

核技术利用建设项目

新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目
环境影响报告表

盐城市第三人民医院

2020 年 12 月

生态环境部监制

表 1 项目基本情况

建设项目名称		新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目			
建设单位		盐城市第三人民医院			
法人代表姓名	戴真煜	联系人	王海洲	联系电话	
注册地址	江苏省盐城市剧场路 75 号、盐都区新都西路 2 号				
项目建设地点	盐城市盐都区新都西路 2 号				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资 (万元)	2500	项目环保总投资 (万元)	150	投资比例(环保 投资/总投资)	6%
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他			占地面积 (m ²)	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input checked="" type="checkbox"/> V 类		
	非密封 放射性 物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input checked="" type="checkbox"/> 丙		
	射线 装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类		
	其他	/			
	<p>项目概述:</p> <p>一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来</p> <p>盐城市第三人民医院 (以下简称医院) 创建于 1946 年, 现有盐城市剧场路 75 号 (北院)、盐都区新都西路 2 号 (南院) 两个院区, 是一所集医疗、科研、教学、康复、预防保健于一体的三级甲等综合医院。</p> <p>医院南院区为新建院区, 2010 年 9 月南院全部建设完成, 为提高南院整体医疗水平, 满足患者就医需求, 南院在放疗楼新建核医学科项目, 2013 年医院开展 SPECT/CT</p>				

(放疗楼4楼)、放免(放疗楼3楼)等项目,该项目已完成环评及环保竣工验收工作,项目的环评批复及竣工环保验收意见等材料见附件6。放疗楼3楼放免项目已于2020年7月搬迁至南院区门诊楼3楼检验科,目前放疗楼3楼为临床药学室和物供仓库。

为了更好地为患者服务,提高医院的医疗质量,盐城市第三人民医院拟在南院区放疗楼2楼新建1台PET/CT放射诊断项目,使用 ^{18}F 进行核素诊断,并新增2枚 ^{68}Ge 质控源,该场所为丙级非密封放射性物质工作场所。

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,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),本项目新建1台PET/CT放射诊断项目,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。受医院的委托,南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位新建1台PET/CT放射诊断项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、项目工程分析、现场勘察及现场监测等工作的基础上,编制了该项目环境影响报告表。该医院新建1台PET/CT放射诊断项目情况见下表:

表 1-1 盐城市第三人民医院新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目情况一览表

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		使用情况	环评及审批情况	备注	
1	丙级	^{18}F	7.4×10^6	放疗楼2楼		未使用	本次环评	/	
放射源									
序号	放射源名称	数量	单枚活度 (Bq)	放射源类别	工作场所名称	活动种类	环评及审批情况	许可情况	
1	^{68}Ge	1	5.5×10^7	V	PET/CT 扫描间	未使用	本次环评	未许可	
2	^{68}Ge	1	3.5×10^6	V				未许可	
射线装置									
序号	射线装置名称 型号	数量	管电压 (kV)	管电流 (mA)	射线装置类别	工作场所名称	活动种类	环评及审批情况	许可情况
1	PET/CT (Discovery MI)	1	140	600	III	PET/CT 扫描间	未使用	本次环评	未许可

二、项目选址情况

盐城市第三人民医院位于江苏省盐城市，医院现有南、北两个院区，南院区位于盐城市盐都区新都西路2号，北院区位于盐城市剧场路75号。本次新建1台PET/CT放射诊断项目位于南院区。南院区东侧为解放南路，南侧为新都路及毕华丽庄园，西侧为盘古路，北侧为尧舜路和娱乐社区商业及住宅区。本项目地理位置示意图附图1，盐城市第三人民医院南院区平面布置及新建1台PET/CT放射诊断项目周围环境示意图附图2。

拟新建1台PET/CT放射诊断项目位于南院区放疗楼2楼（放疗楼共4楼，无地下建筑）。PET/CT项目东侧为室外，南侧为电梯厅及大厅，西侧为室外平台（放置空调外机，无人员驻留），北侧为室外平台（无人员驻留），上方为临床药学室和物供仓库，下方为放疗中心。本项目平面布置及周围环境示意图附图3。

本项目北侧约30m处的娱乐社区住宅区为环境敏感点，项目50m范围内其余方向无学校、居民区等环境敏感目标（详见附图2）。运行后的环境保护目标主要是从事本项目的辐射工作人员、其他医务人员、院内病患、环境敏感目标及周围公众等。

三、原有核技术利用项目履行环保手续情况

盐城市第三人民医院目前已取得辐射安全许可证，证书编号为苏环辐证(00011)，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”，有效期至：2021年04月20日。医院辐射安全许可证正副本见附件2。

四、实践正当性分析

本项目的运行，可为病人提供放射诊断服务，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，其获得的利益远大于对环境的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“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
1	⁶⁸ Ge	5.5×10 ⁷ ×1	V	固态密封源, T _{1/2} =270.8d	质控源	PET/CT 扫描间	置于分装室保险柜中, 约 1 年更换一次, 退役废源送生 产厂家回收或送有资质单 位处置	/
2	⁶⁸ Ge	3.5×10 ⁶ ×1	V	固态密封源, T _{1/2} =270.8d	质控源	PET/CT 扫描间		/
/	/	/	/	/	/			

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} =109.7min	使用	7.4×10 ⁹	7.4×10 ⁶	1.85×10 ¹²	核素诊断	注射 很简单操作	PET/CT 工作场所	按需订购, 不贮存, 核医学科门诊使用
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	1	Discovery MI	140	600	医疗诊断	PET/CT 扫描间	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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 (μ A)	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	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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、擦拭废纸等	固体	^{18}F	/	约 8kg	约 100kg	总 $\beta < 10 \text{ Bq/g}$	存放于专用放射性废物铅桶与废物库	存放十个月半衰期，达到清洁解除水平推荐值后，由医院统一作为普通医疗废物处理
含放射性核素的卫生间下水及清洗废水	液体	^{18}F	/	约 8m^3	约 101m^3	总 $\beta < 10 \text{ Bq/L}$	流入衰变池中	自然衰变十个月半衰期，达到排放标准后，排放至医院污水处理站
含有液态放射性药物分装时挥发的微量气溶胶	气体	^{18}F	/	微量	微量	微量	不暂存	在通风橱中操作，经通风橱管道内及屋顶排风口活性炭装置过滤后排放
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	/	微量	微量	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧 50 分钟后自动分解为氧气
废活性炭	固体	^{18}F	/	少量	少量	10 Bq/g	更换后暂存在放射性废物库	存放十个月半衰期，达到清洁解除水平推荐值后，由医院统一作为医疗废物处理
退役放射源（校准源）	固体	^{68}Ge	$1.4 \times 10^6 \text{ Bq}$ (1 枚) $2.2 \times 10^7 \text{ Bq}$ (1 枚)	/	/	/	不暂存	原生产厂家回收处置或送有资质单位处置

注：1. 常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L ，固体为 mg/kg ，气态为 mg/m^3 ；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/m^3) 和活度 (Bq)。

表 6 评价依据

<p>法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（修订版），中华人民共和国主席令 第9号，2015年1月1日起实施；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正版），中华人民共和国主席令 第48号，2018年12月29日发布施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令 第六号，2003年10月1日起实施；</p> <p>(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 709号，2019年3月2日施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境保护管理条例》（2017年修订版），国务院令 第682号，2017年10月1日发布施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2019年修正本），生态环境部部令 第7号，2019年8月22日起施行；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(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；</p> <p>(10) 《放射性物品运输安全管理条例》，中华人民共和国国务院令 第562号，2010年1月1日起施行；</p> <p>(11) 《放射性物品运输安全许可管理办法》，中华人民共和国环境保护部令 第11号，2010年11月1日起施行；2019年修改，生态环境部令 第7号，2019年8月22日；</p> <p>(12) 《放射性物品道路运输管理规定》（2016年修正本），交通运输部令 2016年第71号公布，2016年9月2日起施行；</p> <p>(13) 《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；</p>
------------------	--

	<p>(14) 《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;</p> <p>(15) 《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》国家环保总局, 环发[2006]145号, 2006年9月26日起施行;</p> <p>(16) 《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;</p> <p>(17) 《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》, 生态环境部第57号公告, 2020年1月1日起施行;</p> <p>(18) 《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;</p> <p>(19) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》, 生态环境部部令 第9号, 2019年11月1日起施行;</p> <p>(20) 《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;</p> <p>(21) 《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;</p> <p>(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;</p> <p>(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。</p>
<p>技术 标准</p>	<p>(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002);</p> <p>(2) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466-2005);</p> <p>(3) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010);</p> <p>(4) 《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ 120-2006);</p> <p>(5) 《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020);</p> <p>(6) 《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ 133-2009);</p> <p>(7) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB 12523-2011);</p>

	<p>(8) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016)；</p> <p>(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》(HJ10.1-2016)；</p> <p>(10) 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61-2001)；</p> <p>(11) 《环境地表γ辐射剂量率测定规范》(GB/T 14583-1993)。</p>
其他	<p>附图：</p> <p>(1) 盐城市第三人民医院新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目地理位置图（见附图 1）；</p> <p>(2) 盐城市第三人民医院南院区平面布置及新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目周围环境示意图（见附图 2）；</p> <p>(3) 新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目工作场所（放疗楼 2 楼）平面布置及周围环境示意图（见附图 3）；</p> <p>(4) 新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目工作场所楼上（放疗楼 3 楼）平面布局示意图（见附图 4）；</p> <p>(5) 新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目工作场所楼下（放疗楼 1 楼）平面布局示意图（见附图 5）；</p> <p>(6) 新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目工作场所排风系统示意图（见附图 6）；</p> <p>(7) 本项目工作场所含放射废水下水管道布局走向示意图（见附图 7）；</p> <p>(8) 本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系示意图（见附图 8）。</p> <p>附件：</p> <p>(1) 项目委托书（见附件 1）；</p> <p>(2) 辐射安全许可证正副本复印件（见附件 2）；</p> <p>(3) 放射性同位素、放射源及射线装置使用承诺书（见附件 3）；</p> <p>(4) 核医学工作场所屏蔽设计说明（见附件 4）；</p> <p>(5) 废源处置承诺书（见附件 5）；</p> <p>(6) 核医学科原有项目环评及环保验收批复文件（见附件 6）；</p> <p>(7) 本项目辐射环境现状监测报告（见附件 7）；</p> <p>(8) 建设项目环评审批基础信息表（见附件 8）。</p>

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》（HJ10.1-2016）的要求，以及根据本项目的特点，本项目的评价范围确定为盐城市第三人民医院新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目所在场所实体屏蔽墙体边界外周围 50m 范围内区域，评价范围详见附图 2。

保护目标

本项目主要考虑核医学诊断工作时可能对周围环境产生的辐射影响，本项目北侧约 30m 处的娱乐社区住宅区为环境敏感点，项目 50m 范围内其余方向无学校、居民区等环境敏感目标（详见附图 2）。运行后的环境保护目标主要是从事本项目的辐射工作人员、其他医务人员、院内病患、环境敏感目标及周围公众等。详见表 7-1。

表 7-1 本项目保护目标一览表

编号	保护目标名	方位	距离	人口规模
1	辐射工作人员	放疗楼 2 楼	/	约 4 人
2	其他医务人员	放疗楼	/	约 100 人
3	病患、周围公众	放疗楼	0~50m	不定
4	敏感目标公众	北侧娱乐社区住宅区	30m	约 100 人

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），本项目拟建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，不涉及国家公园、世界文化和自然遗产等环境敏感区。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），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省内优先保护单元。本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图见附图 8。

评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

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	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：

剂量限值	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。
公众照射剂量限值	实践使公众中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。

辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：

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

监督区：

注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

表 B11 表面污染控制水平 单位: Bq/cm²

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。

1.2 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	>4×10 ⁹
乙	2×10 ⁷ ~4×10 ⁹
丙	豁免活度值以上~2×10 ⁷

2、《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）：

表 2 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值（日均值）

序号	控制项目	排放标准	预处理标准
22	总 β/ (Bq/L)	10	10

3、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）；

4、《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ 120-2006）：

4.7 临床核医学工作场所应具备有收集放射性废物的容器，容器上应有放射性标志。放射性废物应按长半衰期和短半衰期分别收集，并给予适当屏蔽。固体废物如污染的针头、注射器和破碎的玻璃器皿等应贮于不泄漏、较牢固、并有合适屏蔽的容器内。放射性废物应及时按 GBZ133 进行处理。

4.8 临床核医学诊断及治疗用工作场所（包括通道）应注意合理安排与布局。其布局应有助于实施工作程序，如一端为放射性物质贮存室，依次为给药室、候诊室、检查室、治疗室等。并且应避免无关人员通过。

4.9 临床核医学诊断用给药室与检查室应分开。如必须在检查室给药，应具有相应的放射防护设备。

4.10 临床核医学诊断用候诊室应靠近给药室和检查室，宜有受检者专用厕所。

5、《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ 133-2009）：

表 B.1 以核素活度浓度表示的清洁解控水平推荐值

解控水平 (Bq/g)	核素
1×10^1	^{18}F

注 1：上述解控水平推荐值原则上只适用于在组织良好、人员训练有素的工作场所对产生少量放射性固体废物的医学应用或实验室。

2：严禁为申报清洁解控而采用人工稀释等方法来降低核素活度浓度。

3：本表数值取自 GB18871-2002 附录 A，并与 GBZ167-2005 附录 B 的取值相一致。

6、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

6.1.3 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求。

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2 的规定。

表 2 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

机房类型	机房内最小有效使用面积 m^2	机房内最小单边长度 m
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5

6.2.1 机房的屏蔽防护应不低于表 3 的规定。

表 3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用线束方向铅当量 mm
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表 3 的要求。

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

CT 机机房外的周围剂量当量率应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

6.4.1 机房应设有观察窗或摄像监控装置，其设置的位置应便于观察到受检者状态及防护门开闭

情况。

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。

6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

6.4.7 受检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不应滞留在机房内。

6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。

6.4.10 机房出入口宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4 基本种类要求的工作人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

6.5.3 防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25 mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5 mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2 mmPb。

6.5.4 应为儿童的 X 射线检查配备保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.5 mmPb。

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

表 4 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

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

注 1：“—”表示不要求。

注 2：各类个人防护用品和辅助防护设施，指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品。

7、《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）；

4.1 建筑施工过程中场界环境噪声不得超过表 1 规定的排放限值。

表 1 建筑施工场界环境噪声排放限值单位：dB (A)

昼间	夜间
70	55

8、项目管理目标限值

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）确定本项目的管理目标，职业人员取国家标准的 1/4 作为剂量约束值：即职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众取国家标准的 1/10 作为剂量约束值：即公众年有效剂量不超过 0.1mSv；核医学控制区外人员可达

处，距屏蔽体外表面 0.3 m 处的周围剂量当量率控制目标值不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。

9、参考资料：

- (1) 《辐射防护导论》，方杰主编；
- (2) 《辐射防护手册》（第一分册），李德平、潘自强著；
- (3) 《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。

江苏省室内、室外天然贯穿辐射所致（空气吸收）剂量率（单位：nGy/h）

	室外剂量率	室内剂量率
均值	79.5	115.
标准差 (s)	7.0	16.3
(均值 \pm 3s) *	58.5~100.5	66.2~164.0

*：评价时参考数值

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

盐城市第三人民医院位于江苏省盐城市，医院现有南、北两个院区，南院区位于盐城市盐都区新都西路 2 号，北院区位于盐城市剧场路 75 号。本次新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目位于南院区。南院区东侧为解放南路，南侧为新都路及毕华丽庄园，西侧为盘古路，北侧为尧舜路和娱乐社区商业及住宅区。本项目地理位置示意图见图 1，盐城市第三人民医院南院区平面布置及新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目周围环境示意图见图 2。

拟新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目位于南院区放疗楼 2 楼（放疗楼共 4 楼，无地下建筑）。PET/CT 项目东侧为室外，南侧为电梯厅及大厅，西侧为室外平台（放置空调外机，无人员驻留），北侧为室外平台（无人员驻留），上方为临床药学室和物供仓库，下方为放疗中心。本项目平面布置及周围环境示意图见图 3。

本项目北侧约 30m 处的娱乐社区住宅区为环境敏感点，项目 50m 范围内其余方向无学校、居民区等环境敏感目标（详见附图 2）。运行后的环境保护目标主要是从事本项目的辐射工作人员、其他医务人员、院内病患、环境敏感目标及周围公众等。本项目周围环境现状见图 8-1~图 8-6。

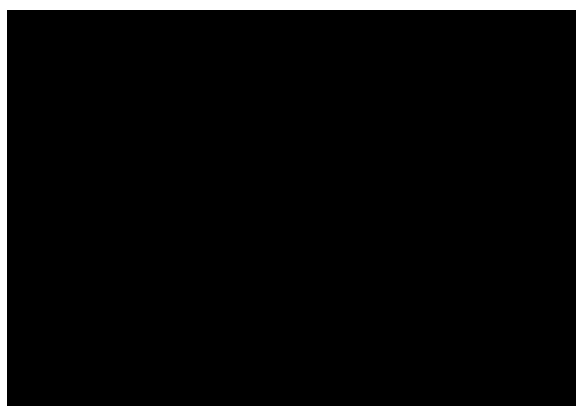


图 8-1 新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目东侧

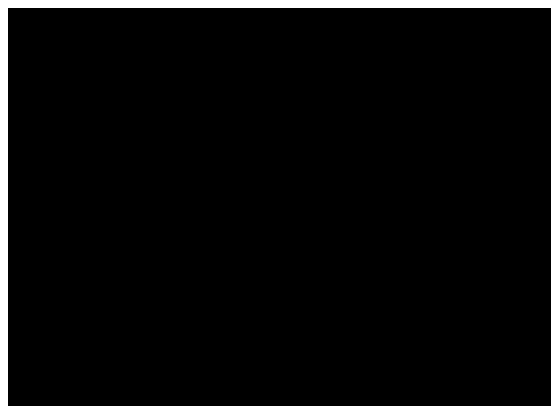


图 8-2 新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目南侧

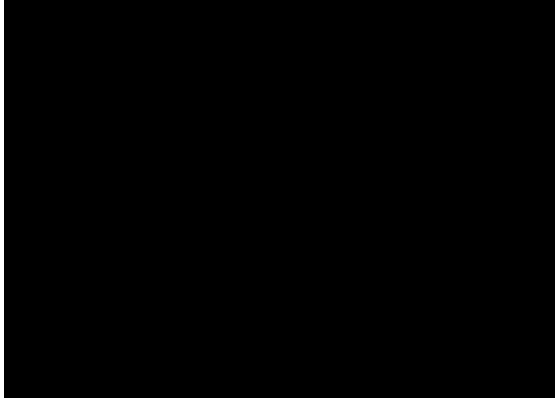


图 8-3 新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目西侧

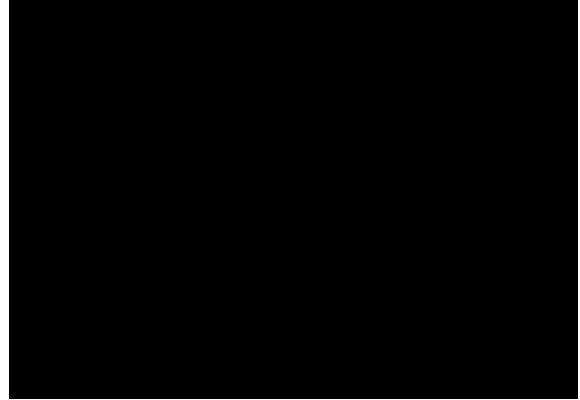


图 8-4 新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目北侧



图 8-5 新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目楼上

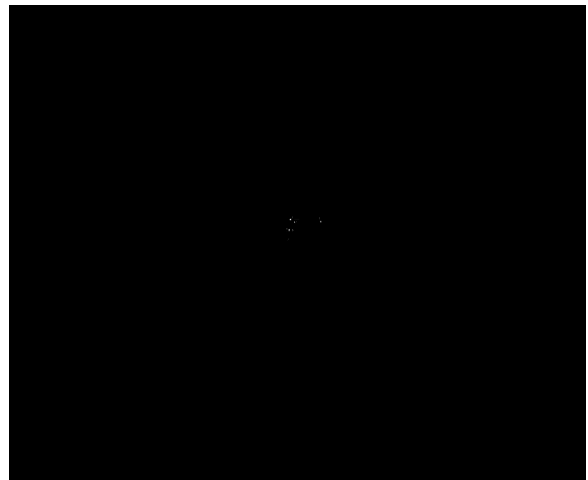


图 8-6 新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目楼下

二、辐射环境现状调查

根据《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-1993）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目周围进行布点，测量本底辐射剂量率。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司（公司检测资质见附件 7）

检测仪器：FH40G+FHZ672E-10 型多功能辐射测量仪（设备编号：NJRS-103，检定有效期：2020 年 1 月 15 日~2021 年 1 月 14 日）

能量范围：40keV~4.4MeV

剂量率范围：1nSv/h~100 μ Sv/h

监测日期：2020 年 11 月 6 日

天气：晴

监测布点：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）有关布点原则进行布点。

监测过程质量控制：本项目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/T 61-2001）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检验，监测报告实行二级审核。

评价方法：参照江苏省天然贯穿辐射剂量水平调查结果，评价项目周围的辐射环境质量，监测结果见表 8-1，监测点位示意图见图 8-7。

表 8-1 新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目周围 X-γ 辐射剂量率

测点编号	测点描述	测量结果 (nSv/h)
1	拟建址东部	147
2	拟建址南部	150
3	拟建址西部	142
4	拟建址北部	163
5	拟建址中部	155
6	拟建址楼上	147
7	拟建址楼下	141
8	拟建址东侧 50m	152
9	拟建址南侧 50m	157
10	拟建址西侧 50m	147
11	拟建址北侧娱乐社区住宅区	156

注：测量数据未扣宇宙响应值。

由表 8-1 监测结果可知，盐城市第三人民医院新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目周围环境天然贯穿辐射剂量率在 141nSv/h~163nSv/h 之间，检测结果基本位于江苏省环境天然贯穿辐射水平涨落范围。

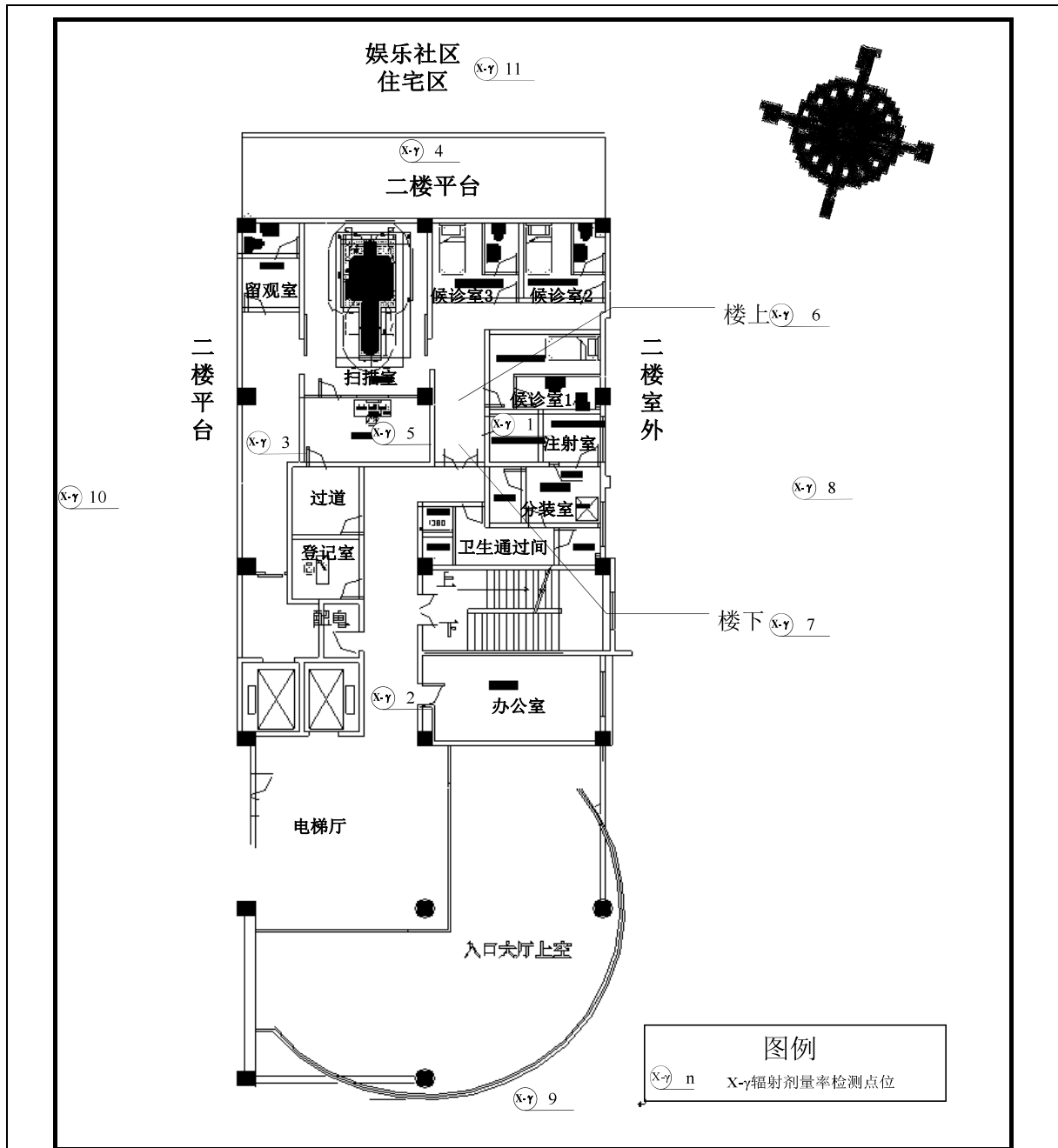


图 8-7 新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目周围环境 X-γ 辐射监测点位示意图

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

盐城市第三人民医院拟在南院区放疗楼 2 楼新建 1 个 PET/CT 项目，使用 ^{18}F 进行扫描显像检查，新增 2 枚 ^{68}Ge 质控源（活度：1 枚为 $5.5\times 10^7\text{Bq}$ 、1 枚为 $3.5\times 10^6\text{Bq}$ ，均为 V 类放射源）。PET-CT 设备主要由 PET 机架、CT 机架、床板和升降机构等部件组成，CT 机架位于 PET 机架的前方，两者组合在一起，同时配有 PET、CT 融合对位工作站。常见的 PET/CT 外观和结构示意图见图 9-1。



图 9-1 常见 PET/CT 外观和结构示意图

新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目位于南院区放疗楼 2 楼（放疗楼共 4 楼，无地下建筑）。PET/CT 项目东侧为室外，南侧为电梯厅及大厅，西侧为室外平台（放置空调外机，无人员驻留），北侧为室外平台（无人员驻留），上方为临床药学室和物供仓库，下方为放疗中心。本项目 PET/CT 场所人流及物流具有相对的独立通道，因此，本次新增 PET/CT 项目所在工作场所可作为一个独立的非密封放射性物质工作场所。

二、工作原理及工作流程

（一）工作原理

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。

正电子发射是放射性核素衰变的方式之一。这类核素在自发的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籽，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，便可以几乎同时接受到这两个光子，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。

（二）工作流程及产污环节

盐城市第三人民医院新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目使用的 ^{18}F 放射性药物拟向制药公司订购获得。医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，向制药公司预订，制药公司将药物送到分装室内，科室指定专人负责药物的接收和登记，并暂存到分装室铅通风橱内，当天用完。

医护人员在铅通风橱内根据患者用药情况将药物进行分装（在分装室通风橱内进行分装），每次最多 $3.7 \times 10^9 \text{Bq}$ （10 人量），放置于 40mmPb 的铅罐内，单日人数较多时，将分上下午两次订购药物并分装。在分装药物过程中， ^{18}F 核素会产生一定剂量的 γ 射线，对分装人员将造成外照射。

经校对无误后，注射护士在 50mmPb 的注射铅玻璃屏的屏蔽下为病人注射。注射

完毕后的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。在注射药物过程中， ^{18}F 核素会产生一定剂量的 γ 射线，将对注射人员及接受注射的病人造成外照射，同时产生含 ^{18}F 核素的废弃注射器、医用手套、棉球、滤纸等放射性固体废物。在进行液态放射性药物 (^{18}F) 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。来自注射室的放射性废水含有放射性核素 ^{18}F 。

病人根据注入的正电子药物特性，在注射后候诊室内静躺候诊（一般注射放射性药物后需等待约 30min），待药物代谢至靶器官，进入 PET/CT 检查室，经医护人员摆位后，接受 PET/CT 的扫描，每次扫描约 10~20 分钟。扫描完成后，病人在留观室休息，留观一段时间后，若无其他情况，经病人出口走廊从专用电梯离开。

病人在注射后候诊室内候诊时，病人体内的 ^{18}F 核素会产生一定剂量的 γ 射线，专用卫生间内会产生含 ^{18}F 核素的放射性废水。医生在进行摆位时可能受到病人体内 ^{18}F 核素产生的 γ 射线外照射。病人在检查室扫描时，医生和病人都可能受到 ^{18}F 核素产生的 γ 射线外照射，当进行 CT 扫描时，还可能受到 X 射线外照射。病人在留观过程中身体内会残留部分 ^{18}F 核素，会产生一定剂量的 γ 射线。

工作流程及产污环节分析见图 9-2。

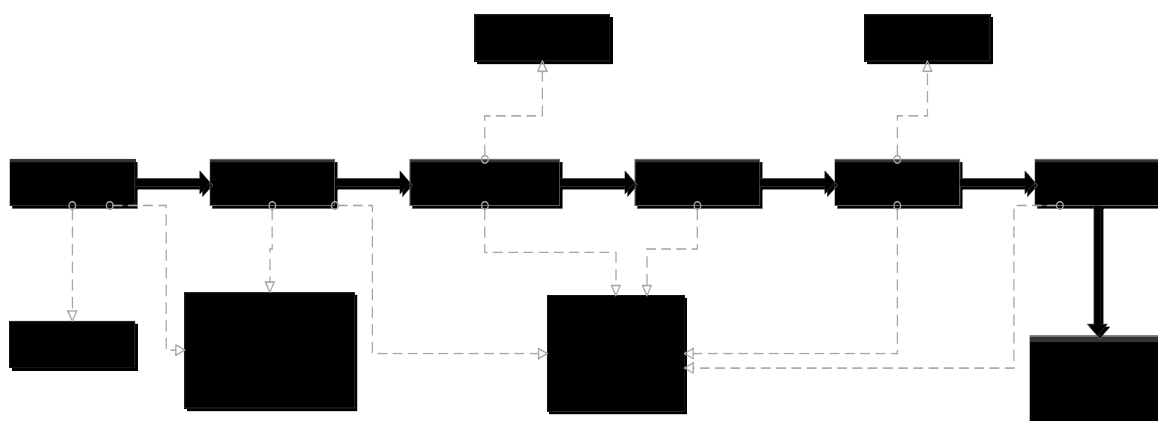


图 9-2 PET/CT 工作流程及产污环节分析示意图

PET/CT 使用 ^{68}Ge 放射源进行质控检测时，其贮存源容器被打开，使得 γ 射线穿出，在此过程中， γ 射线经透射和散射对周围人员有一定的影响。不使用时放置于分装室内的保险柜中，校准源放置于保险柜中的密封铅容器内，铅容器对校准源产生的 γ 射线有很好的屏蔽，但一般不可能将 γ 射线完全屏蔽，其表面有着合理的符合国家

标准要求的表面剂量率，对周围环境影响较小。

污染源项描述

一、放射性污染

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《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）：医疗机构使用¹⁸F相关活动视为“很简单的操作”，同时查阅GB18871-2002得到¹⁸F核素的毒性组别，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，得到新增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。

盐城市第三人民医院新建1台PET/CT放射诊断项目所使用的放射性核素日最大用量及年总用量见表9-1。

表9-1 新建1台PET/CT放射诊断项目使用的放射性核素日使用量及年使用量

¹⁸ F	日最大用量	单次使用平均量 10mCi×日最高峰 20 人=7.4×10 ⁹ Bq
	年总用量	单次使用平均量 10mCi×日最高峰 20 人×250 工作日=1.85×10 ¹² Bq

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9-2和表9-3。盐城市第三人民医院本次新建1台PET/CT放射诊断项目所使用的放射性核素日等效最大操作量核算见表9-4。

表9-2 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9-3 操作方式与放射源状态修正因子

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

表 9-4 新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目使用的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 (Bq)
^{18}F	液态/低毒	很简单操作	日最大操作量 ($7.4 \times 10^9 \text{Bq}$) $\times 0.01$ (低毒) / 10 (液态/很简单操作) = $7.4 \times 10^6 \text{Bq}$

根据表 9-1 和表 9-4 可知，本次新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目日等效最大操作量为 $7.4 \times 10^6 \text{Bq}$ 。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)，确定盐城市第三人民医院本次新建工作场所为丙级非密封放射性物质工作场所。

盐城市第三人民医院新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目主要产生以下放射性污染：

①辐射：正电子药物在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生的 γ 射线、CT 扫描过程中会产生 X 射线均会造成医务人员和公众的外照射。PET/CT 显像用放射性核素特性见表 9-5。

表 9-5 PET/CT 使用的放射性核素特性一览表

核素名称	半衰期 (min)	衰变类型及分支比 (%)	主要 α 、 β 辐射能量 (keV) 与绝对强度 (%)	主要 γ 、X 射线能量 (keV) 与绝对强度 (%)	空气比释动能率常数 ($\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)
^{18}F	109.7	EC (3.27) β^+ (96.73)	633.5 (96.73)	XK: 0.52 (0.01795) γ^{\pm} : 511 (≤ 193.46)	1.4E-13

^{68}Ge 质控源的辐射源项：本项目拟配备的 ^{68}Ge 质控源情况见表 9-6。

表 9-6 ^{68}Ge 质控源情况一览表

放射源名称	总活度 (Bq)	类别	活度种类	使用场所	贮存地点
^{68}Ge	5.5×10^7	V	固态密封源	PET/CT 扫描间	分装室保险柜
^{68}Ge	3.5×10^6	V	固态密封源	PET/CT 扫描间	分装室保险柜

^{68}Ge 的半衰期为 277 天，衰变时发射出 γ 射线，主要能量为 0.511MeV，正常情况下，密封源置于密封铅容器中，对产生的 γ 射线有很好的屏蔽，但一般不可能将 γ 射线完全屏蔽，其表面有着合理的符合国家标准要求的表面剂量率。当仪器校准时，其贮存源容器被打开，使得 γ 射线穿出，在此过程中， γ 射线经透射和散射对周围人员有一定的影响。 ^{68}Ge 质控源特性见表 9-7。

表 9-7 ^{68}Ge 质控源特性一览表

核素名称	半衰期 (d)	衰变类型及分支比 (%)	主要 α 、 β 辐射能量 (keV) 与绝对强度 (%)	主要 γ 、X 射线能量 (keV) 与绝对强度 (%)	空气比释动能率常数 ($\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{Bq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
^{68}Ge	270.8	EC (100)	--	XK β : 10.3 (5.45) XK α 2:9.22482 (13.07) XK α 1:9.25174 (25.6)	1.12E-14

②含放射性核素的废气：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，被医务人员或公众吸入体内造成的内照射影响。本项目核素操作均在通风橱中进行，通风橱内保持负压且设有排风系统（通风速率不少于 1m/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，从通风橱的通风管道直接抽出，由屋顶排放；整个 PET/CT 工作场所均拟设置排风系统及新风系统，保证工作场所内空气流动。

③含放射性核素的废水：体内含有放射性核素的病人排泄物等；工作场所清洗废水等。核医学科原有 SPCT/CT 项目（使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）和新建 PET/CT 项目每天产生废水量均小于 0.2m^3 ，辐射工作人员的洗涤用水每天不超过 5L，新建 1 台 PET/CT 后，该核医学科每天共产生废水量约为 0.405m^3 ，年产生量约为 101m^3 。

④含放射性核素的固体废物：放射性核素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量放射性核素的医疗固体废弃物。根据本项目规划的工作量估算每年产生放射性固体废物量，显像检查放射性废物产生量按 $0.05\text{kg}/\text{人次}$ 计算，本项目年产生放射性废物不超过 250kg （按 1 天共 20 人，每年 250 个工作日计）。2 枚 ^{68}Ge 密封源使用到一定年限（约 1 年）后会产生退役、报废的放射源，退役时活度约为 $2.2\times 10^7\text{Bq}$ 和 $1.4\times 10^6\text{Bq}$ 。

二、非放射性污染

①废气：正电子药物在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描操作过程中产生的 γ 射线会使空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过排风系统排至室外，臭氧在空气中短时间可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

②废水：主要是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。

③固体废物：主要是工作人员产生的生活垃圾，由医院环卫人员统一收集，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作场所布局合理性

盐城市第三人民医院新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目所在场所为丙级非密封放射性物质工作场所。

新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目所在核医学工作场所包括以下主要场所：淋浴间、卫生通过间、废物库、卫生间、分装室、注射室、注射后候诊室 1、注射后候诊室 2、注射后候诊室 3、扫描间、操作间、过道、登记室、留观室等（PET/CT 为一体化机，本项目 PET/CT 不单独设置设备间）。医院拟将废物库、分装室、注射室、注射后候诊室 1、注射后候诊室 2、注射后候诊室 3、扫描间、留观室及患者出口走廊等划分为控制区，该区域涉及放射性同位素操作，是药物注射及带药病人的主要活动区域，设置有病人专用通道供带药病人行走，属于 GB 11930-2010 定义的控制区，进行了专门的屏蔽防护设计；操作间、过道、登记室、淋浴间、卫生通过间、卫生间等属于 GB 11930-2010 定义的监督区。控制区和监督区内病人及医护人员均具有独立的出入口和流动路线，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。核医学工作场所区域划分及病人、医护人员流动路线见图 10-1。

新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目相关配套布局能够保证各项工作程序沿着相关房间单向开展，最大限度的减少了人员的流动性，有助于实施工作程序；医护人员与病患有各自独立的通道；注射室与检查室分开，控制区内设置有注射后病人专用厕所。医院 PET/CT 场所非密封放射性物质工作场所布局满足《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）中关于临床核医学工作场所的要求以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）要求。

二、辐射防护屏蔽设计

盐城市第三人民医院新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目的屏蔽防护设计方案见表 10-1。

表 10-1 新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目工作场所屏蔽设计一览表

场所		墙体	顶部	地面	防护门	铅玻璃窗
新建 1 台 PET/CT	扫描室	12cm 实心砖墙+5cm 硫酸钡+8 mmPb 铅板	20cm 混凝土+6mmPb 铅板	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡	10mmPb	10mmPb

放射诊断项目	注射室	12cm 实心砖墙+5cm 硫酸钡+8 mmPb 铅板	20cm 混凝土+6mmPb 铅板	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡	10mmPb	50mmPb
	分装室	12cm 实心砖墙+5cm 硫酸钡+8 mmPb 铅板	20cm 混凝土+6mmPb 铅板	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡	10mmPb	/
	废物库	12cm 实心砖墙	20cm 混凝土+6mmPb 铅板	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡	10mmPb	/
	注射后候诊室 1	12cm 实心砖墙+5cm 硫酸钡+8 mmPb 铅板	20cm 混凝土+6mmPb 铅板	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡	10mmPb	/
	注射后候诊室 2	12cm 实心砖墙+5cm 硫酸钡+8 mmPb 铅板	20cm 混凝土+6mmPb 铅板	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡	10mmPb	/
	注射后候诊室 3	12cm 实心砖墙+5cm 硫酸钡+8 mmPb 铅板	20cm 混凝土+6mmPb 铅板	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡	10mmPb	/
	留观室	12cm 实心砖墙+5cm 硫酸钡+8 mmPb 铅板	20cm 混凝土+6mmPb 铅板	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡	10mmPb	/
通风橱：40mm 铅当量，铅屏风：5 mm 铅当量。						

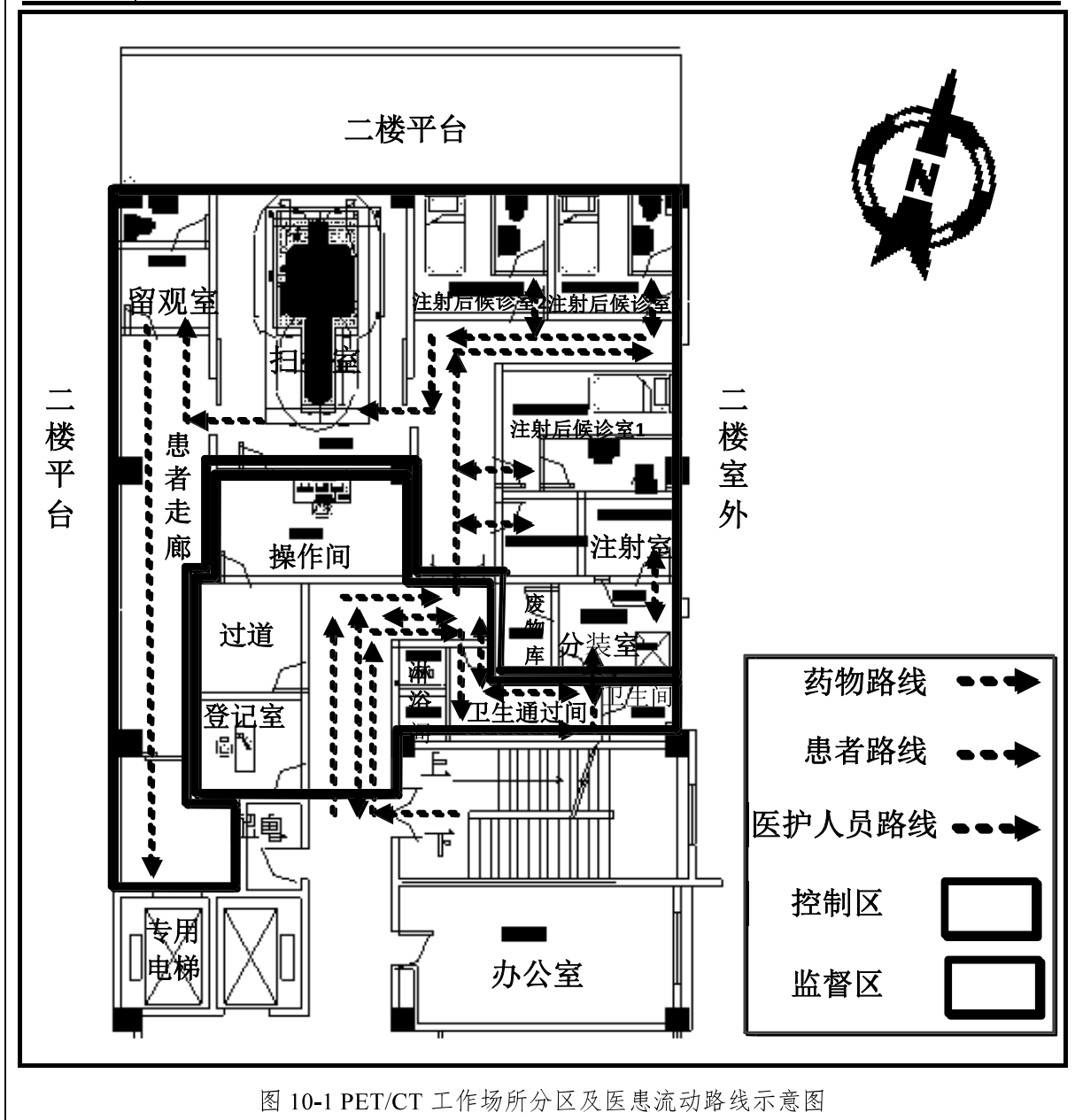


图 10-1 PET/CT 工作场所分区及医患流动路线示意图

三、辐射安全措施

1、电离辐射警告标志

医院拟将核医学工作场所划分为控制区和监督区，在入口处拟设置有符合规范的电离辐射警告标志；

2、对带药病人的监督管理

医院应做好本项目监督管理工作，防止无关人员入内；拟在控制区出入口设置单向门禁系统，实现“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线；加强对注射放射性药物病人的监督管理，避免其给药后随意走动；同时应告知检查完成后病人离开路线，防止其对公众造成不必要照射。

3、“两区”内安全防护措施规定

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。

4、校准源的安全管理

校准源不使用时贮存在分装室的保险柜内，保险柜需采取辐射屏蔽措施并能固定于分装室内的墙壁或地面，保险柜设置双人双锁，使用前做好登记，校准源退役时应办理相应环保手续。

5、工作人员防护用品

医院拟为本项目工作人员配备的辐射防护装置及个人防护用品主要有防护铅衣、防护铅围脖、铅手套、铅眼镜、铅帽、剂量报警仪、个人剂量计等。

6、PET/CT 工作场所出入口拟设置门禁系统，防止无关人员进入，造成不必要的照射。PET/CT 扫描间病人入口防护门上方拟设置工作状态指示灯，防护门设置闭门装置，且工作状态指示灯和与扫描间相通的门能有效联动，防护门关闭的情况下，工作状态指示灯才亮。

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，开展放射诊断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，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。

盐城市第三人民医院拟为本项目配备 1 台辐射巡测仪、1 台表面沾污仪、2 台个

人剂量报警仪。辐射工作人员工作时将佩带个人剂量计，以监测累积受照情况。医院拟定期组织放射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立放射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

三废治理

一、放射性废水

本项目核医学产生的放射性废水包括：

来自 PET/CT 场所注射室和注射后病人专用厕所的放射性废水含有放射性核素，由独立下水管道统一集中到放疗楼 1 楼东侧原有的衰变室中（结构示意图见图 10-2），衰变十个半衰期满足排放标准后流入医院污水处理系统作为医疗废水处理。

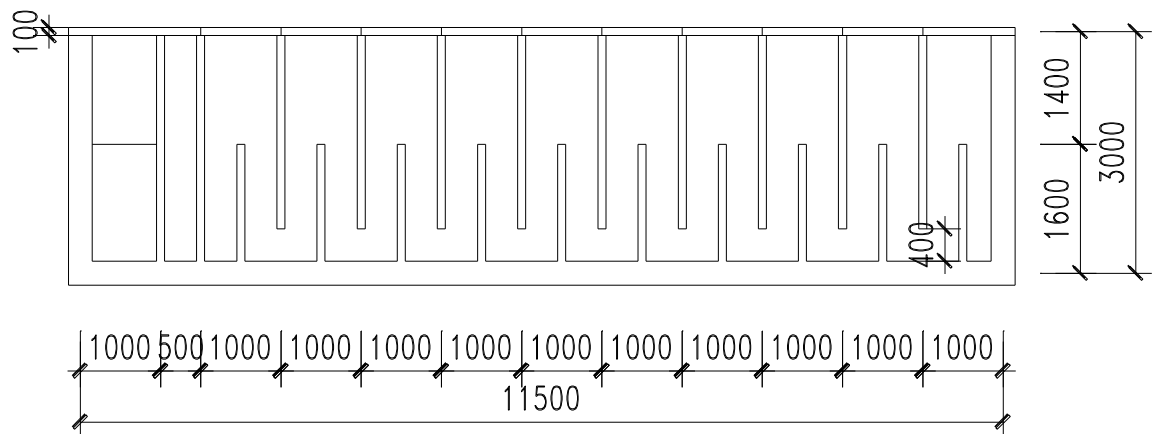


图 10-2 衰变池结构示意图

该院 PET/CT 位于放疗楼 2 楼，放疗楼 4 楼为核医学科 SPCT/CT 项目（使用 ^{99m}Tc ），放疗楼 1 楼东侧已有一个放射性废水衰变池，衰变池尺寸为 $11.5\text{m}\times 3\text{m}\times 3\text{m}$ ，衰变池总容积约 103.5m^3 。衰变池为地下混凝土保护壳+玻璃钢衰变池。

放射性废水主要有沾有放射性核素的医疗器戒、器皿的洗涤用水，辐射工作人员的洗涤用水以及服用药物病人的排泄物及冲洗水等。核医学科原有 SPCT/CT 项目（使用 ^{99m}Tc ）产生的废水月排放量小于 6m^3 ，每天产生废水量小于 0.2m^3 ，年废水产生量小于 50m^3 ；新建 PET/CT 项目每天门诊量最大为 20 人，每人按每日产废水量 10L 估算，每天产废水量约为 $10\text{L}\times 20\text{人}/\text{天}=0.2\text{m}^3$ ，年产生量约 $0.2\text{m}^3/\text{天}\times 50\text{周}/\text{年}\times 5\text{天}/\text{周}=50\text{m}^3$ ，辐射工作人员的洗涤用水每天不超过 5L，年产生量约为 $5\text{L}\times 50\text{周}/\text{年}\times 5\text{天}/\text{周}=1.25\text{m}^3$ 。故新建 1 台 PET/CT 后，该核医学科每天共产生废水量约为 0.405m^3 ，年产生量约为 101m^3 。该 PET/CT 产生的放射性废水经专用管道排入放疗楼 1 楼东侧原有衰变池，

PET/CT产生放射性废水的放射性核素 ^{18}F 半衰期为109.7min, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 半衰期为6.02h, 保守按最长半衰期6.02h计算, 10个半衰期内产生的放射性废水为 1.01m^3 , 该衰变池总容积约为 103.5m^3 , 该项目的衰变池容积能够满足使放射性废水衰变10个以上半衰期的能力。本项目含放射废水下水管道布局走向示意图见附图7。

二、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。本项目核素操作均在分装室的通风橱中进行, 通风橱内保持负压且设有排风系统(通风速率不少于 1m/s , 排放口拟高于本建筑屋脊), 满足《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)中“通风管道的外排气口高于本建筑屋脊”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。同时医院拟在通风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并作为放射性固废处理。整个PET/CT工作场所设置排风系统及新风系统, 保证工作场所内空气循环。PET/CT工作场所排风系统示意图见附图6。

三、放射性固体废物

PET/CT项目产生的放射性固体废物主要有废弃的注射器、医用手套、试管、棉球、口罩、滤纸等。注射室、分装室、注射后候诊室等房间均拟设置1~2个放射性废物桶(防护厚度应不低于 5mmPb), 另外, 医院在PET/CT工作场所设有放射性废物库。

根据本项目规划的工作量估算每年产生放射性固体废物量, 显像检查放射性废物产生量按 0.05kg/人次 计算, 本项目年产生放射性废物不超过 250kg (按1天共20人, 每年250个工作日计), PET/CT工作场所各房间内铅废物桶放置点应避开工作人员与其它人员经常走动的地方, 并设置有电离辐射警告标志。

从PET/CT工作场所各房间收集的放射性废物应分别标记、分开贮存(标记主要核素类型、收集时间等)后集中到放射性废物库中的铅桶(废物库中设置若干铅桶, 防护厚度不低 5mmPb)中暂存, 在废物库内自然衰变。

本项目废物库容积约为 $1.5\text{m}\times 2.65\text{m}\times 3.8\text{m}=15.1\text{m}^3$, 能够满足放射性固体废物贮存十个半衰期的要求, 在贮存十个半衰期达到清洁解控水平推荐值后, 作为普通医疗

废物进行处理。

通风橱通风管道内更换下来的废活性炭，在废物库贮存十个半衰期达到清洁解控水平推荐值后作医疗固体废物处理。

^{68}Ge 密封源使用到一定年限后会产生退役、报废的放射源，医院承诺： ^{68}Ge 放射源在达到使用年限退役时，废源将由厂家回收收贮或交有具有相关资质的单位处置。

一般废气、废水及固废处理措施

核素操作过程中，空气因电离产生的少量臭氧和氮氧化物可通过 PET/CT 工作场所均拟设置的排风系统排至室外，臭氧在空气中短时间可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

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。

工作人员产生的一般生活垃圾，医院统一收集后，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

本项目工作场所位于放疗楼 2 楼，本次 PET/CT 建设主要工作为墙体隔断与内饰装潢，建设时将产生施工噪声、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：

- 1、及时清扫施工场所，并保持施工场地一定的湿度；
- 2、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；
- 3、施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

二、噪声：整个建筑施工阶段，如墙体拆除、墙体连接等施工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，委托由有资质的单位清运，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。

医院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医院院区内部，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

一、放射性药物环境影响

1、放射性核素环境影响

本次新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目拟使用 ^{18}F （为正电子核素）进行核素诊断，对于发射 γ 射线的放射性药物在进行辐射环境影响预测时，将药物及已注射药物的病

人简化成点源,其周围空气比释动能率可近似按照点源模式计算,采用方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算考察点空气比释动能率:

$$\dot{K}_\alpha = \frac{A \cdot \Gamma_k}{r^2} \cdot \eta \quad \text{公式 11-1}$$

上式中: \dot{K}_α —考察点空气比释动能率 (Gy/h);

A —放射源活度 (Bq);

Γ_k —放射源的空气比释动能率常数 ($\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), 与核素衰变发射的 γ 射线能量基本成正比关系;

r —放射源到考察点的距离 (m);

η —透射比, 无屏蔽情况下取 1, 有屏蔽情况下, 按照放射源的平均射线能量及屏蔽材料的厚度查参考资料得到相应的透射比。

根据工程分析可知, ^{18}F 核素诊断项目辐射影响主要包括药物分装 (含质控的活度测量过程)、药物注射、病人候诊、病人扫描和留观等过程, 主要对 PET/CT 工作人员及室外公众产生外照射辐射影响, 根据公式 11-1 可估算出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 11-1。

表 11-1 新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目工作场所辐射水平估算结果

点位	参考点位置	源强 (Bq)	与源的距离 (m)	屏蔽材料及厚度	透射比	参考点辐射水平 ($\mu\text{Gy/h}$)	备注
1	分装工作位	3.7×10^9	0.3	0.5mmPb+40mmPb	0.004	23.86	铅服为 0.5mmPb, 通风橱为 40mmPb
2	注射位 (身体)	3.7×10^8	0.3	0.5mmPb+50mmPb	0.0011	0.616	铅服为 0.5mmPb, 注射窗为 50mmPb
3	摆位	3.7×10^8	0.5	0.5mmPb+5mmPb	0.475	98.37	铅服为 0.5mmPb, 铅屏风为 5mmPb
4	观察窗外表面 30cm	3.7×10^8	4.3	10mmPb	0.258	0.723	假设扫描时病人位于机房中间
5	扫描间南防护门外表面 30cm	3.7×10^8	4.3	10mmPb	0.258	0.723	
6	扫描间南墙外表面 30cm	3.7×10^8	4.47	12cm 实心砖墙+5cm 硫酸钡+8 mmPb 铅板	0.062	0.161	

7	扫描间西墙外表面 30cm	3.7×10^8	4.22	12cm 实心砖墙+5cm 硫酸钡+8 mmPb 铅板	0.062	0.181	
8	扫描间西门外表面 30cm	3.7×10^8	4.22	10mmPb	0.258	0.751	
9	扫描间上方表面 30cm	3.7×10^8	4.3	20cm 混凝土+6mmpb 铅板	0.055	0.155	
10	扫描间下方表面 170cm	3.7×10^8	4.36	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡	0.050	0.150	
11	留观室上方表面 30cm	5.4×10^8	4.3	20cm 混凝土+6mmpb 铅板	0.055	0.226	2 人留观
12	留观室下方表面 170cm	5.4×10^8	4.36	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡	0.050	0.199	
13	注射后候诊室 1 南墙外表面 30cm	3.7×10^8	2.22	12cm 实心砖墙+5cm 硫酸钡+8 mmPb 铅板	0.062	0.654	1 人候诊
14	注射后候诊室 1 上方表面 30cm	3.7×10^8	4.3	20cm 混凝土+6mmpb 铅板	0.055	0.155	
15	注射后候诊室 1 下方表面 170cm	3.7×10^8	4.36	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡	0.050	0.137	
16	注射室上方表面 30cm	3.7×10^8	4.3	20cm 混凝土+6mmpb 铅板	0.055	0.155	/
17	注射室下方表面 170cm	3.7×10^8	2.56	20cm 混凝土+6cm 硫酸钡	0.050	0.436	/
18	分装室上方表面 30cm	3.7×10^9	4.3	20cm 混凝土+40mmPb +6mmpb	0.00024	0.007	通风橱为 40mmPb
19	分装室下方表面 170cm	3.7×10^9	2.56	20cm 混凝土+40mmPb+6cm 硫酸钡	0.00024	0.019	
20	分装室门外表面 30cm	3.7×10^{99}	1.77	40mmPb+10 mmPb	0.0011	0.189	
21	分装室南墙外表面 30cm	3.7×10^9	1.77	12cm 实心砖墙+5cm 硫酸钡+40mmPb+8 mmPb 铅板	0.00028	0.046	
22	留观室西墙外表面 30cm	2.7×10^8	1.75	12cm 实心砖墙+5cm 硫酸钡+8 mmPb 铅板	0.062	0.768	1 人留观
23	扫描室北墙外表面 30cm	3.7×10^8	4.47	12cm 实心砖墙+5cm 硫酸钡+8 mmPb 铅板	0.062	0.161	假设扫描时病人位于机房中间
24	注射后候诊室 3 北墙外表面 30cm	3.7×10^8	2.25	12cm 实心砖墙+5cm 硫酸钡+8 mmPb 铅板	0.062	0.636	1 人候诊
25	注射后候诊室 2 东墙外表面 30cm	3.7×10^8	2.32	12cm 实心砖墙+5cm 硫酸钡+8 mmPb 铅板	0.062	0.598	
26	注射后候诊室 1 东墙外表面 30cm	3.7×10^8	3.07	12cm 实心砖墙+5cm 硫酸钡+8 mmPb 铅板	0.062	0.342	
27	注射室东墙外表面 30cm	3.7×10^8	3.07	12cm 实心砖墙+5cm 硫酸钡+8 mmPb 铅板	0.062	0.342	/

注：1.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，不同材料的什值层厚度的取值于《辐射防护手册》（第一分册）；

2.分装工位、注射位与源的距离为 0.3m，摆位时医护人员站在机房内的铅屏风后，铅屏风距病人约 0.5m，机房观察窗、防护门距源：4+0.3=4.3m，扫描间南墙距源：4+0.17+0.3=4.47m，扫描间西墙、西门距源：3.75+0.17+0.3=4.22m，扫描间北墙距源：4+0.17+0.3=4.47m，扫描间、留观室、注射后候诊室、注射室、分装室上方距源：3.8+0.2+0.3=4.3m，留观室西墙距源：1.28+0.17+0.3=1.75m，扫描间、留观室、注射后候诊室、注射室、分装室下方距源：3.1+1.0+0.26=4.36m，注射后候诊室 1 南墙距源：1.75+0.17+0.3=2.22m，注射后候诊室 1、注射室东墙距源：2.6+0.17+0.3=3.07m，注射后候诊室 2 东墙距源：1.85+0.17+0.3=2.32m，注射后候诊室 3 北墙距源：1.78+0.17+0.3=2.25m，分装室南墙、防护门距源：1.3+0.24+0.3=1.84m；

3.注射后候诊室 1、2、3 屏蔽参数相同，距楼上和楼下距离相同，每个房间内每次仅 1 人候诊，因此仅对其 1 间（注射后候诊室 1）楼上和楼下的辐射水平进行了估算。

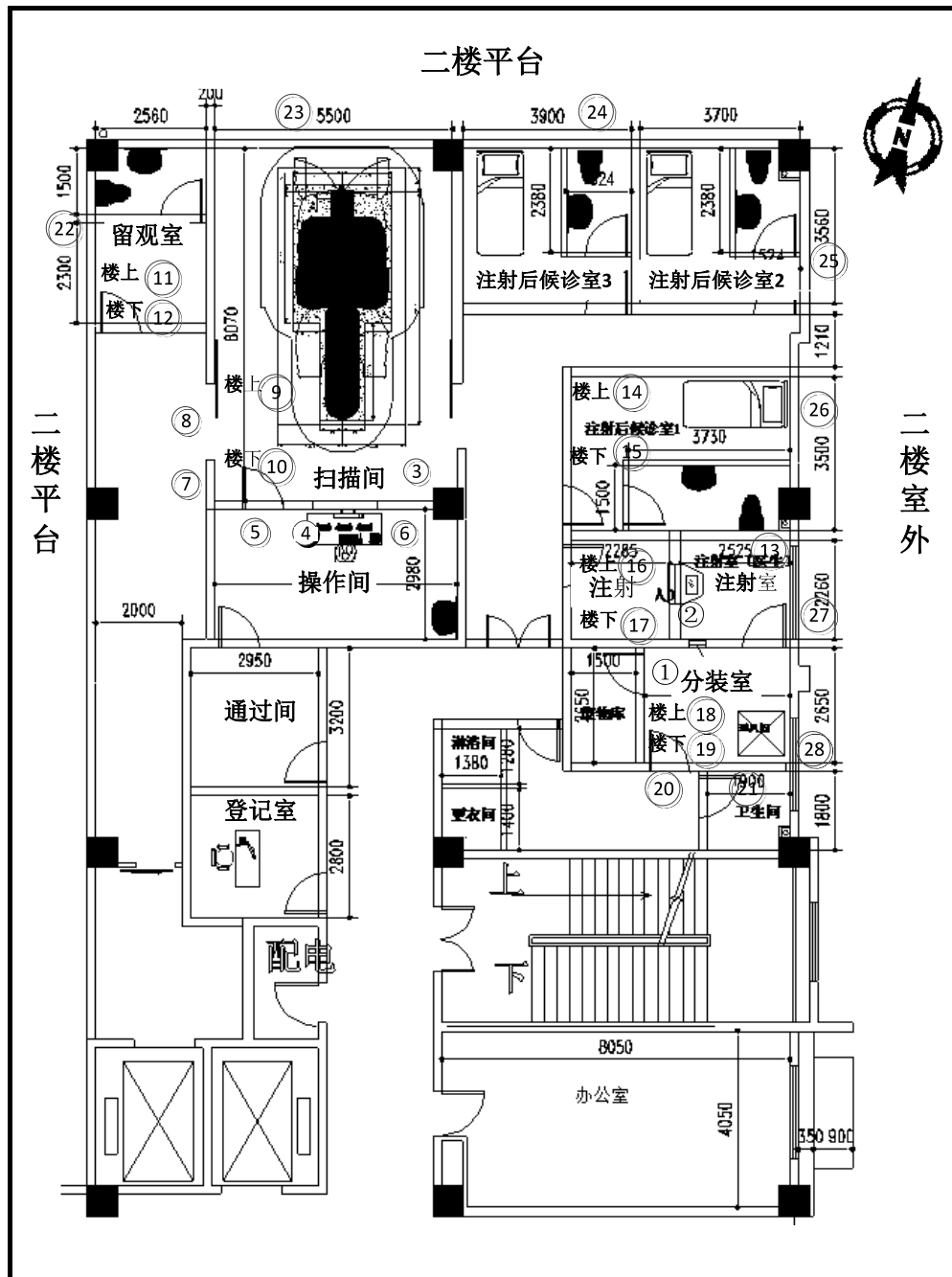


图 11-1 新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目工作场所 ^{18}F 估算点位示意图

由表 11-1 可知, 摆位过程中辐射剂量较高, 虽然有 0.5mm 铅当量铅衣和 5mm 铅当量铅屏风屏蔽, 但工作人员仍会受到较高的辐射剂量; ^{18}F 药物操作过程中对分装室内环境辐射影响也较大, 虽然操作中工作人员穿戴铅防护服, 但仍会受到较高剂量的照射; ^{18}F 药物在操作过程中及病人在显像过程中对 PET/CT 扫描间、留观室、注射后候诊室外的环境影响较小。

注射室、分装室、PET 扫描间、留观室及注射后病人候诊室的防护设计均能够满足 ^{18}F 核素对控制区外 γ 辐射剂量率的要求, 项目对 PET/CT 工作场所周围环境辐射影响较小。医院须采取分批预约、分批注射、分批候诊的方式, 严格按照要求控制候诊室内病人的数量, 降低对病人及外环境的辐射影响。

2、保护目标的有效剂量估算

根据表 11-1 各关注点处辐射剂量率, 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公众及辐射工作人员的年受照剂量, 见表 11-2。

表 11-2 新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目公众及辐射工作人员年有效剂量估算

点位	参考点位置	参考点辐射水平 ($\mu\text{Gy/h}$)	参考点处受放射性核素影响的时间*	居留因子	参考点人员有效剂量 (mSv/a)	关注对象	位置
1	分装工作位	23.86	分装 2min \times 20 次 \times 250 天	1	3.954	工作人员	分装室
2	注射位	0.616	注射 1min \times 20 次 \times 250 天	1	0.04	工作人员	注射室
3	摆位	98.37	摆位 1min \times 20 次 \times 250 天	1	8.186	工作人员	
4	观察窗外表面 30cm	0.723	检查 20min \times 20 次 \times 250 天	1	0.972	工作人员	操作间
5	扫描间南防护门外表面 30cm	0.723		1	0.972	工作人员	操作间
6	扫描间南墙外表面 30cm	0.161		1	0.035	工作人员	操作间
7	扫描间西墙外表面 30cm	0.181		1/16	0.004	公众	患者走廊
8	扫描间西门外表面 30cm	0.621		1/16	0.05	公众	患者走廊
9	扫描间上方表面 30cm	0.155		1/4	0.006	公众	走廊
10	扫描间下方表面 170cm	0.137		1	<0.001	公众	医生办公室
11	留观室上方表面 30cm	0.226	10min \times 20 次 \times 250 天	1/4	0.018	公众	物供仓库
12	留观室下方表面 170cm	0.199		1	0.05	公众	医生办公室

13	注射后候诊室 1 南墙外	0.654	休息 30min×7 次×250 天	1	0.449	工作人员	注射室
14	注射后候诊室 1 上方	0.155		1	0.013	公众	TDM 实验室
15	注射后候诊室 1 下方	0.137		1	<0.001	公众	模拟定位机操作室
16	注射室上方	0.155	注射 1min×20 次×250 天	1	0.001	公众	TDM 实验室
17	注射室下方	0.396		1	0.021	公众	模拟定位机操作室
18	分装室上方	0.007	分装 2min×20 次×250 天	1	<0.001	公众	办公室
19	分装室下方	0.019		1	<0.001	公众	医生办公室
20	分装室防护门	0.189		1/4	0.002	工作人员	医护走道
21	分装室南墙	0.046		1/4	<0.001	工作人员	卫生间
22	留观室西墙外表面 30cm	0.768	休息 10min×20 次×250 天	1/16	0.033	公众	室外平台
23	扫描室北墙外表面 30cm	0.161	检查 20min×20 次×250 天	1/16	0.002	公众	
24	注射后候诊室 3 北墙外表面 30cm	0.636	休息 30min×20 次×250 天	1/16	0.027	公众	二楼室外
25	注射后候诊室 2 东墙外表面 30cm	0.598		1/16	0.025	公众	
26	注射后候诊室 1 东墙外表面 30cm	0.342		1/16	0.011	公众	
27	注射室东墙外表面 30cm	0.342	注射 1min×20 次×250 天	1/16	0.001	公众	

注：1.保守按最大每天就诊人数 20 人进行估算；

2. 计算参考点人员有效剂量时，参考点辐射水平扣除本底辐射水平（0.14μGy/h）；

3.注射后候诊室 1 楼上和楼下为实验室和操作室，年有效剂量估算时居留因子取 1，注射后候诊室 2、3 楼上和楼下居留因子均小于 1，因此仅对注射后候诊室 1 楼上和楼下的年有效剂量进行了估算。

PET/CT 核素诊断过程中，一般情况下，注射过程约 1 分钟，扫描过程约 20 分钟。根据医院预测，项目运行后预计 PET/CT 年门诊量约为 5000 人，医院考虑到工作量较大，拟为本项目安排 4 名操作人员（注射人员 2 名，操作间内工作人员 2 名，人员为新入职工作人员），则注射过程中人员受到的年有效剂量约为 1.997mSv（（3.954+0.04）mSv÷2），摆位过程中及扫描过程中受到的年有效剂量约为 4.579mSv（（8.186+0.972）mSv÷2）。医院拟为本项目安排 4 名工作人员，能够满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的限值要求。根据表 11-2 估算结果，PET/CT 核素诊断过程

中，周围公众（控制区外）年有效剂量最大为 0.05mSv（扫描间西门外患者走廊和留观室下方医生办公室），能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求：公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

放射性药品接受和登记时，由于药品均存放于铅罐中，且由运送人员放入分装室的通风橱内，放射性药品接受和登记人员在有良好防护的通风橱内对药品活度进行核对检测，同时操作时间较短（约 20 秒），由表 11-1 可知，分装工作位辐射水平为 23.86 μ Gy/h，扣除本底辐射水平后，放射性药品接受和登记人员年有效剂量约为 0.033 mSv，能够满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的限值要求。

二、PET/CT 射线装置环境影响分析

盐城市第三人民医院新建 PET/CT 扫描间四周墙体采用 12cm 实心砖+5cm 硫酸钡+8 mmPb 铅板，顶部采用 20cm 混凝土+6mmPb 铅板，地面采用 20cm 混凝土+6cm 硫酸钡，观察窗及分别供病人和医护人员出入的防护门均采用 10 mmPb 铅进行防护。

盐城市第三人民医院新建 PET/CT 扫描间辐射防护设计见表 11-3。

表 11-3 盐城市第三人民医院新建 PET/CT 扫描间辐射防护设计一览表

参数	设计厚度	铅当量	屏蔽要求	评价
墙体	12cm 实心砖+5cm 硫酸钡+8 mmPb 铅板	11.8mm	CT 机房屏蔽防护铅当量厚度要求：2.5 铅当量。	满足
顶部	20cm 混凝土+6mmPb 铅板	8.3mm		满足
地面	20cm 混凝土+6 cm 硫酸钡	5.6mm		满足
防护门	10mm 厚铅	10mm		满足
观察窗	10mm 厚铅玻璃	10mm		满足
机房面积	44.4 m ² ，最小单边长度为 5.5m。		CT 机房内最小有效使用面积为 30m ² ，最小单边长度为 4.5m。	满足

由上表可知，盐城市第三人民医院 PET/CT 机房屏蔽防护措施能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的标准要求。

三、⁶⁸Ge 质控源环境影响分析

PET/CT 校准使用的 ⁶⁸Ge 放射源，不使用时放置于分装室内的保险柜内，质控使用时放置于 PET/CT 仪器内。质控检测时源接近探测器或模体，源的能量几乎被其

吸收，不检测时将校准源置于保险柜，当其活度达不到校准要求时由厂家更换后回收，其辐射环境影响较小。

事故状态下影响分析

本项目为新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目，所在场所为 1 处丙级非密封放射性物质工作场所。医院在开展医疗诊断过程中，如果不被安全管理或可靠保护，可能对误入机房的受照人员产生较严重的放射损伤。因此本项目主要事故风险为：

(1) 核医学诊断项目正电子药物注射时，注射器排气有可能挤出放射性药物，注射器有损漏以及注射针头没有装牢固，造成放射性药物泼洒或者散逸挥发，产生 γ 辐射，操作台面或仪器设备受到放射性污染。

(2) 注射药物的病人未按要求停留于控制区，导致公众遭受较大剂量照射。

(3) 放射性废水专用管道长期使用老化破裂，或衰变池渗漏，造成核医学楼地下土壤或地面受到放射性污染。

(4) ^{68}Ge 密封质控源从容器脱落出来， ^{68}Ge 密封质控源丢失、被盗和失控，造成人员的误照事件。

针对本项目可能发生的辐射事故，可采取以下的处理措施：

(1) 发生非密封放射性物质污染，应封闭工作场所，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。

(2) 药物注射前，告之病人注意事项，使之了解放射性药物对他人的危害，并加强对带药病人的监督管理。

(3) 医院应定期对 PET/CT 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。对发生事故的射线装置，请有关供货单位或相关检测部门进行检测或维修，分析事故发生的原因，并提出改进意见；做好放射源的登记和防盗等管理工作。

(4) 对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院接受医学检查和救治。

医院应根据《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》（原国家环保总局，环发[2006]145 号）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，并在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境和公安部门报告，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；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部门报告。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

盐城市第三人民医院拟在南院区放疗楼 2 楼新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目，使用 ^{18}F 进行核素诊断，所在场所为丙级非密封放射性物质工作场所。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，拥有丙级非密封放射性物质工作场所的单位，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，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。

盐城市第三人民医院已成立辐射防护管理领导小组，并指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作。医院拟为本项目配备 4 名辐射工作人员，所有辐射工作人员须参加辐射安全知识培训。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》（生态环境部公告，2019 年第 57 号），新从事辐射活动的人员需在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗。

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”。建议医院根据新建 PET/CT 项目的特点及以下内容制定并完善相关制度，并落实到实际工作中，严格执行，加强辐射安全管理。

1) 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：

①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；

②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；

③从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；

④在非密封开放性工作场所严禁吸烟、进食；

⑤放射性“三废”的处理需严格按照操作规程执行。

2) 岗位职责：明确放射性药品使用工作人员、台帐管理人员、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在岗位具体责任。

3) 辐射防护和安全保卫制度：根据放射性药物操作的具体情况制定相应的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装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全联锁装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪和表面沾污仪保持良好工作状态；

②工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护；

③放射性药物注射后患者应严格限制在控制区内。

4) 设备维修制度：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。确保射线检测装置、安全措施（急停按钮、闭门装置、警示标志、工作状态指示灯等）、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

5) 放射性同位素使用登记制度：建立放射性同位素台帐，重点是：放射性药物的使用、贮存情况等由专人负责登记、专人形成台帐、每月核对，确保帐物相符。

6) 人员培训计划和健康管理制：辐射工作人员应在上岗前进行健康检查，开展辐射安全知识培训。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》（生态环境部公告，2019年第57号），新从事辐射活动的人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗。人员在体检合格、辐射安全与防护相关知识考试合格后方可上岗工作。

7) 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：

①配备1台环境辐射巡测仪，用于辐射工作场所定期自行检测；

②为新建 PET/CT 项目工作场所配备 1 台表面沾污仪；

③放射工作人员进行个人剂量监测并建立个人剂量档案。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、卫生行政部门调查处理；

④对发生放射性药物泼洒的事故处理进行全程监测；

⑤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。

辐射监测

根据辐射管理要求，盐城市第三人民医院拟为本项目配备 1 台辐射巡测仪、1 台表面沾污仪及 2 台个人剂量报警仪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：

1) 委托有资质的单位定期对项目表面污染水平及周围环境 X- γ 辐射剂量率进行监测，周期：1~2 次/年；

2) 辐射工作人员开展个人剂量监测，建立个人剂量档案；

3) 定期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。

盐城市第三人民医院须根据上述监测计划，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。此外，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，使用放射源和射线装置的单位，应当对本单位的射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前将上一年度的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：

①应急机构和职责分工；

②应急的具体人员和联系电话；

③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；

④辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；

⑤辐射事故调查、报告和处理程序。

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况的，应根据《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》（原国家环保总局，环发[2006]145号）和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急预案，采取必要防范措施，并在事故发生后1小时内向所在地生态环境和公安部门报告，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；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部门报告。

表 13 结论与建议

结论

一、实践正当性

盐城市第三人民医院新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目位于南院区放疗楼 2 楼。项目主要包括：新建 1 台 PET/CT，使用 ^{18}F 进行扫描显像检查，新增 2 枚 ^{68}Ge 校准源，新建 PET/CT 工作场所为丙级非密封放射性物质工作场所。本项目用于医院开展放射诊断工作，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）辐射防护“实践正当性”原则。

二、选址合理性

盐城市第三人民医院位于江苏省盐城市，医院现有南、北两个院区，南院区位于盐城市盐都区新都西路 2 号，北院区位于盐城市剧场路 75 号。本次新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目位于南院区。南院区东侧为解放南路，南侧为新都路及毕华丽庄园，西侧为盘古路，北侧为尧舜路和娱乐社区商业及住宅区。本项目地理位置示意图见附图 1，盐城市第三人民医院南院区平面布置及新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目周围环境示意图见附图 2。

拟新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目位于南院区放疗楼 2 楼（放疗楼共 4 楼，无地下建筑）。PET/CT 项目东侧为室外，南侧为电梯厅及大厅，西侧为室外平台（放置空调外机，无人员驻留），北侧为室外平台（无人员驻留），上方为临床药理学室和物供仓库，下方为放疗中心。本项目平面布置及周围环境示意图见附图 3。

本项目北侧约 30m 处的娱乐社区住宅区为环境敏感点，项目 50m 范围内其余方向无学校、居民区等环境敏感目标（详见附图 2）。运行后的环境保护目标主要是从事本项目的辐射工作人员、其他医务人员、院内病患、环境敏感目标及周围公众等。

本项目核医学工作场所划分了控制区及监督区，控制区和监督区内病人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，控制区内设置有注射后病人专用厕所（与原核医学项目共用），避免公众、工作人员受到不必要的外照射，布局合理。

三、辐射环境现状

盐城市第三人民医院本次新建 1 台 PET/CT 放射诊断项目拟建址周围本底辐射剂

量率在 141nSv/h~163nSv/h 之间，与江苏省环境天然贯穿辐射水平调查结果相比较，均未见异常。

四、环境影响评价

根据理论估算结果，盐城市第三人民医院新建 1 台 PET/CT 放射诊断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的目标管理值要求（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）。

五、三废的处理处置

来自核医学科原有项目和本项目 PET/CT 工作场所注射室及注射后病人专用卫生间等高活区的放射性废水，由独立下水管道统一集中到院区放疗楼 1 楼东侧原有衰变池（总体积为 103.5m³）中，衰变十个半衰期满足排放标准后流入医院污水处理系统作为医疗废水处理。该项目的衰变池容积能够满足使放射性废水衰变 10 个以上半衰期的能力。

本项目核素操作均在通风橱中进行，通风橱内保持负压且设有排风系统（通风速率不少于 1m/s，排放口拟高于本建筑屋脊），通风管道内及屋顶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，满足《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）的要求。

本项目产生的放射性固体废物集中到放射性废物库中的铅桶中暂存，在废物库内自然衰变十个半衰期达到清洁解控水平推荐值后，作为普通医疗废物进行处理。符合辐射环境保护管理要求。

⁶⁸Ge 密封源使用到一定年限后会产生退役、报废的放射源，医院承诺：⁶⁸Ge 放射源在达到使用年限退役时，废源将由厂家回收收贮或交有具有相关资质的单位处置。

六、辐射安全措施评价

盐城市第三人民医院新建 PET/CT 工作场所墙体采用实心砖+铅板或防辐射涂料、顶部采用混凝土+铅、地面采用混凝土+防辐射涂料作为防护，各防护门均采用铅防护门，观察窗均采用铅玻璃观察窗进行防护；工作场所控制区出入口拟设置“当心电离辐射”警告标志，设置门禁系统，并在 PET/CT 扫描间设置工作状态指示灯和闭门装置，符合《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ 120-2006）中的要求。

七、辐射安全管理评价

盐城市第三人民医院已设立辐射安全与环境保护管理机构，制定有操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫、设备检修维护、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施等辐射安全管理制度。

医院需为本项目新增的 4 名辐射工作人员配置个人剂量计，且定期送有资质部门监测，建立个人剂量档案；定期进行辐射工作人员健康体检，建立个人职业健康监护档案。医院拟为本项目配备 1 台辐射巡测仪、1 台表面沾污仪及 2 台个人剂量报警仪。此外，医院应根据 GBZ 130-2020 的要求，为辐射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，盐城市第三人民医院新建 1 台 PET/CT 放射诊断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

- 1、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。
- 2、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。
- 3、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。
- 4、医院取得本项目环评批复后，应及时申请辐射安全许可证，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：PET/CT 工作场所墙体采用实心砖+铅板+防辐射涂料、顶部采用混凝土+铅、地面采用混凝土+防辐射涂料作为防护，各防护门均采用铅防护门，观察窗均采用铅玻璃观察窗进行防护。详见表 10-1。	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的目标管理值要求。	134
	安全措施（急停按钮、闭门装置、警示标志、工作状态指示灯等）：PET/CT 控制区入口处、放射性废物桶表面设置电离辐射警告标志，控制区出入口处均设置门禁系统。	满足《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ 120-2006）安全和防护要求。	
人员配备	辐射安全管理人员和辐射工作人员参加辐射安全与防护培训学习，考核合格后上岗。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。	1
	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），并建立放射工作人员职业健康档案。		
监测仪器和防护用品	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》中有关规定的要求。	5
	配备个人剂量报警仪 2 台。		
	配备表面沾污仪 1 台。		
	防护用品：PET/CT 场所配备铅通风橱，放射性核素操作人员配备铅衣、铅手套、铅眼镜、铅围脖、铅帽等个人防护用品。		10