 PET/CT 机房诊 断床上
28	PET/CT 机房西墙 外表面 30cm	3.70E+08	4.00	200mm 实心砖+370mm 实 心砖	0.007	0.022	2.5	

29	PET/CT 机房北门 外表面 30cm	3.70E+08	5.09	6mmPb	0.435	0.888	2.5	
30	PET/CT 机房北墙 外表面 30cm	3.70E+08	4.53	370mm 实心砖+2mmPb	0.030	0.077	2.5	
31	PET/CT 机房北门 外表面 30cm	3.70E+08	5.14	6mmPb	0.435	0.871	2.5	
32	PET/CT 机房上方 外表面 30cm	3.70E+08	4.25	110mm 混凝土+6mmPb	0.103	0.302	2.5	
				200mm 混凝土+3mmPb	0.048	0.141		
33	留观室/抢救室东 墙外表面 30cm	3.70E+08	2.93	370mm 实心砖	0.039	0.242	10	
34	留观室/抢救室东 门外表面 30cm	3.70E+08	3.45	6mmPb	0.435	1.934	10	
35	留观室/抢救室南 墙外表面 30cm	3.70E+08	3.32	370mm 实心砖	0.039	0.188	2.5	
36	留观室/抢救室西 墙外表面 30cm	3.70E+08	4.95	370mm 实心砖	0.039	0.085	2.5	1 人留观, 假设患者 位于留观室/抢救室 等候位上
37	留观室/抢救室北 墙外表面 30cm	3.70E+08	1.20	370mm 实心砖	0.039	1.440	2.5	
38	患者通道出口门外 表面 30cm	3.70E+08	4.13	370mm 实心砖 (留观室/抢救室东墙)+6mmPb (患者 通道出口门)	0.017	0.053	2.5	
39	留观室/抢救室上 方外表面 30cm	3.70E+08	4.25	110mm 混凝土+3mmPb	0.156	0.458	2.5	

注: 1、本项目使用 ^{18}F 放射性核素进行显像诊断的日最大门诊量为 20 人, 考虑到 ^{18}F 放射性药物的衰变, 每天分上下午两批次进行送药, 每批次

送药量最大为 7.40E+09Bq（按照最大用药量的 2 倍备药）；使用 ⁶⁸Ga、⁶⁴Cu 放射性核素进行影像诊断的日最大门诊量均为 2 人，每日送药量最大分别为 7.40E+08Bq、3.70E+08Bq，则手套箱内放射性药物最大暂存量为 8.51E+09Bq；

2、本项目透射比是根据核素对不同材料的什值层厚度计算得出，铅密度为 11.3g/cm³，混凝土密度为 2.35g/cm³，实心砖密度为 1.65g/cm³；

3、本项目工作场所患者通道的控制区边界墙体采用 370mm 实心砖、出入口防护门采用 6mm 铅板进行辐射屏蔽，墙体的屏蔽效果较防护门更优，顶部的防护方案与高活分装室相当且患者在患者通道内停留时间较短，故对于患者通道外的辐射剂量率估算选取出入口防护门外 30cm 处作为关注点。

表 11-5 (b) 新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所辐射水平预测结果（⁸⁹Zr）

点位	参考点位置	源强 I'(Bq)	与源的距 离（m）	屏蔽材料及厚度 2'	透射比	参考点辐射水平 （μSv/h）	控制目标值 （μSv/h）	备注
1	核素操作工作位	分装： 3.70E+08	0.50	20mmPb+60mmPb	4.44E-03	1.011	2.5	铅罐为 20mmPb，手套箱为 60mmPb
2	手套箱非正对人员操作位表面	分装： 3.70E+08	0.80			0.395	25	
3	高活分装室东门外表面 30cm	手套箱内： 3.70E+08	3.17	20mmPb+60mmPb+8mmPb	0.003	1.001 （0.015+0.986）	2.5	在计算手套箱内暂存的放射性药物致高活分装室外各关注点处的辐射剂量率时，考虑铅罐和手套箱对其的屏蔽影响
		注射器内： 1.85E+08	4.10	8mmPb	0.582			
4	高活分装室南墙外表面 30cm	手套箱内： 3.70E+08	1.51	20mmPb+60mmPb+370mm 实心砖	3.67E-04	0.101 （0.009+0.092）	2.5	
		注射器内： 1.85E+08	5.07	370mm 实心砖	0.083			
5	高活分装室西墙外表面 30cm	手套箱内： 3.70E+08	1.23	20mmPb+60mmPb+370mm 实心砖	3.67E-04	0.169 （0.014+0.155）	2.5	
		注射器内： 1.85E+08	3.90	370mm 实心砖	0.083			

6	患者通道入口门外 表面 30cm ³	手套箱内: 3.70E+08	2.25	20mmPb+60mmPb+370mm 实心砖	3.67E-04	1.251 (0.003+1.248)	2.5	
		患者体内: 1.85E+08	3.97	6mmPb	0.666			
7	高活分装室北墙外 表面 30cm	手套箱内: 3.70E+08	4.94	20mmPb+60mmPb+370mm 实心砖+1mmPb	3.43E-04	1.159 (8.02E-04+1.158)	10	
		注射器内: 1.85E+08	1.38	370mm 实心砖+1mmPb	0.077			
8	高活分装室上方外 表面 30cm	手套箱内: 3.70E+08	4.25	20mmPb+60mmPb+110mm 混凝土+2mmPb	0.002	0.538 (0.005+0.533)	2.5	
		注射器内: 1.85E+08	4.25	110mm 混凝土+2mmPb	0.338			
9	注射位	1.85E+08	0.50	55mmPb+5mmPb	0.017	1.959	2.5	注射窗为 55mmPb, 注射铅套为 5mmPb
16	VIP 注射后候诊室 东墙外表面 30cm ³	1.85E+08	5.35	370mm 实心砖	0.083	0.082	2.5	1 人候诊, 假设候诊 时患者位于 VIP 注 射后候诊室等候位 上
17	VIP 注射后候诊室 南墙外表面 30cm	1.85E+08	1.48	370mm 实心砖	0.083	1.077	10	
18	VIP 注射后候诊室 西墙外表面 30cm	1.85E+08	3.43	370mm 实心砖	0.083	0.201	10	
19	VIP 注射后候诊室 西门外表面 30cm	1.85E+08	3.84	6mmPb	0.666	1.287	10	
20	VIP 注射后候诊室 北墙外表面 30cm	1.85E+08	2.99	370mm 实心砖	0.083	0.264	2.5	

21	VIP 注射后候诊室 上方外表面 30cm	1.85E+08	4.30	110mm 混凝土+3mmPb	0.316	0.487	2.5	假设扫描时患者位于 PET/CT 机房诊 断床上
22	摆位工作位	1.85E+08	1.00	/	1.000	28.5	/	
23	PET/CT 机房东门 外表面 30cm	1.85E+08	4.54	6mmPb	0.666	0.921	2.5	
24	PET/CT 机房东墙 外表面 30cm	1.85E+08	3.88	370mm 实心砖+2mmPb	0.072	0.137	2.5	
25	PET/CT 机房南墙 外表面 30cm	1.85E+08	4.62	370mm 实心砖+2mmPb	0.072	0.097	2.5	
26	PET/CT 机房观察 窗外表面 30cm	1.85E+08	4.53	8mmPb	0.582	0.808	2.5	
27	PET/CT 机房南门 外表面 30cm	1.85E+08	5.14	8mmPb	0.582	0.627	2.5	
28	PET/CT 机房西墙 外表面 30cm	1.85E+08	4.00	200mm 实心砖+370mm 实 心砖	0.022	0.038	2.5	
29	PET/CT 机房北门 外表面 30cm	1.85E+08	5.09	6mmPb	0.666	0.732	2.5	
30	PET/CT 机房北墙 外表面 30cm	1.85E+08	4.53	370mm 实心砖+2mmPb	0.072	0.100	2.5	
31	PET/CT 机房北门 外表面 30cm	1.85E+08	5.14	6mmPb	0.666	0.718	2.5	
32	PET/CT 机房上方 外表面 30cm	1.85E+08	4.25	110mm 混凝土+6mmPb	0.258	0.407	2.5	
				200mm 混凝土+3mmPb	0.145	0.229		

33	留观室/抢救室东 墙外表面 30cm	1.85E+08	2.93	370mm 实心砖	0.083	0.275	10	1 人留观, 假设患者 位于留观室/抢救室 等候位上
34	留观室/抢救室东 门外表面 30cm	1.85E+08	3.45	6mmPb	0.666	1.594	10	
35	留观室/抢救室南 墙外表面 30cm	1.85E+08	3.32	370mm 实心砖	0.083	0.214	2.5	
36	留观室/抢救室西 墙外表面 30cm	1.85E+08	4.95	370mm 实心砖	0.083	0.096	2.5	
37	留观室/抢救室北 墙外表面 30cm	1.85E+08	1.20	370mm 实心砖	0.083	1.639	2.5	
38	患者通道出口门外 表面 30cm	1.85E+08	4.13	370mm 实心砖(留观室/抢救室东墙)+6mmPb(患者通道出口门)	0.055	0.092	2.5	
39	留观室/抢救室上 方外表面 30cm	1.85E+08	4.25	110mm 混凝土+3mmPb	0.316	0.499	2.5	

注: 1、本项目使用 ^{89}Zr 放射性核素进行影像诊断的日最大门诊量为 2 人, 每日送药量最大为 $3.70\text{E}+08\text{Bq}$, 则手套箱内 ^{89}Zr 放射性药物最大暂存量为 $3.70\text{E}+08\text{Bq}$;

2、本项目透射比是根据核素对不同材料的什值层厚度计算得出, 铅密度为 $11.3\text{g}/\text{cm}^3$, 混凝土密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$, 实心砖密度为 $1.65\text{g}/\text{cm}^3$;

3、本项目工作场所患者通道的控制区边界墙体采用 370mm 实心砖、出入口防护门采用 6mm 铅板进行辐射屏蔽, 墙体的屏蔽效果较防护门更优, 顶部的防护方案与高活分装室相当且患者在患者通道内停留时间较短, 故对于患者通道外的辐射剂量率预测选取出入口防护门外 30cm 处作为关注点;

4、本项目注射 ^{89}Zr 放射性药物的患者均使用 VIP 注射后候诊室候诊。

由表 11-5 的理论预测结果可以看出，由于有手套箱屏蔽，放射性药物在取药、分装、活度测量等近距离操作过程中对辐射工作人员的躯干辐射影响较小，但由于需要用手操作，手部剂量较高，放射性药物针剂外设有铅套。放射性药物在暂存、操作过程中及患者在就诊过程中对高活分装室、注射后候诊室、机房及留观室/抢救室外的环境影响较小，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中对于各关注点处的辐射剂量率控制水平要求，高活分装室、注射后候诊室、机房及留观室/抢救室的防护设计均能够满足放射性核素的辐射防护要求。候诊期间由于患者相对集中，医院必须采取分批预约、分批注射、分批候诊的方式，严格按照要求控制注射后候诊室内患者的数量，减少对患者与对外环境的辐射影响。

（五）CT 环境影响分析

本项目拟配备的 PET/CT 型号未定，最大管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，保守按照管电压 140kV 的极端条件核算 PET/CT 机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度。

按照 GBZ 130-2020 中 C.1.2 b) 给出的计算公式进行计算：

$$X = \frac{1}{\alpha\gamma} \ln \left(\frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right) \quad \text{公式 11-6}$$

式中：X—不同屏蔽物质的铅当量厚度；

α 、 β 、 γ —相应屏蔽物质对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数；

B—给定铅厚度的屏蔽透射因子；给定铅厚度的屏蔽透射因子 B 值对照 GBZ 130-2020 中 C.1.2 a) 相应要求采用给出的计算公式进行计算：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{公式 11-7}$$

式中：B—给定铅厚度的屏蔽透射因子；

α 、 β 、 γ —铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，见表 11-6；

X—铅厚度。

表 11-6 铅、混凝土对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	屏蔽材料	α	β	γ
140kV (CT)	铅	2.009	3.990	0.3420
	混凝土	0.03360	0.01220	0.5190

120kV (CT)	铅	2.246	5.730	0.5470
	混凝土	0.03830	0.01420	0.6580

本项目 PET/CT 机房辐射防护设计及其等效铅当量见表 11-7。

表 11-7 4 号楼一层核医学科 PET/CT 机房辐射防护设计及其等效铅当量一览表

参数		设计厚度*	铅当量	屏蔽要求	评价
PET/CT 机房	东墙、南墙、北墙	370mm 实心砖+2mm 铅板	5.16mm	CT 机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向、非有用线束方向铅当量 2.5mm。	满足
	西墙	200mm 实心砖+370mm 实心砖	5.42mm		满足
	顶部	110mm 混凝土+6mm 铅板或 200mm 混凝土+3mm 铅板	5.26~7.07mm		满足
	东侧防护门	6mm 铅板	6mm		满足
	南侧防护门	8mm 铅板	8mm		满足
	观察窗	8mm 铅当量铅玻璃	8mm		满足
	面积	43.6m ² ，最小单边长度为 5.93m		CT 机房内最小有效新建面积不小于 30m ² ，单边长度不小于 4.5m。	满足

注：混凝土密度为 2.35g/cm³，铅密度为 11.34g/cm³，实心砖密度为 1.65g/cm³。

由上表可知，4 号楼一层核医学科 PET/CT 机房屏蔽防护措施能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的标准要求。

本项目 PET/CT 机房辐射屏蔽主要考虑散射辐射与泄漏辐射的影响。本项目 PET/CT 设备以 CT 模式运行时，保守按照其常用最大管电压 140kV、最大管电流 200mA 工况下，对机房外各关注点处的辐射剂量率进行计算。

1、关注点处散射辐射剂量率计算

由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）给出的 X 射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.10）进行推导，得到散射线在关注点处的有效剂量率 H_s 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1），继而在公式中增加“有效剂量与空气比释动能转换系数”修正因子，得到散射辐射有效剂量率计算公式：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s \cdot K}{d_0^2 \cdot d_s^2} \quad \text{公式 11-8}$$

式中： H_s —关注点处散射辐射有效剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 —X 射线机发射率常数（当管电流为 1mA 时，距离阳极靶 1m 处由主束产生的比释动能率）， $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，具体数值可根据 X 射线机管电压、过滤片等条件从《辐射防护导论》附图 3 查取，按本项目 CT 的最大管电压为 140kV、过滤片为 2.5mmAl 的条件从《辐射防护导论》附图 3 查得 H_0 为 $15\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，即 $900000\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ；

I —管电流，mA；本项目 CT 模式下正常使用的最大管电流为 200mA；

a —人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，由《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1 中查取。本项目常用最大管电压为 140kV，采用内插法查取散射角 90°时 140kV 对应的 a 值为 0.0016；

S —主束在受照人体上的散射面积，本项目取 314cm^2 ；

d_0 —源至受照点的距离，本项目保守取 0.6m；

d_s —受照体至关注点的距离，m；

B_s —屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-5。根据《辐射防护手册（第一分册）》P448 的能量散射公式计算一次散射能量与初级射线能量的比值，140kV 射线经过一次散射后的射线能量约为 109.9kV，故本项目保守按 120kV 进行计算。再将机房屏蔽体的铅当量厚度、表 11-6 中 α 、 β 、 γ 值代入公式 11-7，计算相应的散射辐射屏蔽透射因子值；

K —有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，查《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）附录表 G.2，按前述 90°方向一次散射线能量对应的 kV 值为 120kV， K 值取 1.66。

2、关注点处泄漏辐射剂量率计算

泄漏辐射剂量率 H_L 采用下式计算：

$$H_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2} \cdot K \quad \text{公式 11-9}$$

式中： H_L —关注点处泄漏辐射有效剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_i —距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，mGy/h。本项目 1m 处泄漏射

线的空气比释动能率取 1mGy/h;

B —机房各屏蔽体的泄漏射线屏蔽透射因子, 无量纲, 计算公式见公式 11-7;

K —有效剂量与空气比释动能转换系数, Sv/Gy, 查《外照射放射防护剂量转换系数标准》(WS/T 830-2024) 附录表 G.2, 对于本项目 PET/CT 设备以 CT 模式运行时最大管电压为 140kV, K 值取 1.65。

表 11-8 设备 CT 出束状态下机房外参考点处及叠加放射性药物的辐射剂量率核算值

点 位	参考点位置	参考点 距离 (m)	散射辐射		泄漏辐射		核素致 参考点 辐射水 平* (μ Sv/h)	核素与 CT 叠加 致参考点 辐射水平 (μ Sv/h)	控制 目标值 (μ Sv/h)
			B_s	H_s (μ Sv/h)	B	H_L (μ Sv/h)			
23	PET/CT 机房东门外表面 30cm	4.54	1.39E-07	0.007	2.45E-07	1.96E-05	0.921	0.928	2.5
24	PET/CT 机房东墙外表面 30cm	3.88	9.15E-07	0.063	1.36E-06	1.49E-04	0.137	0.200	2.5
25	PET/CT 机房南墙外表面 30cm	4.62	9.15E-07	0.045	1.36E-06	1.05E-04	0.097	0.142	2.5
26	PET/CT 机房观察窗外表面 30cm	4.53	1.55E-09	7.88E-05	4.31E-09	3.46E-07	0.808	0.808	2.5
27	PET/CT 机房南门外表面 30cm	5.14	1.55E-09	6.12E-05	4.31E-09	2.69E-07	0.627	0.627	2.5
28	PET/CT 机房西墙外表面 30cm	4.00	5.10E-07	0.033	7.99E-07	8.24E-05	0.038	0.071	2.5
29	PET/CT 机房北门外表面 30cm	5.09	1.39E-07	0.006	2.45E-07	1.56E-05	0.732	0.738	2.5
30	PET/CT 机房北墙外表面 30cm	4.53	9.15E-07	0.047	1.36E-06	1.09E-04	0.100	0.147	2.5
31	PET/CT 机房北门外表面 30cm	5.14	1.39E-07	0.005	2.45E-07	1.53E-05	0.718	0.723	2.5
32	PET/CT 机房上方外表面 30cm	4.25	7.31E-07	0.042	1.11E-06	1.01E-04	0.407	0.449	2.5

注: 保守选取致机房周围辐射影响较大的 ^{89}Zr 核素进行机房外参考点处辐射剂量率的叠加影响计算。

由表 11-8 计算结果可知, 本项目 PET/CT 以 CT 模式运行时, 叠加放射性药物的辐射影响, PET/CT 机房四周墙体、顶部、防护门及观察窗外的辐射剂量率为

(0.071~0.928) $\mu\text{Sv/h}$, PET/CT 机房外辐射剂量率均满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020) 及《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021) 的标准要求。

二、保护目标的有效剂量预测

参考点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式算出：

$$D_{\text{Eff}} = K_a \cdot t \cdot T \cdot U \quad \text{公式 11-10}$$

式中： D_{Eff} —参考点人员有效剂量，Sv；

K_a —参考点的周围剂量当量率，Sv/h；

t —参考点处受照时间，h；

T —居留因子；

U —使用因子，本项目取 1。

根据各关注点处预测的辐射剂量率，结合工作时间、辐射工作人员和公众停留概率，即可得到各关注点处辐射工作人员及公众的年受照剂量。

新建 PET/CT 诊断中心项目开展过程中，工作人员主要受照射环节为分装、注射过程及患者扫描诊断过程。一般情况下，近距离操作核素过程约 2 分钟，送至注射窗口、注射过程约 1 分钟，候诊约 30 分钟，指导患者摆位/取消摆位约 1 分钟，扫描过程约 20 分钟，留观约 10 分钟。本项目 PET/CT 以 CT 模式运行的时间较短，平均每名患者约 20s。新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所辐射工作人员及公众年有效剂量预测见表 11-9。

表 11-9 新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所辐射工作人员及公众年有效剂量预测

点位	参考点位置	核素种类/CT 出束	参考点辐射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	参考点处受核素或 CT 影 响的时间	居留因子 ¹⁾	参考点人员有效剂量 (mSv/a)	关注对象	位置
1	核素操作工作位	^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu	0.074	操作 $2\text{min} \times (20 \text{ 次} \times 300 \text{ 天} + 4 \text{ 次} \times 50 \text{ 天})$	1	0.015	工作人员	高活分装室
		^{89}Zr	1.011	操作 $2\text{min} \times 2 \text{ 次} \times 50 \text{ 天}$		0.003		
2	手套箱非正对人员 操作位表面	^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu	0.029	操作 $2\text{min} \times (20 \text{ 次} \times 300 \text{ 天} + 4 \text{ 次} \times 50 \text{ 天})$	1	0.006	工作人员	高活分装室
		^{89}Zr	0.395	操作 $2\text{min} \times 2 \text{ 次} \times 50 \text{ 天}$		0.001		
3	高活分装室东门外 表面 30cm	^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu	6.05E-04	操作 $2\text{min} \times (20 \text{ 次} \times 300 \text{ 天} + 4 \text{ 次} \times 50 \text{ 天})$	1/8	1.56E-05	工作人员	卫生通过间
			1.038	注射 $1\text{min} \times (20 \text{ 次} \times 300 \text{ 天} + 4 \text{ 次} \times 50 \text{ 天})$		0.013		
			0.015	操作 $2\text{min} \times 2 \text{ 次} \times 50 \text{ 天}$		6.10E-06		
		^{89}Zr	0.986	注射 $1\text{min} \times 2 \text{ 次} \times 50 \text{ 天}$		2.05E-04		
4	高活分装室南墙外 表面 30cm	^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu	3.17E-04	操作 $2\text{min} \times (20 \text{ 次} \times 300 \text{ 天} + 4 \text{ 次} \times 50 \text{ 天})$	1/5	1.31E-05	公众	走廊
			0.081	注射 $1\text{min} \times (20 \text{ 次} \times 300 \text{ 天} + 4 \text{ 次} \times 50 \text{ 天})$		0.002		
			0.009	操作 $2\text{min} \times 2 \text{ 次} \times 50 \text{ 天}$		6.12E-06		
		^{89}Zr	0.092	注射 $1\text{min} \times 2 \text{ 次} \times 50 \text{ 天}$		3.06E-05		

5	高活分装室西墙外 表面 30cm	^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu	4.78E-04	操作 2min×(20 次×300 天 +4 次×50 天)	1/5	1.98E-05	0.003	公众	走廊
			0.136	注射 1min×(20 次×300 天 +4 次×50 天)		0.003			
		^{89}Zr	0.014	操作 2min×2 次×50 天		9.23E-06			
			0.155	注射 1min×2 次×50 天		5.17E-05			
6	患者通道入口门外 表面 30cm	^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu	1.43E-04	操作 2min×(20 次×300 天 +4 次×50 天)	1/8	3.69E-06	0.019	公众	走廊
			1.461	注射 1min×(20 次×300 天 +4 次×50 天)		0.019			
		^{89}Zr	0.003	操作 2min×2 次×50 天		1.40E-06			
			1.248	注射 1min×2 次×50 天		2.60E-04			
8	高活分装室上方外 表面 30cm	^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu	1.84E-04	操作 2min×(20 次×300 天 +4 次×50 天)	1/16	2.37E-06	0.003	公众	仓库
			0.526	注射 1min×(20 次×300 天 +4 次×50 天)		0.003			
		^{89}Zr	0.005	操作 2min×2 次×50 天		9.86E-07			
			0.533	注射 1min×2 次×50 天		5.56E-05			
9	注射位	^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu	0.051	注射 1min×(20 次×300 天 +4 次×50 天)	1	0.005	0.008	工作人员	高活分装室

		⁸⁹ Zr	1.959	注射 1min×2 次×50 天		0.003			
10	注射后候诊室东墙 外表面 30cm		0.145	候诊 30min× (4200 人/2 人/次)	1/16	0.010	公众	室外道路	
11	注射后候诊室南墙 外表面 30cm	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁴ Cu	1.648	驻留 300h	1	0.494	工作人员	高活分装室	
15	注射后候诊室上方 外表面 30cm		0.916	候诊 30min× (4200 人/2 人/次)	1/16	0.060	公众	仓库	
16	VIP 注射后候诊室 东墙外表面 30cm	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁴ Cu	0.072	候诊 30min× (2000 人/1 人/次)	1/16	0.005	0.005	公众	室外道路
		⁸⁹ Zr	0.082	候诊 30min× (100 人/1 人 /次)	1/16	2.58E-04			
20	VIP 注射后候诊室 北墙外表面 30cm	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁴ Cu	0.232	候诊 30min× (2000 人/1 人/次)	1/16	0.014	0.015	公众	楼梯间
		⁸⁹ Zr	0.264	候诊 30min× (100 人/1 人 /次)	1/16	0.001			
21	VIP 注射后候诊室 上方外表面 30cm	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁴ Cu	0.448	候诊 30min× (2000 人/1 人/次)	1/16	0.028	0.030	公众	仓库/卫生间
		⁸⁹ Zr	0.487	候诊 30min× (100 人/1 人 /次)	1/16	0.002			
22	摆位工作位 2'	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁴ Cu、 ⁸⁹ Zr	52.9	摆位 1min×2 次/天×300 天	1	0.529	工作人员	PET/CT 机房	
25	PET/CT 机房南墙 外表面 30cm	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁴ Cu	0.074	扫描 20min× (20 次×300 天+4 次×50 天)	1	0.152	0.157	工作人员	控制室
		⁸⁹ Zr	0.097	扫描 20min×2 次×50 天		0.003			

		CT 出束	0.045 (0.045+1.05E-04)	扫描 20s× (20 次×300 天 +6 次×50 天)		0.002			
26	PET/CT 机房观察 窗外表面 30cm	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁴ Cu	0.850	扫描 20min× (20 次×300 天 +4 次×50 天)	1	1.757	1.784	工作人员	控制室
		⁸⁹ Zr	0.808	扫描 20min×2 次×50 天		0.027			
		CT 出束	7.91E-05 (7.88E-05+3.46E-07)	扫描 20s× (20 次×300 天 +6 次×50 天)		2.77E-06			
27	PET/CT 机房南门 外表面 30cm	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁴ Cu	0.660	扫描 20min× (20 次×300 天 +4 次×50 天)	1/8	0.171	0.174	工作人员	控制室
		⁸⁹ Zr	0.627	扫描 20min×2 次×50 天		0.003			
		CT 出束	6.15E-05 (6.12E-05+2.69E-07)	扫描 20s× (20 次×300 天 +6 次×50 天)		2.69E-07			
28	PET/CT 机房西墙 外表面 30cm	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁴ Cu	0.022	扫描 20min× (20 次×300 天 +4 次×50 天)	1/2	0.023	0.025	公众/工作人员	核医学科现有工作场所
		⁸⁹ Zr	0.038	扫描 20min×2 次×50 天		0.001			
		CT 出束	0.033 (0.033+8.24E-05)	扫描 20s× (20 次×300 天 +6 次×50 天)		5.83E-04			
32	PET/CT 机房上方 外表面 30cm	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁴ Cu	0.302	扫描 20min× (20 次×300 天 +4 次×50 天)	1/16	0.039	0.040	公众	仓库
		⁸⁹ Zr	0.407	扫描 20min×2 次×50 天		0.001			
		CT 出束	0.042 (0.042+1.01E-04)	扫描 20s× (20 次×300 天 +6 次×50 天)		9.25E-05			

36	留观室/抢救室西 墙外表面 30cm	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁴ Cu	0.085	留观 10min×(20 次×300 天+4 次×50 天)	1/2	0.044	0.045	公众	核医学科现 有工作场所
		⁸⁹ Zr	0.096	留观 10min×2 次×50 天		0.001			
37	留观室/抢救室北 墙外表面 30cm	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁴ Cu	1.440	留观 10min×(20 次×300 天+4 次×50 天)	1/16	0.093	0.095	公众	室外道路
		⁸⁹ Zr	1.639	留观 10min×2 次×50 天		1.71E-03			
38	患者通道出口门外 表面 30cm	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁴ Cu	0.053	留观 10min×(20 次×300 天+4 次×50 天)	1/8	0.007	0.007	公众	室外道路
		⁸⁹ Zr	0.092	留观 10min×2 次×50 天		1.92E-04			
39	留观室/抢救室上 方外表面 30cm	¹⁸ F、 ⁶⁸ Ga、 ⁶⁴ Cu	0.458	留观 10min×(20 次×300 天+4 次×50 天)	1/16	0.030	0.031	公众	仓库
		⁸⁹ Zr	0.499	留观 10min×2 次×50 天		0.001			

注：1、居留因子取值参考《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）附录 A；

2、本项目技师指导患者摆位/取消摆位一般使用语音对讲系统于控制室内进行隔室操作，若有行动不便患者，方进入 PET/CT 机房进行协助，预计需协助摆位的患者日最大约 2 人次，在进行摆位处辐射工作人员所受有效剂量预测时，取 2 次/天进行计算。

（一）本项目所致年有效剂量

1、本项目致辐射工作人员年有效剂量

根据表 11-9 预测结果，近距离操作核素过程中人员受到的年有效剂量为 0.018mSv，注射过程中人员受到的年有效剂量为 0.008mSv，协助患者摆位/取消摆位过程中受到的年有效剂量约为 0.529mSv，扫描过程中受到的年有效剂量约为 1.784mSv。另外，位于高活分装室内的护士可能受到注射后候诊室内带药患者对其的辐射影响（0.494mSv/a）。

医院核医学科现有 6 名辐射工作人员，其中医师 3 人、技师 2 人、护士 1 人，本项目辐射工作拟由该 6 名辐射工作人员和其他科室调配的 1 名技师、2 名护士分为 3 组轮班共同承担。医院拟合理安排各辐射工作人员工作量，根据理论预测可知，本项目所致 3 名护士（负责分装及注射，轮岗）、3 名医师（负责隔室指导摆位，轮岗）、3 名技师（负责操作设备及摆位，轮岗）的平均年有效剂量分别约为 0.173mSv（ $(0.018\text{mSv}+0.008\text{mSv}+0.494\text{mSv})/3$ ）、0.595mSv（ $1.784\text{mSv}/3$ ）、0.771mSv（ $(0.529\text{mSv}+1.784\text{mSv})/3$ ）。

2、本项目致公众年有效剂量

根据表 11-9 预测结果，本项目投入使用后，致周围公众年有效剂量最大为 0.095 mSv。

本次新建 PET/CT 诊断中心项目周围 50m 评价范围均位于院区边界内，东侧隔院内道路为 2 号楼（最近约 36m）和 6 号楼（最近约 41m），北侧隔院内道路为 3 号楼（最近约 29m）。项目运行后的环境保护目标主要为从事本项目的辐射工作人员、院区内的其他医护人员、病患及陪同家属等其他公众。保守未考虑除本项目工作场所墙体外的其他墙体、楼体结构的屏蔽作用，仅考虑距离对射线的衰减作用，本项目周围 50m 评价范围内保护目标处辐射剂量率及公众年受照剂量见表 11-10。

表 11-10 本项目周围 50m 评价范围内保护目标处辐射剂量率及公众年有效剂量								
环境保护目标	计算模式	源强 (mCi)	与源的距离 (m)	屏蔽材料及厚度	参考点辐射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	参考点处受核素影响的时间	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)
工作场所南侧办公室								0.073
北侧 3 号楼							0.003	0.037
							0.002	
							0.030	
							0.002	
东侧 2 号楼、6 号楼							0.003	0.089
							0.001	
							0.055	
							0.030	

注：选取使用频次最高的 ^{18}F 放射性核素来进行保护目标处辐射剂量率和公众年有效剂量的预测。

根据表 11-10 预测结果，本项目周围 50m 评价范围内保护目标处公众由于辐射影响的距离平方反比衰减规律以及本项目工作场所墙体、楼体结构的屏蔽作用，其年受照剂量最大为 0.089mSv。

（二）辐射剂量叠加影响分析

1、辐射工作人员辐射剂量叠加影响

辐射工作人员辐射剂量叠加主要考虑辐射工作人员在同时开展多项放射性工作的情况下，致辐射工作人员所受辐射剂量的总和。

医院核医学科现有 6 名辐射工作人员，均已通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训。医院已委托南京瑞森辐射技术有限公司对辐射工作人员进行了个人剂量检测，其在 2024 年第二季度至 2025 年第一季度的个人剂量检测结果见表 11-11

（南京瑞森辐射技术有限公司，编号：瑞森（剂）字（2024）第 2188 号、瑞森（剂）字（2024）第 3104 号、瑞森（剂）字（2025）第 3058 号、瑞森（剂）字（2025）第 3396 号，见附件 7）。

表 11-11 核医学科现有辐射工作人员近一年度个人剂量检测结果

编号	姓名	岗位	检测结果（mSv）				年有效剂量（mSv）
			2024 年 第二季度	2024 年 第三季度	2024 年 第四季度	2025 年 第一季度	
1112747010054		医师	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08
1112747010016		医师	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08
1112747010126		医师	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08
1112747010114		技师	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08
1112747010145		技师	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08
1112747010129		护士	0.02	0.05	0.06	0.02	0.15

注：本周期的调查水平的参考值为：1.25mSv；MDL 为 0.04mSv。

医院核医学科现有工作场所与本次扩建的 PET/CT 诊断中心相邻，本项目控制室和机房内的医师、技师可能受到现有核医学科内核素对其的辐射影响，在现有核医学科工作场所工作的护士也可能受到本项目核素对其的辐射影响（由表 11-9 可知，所受年有效剂量约为 0.025mSv）。根据医院提供的核医学科现有工作场所的验收检测报告（报告编号：GABG-CF15220475-3，见附件 6），现有工作场所东墙外 30cm 处 X-γ 辐射剂量率最大为 0.19μSv/h（未扣除本底值），保守取该值来计算现有工作场所内核素对本项目控制室和机房内医师、技师的辐射影响，考虑控制室和机房内医师、技师的居留时间（扫描 20min/人×6300 人/年）、居留因子（取 1），因本项目医师、技师分为三组轮班，则本项目控制室和机房内医师、技师受到核医学科现有工作场所内核素所致的年有效剂量为 0.133mSv。

由以上分析可知，本项目投入运行后，3 名护士、3 名医师、3 名技师的平均年有效剂量分别约为 0.156mSv（0.173mSv+0.025mSv+0.15mSv）、0.808mSv（0.595mSv+0.133mSv+0.08mSv）、0.984mSv（0.771mSv+0.133mSv+0.08mSv）。

2、公众辐射剂量叠加影响

公众辐射剂量叠加主要考虑公众同时接近不同辐射工作场所的情况下，致公众年所受辐射剂量的总和。

医院核医学科现有工作场所和本次扩建的 PET/CT 诊断中心可能对项目周围 50m 评价范围内保护目标处的公众产生叠加辐射影响。根据医院提供的核医学科现有工作场所的验收检测报告，现有工作场所东侧、北侧控制区边界处的 X- γ 辐射剂量率最大分别为 0.18 μ Sv/h、0.19 μ Sv/h（未扣除本底值），仅考虑距离对射线的衰减作用，核医学科现有工作场所对 4 号楼北侧 3 号楼、东侧 2 号楼和 6 号楼处公众的附加年有效剂量可忽略不计，故本项目运行后，所致周围公众受到的年有效剂量最大为 0.089mSv。

根据上述理论预测结果，本项目辐射工作人员和公众的年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

三、放射性“三废”影响分析

（一）放射性废气

在进行液态放射性药物活度操作过程中，若放射性药物液面处于开放状态，空气中可能挥发微量放射性核素，污染途径为放射性药物在空气中挥发散逸造成人员吸入的内照射。本次新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所高活分装室内设有 1 个防护铅当量为 60mmPb 的手套箱，本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（设计通风速率不少于 0.5m/s）。为防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出，手套箱等密闭设备设计有单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭等过滤装置。

医院拟将排风口设在高于本建筑物（4 号楼）屋脊位置，满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“排气口应高于本建筑物屋顶”的要求，能够有效防止放射性废气对周围环境产生的影响，符合放射性工作场所相关要求。同时医院在手套箱管道内及屋顶排放口处设置活性炭过滤吸附装置，对放射性气溶胶进行吸附，降低放射性气溶胶外排浓度，吸附材料应定期更换（应定期检查吸附材料的有效性，及时更换失效的过滤吸附装置，更换周期不超过厂家推荐的使用时间）并作为放射性固体处理。本项目核医学科 PET/CT 诊断中心工作场所分别设置有新风系统及独立的排风系统，工作场所的气流流向遵循自清

洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持各工作场所的负压和各区之间的压差，能够有效防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

（二）放射性废水

新建 PET/CT 诊断中心项目产生的放射性废水主要包括：体内含有放射性核素的患者排泄物和工作场所清洗废水等。医院拟于 4 号楼北侧地下新建衰变间，于衰变间内配备 1 套放射性废水衰变系统，用于贮存 4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心产生的放射性废水。

新建 PET/CT 诊断中心项目年最大接诊量为 6300 人次，放射性废水产生量按 10L/人计算；工作场所每天的清洗废水约为 100L，则 4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心放射性废水排放量为 93m³/年（10L/人×6300 人/年+100L/天×300 天/年），周排放量为 1.86m³/周。本项目衰变系统采用槽式衰变池，由 1 个沉淀池和 3 个衰变池组成，单个衰变池体积约为 3.0m（长）×2.0m（宽）×2.0m（高），有效容积约 12m³，总有效容积约 36m³。根据衰变系统工作流程，放射性废水可在该衰变系统内衰变约 90 天（12m³×2÷1.86m³/周×7d/周），满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期，监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放”的要求。

新建 PET/CT 诊断中心项目放射性废水经专用管道流入衰变系统，排水管道埋设于地下 1 米处，管径为 110mm，无裸露管道，避免放射性废液流动时造成管道穿行区域的辐射泄漏。

新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所内的水龙头应设置为感应式或脚踏式，以防止受污染的手触摸水龙头造成污染。本项目放射性废水收集的管道走向、阀门和管道的连接，均为现有条件下的最优最短设计，放射性废水采用重力引流，接头无渗漏，阀门和管道连接处无死区，管壁光滑，水平横管采用 1%坡度铺设，输送阻力小，放射性废水在管壁中停留时间短，可有效避免放射性废液的集聚；所有放射性废水管道均做特殊标记，便于检测和维修。

在进行放射性废水中放射性核素对管道外的辐射剂量计算时，将排水管道中的放射性废水看作线源，其对周围环境产生的辐射影响参照《辐射防护导论》（方杰主编）中相关公式进行计算：

$$\dot{K} = \frac{2A\Gamma_K}{Lr} t g^{-1} \frac{L}{2r} \quad \text{公式 11-11}$$

式中： $\dot{K}$ —比释动能率， $\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$ ；

A —总活度， Bq ；

Γ_K —距源 1m 处的周围剂量当量率常数， $\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{Bq}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ；

L —线源长度， m ；

r —线源到考察点的距离， m 。

表 11-12 本项目放射性废水专用管道外剂量预测结果

参数		取值	
单次排放核素活度 ¹⁾		¹⁸ F	⁸⁹ Zr
致公众辐射影响	线源到参考点的距离 (m) ²⁾		
	屏蔽材料及厚度		
	参考点处辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		
	周围公众受照时间 (s)		
	周围公众受照剂量 (mSv/a)	<0.01	

注：1、新建 PET/CT 诊断中心项目患者排泄物内核素活度排泄比率保守按 30% 进行计算，则单次排放 ¹⁸F 核素活度为 $10\text{mCi}\times 30\%=3\text{mCi/次}$ （⁶⁸Ga、⁶⁴Cu 核素参照 ¹⁸F 核素统一计算）、单次排放 ⁸⁹Zr 核素活度为 $5\text{mCi}\times 30\%=1.5\text{mCi/次}$ ；本项目放射性废水收集的管道走向、阀门和管道的连接，均为现有条件下的最优最短设计，放射性废水采用重力引流，阀门和管道连接处无死区，管壁光滑，水平横管采用 1% 坡度铺设，输送阻力小，放射性废水在管壁中居留时间短，可有效避免放射性废液的集聚；

2、覆土层密度取 1.4g/cm^3 ；

3、线源到参考点的距离=废水管道埋地深度 1m+参考点至地面的距离 0.3m=1.3m。

由表 11-12 可知，放射性废水致专用管道外周围公众产生的辐射影响较小。

本项目衰变系统为槽式衰变池，由 1 个沉淀池和 3 个衰变池组成，衰变间四周墙体和顶部采用 300mm 混凝土、底部采用 500mm 混凝土进行辐射屏蔽，顶板覆土 0.5m，衰变间检修口处设 8mm 铅板盖板（高于地面 1m），衰变间结构示意图见图 10-2。

本次新建 PET/CT 诊断中心项目使用 ¹⁸F 放射性核素进行显像诊断的日接诊量最大为 20 人次、使用 ⁶⁸Ga、⁶⁴Cu、⁸⁹Zr 放射性核素进行显像诊断的日接诊量最大均为 2 人次，产生的放射性废水排入衰变系统内，排泄物内核素活度排泄比率均按 30% 进行

计算。本项目放射性废水周排放量为 $1.86\text{m}^3/\text{周}$ ，预计约 90 天可达到衰变系统的最大容积，仅考虑放射性核素随时间进行衰变，此时衰变系统内废水内的 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 核素总活度约为 $1.43\text{E}+09\text{Bq}$ 、 ^{89}Zr 核素总活度约为 $1.44\text{E}+08\text{Bq}$ 。将衰变系统内放射性废水按照点源进行计算，参照公式 11-5 计算衰变系统内废水对衰变间外产生的辐射影响，其预测计算结果见表 11-13。

表 11-13 新建 PET/CT 诊断中心项目衰变系统辐射水平预测结果

点位	参考点位置	核素种类	源强 (Bq)	与源的 距离 (m)	屏蔽材料及 厚度 ¹⁾	透射比 ²⁾	参考点辐射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	控制 目标值 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	衰变间上方 外表面 30cm						<0.001	2.5
2	检修口上方 外表面 30cm						0.043	2.5

注：1、铅密度为 $11.3\text{g}/\text{cm}^3$ ，混凝土密度为 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ，覆土层密度取 $1.4\text{g}/\text{cm}^3$ ；

2、水的什值层按《辐射防护手册第三分册》表 2.12 使用插值法预测求得。

由表 11-13 计算结果可知，本项目衰变间采用现有屏蔽设计进行辐射防护，衰变间外各关注点的辐射剂量率最大为 $0.043\mu\text{Sv/h}$ 。本项目衰变间建设于 4 号楼北侧绿化带处，周围人流量很小，医院拟在衰变间上方周围使用栅栏设置物理隔断并粘贴电离辐射警告标志和警示标语，提醒无关人员勿靠近和在此逗留，故本项目放射性废水衰变系统对周围环境及公众产生的辐射影响较小，其周围公众的年有效剂量能够满足 0.1mSv 的剂量限值要求。

（三）放射性固体废物

本项目可能产生的放射性固体废物主要包括放射性核素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸、擦拭纸等带微量放射性核素的医疗固体废弃物和手套箱顶壁及通风管道内更换下来的废活性炭，可能对周围环境产生一定的危害，污染途径为操作过程中及收集固废过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射。本项目核医学科高活分装室、注射后候诊室、留观室/抢救室等房间均拟设置 1~2 个放射性废物桶（防护厚度应不低于 10mmPb ）。

4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心产生的放射性固体废物主要包括放射性核

素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸、擦拭纸等带微量放射性核素的医疗固体废弃物和手套箱顶壁及通风管道内更换下来的废活性炭。新建 PET/CT 诊断中心项目年最大接诊量为 6300 人次，放射性固体废物产生量按 0.02kg/人计算，则放射性固体废物产生量为 126kg/年（0.02kg/人×6300 人/年）。核医学科 PET/CT 诊断中心手套箱顶壁及通风系统每年更换下来的废活性炭总量约 20kg。

4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心产生的放射性固体废物从各房间收集后分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等）集中到废物库（尺寸为 1.93m（长）×1.14m（宽）×4.84m（高），容积约为 10m³）内的铅桶（防护厚度不低于 10mmPb）中暂存，手套箱顶壁及通风管道内更换下来的废活性炭也暂存在废物库内。

根据医院对本次新建 PET/CT 诊断中心项目的接诊量预测放射性固体废物在所需暂存时间内的产生量，含 ¹⁸F、⁶⁸Ga、⁶⁴Cu 核素的放射性固体废物（暂存超过 30 天）的产生量为 10.6kg（1.27m³），含 ⁸⁹Zr 核素的放射性固体废物（暂存超过 10 倍半衰期，约 33 天）的产生量为 0.19kg（0.02m³），暂存 4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心废物库内，该废物库容积约为 10m³，实际可容纳放射性废物约 5m³，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天”“所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍”的要求。

4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心产生的放射性固体废物可在废物库内暂存超过时间要求，经检测合格（辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm²）后，委托有资质单位进行处置，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。同时放射性废物包装袋还应满足“放射性废物每袋不超过 20kg”“每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h”的标准要求。

四、非放射性“三废”影响分析

（一）废气

PET/CT 机房内的空气在γ射线、X 射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，可通过工作场所拟设置的排风系统及新风系统排至室外，臭氧在常温下约 50 分钟可自行分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

（二）废水

辐射工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入城市

污水管网，对周围环境影响较小。

（三）固体废物

辐射工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

事故影响分析

本次新建 PET/CT 诊断中心项目涉及的工作场所为丙级非密封放射性物质工作场所。医院在开展辐射工作过程中，如果安全管理或防护不当，可能对人员产生误照射。

一、主要事故风险

（一）在放射性核素操作或 PET/CT 工作状态下，未按工作流程进行清场，人员误留、误入机房内，导致发生误照射。

（二）辐射工作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射。

（三）由于保管或管理工作不到位，导致放射性药物的丢失、被盗，对公众造成误照射。

（四）辐射工作人员误操作，导致放射性药物漏洒造成操作台面、地面或仪器设备受到表面沾污。

（五）放射性固体废物未经足够的时间衰变，存放时间过短，即进行擅自处理，可能对环境造成污染。

（六）给药后患者未按要求在相应的注射后候诊室或留观室/抢救室内留观，在注射后候诊室或留观室/抢救室以外的区域随意走动，导致公众受到照射。

二、事故预防和处理措施

医院可采取以下事故预防措施：

（一）建立辐射安全管理机构，制定完善的规章制度，并在实际工作过程中严格执行；

（二）加强辐射安全管理，加强辐射工作人员技能培训和辐射安全与防护知识的培训，提高个人的技能和辐射安全防范意识；

（三）辐射工作场所按要求设置相应的辐射安全与防护设施，定期检查各辐射工作场所的辐射安全措施运行情况，确保各项安全措施始终保持良好的工作状态。

（四）制定放射性药物安全管理制度，在日常工作中，设置专人负责放射性药物

的管理，做好日常检查，防止放射性药物丢失、被盗。

（五）加强放射性废物的管理，对放射性废物制定放射性“三废”的处理制度，设置放射性废物专职管理员，对放射性废物单独收集，按照国家规定处理，并做好相应的记录。

（六）给药前，医生对患者进行健康教育，加强对给药后患者的管理，避免给药后患者在注射后候诊室或留观室/抢救室外随意走动。

针对本项目可能发生的辐射事故，可采取以下处理措施：

（一）发生误照射（人员误留、误入机房内；操作人员违反操作规程或误操作；机房闭门装置失效，导致防护门无法自动关闭），应立即停止辐射操作，误入或误留人员应在最短的时间内撤离机房。

（二）对可能受到大剂量照射的人员，迅速安排其接受医学检查和救治；

（三）当发生放射性药物丢失、被盗时，应立即启动本单位辐射事故应急措施，第一时间将事故情况通报有关主管部门（生态环境、公安、卫生健康等），向主管部门提供有用线索，并积极配合主管部门查找丢失的放射性药物。

（四）当发生液态放射性药物泼洒、泄漏导致的表面沾污事故时，封闭工作场所，控制人员走动，以避免放射性污染扩散，并进行场所和人员的去污。

（五）对发生事故的工作场所，请相关检测部门进行检测，分析事故发生的原因，并提出改进意见。

医院应定期对新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所辐射安全措施进行检查、维护，发现问题及时维修；每次工作前均应检查相应辐射安全装置的有效性，定期对工作场所进行检测。医院还应在平时工作中加强工作人员的辐射防护知识的培训，尽可能避免辐射事故的发生。

医院应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境和公安部门报告，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》。造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告；对于可能受到大剂量照射的人员，迅速安排医学检查和救治，积极配合政府管理部门做好事故调查和善后工作。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》等法律法规要求，使用射线装置、放射性同位素的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；辐射安全与环境保护管理工作人员和辐射工作人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核；自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核，2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。

目前，张家港市第一人民医院已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，由院长做小组组长，指定专人（需参加“辐射安全管理”辐射安全与防护考核，合格后方可上岗，已安排培训考核）专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并组员覆盖各辐射科室，并以文件形式明确管理人员职责。医院应根据本次新建 PET/CT 诊断中心项目修订相关文件，明确医院本项目的管理人员及其职责，将该项目辐射安全管理纳入全院的辐射安全管理工作中。医院核医学科现有 6 名辐射工作人员，本项目辐射工作拟由该 6 名辐射工作人员和其他科室调配的 3 名辐射工作人员共同承担，此 9 名辐射工作人员除开展核医学科相关辐射工作外，不兼职其他辐射工作。核医学科现有辐射工作人员均已通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，拟由其他科室调配的 3 名辐射工作人员须通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规，参加“核医学”辐射安全与防护考核，合格后方可上岗。医院应及时关注辐射工作人员辐射安全和防护专业知识的培训时间，辐射安全培训合格证书快到期人员应当及时通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名，重新学习并通过相应考核后，方能继续从事辐射工作。

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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关要求，使用放射源和射线装置的单位要“有健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施”。目前医院已针对现有核技术利用项目制定了相关的辐射安全管理制度，如《核医学科操作规程》《岗位职责》《放射防护管理制度》《设备维护与维修制度》《放射性核素安全防护管理制度》《放射工作人员培训制度》《个人剂量和职业健康管理制度》《辐射监测计划》《辐射事故应急预案》等。医院现有管理制度内容较为全面，具有一定的针对性和可操作性，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。医院已开展核医学科放射诊疗项目，相关辐射安全管理规章制度较完善，现对医院已制定的辐射安全管理制度的重点总结如下：

一、操作规程

医院已制定《核医学科操作规程》，明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤。重点是：

（一）提高辐射工作人员对放射性药物操作的熟练程度，尽量减少辐射工作人员与放射性药物的近距离接触时间；

（二）确保开展辐射工作时所有辐射屏蔽措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；

（三）从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；

（四）在工作场所严禁吸烟、进食；

（五）放射性“三废”的处理需严格按照操作规程执行。

二、岗位职责

医院已制定《岗位职责》，应针对本项目进行完善，明确射线装置、放射性药品使用工作人员、台账管理人员、药物注射人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

三、辐射防护和安全保卫制度

根据射线装置及放射性药物操作的具体情况制定相应的《放射防护管理制度》，重点是：

（一）定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪和表面污染测量仪保持良好工作状态；

- (二) 工作人员定期开展个人剂量监测和职业健康监护；
- (三) 放射性药物注射后患者应严格限制在控制区内；
- (四) 放射性药物的贮存、医院内转运时的安全保卫工作。

四、设备维修制度

医院已制定《设备维护与维修制度》，应针对本项目进行完善，明确射线装置和辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保非密封放射性物质工作场所内的安全措施（警示标志、工作指示灯）、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

五、放射性同位素使用登记制度

医院已制定《放射性核素安全防护管理制度》，建立放射性同位素台账，重点是：放射性药物的使用、贮存情况等由专人负责登记、专人形成台账、每月核对，确保账物相符。

六、人员培训计划和健康管理制

医院已制定《放射工作人员培训制度》，明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。相关辐射工作人员应及时学习最新的国家政策法规及标准，熟练掌握放射性防护知识、最新的操作技术。根据 18 号令及《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并通过考核。

医院已制定《个人剂量和职业健康管理制》，医院应组织辐射工作人员定期参加职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并为其建立辐射工作人员职业健康监护档案。

七、监测方案

医院已制定《辐射监测计划》，明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报生态环境行政主管部门。为了确保非密封放射性物质工作场所的辐射安全，该单位应制定监测方案，重点是：

- (一) 明确监测项目和频次；

(二) 辐射工作人员个人剂量监测数据应建立个人剂量档案，依据《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修正），在日常检测中发现个人剂量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部

门调查处理；

（三）对发生放射性药物泼洒的事故处理进行全程监测；

（四）医院应当按照有关标准、规范的要求定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的机构进行监测，发现异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告；

（五）委托有资质监测单位对本单位的放射性同位素和射线装置的安全和防护状况进行年度检测，每年1月31日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

辐射监测

根据辐射管理要求，张家港市第一人民医院已配备有辐射巡测仪1台，拟为本项目配备表面污染测量仪1台和个人剂量报警仪2台，用于辐射防护监测和报警，同时结合本项目实际情况，拟制定如下监测计划：

一、委托有资质的单位定期对项目工作场所周围环境 X-γ 辐射剂量率及表面污染水平进行监测，周期：1~2 次/年；

二、辐射工作人员配备个人剂量计监测累积剂量，定期（不少于1次/三个月）送有资质机构进行个人剂量监测，建立个人剂量档案；

三、定期使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，包括控制室工作位置和周围毗邻区域人员居留处，并保留自检记录；

四、所有辐射工作人员上岗前进行职业健康体检，以排除职业禁忌症。开展辐射工作后，定期开展职业健康体检（不少于1次/2年），并建立个人职业健康档案；

五、出现外照射事故，立即采取应急措施，并在1小时之内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告。

表 12-1 本项目辐射监测计划					
监测项目	监测类型	监测因子	监测单位和监测频次	监测点位	控制要求
工作场所 监测	竣工环保 验收监测	X-γ辐射剂量率、 β表面污染	请有资质单位监测， 建设项目竣工后 3 个 月内	辐射水平： 控制区和 监督区所有工作人员 和公众可能居留的有 代表性的点位、控制区 上方及下方人员可达 处、手套箱及放射性固 体废物铅桶表面； 表面污染： 核医学科 放射性核素操作台面、 设备表面、墙壁和地面 等；工作场所内床、座 椅、墙壁和地面；放射 性废物铅桶和包装袋 表面；工作人员的手、 皮肤暴露部分及工作 服、手套、鞋、帽等。	见评价标 准中表面 污染控制 水平和辐 射剂量率 控制水平
	年度监测	X-γ辐射剂量率、 β表面污染	请有资质单位监测， 不少于 1~2 次/年		
	日常监测	X-γ辐射剂量率、 β表面污染	X-γ辐射剂量率自主 监测不少于 1 次/月， β表面污染自主监测 为每次工作结束后 进行监测（出现放射 性药物洒落应及时 进行监测）		
个人剂量 监测	/	职业性外照射 个人剂量	定期送有资质部门进 行监测，不少于 1 次/ 三个月	/	年有效剂量 ≤5mSv

张家港市第一人民医院须根据上述监测计划，明确监测频次和监测项目，定期（不少于 1 次/季）使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录，每年委托有资质的单位定期对项目周围环境 X-γ辐射剂量率、表面污染水平进行监测，监测结果上报生态环境行政主管部门。2024 年度医院已委托江苏省疾病预防控制中心、南京瑞森辐射技术有限公司开展了辐射工作场所的辐射安全与防护年度监测，监测结果均符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）等国家相关标准要求，均未出现剂量率超标的情况。

张家港市第一人民医院已为辐射工作人员配备个人剂量计，组织辐射工作人员进行个人剂量监测（1 次/3 个月）和职业健康体检（1 次/2 年），公共卫生科负责全医院辐射工作人员个人剂量的收发和管理以及职业健康监护、个人剂量监测档案的存放保管。2024 年度医院已委托南京瑞森辐射技术有限公司完成了辐射工作人员的个人剂

量监测，所有辐射工作人员监测结果均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）等国家相关标准要求，均未出现异常。

张家港市第一人民医院每年编写射线装置安全和防护状况年度评估报告，包括射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容，每年1月31日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

根据医院《2024年度安全和防护状况年度评估报告》显示，2024年度医院未发生辐射事故，医院辐射安全和防护设施运行良好，定期开展了维护工作，定期检查防护情况，发现的隐患及时处理；医院已制定和完善了相应辐射安全和防护制度及措施，各项制度和措施得到了落实。医院自开展核技术利用项目以来未发生过辐射事故，暂无需要改进完善的情况。

辐射事故应急

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定，辐射事故应急预案应明确以下几个方面：

- 一、应急机构和职责分工；
- 二、应急的具体人员和联系电话；
- 三、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；
- 四、辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；
- 五、辐射事故调查、报告和处理程序。

假若本项目发生了辐射事故，医院应迅速、有效地采取以下应急措施：

一、一旦发现有其他无关人员误入机房内，辐射工作人员应立即利用最近的紧急停机开关切断设备电源。误入人员应在最短的时间内撤离机房，尽量缩短受照时间。同时，事故第一发现者应及时向医院的辐射事故应急处理领导小组及上级领导报告。辐射事故应急处理领导小组在接到事故报告后，应以最快的速度组织应急救援工作，迅速封闭事故现场，禁止无关人员进入该区域，严禁任何人擅自移动和取走现场物件（紧急救援需要除外）。

二、对可能受到超剂量照射的人员，尽快安排其接受检查和救治，并在第一时间将事故情况通报当地生态环境部门、卫生健康行政部门等主管部门。

三、迅速查明和分析发生事故的原因，制订事故处理方案，组织专业技术人员，尽快排除故障。

四、事故的善后处理，总结事故原因，吸取教训，采取补救措施。

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况时，应根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，在 1 小时之内向所在地生态环境和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的还应当同时向卫生健康部门报告。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，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康行政部门报告。

张家港市第一人民医院已经制定了《辐射事故应急预案》，该预案已包括成立辐射事故应急处理领导小组、应急预案领导小组的职责、放射性事故应急处理的责任划分、放射性事故应急处理程序和放射性事故的调查等内容。由辐射事故应急处理领导小组组织各相关科室，定期（1 次/年）开展应急培训演练，在物资、通讯、技术、人员、经费等准备方面均加以落实。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

张家港市第一人民医院拟对 4 号楼一层东部区域进行改造，在现有核医学科东侧扩建 PET/CT 诊断中心，建设 1 座 PET/CT 机房及相关配套用房，配备 1 台 PET/CT（型号未定，最大管电压 $\leq 140\text{kV}$ ，最大管电流 $\leq 1000\text{mA}$ ），配合使用 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 、 ^{89}Zr 放射性核素（日等效最大操作量为 $1.96\text{E}+07\text{Bq}$ ）开展核素显像诊断，属于丙级非密封放射性物质工作场所。

二、项目建设的必要性

本项目的建设，可为医院提供多种诊断手段，有着重要临床应用价值，可为患者提供放射诊断服务，并可提高当地医疗卫生水平。

三、实践正当性

本项目的运行，具有良好的社会效益和经济效益，经辐射防护屏蔽和安全管理后，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够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》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

四、项目产业政策符合性分析

本项目不属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年修改）中“限制类”“淘汰类”项目，项目符合国家产业政策。

五、选址合理性

张家港市第一人民医院位于江苏省苏州市张家港市暨阳西路 68 号，医院东侧为永安路，南侧为暨阳西路，西侧为金城花园（居民区），北侧为泗杨路。

本次新建 PET/CT 诊断中心项目周围 50m 评价范围均位于院区边界内，东侧隔院内道路为 2 号楼（最近约 36m）和 6 号楼（最近约 41m），北侧隔院内道路为 3 号楼（最近约 29m）。项目运行后的环境保护目标主要为从事本项目的辐射工作人员、院区内的其他医护人员、病患及陪同家属等其他公众。

本次新建 PET/CT 诊断中心项目工作场所建于 4 号楼一层东部，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道，不与其他楼层交叉。新建 PET/CT 诊断中心项目工作

场所不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并与非放射性工作场所明确的分界隔离，选址合理。

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区；不涉及受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1号）要求，本项目建设址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。根据《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49号），本项目建设址评价范围内不涉及江苏省内优先保护单元；本项目为核技术利用项目，根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

本项目核医学科 PET/CT 诊断中心工作场所均划分了控制区及监督区，控制区和监督区内患者及医护人员均具有独立的出入口和流动路线，相关配套布局能够保证工作程序沿着相关房间单向开展，能够有效防止交叉污染，核医学科 PET/CT 诊断中心工作场所控制区内设置有患者专用卫生间，避免公众、工作人员受到不必要的外照射，布局合理。

六、辐射环境现状评价

张家港市第一人民医院新建 PET/CT 诊断中心项目拟建址室内点位周围环境天然 γ 辐射剂量率在 $(71\sim110)$ nGy/h，位于江苏省建筑物室内 γ 辐射（空气吸收）剂量率本底水平 $(50.7\sim129.4)$ nGy/h 范围内；室外点位周围环境 γ 辐射剂量率为 $(62\sim67)$ nGy/h，位于江苏省道路 γ 辐射（空气吸收）剂量率本底水平 $(18.1\sim102.3)$ nGy/h 范围内。

张家港市第一人民医院新建 PET/CT 诊断中心项目拟建址周围 β 表面污染水平低于仪器探测下限 (0.07Bq/cm^2) 。

七、环境影响评价

张家港市第一人民医院新建 PET/CT 诊断中心项目建设阶段影响可控制在医院院内局部区域，对周围环境影响较小。

根据理论预测结果，张家港市第一人民医院新建 PET/CT 诊断中心项目在做好个人防护措施和安全措施的情况下，项目对辐射工作人员及周围的公众产生的年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

八、“三废”的处理处置

本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（设计通风速率不小于 0.5m/s，排风口高于 4 号楼屋顶），管道内及外排放口处设置活性炭过滤吸附装置，能够有效防止放射性废气对周围环境产生的影响。来自 4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心的放射性废水，由独立下水管道统一集中到衰变系统中，满足暂存时间要求且监测结果经审管部门认可后可解控排放至医院污水处理系统，作为医疗废水处理。4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心产生的放射性固体废物集中到废物库内的铅桶中，满足暂存时间要求且经检测合格后，统一作为医疗废物处理进行处理。符合辐射环境保护管理要求。

PET/CT 机房内的空气在 γ 射线、X 射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，可通过工作场所拟设置的排风系统及新风系统排至室外，臭氧在常温下约 50 分钟可自行分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小；辐射工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理站，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小；辐射工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

九、主要污染源及拟采取的主要辐射安全防护措施

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），确定 4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心工作场所为丙级非密封放射性物质工作场所。

核医学科 PET/CT 机房扫描时产生的 X 射线；放射性核素在操作过程中产生的 γ 射线会造成医务人员和公众的外照射。本项目核医学科 PET/CT 诊断中心工作场所控制区出入口拟设置“当心电离辐射”警告标志；PET/CT 机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态灯；防护门拟设有防夹装置和曝光时自动关闭防护门的管理措施；PET/CT 机房内外均拟设置有急停按钮，核医学科 PET/CT 诊断中心控制区出入口设置单向门禁系统；医院拟为辐射工作人员配备放射性污染防护服等个人防

护用品，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的安全管理要求。

十、辐射安全管理评价

张家港市第一人民医院已设立辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以医院内部文件形式明确其管理职责。医院已制定辐射安全管理制度，建议根据本报告的要求，对照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，增补相应内容，建立符合本院实际情况的、完善可行的辐射安全管理制度，并在日常工作中落实。

医院核医学科现有 6 名辐射工作人员，本项目辐射工作拟由该 6 名辐射工作人员和其他科室调配的 3 名辐射工作人员共同承担，此 9 名辐射工作人员除开展核医学科相关辐射工作外，不兼职其他辐射工作。核医学科现有 6 名辐射工作人员均已通过“核医学”辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，拟调配的 3 名辐射工作人员均须通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规，参加“核医学”辐射安全与防护考核，合格后方可上岗。医院已建立个人剂量监测档案及职业健康监护档案。张家港市第一人民医院已配备有辐射巡测仪 1 台，拟为本项目配备表面污染测量仪 1 台和个人剂量报警仪 2 台，用于辐射防护监测和报警。此外，医院应根据相关标准要求，为新建 PET/CT 诊断中心项目工作人员和受检者配备足够数量的个人防护用品和辅助防护设施。

综上所述，张家港市第一人民医院新建 PET/CT 诊断中心项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该医院将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

一、该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对操作人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降低到最低。

二、各项安全措施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。

三、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除安全隐患。

四、医院取得本项目环评批复后，应及时重新申领辐射安全许可证，按照法规要求开展竣工环境保护验收工作，环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月，最长不超过 12 个月。

辐射污染防治“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资 (万元)
辐射安全管理机构	建立辐射安全与环境保护管理机构，或配备不少于1名大学本科以上学历人员从事辐射防护和环境保护管理工作。医院已设立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。	/
辐射安全和防护措施	屏蔽措施：本项目核医学科 PET/CT 诊断中心工作场所四侧墙体采用实心砖或实心砖+铅板、顶部采用混凝土或混凝土+铅板，各防护门均采用铅防护门，观察窗、注射窗均为铅玻璃窗进行辐射防护，详见表 10-2。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目剂量约束值要求。	
	安全措施：本项目核医学科 PET/CT 诊断中心工作场所控制区出入口拟设置“当心电离辐射”警告标志；PET/CT 机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态灯；防护门拟设有防夹装置和曝光时自动关闭防护门的管理措施；PET/CT 机房均拟设置有急停按钮，核医学科 PET/CT 诊断中心控制区出入口设置单向门禁系统。	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。	
	放射性“三废”处理措施：本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（设计通风速率不小于 0.5m/s，排风口高于 4 号楼屋顶），管道内及外排放口处设置活性炭过滤吸附装置，能够有效防止放射性废气对周围环境产生的影响。来自 4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心的放射性废水，由独立下水管道统一集中到衰变系统中，满足暂存时间要求且监测结果经审管部门认可后可解控排放至医院污水处理系统，作为医疗废水处理。4 号楼一层核医学科 PET/CT 诊断中心产生的放射性固体废物集中到废物库内的铅桶中，满足暂存时间要求且经检测合格后，统一作为医疗废物处理进行处理。符合辐射环境保护管理要求。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）及参考标准《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的相关要求。	

人员配备	辐射安全管理人员和辐射工作人员均须通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核，考核合格后方可上岗。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。	
	辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检（两次监测的时间间隔不应超过3个月），加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。		
	辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于1次/2年），并建立辐射工作人员职业健康档案。		
监测仪器和防护用品	已配备辐射巡测仪1台。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》有关要求。	
	拟配备表面污染测量仪1台。		
	拟配备个人剂量报警仪2台。		
	拟配备1个手套箱、6个放射性废物桶、2个铅屏风，拟为本项目辐射工作人员配备放射性污染防护服等个人防护用品。	满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的相关要求。	
辐射安全管理制度	制定操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施等制度：根据环评要求，按照项目的实际情况，补充相关内容，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。	满足《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》和 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关要求。	
总计	/	/	

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：	
经办人	公 章 年 月 日
审批意见	
经办人	公 章 年 月 日



附图 1 张家港市第一人民医院新建 PET/CT 诊断中心项目地理位置示意图