

核技术利用建设项目
扩建放射性核素诊断项目
环境影响报告表

沐阳医院
2023 年 2 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

扩建放射性核素诊断项目

环境影响报告表

建设单位名称：沭阳医院

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：江苏省沭阳县沭城镇迎宾大道9号

邮政编码：223600

联系人：

电子邮箱

联系电话：

目 录

表 1	项目基本情况	- 1 -
表 2	放射源	- 5 -
表 3	非密封放射性物质	- 5 -
表 4	射线装置	- 6 -
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	- 7 -
表 6	评价依据	- 8 -
表 7	保护目标与评价标准	- 11 -
表 8	环境质量和辐射现状	- 19 -
表 9	项目工程分析与源项	- 24 -
表 10	辐射安全与防护	- 33 -
表 11	环境影响分析	- 43 -
表 12	辐射安全管理	- 61 -
表 13	结论与建议	- 65 -
表 14	审批	- 71 -
附图 1	沭阳医院扩建放射性核素诊断项目地理位置示意图	- 72 -
附图 3	沭阳医院（本部）医技楼一楼平面布局示意图	- 74 -
附图 4	沭阳医院（本部）医技楼二楼平面布局示意图	- 75 -
附图 5	沭阳医院（本部）医技楼负一楼平面布局示意图	- 76 -
附图 6	沭阳医院（本部）本项目所在核医学科平面布局和辐射防护分区示意图	- 77 -
附图 7	沭阳医院（本部）医技楼一楼 B 区核医学科排风/新风管道布设示意图	- 78 -
附图 8	沭阳医院（本部）医技楼一楼 B 区核医学科专用下水管道布设示意图	- 79 -
附图 9	本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图	- 80 -
附图 10	本项目与江苏省环境管控单元位置关系图	- 81 -
附件 1	项目委托书	- 82 -
附件 2	非密封放射性物质、射线装置使用承诺书	- 83 -
附件 3	辐射安全许可证	- 84 -
附件 4	辐射环境现状监测报告	- 91 -
附件 5	医院现有核技术利用项目情况一览表	- 100 -

表 1 项目基本情况

建设项目名称		扩建放射性核素诊断项目			
建设单位		沐阳医院（统一社会信用代码			
法人代表			联系人		联系电话
注册地址		江苏省沐阳县沐城镇迎宾大道 9 号			
项目建设地点		江苏省沐阳县沐城镇迎宾大道 9 号 (沐阳医院本部医技楼一楼 B 区核医学科)			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)			项目环保总投资 (万元)		投资比例（环保 投资/总投资）
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其他			占地面积 (m ²)
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☐ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☐ 乙 ☒ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☐ II 类 ☒ III 类		
	其他	/			
	项目概述： 一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来 沐阳医院暨徐州医科大学附属沐阳医院（以下简称医院），成立于 1936 年，现已发展成包括院本部、贤官分院和城西分院在内的集团化医疗机构，是苏北地区规模较大的三级乙等综合医院。沐阳医院（本部）位于江苏省沐阳县沐城镇迎宾大道 9 号。 为提高医院整体医疗水平，满足患者就医需求，医院拟在院本部的医技楼一楼 B				

区新建核医学科，拟建成丙级非密封放射性物质工作场所，配置 1 台 PET/CT（型号为：uMI 780，最大管电压 140kV，最大管电流 833mA，属 III 类射线装置），拟使用放射性核素 ^{18}F 配合 PET/CT 开展核素显像诊断。

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，该项目需进行环境影响评价工作。依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部部令第 16 号），本项目扩建放射性核素诊断项目，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。受沭阳医院的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位扩建放射性核素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。该医院扩建放射性核素诊断项目情况见下表：

表 1-1 沭阳医院（本部）扩建放射性核素诊断项目情况一览表

非密封放射性物质						
序号	核素	用途	单个病人最大用量 (mCi/人·次)/用药方式	日最大病人量 (人)	年最大病人量 (人)	日最大操作量 (Bq)
1	¹⁸ F	核素显像	10（静脉注射）	15	3750	5.55×10 ⁹
		源的贮存	日最大备药量：4×5.55×10 ⁹ Bq=2.22×10 ¹⁰ Bq 年最大备药量：2.22×10 ¹⁰ Bq×250 工作日=5.55×10 ¹² Bq			

射线装置									
序号	射线装置 名称型号	数量	最大管电 压（kV）	最大管电 流（mA）	射线装 置类别	工作场所 名称	使用 情况	环评及审 批情况	备注
1	PET/CT (uMI 780)	1	140	833	III	医技楼一楼 B 区核医学科	未使用	本次环评 尚未许可	/

二、项目选址情况

沭阳医院（本部）位于江苏省沭阳县沭城镇迎宾大道 9 号，医院东侧为瑞声大道，南侧为迎宾大道，西侧为汇峰路，北侧为富园悦府。医技楼位于院内南部，东侧为院内道路，南侧为门诊楼，西侧为院内道路，北侧为住院楼。本项目地理位置示意图见附图 1，沭阳医院（本部）总平面布置和周围环境示意图见附图 2。

本次拟扩建放射性核素诊断项目设置于院本部医技楼一楼 B 区新建的核医学科

内。本项目核医学科南侧、北侧均为室外花园，东侧为配电房，西侧为室内医疗街，上方为窥镜中心，下方为地下车库。本项目核医学科平面布局及周围环境示意图见附图 3~附图 5。

本项目周围 50m 评价范围均位于医院内，无学校、居民区等环境敏感点。项目运行后的环境保护目标主要是核医学科辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、病患和其他公众等。

三、实践正当性分析

本项目的运行，可为病人提供多种医疗诊断和治疗服务，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。

四、“三线一单”相符性分析

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。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；根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。因此本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。本项目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；根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题，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 6。

五、原有核技术利用项目许可情况

沭阳医院目前已取得辐射安全许可证，证书编号为苏环辐证[01343]，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：2027 年 11 月 01 日。医院辐射安全许可证正副本见附件 3。医院原有核技术利用项目均已履行环保手续，原有核技术利用项目详

见附件 5。

院本部原有核医学科位于病房楼负一楼，已许可使用非密封放射性物质（Tc-99m、Sr-89、Mo-99、I-131、F-18），为乙级非密封放射性物质工作场所。

表 2 放射源

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

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动 种类	实际日最大 操作量 (Bq)	日等效最大 操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	¹⁸ F	液态/低毒	使用	5.55×10 ⁹	7.77×10 ⁶	5.55×10 ¹²	核素诊断	很简单操作 (注射)/ 源的贮存	医技楼一楼 B区核医学科	按需订购,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	uMI 780	140	833	医疗诊断	医技楼一楼 B 区核医学科 PET/CT 扫描间	本次环评
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
沾有放射性核素的注射器、手套、擦拭废纸等	固体	^{18}F	/	约 9kg	约 109kg	/	存放于专用放射性废物铅桶暂存间（废物库）	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， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理
含放射性核素的卫生间下水及清洗废水	液体	^{18}F	/	约 6m^3	约 72m^3	/	流入衰变池中	暂存时间超过 30 天后可直接解控排放
含有液态放射性药物取药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放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，臭氧在常温条件下可自然分解为氧气
废活性炭	固体	^{18}F	/	少量	少量	/	更换后暂存在放射性废物暂存间（废物库）	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， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理

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/kg 或 Bq/m^3 ）和活度（ Bq ）。

表 6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》（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； (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 第二十四号，2018年12月29日发布施行； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令 第六号，2003年10月1日起实施； (4) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令 第449号，2005年12月1日起施行；2019年修改，国务院令 第709号，2019年3月2日施行； (5) 《建设项目环境保护管理条例》（修订版），国务院令 第682号，2017年10月1日发布施行； (6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正本），生态环境部部令 第20号，2021年1月4日起施行； (7) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），生态环境部令第16号，2021年1月1日起施行； (8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令 第18号，2011年5月1日起施行； (9) 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会，公告2017年 第66号，2017年12月5日起施行； (10) 《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； (11) 《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； (12) 《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； (13) 《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；
------	--

	(14) 《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； (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10月25日发布； (16) 《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； (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》，生态环境部公告 2019年 第57号，2019年12月24日发布； (18) 《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； (19) 《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； (20) 《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187号，2021年5月28日发布； (21) 《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； (22) 《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； (23) 《江苏省辐射事故应急预案》（2020年修订版），苏政办函〔2020〕26号，2020年2月19日发布； (24) 《产业结构调整指导目录（2019年本）》（2021年修改），国家发展和改革委员会2021年令 第49号，2021年12月30日起施行。
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) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）； (3) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）； (4) 《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）； (5) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）； (6) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）； (7) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；

	(8) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》 (GB 12523-2011) ; (9) 《电离辐射监测质量保证通用要求》 (GB 8999-2021) ; (10) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》 (HJ 2.1-2016) ; (11) 《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) ; (12) 《辐射环境监测技术规范》 (HJ 61-2021) ; (13) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》 (HJ 1157-2021) 。
其他	附图: (1) 沭阳医院扩建放射性核素诊断项目地理位置示意图 (附图 1) ; (2) 沭阳医院 (本部) 总平面布置和周围环境示意图 (附图 2) ; (3) 沭阳医院 (本部) 医技楼一楼平面布局示意图 (附图 3) ; (4) 沭阳医院 (本部) 医技楼二楼平面布局示意图 (附图 4) ; (5) 沭阳医院 (本部) 医技楼负一楼平面布局示意图 (附图 5) ; (6) 沭阳医院 (本部) 本项目所在核医学科平面布局和辐射防护分区示意图 (附图 6) ; (7) 沭阳医院 (本部) 医技楼一楼 B 区核医学科排风/新风管道布设示意图 (附图 7) (8) 沭阳医院 (本部) 医技楼一楼 B 区核医学科专用下水管道布设示意图 (附图 8) (9) 本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图 (附图 9) ; (10) 本项目与江苏省环境管控单元位置关系图 (附图 10) 。 附件: (1) 项目委托书 (附件 1) ; (2) 非密封放射性物质、射线装置使用承诺书 (附件 2) ; (3) 辐射安全许可证正本复印件 (附件 3) ; (4) 辐射环境现状监测报告附公司检测资质 (附件 4) ; (5) 医院现有核技术利用项目情况一览表 (附件 5) 。

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”的规定，结合本项目的特点，确定本项目评价范围为扩建放射性核素诊断项目工作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。本项目周围 50m 评价范围均位于医院内，无学校、居民区等环境敏感点。项目运行后的环境保护目标主要是项目辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、病患和其他公众等，详见表 7-1。

表 7-1 本项目保护目标一览表

保护对象类型	场所	环境保护目标	方位/位置	距本项目最近距离	人员规模
辐射工作人员	医技楼一楼 B 区核医学科	核医学科工作人员	核医学科工作场所内	/	约 4 人
评价范围内公众	医技楼	医护人员	工作场所四周及上下	约 2m	约 20 人
		病患、其他公众			约 150 人
	住院楼 B 区	医护人员	医技楼北侧	约 40m	约 15 人
		病患、其他公众			约 50 人
	门急诊楼 B 区	医护人员、病患、其他公众	医技楼南侧	约 40m	流动人员
					流动人员
	室外花园和院内道路	医护人员、病患、其他公众	医技楼四周	约 10m	流动人员

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。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；根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。因此本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

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 剂量限值	应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： ①由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量，20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv； ③眼晶体的年当量剂量，150mSv； ④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。
公众照射 剂量限值	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，1mSv； ②特殊情况下，如果5个连续年的年平均剂量不超过1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv。

剂量约束值通常应在公众照射剂量限值10%~30%（即0.1mSv/a~0.3 mSv/a）的范围之内。

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

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 工作场所放射性表面污染控制水平 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	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 ⁻¹	4	4
工作服、手套、 工作鞋	控制区	4×10 ⁻¹	4×10 ⁻¹	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻²	4×10 ⁻²	4×10 ⁻¹

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、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

6.1 屏蔽要求

6.1.5 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。

6.1.6 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 2.5μSv/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 25μSv/h。

6.2 场所安全措施要求

6.2.1 核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，室内地面与墙壁衔接处应无接缝，易于清洗、去污。

6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。

6.2.3 操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，应采取相应的去污措施。

6.2.4 放射性物质应贮存在专门场所的贮存容器或保险箱内，定期进行辐射水平监测，无关人员不应入内。贮存的放射性物质应建立台账，及时登记，确保账物相符。

6.3 密闭和通风要求

6.3.1 核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。

6.3.5 通风橱应有足够的通风能力。制备放射性药物的回旋加速器工作区域、碘-131 治疗病房以及设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 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 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 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 24 小时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 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；
- c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

- a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；
- b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 $1\text{Bq}/\text{L}$ 、总 β 不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$ 、碘-131 的放射性活度浓度不大于 $10\text{Bq}/\text{L}$ 。

7.3.3.2 对于推流式衰变池贮存方式，所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，碘-131 和最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 GB 18871 附录 A 表 A1 的要求。

7.3.3.3 放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。

8.2 工作场所监测

8.2.2 核医学工作场所辐射监测点位、内容和频次应包括但不限于表 1 的内容。

表 1 核医学工作场所辐射监测关注点位

监测内容	监测点位	监测频次
辐射水平	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	不少于次/月
表面放射性污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）

5、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）：

5.2 放射防护设施要求

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

5.2.2 应依据计划操作最大量放射性核素的加权活度对开放性放射性核素工作场所进行分类管理，把工作场所分为I、II、III三类。不同类别核医学工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求见表 1，核医学工作场所分类的加圈活度计算方法见附录 G。

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

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

^a 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。

^b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

5.2.3 核医学工作场所的通风按表 1 要求，通风系统独立设置，应保持核医学工作场所良好的通风条件，合理设置工作场所的气流组织，遵循自非放射区向监督区再向控制区的流向设计，保持含放射性核素场所负压以防止放射性气体交叉污染，保证工作场所的空气质量。合成和操作放射性药物所用的通风橱应有专门的排风装置，风速应不小于 0.5m/s。排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置，排出空气浓度应达到环境主管部门的要求。

5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，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 $25\mu\text{Sv/h}$ ；同时在该场所及周围的公众和放射工作人员应满足个人剂量限值要求。屏蔽计算中所涉及的常用放射性药物理化特性参见附录 H。PET 相关房间的辐射屏蔽计算方法和示例参见附录 I。自屏蔽回旋加速器机房的屏蔽计算方法由回旋加速器在所有工作条件下所产生中子的最大通量（取决于加速器的类型、能量、粒子类型以及使用的靶等）决定。

6、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

6 X 射线设备机房防护设施的技术要求

6.1 X 射线设备机房布局

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；每台牙椅独立设置诊室的，诊室内可设置固定的口内牙片机，供该设备使用，诊室的屏蔽和布局应满足口内牙片机机房防护要求。

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 ^d m^2	机房内最小单边长度 ^e m
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5

6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）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 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

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 X 射线设备工作场所防护

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 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

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服。

6.5.3 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于2mmPb。

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0.5mmPb。

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）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）确定本项目的管理目标，本项目剂量约束值为：职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超 0.1mSv。

距核医学科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 2.5 μ Sv/h；放射性药物取药的通风橱、注射窗外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h。

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平要求见下表：

表面类型		β 放射性物质 (Bq/cm ²)
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4 $\times$ 10
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4
	监督区	
手、皮肤、内衣、工作袜		4 $\times$ 10 ⁻¹

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) ICRP103 号出版物，2007 年，国际放射防护委员会。
- (4) 《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	115.1
标准差 (s)	7.0	16.3
评价时参考范围取均值 $\pm$ 3s		
(均值 $\pm$ 3s) *	58.5~100.5	66.2~164.0

*：评价时参考范围

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

沭阳医院（本部）位于江苏省沭阳县沭城镇迎宾大道 9 号，医院东侧为瑞声大道，南侧为迎宾大道，西侧为汇峰路，北侧为富园悦府。

医院拟将医技楼一楼 B 区的综合服务大厅拆除，新建一个核医学科。本次拟扩建放射性核素诊断项目设置于新建的核医学科内。医技楼位于院内南部，东侧为院内道路，南侧为门诊楼，西侧为院内道路，北侧为住院楼。新建的核医学科南侧、北侧均为室外花园，东侧为配电房，西侧为室内医疗街，上方为窥镜中心，下方为地下车库。

本项目周围 50m 评价范围均位于医院内，无学校、居民区等环境敏感点。项目运行后的环境保护目标主要是核医学科辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、病患和其他公众等，项目选址可行。本项目周边环境现状见图 8-1~图 8-7。



图 8-1 拟扩建放射性核素诊断项目东侧



图 8-2 拟扩建放射性核素诊断项目南侧



图 8-3 拟扩建放射性核素诊断项目西侧



图 8-4 拟扩建放射性核素诊断项目北侧



图 8-5 拟扩建放射性核素诊断项目楼上



图 8-6 拟扩建放射性核素诊断项目楼下

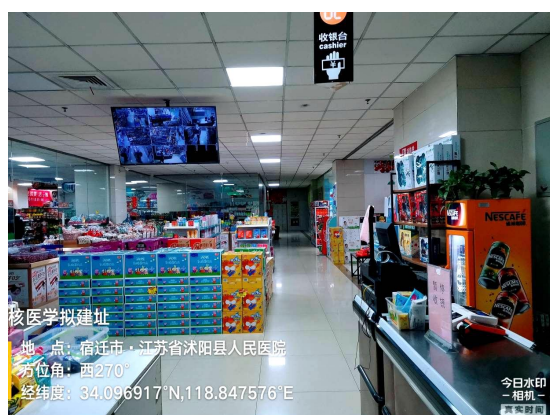


图 8-7 扩建放射性核素诊断项目拟建址内

二、辐射环境现状调查

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于医院扩建放射性核素诊断项目拟建址周围进行布点，测量辐射现状剂量率，监测结果见表 8-1~表 8-2，监测点位示意图见图 8-8~图 8-9。

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 4）

监测日期：2022 年 12 月 7 日

监测因子： γ 辐射剂量率、 β 表面污染水平

天气：多云

温度：（4~12）℃

湿度：（55~70）%RH

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

质量控制：本项目监测单位南京瑞森辐射技术有限公司已通过计量认证（证书编

号：221020340350，检测资质见附件4），具备有相应的检测资质和检测能力，监测按照南京瑞森辐射技术有限公司《质量管理手册》和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求，实施全过程质量控制。

数据记录及处理：开机预热，手持仪器。一般保持仪器探头中心距离地面（基础面）为1m。仪器读数稳定后，每个点位读取10个数据，读取间隔不小于10s。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差。空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），使用¹³⁷Cs作为检定/校准参考辐射源时，换算系数取1.20Sv/Gy。

监测人员、监测仪器及监测结果：监测人员均经过考核，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。

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。

1、γ辐射剂量率

检测仪器：6150 AD 6/H+6150 AD-b/H 型 X-γ辐射监测仪（设备编号：NJRS-126，检定有效期：2022年11月14日~2023年11月13日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2022-0109288）

能量响应：20keV~7MeV

测量范围：1nSv/h~99.9μSv/h

表 8-1 沭阳医院（本部）扩建放射性核素诊断项目拟建址周围现状辐射剂量率

测点编号	测点描述	测量结果（nGy/h）
1	扩建放射性核素诊断项目拟建址内	92
2	扩建放射性核素诊断项目拟建址西侧	97
3	扩建放射性核素诊断项目拟建址东侧	72
4	扩建放射性核素诊断项目拟建址南侧	81
5	扩建放射性核素诊断项目拟建址北侧	60
6	扩建放射性核素诊断项目拟建址楼上	107
7	扩建放射性核素诊断项目拟建址楼下	85

注：1.测量结果已扣除宇宙射线响应值；

2.拟建址内为综合服务大厅，不涉及辐射工作场所。

由表 8-1 监测结果可知，沭阳医院（本部）扩建放射性核素诊断项目拟建址周围周围环境 γ 辐射剂量率为 60nGy/h~107nGy/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区间。



图 8-8 沭阳医院（本部）扩建放射性核素诊断项目拟建址周围环境 γ 辐射监测点位示意图

2、 β 表面污染水平

检测仪器：CoMo 170 型 α 、 β 表面污染测量仪（设备编号：NJRS-129，检定有效期：2022 年 4 月 10 日~2023 年 4 月 9 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：检定字第 202204002138 号）

测量范围：0cps~20000cps

表 8-2 沭阳医院（本部）扩建放射性核素诊断项目拟建址周围 β 表面污染水平

测点编号	测点描述	测量结果 (Bq/cm ²)
1	扩建放射性核素诊断项目拟建址东侧地面	<0.02
2	扩建放射性核素诊断项目拟建址南侧地面	<0.02
3	扩建放射性核素诊断项目拟建址西侧地面	<0.02
4	扩建放射性核素诊断项目拟建址北侧地面	<0.02

5	扩建放射性核素诊断项目拟建址中部地面	<0.02
---	--------------------	-------

注：1.β表面放射性污染水平仪器探测下限（LLD）为 0.02Bq/cm²。

2.拟建址内为综合服务大厅，不涉及辐射工作场所。

由表 8-2 监测结果可知，沭阳医院（本部）扩建放射性核素诊断项目拟建址周围β表面污染水平均小于 0.02Bq/cm²。

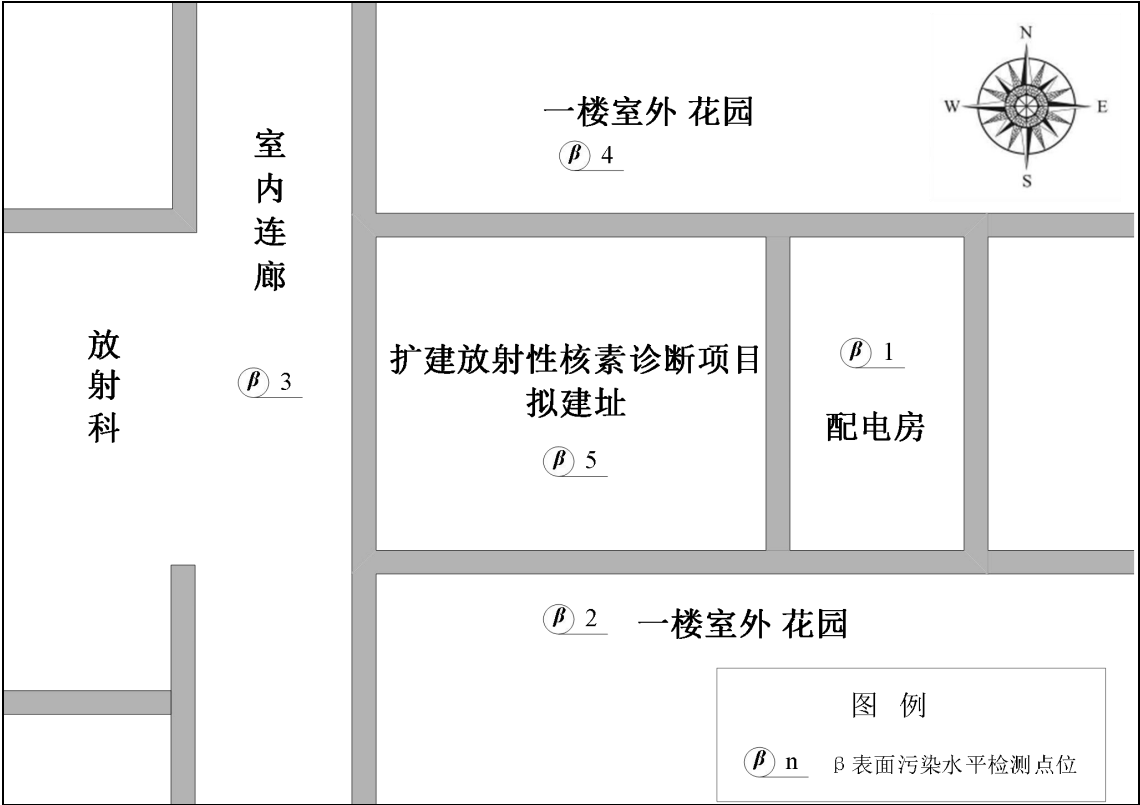


图 8-9 沭阳医院（本部）扩建放射性核素诊断项目拟建址周围β表面污染水平监测点位示意图

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

沭阳医院（本部）拟在医技楼一楼 B 区新建核医学科，拟建成丙级非密封放射性物质工作场所，配置 1 台 PET/CT（型号为：uMI 780，最大管电压 140kV，最大管电流 833mA，属 III 类射线装置），拟使用放射性核素 ^{18}F 配合 PET/CT 开展核素显像诊断

PET/CT 是将 PET 与 CT 融为一体，由 PET 提供病灶详尽的功能与代谢等分子信息，而 CT 提供病灶的精确解剖定位。PET 系统的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。探测系统是整个正电子发射显像系统中的主要部分，它采用的块状探测结构有利于消除散射、提高计数率。CT 主要有扫描部分、计算机系统、图像显示和存储系统组成，其中扫描部分由 X 线管、探测器和扫描架组成。PET/CT 外观和结构示意图见图 9-1~图 9-2。



图 9-1 常见的 PET/CT 外观图

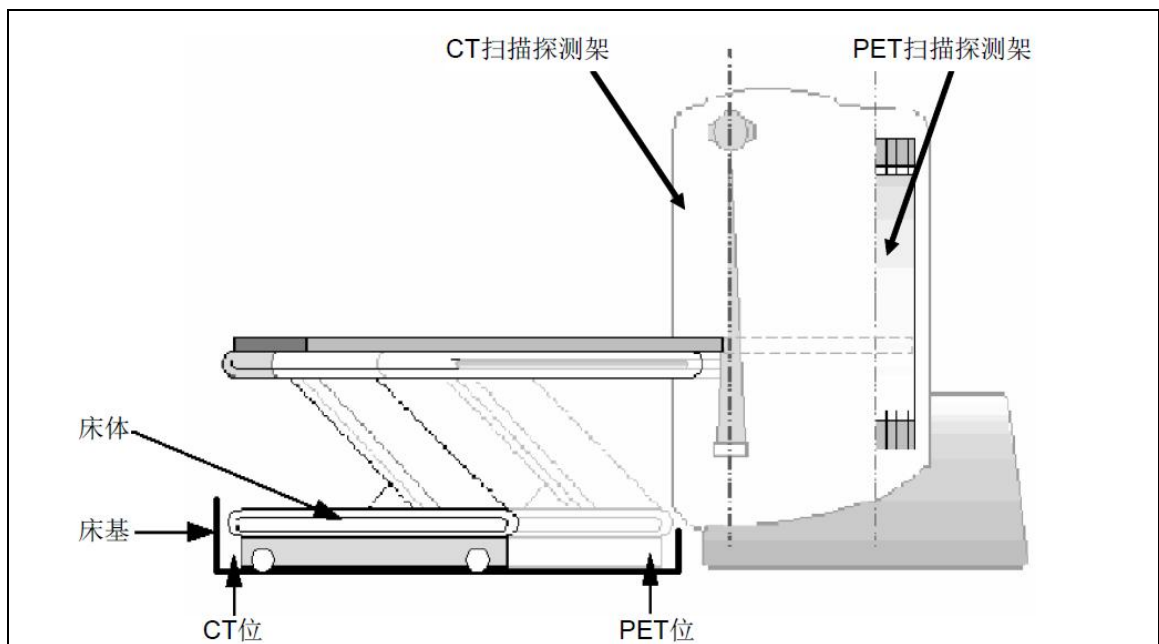


图 9-2 PET/CT 结构示意图

本次扩建放射性核素诊断项目使用放射性同位素 ^{18}F 开展 PET/CT 显像诊断，拟新增的辐射项目见表 9-1。

表 9-1 扩建放射性核素诊断项目情况一览表

非密封放射性物质			
^{18}F	日最大用量	单次使用平均量 $10\text{mCi} \times \text{日最高峰 } 15 \text{ 人} = 5.55 \times 10^9 \text{Bq}$	核素显像
	年总用量	单次使用平均量 $10\text{mCi} \times \text{日最高峰 } 15 \text{ 人} \times 250 \text{ 工作日} = 1.39 \times 10^{12} \text{Bq}$	
	日最大用量	日最大备药量: $4 \times 5.55 \times 10^9 \text{Bq} = 2.22 \times 10^{10} \text{Bq}$	源的贮存
	年总用量	年最大备药量: $2.22 \times 10^{10} \text{Bq} \times 250 \text{ 工作日} = 5.55 \times 10^{12} \text{Bq}$	

射线装置

序号	射线装置名称	装置型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	射线装置类别	活动种类	备注
1	PET/CT	uMI 780	140	833	III	使用	拟购

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 ^{18}F 相关活动视为“很简单的操作”，同时查阅 GB 18871-2002 得到 ^{18}F 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。

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。沐阳医院（本院）扩建放射性核素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 PET/CT 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	注射	日最大操作量（5.55×10 ⁹ Bq）×0.01（低毒）/10（液态/很简单操作）=5.55×10 ⁶ Bq
		源的贮存	日最大操作量（2.22×10 ¹⁰ Bq）×0.01（低毒）/100（液态/源的贮存）=2.22×10 ⁶ Bq
合计			7.77×10 ⁶ Bq

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）非密封源工作场所的分级原则，结合表 9-4 计算结果可知本次扩建放射性核素诊断项目核医学诊断工作场所日等效最大操作量为 $7.77 \times 10^6 \text{Bq}$ ，属于“豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$ ” Bq，确定

本次新增的工作场所为丙级非密封放射性物质工作场所。

二、工作原理及工作流程

1、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的自由电子碰撞湮灭, 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。

2、工作流程及产污环节

沭阳医院 (本部) 扩建放射性核素诊断项目所使用的 ^{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, 确定当天的病人数量, 提前向制药公司预订所需的日最大备药量, 制药公司在患者就诊前将分装好的药物送到核医学科的注射室内, 核医学科指定专人负责药物的接收和登记, 并暂存到注射室铅通风橱内, 当天用完。

患者按预约日期到达核医学科大厅，在大厅内接受宣讲和告知，之后进行注射前埋针，埋针后进入患者通道内的注射窗口。医护人员在铅通风橱内从装有药物的铅罐中取出患者所需药物，装至带铅套的注射器内，经校对无误后，在注射窗口为病人注射。注射完毕后的注射器放入专用废物铅桶内。每次取药过程中近距离接触正电子药物的时间保守按 1min、注射过程按 1min 估算。

PET/CT 诊断具体工作流程如下：

- ①接收患者，开具 PET/CT 诊断单并告知患者诊断过程存在辐射危害；
- ②医生根据病情确定使用核素的剂量；与患者预约，按需订购放射性药物；
- ③病人先进行埋针，然后通过注射将放射性药物摄入。在药品摄入过程中存在 γ 射线污染，同时会产生放射性废水、固废(注射器、棉球、药品盒)；
- ④病人注射完药物后进入注射后候诊室内等待观察(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，从病人专用通道离开。此过程病人带有 γ 射线。

PET/CT 诊断工作流程及产污环节分析见图 9-3。

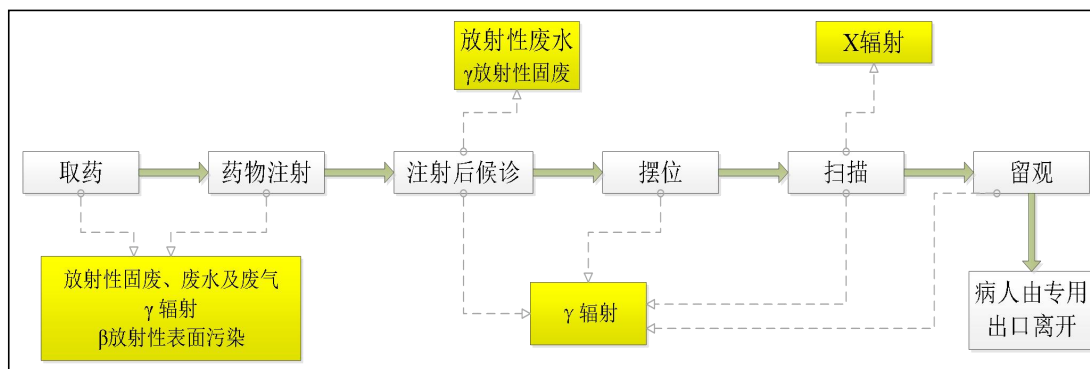


图 9-3 PET/CT 工作流程及产污环节分析示意图

因此，用 ^{18}F 进行 PET 显像主要环境影响为取药、注射对工作人员产生的外照射；注射过程对工作台面、地面等造成的表面污染；操作过程产生的放射性固体废物，如使用放射性药物的注射器、注射针头、可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物；操作过程产生的放射性废水，如洗涤废水、注射放射性药物患者的排泄物；PET/CT 扫描时产生的 X 射线。

3、核医学科人流、物流路径规划

本次扩建放射性核素诊断项目的核医学科工作场所控制区和监督区内患者及医

护人员均具有独立的出入口和流动路线，能够有效防止交叉污染，避免工作人员、公众受到不必要的外照射。核医学科工作场所布局及患者、医护人员流动路线见图 9-4。

医护人员路径：1、核素操作人员从核医学科大厅门 M1 进入缓冲间，经卫生通过间向东进入注射室等，工作完成后原路返回；2、PET/CT 操作人员由核医学科大厅门 M2 进入，到达控制廊操作位，进行扫描操作，工作完成后原路返回。

患者路径：患者从核医学科大厅门 M3 进入，在注射窗口接受给药后由患者通道向东依次经过 PET/CT 注射后候诊室、PET/CT 扫描间（机房）、留观室，最后从核医学科东北角患者专用出口（门 M4）离开核医学科，此出口通至室外花园，避开人员密集处。

放射性药物路径： ^{18}F 放射性药物由厂商在患者受检前，从核医学科大厅门 M3 进入，通过门 M5 送入注射室内，铅罐原路返回。

废物路径：每日放射性核素诊断项目患者离开后，产生的放射性废物从各房间收集后，经患者通道、注射室集中到放射性废弃物库中，分别标记、分开贮存，在放射性废物暂存间（废物库）中的铅桶内自然衰变 30 天后，从患者专用出口送出。

按照《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中相关要求：核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷；核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间；操作放射性药物的控制区出口应配有表面污染监测仪器，从控制区离开的人员和物品均应进行表面污染监测。

本次扩建放射性核素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开展，减少了人员的流动性，有助于实施工作程序；医护人员与患者有各自独立的通道；注射室与检查室分开，给药后候诊室内设置有患者专用卫生间。医院拟采取向患者发放告知单及叫号等措施，避免患者在核医学科工作场所内的随意走动，减少患者间的交叉而受到额外的辐射影响。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。本项目丙级非密封放射性物质工作场所布局满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中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》（GB 11930-2010）要求。

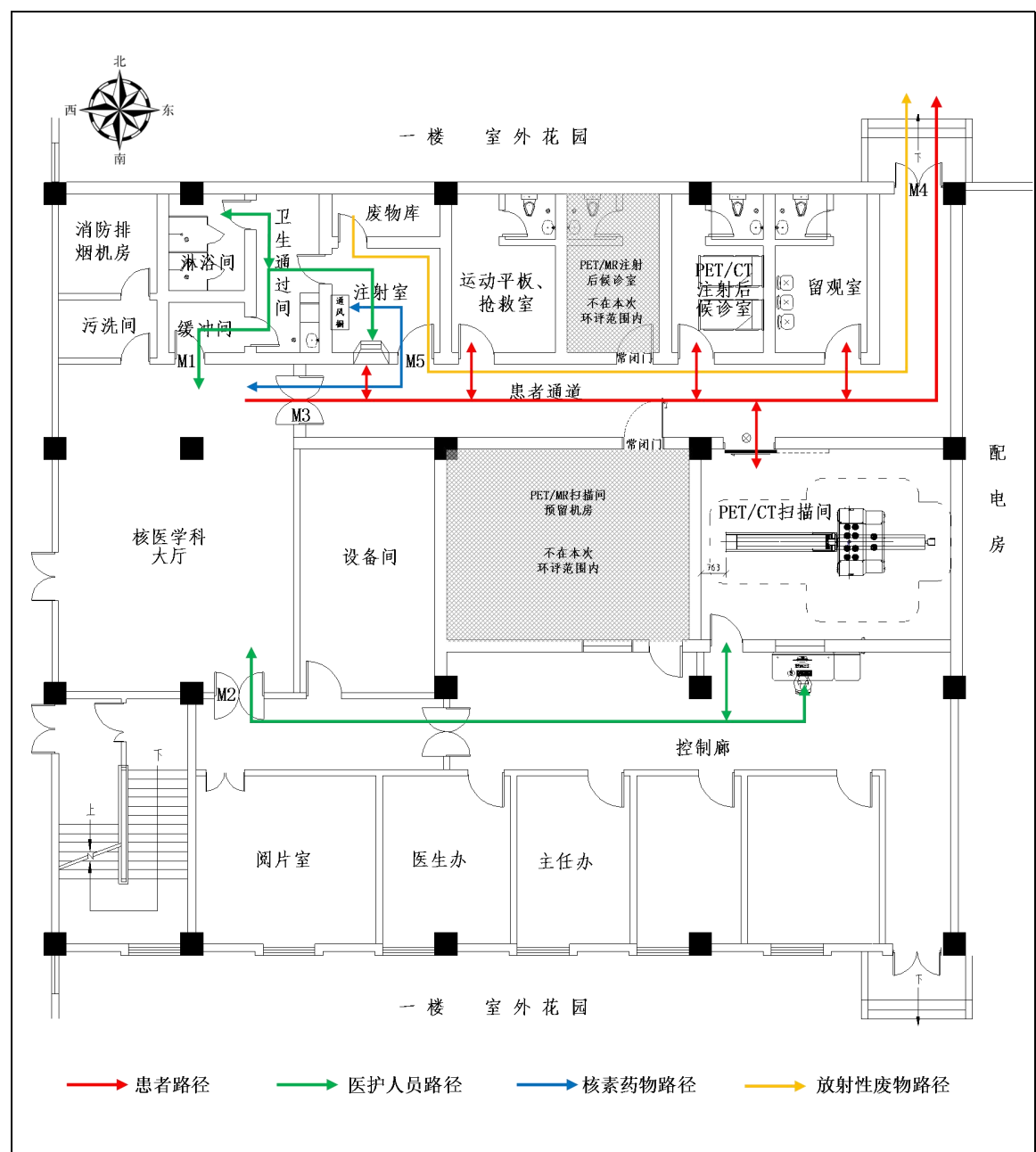


图 9-4 核医学科工作场所布局及病人、医护人员流动路线图

污染源项描述

一、放射性污染

1、辐射

PET/CT 扫描时产生的 X 射线，能量最大为 140kV；PET 显像检查用 ^{18}F 放射性核素为 β^+ 衰变，在取药、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中会产生能量约为 0.63MeV 的 β 射线，衰变时同时伴随发射能量为 0.511MeV 的 γ 射线，以上射线会造成医务人员和公众的外照射；在进行 ^{18}F 放射性核素操作过程中，引起操作台面、设备、墙壁、地面、工作服、手套等放射性沾污，造成 β 放射性表面污染。

本次扩建放射性核素诊断项目拟使用的放射性核素种类及其特性见表 9-5。

表 9-5 放射性核素特性一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	α/β 最大能量 (MeV)	光子能量 (MeV)	周围剂量率当量率常数 (裸源) ^① ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)
^{18}F	109.8min	β^+ , EC	0.63 (+)	0.511	0.143

注：该数据来源于《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）。

PET/CT 扫描时 CT 发出能量最大为 140kV 的 X 射线，其贯穿能力远弱于放射性核素发出的 γ 射线，在 γ 射线得到充分屏蔽的条件下，CT 发出的 X 射线也能够得到足够的屏蔽。 β 射线穿透能力较弱，对周围环境影响很小，其对周围环境的辐射影响较放射性核素可忽略不计。而放射性核素衰变过程中产生的 γ 射线穿透能力较强，会对工作场所及周围环境产生一定的外照射影响。故本项目主要考虑放射性核素发出的 γ 射线的辐射影响。

2、放射性废气

^{18}F 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 0.5m/s，排放口高于本建筑屋脊），开放液面挥发散逸的放射性同位素经通风系统内活性炭过滤后，从通风橱的通风管道直接抽出，由屋顶排放；整个核医学科工作场所均拟设置新风系统，保证工作场所内空气循环。

3、放射性废水

^{18}F 放射性核素在操作过程中产生的放射性废水包括：工作人员操作过程手部受

到微量污染的清洗废水，工作场所清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水，以及体内含有放射性核素的患者冲洗排使用水。PET/CT 诊断项目日接诊量最大为 15 人次，放射性废水产生量按 10L/人次计算，工作场所每天的清洗废水约为 50L，则放射性废水排放量为 200L/d（10L/人×15 人/d+50L/d）。

4、放射性固体废物

¹⁸F 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，通风管道内更换下来的废活性炭，污染途径为操作过程中及收集固废过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射。PET/CT 诊断项目日接诊量最大为 15 人次，放射性固体废物产生量按 0.02kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为 0.3kg/d（0.02kg/人×15 人/d）。

二、非放射性污染

1、废气

PET/CT 机房内的空气在 X 射线、γ射线作用下，分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入大气，臭氧常温下可自行分解为氧气，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，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作场所布局及分区

本项目拟在本部医技楼一楼 B 区新建核医学科，拟建成丙级非密封放射性物质工作场所，配置 1 台 PET/CT(型号为：uMI 780，最大管电压 140kV，最大管电流 833mA，属Ⅲ类射线装置)，拟使用放射性核素 ^{18}F 配合 PET/CT 开展核素显像诊断。

沭阳医院本次扩建放射性核素诊断项目将注射室、放射性废物暂存间（废物库）、运动平板抢救室、PET/CT 注射后候诊室、PET/CT 扫描间、留观室、患者通道、衰变池等作为辐射防护控制区，将控制廊、设备间、缓冲间、淋浴间、卫生通过间等作为辐射防护监督区。本部医技楼一楼 B 区核医学科平面布局及辐射防护分区见附图 6。

本次扩建放射性核素诊断项目所在的核医学科工作场所位于医技楼一楼 B 区，整个诊断工作场所相对独立，与其他科室有明显的界限；人流及物流具有相对的独立通道，且出入口避开了人流量较大的区域，避免了对公众不必要的照射。

本项目辐射工作场所符合工作要求且有利于辐射防护和环境保护进行布局，功能分区明确，既能有机联系，又不互相干扰，且最大限度避开了人流量较大的门诊区或其它人流活动区；在设计阶段，辐射工作场所进行了合理的优化布局，同时兼顾了病人就诊的方便性，从辐射安全和防护角度分析，其总平面布局合理，满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中关于临床核医学工作场所的要求以及《核医学防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）的标准要求。

二、工作场所分级和分类

本项目核医学科工作场所为开放性工作场所，应按《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的要求进行分类，核医学工作场所分类见表 10-1，核医学常用放射性核素的毒性权重因子见表 10-2，不同操作性质的修正因子见表 10-3。

表 10-1 核医学工作场所分类一览表

分类	日操作最大量放射性核素的加权活度（MBq）
I	>0000
II	50~50000

III		<50	
表 10-2 核医学常用放射性核素的毒性权重因子			
类别	放射性核素		毒性权重因子
A	⁷⁵ Se、 ⁸⁹ Sr、 ¹²⁵ I、 ¹³¹ I、 ³² P、 ⁹⁰ Y、 ⁹⁹ Mo、 ¹⁵³ Sm		100
B	¹¹ C、 ¹³ N、 ¹⁵ O、 ¹⁸ F、 ⁵¹ Cr、 ⁶⁷ Ga、 ⁹⁹ Tc ^m 、 ¹²³ In、 ¹¹¹ In、 ¹¹³ In ^m 、 ²⁰¹ T		1
C	¹⁴ C、 ³ H、 ⁸¹ Kr ^m 、 ¹²⁷ Xe、 ¹³³ Xe		0.01

表 10-3 不同操作性质的修正因子	
操作方式和地区	操作性质修正因子
贮存	100
废物处理、烁法计数和显像、候诊区及诊断病床区	10
配药、分装以及施给药、简单放射性药物制备、治疗病床区	1
复杂放射性药物制备	0.1

加权活度按下式计算：

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

本项目核医学科核素使用情况见表 10-4，根据表 10-1 至表 10-3 及上式可算出各核素的加权活度及核医学科各功能房间的分类，详见表 10-4。

表 10-4 本项目核医学科工作场所分类情况					
工作场所		核素毒性权重因子	操作性质修正因子	日最大操作量加权活度（MBq）	场所类别
核医学科	注射室（贮存区）	1（ ¹⁸ F）	100	222	II
	注射室（注射区）	1（ ¹⁸ F）	1	5550	II
	PET/CT 扫描间	1（ ¹⁸ F）	10	555	II
	PET/CT 注射后候诊室	1（ ¹⁸ F）	10	555	II

本项目核医学科工作场所分类由表 10-4 可知，注射室、PET/CT 扫描间、PET/CT 注射后候诊室等均属于II类核医学工作场所。本项目核医学科工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护应根据表 10-5 的要求建造。

表 10-5 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

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

^a 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。

^b 洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

三、辐射防护屏蔽设计

根据医院提供的建设项目设计资料，该核医学科工作场所屏蔽设计如图 10-1，具体设计参数见表 10-6：

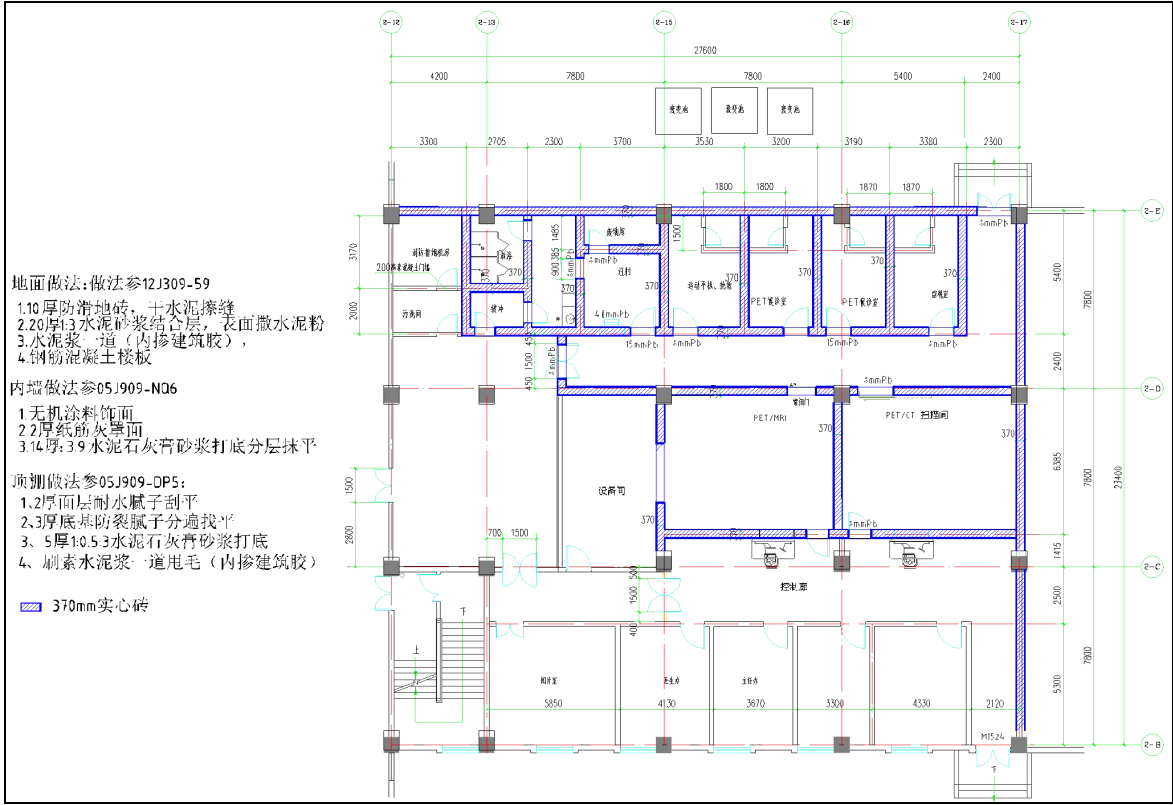


图 10-1 核医学科工作场所屏蔽设计图

表 10-6 扩建放射性核素诊断项目工作场所屏蔽设计一览表

工作场所	屏蔽设计参数（厚度及材质） ¹⁾				
	墙体	顶部	地面	防护门	观察窗
注射室	370mm 实心砖	170mm 砼+4mmPb	180mm 砼+20mm 硫酸钡水泥	东：8mmPb 南：15mmPb	40mmPb
放射性废物暂存间 （废物库）	370mm 实心砖	170mm 砼+4mmPb	180mm 砼+20mm 硫酸钡水泥	8mmPb	/
运动平板、抢救室	370mm 实心砖	170mm 砼+4mmPb	180mm 砼+20mm 硫酸钡水泥	8mmPb	/
PET/CT 扫描间	370mm 实心砖+8mmPb	170mm 砼+4mmPb	180mm 砼+40mm 硫酸钡水泥	8mmPb	8mmPb
PET/CT 注射后候诊室	370mm 实心砖	170mm 砼+4mmPb	180mm 砼+20mm 硫酸钡水泥	15mmPb	/
留观室	370mm 实心砖	170mm 砼+4mmPb	180mm 砼+20mm 硫酸钡水泥	8mmPb	/
患者通道	8mmPb	170mm 砼+4mmPb	180mm 砼+20mm 硫酸钡水泥	8mmPb	
衰变池	250mm 砼	250mm 砼	250mm 砼	检修口： 50mm 铸铁盖板	
通风橱	¹⁸ F 专用通风橱为 40mm 铅当量 ²⁾				

注：1、表中所列屏蔽材料密度为：混凝土 2.35g/cm³，铅 11.3g/cm³，实心砖 1.65g/cm³，硫酸钡水泥 4.7g/cm³；

2、¹⁸F 专用通风橱内药物最多 2.22×10¹⁰Bq（最大备药量），本项目通风橱不涉及分装，仅从贮源罐中取药，贮源罐本身自带 40mm 铅当量。

四、辐射安全措施

1、电离辐射警告标志

医院拟将本项目核医学科工作场所划分为控制区和监督区，在控制区入口处均拟设置有符合规范的电离辐射警告标志；

2、工作状态指示灯、闭门装置

PET/CT 机房门口拟设置工作状态指示灯，且工作状态指示灯与机房相通的门设置联锁装置，用于提示机房内设备的运行状态；平开机房门应设有自动闭门装置，推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施。

3、语音对讲、监控装置

医院拟在 PET/CT 机房与控制室内设置双向语音对讲装置和监控系统，且 PET/CT 机房控制台处安装有观察窗，在诊断过程中医务人员可以及时观察患者情况和与患者

交流，保证诊断质量和防止意外情况的发生。

4、对控制区内带药患者的监督管理

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

5、核医学科工作场所安全防护措施管理规定

医院拟将本项目注射室、放射性废物暂存间（废物库）、运动平板抢救室、PET/CT注射后候诊室、PET/CT扫描间、留观室、患者通道、衰变池、等作为辐射防护控制区，将控制廊、设备间、缓冲间、淋浴间、卫生通过间等作为辐射防护监督区。

工作人员离开控制区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。满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的相关要求。

6、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铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、剂量报警仪、个人剂量计等。

7、监视和对讲装置

医院拟在本项目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。

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，开展放射诊疗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。

沐阳医院已配备 1 台辐射巡测仪，拟为本项目增配 1 台表面沾污仪、3 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。

表 10-7 个人防护用品和辅助防护设置配置符合性

场所类型	分项		《核医学放射防护要求》 (GBZ120-2020) 要求	本项目拟采取措施
普通核医学科	工作人员	必备	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖	2 套铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜；2 套注射器铅防护套、防护提盒。
		选备	铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	
	患者或受检者		/	/

三废治理

一、放射性三废

本项目运行期产生的主要放射性三废为核医学工作场所使用非密封性同位素过程中产生的含放射性固废、放射性废水和含放射性核素气溶胶，核医学诊断工作场所拟采取以下“三废”防治措施。

(1) 含放射性核素气溶胶

注射室内的通风橱有独立排风管道，放射性药物的各项操作均在通风橱内进行，通风橱由专业厂商提供，根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“合成和操作放射性药物所用的通风橱，工作中应有足够风速（一般风速不小于 0.5m/s）”要求，医院购买的通风橱排风口处风速不得低于 0.5m/s；注射室、PET/CT 注射后候诊室、PET/CT 扫描间、留观室等均有排风管道连接，要确保非密封放射性物质工作为负压工作场所，工作场所各排风管道须密封良好，不与其他排风管道相通，通风管道布设如附图 7 所示。

医院拟在排风管道末端处配置高效排风过滤器+活性炭吸附装置二级处理设施，为保证过滤效率的有效性，建设单位需根据设备特性定期进行过滤器维护和校准，过滤器及活性炭需定期更换（1~2 次/年），更换后的废活性炭在放射性废物暂存间（废物库）内的铅桶中暂存，暂存时间超过 30 天满足排放标准后，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

沐阳医院本项目产生的废气将通过排风管引至本楼楼顶排放，排口高于楼屋房脊，排口不朝向周围高层建筑及周围环境保护目标，同时为防止公众进入楼顶，建设单位应将医技楼楼顶划为管控区域，并进行管理。

(2) 放射性废水

本项目核医学科产生的含放射性废水包括：工作人员操作过程手部受到微量污染的清洗废水，清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废水，以及患者冲洗排便用水。

本项目核医学科设置有独立的病人专用卫生间，且设置有独立的排水系统，并与本项目新建衰变池相连，该衰变池位于医技楼北侧地上，避开了人群集中活动区域。工作场所产生的放射性废水通过预埋好的管道排至本次新建的衰变系统内，本项目核医学科内大部分下水管道位于建筑体内，对于少部分外露管道将采用铅皮进行包裹，尽量减小对公众的辐射影响。

来自注射室和注射后病人专用厕所的放射性废水，含有 ^{18}F 放射性核素，由独立下水管道（详见附图 8）统一集中到医技楼北侧地上的衰变池（结构示意见图 10-2、图 10-3）中，暂存衰变 30 天后可直接解控排放至流入医院污水处理系统作为医疗废水处理。

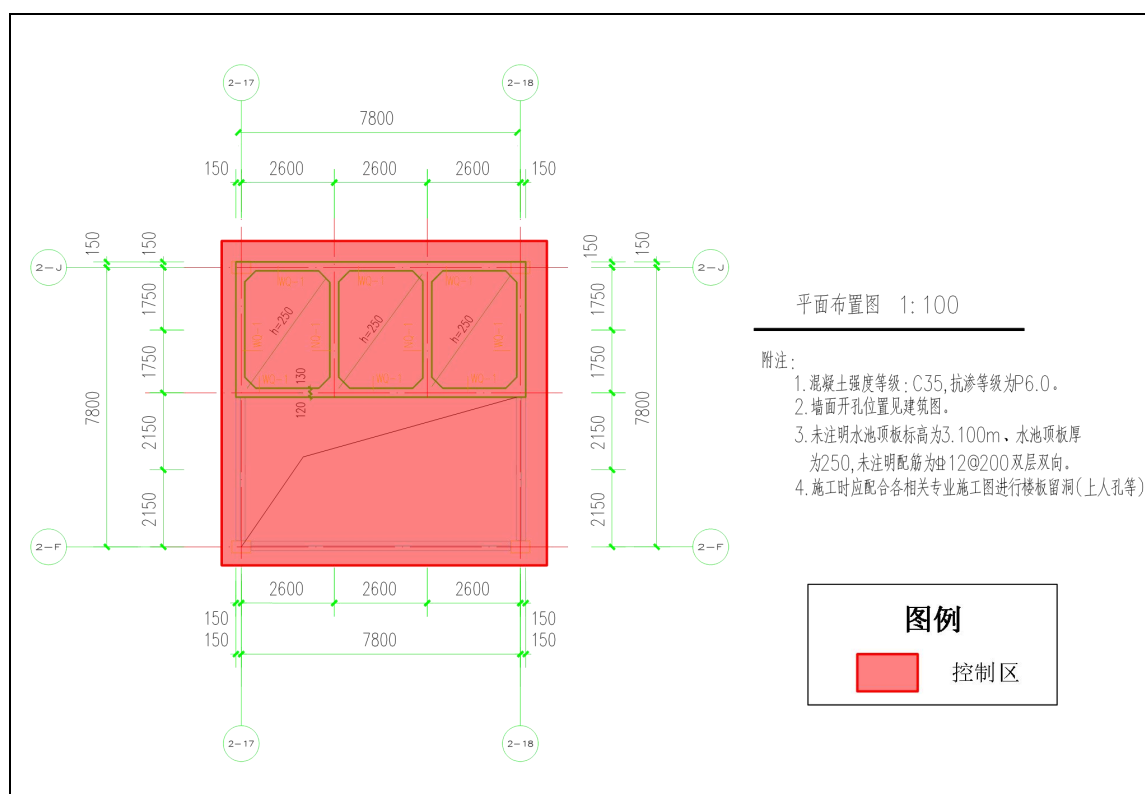


图 10-2 衰变池平面结构示意图

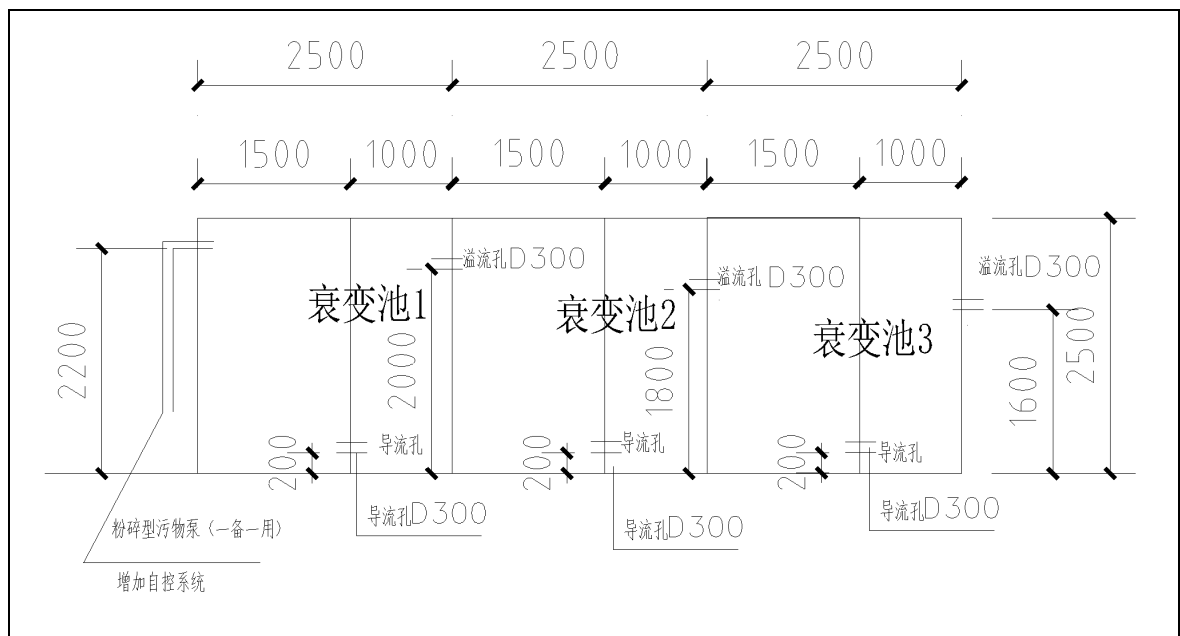


图 10-3 衰变池立面结构示意图

衰变系统采用三级分隔衰变池，由 4 个小池串联，包含 1 个集水坑（位于地下，立面图中未标出）和 3 个衰变池，3 个衰变池体积均为 21.8m^3 ($2.5\text{m} \times 3.5\text{m} \times 2.5\text{m}$)，总约为 65.4m^3 。衰变池内设导流墙，采用推流式排放。每一个衰变池均采用导流管，污水从池下部进入，上部排出，以防止短路，保证衰变效果。本项目放射性废水衰变系统设有自控装置，核医学科废水经过专用管道和粉碎型污物泵进入集水坑（顶面标高 0.5m ），再通过污水提升泵逐一流入相联通的 3 个衰变池体（顶面标高 3.1m ），从最后一个衰变池流出通过管道排至医院污水处理站。

本项目核医学科工作场所中，PET/CT 诊断项目日接诊量最大为 15 人次，放射性废水产生量按 $10\text{L}/\text{人次}$ 计算，工作场所每天的清洗废水约为 50L ，则放射性废水排放量约为 $0.2\text{m}^3/\text{d}$ ($10\text{L}/\text{人} \times 15 \text{人}/\text{d} + 50\text{L}/\text{d}$)，30 天排放量约 6m^3 。根据衰变池容积、结构和放射性废水产生量，放射性废水从流入至流出衰变池的滞留时间约为 252 天。本项目使用的 ^{18}F 核素的半衰期为 109.7min ，故本项目衰变系统能够满足《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 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放”的要求。

为进一步保证衰变池的长效可靠运行及人员安全，医院应切实做好以下工作：

①应建立衰变池排放台账，记录每次排放时间、排放量及监测结果情况并由专人负责管理；

②衰变池周围需设立明显的“电离辐射警告标志”，同时衰变池四周应设立拦挡

隔离，防止无关人员靠近；

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

（3）放射性固废

核医学科产生的放射性固体废物主要包括： ^{18}F 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和通风管道内更换下来的废活性炭。

医院拟在注射室、PET/CT 注射后候诊室、留观室等房间内均设置 1~2 个放射性废物桶（防护厚度不低于 10mmPb）。另外，医院在核医学科设有 1 个放射性废物暂存间（废物库）（面积约为 4.3m²，总容积约为 20m³），放射性废物暂存间（废物库）中拟设置若干铅桶（防护厚度不低于 10mmPb）。通风橱通风管道内更换下来的废活性炭与核医学科各房间放射性废物桶内含有 ^{18}F 的废弃物，应分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等）在下班后集中到放射性废物暂存间（废物库）中的铅桶中暂存。

本项目核医学科工作场所中，PET/CT 诊断项目日接诊量最大为 15 人次，放射性固体废物产生量按 0.02kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为 0.3kg/d（0.02kg/人×15 人/d）。本项目使用的 ^{18}F 核素的半衰期为 109.7min，30 天产生量为 9kg（体积约为 2m³），放射性废物暂存间（废物库）存满时间约为 300 天。故本项目放射性废物暂存间（废物库）的容积能够满足《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， 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。”的要求。同时放射性废物包装袋还应满足“放射性废物每袋不超过 20kg”的标准要求。

为进一步保证放射性废物的科学管理及人员安全，医院应切实做好以下工作：

①放射性废物应收集在具有防护外层和电离辐射标志的固体废物桶中，固体废物桶应避免辐射工作人员和经常走动的地方，装满后的废物袋应密封，不破漏；

②存放废物的容器必须安全可靠，并在铅废物桶的显著位置处标有废物类型、核素种类、比活度范围和存放的日期等说明；

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》的相关规

定，建立放射性废物收集、暂存、转运、回收台账，确保放射性固废不乱丢、不乱弃；

④达到清洁解控水平后，按照医疗废物执行转移联单制度，由有资质单位统一回收处理。

二、非放射性三废

（1）废气：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核医学科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。

（2）废水：工作人员产生的医疗废水和生活污水，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：产生的医疗废物集中收集后交资质单位处置；生活垃圾经分类收集后，交由市政环卫部门处理，对周围环境影响较小。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本次扩建放射性核素诊断项目机房建设时主要工作为建筑施工、墙体隔断与内饰装潢，将产生施工噪声、扬尘和建筑垃圾污染，建设施工时对环境会产生如下影响：

1、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，另外机械作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：及时清扫施工场地，设立围挡，并保持施工场地一定的湿度。

2、噪声：整个建筑施工阶段，如墙体拆除、墙体连接等施工中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的标准，尽量采用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业。

3、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。

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、辐射环境影响分析

本项目主要污染因子为 ^{18}F 放射性核素在取药、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生的 β 、 γ 射线及 β 放射性表面污染；PET/CT 装置 CT 扫描时产生的 X 射线。

1、 β 射线辐射影响分析

β 射线的穿透性能较差，根据《辐射防护手册（第三分册）》， β 射线在不同物质中与最大射程对应的防护厚度为：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{\rho\max}$$

公式 11-1

式中： $E_{\beta\max}$ — β 射线的能量，MeV；

ρ —物质的密度， g/cm^3 。

d —与最大射程对应的防护厚度，cm。

主要计算参数及结果见表 11-1。

表 11-1 与最大射程对应的防护厚度计算参数及结果

核素	β 射线最大能量 (MeV)	屏蔽材料	材料密度 (g/cm^3)	对应的防护厚度 (cm)
^{18}F	0.63	铅	11.3	0.03
		混凝土	2.35	0.14
		实心砖	1.65	0.19
		硫酸钡水泥	4.5	0.07

本项目通风橱采用铅板及铅玻璃进行防护，工作场所墙体采用实心砖和铅板、顶部采用混凝土+铅板、地面采用混凝土+硫酸钡水泥，各防护门均采用铅防护门，观察窗均为铅玻璃观察窗进行辐射防护，本项目 ^{18}F 放射性核素 β 射线在上述屏蔽材料中射程均极短。

综上所述，本项目涉及使用的 ^{18}F 放射性核素在整个过程中均采取了有效的屏蔽措施屏蔽 β 射线，同时在整个使用过程中辐射工作人员还穿戴有 0.5mm 铅当量的防护铅服，且周围公众与放射性核素之前还采取了距离隔离措施，因此 β 射线对辐射工作人员和周围公众辐射影响很小。

2、 β 放射性表面污染影响分析

β 放射性表面沾污的影响主要来源于辐射工作人员操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、墙壁、个人防护用品等表面，对辐射工作人员和周围公众造成辐射影响，因此，为了使本项目核医学科的 β 放射性表面污染水平达到 GB 18871-2002 规定的要求，环评要求建设方要做到以下防护措施：

①使用、操作放射性同位素的人员应经过专业学习并持证上岗，具备相应的技能与防护知识；

②本项目放射性核素操作均在通风橱中进行；

③操作 ^{18}F 放射性核素应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料；

④不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；

⑤放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、

清洗、去污；

⑥做好就诊患者的管理，特别是注射放射性药品的患者管理工作，严格划定好控制区和监督区，禁止无关人员随处走动；

⑦如 β 放射性表面污染水平超过 GB 18871-2002 规定值，医院应暂停开展核医学科的相关业务，去污染经监测符合标准后方可重新开展业务，同时辐射工作人员出现手、皮肤、内衣、工作袜等出现污染情况需及时进行去污操作并暂停放射性物质操作评估其受照射剂量，并根据评估结果采取下一步措施（调整工作或接受治疗等）。

3、 γ 射线辐射影响分析

参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I 中第 1.2 款 ^{99m}Tc 诊断、 ^{131}I 治疗、PET 等工作场所的屏蔽计算，保守起见，所有核素（如 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{18}F 等）工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。

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

式中： x —屏蔽厚度，mm；

TVL — γ 射线的十分之一值层厚度，mm；

A —单个患者或者受检者所用放射源的最大活度，MBq；

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

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

R —放射源到考察点的距离，m。

由公式 I.1 推导可得：

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

由《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）查出铅、混凝土和实心砖对 ^{18}F 、 ^{131}I 值层见表 11-2。

表 11-2 常用核素屏蔽材料十分之一值层厚度（ TVL ）

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

根据工程分析可知，扩建放射性核素诊断项目辐射影响主要包括药物取药（含质

控的活度测量过程)、注射、患者候诊、扫描和留观等过程, 主要对核医学科工作人员及室外公众产生外照射辐射影响, 根据公式 11-2 可估算出扩建放射性核素诊断项目的核医学科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 11-3。

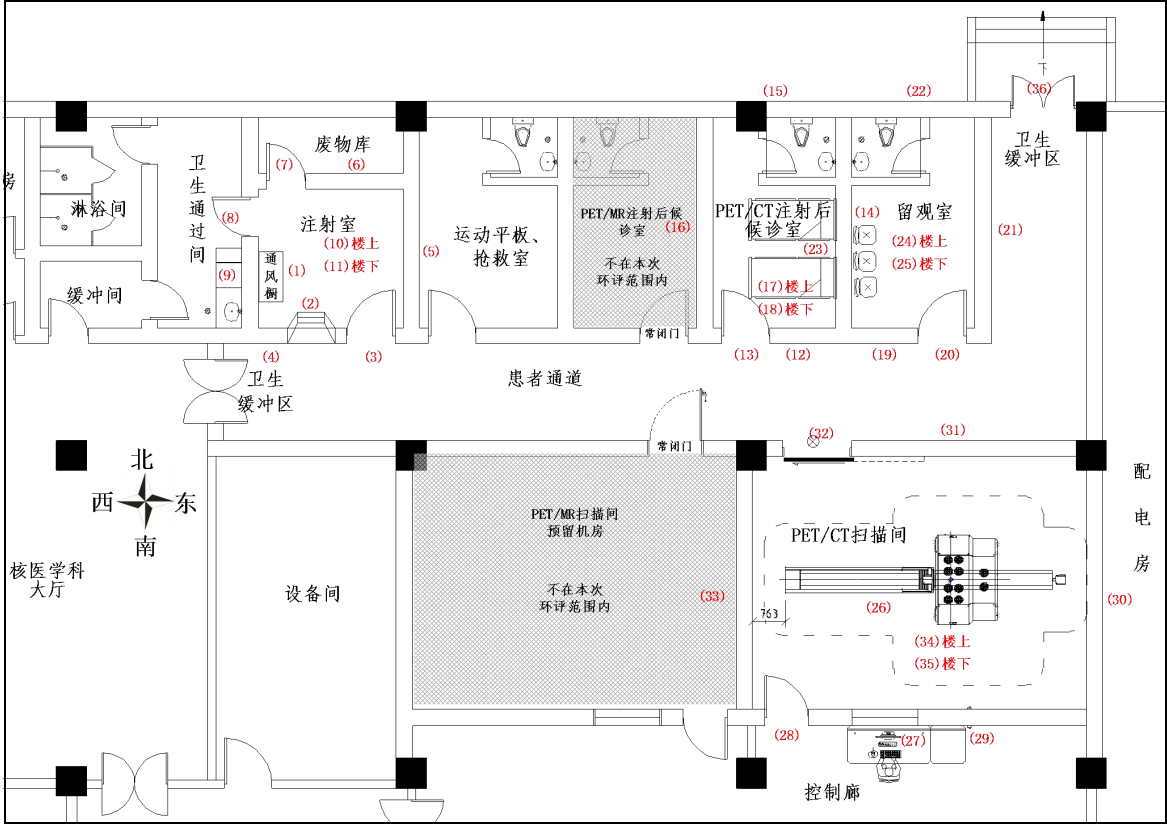


图 11-1 扩建放射性核素诊断项目剂量率估算点位示意图

根据工程分析可知, 扩建放射性核素诊断项目辐射影响主要包括药物取药 (含质控的活度测量过程)、注射、患者候诊、扫描和留观等过程, 主要对核医学科工作人员及室外公众产生外照射辐射影响, 根据公式 11-2 可估算出扩建放射性核素诊断项目的核医学科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 11-3。

表 11-3 扩建放射性核素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 ¹⁾ (m)	屏蔽材料及厚度 ²⁾	透射比	参考点辐射水平 ⁴⁾ (μSv/h)	控制目标值 ⁵⁾ (μSv/h)	备注
1	通风橱东侧取药工作位 ³⁾	2.22×10 ¹⁰	0.5	0.5mmPb +40mmPb +40mmPb	1.41×10 ⁻⁵	0.018	2.5	铅服为 0.5mmPb, 铅罐为 40mmPb, 通风橱为 40mmPb
2	注射位	3.70×10 ⁸	0.5	0.5mmPb +40mmPb	3.63×10 ⁻³	0.769	2.5	铅服为 0.5mmPb,

								注射窗为 40mmPb
3	注射室南侧防护门外表面 30cm	3.70×10^8	1.67	15mmPb	0.1248	2.369	2.5	/
4	注射室南墙外表面 30cm	3.70×10^8	1.6	370mm 实心砖 +8mmPb	0.0129	0.267	2.5	/
5	注射室东墙外表面 30cm	3.70×10^8	3.0	370mm 实心砖	0.0392	0.230	2.5	/
6	注射室北墙外表面 30cm	3.70×10^9	3.6	370mm 实心砖	0.0392	0.160	25	/
7	注射室北侧防护门外表面 30cm	3.70×10^8	3.47	8mmPb	0.3297	1.449	2.5	/
8	注射室西侧防护门外表面 30cm	3.70×10^8	2.86	8mmPb	0.3297	2.132	2.5	/
9	注射室西墙外表面 30cm	3.70×10^8	2.03	370mm 实心砖	0.0392	0.503	2.5	/
10	注射位楼上地面 100cm	3.70×10^8	4.55	170mm 砷 +4mmPb	0.0621	0.159	2.5	/
11	注射位楼下地面 170cm	3.70×10^8	4.15	20mm 硫酸钡水泥+180mm 砷	0.0575	0.177	2.5	/
12	PET/CT 注射后候诊室南墙外表面 30cm	7.40×10^8	2.49	370mm 实心砖 +8mmPb	0.0129	0.220	2.5	2 人候诊, 假设 PET/CT 注射后候诊室各休息位上均有一位带药病人, 经注射后病人体内核素活度为 $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$
13	PET/CT 注射后候诊室南侧防护门外表面 30cm	7.40×10^8	2.84	15mmPb	0.1248	1.638	2.5	
14	PET/CT 注射后候诊室东墙外表面 30cm	7.40×10^8	1.61	370mm 实心砖	0.0392	1.600	2.5	
15	PET/CT 注射后候诊室北墙外表面 30cm	7.40×10^8	3.73	370mm 实心砖	0.0392	0.298	2.5	
16	PET/CT 注射后候诊室西墙外表面 30cm	7.40×10^8	2.85	370mm 实心砖	0.0392	0.511	2.5	
17	PET/CT 注射后候诊室楼上地面 100cm	7.40×10^8	4.55	170mm 砷 +4mmPb	0.0621	0.317	2.5	

18	PET/CT 注射后 候诊室楼地下 面 170cm	7.40×10^8	4.15	20mm 硫酸钡水 泥+180mm 砧	0.0575	0.353	2.5	
19	留观室南墙外 表面 30cm	2.70×10^8	2.99	370mm 实心砖 +8mmPb	0.0129	0.056	2.5	1 人留观,假 设病人位于 留观室中 间,经 30min 候诊等待、 20min 扫描, 病人体内核 素活度为 $2.70 \times 10^8 \text{Bq}$
20	留观室南侧防 护门外表面 30cm	2.70×10^8	2.9	8mmPb	0.3297	1.513	2.5	
21	留观室东墙外 表面 30cm	2.70×10^8	1.82	370mm 实心砖 +8mmPb	0.0129	0.151	2.5	
22	留观室北墙外 表面 30cm	2.70×10^8	3.32	370mm 实心砖	0.0392	0.137	2.5	
23	留观室西墙外 表面 30cm	2.70×10^8	2.35	370mm 实心砖	0.0392	0.274	2.5	
24	留观室顶楼上 地面 100cm	2.70×10^8	4.55	170mm 砧 +4mmPb	0.0621	0.116	2.5	
25	留观室楼地下 面 170cm	2.70×10^8	4.15	20mm 硫酸钡水 泥+180mm 砧	0.0575	0.129	2.5	
26	摆位/取消摆位	3.06×10^8	1.0	0.5mmPb	0.9330	40.848	/	铅服为 0.5mmPb
27	PET/CT 扫描间 南侧观察窗外 表面 30cm	3.06×10^8	3.69	8mmPb	0.3297	1.060	2.5	1 人检查,假 设病人位于 机房中间, 经 30min 候 诊等待,病 人体内核素 活度为 $3.60 \times 10^8 \text{Bq}$
28	PET/CT 扫描间 南墙外表面 30cm	3.06×10^8	3.89	370mm 实心砖 +8mmPb	0.0129	0.037	2.5	
29	PET/CT 扫描间 南侧防护门外 表面 30cm	3.06×10^8	4.54	8mmPb	0.3297	0.700	2.5	
30	PET/CT 扫描间 东墙外表面 30cm	3.06×10^8	4.99	370mm 实心砖 +8mmPb	0.0129	0.023	2.5	
31	PET/CT 扫描间 北墙外表面 30cm	3.06×10^8	3.54	370mm 实心砖 +8mmPb	0.0129	0.045	2.5	
32	PET/CT 扫描间 北侧防护门外 表面 30cm	3.06×10^8	4.13	8mmPb	0.3297	0.846	2.5	
33	PET/CT 扫描间 西墙外表面 30cm	3.06×10^8	4.01	370mm 实心砖 +8mmPb	0.0129	0.035	2.5	
34	PET/CT 扫描间 楼上海面 100cm	3.06×10^8	3.85	170mm 砧 +4mmPb	0.0621	0.131	2.5	

35	PET/CT 扫描间 楼下地面 170cm	3.06×10^8	1.5	40mm 硫酸钡水 泥+180mm 砂	0.0333	0.085	2.5	
36	患者通道出口 防护门外表面 30cm	2.70×10^8	4.27	8mmPb	0.3297	0.698	2.5	1 人留观,假 设病人位于 留观室中间

注：1、与源的距离由建设单位提供的 CAD 图上测量得出；

2、本项目透射比是根据核素对不同材料的什值层厚度计算得出，取值详见表 11-2；

3、通风橱内药物最多 $2.22 \times 10^{10} \text{Bq}$ （最大备药量）；

4、 ^{18}F 核素取药、注射阶段，周围剂量当量率常数（裸源）取 $0.143 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$ ，注射后带药患者候诊、扫描、留观阶段，患者体内单位放射性活度所致体外 1m 处的周围剂量当量率保守按裸源取 $0.143 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$ ；

5、非密封放射性物质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 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；放射性药物分装的手套箱、注射窗外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

由表 11-3 的理论估算结果可以看出，摆位过程中辐射剂量较高，虽然有 0.5mm 铅当量铅服屏蔽，但工作人员仍会受到较高的辐射剂量；由于有 40mm 铅当量通风橱屏蔽， ^{18}F 取药过程中对操作人员的躯干辐射影响较小，但需要用手操作，手部剂量较高。 ^{18}F 药物针剂外设有铅套、同时操作中工作人员穿戴铅防护服，在操作过程中及患者在显像过程中对注射室、注射后候诊室及 PET/CT 机房外的环境影响较小。注射室、注射后候诊室、留观室及 PET/CT 机房的防护设计均能够满足 ^{18}F 核素的辐射防护要求。候诊期间由于患者相对集中，医院必须采取分批预约、分批注射、分批候诊的方式，严格要求控制候诊室内患者的数量，减少对患者与对外环境的辐射影响。

4、CT 环境影响分析

本项目按额定管电压 140kV 核算 PET/CT 机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度。本项目 PET/CT 机房辐射防护设计及其等效铅当量见表 11-4。

表 11-4 本项目 PET/CT 机房辐射防护设计及其等效铅当量一览表

参数		设计厚度 ¹⁾	铅当量 ²⁾	屏蔽要求	评价
PET/CT 机房	墙体	370mm 实心砖 +8mm 铅	11.16mm	CT 机房屏蔽防护铅当量 厚度要求：有用线束方向、 非有用线束方向铅当 量 2.5mm。	满足
	防护门	8mm 铅	8.00mm		满足
	观察窗	8mm 铅当量	8.00mm		满足
	顶部	170mm 砂 +4mm 铅	5.84mm		满足
	地面	180mm 砂+40mm 硫酸钡水泥 ³⁾	3.16mm		满足
	面积	44.375m ² ，最小单边长度为 6.25m		CT 机房内最小有效新建 面积不小于 30m ² ，单边	满足

			长度不小于 4.5m。	
注：1、混凝土密度为 2.35g/cm³，铅板密度为 11.34g/cm³，实心砖密度为 1.65g/cm³，硫酸钡水泥密度为 4.7g/cm³； 2、混凝土的等效铅当量按照 GBZ 130-2020 中附录 C 计算得出； 3、实心砖和硫酸钡水泥的等效铅当量参照《辐射防护导论》（方杰著）P88 换算为等效混凝土厚度后求得。 由上表可知，本项目 PET/CT 机房屏蔽防护措施能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的标准要求。 本项目 PET/CT 机房辐射屏蔽主要考虑散射辐射与泄漏辐射的影响。本项目 PET/CT 最大管电压为 140kV，根据《辐射防护手册（第一分册）》P448 的能量散射公式计算一次散射能量与初级射线能量的比值，140kV 射线经过一次散射后的射线能量约为 109.9kV，故本项目保守按 120kV 进行计算。 （1）关注点处散射辐射空气比释动能率计算 由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）给出的 X 射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.10）进行推导，得到散射线在关注点处的比释动能率 H_s 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1）： $H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s}{d_0^2 \cdot r^2} \quad \text{公式 11-3}$ 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），mGy·m²·mA⁻¹·min⁻¹，具体数值可根据 X 射线机管电压、过滤片等条件从《辐射防护导论》附图 3 查取，按本项目 CT 的最大管电压为 140kV、过滤片为 2.5mmAl 的条件从《辐射防护导论》附图 3 查得 H_0 为 15mGy·m²·mA⁻¹·min⁻¹，即 900000μGy·m²·mA⁻¹·h⁻¹； I—管电流，mA；本项目 CT 模式下正常使用的最大管电流为 200mA； a—人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，查《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1，本项目最大常用管电压为 140kV，采用内插法查取散射角 90° 时 140kV 对应的 a 值为 0.0016； S—主束在受照人体上的散射面积，本项目取 314cm²； d_0—源至受照点的距离，本项目保守取 0.6m； r—受照体至关注点的距离；				

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：

$$B_s = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{公式 11-4}$$

式中： X —铅厚度，本项目机房屏蔽体的铅厚度见表 11-4；

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，具体见表 11-5。

表 11-5 铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

管电压	α	β	γ
140kV (CT)	2.009	3.99	0.342
120kV (CT)	2.246	5.730	0.5470

(2) 关注点处泄漏辐射空气比释动能率计算

泄漏辐射剂量率 $\dot{H}_L$ 采用下式计算：

$$\dot{H}_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2} \quad \text{公式 11-5}$$

式中： H_i —距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，mGy/h；本项目 1m 处泄漏射线的空气比释动能率取 0.8mGy/h。

B —屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-4。

按照公式 11-4 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，机房外关注点处的辐射剂量率理论估算结果汇总见表 11-6。

表 11-6 PET/CT 机房 CT 出束状态下参考点处及叠加 ^{18}F 放射性药物的辐射剂量率核算值

点 位	参考点 位置	r (m)	散射辐射 H_s		泄漏辐射 H_L		剂量率 估算值 H ($\mu\text{Sv/h}$)	^{18}F 致参 考点辐 射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	^{18}F 与 CT 叠加致参 考点辐 射水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	控制 目标值 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否 满足
			B_s	H_s ($\mu\text{Gy/h}$)	B	H_L ($\mu\text{Gy/h}$)					
27	PET/CT 扫描间南侧观察窗外表面 30cm	3.69	1.55×10^{-9}	7.15×10^{-5}	4.31×10^{-9}	2.53×10^{-7}	<0.001	1.060	1.060	2.5	满足
28	PET/CT 扫描间南墙外表面 30cm	3.89	4.56×10^{-13}	1.89×10^{-8}	7.48×10^{-12}	3.96×10^{-10}	<0.001	0.037	0.037	2.5	满足
29	PET/CT 扫描间南侧防护门外表面	4.54	1.55×10^{-9}	4.72×10^{-5}	4.31×10^{-9}	1.67×10^{-7}	<0.001	0.700	0.700	2.5	满足

	30cm										
30	PET/CT 扫描间东墙外表面 30cm	4.99	4.56×10^{-13}	1.15×10^{-8}	7.48×10^{-12}	2.40×10^{-10}	<0.001	0.023	0.023	2.5	满足
31	PET/CT 扫描间北墙外表面 30cm	3.54	4.56×10^{-13}	2.29×10^{-8}	7.48×10^{-12}	4.78×10^{-10}	<0.001	0.045	0.045	2.5	满足
32	PET/CT 扫描间北侧防护门外表面 30cm	4.13	1.55×10^{-9}	5.71×10^{-5}	4.31×10^{-9}	2.02×10^{-7}	<0.001	0.846	0.846	2.5	满足
33	PET/CT 扫描间西墙外表面 30cm	4.01	4.56×10^{-13}	1.78×10^{-8}	7.48×10^{-12}	3.72×10^{-10}	<0.001	0.035	0.035	2.5	满足
34	PET/CT 扫描间楼上地面 100cm	4.55	1.06×10^{-7}	3.21×10^{-3}	3.39×10^{-7}	1.31×10^{-5}	0.005	0.131	0.137	2.5	满足
35	PET/CT 扫描间楼下地面 170cm	4.15	2.95×10^{-5}	1.075	8.99×10^{-5}	0.004	1.823	0.085	1.908	2.5	满足

注：PET/CT 机房 CT 出束状态下参考点处剂量率估算值 $H=H_S \cdot K_S + H_L \cdot K_L$ ，式中： K_S 、 K_L 为有效剂量与空气比释动能转换系数，查《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）表 B2， K_S 取 1.69， K_L 取 1.64。

计算结果表明，PET/CT 以 CT 模式运行（工况：140kV/200mA）时，叠加放射性药物的辐射影响，机房四周墙体、顶部、操作位及防护门处的辐射剂量率为（0.023～1.908） $\mu\text{Sv/h}$ ，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的要求。

5、保护目标的有效剂量估算

根据表 11-3 和表 11-6 的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 11-7。

表 11-7 扩建放射性核素诊断项目工作场所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（ $\mu\text{Sv/h}$ ）	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	取药工作位	0.018	取药 1min×15 次 ×250 天	1	0.001	工作人员	注射室
2	注射位	0.769	注射 1min×15 次 ×250 天	1	0.048	工作人员	注射室
3	注射室南侧防护门外表面 30cm	2.369	保守估计经过此区域患者停留 10s	1/4	0.001	公众（患者）	患者通道

4	注射室南墙外表面 30cm	0.267	保守估计经过此区域患者停留 10s	1/4	<0.001	公众 (患者)	患者通道
5	注射室东墙外表面 30cm	0.230	注射 1min×15 次 ×250 天	1/8	0.002	公众 (患者)	运动平板、抢救室
6	注射室北墙外表面 30cm	0.160	注射 1min×15 次 ×250 天	1/4	0.002	工作人员	废物库
7	注射室北侧防护门外表面 30cm	1.449	注射 1min×15 次 ×250 天	1/4	0.023	工作人员	废物库
8	注射室西侧防护门外表面 30cm	2.132	注射 1min×15 次 ×250 天	1/4	0.033	工作人员	卫生通过间
9	注射室西墙外表面 30cm	0.503	注射 1min×15 次 ×250 天	1/4	0.008	工作人员	卫生通过间
10	注射位楼上地面 100cm	0.159	注射 1min×15 次 ×250 天	1/8	0.001	公众	碎石室
11	注射位楼下地面 170cm	0.177	注射 1min×15 次 ×250 天	1/16	0.001	公众	地下车库
12	PET/CT 注射后候诊室南墙外表面 30cm	0.220	保守估计经过此区域患者停留 10s	1/4	<0.001	公众 (患者)	患者通道
13	PET/CT 注射后候诊室南侧防护门外表面 30cm	1.638	保守估计经过此区域患者停留 10s	1/4	<0.001	公众 (患者)	患者通道
14	PET/CT 注射后候诊室东墙外表面 30cm	1.600	保守估计经过此区域患者停留 10s	1/4	<0.001	公众 (患者)	留观室
15	PET/CT 注射后候诊室北墙外表面 30cm	0.298	候诊 30min×15 次 ×250 天	1/16	0.035	公众	室外花园
16	PET/CT 注射后候诊室西墙外表面 30cm	0.511	候诊 30min×15 次 ×250 天	1/16	0.060	公众	预留 PET/MR 注射后候诊室
17	PET/CT 注射后候诊室楼上地面 100cm	0.317	候诊 30min×15 次 ×250 天	1/8	0.074	公众	碎石室 胃镜室
18	PET/CT 注射后候诊室楼下地面 170cm	0.353	候诊 30min×15 次 ×250 天	1/16	0.041	公众	地下车库
19	留观室南墙外表面 30cm	0.056	保守估计经过此区域患者停留 10s	1/4	<0.001	公众 (患者)	患者通道
20	留观室南侧防护门外表面 30cm	1.513	保守估计经过此区域患者停留	1/4	<0.001	公众 (患者)	患者通道

			10s				
21	留观室东墙外表面 30cm	0.151	保守估计经过此区域患者停留 10s	1/4	<0.001	公众 (患者)	患者通道
22	留观室北墙外表面 30cm	0.137	留观 10min×15 次×250 天	1/16	0.005	公众	室外花园
23	留观室西墙外表面 30cm	0.274	留观 10min×15 次×250 天	1/4	0.043	公众 (患者)	PET/CT 注射后候诊室
24	留观室顶楼上地面 100cm	0.116	留观 10min×15 次×250 天	1/8	0.009	公众	胃镜室
25	留观室楼下地面 170cm	0.129	留观 10min×15 次×250 天	1/16	0.005	公众	地下车库
26	摆位/取消摆位	40.848	(摆位 1min+取消摆位 1min)×15 次×250 天	1	5.106	工作人员	PET/CT 扫描间
27	PET/CT 扫描间南侧观察窗外表面 30cm	1.060	检查 20min×15 次×250 天	1	1.325	工作人员	控制廊操作位
		CT: <0.001	检查 20s×15 次×250 天				
28	PET/CT 扫描间南墙外表面 30cm	0.037	检查 20min×15 次×250 天	1/4	0.012	工作人员	控制廊
		CT: <0.001	检查 20s×15 次×250 天				
29	PET/CT 扫描间南侧防护门外表面 30cm	0.700	检查 20min×15 次×250 天	1/4	0.219	工作人员	控制廊
		CT: <0.001	检查 20s×15 次×250 天				
30	PET/CT 扫描间东墙外表面 30cm	0.023	检查 20min×15 次×250 天	1/16	0.002	公众	配电房
		CT: <0.001	检查 20s×15 次×250 天				
31	PET/CT 扫描间北墙外表面 30cm	0.045	保守估计经过此区域患者停留 10s	1/4	<0.001	公众 (患者)	患者通道
		CT: <0.001	检查 20s×15 次×250 天				
32	PET/CT 扫描间北侧防护门外表面 30cm	0.846	保守估计经过此区域患者停留 10s	1/4	<0.001	公众 (患者)	患者通道
		CT: <0.001	检查 20s×15 次×250 天				
33	PET/CT 扫描间西	0.035	检查 20min×15 次	1/16	0.003	公众	PET/MR

	墙外表面 30cm		×250 天				预留机房
		CT: <0.001	检查 20s×15 次 ×250 天				
34	PET/CT 扫描间楼上地面 100cm	0.131	检查 20min×15 次 ×250 天	1/8	0.021	公众	胃镜室 过道
		CT: 0.005	检查 20s×15 次 ×250 天				
35	PET/CT 扫描间楼下地面 170cm	0.085	检查 20min×15 次 ×250 天	1/16	0.009	公众	地下车库
		CT: 1.823	检查 20s×15 次 ×250 天				
36	患者通道出口防护门外表面 30cm	0.698	留观 10min×15 次 ×250 天	1/16	0.018	公众	室外花园

放射性核素诊断项目过程中，工作人员主要受照射环节为取药、注射过程及患者扫描诊断过程。一般情况下，取药过程约 1 分钟，送至注射窗口、注射过程约 1 分钟，扫描过程约 20 分钟，PET/CT 以 CT 模式运行的时间较短，平均每名患者约 20s。预测本项目运行后，PET/CT 诊断项目日接诊量最大为 15 人次。

根据表 11-7 估算结果，取药过程中工作人员受到的年有效剂量约为 0.001mSv，注射过程中工作人员受到的年有效剂量约为 0.048mSv，摆位、取消摆位过程中工作人员受到的年有效剂量约为 5.106mSv，扫描过程中操作设备工作人员受到的年有效剂量约为 1.325mSv。医院拟为本次放射性核素诊断项目安排 1 名护士（负责取药及注射）、1 名医师及 1 名技师（负责操作设备、指导病人摆位、取消摆位）。医院拟合理安排各辐射工作人员工作量，根据理论估算可知，本项目 1 名护士年有效剂量约为 0.049mSv(0.001mSv+0.048mSv)，1 名医师及 1 名技师的平均年有效剂量约为 3.216mSv $((5.106+1.326) \text{ mSv} \div 2)$ ，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）对职业人员受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求（职业人员有效剂量不超过 5mSv）。

根据表 11-7 估算结果，放射性核素诊断项目工作过程中，周围公众（控制区、监督区外）年有效剂量最大约为 0.074mSv，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）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）。

二、放射性“三废”影响分析

本项目运行过程中会产生含 ^{18}F 的放射性废水，核素操作过程中会产生少量放射性气溶胶。

1、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。本项目注射室设有 1 个防护铅当量为 40mmPb 的 ^{18}F 专用通风橱，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（设计通风速率不少于 0.5m/s，排放口高于本建筑屋脊），满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“排气口应高于本建筑物屋顶”的要求，能够有效防止放射性废气对周围环境产生的影响，符合放射性工作场所相关要求。同时医院拟在通风橱管道内及屋顶排放口处设置高效排风过滤器+活性炭过滤吸附装置二级处理设施，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（一年更换 1~2 次）并作为放射性固体废物处理。整个核医学科工作场所均拟设置新风系统及独立的排风系统。

2、放射性废水

来自核医学科给药后患者专用卫生间等高活区的放射性废水，含有 ^{18}F 放射性核素，由独立下水管道统一集中到医技楼北侧的衰变池中，衰变 30 天后可直接解控排放至医院污水处理系统作为医疗废水处理。

衰变系统由 2 个粉碎型污物泵加 1 个三级串联衰变池组成，单个衰变池容积约为 21.8m³，总容积约为 65.4m³；衰变池墙体、底板及顶板均拟采用 25cm 厚防水混凝土，顶板上拟设置检修口，检修口盖板拟采用 50mm 铸铁盖板，并采用坚固耐腐蚀、防渗漏措施。水泵均采用不锈钢抗腐蚀材质，管道采用 UPVC 抗腐抗化工管。地埋管道下方为泥土层和 18cm 混凝土，管道上方为 5cm 混凝土，外露管道外包裹 5mm 铅皮进行辐射防护，避免含放射性废水流动时造成管道穿行区域的辐射泄漏。

本项目核医学科工作场所中，PET 诊断项目日接诊量最大为 15 人次，放射性废水产生量按 10L/人次计算，工作场所每天的清洗废水约为 50L，则放射性废水排放量为 0.2m³/d，30 天排放量约 6m³。根据衰变池容积、结构和放射性废水产生量，放射性废水从流入至流出衰变池的滞留时间约为 252 天。根据本项目使用的 ^{18}F 核素的半衰期为 109.7min，故本项目衰变系统能够满足《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 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直

接解控排放”的要求。

本项目新建的衰变池仅有含 ^{18}F 放射性核素的废水排入，故本项目选用 ^{18}F 放射性核素进行管道外辐射剂量计算。将专用管道中的放射性废水看作线源，其对周围环境产生的辐射影响参照《辐射防护导论》（方杰主编）中相关公式进行计算：

$$\dot{K} = \frac{2A\Gamma_K}{Lr} \lg^{-1} \frac{L}{2r} \quad \text{公式 11-6}$$

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

A —总活度， Bq ；

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

L —线源长度， m ；

r —线源到考察点的距离， m 。

表 11-9 核医学科专用管道外剂量估算结果

参数	取值
单次排放 ^{18}F 核素活度 ¹⁾	3mCi
	$1.11\times 10^8\text{Bq}$
Γ_K : 距源 1m 处的周围剂量当量率常数 ($\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{Bq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) ²⁾	0.143×10^{-12}
L : 线源长度 (m)	3.1
r : 线源到考察点的距离 (m) ³⁾	1.5
参考点处辐射剂量率 (无屏蔽, $\mu\text{Sv/h}$)	5.47
屏蔽材料及厚度 (mm)	5mm 铅
透射比	0.500
参考点处辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	2.74
周围公众受照时间 (s)	1s/次 $\times$ 15 次/天 $\times$ 250 天
周围公众受照剂量 (mSv/a)	<0.01

注：1、单次核医学诊断项目患者，排泄物内核素活度排泄比率保守按 30%进行计算，则单次排放 ^{18}F 核素活度为 $10\text{mCi}\times 30\%=3\text{mCi/次}$ ；

2、距源 1m 处的周围剂量当量率常数取自《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 H 表 H.1；

3、本项目核医学科位于医技楼一楼，放射性废水管道裸露段距地面最近约 0.2m ，参考

点设置于距地面 170cm 处，线源到考察点的距离取 1.5m。

由表 11-9 可知，裸露的放射性废水专用管道外采用 5mmPb 铅皮包覆进行辐射防护，其对周围公众产生的辐射影响较小。

将衰变池内放射性废水看作点源，参照公式 11-2 计算衰变池内废水对地面处产生的辐射影响，其预测计算结果见表 11-38。

表 11-10 核医学科衰变池上方辐射水平估算结果

参考点位置	源强*	与源的距离 (m)	屏蔽材料及 厚度	透射比	参考点辐射 水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	控制目标值 ($\mu\text{Sv/h}$)
衰变池上方地表 30cm 处	13.55mCi	3.55	250mm 混凝土	0.038	0.216	2.5
			50mm 铁	0.008	0.046	2.5

注：*单次核医学诊断项目患者，排泄物内核素活度排泄比率保守按 30% 进行计算，则单次排放 ^{18}F 核素活度为 $10\text{mCi} \times 30\% = 3\text{mCi/次}$ ，保守按 15 名候诊患者的排泄物进入衰变系统进行辐射计算（保守估计每名候诊患者均进行排泄，每 30 分钟有 1 名患者排泄，仅考虑到排泄物内核素活度随时间产生衰减，未考虑废水对核素的屏蔽影响）。

由表 11-10 可知，核医学科衰变池采用现有屏蔽设计进行辐射防护，其对周围环境及公众产生的辐射影响较小。

3、放射性固体废物

核医学科产生的放射性固体废物主要包括： ^{18}F 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和通风管道内更换下来的废活性炭。

医院拟在注射室、PET/CT 注射后候诊室、留观室等房间内均设置 1~2 个放射性废物桶（防护厚度不低于 10mmPb）。核医学科各房间内放射性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。另外，医院在核医学科设有 1 个放射性废物暂存间（废物库）（面积约为 4.3m^2 ，总容积约为 20m^3 ），放射性废物暂存间（废物库）中拟设置若干铅桶（防护厚度不低于 10mmPb）。

通风橱通风管道内更换下来的废活性炭与核医学科各房间放射性废物桶内含有 ^{18}F 的废弃物，应分别标记、分开贮存（标记主要核素类型、收集时间等）在下班后集中到放射性废物暂存间（废物库）中的铅桶中暂存，在放射性废物暂存间（废物库）内暂存时间超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2 、 β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

根据医院对本项目规划的工作量估算每年产生放射性固体废物量，PET 诊断项目

日接诊量最大为 15 人次，放射性固体废物产生量按 0.02kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为 0.3kg/d（体积约为 2m³/月），本项目核医学科的放射性废物暂存间（废物库）总容积约为 20m³，存满时间约为 300 天。该放射性废物暂存间（废物库）容积能够满足放射性固体废物贮存 30 天的要求。

三、非放射性“三废”影响分析

1、废气

PET/CT 机房内的空气在 X 射线、γ射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入大气，臭氧常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

2、废水

工作人员和部分患者产生的医疗废水和生活污水，由院内污水处理站统一处理。

3、固体废物

工作人员和病人产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。

事故影响分析

本项目 PET/CT 为Ⅲ类射线装置，核医学科工作场所为丙级非密封放射性物质工作场所。医院在开展放射治疗和诊断过程中，如果安全管理或防护不当，可能对人员产生误照射。因此本项目主要事故风险为：

（1）PET/CT 工作状态下，未按工作流程进行清场，人员误留、误入机房内，导致发生误照射。

（2）PET/CT 机房门机联锁失效，导致防护门无法自动关闭，开机时防护门外工作人员或公众受到误照射。

（3）操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射。

（4）核医学科药物注射时，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。

（4）注射药物的患者未按要求停留于控制区，导致公众遭受较大剂量照射。

（5）由于保管或管理工作不到位，导致 ¹⁸F 放射性核素的丢失、被盗，使公众受到误照射。

（6）放射性废水专用管道长期使用老化破裂，或衰变池渗漏，造成核医学科地

面受到放射性污染。

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）发生误照射（人员误留、误入机房内；操作人员违反操作规程或误操作；机房门-机联锁装置失效，导致防护门无法自动关闭），应立即按下急停开关，确保PET/CT设备停止工作。

（2）迅速安排受照人员接受医学检查和救治。

（3）发生非密封放射性物质污染，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。

（4）药物注射前，告知患者注意事项，使之了解放射性药物对他人的危害，并加强对带药患者的监督管理。

（5）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。

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

（7）事故发生后，积极配合生态环境等管理部门做好事故调查和善后处理工作。

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

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

沭阳医院拟在本部医技楼一楼 B 区扩建放射性核素诊断项目，配置 1 台 PET/CT（型号为：uMI 780，最大管电压 140kV，最大管电流 833mA，属Ⅲ类射线装置），使用放射性核素 ^{18}F 进行核素显像诊断，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，使用丙级非密封放射性物质工作场所和使用Ⅲ类射线装置的单位，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均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核。

根据上述要求，沭阳医院已成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。医院应根据本次扩建放射性核素诊断项目修订相关文件，明确医院相关辐射项目的管理人员及其职责，将该项目辐射安全管理纳入全院的辐射安全管理工作中。医院拟为本项目共配备 3 名辐射工作人员，均为新培训辐射工作人员。新进的辐射工作人员须通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规，考核合格后方可上岗；同时如有辐射培训证书到期人员还应及时参加生态环境部的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行学习并通过考核。

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”。

沭阳医院（本部）已针对所开展的放射性诊疗活动制定了相应的辐射安全与防护管理制度，建议医院根据本次扩建放射性核素诊断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：明确放射源、射线装置、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所在岗位具体责任。

3) 辐射防护和安全保卫制度：根据放射源、射线装置及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当注射后候诊室内有多位注射放射性药物的患者同时候诊时，建议医院在患者之间采用铅屏风进行隔离，减少患者间的交叉辐射影响。

4) 设备维修制度：明确放射源、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（联锁装置、警示标志、工作指示灯、急停按钮）、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：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核

的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。相关辐射工作人员应及时学习最新的国家政策法规及标准，熟练掌握放射性防护知识、最新的操作技术。根据 18 号令及《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并通过考核。医院应组织新进辐射工作人员定期参加职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并为其建立辐射工作人员职业健康监护档案。

7) 监测方案：明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报生态环境行政主管部门。为了确保非密封放射性物质工作场所及Ⅱ类、Ⅲ类射线装置的辐射安全，该单位应制定监测方案，重点是：

①明确监测项目和频次；

②辐射工作人员个人剂量监测数据应建立个人剂量档案，依据《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修正），在日常检测中发现个人剂量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理；

③对发生放射性药物泼洒的事故处理进行全程监测；

④医院应当按照有关标准、规范的要求定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的机构进行监测，发现异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告；

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，每年 1 月 31 日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

辐射监测

根据辐射管理要求，沭阳医院已配备 1 台辐射巡测仪，拟为本项目增配 1 台表面沾污仪、3 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（周期：每 1 至 3 个月 1 次），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。

沭阳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。发现工作场所及周围环境监测结果异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告。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 日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

辐射事故应急

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，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行政部门报告。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

沭阳医院（本部）位于江苏省沭阳县沭城镇迎宾大道 9 号，医院东侧为瑞声大道，南侧为迎宾大道，西侧为汇峰路，北侧为富园悦府。为了更好地为患者服务，提高医院的医疗质量，根据规划，拟在院本部内扩建放射性核素诊断项目：在医技楼一楼 B 区新建核医学科，拟建成丙级非密封放射性物质工作场所，配置 1 台 PET/CT（型号为：uMI 780，最大管电压 140kV，最大管电流 833mA，属 III 类射线装置），拟使用放射性核素 ^{18}F 配合 PET/CT 开展核素显像诊断。

二、项目建设的必要性

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

三、实践正当性

本项目的运行，具有良好的社会效益和经济效益，经落实辐射防护屏蔽设计和安全管理措施后，本项目的建设和运行对受照个人和社会公众所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

四、选址合理性

沭阳医院（本部）位于江苏省沭阳县沭城镇迎宾大道 9 号，医院东侧为瑞声大道，南侧为迎宾大道，西侧为汇峰路，北侧为富园悦府。医技楼位于院内南部，东侧为院内道路，南侧为门诊楼，西侧为院内道路，北侧为住院楼。

医院拟将医技楼一楼 B 区的综合服务大厅拆除，新建一个核医学科。本次拟扩建放射性核素诊断项目设置于新建的核医学科内。医技楼位于院内南部，东侧为院内道路，南侧为门诊楼，西侧为院内道路，北侧为住院楼。本项目新建核医学科南侧、北侧均为室外花园，东侧为配电房，西侧为室内医疗街，上方为窥镜中心，下方为地下车库。

本项目周围 50m 评价范围均位于医院内，无学校、居民区等环境敏感点。项目运行后的环境保护目标主要是核医学科辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、病患

和其他公众等。

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。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；根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题。因此本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

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

五、产业政策相符性

对照《产业结构调整指导目录（2019年本）》（2021年修正）和《江苏省工业和信息产业结构调整指导目录（2012年本）》（2013年修改），本项目均不属于“淘汰类”或“限制类”项目，符合当前国家和江苏省的产业政策。

六、辐射环境现状评价

沭阳医院本次扩建放射性核素诊断项目拟建址周围环境 γ 辐射剂量率为60nGy/h~107nGy/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区间；拟建址周围 β 表面污染水平均小于0.02Bq/cm²。

七、环境影响评价

根据预测估算结果，沭阳医院扩建放射性核素诊断项目在落实本报告提出的各项辐射安全与防护措施的情况下，项目投入运行后对辐射工作人员和公众所受辐射剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众年有效剂量限值要求以及本项目管理目标限值要求（职业人员年有效剂量不超过5mSv，公众年有效剂量不超过0.1mSv）。

八、“三废”的处理处置

核医学科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，管道内及外排放口处设置活性炭过滤吸附装置，能够有效防止放射性废气对周围环境产生

的影响；来自核医学科的注射室、给药后患者专用卫生间等高活区的放射性废水，含有 ^{18}F 放射性核素，由专用下水管道统一集中到医技楼北侧的衰变池中，暂存衰变超过30天满足排放标准后可直接解控排放至医院污水处理系统作为医疗废水处理。核医学科产生的放射性固体废物集中到放射性废物暂存间（废物库）中的铅桶中暂存，暂存时间超过30天满足排放标准后可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。符合辐射环境保护管理要求。

PET/CT机房内的空气在X射线、 γ 射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入大气，臭氧常温下可自行分解为氧气，对周围环境影响较小；工作人员和部分患者产生的生活污水，由院内污水处理站统一处理；工作人员和病人产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

九、主要污染源及拟采取的主要辐射安全防护措施

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），确定本项目核医学科工作场所为丙级非密封放射性物质工作场所。

PET/CT扫描时产生的X射线； ^{18}F 放射性核素在取药、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生的 γ 射线，以上射线会造成医务人员和公众的外照射。本项目核医学科工作场所控制区出入口拟设置“当心电离辐射”警告标志；PET/CT机房入口处拟设置“当心电离辐射”警示标识和工作状态灯。PET/CT机房设置有门机联锁装置，机房内外均设置有急停按钮，核医学科控制区出入口设置单向门禁系统，符合《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的安全管理要求。

十、辐射安全管理评价

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

沭阳医院需为本项目新增的3名辐射工作人员配置个人剂量计，定期送有资质部

门监测个人剂量，建立个人剂量档案；定期进行健康体检，建立个人职业健康监护档案。沭阳医院已配备 1 台辐射巡测仪，拟为本项目增配 1 台表面沾污仪、3 台个人剂量报警仪。此外，医院应根据相关标准要求，为本项目工作人员和受检者配备足够数量的个人防护用品和辅助防护设施。

综上所述，沭阳医院扩建放射性核素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、根据防护与安全的最优化原则，进一步优化完善辐射工作场所屏蔽措施。

3、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。

4、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

5、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:核医学科工作场所四侧墙体采用实心砖和铅板、顶部采用混凝土+铅板及地面采用混凝土+硫酸钡水泥进行辐射防护,各防护门均采用铅防护门,观察窗均为铅玻璃观察窗进行辐射防护。详见表10-6。	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。	85
	核医学科控制区入口处(包括注射室、放射性废物暂存间(废物库)、运动平板抢救室、PET/CT注射后候诊室、PET/CT扫描间、留观室门口)设置电离辐射警告标志,衰变池、通风橱和放射性废物桶表面设置电离辐射警告标志,同时在PET/CT机房防护门处设置工作状态指示灯及闭门装置,并设置急停按钮及对讲装置,核医学科控制区出入口设置单向门禁系统。	满足《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)及《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)的相关要求。	
	放射性“三废”处理措施: 本项目核素操作均在通风橱中进行,通风橱内保持负压且设有排风系统,管道内及外排放口处设置活性炭过滤吸附装置,符合丙级非密封放射性物质工作场所相关要求。 本项目产生的放射性废水由专用下水管道统一集中到医技楼北侧的衰变池中,暂存时间超过30天满足排放标准后可直接解控排放至医院污水处理系统作为医疗废水处理。 本项目产生的放射性固体废物集中到放射性废物暂存间(废物库)中的铅桶中暂存,暂存时间超过30天满足排放标准后可对废物清洁解控并作为医疗废物处理,符合辐射环境保护管理要求。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)、《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)及《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)的相关要求。	
人员配备	辐射安全管理人员和辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核,考核合格后上岗。 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。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。	/

	辐射工作人员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	已配备辐射巡测仪 1 台。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》有关要求。	10
	拟增配表面沾污仪 1 台。		
	拟增配个人剂量报警仪 3 台。		
	核医学科配备 1 个通风橱，放射性核素操作人员及摆位工作人员配备铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品。	满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。	5
辐射安全 管理制度	制定操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施等制度：根据环评要求，按照项目的实际情况，补充相关内容，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关要求。	/
总计	/	/	100

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人：

公 章
年 月 日

审批意见：

经办人：

公 章
年 月 日