

核技术利用建设项目

泰兴市人民医院

扩建核医学科项目环境影响报告表

泰兴市人民医院

2026 年 7 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

泰兴市人民医院

扩建核医学科项目环境影响报告表

建设单位名称：泰兴市人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：江苏省泰兴市长征路 1 号

邮政编码：225499

联系人：

电子邮箱：/

联系电话：

目录

表 1 项目基本情况	2
表 2 放射源	6
表 3 非密封放射性物质	6
表 4 射线装置	6
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	8
表 6 评价依据	10
表 7 保护目标与评价标准	13
表 8 环境质量和辐射现状	18
表 9 项目工程分析与源项	22
表 10 辐射安全与防护	33
表 11 环境影响分析	41
表 12 辐射安全管理	65
表 13 结论与建议	69
附表：本项目“三同时”措施一览表	72
表 14 审批	75
附图 1 泰兴市人民医院长征路院区地理位置图	75
附图 2 泰兴市人民医院长征路院区平面布局及扩建核医学科评价范围示意图	75
附图 3 泰兴市人民医院长征路院区 8 号楼负一层平面布局图	75
附图 4 泰兴市人民医院长征路院区 8 号楼一层平面布局图	75
附图 5 泰兴市人民医院长征路院区 8 号楼二层平面布局图	75
附图 6 泰兴市人民医院长征路院区 8 号楼负一层平面布局及核医学工作场所分区路线图	75
附图 7 泰兴市人民医院长征路院区 8 号楼一层平面布局及核医学工作场所分区路线图	75
附图 8 泰兴市人民医院长征路院区 8 号楼场所位置示意图	75
附图 9 泰兴市人民医院长征路院区 8 号楼剖面示意图（局部）	75
附图 10 放射性废水衰变池间平面设计图	75
附图 11 8 号楼负一层核医学工作场所通风设计图	75
附图 12 8 号楼一层核医学工作场所通风设计图	75
附图 13 8 号楼负一层核医学工作场所辐射安全和防护措施设计图	75
附图 14 8 号楼一层核医学工作场所辐射安全和防护措施设计图	75
附件 1：委托书	75
附件 2：射线装置、非密封放射性核素使用承诺书	75
附件 3：关于现核医学科环评批复和竣工环保验收的说明	75
附件 4：辐射安全许可证	75
附件 5：辐射环境现状检测报告	75
附件 6：江苏省生态环境分区管控综合查询报告书	75
附件 7：关于《泰兴市人民医院（长征路院区）二期工程环境影响报告表》的批复	75
附件 8：辐射工作人员培训证书	75

表 1 项目基本情况

建设项目名称		泰兴市人民医院扩建核医学科项目				
建设单位		泰兴市人民医院				
法人代表		李文江	联系人		联系电话	
注册地址		江苏省泰兴市长征路 1 号				
项目建设地点		江苏省泰兴市长征路 1 号				
立项审批部门		泰兴市发展和改革委员会		批准文号	泰发改投〔2024〕84 号	
建设项目总投资（万元）		7190	项目环保投资（万元）	680	投资比例（环保投资/总投资）	9.5%
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其他			占地面积（m ² ）	约 2700
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 用放射性物质			
		☐ 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

1 建设单位基本情况、项目建设规模及任务由来

1.1 建设单位基本情况

泰兴市人民医院（以下简称医院）始建于 1934 年，为本地区规模最大的集医、教、研于一体的三级乙等综合性医院，是全国住院医师规范化培训基地，是扬州大学临床医学院和附属医院、蚌埠医学院附属医院、南京医科大学康达学院附属医院和南京医科大学、江苏大学、江苏健康职业学院等院校的教学医院。医院共有泰润路和长征路两个院区，本次项目所在地为泰兴市人民院长征路院区。

目前泰兴市人民院长征路院区正在使用急诊综合楼、门诊综合楼、内科楼等主体建筑。随着区域就诊人次持续增长，现有门诊综合楼等诊疗空间趋于饱和，接诊能力已难以匹配群众就医需求；现有核医学科场地建设年代久远，场所功能布局 and 分区

受限，且场地狭小无扩建条件。随着核医学诊疗技术的发展，现有核医学科已无法适配当前诊疗工作与发展的需求。同时院区存在配套短板，未规划专用后勤保障用房，机动车停车位缺口较大，也缺少绿化休闲等场所。为补齐硬件短板、提升诊疗服务能力，医院启动长征路院区二期工程，规划建设报告厅食堂楼（7 号楼）、核医学科用房（8 号楼）、行政教学楼（9 号楼）及综合用房（1 号楼）等建筑。针对长征路院区二期工程项目，医院已于 2025 年 4 月委托苏州市宏宇环境科技股份有限公司编制建设项目（非辐射类）环境影响评价报告，已取得环评批复（见附件 7）。

1.2 项目建设规模及任务由来

泰兴市人民医院长征路院区现有核医学科位于 4 号楼一层、二层，已取得辐射安全许可证（见附件 4）。一层已许可的核素包括 ^{89}Sr 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{125}I 粒籽源及 ^{99}Mo （ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）发生器，开展 SPECT 显像诊断、 ^{125}I 粒籽植入治疗和 ^{89}Sr 核素治疗。二层已许可的核素为 ^{131}I ，开展 ^{131}I 核素治疗。现有核医学科一层、二层的日等效最大操作量分别为 $5.18\text{E}+07\text{Bq}$ 、 $3.145\text{E}+09\text{Bq}$ ，均属于乙级非密封放射性物质工作场所范围（ $2\text{E}+07\text{Bq}\sim 4\text{E}+09\text{Bq}$ ）。医院现核医学科场所于 2010 年 8 月取得环评批复，并于 2011 年 1 月完成建设项目竣工环境保护验收。医院计划在新核医学科建设完成，并取得辐射安全许可后履行原核医学科的退役手续。

根据医院建设项目规划，扩建核医学科位于长征路院区 8 号楼负一层和一层。医院计划在 8 号楼负一层开展核素显像诊断，包括 1 间 PET/CT 机房、2 间 SPECT 机房、1 间 PET/MR 机房及相关配套用房。医院计划将原核医学科的一台 Siemens SymbiaE 型 SPECT 设备（无 CT 功能）搬迁到 1#SPECT 机房内，其他设备均为拟新购置的设备，包括一台 PET/CT、一台 SPECT/CT 和一台 PET/MR，使用 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 两种核素。医院计划在 8 号楼一层开展 ^{131}I 甲癌与甲亢治疗，包括 5 间核素病房及相关配套用房。

根据核医学科布局（见附图 3 和附图 4）可知，8 号楼负一层和一层均有各自独立的出入口，且与其它功能用房之间有明显物理隔断，可划分明确的监督区和控制区范围，且设计有独立辐射防护措施。因此，根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）的有关规定，本项目核医学科工作场所可分为 2 个独立场所即长征路院区 8 号楼负一层和长征路院区 8 号楼一层。

医院本次核技术利用项目情况一览表见表 1-1：

表 1-1 本次核技术利用项目一览表

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）	年使用量（Bq）	场所名称	活动种类	环评情况	许可情况	
1	乙级	¹⁸ F 使用	3.70E+06	1.85E+12	长征路院区 8 号楼负一层	使用	扩建项目 本次环评	未许可	
		¹⁸ F 备药	7.40E+05			贮存			
2		^{99m} Tc	1.85E+07	4.63E+12		使用			
4	乙级	¹³¹ I 甲癌	2.78E+09	1.39E+12	长征路院区 8 号楼一层	使用			
5		¹³¹ I 甲亢	1.85E+08	9.25E+10		使用			
射线装置									
序号	装置名称	数量	管电压 kV	管电流 mA	类别	场所名称	活动种类	环评情况	许可情况
1	PET/CT	1	≤150	≤1250	Ⅲ	长征路院区 8 号楼负一层 PET/CT 机房	使用	扩建项目 本次环评	未许可
2	SPECT/CT	1	≤150	≤1250	Ⅲ	长征路院区 8 号楼负一层 2#SPECT 机房	使用		

本项目建成后，原核医学科停止使用，本项目放射工作人员计划全部由原核医学科抽调，医院将结合未来运营情况，新招聘适量辐射工作人员，以确保工作人员数量与核医学科工作负荷相匹配。

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》和《建设项目环境影响评价分类管理名录》等法律法规的要求，本项目涉及使用乙级非密封放射性物质工作场所，应编制核技术利用项目环境影响评价报告表。受泰兴市人民医院委托，江苏玖清玖蓝环保科技有限公司承担该项目的环评评价工作。我公司通过资料调研、现场监测、评价分析，编制该项目环境影响报告表。

2 项目周边保护目标及项目选址情况

泰兴市人民医院长征路院区位于泰兴市长征路 1 号，其东侧为长征路，南侧为板桥路，西侧为环城西路，北侧为国庆路。长征路院区地理位置见附图 1，院区平面布局见附图 2。

核医学科所在 8 号楼为四层独栋建筑，其中地下二层、地上两层，负一层和一层为核医学科工作场所，负一层主要开展 PET、SPECT 核素显像诊断项目，一层主要开展 ¹³¹I 核素治疗项目，二层为配套办公区域，负二层为下挖层，仅包含衰变池间和管道间。8 号楼负一层核医学科工作场所东侧为停车场，南侧为弱电机房、生活水池、消防水池等，西侧、北侧均为土层，下方为管道间、衰变池间和土层，上方为一层核

医学科工作场所。8号楼一层核医学科工作场所东侧为楼梯、高压氧舱控制室、抢救室、仓库、消毒间、空压机房及储气间、氧舱大厅、候诊大厅和诊室等区域，南侧、西侧、北侧均为院内道路，下方为负一层核医学科工作场所，上方为医护办、资料室、示教室等办公区域。

8号楼负一层、一层和二层的平面布局见附图3、附图4、附图5；8号楼负一层、一层核医学场所和衰变池位置示意图见附图8；8号楼剖面图见附图9。

3 实践正当性分析

本项目的建设可以更好地满足患者多层次、多方位、高质量和文明便利的就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，可达到一般非放射性诊治方法所不能及的诊断及治疗效果，是其他项目无法替代的，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合辐射防护“实践的正当性”原则。

4 原有核技术利用项目许可情况

泰兴市人民医院目前持有江苏省生态环境厅颁发的辐射安全许可证，证书编号为“苏环辐证[00089]”，种类和范围为“使用Ⅲ类放射源；使用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”，发证日期为2021年11月8日，有效期至2026年11月7日。许可内容包含使用 ^{192}Ir 放射源（Ⅲ类）、2台加速器、2台DSA、30台Ⅲ类医用X射线装置，使用 ^{99}Mo （ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）发生器、 ^{89}Sr 、 ^{131}I 、 ^{125}I 粒子源。医院辐射安全许可证正副本见附件4。医院在用核技术利用项目均已履行了环保手续。

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度（n/s）。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	¹⁸ F	液态	使用	3.70E+09	3.70E+06	1.85E+12	核素显像诊断	很简单操作	长征路院区 8 号楼负一层	手套箱内
				7.40E+09	7.40E+05			贮存(备药)	长征路院区 8 号楼负一层	手套箱内
2	^{99m} Tc	液态	使用	1.85E+10	1.85E+07	4.63E+12		很简单操作	长征路院区 8 号楼负一层	手套箱内
3	¹³¹ I	液态	使用	1.85E+10	2.78E+09	1.39E+12	甲癌治疗	简单操作	长征路院区 8 号楼一层	自动分装仪内
4	¹³¹ I	液态	使用	1.85E+09	1.85E+08	9.25E+10	甲亢治疗	简单操作	长征路院区 8 号楼一层	自动分装仪内

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（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 (μA) /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	1	待定	≤150	≤1250	核素显像诊断	长征路院区 8 号楼负一层 PET/CT 机房	新增
2	SPECT/CT	III	1	待定	≤150	≤1250	核素显像诊断	长征路院区 8 号楼负一层 2#SPECT 机房	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	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	年排放量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
8 号楼一层患者住院产生的废水及医护人员清洗场所的废水	液态	^{131}I	/	/	约 80m ³	总 β 不大于 10Bq/L， ^{131}I 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L	由专用管道统一排入 1# 衰变池	暂存于 1# 衰变池内 180 天后排入医院污水处理系统
核素诊断场所患者产生的含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 排泄物及医护人员清洗场所的废水	液态	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F	/	/	约 55m ³	总 β <10Bq/L	由专用管道统一排入 2# 衰变池	暂存于 2# 衰变池内 30 天后排入医院污水处理系统
8 号楼负一层产生的一次性手套、滤纸、注射器、服药纸杯、手套、擦拭废纸等	固态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	约 200kg	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	分类收集于各场所的放射性废物桶内，送至 8 号楼一层放射性固体废物间暂存	暂存于固体废物间内，含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 核素的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，作为医疗废物处理
8 号楼一层所产生一次性服药杯、擦拭纸	固态	^{131}I	/	/	约 50kg	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	收集于各场所的放射性废物桶内，送至 8 号楼二层放射性固体废物间暂存	暂存于固体废物间内不少于 180 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，作为医疗废物处理。
8 号楼负一层通风系统产生的废活性炭	固态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$	/	/	约 25kg	/	拆卸下来的过滤吸附装置作为放射性固体废物处理，送至 8 号楼负一层放射性固体废物间暂存	暂存于固体废物间内不少于 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，作为医疗废物处理。
8 号楼一层通风系统产生的废活性炭	固态	^{131}I	/	/	约 25kg	/	拆卸下来的过滤吸附装置作为放射性固体废物处理，送至 8 号楼一层放射性固体废物	暂存于固体废物间内不少于 180 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，作为医疗废物处理。

							间暂存	
放射性药物操作时挥发的微量气溶胶	气态	^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I	/	/	微量	微量	不暂存	经手套箱（自动分装仪）管道内及屋顶排放口活性炭装置过滤后排放
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	/	少量	/	不暂存	直接排入大气，臭氧的有效化学分解时间约为 50 分钟

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.含有放射性的废弃物要注明，其排放浓度用比活度（Bq/l，或 Bq/kg，或 Bq/m³），年排放总量分别用 Bq 和 kg。

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》(修订版), 国家主席令第 9 号, 2015 年 1 月 1 日施行 (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018 修正版), 中华人民共和国主席令第 24 号, 2018 年 12 月 29 日修订, 2018 年 12 月 29 日起施行 (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》, 国家主席令第 6 号, 2003 年 10 月 1 日起施行 (4) 《建设项目环境保护管理条例》(2017 年修正版), 国务院令第 682 号, 2017 年 10 月 1 日发布施行 (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2019 年修正版), 国务院令第 709 号, 2019 年 3 月 2 日公布施行 (6) 《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 日实施 (7) 《产业结构调整指导目录(2024 年本)》, 国家发展改革委令第 7 号公布, 自 2024 年 2 月 1 日起施行 (8) 《放射性废物分类》, 环境保护部、工业和信息化部、国防科工局, 2018 年 1 月 1 日起施行 (9) 《关于发布射线装置分类的公告》, 原环境保护部、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 (10) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2021 年修正版), 生态环境部令第 20 号, 2021 年 1 月 4 日施行 (11) 《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 (12) 《放射性废物安全管理条例》, 国务院令第 612 号, 2012 年 3 月 1 日起施行 (13) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》, 国家环保总局, 环发〔2006〕145 号, 2006 年 9 月 26 日起施行 (14) 《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 (15) 《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 11 月 1 日起施行 （16）《生态环境部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 21 日起施行 （17）《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修正版），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会公告第 2 号，2018 年 5 月 1 日起施行 （18）《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 25 日起施行 （19）《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 （20）《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 （21）《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 （22）《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 （23）《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，生态环境部辐射源安全监管司，2023 年 9 月 11 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）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010） （3）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016） （4）《辐射环境保护管理导则 核技术利用项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016） （5）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021） （6）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021） （7）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021） （8）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128- 2019） （9）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020） （10）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）

其他	与本项目相关附件 (1) 委托书（附件 1） (2) 射线装置、放射源、非密封放射性核素使用承诺书（附件 2） (3) 关于现核医学科环评批复和竣工环保验收的说明（附件 3） (4) 辐射安全许可证（附件 4） (5) 辐射环境现状检测报告（附件 5） (6) 江苏省生态环境分区管控综合查询报告书（附件 6）
----	---

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据本项目的特点，结合《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关规定“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，甲级取半径 500m 范围，乙、丙级取半径 50m 的范围”。本项目为乙级非密封放射性物质工作场所，因此，本项目评价范围保守取核医学科（包括控制区与监督区）墙体边界外半径 50m 范围内的区域，如附图 2 所示。

环境保护目标

根据江苏省生态环境分区管控综合服务平台相关信息，全省划定环境管控单元，分为优先保护单元、重点管控单元和一般管控单元三类，实施分类管控。泰兴市人民医院长征路院区位于泰兴市长征路 1 号，本项目位于医院 8 号楼内，根据本项目江苏省生态环境分区管控综合查询报告书(附件 6)可知，项目区域属于一般管控单元，不涉及优先保护单元和重点管控单元。项目投入运行后，各污染物的排放均能得到有效控制，满足相关标准的要求，不会改变环境质量现状，满足环境准入清单管理要求。

综上所述，本项目的建设符合“三线一单”生态环境分区管控的相关要求。

本项目评价范围内无居民区、学校等环境敏感目标。因此，保护目标主要为辐射工作人员、评价范围内医务人员和工作人员、患者、患者家属、院外道路和院内道路行人等，保护目标详见表 7-1。

表 7-1 本项目评价范围内保护目标情况一览表

序号	保护目标名称	方位	最近距离	规模	环境保护要求 (mSv/a)
1	辐射工作人员	工作场所内	/	8 人	职业人员年剂量约束值 5mSv/a
2	8 号楼内医务人员	东侧、南侧、 楼上、楼下	紧邻	约 20 人	公众人员年剂量约束值 0.1mSv/a
3	8 号楼内患者和家属			流动人员	
4	7 号食堂楼和报告厅内工作人员	东侧	约 47m	约 50 人	
5	7 号食堂楼和报告厅内患者和家属			流动人员	
6	1 号综合楼内医务人员	南侧	约 17m	约 200 人	
7	1 号综合楼内患者和家属			流动人员	
8	配套用房内工作人员	西侧	约 21m	约 15 人	

9	检验楼内医务人员	北侧	约 24m	约 50 人	
10	检验楼内患者和家属			流动人员	
11	门诊楼辅楼内工作人员		约 34m	约 90 人	
12	院内道路上的行人	东、南、西、 北侧	紧邻	流动人员	
13	院外道路上行人	西侧	约 49m	流动人员	

评价标准

1 项目管理目标:

①剂量限值:

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的要求，本项目剂量限值见表 7-2。

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

类别	剂量限值
职业照射 剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv； ③四肢（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。

②剂量约束值:

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），辐射工作人员职业照射和公众照射的剂量约束值应符合以下要求：

- a) 一般情况下，职业照射的剂量约束值为 5mSv/a。
- b) 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

③关注点处周围剂量当量率控制水平:

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求：

a.距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h。

b.放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

c. 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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，上述 a 条款具体含义为：

1. 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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

2. 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、核素治疗住院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 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的要求：

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 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，宜不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；核医学工作场所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 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

④工作场所表面污染控制水平：

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中的要求，表面污染控制水平见表 7-3。

表 7-3 表面污染控制水平（单位 Bq/cm^2 ）

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒性	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、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}
1) 该区内的污染子区除外。				

根据表 7-3，本项目 β 放射性物质的表面污染控制水平为：

工作台、设备、墙壁、地面控制区： 40Bq/cm^2

工作台、设备、墙壁、地面监督区： 4Bq/cm^2

工作服、手套、工作鞋控制区、监督区： 4Bq/cm^2

手、皮肤、内衣、工作袜： 0.4Bq/cm^2

2 放射性废物管理：

①放射性废水的管理：

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）的要求：

排入1#衰变池的放射性废液暂存时间超过180天，或者不满180天但对废水进行监测，监测结果表明¹³¹I活度浓度不高于10Bq/L后，可直接进行排放。排入2#衰变池的放射性废液暂存时间超过30天后可直接解控排放。

②放射性固废的管理：

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求：

固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm²、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm²的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

- a) 所含核素半衰期小于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；
- b) 所含核素半衰期大于 24h 的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10倍。
- c) 含碘-131核素的放射性固体废物暂存超过180天。

③放射性废气的管理：

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的要求：

产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。

应定期检查通风系统过滤净化器的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

通风橱应有专用的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。

3 辐射环境质量现状检测评价参考值：

参考《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。

表 7-4 江苏省环境天然 γ 辐射水平（单位：nGy/h）

	原野	道路	室内
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： [1]测量值已扣除宇宙射线响应值。[2]现状评价时，参考测值范围进行评价。

4 其他参考资料：

- (1) 《辐射防护导论》（原子能出版社，方杰主编）
- (2) 《辐射防护手册》（第三分册）（原子能出版社，李德平 潘自强主编）
- (3) 《放射防护实用手册》（济南出版社，赵兰才 张丹峰主编）
- (4) 《IAEA Safety Reports Series No.63 Release of patients after radionuclide therapy》IAEA 第 63 号报告

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

1 项目地理和场所位置

泰兴市人民医院长征路院区位于泰兴市长征路 1 号，院区地理位置见附图 1，院区平面图见附图 2。

本项目位于 8 号楼负一层和一层（尚未建设）。根据现场调查可知，本项目周围 50m 范围内无居民区、学校等敏感点，拟建址现状见图 8-1。



图 8-1 本项目拟建址现状图

2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

环境现状评价的对象：本项目拟建址周围辐射环境

监测因子： γ 辐射空气吸收剂量率、 β 表面污染

监测点位：在拟建址及周围进行布点， γ 辐射空气吸收剂量率布点 10 个， β 表面污染布点 1 个

3 监测方案、质量保证措施及监测结果

3.1 监测方案

监测单位：江苏玖清玖蓝环保科技有限公司

监测仪器：BG9512PG03 环境监测用 X、 γ 辐射空气比释动能率仪（设备编号：J2825，检定有效期：2025 年 8 月 13 日—2026 年 8 月 12 日）、Como170 高灵敏 α/γ 便携式沾

污检测仪（设备编号：J0417，检定有效期：2025 年 11 月 10 日—2026 年 11 月 9 日）

监测项目： γ 辐射空气吸收剂量率、 β 表面污染

监测布点：在项目拟建址周围进行布点，具体点位见图 8-2

监测时间：2026 年 3 月 6 日

监测方法：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《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）

数据记录及处理： γ 辐射空气吸收剂量率监测每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s，并待计数稳定后读取数值，每组数据计算每个点位的平均值并计算方差。 β 表面污染水平监测每个点位读取 5 个数据，读取间隔不小于 10s，并待计数稳定后读取数值，每组数据计算每个点位的平均值并计算方差。

3.2 质量保证措施

监测单位：江苏玖清玖蓝环保科技有限公司，该公司已通过资质认定

监测布点质量保证：根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）与《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）有关布点原则进行布点

监测过程质量控制质量保证：本项目监测按照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《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）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质量保证：监测人员均经过考核并持有合格证书，所有监测仪器均经过计量部门检定，并在有效期内，监测仪器使用前经过校准或检验，监测报告实行三级审核。

3.3 监测结果

监测结果见表 8-1、表 8-2，详细检测结果见附件 5。

表 8-1 扩建核医学科项目拟建址及周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率

测点号	点位描述	测量结果 (nGy/h)	标准偏差	备注
1	扩建核医学科拟建址处	48	4	室外空地
2	拟建址西侧	53	3	室外空地
3	拟建址南侧	48	3	室外空地
4	拟建址东侧	34	2	室外空地

5	拟建址北侧	46	2	室外空地
6	院内道路	58	3	室外道路
7	检验楼一楼大厅	83	3	室内楼房
8	门诊楼辅楼一楼大厅	86	3	室内楼房
9	配套用房一楼室内	72	4	室内楼房
10	院外道路	34	2	室外道路

*1.表中结果扣除仪器宇宙响应值；
2.楼房对宇宙射线的屏蔽修正因子取 0.8，平房对宇宙射线的屏蔽修正因子取 0.9，原野、道路对宇宙射线的屏蔽修正因子取 1。

表 8-2 β表面污染检测结果

测点号	点位描述		测量结果 (Bq/cm²)	被检设备信息及检测工况
1	扩建核医学科拟建址	扩建核医学科拟建址处地面	<MDL	检测日期：2026 年 3 月 6 日 检测环境： 天气：晴、温度：16.1℃ 湿度：56.8%RH

*MDL=0.021Bq/cm²。

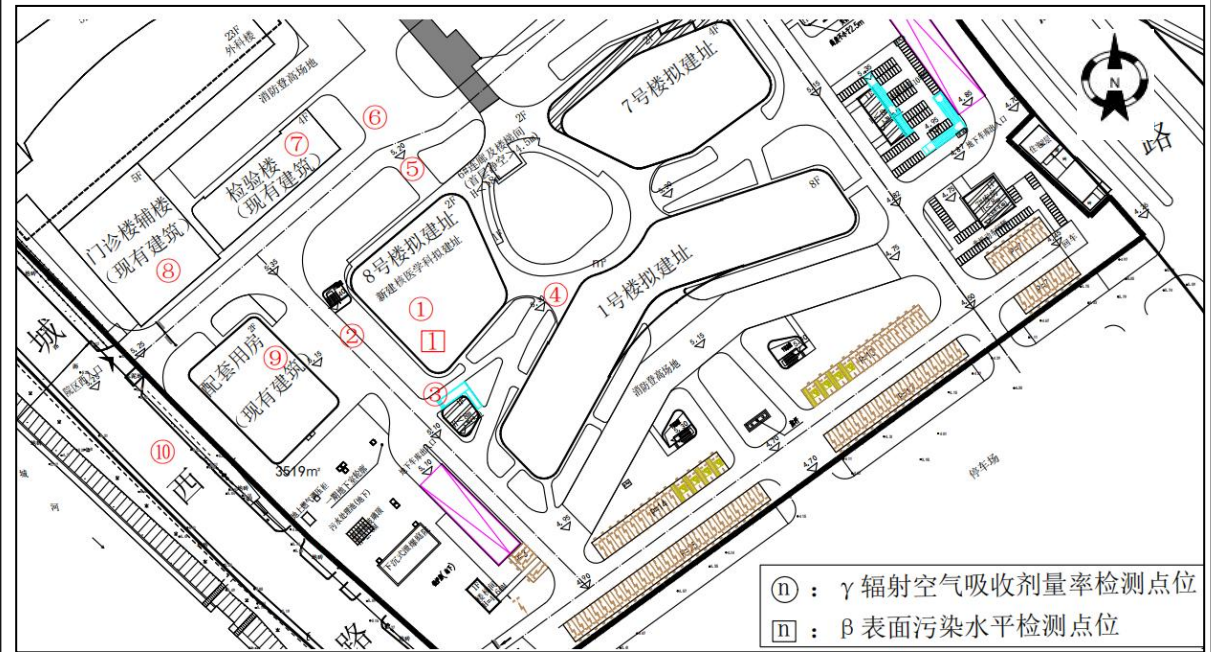


图 8-2 本项目拟建址及周围检测点位图

4 环境现状调查结果评价

根据监测结果可知，本项目拟建址及周围室外空地的γ辐射水平为（34~53）nGy/h，处于江苏省原野γ辐射水平（33.1~72.6）nGy/h 涨落范围内；院内道路和院外道路上γ

辐射水平为（34~58）nGy/h，处于江苏省环境道路 γ 辐射水平（18.1~102.3）nGy/h 涨落范围内；本项目评价范围内现有用房的室内 γ 辐射水平为（72~83）nGy/h，处于江苏省环境室内 γ 辐射水平（50.7~129.4）nGy/h 涨落范围内。由此可知本项目场址周围环境各监测点位辐射水平未见异常，均处于辐射正常水平范围内。本项目拟建址处地面 β 表面污染水平<MDL。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

根据医院建设项目规划，扩建核医学科位于长征路院区 8 号楼负一层和一层。医院计划在 8 号楼负一层开展核素显像诊断，包括 1 间 PET/CT 机房、2 间 SPECT 机房、1 间 PET/MR 机房及相关配套用房。医院计划将原核医学科的一台 Siemens SymbiaE 型 SPECT 设备（无 CT 功能）搬迁到 1#SPECT 机房内，其他设备均为拟新购置的设备，包括一台 PET/CT、一台 SPECT/CT 和一台 PET/MR，使用 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 两种核素。医院计划在 8 号楼一层开展 ^{131}I 甲癌与甲亢治疗，包括 5 间核素病房及相关配套用房。

1 核医学科工作场所分级

根据医院提供的预估核素种类及使用量，计算放射性药物日最大操作量和年总用量。通过查阅 GB 18871-2002 得到各核素的毒性组别及使用因子，根据核素的日最大操作量，经过毒性组别及使用因子的双重修正，得到最终的工作场所分级。

本项目使用的非密封放射性物质 ^{18}F 半衰期较短，为保证每批次最后一位患者注射 ^{18}F 药物量为 $3.70\text{E}+08\text{Bq}$ ，拟采取增加放射性药物出厂活度的方式确保活度满足使用要求，即需要考虑放射性药物的使用量和备用量。本项目 ^{18}F 核素拟暂定一天送 2 次药（上、下午各 1 次），按照日用药量的 2 倍进行备药。本项目 ^{18}F 核素实际日最大操作量为 $3.70\text{E}+09\text{Bq}$ ，按 2 倍进行备药，则 ^{18}F 核素备药量为 $7.40\text{E}+09\text{Bq}$ ； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 半衰期较长，可不考虑备药量。

表 9-1 核医学科放射性核素日使用量及年使用量

长征路院区 8 号楼负一层		
^{18}F (用药)	日最大用量	$3.70\text{E}+08\text{Bq}/\text{人} \times \text{日门诊量 } 10 \text{ 人} = 3.70\text{E}+09\text{Bq}$
	年总量	$3.70\text{E}+08\text{Bq}/\text{人} \times \text{年门诊量 } 2500 \text{ 人} = 9.25\text{E}+11\text{Bq}$
^{18}F (备药)	日最大用量	$3.70\text{E}+08\text{Bq}/\text{人} \times \text{日门诊量 } 10 \text{ 人} \times 2 = 7.40\text{E}+09\text{Bq}$
	年总量	$3.70\text{E}+08\text{Bq}/\text{人} \times \text{年门诊量 } 2500 \text{ 人} \times 2 = 1.85\text{E}+12\text{Bq}$
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	日最大用量	$9.25\text{E}+08\text{Bq}/\text{人} \times \text{日门诊量 } 20 \text{ 人} = 1.85\text{E}+10\text{Bq}$
	年总量	$9.25\text{E}+08\text{Bq}/\text{人} \times \text{年门诊量 } 5000 \text{ 人} \approx 4.63\text{E}+12\text{Bq}$
长征路院区 8 号楼一层		
^{131}I 甲癌	日最大用量	$5.55\text{E}+09\text{Bq}/\text{人} \times \text{日门诊量 } 5 \text{ 人} = 2.78\text{E}+10\text{Bq}$
	年总量	$5.55\text{E}+09\text{Bq}/\text{人} \times \text{年门诊量 } 250 \text{ 人} = 1.39\text{E}+12\text{Bq}$

¹³¹ I 甲亢	日最大用量	3.70E+08Bq/人×日门诊量 5 人=1.85E+09Bq
	年总量	3.70E+08Bq/人×年门诊量 250 人=9.25E+10Bq

表 9-2 核医学科项目放射性核素日等效最大操作量核算

核素	物理状态/ 毒性组别	操作方式	日等效最大操作量
¹⁸ F (用药)	液态/低毒	很简单操作	日最大操作量 $3.70E+09Bq \times 0.01$ (低毒) /10 (液态/很简单操作) = $3.70E+06Bq$
¹⁸ F (备药)	液态/低毒	源的贮存	日最大操作量 $7.40E+09Bq \times 0.01$ (低毒) /100 (液态/贮存) = $7.40E+05Bq$
^{99m} Tc	液态/低毒	很简单操作	日最大操作量 $1.85E+10Bq \times 0.01$ (低毒) /10 (液态/很简单操作) = $1.85E+07Bq$
长征路院区 8 号楼负一层日等效最大操作量: $2.29E+07Bq$			
¹³¹ I 甲癌	液态/中毒	简单操作	日最大操作量 $2.78E+10Bq \times 0.1$ (中毒) /1 (液态/简单操作) = $2.78E+09Bq$
¹³¹ I 甲亢	液态/中毒	简单操作	日最大操作量 $1.85E+09Bq \times 0.1$ (中毒) /1 (液态/简单操作) = $1.85E+08Bq$
长征路院区 8 号楼一层日等效最大操作量: $2.96E+09Bq$			

由上述表可知, 8 号楼负一层核医学工作场所日等效最大操作量为 $2.29E+07Bq$, 8 号楼一层核医学工作场所日等效最大操作量为 $2.96E+09Bq$ 。根据 GB 18871-2002 中乙级非密封放射性物质工作场所范围 ($2E+07Bq \sim 4E+09Bq$), 因此本项目 8 号楼负一层、8 号楼一层均为乙级非密封放射性物质工作场所。

2 8 号楼负一层核医学工作场所

2.1 PET/CT、PET/MR 项目

2.1.1 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。

(1) PET/CT 全称正电子发射断层与计算机断层诊断技术，是在 PET 和 CT 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，借此诊断疾病，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。

(2) PET/MR (Positron Emission Tomography and Magnetic Resonance Imaging)，称正电子发射断层与磁共振成像技术，是在 PET(Positron Emission Tomography) 和 MR(Magnetic Resonance Imaging) 的基础上发展起来的新设备，该设备将两大医学影像高端检查手段一体化设计，同时具有 PET 功能代谢显像和 MR 高分辨率的检查功能，使其不但具有完整的、先进的 MR 功能，而且能够实现 PET 的所有功能，可实现优势互补。同时获取全身 PET 和 MR 数据，缩短检查时间，是医学成像领域的巨大飞跃，为诊断和了解疾病开启了新大门。

PET/CT 工作时，其 CT 的 X 射线管会产生 X 射线，属于Ⅲ类射线装置。使用的正电子示踪剂属非密封放射性物质，本项目显像用正电子核素特性见表 9-3。

表 9-3 本项目正电子核素特性一览表

核素种类	半衰期	衰变模式和分支比	α/β 最大能量 MeV	光子能量 (MeV)	周围剂量当量率常数 (裸源) $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$
^{18}F	109.8min	β^+ (96.73%)， EC (3.27%)	0.63(+)	0.511	0.143

医院 ^{18}F 正电子药物由核医学科提前根据就诊患者预约情况确定药物使用量后向医药公司预定，医药公司将药物配送至8号楼负一层高活室 ^{18}F 手套箱内， ^{18}F 到货时为装入铅罐内的整罐药液，需要由医护人员按病人所需活度进行手动分装。医护人员在 PET 注射窗完成对患者的注射后，患者进入 PET 候诊室等待，一定时间后进行扫描检查，检查完成后留观约 10~20 分钟后若无异常情况即可离开。

2.1.2 工作流程及产污环节分析

PET/CT、PET/MR显像诊断项目整体工艺及操作程序见图9-1。

①医院根据患者预约情况，确定当天所使用的放射性核素及其剂量；

②医院提前向专业医药公司预订正电子药物，医药公司按照医院要求在规定时间内将药物送到医院8号楼负一层高活室；

③医护人员为患者注射药物，注射后患者在候诊室停留一定时间后，进入机房进行扫描诊断。

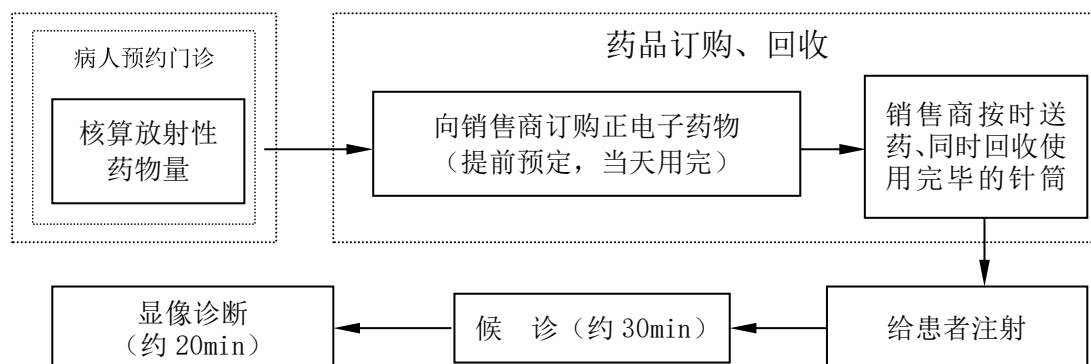


图 9-1 PET/CT、PET/MR 显像诊断项目流程示意图

诊断部分具体工艺流程及产污环节见图9-2。

- （1）购置的正电子药物在医药公司送至8号楼负一层高活室；
- （2）给患者注射药物（静推给药）；
- （3）患者在候诊室静坐候诊约20~30分钟；
- （4）到机房内开始扫描（10~20分钟不等）；
- （5）扫描后留观约30分钟；
- （6）图像后处理。

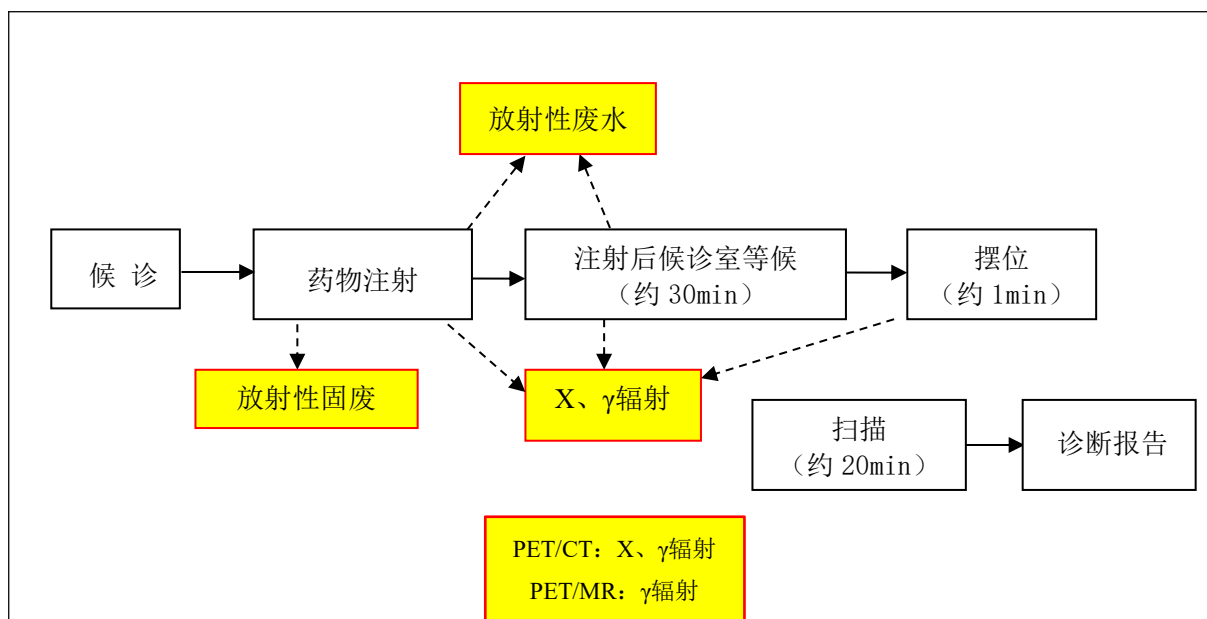


图9-2 工艺流程及产污环节

2.2 SPECT、SPECT/CT 显像诊断项目

2.2.1 工作原理

(1) SPECT 是一个探头可以围绕患者进行 360°旋转的γ相机，SPECT 探头绕人体一周，在旋转时每隔一定角度（3°或 6°）采集一帧图片或 360°采集 64 张图像，然后经滤波反向投影法或迭代重建法或傅里叶变换法等方法，用电子计算机自动处理，将图像叠加，重建为该脏器的横断面、冠状面、矢状面或任何需要的不同方位的断层、切面图像，最后大大提高了诊断的灵敏度和正确性。除单探头外，双探头和三探头的 SPECT 也相继应用于临床，大大提高了显像的速度和采集的数据量。

(2) SPECT/CT 是将单光子发射计算机断层显像 SPECT (Single Photo Emission Computed Tomography) 和 CT (Computer Tomography) 有机融合在一起的一体化的无创行影像检查设备。放射性核素显像剂注入人体后，正常组织与疾病组织放射性浓度差异，SPECT 在体外自动多角度探测到人体内的放射性核素产生的γ光子，然后通过计算机特殊软件处理和进行图像重建。SPECT/CT 既可以将静态成像提升为动态成像，把脏器显像与功能测定结合起来，又能进行三维立体探测和断层显示的优势。SPECT 不仅与 CT 技术交相辉映，互补其优势，而且可弥补其影像技术的不足。SPECT/CT 检查真正实现了功能、代谢、生化影像与解剖结构影像的实时融合，在病变的早期发现、观察累及范围和器官功能检查方面有其独特优势。

本项目使用放射性核素 ^{99m}Tc 进行显像。SPECT/CT 工作时，其 CT 的 X 射线管

会产生 X 射线，属于Ⅲ类射线装置。使用的 ^{99m}Tc 核素特性一览表见下表 9-4。

表 9-4 本项目单光子核素特性一览表

核素种类	半衰期	衰变模式	α/β 最大能量 MeV	光子能量 (MeV)	周围剂量当量率常数 (裸源) $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$
^{99m}Tc	6.02h	同质异能跃迁	-	0.14	0.0303

医院 ^{99m}Tc 药物由核医学科根据就诊患者预约情况确定药物使用量向医药公司预定，医药公司按约定的时间将单名患者用药量分装成针剂后配送至 8 号楼负一层高活室，核医学科不自行分装药物。医护人员在 SPECT 注射窗完成对患者的注射后，患者进入 SPECT 候诊室等待，一定时间后进行扫描检查，检查完成后留观约 10~20 分钟后若无异常情况即可离开。

2.2.2 工作流程及产污环节分析

SPECT项目整体工艺及操作程序见图9-3。

- 1.医院根据患者预约情况，确定当天所使用的放射性核素及其剂量；
- 2.医院向专业医药公司预订 ^{99m}Tc 药物，医药公司按照医院要求在规定时间内将药物按医院要求分装后送至核医学科高活室；
- 3.医护人员为患者注射药物，注射后患者在SPECT注射后候诊室停留一定时间后，进入机房进行扫描诊断。

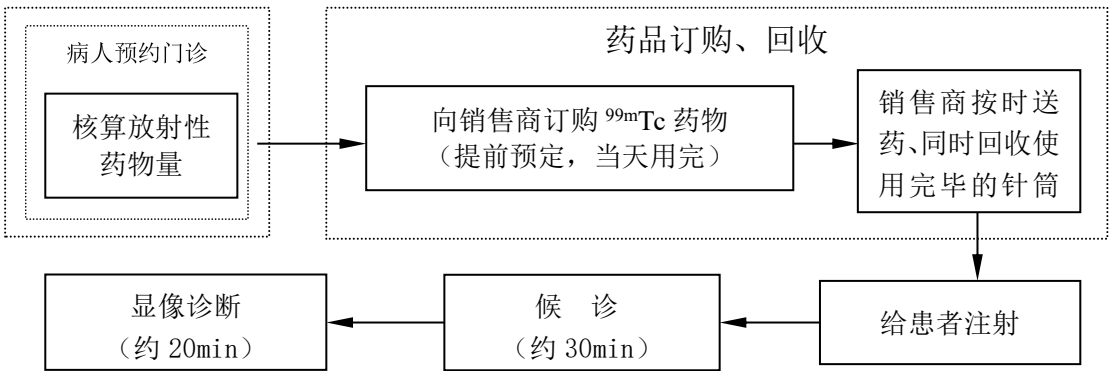


图 9-3 SPECT、SPECT/CT 显像诊断操作流程示意图

SPECT诊断部分具体工艺流程及产污环节见图9-4。

- (1) 购置的 ^{99m}Tc 药物在医药公司分装好后送至8号楼负一层高活室；
- (2) 给患者注射药物（静推给药）；
- (3) 患者在注射后候诊室静坐候诊约20~30分钟；
- (4) 到SPECT检查床开始扫描（10~20分钟不等）；

(5) 扫描后留观约30分钟；

(6) 图像后处理。

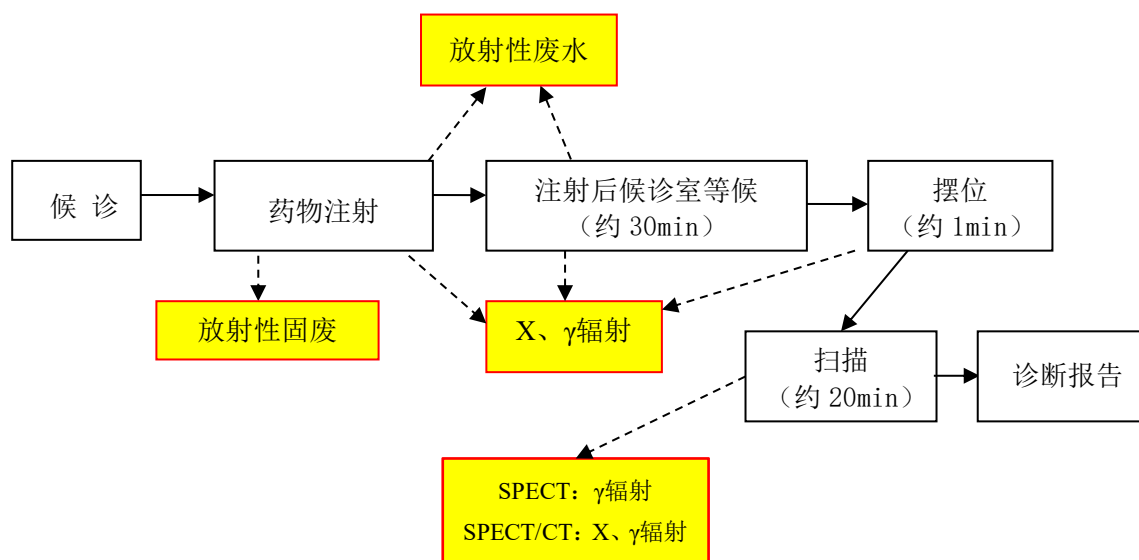


图 9-4 SPECT 诊断部分具体工艺流程及产污环节

3 8 号楼一层核医学工作场所

3.1 ^{131}I 核素治疗工作原理

^{131}I 主要用于甲状腺方面疾病的治疗。I 是合成甲状腺激素的物质之一，甲状腺细胞通过钠/碘共转因子克服电化学梯度从血循环中浓聚 ^{131}I 。因此，甲状腺疾病患者口服的 ^{131}I 药剂大都聚集在甲状腺内； ^{131}I 衰变发射的 β 射线在组织内平均射程仅为 1mm，因此 β 粒籽的能量几乎全部释放在甲状腺组织内，对甲状腺周围的组织和器官影响较小。对于甲癌患者给予大剂量 ^{131}I ，能够消除手术残留的甲状腺组织，减少复发和转移； ^{131}I 治疗后，随访变得十分容易和灵敏可靠，测量血中的甲状腺球蛋白（Tg）及 B 超、X 线检查就可以监测有无复发和转移； ^{131}I 治疗甲状腺癌转移灶具有高度的靶向性，副作用小，效果好。 ^{131}I 核素特性见表 9-5。

表 9-5 放射性核素特性一览表

核素种类	半衰期	衰变模式和分支比	α/β 最大能量 MeV	光子能量 (MeV)	周围剂量当量率常数（裸源） $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$
^{131}I	8.02d	β^- (100%)	0.602	0.284,0.365, 0.637	0.0595

3.2 工作流程

患者在治疗前需进行甲状腺功能测定，单名患者甲功测定用 ^{131}I 药物活度最大为 $2.22\times 10^5\text{Bq}$ ，小于 GB 18871-2002 中 ^{131}I 豁免活度限值 ($1\times 10^6\text{Bq}$)，对环境辐射影响

较小。患者于 8 号楼负一层摄碘室服用甲功测定药物，服药后分别于 2h、4h、24h 返回 8 号楼负一层摄碘室进行吸碘率测试，经测试确定各患者的用药量后，医院向有资质的公司订购药物。

本项目甲亢治疗为门诊治疗，患者的单次口服剂量不超过 $3.70\text{E}+08\text{Bq}$ (10mCi)，满足 HJ 1188-2021 中要求的放射治疗患者出院时体内放射性活度不大于 400MBq 的要求。本项目甲亢患者日收治量最大为 5 人，年收治量最大为 250 人，患者在服药后若无异常情况即可直接离开。

按照《 ^{131}I 治疗分化型甲状腺癌指南（2021 版）》， ^{131}I 甲癌治疗使用的放射性药品主要为碘(^{131}I)化钠溶液，用量通常为 30mCi 、 100mCi 、 150mCi ，个别用量达 200mCi 。施行甲状腺全切术或次全切术患者，通常行 ^{131}I “清甲”或“清灶”治疗，“清甲”是指用 ^{131}I 摧毁术后残留的正常甲状腺组织，“清灶”是指用 ^{131}I 治疗甲状腺床残留甲状腺癌、甲状腺床复发灶和转移灶。“清甲”用量为 30mCi ~ 100mCi ，“清灶”用量为 100mCi ~ 150mCi ，少数肺部或骨转移治疗用量可达 200mCi ，一般需要住院 2~4 天。本项目甲癌患者单人药物用量为 $5.55\text{E}+09\text{Bq}$ (150mCi)，收治量为 5 人/日，每周只收治 1 个批次，年收治量最大为 250 人。供货商将药物送至 8 号楼一层高活室自动分装仪内，医务人员远程操控自动分装仪对药物进行分装，患者在服药窗口服药后进入甲癌病房住院，住院治疗期间活动仅限于甲癌病房、卫生间及患者走廊。

本项目 ^{131}I 药液购自有资质的专业供货商并由其运输至 8 号楼一层高活室。到货时为装入铅套内的整罐药液，需要由医护人员按患者所需活度进行分装和质控，为进一步减少大剂量 ^{131}I 对医护人员的辐射影响，医院拟采用放射性药物自动分装仪进行分装，工作流程如下：

- (1) 将 ^{131}I 原液转运铅罐放置在自动分装仪的升降装置上，提升至柜内；
- (2) 打开防护罐盖，将抽药针头与稀释针头一并插入原液瓶内；
- (3) 在控制室按控制屏原液抽取键，将原液抽取稀释至活度计检测井内分配瓶内；
- (4) 控制系统自动计算分配液活度及体积，矫正比活度参数，进入分配界面；
- (5) 输入患者信息，确认后自动进行药液抽取至服药口杯。

取药口信息屏显示患者信息及服药量，通过监控对讲系统指导患者服药、指导患者将口杯弃入服药窗口处的废物防护桶内，确认服药完毕后进入下一患者服药过程。

污染源项描述

1 核医学科污染源项分析

核医学科主要放射性污染因子见表 9-6。

表 9-6 核医学科工作场所主要放射性污染一览表

放射性工作场所	主要放射性污染
长征路院区 8 号楼负一层	X 射线、 γ 射线、表面污染、放射性固废、放射性废气、放射性废水
长征路院区 8 号楼一层	γ 射线、表面污染、放射性固废、放射性废气、放射性废水

1.1 放射性污染

本项目各放射性工作场所产生的主要辐射源项和放射性污染因子见表 9-7。

表 9-7 辐射源项的分布

PET/CT 和 PET/MR			
序号	工作场所或操作过程	主要辐射源项	污染因子
1	高活室、注射室 (质检、活度测量、药物分装、 药物注射)	放射性药物、工作场所 表面污染、患者	γ 射线、 β 射线、表面污染、 放射性固废、放射性废气、 放射性废水
2	PET 候诊室、PET/MR 候诊室	患者	γ 射线、 β 射线、放射性固废、 放射性废水
3	患者专用卫生间	患者排泄物、工作场所 表面污染	γ 射线、 β 射线、表面污染、 放射性固废、放射性废水
4	PET/CT 机房 (患者检查过程)	患者、PET/CT	γ 射线、 β 射线、X 射线
	PET/MR 机房 (患者检查过程)	患者	γ 射线、 β 射线
5	留观室、患者检查完成离开过程	患者	γ 射线、 β 射线、放射性固废、 放射性废水
6	固废间、衰变池	注射用的针头和针管 等、工作场所表面污染、 放射性废水	γ 射线、 β 射线、表面污染、 放射性废水
SPECT 和 SPECT/CT			
1	高活室、注射室 (质检、活度测量、药物注射)	放射性药物、工作场所 表面污染、患者	γ 射线、表面污染、放射性 固废、放射性废气、放射性 废水
2	SPECT 候诊室	患者	γ 射线、表面污染、放射性 固废、放射性废水
3	患者专用卫生间	患者排泄物、工作场所 表面污染	γ 射线、表面污染、放射性 固废、放射性废水
4	SPECT/CT 机房 (患者检查过程)	患者、SPECT/CT	γ 射线、X 射线、表面污染
	SPECT 机房 (患者检查过程)	患者	γ 射线、表面污染
5	留观室、患者检查完成离开过程	患者	γ 射线、表面污染、放射性 固废、放射性废水

6	固废间、衰变池	注射用的针头和针管等、工作场所表面污染、放射性废水	γ 射线、表面污染、放射性废水
^{131}I 核素治疗			
1	高活室	放射性药物、患者、工作场所表面污染、放射性气溶胶	γ 射线、 β 射线、表面污染、放射性固废、放射性废气、放射性废水
2	摄碘室	放射性药物、患者、工作场所表面污染、放射性气溶胶	γ 射线、 β 射线、表面污染、放射性固废、放射性废气
3	病房 1~病房 5	患者、工作场所表面污染、放射性气溶胶	γ 射线、 β 射线、表面污染、放射性固废、放射性废气、放射性废水
4	固废间、废物桶、衰变池	服药杯等、工作场所表面污染、放射性气溶胶、放射性废水	γ 射线、 β 射线、表面污染、放射性废气、放射性废水

1.2 放射性废水

核医学科产生放射性废水的主要来源是工作人员操作过程中手部受到微量污染、清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废液以及患者冲洗排使用水。

(1) 患者排泄废水

根据医院提供资料， ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的显像诊断日最大患者数量分别为 10 人、20 人，周最大患者数量 150 人，年最大患者 7500 人。该部分患者不需要进行住院观察，患者每次诊疗废水产生量以 6L 计，主要来源于排泄冲洗废水，就诊期间产生的废水量为 $45\text{m}^3/\text{年}$ 。

^{131}I 的甲癌治疗日最大患者数量为 5 人，年治疗日最大患者数量为 250 人，该部分患者需要进行住院，住院时间一般为 2~4 天，取住院 4 天，住院期间洗澡一次。住院过程中平均每人每天用水约 50L（不含洗澡），洗澡当天平均每人每天用水 150L。5 名甲癌患者住院期间产生的废水量为 1500L/周。年住院期间产生的废水量为 75m^3 。甲亢为门诊治疗，患者服药后无异常即可离开，无放射性废水产生。

(2) 工作场所清洁废水

8 号楼负一层核医学工作场所工作人员在完成一天的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 40L，年工作 250 天，则年产生量为 10m^3 。

8 号楼一层核医学工作场所工作人员每周的清洗用水量约为 100L，年工作 50 周，

则年产生量为 5m³。

综上所述，核医学科工作场所产生的放射性废水量见表 9-8：

表 9-8 放射性废水产生量

工作场所	核素名称	来源	周废水量 (m ³)	年开展周数	年产生量 (m ³)	
长征路院区 8 号楼负一层	¹⁸ F、 ^{99m} Tc	排泄废水	0.9	50 周	45	55
	¹⁸ F、 ^{99m} Tc	场所清洗废水	0.2	50 周	10	
长征路院区 8 号楼一层	¹³¹ I	患者住院废水	1.5	50 周	75	80
		场所清洗废水	0.1	50 周	5	

1.3 放射性固废

本项目使用过程中产生的放射性固废主要有：药物使用过程中产生的注射器、棉签、试管、手套、一次性服药杯、擦拭纸、含放射性核素的废活性炭等。

表 9-9 放射性固废产生量

工作场所	核素名称	来源	日产生量 (kg)	年生产天数 (天)	年产生量 (kg)
长征路院区 8 号楼负一层	¹⁸ F、 ^{99m} Tc	注射器、棉签、试管、手套	0.8	250	200
长征路院区 8 号楼一层	¹³¹ I	一次性服药杯、擦拭纸	0.2	250	50
通风系统	¹⁸ F、 ^{99m} Tc、 ¹³¹ I	废活性炭：50kg/a			

1.4 放射性废气

核医学科工作场所均设有单独的通风系统，监督区拟设为正压通风，控制区域均拟设为微负压通风，以保证工作场所内的空气由低活区向高活区流动。

本项目放射性药物质检、活度测量等操作在手套箱（自动分装仪）内进行，手套箱（自动分装仪）内均拟设计独立的通风系统，风速不小于 0.5m/s，通风系统设置活性炭过滤装置，能起到对放射性气溶胶的吸附作用，并定期拆卸更换作为放射性固体废物处置，排放口高出本栋建筑屋脊。放射性气体不会对项目周围环境带来明显影响。放射性气体对放射工作人员的影响可以忽略。

1.5 非放射性污染

本项目运行过程中产生的非放射性污染主要是 PET/CT、SPECT/CT 在工作过程中的射线电离空气产生的少量臭氧和氮氧化物。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

1 核医学工作场所布局合理性分析

8 号楼负一层核医学工作场所东侧为停车场，南侧为弱电机房、生活水池、消防水池等，西侧、北侧均为土层，下方为管道间、衰变池间和土层，上方为 8 号楼一层核医学工作场所；8 号楼一层核医学工作场所东侧为楼梯、高压氧舱控制室、抢救室、仓库、消毒间、空压机房及储气间、氧舱大厅、候诊大厅和诊室等区域，南侧、西侧、北侧均为院内道路，下方为 8 号楼负一层核医学工作场所，上方为医护办、资料室、示教室等办公区域。扩建核医学科项目布局不邻接产科、儿科、食堂等部门，有单独出、入口，出口不设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域，布局合理。

核医学科工作场所具体分区情况见表 10-1。

表 10-1 核医学科工作场所分区情况一览表

场所	控制区	监督区
长征路院区 8 号楼负一层	摄碘室、高活室、固废间、SPECT 注射室、PET 注射室、SPECT 候诊室 1、SPECT 候诊室 2、PET 候诊室 1、PET 候诊室 2、PET/MR 候诊室 1、PET/MR 候诊室 2、留观室、患者通道 1、患者通道 2、运动/抢救室、SPECT 机房 1、SPECT 机房 2、PET/CT 机房、PET/MR 机房、缓冲室、储源间	卫生通过间、注射前候诊室、控制廊、诊室、设备间、负一层核医学场所出口处、高活室东北侧出口处等
长征路院区 8 号楼一层	抢救室、配餐室、固废间、高活室、患者走廊、病房 1~5、污存污洗间、热水间、被服间	医护走廊、护士站、过道、宣教室、控制室、库房、卫生通过间、一层核医学场所出口处等
长征路院区 8 号楼负二层	衰变池间	/

8 号楼负一层核医学工作场所平面布置、“两区”划分、医/患通道路线、放射性药物和废物路线见附图 6，8 号楼一层核医学工作场所平面布置、“两区”划分、医/患通道路线、放射性药物和废物路线示意图见附图 7。

1.1 8 号楼负一层核医学工作场所医/患通道路线、放射性药物和废物路线说明

患者路线：PET（含 PET/CT 和 PET/MR）、SPECT（含 SPECT 和 SPECT/CT）患者路线：如附图 6 红色路线所示，PET、SPECT 患者通过 8 号一层电梯到达负一层核医学科注射前候诊大厅，由门 D1 进入控制区，分别在 SPECT 注射窗口和 PET 注射窗口进行放射性药物注射，注射完成后到相应的候诊室内候诊，在语音系统叫号后进入相应机房接受显像检查，检查结束后由门 D2 进入留观室留观一段时间，确定无

不良反应后，由门 D3 离开。

医护人员路线：如附图 6 蓝色路线所示，医护人员通过 8 号一层电梯到达负一层核医学科注射前候诊大厅，通过门 D4 进入医生通道，然后通过门 D5、D6、D7 进入 SPECT、PET/CT 和 PET/MR 控制廊；通过门 D8 经卫生通过间、门 D9 进入高活室。

放射性药物运输路线：如附图 6 洋红色路线所示，药物由药物公司提供，药物运输车停到 8 号楼一层附近地面停车位，然后公司人员将装有药物的铅罐经电梯运至 8 号楼负一层，通过门 D1、D11 和 D12 进入高活室将药物放至手套箱内。

放射性废物运输路线：如附图 6 绿色路线所示，PET 候诊室、SPECT 候诊室、PET/MR 候诊室、留观室等房间产生的放射性废物首先暂时放置在本区域的放射性废物桶内，然后统一收集放置到固废间，后经门 D13 运出核医学科。

1.2 8 号楼一层核医学工作场所医/患通道路线、放射性药物和废物路线说明

患者路线：甲亢、甲癌患者路线如附图 7 红色路线所示，依次通过门 D1、D2 和 D3 进入核医学科控制区，然后在服药窗口服用药物，甲亢患者服药后可直接由门 D4 离开核医学科；甲癌患者服药后沿患者通道入住各自核素病房，在治疗结束后，由 D4 离开。甲癌患者在门 D3 处领取餐盒，并返回各自病房。本项目甲亢、甲癌治疗采取集中预约制，甲亢周治疗病人最大 5 人，每周预约集中先完成甲亢治疗，再开展甲癌治疗，甲亢与甲癌治疗错开开展，患者路线不交叉。

医护人员路线：如附图 7 蓝色路线所示，医护人员由医护入口门 D5 进入医护走廊，通过门 D6 进入卫生通过间、门 D7 进入高活室及控制室。

放射性药物运输路线：如附图 7 洋红色路线所示，药物由药物公司提供，药物运输车停到地面停车场，然后公司人员将装有药物的铅罐由门 D5 运进 8 号楼一层，通过门 D6、D7 将药物放至高活室自动分装仪内，药物通过自动分装仪传药窗口输送给患者服用。

放射性废物运输路线：如附图 7 绿色路线所示，污存污洗间、热水间、病房等房间产生的放射性废物首先暂时放置在本房间的放射性废物桶内，然后统一收集放置到放射性废物间。核素病房患者住院使用的被服在患者出院后统一收集到被服间暂存。

医院在核医学科控制区拟设置辐射屏蔽和安全防护设施，入口拟设置明显的符合 GB 18871-2002 要求的电离辐射警告标志，控制区以及各监督区均仅限辐射工作人员才能进入，公众不允许进入。本项目控制区和监督区划分明显，各组成部分功能区明确，既能有效联系，又互不干扰，场所布局及分区能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中辐射工作场所分区要求。核医学科工作场所的人

流、患者通道均有专用、独立的通道，避免了交叉辐射污染，可以满足辐射防护要求。

2 工作场所分级和分类

8 号楼负一层核医学工作场所日等效最大操作量为 $2.29\text{E}+07\text{Bq}$ ，8 号楼一层核医学工作场所日等效最大操作量为 $2.96\text{E}+09\text{Bq}$ 。因此本项目工作场所均为**乙级**非密封放射性物质工作场所。

根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）和核医学科工作场所各房间的功能和使用放射性核素用量，得到各工作场所操作量最大的加权活度，见表 10-2。

表 10-2 核医学科工作场所分类一览表

房间	核素	日操作最大活度（Bq）	毒性权重因子	操作性质修正因子	操作最大量的加权活度（Bq）	场所类别
长征路院区 8 号楼负一层						
PET/CT 机房 PET/MR 机房	^{18}F	$3.70\text{E}+09$	1	10	$3.70\text{E}+08$	II
SPECT 机房 1/2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$1.85\text{E}+10$	1	10	$1.85\text{E}+09$	II
PET 注射室	^{18}F	$3.70\text{E}+09$	1	10	$3.70\text{E}+08$	II
SPECT 注射室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$1.85\text{E}+10$	1	10	$1.85\text{E}+09$	II
高活室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F	$2.29\text{E}+10$	1	10	$2.29\text{E}+09$	II
PET 候诊室 1/2 PET/MR 候诊室 1/2	^{18}F	$1.85\text{E}+09$	1	10	$1.85\text{E}+08$	II
SPECT 候诊室 1/2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$9.25\text{E}+09$	1	10	$9.25\text{E}+08$	II
留观室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$1.85\text{E}+10$	1	10	$1.85\text{E}+09$	II
长征路院区 8 号楼一层						
病房 1~5	^{131}I	$5.55\text{E}+09$	100	1	$5.55\text{E}+11$	I
高活室	^{131}I	$2.96\text{E}+10$	100	1	$2.96\text{E}+12$	I

医院应根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“表 1 不同核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求”进行设计和施工。

3 辐射防护屏蔽设计

本项目工作场所的屏蔽防护设计见表 10-3。

表 10-3 核医学科工作场所辐射防护屏蔽设计参数

场所	具体房间/设施	墙体	顶部	底部	防护门	观察窗
长征路院区 8 号楼负一层	SPECT 机房 1/2	24cm 实心砖 +45mm 厚硫酸钡水泥	18cm 混凝土 +40mm 厚硫酸钡板	25cm 混凝土 +45mm 厚硫酸钡水泥	4mmPb	4mmPb
	PET/CT 机房	24cm 实心砖 +45mm 厚硫酸钡水泥	18cm 混凝土 +40mm 厚硫酸钡板	25cm 混凝土 +45mm 厚硫酸钡水泥	8mmPb	8mmPb
	PET/MR 机房	24cm 实心砖 +45mm 厚硫酸钡水泥	18cm 混凝土 +40mm 厚硫酸钡板	25cm 混凝土 +45mm 厚硫酸钡水泥	8mmPb	8mmPb

		钡水泥	酸钡板	酸钡水泥		
	SPECT 候诊室 1/2、 运动/抢救室	24cm 实心砖 +45mm 厚硫酸 钡水泥	18cm 混凝土 +40mm 厚硫 酸钡板	25cm 混凝土 +45mm 厚硫 酸钡水泥	4mmPb	/
	PET 候诊室 1/2、留 观室、污洗间、固废 间、高活室、卫生通 过间	24cm 实心砖 +45mm 厚硫酸 钡水泥	18cm 混凝土 +40mm 厚硫 酸钡板	25cm 混凝土 +45mm 厚硫 酸钡水泥	8mmPb	/
	SPECT 注射室	24cm 实心砖 +45mm 厚硫酸 钡水泥	18cm 混凝土 +40mm 厚硫 酸钡板	25cm 混凝土 +45mm 厚硫 酸钡水泥	4mmPb	/
	PET 注射室	24cm 实心砖 +45mm 厚硫酸 钡水泥	18cm 混凝土 +40mm 厚硫 酸钡板	25cm 混凝土 +45mm 厚硫 酸钡水泥	8mmPb	/
	摄碘室	24cm 实心砖 +45mm 厚硫酸 钡水泥	18cm 混凝土 +40mm 厚硫 酸钡板	25cm 混凝土 +45mm 厚硫 酸钡水泥	2mmPb	/
	控制区进出防护门				3mmPb	
	高活室 ¹⁸ F 手套箱：50mmPb；高活室 ^{99m} Tc 手套箱 20mmPb；					
	SPECT 注射窗 10mmPb；PET 注射室注射窗 40mmPb					
长征 路院 区 8 号楼 一层	病房 1~5	30cm 实心砖 +45mm 厚硫酸 钡水泥	12cm 混凝土 +40mm 厚硫 酸钡板	18cm 混凝土 +45mm 厚硫 酸钡水泥	10mmPb	/
	抢救室、配餐间、高 活室、卫生通过间、 控制室、固废间、污 存污洗间、热水间、 被服间	30cm 实心砖 +45mm 厚硫酸 钡水泥	12cm 混凝土 +40mm 厚硫 酸钡板	18cm 混凝土 +45mm 厚硫 酸钡水泥	10mmPb	/
	控制区进出防护门				3mmPb	
	自动分装仪：50mmPb；服药窗口 30mmPb					
注：混凝土为 2.35g/cm ³ ，铅密度为 11.3g/cm ³ ，实心砖为 1.65g/cm ³ ，硫酸钡水泥密度为 2.79g/cm ³ ，硫酸钡板密度为 2.08g/cm ³ 。防护门与墙体间隙应小于防护门与墙体搭接长度的 1/10。管线采用地沟式穿墙，孔径为 20cm×20cm，埋深约 25cm。						

施工工艺: 本项目场所硫酸钡水泥浇筑于本层混凝土楼板上, 浇筑完成后找平铺设地面装饰结构。顶部硫酸钡板为成品防辐射硫酸钡板, 在本层顶部楼板下方铺设龙骨钢架, 再将硫酸钡板固定于龙骨钢架上方, 于钢架下方铺设吊顶装饰面。墙面先清理基层, 采用分层多次的工艺抹灰硫酸钡水泥。初次抹灰前在基层墙面挂网, 挂网后均匀抹灰, 凝固后再抹下一层以此类推。最后一次抹灰后找平, 凝固后在硫酸钡水泥面外固定龙骨钢架, 钢架外安装立面装饰。

4 辐射安全和防护措施设计

本项目核医学科计划采取的辐射安全和防护措施设计见附图 13、附图 14，如下：

（1）医院拟在核医学科的控制区出入口、控制区内各房间门口、手套箱（自动分装仪）、各核素病房等核素操作场所表面、放射性废物桶表面等醒目位置设置电离辐射警告标志，用于提醒无关人员不要靠近和逗留。

（2）医院拟在核医学科各扫描机房门口设置工作状态指示灯，用于提示机房内设备的运行状态，同时拟在机房防护门上安装闭门装置，确保防护门处于常闭状态，且工作状态指示灯与机房相通的门能有效联动。

（3）医院拟在核医学科控制区病患入口及病患出口处设带门禁系统的单向门，实现“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线，加强对控制区带药患者的管理，并防止无关人员入内。同时医务人员应告知检查完成后患者离开路线，防止其对其他公众造成不必要照射。

（4）医院拟在核医学科的控制区内安装监控及对讲设备，通过监控及对讲设备对控制区内用药后患者进行有序管理，使患者有序进入核医学科用药就诊。同时，除了使用监控及对讲设备对患者进行逐个叫号注射（服药）以及扫描外，医院计划在地面设置指示箭头以及指示牌指示患者进行有序注射（服药）以及扫描，通过加强管理的方式减少患者的直接交叉辐射影响。

（5）核医学科工作场所内不得安排与放射性无关的工作。

（6）核医学科所有放射性药物的操作均应在手套箱（自动分装仪）内进行。放射性药物操作时均应在衬有吸水纸的托盘内进行，药物在使用前有铅盒和铅套屏蔽，注射药物时工作人员穿戴个人防护用品，并尽可能缩短操作时间。

（7）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。辐射工作人员操作后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，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。

（8）使用操作放射性药物应在指定的工作台或搪瓷盘内进行，操作人员需佩戴个人防护用品，应避免皮肤直接接触放射性物质。

（9）非密封工作场所门窗及内部结构应尽量简单，墙面、地面应采用易于去污的材料或涂料，并平整光滑；地面与墙面交接应做成圆角，且应有一定的坡度朝向地漏。

三废的治理

1 核医学科项目

1.1 放射性废水处理措施

医院扩建核医学科衰变池间设置于 8 号楼负二层。衰变池间四周墙体均拟采用 25cm 厚混凝土浇筑，底部为混凝土和土层，衰变池顶部为 25cm 厚混凝土，衰变池上方为管道间，管道间顶部为 25cm 混凝土，管道间上方为 8 号楼负一层核医学工作场所。为提高衰变池利用率，医院计划在衰变池间内配备两套衰变池，即 1#衰变池和 2#衰变池。其中 1#衰变池用于暂存 8 号楼一层核医学场所产生的放射性废水，2#衰变池用于暂存 8 号楼负一层核医学场所产生的放射性废水。本项目衰变池间设计见附图 10。

1#衰变池为三格一组的并联运行方式，每格为一个有效容积为 80m^3 的池子，当第一个池子注满后，自动关闭（开始计算衰变期，到达 180 天后排放），开启第二个池子，当第二个池子注满后，自动关闭，开启第三个池子，依次循环。2#衰变池与 1#衰变池原理相同，由三个池子组成，每个池子有效容积为 22m^3 。收集放射性废水的管道采用耐腐蚀的特种管道，考虑有生活粪便污水一并排出，在衰变池前设置化粪池，用以沉淀消化固形物，可进行酸化，促进排入衰变池。出水水质在线监测系统是由探测器、探测装置及 PLC 和各电子元器件组成的，实时监测出水水质，并与系统控制柜联动，以便在设备出现问题时及时停止工作，衰变池顶部留有取样口。配套液位传感器、PLC 控制系统，可实时监测池内水位。衰变池间四周墙体、顶部和底部均采用防渗混凝土浇筑，放射性废水通过 6mmPb 防护的专用管道直接流向衰变池。

根据表 9-8 可知，8 号楼一层核医学工作场所产生的废水量约为 $80\text{m}^3/\text{年}$ ，则月产生的废水量约为 6.7m^3 ，1#衰变池处理系统单个有效容积为 80m^3 ，当其中一个衰变池内废水储满开始至其他两个衰变池储满时间约为 716 天（ $160/6.7 \times 30 \approx 716$ ），能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中所含 ^{131}I 核素的放射性废水暂存超过 180 天的要求。

根据表 9-8 可知，8 号楼负一层核医学工作场所产生的废水量约为 $55\text{m}^3/\text{年}$ ，则月产生的废水量约为 4.6m^3 ，2#衰变池处理系统单个有效容积为 22m^3 ，当其中一个衰变池内废水储满开始至其他两个衰变池储满时间约为 287 天（ $44/4.6 \times 30 \approx 287$ ），能够满足《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 小时的放射性废水暂存时间超过 30 天的要求。

综上所述，核医学科医院采取的放射性废水处置措施能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

1.2 放射性固体废物处理措施

本项目各场所控制区房间内均拟设置 5mmPb 放射性废物收集桶，分别用于收集放射性物质操作过程中各场所产生的放射性固废。本项目放射性固体废物本身沾染的放射性核素活度浓度很低，经过 5mmPb 的废物铅桶屏蔽后，废物铅桶表面 30cm 处的辐射剂量率能够满足标准要求。

8 号楼负一层放射性固体废物间体积约为 42m³，放射性固体废物暂存超过 30 天后，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/cm² 的，作为普通医疗废物处理；8 号楼一层放射性固体废物间体积约为 14.5m³，放射性固体废物暂存超过 180 天后，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/cm² 的，作为普通医疗废物处理。本项目放射性固体废物处理措施能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），医院拟对放射性废物的管理措施主要有：

（1）各场所设置的放射性废物桶均拟采用 5mm 铅当量的铅屏蔽，并拟在废物桶外明显位置设置电离辐射警示标志。废物桶放置于房间角落，避开工作人员路径区域。

（2）废物桶内拟放置专用塑料袋直接收纳废物，拟对装满后的废物袋进行密封，不破漏，并在标记相应信息后及时送放射性废物间专用容器中贮存。

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

（4）放射性废物贮存间拟设通风设施，出入口设电离辐射警告标志。

（5）放射性废物袋、废物桶及其他存放废物的容器保证安全可靠，并拟在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。

1.3 放射性废气处理措施

核医学科工作场所均设有单独的通风系统，监督区拟设为正压通风，控制区域均拟设为微负压通风，以保证工作场所内的空气由低活区向高活区流动。

本项目放射性药物在手套箱（自动分装仪）内操作，其均拟设计独立的排风系统，风速不小于 0.5m/s，外排口由专用管道延伸至 8 号楼楼顶，排风口高于本建筑的屋顶，

设有活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附，定期更换的废活性炭作为放射性固体废物处理。本项目各场所通风系统的排风管道平面布局见附图 11、附图 12。本项目通风措施能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目属于扩建项目，项目建设施工时对环境会产生如下影响：

（1）大气：本项目在建设施工期需进行的建筑主体建设、建筑装修等作业，各种施工将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆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：a.及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；b.车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；c.施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

（2）噪声：整个施工阶段，施工设备在运行中将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。因此，在施工时严格执行《建筑施工噪声排放标准》(GB 12523-2025)标准，尽量使用噪声低的先进设备，同时应避免在中午休息时间施工，另外考虑院区周围公众，严禁夜间进行噪声作业。本项目施工工期相对较短，在严格执行噪声标准，并且合理安排施工时间的情况下，噪声对周围人群的影响是暂时的。

（3）固体废物：施工期间，会产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，医院应委托有资质的单位清运，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。

（4）废水：项目施工期间，会有少量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水不可随意外排，应统一收集后由医院进行处理。

综上所述，建设工程在施工期的环境影响是短暂的、可逆的，随着施工期的结束而消失。施工单位应严格按照有关规定采取上述措施进行污染防治，并加强监管，使本项目施工对周围环境的影响降低到最小。

设备调试阶段对环境的影响

在设备安装调试时，会产生少量的 X、 γ 射线和臭氧、氮氧化物等气体，由于设备调试、检测时间较短，由厂家工程师进行，在调试时均按院方的各项辐射安全管理制度进行操作，故对环境的影响较小，也应注意避免人员受到不必要的照射。

运行阶段对环境的影响

一、运行阶段的辐射影响分析

18 号楼负一层 PET/CT、PET/MR、SPECT 项目辐射环境影响分析

1.1 使用放射性核素的辐射防护效果预测与评价

采取《核医学放射防护要求》中的计算模式计算各参考点空气比释动能率：

$$x = TVL \times \lg\left(\frac{A \times \Gamma}{\dot{H}_p \times r^2}\right) \quad \dots\dots (11-1)$$

由公式 (11-1) 可推断得出：

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

上式中：X—屏蔽厚度，单位为毫米（mm）；

TVL— γ 射线的十分之一值层厚度，单位为毫米（mm），见《核医学放射防护要求》表 I.1；

A—单个患者或受检者所用放射源的最大活度，单位为兆贝克（MBq）；

Γ_k —距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$ ，通过查《核医学放射防护要求》表 H.1， ^{18}F 的 $\Gamma_k=0.143$ ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的 $\Gamma_k=0.0303$ ， ^{131}I 的 $\Gamma_k=0.0595$ ；

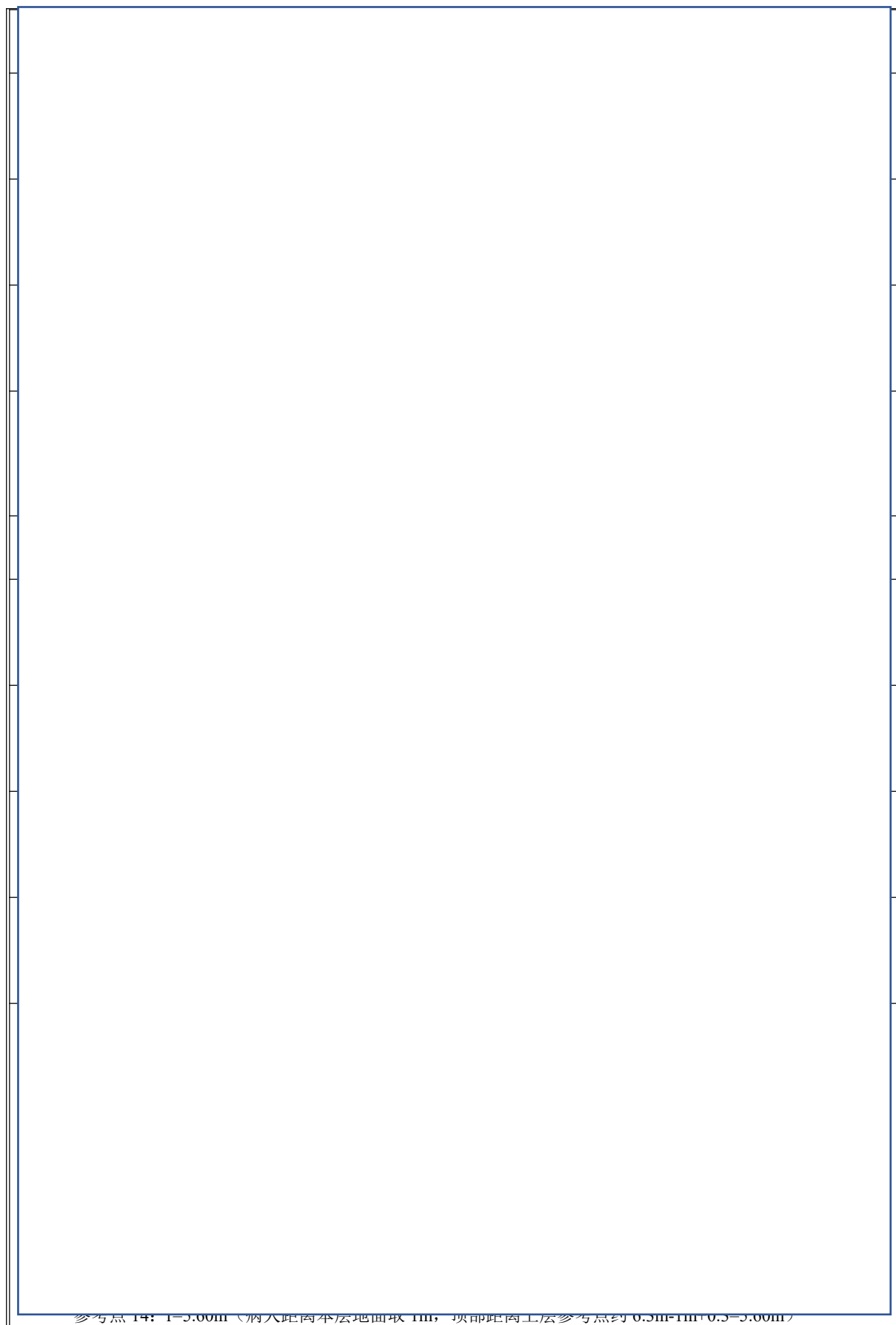
$\dot{H}_p$ —屏蔽体外关注点剂量率控制值，单位为微希沃特每小时（ $\mu\text{Sv/h}$ ）；

r—参考点与放射源间的距离，单位为米（m）。

本项目涉及 45mm 厚硫酸钡水泥（ $2.79\text{g}/\text{cm}^3$ ），等效混凝土（ $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ）厚度为 53mm；40mm 厚硫酸钡板（ $2.08\text{g}/\text{cm}^3$ ），等效混凝土（ $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ）厚度为 35mm。

本项目主要分析核素在分装注射过程、注射后病人候诊和扫描过程中对辐射工作人员和周围公众的辐射环境影响。核医学科 PET/CT 机房面积小于 PET/MR 机房，单人使用 ^{18}F 活度均为 $3.7\text{E}+08\text{Bq}$ ，且机房屏蔽参数一致，本次选取 PET/CT 机房进行预测，若其防护符合要求，则 PET/MR 机房也能满足防护要求。SPECT 机房 1 和 SPECT 机房 2 面积相同，机房屏蔽参数一致，单人使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 活度均为 $9.25\text{E}+08\text{Bq}$ ，本次选取 SPECT 机房 1 进行预测，若其防护符合要求，则 SPECT 机房 2 也能满足防护要求。预测结果见表 11-1、表 11-2。各参考点位示意图见图 11-1、图 11-2。





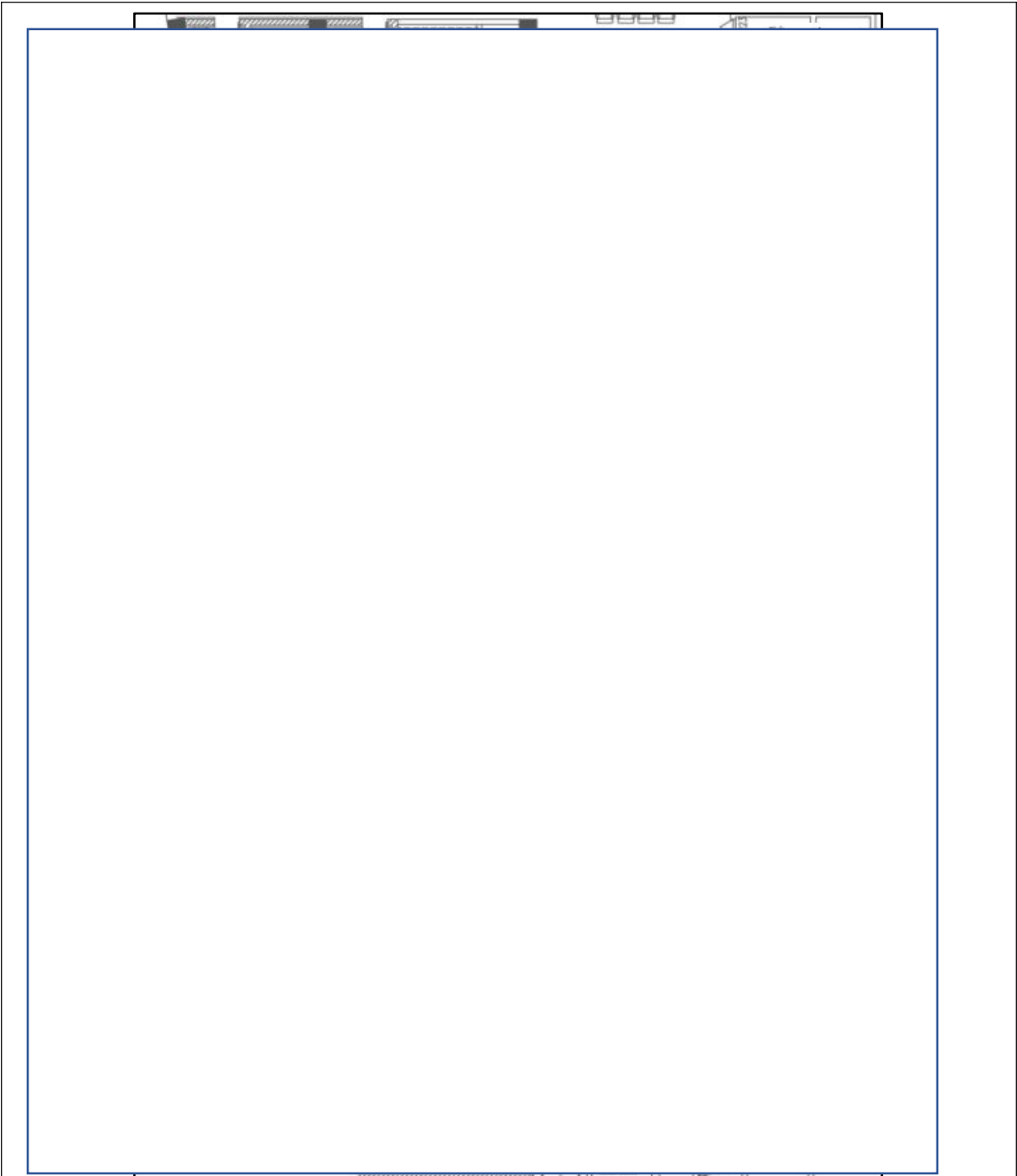
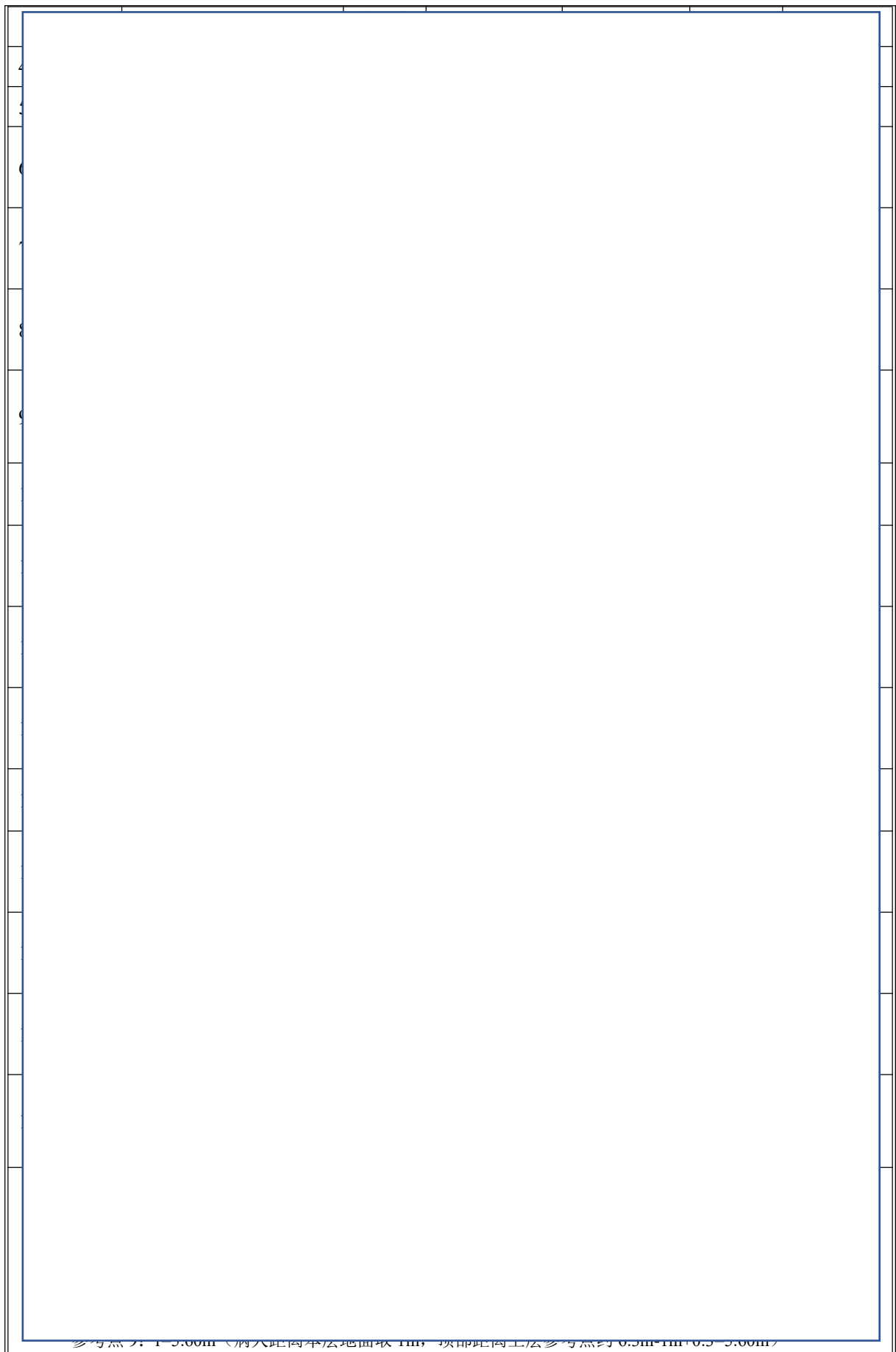


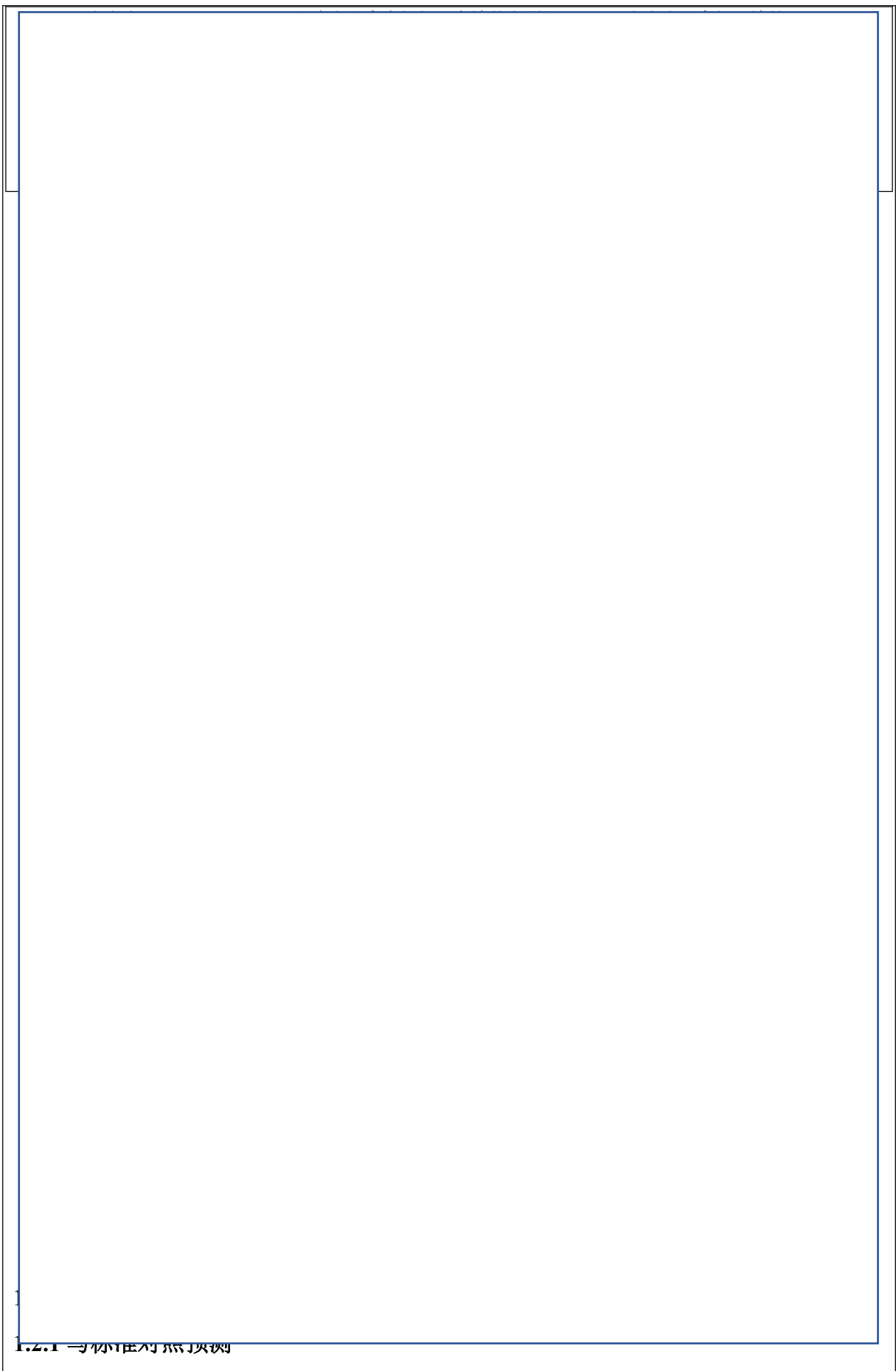
图 11-1 PET/CT 显像诊断项目参考点示意图

表 11-2 SPECT 显像诊断项目参考点辐射水平估算结果

1	
2	



参考点: $P+5.00m$ (病人距内平地面线 $1m$; 顶部距内上/下参考点约 $0.5m+1m+0.5+5.00m$)



1.2.1 与物面相对照点观测

本项目 1 间 PET/CT 机房及 2#SPECT 机房内计划配置的 PET/CT 和 SPECT/CT 均包含 CT 功能，属Ⅲ类射线装置，辐射防护屏蔽设计参数与《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)标准对比见表 11-3。

表 11-3 本项目 PET/CT 机房及 2#SPECT 机房屏蔽设计参数与标准对照表

机房	本项目拟建机房参数		GBZ130-2020 标准要求 (CT)	评价
PET/CT 机房	设计 尺寸	有效使用面积：39.89m ²	30m ²	满足
		最小单边长度：5.18m	≥4.5m	满足
	屏蔽 设计	四周墙体：24cm 实心砖+45mm 厚硫酸钡水泥 (约 4.3mmPb)	≥2.5mmPb	满足
		顶棚：18cm 混凝土+40mm 厚硫酸钡板 (约 3.8mmPb)	≥2.5mmPb	满足
		地面：25cm 混凝土+45mm 厚硫酸钡水泥 (5.5mmPb)	≥2.5mmPb	满足
		防护门：8mmPb	≥2.5mmPb	满足
		观察窗：8mmPb	≥2.5mmPb	满足
2# SPECT 机房	设计 尺寸	有效使用面积：39.89m ²	30m ²	满足
		最小单边长度：5.18m	≥4.5m	满足
	屏蔽 设计	四周墙体：24cm 实心砖+45mm 厚硫酸钡水泥 (约 4.3mmPb)	≥2.5mmPb	满足
		顶棚：18cm 混凝土+40mm 厚硫酸钡板 (约 3.8mmPb)	≥2.5mmPb	满足
		地面：25cm 混凝土+45mm 厚硫酸钡水泥 (5.5mmPb)	≥2.5mmPb	满足
		防护门：4mmPb	≥2.5mmPb	满足
		观察窗：4mmPb	≥2.5mmPb	满足

注：砖密度为 1.65t/m³；混凝土密度为 2.35t/m³；铅玻璃密度为 4.68t/m³；铅密度为 11.3t/m³，硫酸钡水泥密度为 2.79g/cm³，硫酸钡板密度为 2.08g/cm³。

根据表 11-3 可知，本项目 PET/CT 机房及 2#SPECT 机房各侧墙体及门窗的屏蔽设计、有效使用面积和最小单边长度均能够满足 GBZ 130-2020 标准中的相关要求。因此本项目机房的屏蔽防护设计能够满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)中“CT 机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h”的要求。

1.2.2 理论预测

本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 在开机过程中需要考虑泄漏辐射和散射辐射。PET/CT 及 2#SPECT 机房内的 SPECT/CT 型号均未定，扫描过程中 CT 最大工况均为 140kV、200mA，根据《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）P448 的

能量散射公式计算一次散射能量与初级能量的比值，140kV 射线经过一次散射后能量约为 109.9kV，本项目取 110kV、200mA 计算。PET/CT 机房及 2#SPECT 机房下方均为土层，故不进行预测。

根据《辐射防护手册（第一分册）》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：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s \cdot K}{d_0^2 \cdot d_s^2} \dots\dots (11-3)$$

式中： 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）， $\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ，CT 使用的最大管电压为 140kV、过滤片取 2.5mmAl（根据《辐射防护手册（第一分册）》P232 可知，对于医用 X 射线机来说，为了减少低能光子对皮肤的照射，机头窗口处按照有符合要求的永久性过滤片，其中 100kV 以上用 2.5mm 铝片）。根据《辐射防护导论》附图 3 查得本项目取 $12\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；

I —管电流，mA；CT 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，查《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1，对于 CT 正常工作使用电压最大为 120kV 下 90° 时，通过插值法得出 a 的值为约 0.0015；

S —主束在受照体上的散射面积，本项目取 100cm^2 ；

d_0 —源至受照点的距离，本项目取 0.45m；

d_s —受照体至关注点的距离，m。

K —查《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T830-2024）表 G.1，查得管电压为 110kV 时有效剂量与空气比释动能转换系数取 1.71Sv/Gy ；

B_s —屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式（11-4）：

$$B_s = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha x} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \dots (11-4)$$

式中： x —铅厚度；

α 、 β 、 γ —铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，SPECT/CT 常用最大管电压约为 140kV，140kV 经过一次散射后的能量约为 109.9kV，因此按照

泄漏辐射影响采用下述公式计算:

式中： H_t —距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，mGy/h；根据国际放射防护委员会第 33 号出版物《医用外照射源的辐射防护》“(77)”及《医用电气设备第 1 部分：安全通用要求三.并列标准诊断 X 射线设备辐射防护通用要求》(GB 9706. 12-1997)中 29.204.3，本项目 1m 处泄漏射线的空气比释动能率取 1.0mGy/h。

r —源至关注点的距离, m

PET/CT 开机过程中散射辐射和泄漏辐射根据公式（11-3）、公式（11-5）进行计算，预测结果分别见表 11-4 和表 11-5，2#SPECT 机房开机过程中散射辐射和泄漏辐射预测结果分别见表 11-7 和表 11-7。

表 11-4 PET/CT 机房散射辐射参考点辐射水平估算结果

[illegible]

根据理论估算结果可知：

（1）在 PET/CT、PET/MR 项目开展过程中手套箱表面 30cm 剂量当量率为 $9.15\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ；注射窗表面 30cm 剂量当量率为 $8.24\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ；控制区内人员可到达屏蔽体外表面 30cm 处剂量当量率最大为 $1.51\text{E+}00\mu\text{Sv/h}$ ；控制区外人员可到达屏蔽体外表面 30cm 处剂量当量率最大为 $9.05\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ 。考虑放射性同位素和 CT 共同辐射影响后，PET/CT 机房外剂量当量率最大为 $1.31\text{E+}00\mu\text{Sv/h}$ 。综上所述，PET/CT、PET/MR 相关工作场所屏蔽能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中剂量当量率限值要求。

（2）在 SPECT 项目开展过程中手套箱表面 30cm 剂量当量率为 $9.97\text{E-}18\mu\text{Sv/h}$ ；注射窗表面 30cm 剂量当量率为 $1.12\text{E-}08\mu\text{Sv/h}$ ；控制区内人员可到达屏蔽体外表面 30cm 处剂量当量率最大为 $1.78\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ ；控制区外人员可到达屏蔽体外表面 30cm 处剂量当量率最大为 $7.94\text{E-}02\mu\text{Sv/h}$ 。考虑放射性同位素和 CT 共同辐射影响后，SPECT 机房外剂量当量率最大为 $2.98\text{E-}02\mu\text{Sv/h}$ 。综上所述，1#SPECT 机房、2#SPECT

根据理论估算结果可知，在穿戴铅衣情况下负责指导病人摆位的医护人员有一定的外照射影响（其中 PET/CT 约为 $4.94\text{E}+01\mu\text{Sv/h}$ ，SPECT 约为 $8.86\text{E}+00\mu\text{Sv/h}$ ），建议医院为指导摆位的医务人员配备铅屏风，以降低其辐射影响。

$$H_e = \dot{H}_{ed} \cdot t \cdot U \cdot T \quad \dots\dots (11-6)$$
 $\dot{H}_{ed}$ —参考点处剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

T-人员在相应关注点驻留的居留因子:

表 11-9 PET/CT、PET/MR 项目辐射工作人员和周围保护目标年有效剂量

表 11-10 SPECT 项目辐射工作人员和周围保护目标年有效剂量

2 8 号楼一层 ¹³¹I 核素治疗项目辐射环境影响分析

2.1 γ 射线影响分析

医院拟根据患者情况提前向供货商订购 ¹³¹I 放射性药物，供货商将当天订购的 ¹³¹I 药物送至 8 号楼一层高活室自动分装仪内，自动分装仪分装好药物后在其背后送药窗口推出药物至服药窗口，患者在服药窗口进行服药。本项目主要分析 ¹³¹I 病人服药及服药后病人住院过程中对辐射工作人员和周围公众的辐射环境影响。病人在高活室服药窗口服药，服药后便离开核医学科或入住病房，高活室附近放射性药物造成的辐射影响时间很短，对顶部辐射工作人员的影响远小于病房。8 号楼一层共 5 间核素病房，病房 1~病房 3 正下方为 1#SPECT、2#SPECT 机房和 PET/CT 机房，由于三间机房内的辐射源距离 8 号楼二层场所距离较远，且经预测产生的辐射剂量率较小，经楼层楼板、硫酸钡板的屏蔽作用衰减，其产生的辐射影响可忽略。核素病房 4 和 5 尺寸相同，均为五间核素病房中最小，进行预测时，选取核素病房 5、高活室周围参考点进行预测，每个病人用药量取 5.55E+09Bq，根据公式（11-2）可估算出各参考点处的辐射水平，预测结果见表 11-11。各参考点位示意图见图 11-3。

表 11-11 ¹³¹I 核素治疗项目周围参考点辐射水平估算结果

3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
1	



图 11-3 ^{131}I 核素治疗项目参考点示意图

2.2 β 射线影响分析

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，可以采用方杰主编的《辐射防护导论》中的公式（4.15）进行计算：

$$d \approx R/\rho \dots\dots\dots (11-7)$$

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/cm^2 ；

ρ —物质的密度， g/cm^3 。

$$R=0.412 \cdot E^{(1.265-0.0954 \cdot \ln E)} \dots\dots\dots (11-8)$$

式中，E 为β射线的能量，MeV。

本项目 ^{131}I 变发出的β射线能量为 0.602MeV。根据公式（11-7）、（11-8）可估算出本项目 ^{131}I 衰变发出的β射线在不同材料中的射程，预测结果见表 11-12。

[illegible]

2.3 韧致辐射影响分析

$$H_r = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \left(\frac{E_b}{r} \right)^2 \cdot (\mu_{en} / \rho) \cdot q \cdot \eta \dots \dots \dots (11-9)$$

A—放射源活度, Bq;

E_b —轫致辐射的平均能量，MeV，根据《辐射防护导论》P132“轫致辐射具有连续能谱。在实际屏蔽计算时，可以假定轫致辐射的平均能量 E_b 是入射 β 粒子的最大能量的 1/3，即 $E_b \approx E_{max}/3$ ”，本项目 ^{131}I 产生轫致辐射的平均能量约为 0.2007MeV (0.602MeV/3)；

q—居留因子，取 1；
r—参考点到放射源的距离，m；
η—透射比。

根据公式(11-9)可估算出 ^{131}I 核素治疗项目开展时韧致辐射对周围各参考点处辐射水平, 见表 11-13。

表 11-13 ^{131}I 韧致辐射水平估算结果[illegible]

2.4 γ 射线与韧致辐射叠加

将 ^{131}I 核素治疗时产生的 γ 射线与韧致辐射进行叠加,各参考点处叠加剂量率见表 11-14。

本项目采用自动分装仪进行分装，辐射工作人员不需进行分装，因此，该项目过程中辐射工作人员几乎不会受到辐射影响。

$$H_t = H_0 \cdot e^{-0.693t/T_{eff}} \quad \dots\dots (11-10)$$

t—经过时间, h;

表 12-13 按表 12-1 中各因素用图 12-1 方法计算权重值

3 核医学科辐射工作人员及公众年有效剂量汇总

根据上述理论预测，得到核医学科各场所辐射工作人员及公众汇总表见表 11-16。

表 11-16 本项目各场所辐射工作人员及公众年有效剂量汇总表

表 11-16 本项目各场所辐射工作人员及公众年有效剂量汇总表

[illegible]

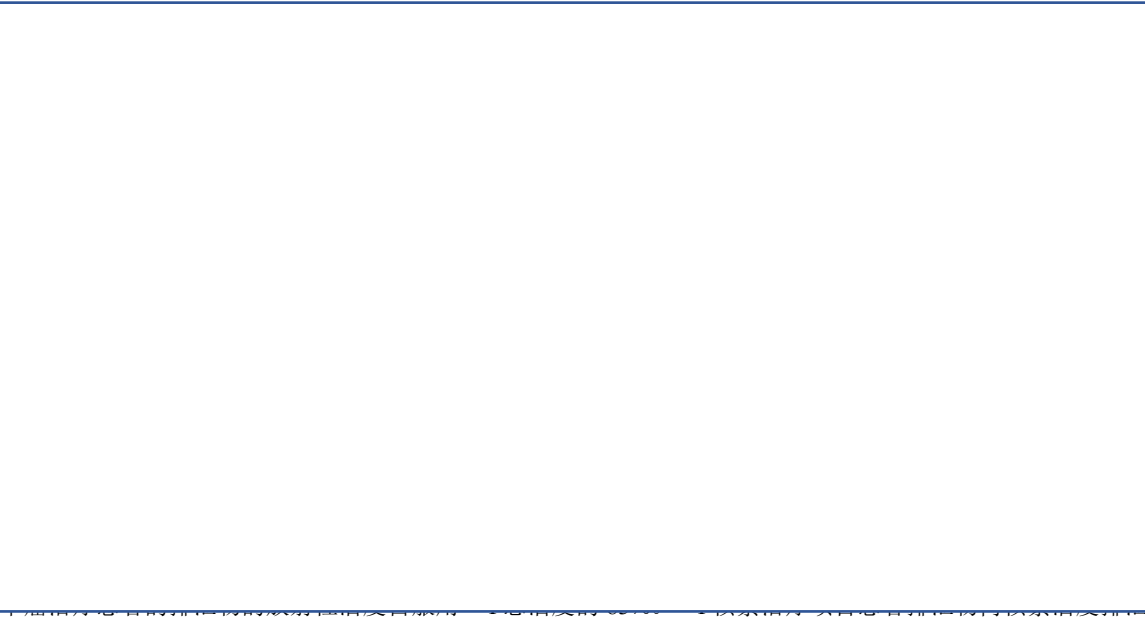
根据上表可知，8 号楼负一层核医学工作场所核医学医师岗位年有效剂量约为 0.19mSv，核医学技师岗位年有效剂量约为 3.74mSv，核医学护士岗位年有效剂量约为 0.19mSv。医院现有核医学科配备 8 人，其中核医学医师 4 人，核医学技师、护士各 2 人，则保守估算单名核医学医师年有效剂量约为 0.05mSv，单名核医学技师年有效剂量约为 1.87mSv，单名核医学护士年有效剂量约为 0.09mSv。

综上所述，本项目在做好个人防护措施、安全措施的情况下，辐射工作人员年有效剂量最大约为 1.81mSv，公众年有效剂量最大约为 0.047mSv，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和本项目管理目标（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）的剂量限值要求。

4 衰变池环境影响分析

本项目计算衰变池对外环境的辐射影响时，参照公式（11-2），从保守角度考虑，将衰变池内放射性废水的源强按照点源进行计算，其参考点处的辐射水平计算结果见表 11-17。

表 11-17 核医学科衰变池外辐射水平估算结果



由表 11-17 可知，衰变池外周围辐射剂量率最大为 8.05E-02μSv/h，能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中剂量当量率限值的要求。

5 放射性废水管道外环境影响分析

本项目核医学科设有两个衰变池，其中 8 号楼一层核医学工作场所产生的放射性废水排入 1#衰变池，8 号楼负一层核医学工作场所产生的放射性废水排入 2#衰变池。排水管道采用地面板下敷设、顶板下敷设，核医学科药物使用过程中产生的废水、患者在等候和住院所产生废水中所含放射性药物量很少，并使用 6mm 铅皮包裹。本项目计算放射性废水管道对外环境的辐射影响时，参照辐射防护导论 P78 公式（c）及公式（11-11），其参考点处的辐射水平计算结果见表 11-18。

$$K = \frac{2A\Gamma_K}{Lr} \text{tg}^{-1} \frac{L}{2r} \dots (11-11)$$

式中：K—周围剂量当量率，Sv·s⁻¹；
L—线源长度，m，本项目取 6m；
r—参考点至线源的垂直距离，m，本项目取 2m；
A—线源活度，Bq；
Γ_K—距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为 Sv·m²·Bq⁻¹·s⁻¹；

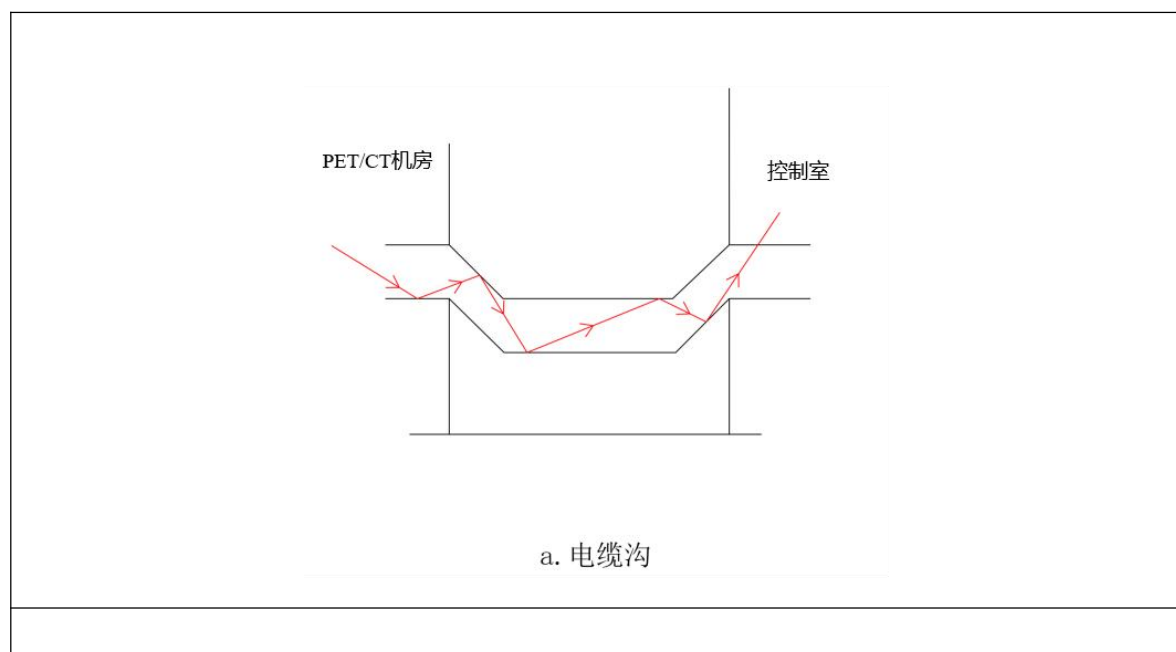
表 11-18 核医学科放射性废水排放管道外辐射水平估算结果

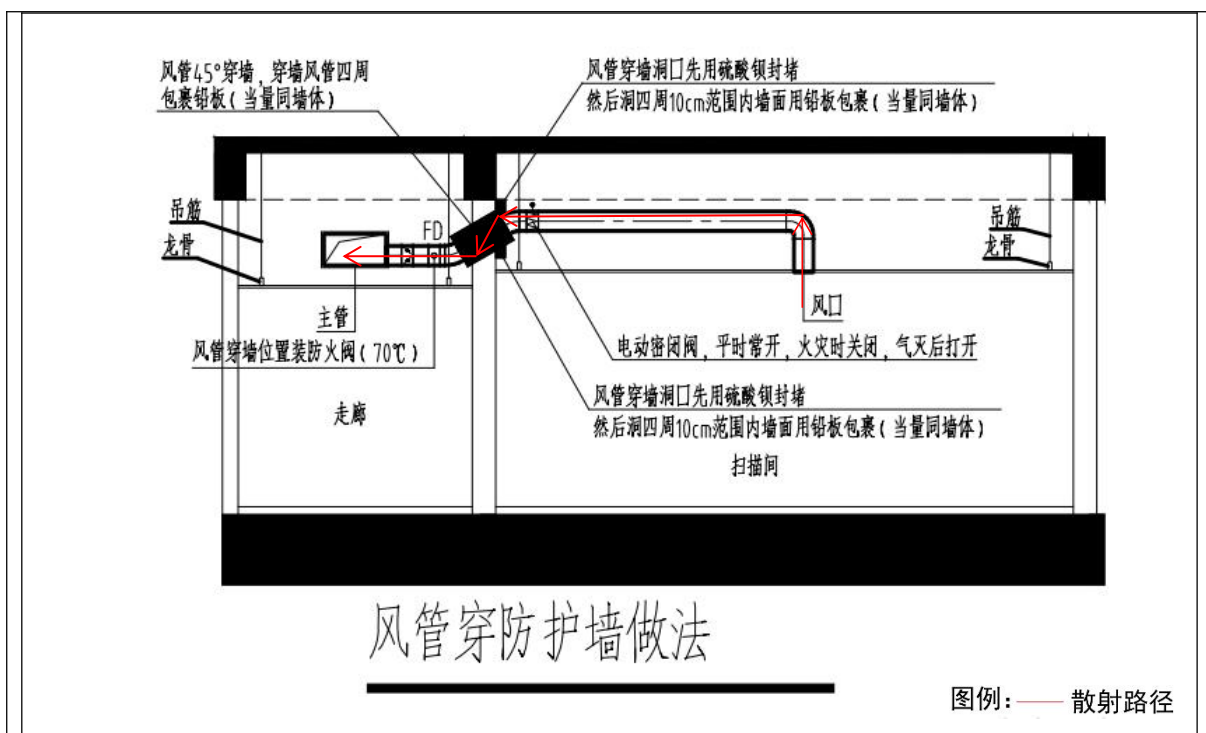
由表 11-18 可知，在本次预测条件下，本项目核医学科放射性废水管道外周围辐射剂量率最大为 1.22E-01μSv/h，能够确保其外表面 30cm 处的剂量当量率小于 2.5μSv/h，排水管道屏蔽防护能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中剂量当量率限值的要求。

6 通风、电缆管线环境影响分析

根据《辐射防护导论》（方杰主编）P189 指出：“迷道的屏蔽计算是比较复杂的。一种简易的安全的估算方法，是使辐射在迷道中至少经过三次散射才能到达出口处”。核医学工作场所各功能房间的进风管道及排风管道均拟安装于吊顶内，沿吊顶穿墙汇入主排风管道、主新风管道。风管穿过墙体洞口，洞口周围采用硫酸钡填充缝隙，洞口四周 10cm 范围内使用铅板包裹（与墙体铅当量相同）。以 8 号楼一层 PET/CT 机房新风管道为例，根据图 11-4 可知，CT 开机时产生的辐射影响和服药后病人产生的辐射影响在排风管道和进风管道内经过 3 次以上散射后，汇入主管道前辐射剂量将在控制范围内，能够满足辐射防护要求。

核医学各场所内电缆线布设采用了地下“U”形穿墙管道，管道埋地深约 25cm，未破坏墙体的屏蔽效果，射线经过 3 次以上散射后到达相邻区域，见图 11-4，满足辐射防护要求。





二、非放射性“三废”影响分析

事故影响分析

本项目 8 号楼负一层和一层核医学工作场所均为乙级非密封放射性物质工作场所，在放射性同位素的使用过程中，如果不被安全管理或可靠保护，可能对接触非密封源的人员造成超剂量照射。主要事故风险为：

核医学事故工况产生的污染物及污染途径为 γ 外照射及表面沾污，还可能因吸入或食入造成内照射。

辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理规章制度等进行防范。泰兴市人民医院拟在以下几个方面采取一系列的预防措施，尽可能减小或控制事故的危害和影响：

（1）建立放射防护管理领导小组，制定完善规章制度，在实际工作过程中严格执行。

（2）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。

（3）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。

（4）发生辐射事故立即向单位领导汇报，并控制现场区域，防止无关人员进入。

（5）对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗。

（6）依据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及《江苏省辐射污染防治条例》的要求制定辐射事故应急预案，明确建立应急机构和人员职责分工、辐射事故分类与应急响应的措施，并在今后工作中定期组织应急人员进行应急演练。发生辐射事故时，应立即启动本单位的事事故应急方案，采取必要防范措施，在 1 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，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，同时向卫生健康部门报告。事故发生后医院应积极配合生态环境部门、公安部门及卫生健康部门调查事故原因，并做好后续工作。

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许可管理办法》要求，使用放射性同位素和射线装置的单位，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 名具有本科学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。从事辐射工作的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。

根据上述要求泰兴市人民医院目前已成立放射防护管理领导小组，负责医院的辐射安全管理工作。医院计划在建设完成后调整放射防护管理领导小组成员。医院为本项目配备辐射工作人员均为现有人员，已安排辐射工作人员参加并通过生态环境部培训平台上的线上考核，其中 6 人取得“核医学”科目培训合格证书，2 人已参加考试，暂未出成绩。如有新增辐射工作人员，医院应根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》的要求，计划安排后续新增辐射工作人员通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名学习辐射安全和防护专业知识，核医学相关辐射工作人员报考“核医学”科目，通过考核方能开展工作。

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，医院制定了一系列辐射安全管理规章制度，包括操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、台账登记制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急方案。并在工作中严格按照规章制度执行，医院制定的各项制度合理可行，当前医院辐射安全管理有序。建议医院根据本项目的特点及以下内容完善相关制度，落实到实际工作中，严格执行，加强辐射安全管理。

操作规程：针对本项目建立 PET/CT、PET/MR 等操作规程，完善 SPECT 操作规程。重点是明确辐射工作人员的资质条件要求、放射性药物的分装、活度测量、给药流程以及操作过程中必须采取的辐射安全措施。

岗位职责：明确辐射工作人员、台帐管理人员、操作人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关工作人员明确自己所在岗位具体责任。

辐射防护和安全保卫制度：根据本项目的具体情况完善辐射防护和安全保卫制

度。重点是：①定期检查相关的辐射安全检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保个人剂量报警仪、表面沾污仪等设备保持良好工作状态；②辐射工作人员定期开展个人剂量监测和职业健康监护。

放射性同位素使用登记制度：完善放射性同位素台账，重点是对使用情况进行登记和跟踪记录，由专人负责登记、形成台账、每月核对，确保账物相符。

人员培训计划：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核办法等内容，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。

监测方案：明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报环境保护行政主管部门。为了确保辐射安全，该单位应制定监测方案，重点是：①配备表面污沾污仪，用于核医学科每天工作完成后对场所进行表污监测；配备辐射巡测仪，定期对各个辐射工作X- γ 剂量当量率进行巡测；②辐射工作人员个人剂量监测数据应建立个人剂量档案；③委托有资质监测单位对本项目辐射工作场所的安全和防护状况进行年度检测，并于每年1月31日前在全国核技术利用辐射安全申报系统提交上一年度的评估报告，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

放射性同位素和射线装置台账管理制度：针对本项目所有放射性同位素、射线装置等完善台账和使用登记制度，规范放射性核素台账和核素使用登记记录，对使用的放射性核素的使用情况进行登记和跟踪记录。

放射性废物管理制度：针对本项目产生的放射性固废和放射性废水，明确收集流程及登记信息，完善放射性废物及废液分类收集、登记管理制度，根据放射性固废及放射性废水的登记制度，规范放射性固废及放射性废水的解控程序，对满足解控要求的放射性固废及放射性废水进行解控并登记。

辐射工作人员职业健康管理制度：制定辐射工作人员职业健康管理制度，安排辐射工作人员参加辐射安全和防护专业知识培训和考试，委托有资质的单位对辐射工作人员开展个人剂量监测和职业健康体检。并将相关培训证书、体检报告和个人剂量监测报告存档。

综上所述，医院在落实上述制度后，能够确保本项目满足国家相关的管理及技术层面要求。

辐射监测

1 监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，本项目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，包括个人剂量报警仪、辐射剂量巡测仪等仪器；用于对辐射工作场所周围的辐射水平进行巡测。

本项目计划沿用核医学科工作场所现有的 1 台表面沾污仪、1 台辐射巡测仪和 2 台个人剂量报警仪（拟配备在 1#SPECT 机房），计划新配备 1 台表面沾污仪、6 台个人剂量报警仪（PET/CT 机房配备 2 台、PET/MR 机房配备 2 台、2#SPECT 机房配备 2 台），定期对辐射场所 X- γ 辐射剂量率和表面污染水平进行监测，并对监测结果记录。

2 监测方案

医院已制定如下辐射监测方案：

（1）医院每年委托有资质单位对辐射工作场所周围环境辐射水平进行监测。

（2）医院定期对辐射工作场所辐射水平进行监测，若结果显示异常时需及时查找原因，并做好相关记录，监测计划见表 12-1。

表 12-1 核医学科工作场所监测计划一览表

监测对象	监测项目	监测点	监测方式	监测周期
核医学科 工作场所	表面污染	工作台面、手套箱表面、墙壁、地面；工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等	验收监测	建设项目竣工后 3 个月内
			年度监测	1 次/年
			自主监测 (表面污染检测仪)	每次工作结束或意外情况
	X- γ 辐射 剂量率	控制区防护墙外、控制区房间顶棚区域、控制区房间下方人员可达处、防护门缝隙和中央、操作位、手套箱表面等。长征路院区 8 号楼二层西侧办公区域的办公室设置临时监测点，定期监测辐射水平。	验收监测	建设项目竣工后 3 个月内
			年度监测	1 次/年
			自主监测 (辐射巡测仪)	1 次/月

（3）辐射工作人员佩戴个人剂量计，并定期（一季度 1 次）送有资质技术服务机构进行监测，建立个人累积剂量档案。

（4）每两年组织辐射工作人员进行职业健康体检，并建立职业健康监护档案。

（5）医院每年对辐射安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前在全

国核技术利用辐射安全申报系统提交上一年度的评估报告。

落实以上措施后，医院安全管理措施能够满足辐射安全的要求。

辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》关于应急报告与处理的相关要求，泰兴市人民医院计划在建设完成后针对本项目可能产生的辐射事故情况完善事故应急方案，应根据本项目新开展的核素诊断、治疗项目，明确辐射事故分级与应急响应措施，应急方案内容包括：

- （1）应急机构和职责分工；
- （2）应急人员的组织、培训以及应急救助的装备、资金、物资准备；
- （3）辐射事故分级与应急响应措施；
- （4）辐射事故调查、报告和处理程序；
- （5）辐射事故信息公开、公众宣传方案。

发生辐射事故时，医院应立即启动本单位事故应急方案，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，同时向卫生健康部门报告。事故发生后医院应积极配合生态环境部门、公安部门及卫生健康部门调查事故原因，并做好后续工作。

表 13 结论与建议

结论

1 辐射安全与防护分析结论

1.1 项目位置

本项目核医学科位于泰兴市人民医院长征路院区 8 号楼负一层和一层，根据现场调查可知，本项目周围 50m 范围内无居民区、学校等敏感点。

1.2 项目分区及布局

本项目核医学科工作场所控制区和监督区划分明显，设计有患者进出路线、医务人员进出路线，可有效避免带有放射性的患者对其他人员造成不必要照射，项目布局合理。

1.3 辐射安全措施

（1）医院拟在核医学科的控制区出入口、控制区内各房间门口、手套箱（自动分装仪）等核素操作场所表面、放射性废物桶表面等醒目位置均拟设置电离辐射警告标志；（2）在核医学科各扫描机房门口设置工作状态指示灯；（3）在核医学科控制区病患入口及病患出口处设置带门禁系统的单向门，实现“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线；（4）在核医学科的控制区内安装监控及对讲设备；（5）在地面设置指示箭头以及指示牌指示患者进行有序注射（服药）以及扫描，通过加强管理的方式减少患者的直接交叉辐射影响；（6）核医学科工作场所内不安排与放射性无关的工作；（7）核医学科放射性药物的操作均在手套箱（自动分装仪）内进行；（8）在控制区和监督区内不进食、饮水、吸烟，也不进行无关工作及存放无关物件；（9）使用操作均拟在指定的工作台或搪瓷盘内进行，操作人员需佩戴个人防护用品，避免皮肤直接接触放射性物质。

1.4 辐射安全管理

医院已成立放射防护管理领导小组，负责医院的辐射安全管理工作，并已根据相关法律条例制定了辐射安全管理制度。

医院为本项目配备辐射工作人员均为现有人员，已安排辐射工作人员参加并通过生态环境部培训平台上的线上考核，其中 6 人取得“核医学”科目培训合格证书，且在有效期内；2 人已参加考试，暂未出成绩。医院应根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》的要求，计划安排后续新增辐射工作人员通过国家

核技术利用辐射安全与防护培训平台报名学习辐射安全和防护专业知识，核医学相关辐射工作人员报考“核医学”科目，通过考核方能开展工作。

医院计划沿用核医学科工作场所现有的 1 台表面沾污仪、1 台辐射巡测仪和 2 台个人剂量报警仪（拟配备在 1#SPECT 机房），计划新配备 1 台表面沾污仪、6 台个人剂量报警仪（PET/CT 机房配备 2 台、PET/MR 机房配备 2 台、2#SPECT 机房配备 2 台），定期对辐射场所 X- γ 辐射剂量率和表面污染水平进行监测，并对监测结果记录。医院还应定期（不少于 1 次/年）请有资质的单位对辐射工作场所辐射水平进行监测，并委托资质的单位对本项目所有辐射工作人员进行个人剂量监测及职业健康检查，建立完整的个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

2 环境影响分析结论

根据理论预测可知，本项目核医学科工作场所的屏蔽设计能够满足辐射防护要求。在做好个人防护措施、安全措施的情况下，辐射工作人员和公众年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和本项目剂量约束值的要求，即职业照射的剂量约束值为 5mSv/a，公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a）。

3 三废处理

8 号楼一层核医学工作场所产生的废水量约为 80m³/年，则月产生的废水量约为 6.7m³，1#衰变池处理系统单个有效容积为 80m³，当其中一个衰变池内废水储满开始至其他两个衰变池储满时间约为 716 天（160/6.7×30≈716），能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中所含 ¹³¹I 核素的放射性废水暂存超过 180 天的要求。

8 号楼负一层核医学工作场所产生的废水量约为 55m³/年，则月产生的废水量约为 4.6m³，2#衰变池处理系统单个有效容积为 22m³，当其中一个衰变池内废水储满开始至其他两个衰变池储满时间约为 287 天（44/4.6×30≈287），能够满足《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 小时的放射性废水暂存时间超过 30 天的要求。综上所述，核医学科医院采取的放射性废水处置措施能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。

8 号楼负一层放射性固体废物间体积约为 42m³，放射性固体废物暂存超过 30 天后，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/cm²的，作为普通医疗废物处理；8 号楼一层放射性固体废物间体积约为 14.5m³，放射性固体废物暂

存超过 180 天后,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 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的,作为普通医疗废物处理。本项目放射性固体废物处理措施能够满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)的要求。

核医学科工作场所均设有单独的通风系统,监督区拟设为正压通风,控制区域均拟设为微负压通风,以保证工作场所内的空气由低活区向高活区流动。本项目放射性药物在手套箱(自动分装仪)内操作,手套箱(自动分装仪)均拟设计独立的排风系统,风速不小于 $0.5\text{m}/\text{s}$,外排口由专用管道延伸至 8 号楼楼顶,排风口高于本建筑的屋顶,设有活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附,定期更换的废活性炭作为放射性固体废物处理,本项目通风措施能够满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)的要求。

4 可行性分析结论

综上所述,泰兴市人民医院扩建核医学科项目在落实本报告提出的各项辐射安全措施和管理措施后,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具备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,从辐射环境保护角度论证,该项目的建设和运行是可行的。

建议与承诺

- (1) 建议医院对接触 ^{131}I 核素操作辐射工作人员开展内照射个人剂量监测工作。
- (2) 所有设备资料、放射性同位素台账、射线装置台账和监测资料等妥善保管,存档备案。
- (3) 该项目运行中,应严格遵循操作规程,加强对医务人员的培训,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,使对环境的影响降到最低。
- (4) 各项辐射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。
- (5) 项目建成后,应根据有关规定及时办理竣工环保验收手续。

附表：本项目“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预期投资（万元）
辐射安全管理机构	以文件形式明确管理职责： 泰兴市人民医院目前已成立放射防护管理领导小组，负责医院的辐射安全管理工作。医院计划在建设完成后调整放射防护管理领导小组成员。	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： 核医学科各功能房间和机房按照“表 10-3 核医学科工作场所辐射防护屏蔽设计参数”和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）进行施工。	核医学科屏蔽措施能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）标准中辐射剂量率限值的要求。	400
	安全措施（警示标志、工作指示灯等）： （1）医院拟在核医学科的控制区出入口、控制区内各房间门口、（自动分装仪）、各核素病房等核素操作场所表面、放射性废物桶表面等醒目位置设置电离辐射警告标志，用于提醒无关人员不要靠近和逗留。 （2）医院拟在核医学科各扫描机房门口设置工作状态指示灯，用于提示机房内设备的运行状态，同时拟在机房防护门上安装闭门装置，确保防护门处于常闭状态，且工作状态指示灯与机房相通的门能有效联动。 （3）医院拟在核医学科控制区病患入口及病患出口处设带门禁系统的单向门，实现“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线，加强对控制区带药患者的管理，并防止无关人员入内。同时医务人员应告知检查完成后患者离开路线，防止其对其他公众造成不必要照射。 （4）医院拟在核医学科的控制区内安装监控及对讲设备，通过监控及对讲设备对控制区内用药后患者进行有序管理，使患者有序进入核医学科用药就诊。同时，除了使用监控及对讲设备对患者进行逐个叫号注射（服药）以及扫描外，医院计划在地面设置指示箭头以及指示牌指示患者进行有序注射（服药）以及扫描，通过加强管理的方式减少患者的直接交叉辐射影响。 （5）核医学科工作场所内不得安排与放射性无关的工作。 （6）核医学科所有放射性药物的操作均应在手套箱（自动分装仪）内进行。放射性药物操作时均应在衬有吸水纸的托盘内进行，药物在使用前有铅盒和铅套屏蔽，注射药物时工作人员穿戴个人防护用品，并尽可能缩短操作时间。 （7）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。辐射工作人员操作后离开工作室前洗手和做表面污染监测，如其污染水	满足《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》（HJ1188-2021）中相关要求。	210

平超过规定限值，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。 （8）使用操作放射性药物应在指定的工作台或搪瓷盘内进行，操作人员需佩戴个人防护用品，应避免皮肤直接接触放射性物质。 （9）非密封工作场所门窗及内部结构应尽量简单，墙面、地面应采用易于去污的材料或涂料，并平整光滑；地面与墙面交接应做成圆角，且应有一定的坡度朝向地漏。		
三废处理措施： 8 号楼一层核医学工作场所产生的废水量约为 80m³/年，则月产生的废水量约为 6.7m³，1#衰变池处理系统单个有效容积为 80m³，当其中一个衰变池内废水储满开始至其他两个衰变池储满时间约为 716 天（160/6.7×30≈716），能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中所含 ¹³¹I 核素的放射性废水暂存超过 180 天的要求。 8 号楼负一层核医学工作场所产生的废水量约为 55m³/年，则月产生的废水量约为 4.6m³，2#衰变池处理系统单个有效容积为 22m³，当其中一个衰变池内废水储满开始至其他两个衰变池储满时间约为 287 天（44/4.6×30≈287），能够满足《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 小时的放射性废水暂存时间超过 30 天的要求。综上所述，核医学科医院采取的放射性废水处置措施能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。 8 号楼负一层放射性固体废物间体积约为 42m³，放射性固体废物暂存超过 30 天后，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/cm² 的，作为普通医疗废物处理；8 号楼一层放射性固体废物间体积约为 14.5m³，放射性固体废物暂存超过 180 天后，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/cm² 的，作为普通医疗废物处理。本项目放射性固体废物处理措施能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。 核医学科工作场所均设有单独的通风系统，监督区拟设为正压通风，控制区域均拟设为微负压通风，以保证工作场所内的空气由低活区向高活区流动。本项目放射性药物在手套箱（自动分装仪）内操作，手套箱（自动分装仪）均拟设计独立的排风系统，风速不小于 0.5m/s，外排口由专用管道延伸至 8 号楼楼顶，排风口高于本建筑的屋顶，设有活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附，定期更换的废活性炭作为放射性固体废物处理，本项目通风措施能够满足《核医学辐射防护与安全要求》	满足《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》（HJ1188-2021）中相关要求。	68

	(HJ 1188-2021) 的要求。		
人员配备	辐射防护与安全培训和考核： 医院为本项目配备辐射工作人员均为现有人员，已安排辐射工作人员参加并通过生态环境部培训平台上的线上考核，其中 6 人取得“核医学”科目培训合格证书，2 人已参加考试，暂未出成绩。医院应根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》的要求，计划安排后续新增辐射工作人员通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名学习辐射安全和防护专业知识，核医学相关辐射工作人员报考“核医学”科目，通过考核方能开展工作。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法规条例中相关要求	定期投入
	个人剂量监测： 医院为本项目配备辐射工作人员均为现有人员，医院已对其开展个人剂量监测（1 次/季度），并建立个人剂量档案。	每个季度送检一次	定期投入
	人员职业健康监护： 医院为本项目配备辐射工作人员均为现有人员，已安排其进行在岗期间职业健康体检，体检结果合格，并建立职业健康档案。	2 年体检一次	定期投入
监测仪器和防护用品	医院计划沿用核医学科工作场所现有的 1 台表面沾污仪、1 台辐射巡测仪和 2 台个人剂量报警仪（拟配备在 1#SPECT 机房），计划新配备 1 台表面沾污仪、6 台个人剂量报警仪（PET/CT 机房配备 2 台、PET/MR 机房配备 2 台、2#SPECT 机房配备 2 台），定期对辐射场所 X-γ 辐射剂量率和表面污染水平进行监测，并对监测结果记录。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求以及审管部门关于监测仪器配备的要求	2
辐射安全管理制度	泰兴市人民医院计划在建设完成后根据相关标准要求制定、完善一系列辐射安全管理规章制度，包括辐射防护和安全保卫制度、操作规程、岗位职责、设备检修维护制度、使用登记制度、辐射工作人员培训计划、监测方案及事故应急制度等。	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》等法规条例中相关要求	/

以上措施必须在项目试运行前落实。

表 14 审批

审批意见：

经办人签字

公章
年 月 日