核技术利用建设项目

南京市浦口人民医院
改建 PET/CT 诊断项目环境影响报告表

（公示版）

南京市浦口人民医院

2024 年 12 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

南京市浦口人民医院

改建 PET/CT 诊断项目环境影响报告表

（公示版）

南京市浦口人民医院

2024 年 12 月

生态环境部监制

目　录

表 1　项目基本情况 ..... - 1 -
表 2　放射源 ..... - 7 -
表 3　非密封放射性物质 ..... - 7 -
表 5　废弃物（重点是放射性废弃物） ..... - 9 -
表 6　评价依据 ..... - 10 -
表 7　保护目标与评价标准 ..... - 14 -
表 8　环境质量和辐射现状 ..... - 20 -
表 9　项目工程分析与源项 ..... - 25 -
表 10　辐射安全与防护 ..... - 34 -
表 11　环境影响分析 ..... - 43 -
表 12　辐射安全管理 ..... - 62 -
表 13　结论与建议 ..... - 67 -
表 14　审批 ..... - 73 -
附图 1 南京市浦口人民医院改建 PET/CT 诊断项目地理位置示意图 ..... - 74 -
附图 2 南京市浦口人民医院平面布置和周围环境示意图 ..... - 75 -
附图 3 南京市浦口人民医院内科楼一楼核医学科（改建前）及周围环境平面布局示意图 ..... - 76 -
附图 4 南京市浦口人民医院内科楼一楼核医学科及周围环境平面布局示意图 ..... - 77 -
附图 5 南京市浦口人民医院内科楼二楼及周围环境平面布局示意图 ..... - 78 -
附图 6 南京市浦口人民医院内科楼负一楼及周围环境平面布局示意图 ..... - 79 -
附图 7 南京市浦口人民医院核医学工作场所排风/进风管道布设示意图 ..... - 80 -
附图 8 南京市浦口人民医院核医学工作场放射性废水下水管道布设示意图 ..... - 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 辐射安全许可证及副本复印件 ..... - 84 -
附件 4 医院现有核技术利用项目情况一览表 ..... - 88 -
附件 5 本项目核医学科原环评报告 ..... - 91 -
附件 6 医院辐射防护领导小组的成立文件 ..... - 105 -
附件 7 辐射环境现状监测报告 ..... - 112 -
附件 8 检测机构资质认定证书 ..... - 118 -
附件 9 江苏省生态环境分区管控综合查询报告书 ..... - 122 -

表 1　项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="8">南京市浦口人民医院改建 PET/CT 诊断项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="8">南京市浦口人民医院
（统一社会信用代码：12320111426051139H）</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td colspan="2">张文静</td><td>联系人</td><td colspan="2">闵捷</td><td>联系电话</td><td colspan="2">15951616553</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="8">江苏省南京市浦口区江浦街道上河街 166 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="8">江苏省南京市浦口区江浦街道上河街 166 号医院内科楼一楼</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="3">/</td><td>批准文号</td><td colspan="3">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>1000</td><td colspan="2">项目环保总投资（万元）</td><td>150</td><td colspan="2">投资比例（环保投资/总投资）</td><td>15%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="5">☐新建 ☑ 改建 ☐扩建 ☐其他</td><td colspan="2">占地面积（m^2）</td><td>/</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>☐销售</td><td colspan="7">☐Ⅰ类 ☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类 ☐Ⅳ类 ☐Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="7">☐Ⅰ类（医疗使用）☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类 ☐Ⅳ类 ☐Ⅴ类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>☐生产</td><td colspan="7">☐制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="7">/</td></tr>
<tr><td>☑ 使用</td><td colspan="7">☑ 乙　☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>☐生产</td><td colspan="7">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="7">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="7">☐Ⅱ类 ☑Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="8">/</td></tr>
</table>

项目概述：

一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来

南京市浦口人民医院（以下简称“医院”）创建于 1949 年，是一所集预防、医疗、教学、科研于一体的三级综合医院，医院担负着全区医疗、教学、科研中心任务，并为毗邻的安徽省和县、全椒县、来安县近 100 万人口提供医疗服务。医院总占地面积 168 亩，现有建筑面积 11 万平方米，开放床位 906 张，在职职工 1213 人，医院重

视人才培养和引进，大力实施“树人计划”，高学历、高职称人才占全院30%左右，取得高校教师资格证67人，并呈逐年递增趋势。医院科室设置齐全，设有26个职能科室，38个临床医技科室和1个门诊部，1个多学科诊疗中心，其中：呼吸内科，神经外科，血液内科，骨科，妇科，内分泌科，康复科，神经内科，心内科，重症医学科，病理科，护理，药剂科等13个专科为南京市医学重点专科。

为了适应医院发展要求，服务患者，南京市浦口人民医院拟对医院内科楼一楼核医学科工作场所进行部分改造，并拟在PET/CT机房配置1台上海联影医疗科技股份有限公司生产的PET/CT（型号待定，最大管电压≤140kV，最大管电流≤1000mA），属Ⅲ类射线装置。本项目拟使用放射性核素^{18}F配合PET/CT开展核素显像诊断。

医院核医学科原环评许可放射性核素日等效最大操作量为8.57E+08Bq，本次增加放射性核素^{18}F后，核医学科工作场所日等效最大操作量为8.64 E+08Bq，仍为乙级非密封放射性物质工作场所。

南京市浦口人民医院《新建核医学科、加速器及DSA等射线装置应用项目》已于2018年完成环境影响评价，见附件5。原环评规划中的加速器机房，设备未购置；核医学场所机房已建设，SPECT/CT设备已购置但未投入使用；^{89}Sr、^{99m}Tc、^{131}I、^{153}Sm、^{201}Tl已许可未投入使用；1台DSA已验收。本次仅对核医学科进行调整：①将现核医学科中储源室和注射室调整为废物库及源库，将心脏介入负荷室调整为注射室，将肺通气灌注室调整为分装室，将摄碘率检查室调整为淋浴间，将PET/CT注射后候诊室调整为留观室，将留观区调整为PET/CT注射后候诊室，并增加隔断墙体进行辐射防护屏蔽。②由于医院现有核医学科衰变池位于院内道路中央地下，且长期未使用，取样口已损坏。故拟在核医学下方地下车库新建1座衰变系统。本项目原核医学科布局规划示意图见附图3，本项目核医学科工作场所布局及防护屏蔽调整前后对比一览表见表1-1。

表1-1 本项目核医学科工作场所布局及防护屏蔽调整前后对比一览表

场所名称		原环评防护设计	现调整后防护设计
源库、放射性废物库（原为储源室、注射室）	四面墙体	40cm混凝土	40cm混凝土
	屋顶	30cm混凝土	30cm混凝土
	地面	30cm混凝土	30cm混凝土
	防护门	8mmPb	8mmPb
	注射观察窗	50mm铅当量铅玻璃	/
注射室	四面墙体	40cm混凝土	40cm混凝土

（心脏介入负荷室）	屋顶	30cm 混凝土	30cm 混凝土
	地面	30cm 混凝土	30cm 混凝土
	防护门	8mmPb	10mmPb
	注射观察窗	/	50mm 铅当量铅玻璃
分装室 （原为肺通气灌注室）	四面墙体	40cm 混凝土	40cm 混凝土
	屋顶	30cm 混凝土	30cm 混凝土
	地面	30cm 混凝土	30cm 混凝土
	防护门	8mmPb	8mmPb
淋浴间 （原为摄碘率检查室）	四面墙体	40cm 混凝土	40cm 混凝土
	屋顶	30cm 混凝土	30cm 混凝土
	地面	30cm 混凝土	30cm 混凝土
	防护门	8mmPb	/
留观室 （原为 PET/CT 注射后候诊室）	四面墙体	东、南墙为 40cm 混凝土，西、北墙为隔断墙	东、南墙体为 40cm 混凝土，西、北墙体为 20cm 混凝土
	屋顶	30cm 混凝土	30cm 混凝土
	地面	30cm 混凝土	30cm 混凝土
	防护门	8mmPb	8mmPb
PET/CT 注射后候诊室 （原为留观区）	四面墙体	北墙为 40cm 混凝土，其余各面无墙体隔断	北墙为 40cm 混凝土，其余各面 20cm 混凝土
	屋顶	30cm 混凝土	30cm 混凝土
	地面	30cm 混凝土	30cm 混凝土
	防护门	/	8mmPb
PET/CT 扫描室	四面墙体	40cm 混凝土	40cm 混凝土
	屋顶	30cm 混凝土	30cm 混凝土
	地面	30cm 混凝土	30cm 混凝土+1mm 铅当量硫酸水泥
	防护门	8mmPb	8mmPb
	观察窗	8mm 铅当量铅玻璃	8mm 铅当量铅玻璃
衰变池房间	四面	/	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护砂浆
	顶部	/	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护砂浆
	底面	/	土层

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。

受南京市浦口人民医院的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位改建PET/CT诊断项目的环境影响评价工作。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），本次改建PET/CT诊断项目属于“172 核技术利用建设项目”中的“乙级非密封放射性物质工作场所”项目，确定为编制环境影响报告表。南京瑞森辐射技术有限公司通过资料调研、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。南京市浦口人民医院改建PET/CT诊断项目情况见下表：

表1-2 南京市浦口人民医院改建PET/CT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	乙级	^{18}F	7.4E+06	核医学科	未使用	本次环评尚未许可	/

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	使用情况	环评及审批情况	备注
1	PET/CT (待定)	1台	≤140	≤1000	III	核医学科	未使用	本次环评尚未许可	/

人员配置：本项目拟配置辐射工作人员5人，为医院现有辐射工作人员。

工作制度：本项目投入运行后按每天8小时工作制，年工作时间为250天。

二、项目选址情况

南京市浦口人民医院位于江苏省南京市浦口区江浦街道上河街166号，医院东侧为浦云路，南侧为浦虹路，西侧为浦华路即江浦大桥，北侧为上河街。本项目地理位置示意见附图1。

本次改建PET/CT工作场所位于内科楼一楼核医学科，内科楼东侧为院内道路及康复体检中心，南侧为院内道路，西侧为院内道路及脑科专科治疗楼，北侧为院内道路及科研教学楼。南京市浦口人民医院周围环境示意图及总平面图见附图2。

本项目PET/CT工作场所位于核医学科内，核医学科东侧为住院病人门厅、电梯间及楼梯间，南侧为药房、检查室及核医学实验室区域，西侧为护士站及候诊大厅，北侧为院内道路，上方为室外露台及医生办公室，下方为地下车库。本项目新建衰变系统位于医院核医学科所在内科楼负一楼地下车库的衰变间内。本项目核医学工作场

所周围环境示意及平面布置图详见附图4。

本项目PET/CT工作场所周围50m评价范围均位于医院内，评价范围内无学校、居民区等环境敏感点，项目运行后的环境保护目标主要为从事本项目的辐射工作人员、院内的其他医务人员、病患及其他公众等。

三、实践正当性分析

（一）项目的必要性：目前南京市浦口人民医院核医学科现使用非密封放射性物质有^{89}Sr、^{99m}Tc、^{131}I、^{153}Sm、^{201}Tl，本项目新增的1台PET/CT，配合使用^{18}F核素进行显像诊断，为临床提供了更加全面、客观、准确的诊断依据；本项目在原有核医学场所进行改建，完善了核医学的布局、防护，使核医学场所内人流、物流路线更加合理，减少医生、患者之间的照射；

（二）项目的可行性：本项目涉及的PET/CT显像诊断已在各大医院广泛推广，技术已十分成熟，在医疗保障领域起了十分重要的作用。本项目建设有一定的直接经济效益，更有巨大的间接经济效益，项目建设对促进社会安定，为城市提供一个安全、健康的生活环境起着重要作用，进而提高相关产业的收入，为南京市的社会、经济稳定发展保驾护航；

（三）社会影响：本项目的运行，可为病人提供多种医疗诊断服务，并可提高当地医疗卫生水平，具有良好的社会效益；

（四）环境影响：本项目核素在手套箱中完成自动分装，然后通过转运铅罐运至注射台进行注射，含有^{18}F放射性废水排放到内科楼地下一层的衰变池中衰变，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；产生的放射性固废暂存废物间衰变相应天数后，作为医疗废物进行处理。本项目实践过程中采取了可能的辐射防护措施，在患者得到诊疗预期效果的同时，对周围环境、公众的辐射影响满足国家辐射防护安全标准的要求；

（五）法规遵从性：本项目核医学科项目属于《产业结构调整指导目录（2019年本）》第一类鼓励类第六项核能中第6条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。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、原有核技术利用项目许可情况

南京市浦口人民医院现持有江苏省生态环境厅颁发的辐射安全许可证，证书编

号：苏环辐证[01366]，有效期至2029年1月29日，许可种类和范围为：使用Ⅴ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。详见附件3。

南京市浦口人民医院现有核技术利用项目均已履行环保相关手续。医院现有核技术利用项目一览表见附件4。

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	7.4×10^{9}	7.4×10^{6}	1.85×10^{12}	核素诊断	注射， 很简单操作	核医学科	按需订购，核医学科使用
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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	未定型	≤140	≤1000	医疗诊断	核医学科	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 12kg	约 144kg	/	存放于专用放射性废物铅桶与放射性废物库	含 ^{18}F 核素的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。
手套箱顶壁和工作场所通风系统中置换下的含放射性核素的废活性炭		^{18}F	/	少量	少量	/		
含放射性核素的卫生间下水及清洗废水	液体	^{18}F	/	约 9m^3	约 108m^3	/	流入衰变池中	在衰变池中暂存超过 30 天后直接解控排放。
含有液态放射性药物操作时挥发的微量气溶胶	气体	^{18}F	/	微量	微量	微量	不暂存	在手套箱中操作，经手套箱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，臭氧在常温条件下约 50min 可自然分解为氧气。

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/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）《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； （12）《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正本），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会第二次会议第2号公告，2018年5月1日起实施； （13）《关于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》，生态环境部令 第9号，2019年11月1日起施行； （19）《关于印发<生态环境分区管控管理暂行规定>的通知》，生态环境部，环环评[2024]41号，2024年7月8日发布； （20）《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》，自然资发〔2022〕142号，2022年8月16日发布； （21）《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，（辐射函[2023]20号），2023年9月11日发布； （22）《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； （23）《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； （24）《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； （25）《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； （26）《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； （27）《江苏省2023年度生态环境分区管控动态更新成果公告》（江苏省生态环境厅2024年6月13日发布）。
技术	（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；

标准	（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）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； （5）《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）； （6）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； （7）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； （8）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）； （9）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）； （10）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）； （11）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）； （12）《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）。
其他	**附图：** （1）南京市浦口人民医院改建 PET/CT 诊断项目地理位置示意图； （2）南京市浦口人民医院平面布置和周围环境示意图； （3）南京市浦口人民医院内科楼一楼核医学科（改造前）及周围环境平面布局示意图； （4）南京市浦口人民医院内科楼一楼核医学科及周围环境平面布局示意图； （5）南京市浦口人民医院内科楼二楼及周围环境平面布局示意图； （6）南京市浦口人民医院内科楼负一楼周围环境平面布局示意图； （7）南京市浦口人民医院核医学工作场所排风/新风管道布设示意图； （8）南京市浦口人民医院核医学工作场所专用下水管道布设示意图。 **附件：** （1）项目委托书； （2）射线装置、非密封放射性物质使用承诺书； （3）辐射安全许可证及副本复印件； （4）医院现有核技术利用项目情况一览表； （5）本项目核医学科原环评报告； （6）医院辐射防护领导小组的成立文件；

	（7）辐射环境现状监测报告； （8）检测机构资质认定证书； （9）江苏省生态环境分区管控综合查询报告书。

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本次改建 PET/CT 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。评价范围均位于医院内，无学校、居民区等环境敏感点。评价范围详见附图 2。

保护目标

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。根据《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号）、《生态环境分区管控管理暂行规定》（环环评〔2024〕41 号）、《江苏省关于加强生态红线监督管理的通知》（苏自然资函〔2023〕880 号）和《江苏省 2023 年度生态环境分区管控动态更新成果公告》（江苏省生态环境厅 2024 年 6 月 13 日发布）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于江北新区核心区及周边区域重点管控单元（编码：ZH32017120170）内，不在南京市生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和一般管控单元。对照《环境影响评价技术导则生态影响》（HJ 19-2022），本项目评价范围内不涉及受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。

本项目主要考虑核医学科工作时可能对周围环境产生的辐射影响。本项目核医学工作场周围 50m 评价范围内均位于医院内，评价范围内无学校、居民区等环境敏感点。项目运行后的环境保护目标主要为核医学科辐射工作人员、评价范围内其他医务人员、病患及其他公众等。详见表 7-1。

表 7-1 南京市浦口人民医院改建 PET/CT 诊断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	核医学科	核医学科工作人员	核医学科工作场所内	/	5 人
评价范围内公众（其他工作人员及公众）	内科楼	医护人员	本项目辐射工作场所四周、楼上及楼下	约 2m	约 30 人
		病患、其他公众			约 40 人
	院内道路	病患、其他公众	内科楼东侧	约 20m	流动人员
	院内道路及浦虹路	病患、其他公众	内科楼南侧	约 20m	流动人员
	脑病专科治疗楼	医护人员	内科楼西侧	约 35m	约 20 人
		病患、其他公众			约 25 人
	院内道路	病患、其他公众		约 20m	流动人员
	院内道路	病患、其他公众	内科楼北侧	约 20m	流动人员
	科研教学楼	医护人员		约 35 m	约 20 人
		病患、其他公众			约 25 人
	门急诊综合病房楼	医护人员		约 40 m	约 20 人
		病患、其他公众			约 25 人

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

一、《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，lmSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 lmSv，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	$>4\times10^{9}$
乙	2×10^{7}～4×10^{9}
丙	豁免活度值以上～2×10^{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/cm^2

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	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}

二、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）；

三、《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。

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 0.08Bq/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：

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 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

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。

四、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，（辐射函〔2023〕20 号）；

二、关于控制区剂量率

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021，以下称核医学标准）第 6.1.5 节规定，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 30 cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5 μ Sv/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 10 μ Sv/h。本条规定的具体含义为：

1.控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2），周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h。

2.控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子＜1/2），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 10μSv/h。

三、关于独立通风要求

核医学标准第 6.3.4 节规定，手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统。单独的排风系统意为手套箱、通风橱等设备的排风管道在汇入“主排风管道前”的部分，应独立设置，防止

发生气体回流和交叉污染。经过滤后的气体汇入到一个主管道中排放不违反标准要求。

五、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

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：

a）具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

b）CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h；

c）具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 25μSv/h，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.25mSv；

六、项目管理限值

（一）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）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）等评价标准要求，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。

（二）根据《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（生态环境部辐射源安全监管司，辐射函〔2023〕20 号）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）等评价标准要求：控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2），周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h；控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所（人员居留因子＜1/2），如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外、核素治疗住院病房防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于 10μSv/h；非密封放射性物质工作场所制区边界、机房屏蔽体外 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h；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 2.5μSv/h，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/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	4×10
	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		4×10^{-1}

七、参考资料：

（一）《辐射防护导论》，方杰主编。

（二）《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。

江苏省环境天然γ辐射（空气吸收）剂量率（单位：nGy/h）

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

注：测量值已扣除宇宙射线响应值，评价时采用“测量范围”作为辐射现状评价的参考数值。

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

南京市浦口人民医院位于江苏省南京市浦口区江浦街道上河街 166 号，医院东侧为浦云路，南侧为浦虹路，西侧为浦华路即江浦大桥，北侧为上河街。

本次改建 PET/CT 工作场所位于内科楼一楼核医学科，内科楼东侧为院内道路及康复体检中心，南侧为院内道路，西侧为院内道路及脑科专科治疗楼，北侧为院内道路及科研教学楼。

本项目 PET/CT 工作场所位于核医学科内，核医学科东侧为住院病人门厅、电梯间及楼梯间，南侧为药房、检查室及核医学实验室区域，西侧为护士站及候诊大厅，北侧为院内道路，上方为室外露台及医生办公室，下方为地下车库。

本项目 PET/CT 工作场所周围 50m 评价范围内南侧为浦虹路，其余均位于医院内，评价范围内无学校、居民区等环境敏感点，项目运行后的环境保护目标主要为从事本项目的辐射工作人员、院内的其他医务人员、病患及其他公众等。

本项目新院区核医学工作场所周围环境见图 8-1~图 8-7。



图 8-1 本项目 PET/CT 机房拟建址



图 8-2 PET/CT 机房拟建址东侧



图 8-3 PET/CT 机房拟建址南侧



图 8-4 PET/CT 机房拟建址西侧



图 8-5 核医学场所拟建址北侧



图 8-6 核医学场所拟建址楼上



图 8-7 核医学场所拟建址楼下

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，于医院改建核医学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。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

监测日期：2024 年 8 月 1 日

监测因子：γ 辐射剂量率、β 表面污染水平

天气：晴

温度：32℃

湿度：69%RH

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

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

数据记录及处理：①γ 空气吸收剂量率：开机预热，手持仪器。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。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差。环境γ辐射剂量率测量结果按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中公式 $\dot{D}=C_f(E_f\dot{X}-\mu_c\dot{X}_c')$ 计算，其中，C_f 为仪器量程检定/校准因子；E_f 为仪器检验源效率因子；$\dot{X}$ 为现场监测时仪器 n 次读数的平均值（n≥10）；μ_c 为建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房取 0.8，原野、道路取 1；$\dot{X}_c'$ 为测点处仪器对宇宙射线的响应值，取 30nGy/h。②表面污染水平：选取直接测量，在探测器灵敏窗和待检表面避免接触的情况下，将探测器在表面上方慢慢地移动，读取探测值，每个点位读取 6 个数据，读取间隔不小于 2s。

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γ辐射剂量水平调查结果，评价项目周围的辐射环境质量。

（一）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：2023 年 10 月 30 日～2024 年 10 月 29 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2023-0173796）

能量响应：20keV～7MeV

测量范围：1nSv/h～99.9μSv/h

表 8-1 南京市浦口人民医院改建 PET/CT 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）	备注
1	PET/CT 机房拟建址	61	室内
2	PET/CT 机房拟建址东侧	58	室内
3	PET/CT 机房拟建址南侧	64	室内
4	PET/CT 机房拟建址西侧	59	室内
5	PET/CT 机房拟建址北侧	68	室内
6	PET/CT 工作场所拟建址东侧	61	室内
7	PET/CT 工作场所拟建址南侧	59	室内
8	PET/CT 工作场所拟建址西侧	62	室内
9	PET/CT 工作场所拟建址北侧	57	室外
10	PET/CT 工作场所拟建址楼上	55	室内
11	PET/CT 工作场所拟建址楼下	67	室外

注：1、测量数据已扣宇宙响应值；
2、监测点位见图 8-8。

由表 8-1 监测结果可知，南京市浦口人民医院改建 PET/CT 诊断项目拟建址及其周围环境室内 γ 辐射剂量率在 55nGy/h～68nGy/h 之间，位于江苏省环境天然 γ 辐射水平之间，属江苏省环境天然 γ 辐射本底水平。

（二）β表面污染水平

检测仪器：CoMo 170 型 α、β 表面污染测量仪（设备编号：NJRS-129，检定有效

期：2024 年 3 月 28 日～2025 年 3 月 27 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2024-0027030）。

测量范围：0cps～20000cps

表 8-2 南京市浦口人民医院改建 PET/CT 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/cm²）
1	PET/CT 机房拟建址	＜0.07
2	PET/CT 机房拟建址东侧	＜0.07
3	PET/CT 机房拟建址南侧	＜0.07
4	PET/CT 机房拟建址西侧	＜0.07
5	PET/CT 机房拟建址北侧	＜0.07

注：1、β 表面放射性污染水平仪器探测下限（LLD）为 0.07Bq/cm²；

2、监测点位见图 8-8。

由表 8-2 监测结果可知，南京市浦口人民医院改建 PET/CT 诊断项目拟建址及其周围环境 β 表面污染水平均小于 0.07Bq/cm²。

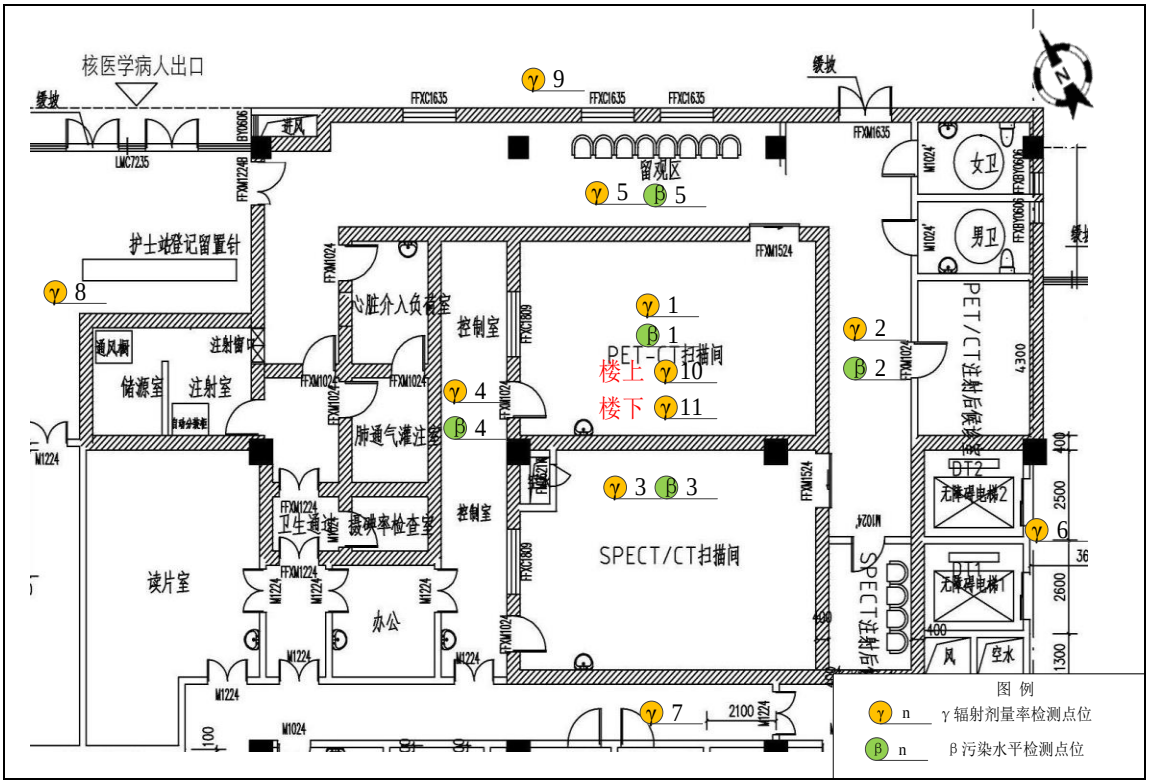

图 8-8 南京市浦口人民医院改建 PET/CT 诊断项目拟建址周围 γ 辐射剂量率及 β 表面污染水平监测点位示意图

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

南京市浦口人民医院拟在医院内科楼一楼建设核医学科改建 PET/CT 诊断项目：即拟在 PET/CT 机房配置 1 台上海联影医疗科技股份有限公司生产的 PET/CT（型号待定，最大管电压≤140kV，最大管电流≤1000mA），属III类射线装置。本项目拟使用放射性核素 ^{18}F 配合 PET/CT 开展核素显像诊断。本项目 PET/CT 无需配备校准源。

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 结构示意图见图 9-1。

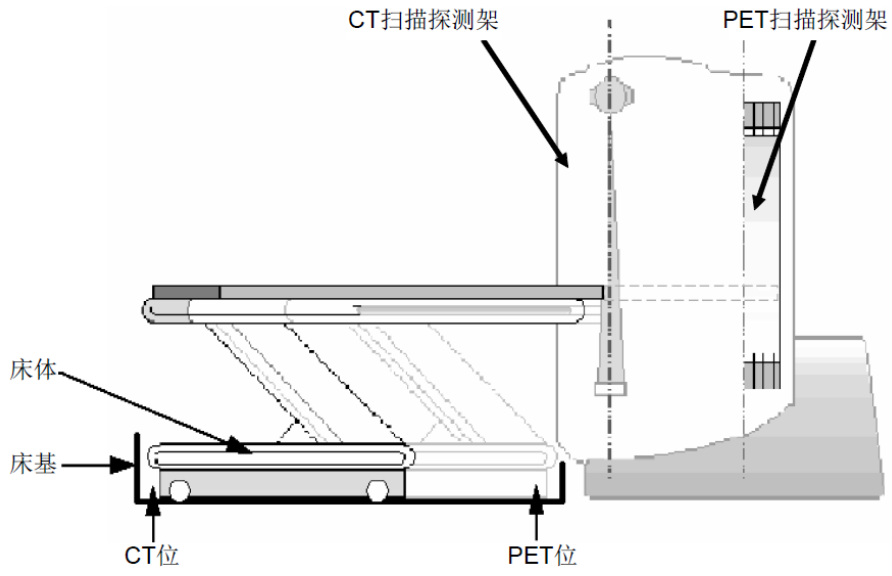

图 9-1 PET/CT 结构示意图

本项目核医学科使用放射性同位素 ^{18}F 开展 PET/CT 显像诊断，拟新增辐射项目见表 9-1。

表 9-1 本次改建 PET/CT 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 10mCi×日最高峰 20 人=7.4×10^{9}Bq	核素显像
	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	

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	未定型	≤140	≤1000	III类	使用	拟购

注：*核医学诊断项目单日人数较多时，将分上下午两次订购药物，每次 ^{18}F 最大备药量为单次使用平均用量 10mCi×10 人×4=1.48×10^{10}Bq,即日最大用药量为 $2\times1.48\times10^{10}=2.96\times10^{10}$Bq。

根据医院提供的预估工况分别核算其放射性核素日最大操作量和年总用量。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“表 A.1 核医学常用放射性核素毒性组别修正因子”和“表 A.2 核医学常见放射性核素状态与操作放射修正因子”，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。

表 A.1 核医学常用放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	常用核素名称	毒性组别修正因子
高毒	^{90}Sr	1
中毒	^{22}Na、^{32}P、^{63}Ni、^{67}Ga、^{90}Y、^{99}Mo、^{111}In、^{125}I、^{131}I、^{153}Sm	0.1
低毒	^{3}H、^{11}C、^{11}CO、$^{11}CO_2$、^{14}CO、$^{14}CO_2$、^{18}F、^{51}Cr、^{99m}Tc、^{111m}In、^{123}I、^{133}Xe、^{201}Tl	0.01

表 A.2 核医学常见放射性核素状态与操作放射修正因子

活动类型	核素及状态	操作方式界定	操作方式修正因子
发生器淋洗	母体（液态）	贮存	100
	子体（液态）	简单操作	1
医疗机构使用	^{18}F、^{99m}Tc（液态）	很简单操作	10
	^{125}I 籽源（固态）	很简单操作	100
放射性药品生产	分装、标记（液态）	简单操作	1
	分装、标记（固体）	简单操作	10
核素治疗	^{131}I（液态）	简单操作	1

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。南京市浦口人民医院核医学科所使用的放射性核素日等效最大操作量核算见表 9-2。

表 9-2 南京市浦口人民医院核医学科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	备注
^{18}F	液态/低毒	很简单操作	日最大操作量（7.4×10^{9}Bq）×0.01（低毒）/10（液态/很简单操作）=7.4×10^{6}Bq	本次环评
^{99m}Tc	/	/	3.7×10^{8}Bq	已环评、已许可
^{99m}Tc	/	/	1.11×10^{7}Bq	已环评、已许可
^{131}I	/	/	7.4×10^{7}Bq	已环评、已许可
^{131}I	/	/	1.11×10^{6}Bq	已环评、已许可
^{89}Sr	/	/	2.96×10^{7}Bq	已环评、已许可
^{201}Tl	/	/	9.25×10^{5}Bq	已环评、已许可
^{153}Sm	/	/	3.7×10^{8}Bq	已环评、已许可
合计			8.64×10^{8}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 9-2 计算结果可知，原环评许可放射性核素日等效最大操作量为 8.57×10^{8}Bq，本次改建 PET/CT 诊断项目运行后，医院核医学诊断工作场所日等效最大操作量为 8.64×10^{8}Bq，属于“2×10^{7}~4×10^{9}”Bq，确定医院核医学工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。

二、工作原理及工作流程

（一）PET/CT 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。



图 9-2 本项目 PET/CT 外观图

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子，即正电子。正电子是一种反物质，从核内放出后很快与环境中自由电子碰撞湮灭，转化为一对方向相反、能量为 0.511MeV 的 γ 光子。如果在这对光子飞行方向上对置一对探测器，便可以几乎同时接受到这两个光子，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

南京市浦口人民医院改建 PET/CT 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，确定当天所使用的药物活度，提前向制药公司

预订，制药公司在患者就诊前将药物送到核医学科的储源室内，核医学科指定专人负责药物的接收和登记，并暂存到注射室铅手套箱内，当天用完。本项目采取按需订药及自动分装的工艺优化，减少了医护人员接触放射性药物的时间，降低了医护人员受照辐射剂量。

患者按预约日期到达候诊大厅，在候诊大厅内接受宣讲和告知，之后再进行注射前埋针，埋针后进入候诊大厅南侧的注射室。医护人员在铅手套箱内将根据患者用药情况自动分装好的药物取出，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。每次注射过程中近距离接触正电子药物的时间保守按 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活度；与患者预约，按需订购放射性药物，使用机器对患者所需药物进行自动分装；

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。

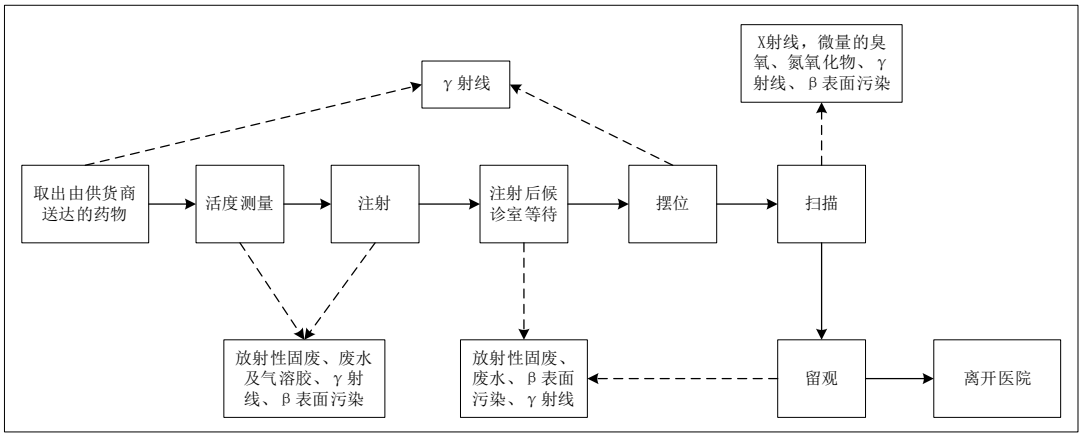

图 9-3 PET/CT 工作流程及产污环节分析示意图

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。

（三）核医学科人流、物流路径规划

本次 PET/CT 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。核医学科工作场所区域划分及患者、医护人员流动路线见图 9-4。

医护人员路径：1、本项目核素操作人员从核医学科场所东侧的住院病人门厅刷开门禁后向西进入核医学科，经过道向北通过卫生通过间，进入分装室、注射室，工作完成后原路返回；2、PET/CT 操作人员从核医学科场所东侧的住院病人门厅刷开门禁后向西进入核医学科，经过道向北进入控制室，进行扫描操作，工作完成后原路返回。

患者路径：患者从内科楼北侧核医学病人入口进入核医学科候诊区，然后向东通过核医学科大门进入核医学工作场，进入场所后向南直行进入场所的注射诊断区，接受给药后向北再向东依次进入注射后候诊室、PET/CT（机房），检查完成后向南进入留观室，最后再向北通过工作场所患者离开路线离开核医学科，出口避开人员密集处。

放射性药物路径：^{18}F 放射性药物由厂商在患者受检前，从从内科楼北侧核医学病人入口进入，再向东穿过一道门进入核医学科，再向南通过缓冲区进入分装室，铅罐原路返回。

废物路径：每日核医学诊断项目患者离开后，产生的放射性废物从各房间收集后，经注射室、分装室、缓冲区集中到放射性废物库中，分别标记、分开贮存，在放射性废物间中的铅桶内自然衰变 30 天后，从 PET/CT 工作场所西侧的入口处送出。

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。

本次核医学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，核医学工作场所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。本项目乙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。

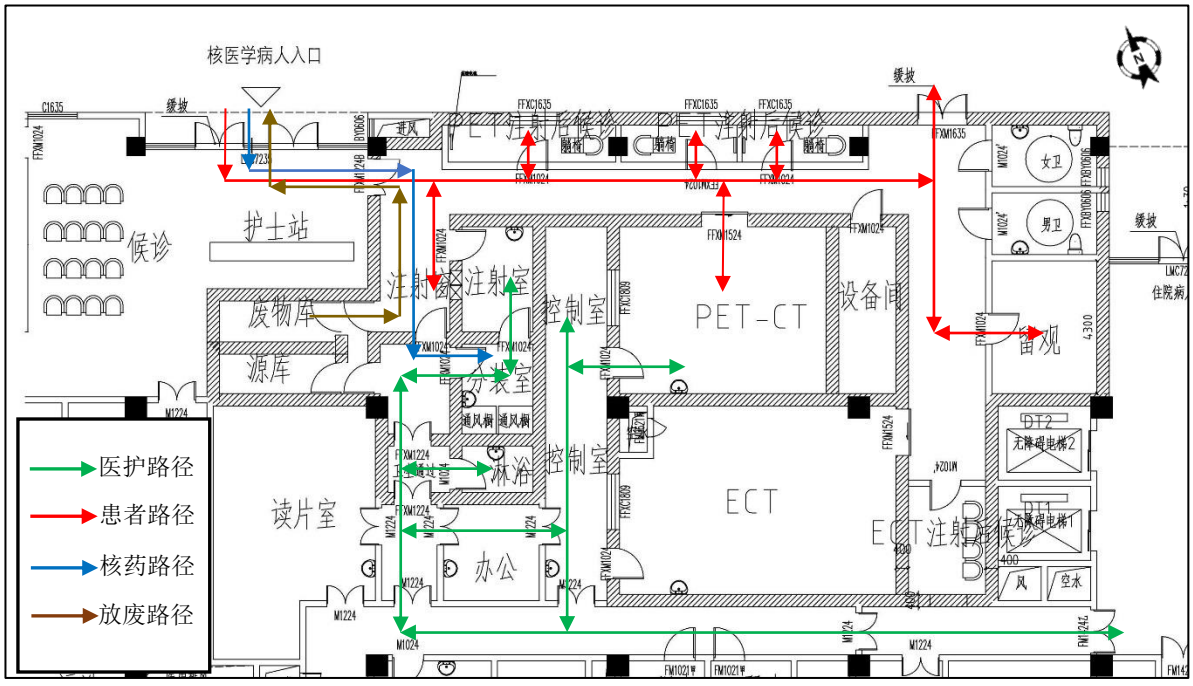

图 9-4 PET/CT 工作场所布局及病人、医护人员流动路线图

污染源项描述

一、放射性污染

（一）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。

本次改建 PET/CT 诊断项目拟使用的放射性核素种类及其特性见表 9-3。

表 9-3 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 （μSv·m²/MBq·h）
^{18}F	109.8min	β^+，EC	0.63（+）	0.511	0.143

注：①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 射线相较于 γ 射线穿透能力较弱，但在近距离操作时，β 射线对人体皮肤和眼睛也会有一定影响。但在日常操作规范的情况下，β 射线对周围环境辐射影响较小。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。故核医学科主要考虑放射性核素发出的 γ 射线的辐射影响。

（二）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手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（通风速率不少于 0.5m/s，排放口高于本建筑屋脊），开放液面挥发散逸的放射性同位素经通风系统内活性炭过滤后，从手套箱的通风管道直接抽出，由屋顶排放；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。

（三）放射性废水

体内含有放射性核素的患者排泄物等和工作场所清洗废水等。结合医院现有核医学工作场所开展情况及参考《建筑给水排水设计标准》（GB 50015-2019）中“表3.2.2”内容，本次开展 PET/CT 诊断项目日接诊量最大均为 20 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 100L，则放射性废水排放量为 300L/d（10L/人×20 人/d+100L/d）。

（四）放射性固体废物

^{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，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 20 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 0.4kg/d（0.02kg/人×20 人/d）。

二、非放射性污染

（一）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、氮氧化物等气体。

（二）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。

（三）固体废物

主要是工作人员产生的生活垃圾，分类收集。

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

南京市浦口人民医院拟在院区内科楼一楼核医学科内改建 PET/CT 工作场所，拟建成后仍为原许可的乙级非密封放射性物质工作场所，场所数量和等级不变，并在场所内配置 1 台 PET/CT（型号未定，最大管电压≤140kV，最大管电流≤1000mA），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。

南京市浦口人民医院本次改建 PET/CT 诊断项目拟将 PET/CT 机房、源库、分装室、注射室、放射性废物库、淋浴间、卫生通过间、注射后候诊室、留观室、卫生间及衰变间等作为辐射防护控制区，将控制室、走道、阅片室、办公室、电梯间及缓冲区等作为辐射防护监督区。本项目核医学工作场所平面布局及辐射防护分区见附图 4。

南京市浦口人民医院核医学科工作场所位于内科楼一楼，整个诊断工作场所相对独立，与其他科室有明显的界限。本次改建 PET/CT 诊断项目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。

表 10-1 本次改建 PET/CT 诊断项目工作场所的控制区、监督区划分情况一览表

工作场所	控制区	监督区
核医学科	PET/CT 机房、源库、分装室、注射室、放射性废物库、淋浴间、卫生通过间、注射后候诊室、留观室、卫生间	控制室、走道、阅片室、办公室、电梯间及缓冲区
核医学科下方（地下车库）	衰变间	/

注：本项目核医学工作场所平面布局及辐射防护分区见附图 4。

二、辐射防护屏蔽设计

根据医院提供的本项目设计资料，本次改建 PET/CT 诊断项目工作场所屏蔽设计如表 10-2：

表 10-2 本次改建 PET/CT 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)]				
	四周墙体	顶部	地面	防护门	观察窗
分装室	40cm 混凝土	30cm 混凝土	30cm 混凝土	8mm 铅板	/
注射室	40cm 混凝土	30cm 混凝土	30cm 混凝土	10mm 铅板	50mm 铅当量铅玻璃
PET/CT 机房	40cm 混凝土	30cm 混凝土	30cm 混凝土+1mm 铅当量硫酸水泥	8mm 铅板	8mm 铅当量铅玻璃
PET/CT 注射后候诊室	西、北墙为 40cm 混凝土，东、南墙为 20cm 混凝土	30cm 混凝土	30cm 混凝土	8mm 铅板	/
留观室	东、南墙体为 40cm 混凝土，西、北墙体为 20cm 混凝土	30cm 混凝土	30cm 混凝土	8mm 铅板	/
注射后病人专用卫生间	东、北墙体为 40cm 混凝土，西、南墙体为 20cm 混凝土	30cm 混凝土	30cm 混凝土	8mm 铅板	/
放射性废物间	40cm 混凝土	30cm 混凝土	30cm 混凝土	8mm 铅板	/
储源室	40cm 混凝土	30cm 混凝土	30cm 混凝土	8mm 铅板	/
手套箱	手套箱： 前后面为 50mm 铅当量，侧面为 30 mm 铅当量				

注：1、表中所列屏蔽材料密度为：混凝土 2.35g/cm^3，铅 11.3g/cm^3，硫酸钡水泥密度为 3.2g/cm^3；

2、核医学科项目单日人数较多时，将分上下午两次订购药物，^{18}F 专用手套箱内药物最多 1.48×10^{10}Bq（10 人 PET/CT 备用量），对照《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I 中表 I.2，本项目手套箱选用 50mm 铅当量。

四、辐射安全措施

（一）电离辐射警告标志

医院拟将本次改建 PET/CT 工作场所划分为控制区和监督区，在控制区入口处拟设置有符合规范的电离辐射警告标志，核医学工作场所内部放射性物质运送配备的贮

存、转运等容器表面和收集固体放射性废物的专用废物桶表面设置电离辐射标志。监督区入口处拟设置标明监督区的标志。

（二）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；平开机房门设有自动闭门装置，推拉式机房门设有曝光时关闭机房门的管理措施。

（三）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。

（四）对控制区内带药患者的监督管理

医院拟做好本项目控制区的监督管理工作，防止无关人员入内；拟在控制区出入口设置单向门禁系统，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。

（五）核医学科工作场所安全防护措施管理规定

医院拟将 PET/CT 机房、源库、分装室、注射室、放射性废物库、淋浴间、卫生通过间、注射后候诊室、留观室、卫生间及衰变池等作为辐射防护控制区，将控制室、走道、阅片室、办公室、电梯间及缓冲区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。

（六）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放射性污染防护服、辐射巡检仪、剂量报警仪及个人剂量计等。

（七）监视和对讲装置

医院已在核医学科的控制区内安装监控及对讲设备，通过监控及对讲设备对控制区内用药后患者进行有序管理，使患者有序进入核医学科用药就诊。同时，除了使用

监控及对讲设备对患者进行逐个叫号注射（服药）以及扫描外，医院计划在地面设置指示箭头以及指示牌指示患者进行有序注射（服药）以及扫描，通过加强管理的方式减少患者的直接交叉辐射影响。

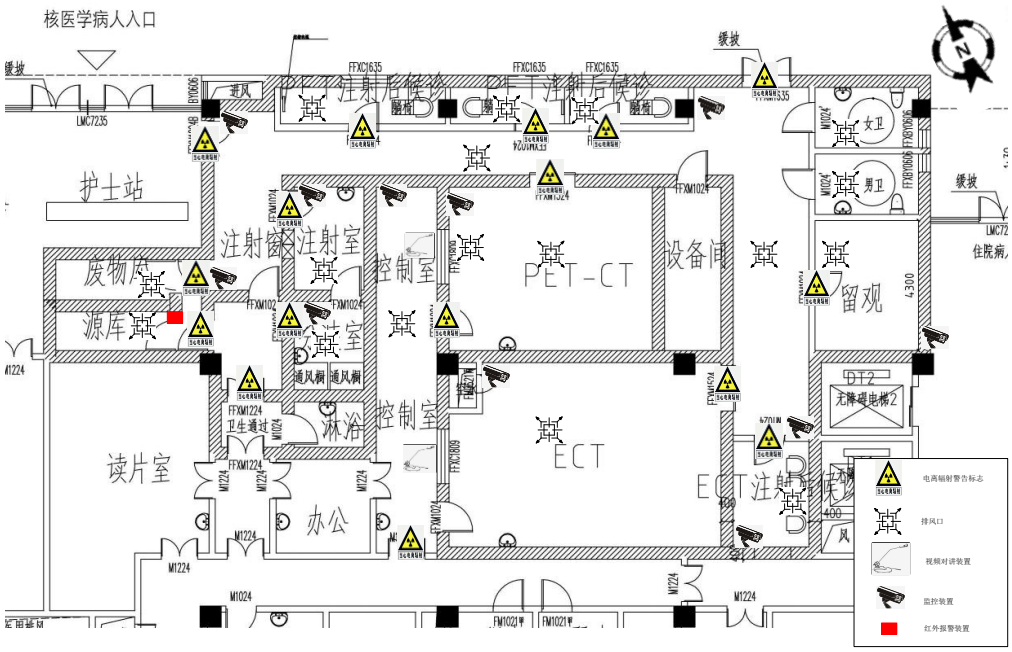

图 10-1 PET/CT 工作辐射防护设施平面布置示意图

五、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。

南京市浦口人民医院拟为本项目配备 1 台辐射巡测仪， 1 台表面沾污仪及配备 5 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 10-3 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
正电子放射性药物	工作人员	必备	放射性污染防护服	放射性污染防护服若干
		选备	/	/
	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。

（一）含放射性核素气溶胶

核医学科药品室内的手套箱有独立排风管道，放射性药物的各项操作均在手套箱内进行，手套箱由专业厂商提供，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手套箱，工作中应有足够风速（一般风速不小于 0.5m/s）”要求，医院购买的手套箱排风口处风速不得低于 0.5m/s；本项目 PET/CT 工作场所区域候诊室、分装注射室、PET/CT 扫描间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），更换后的废活性炭经贮存自然衰变 30 天后作为医疗废物处置。

南京市浦口人民医院核医学科产生的废气将通过室内排风井将排风管引至本楼楼顶排放，排口高于楼屋顶面和周围建筑，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，建设单位应将内科楼楼顶划为管控区域，并进行管理。

（二）放射性废水

本项目 PET/CT 工作场所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 PET/CT 工作场所设置有独立的病人专用卫生间，且设置有独立的排水系统，并与医院新建的衰变系统相连，该衰变系统拟建于医院核医学科所在内科楼负一楼地下车库的衰变间内，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该衰变系统内，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。

来自本次改建 PET/CT 工作场所的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（详见附图 8）统一集中到医院核医学科的衰变系统中（衰变系统设置在医院核医学科所在内科楼负一楼地下车库的衰变间内），该衰变池具备监测采样条件，衰变系统结构示意见图 10-2。本项目放射性废水暂存衰变 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。

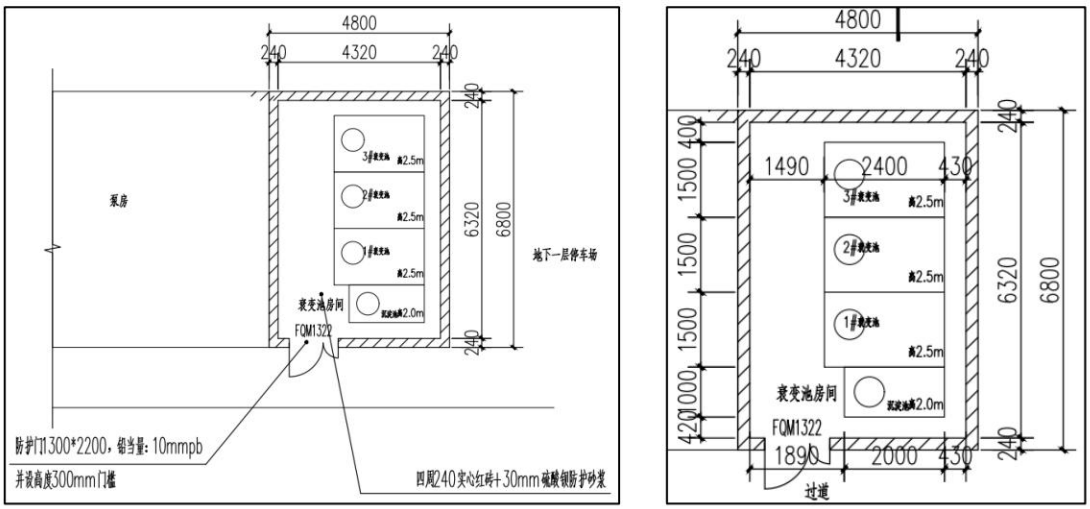

图 10-2 本项目衰变系统结构示意图

核医学科的衰变池系统由 1 个沉淀池和 3 个衰变池组成，单个衰变池有效容积均为 9m^3，总容积为 27m^3（即为 27000L）。该衰变系统为不锈钢一体浇筑成型，并采用坚固耐腐蚀、防渗漏措施。衰变系统所处的衰变间为 240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护砂浆砌成，防护门采用 10mm 的铅板进行辐射防护屏蔽。衰变池运行时，废水经沉淀池后先进入 1#衰变池中，其余两个衰变池进水阀门关闭，待第一个衰变池达到预定水位时，关闭进水阀，打开 2#衰变池的进水阀；当 2#衰变池达到预定水位时，关闭进水阀，打开 3#衰变池的进水阀。当 3#衰变池达到预定水位时，关闭进水阀，打开 1#衰变池的排水阀，排空 1#衰变池的废水后，重新打开打一个衰变池的进水阀。三个衰变池以此往复运行。本项目衰变系统工作原理简易图见图 10-3。

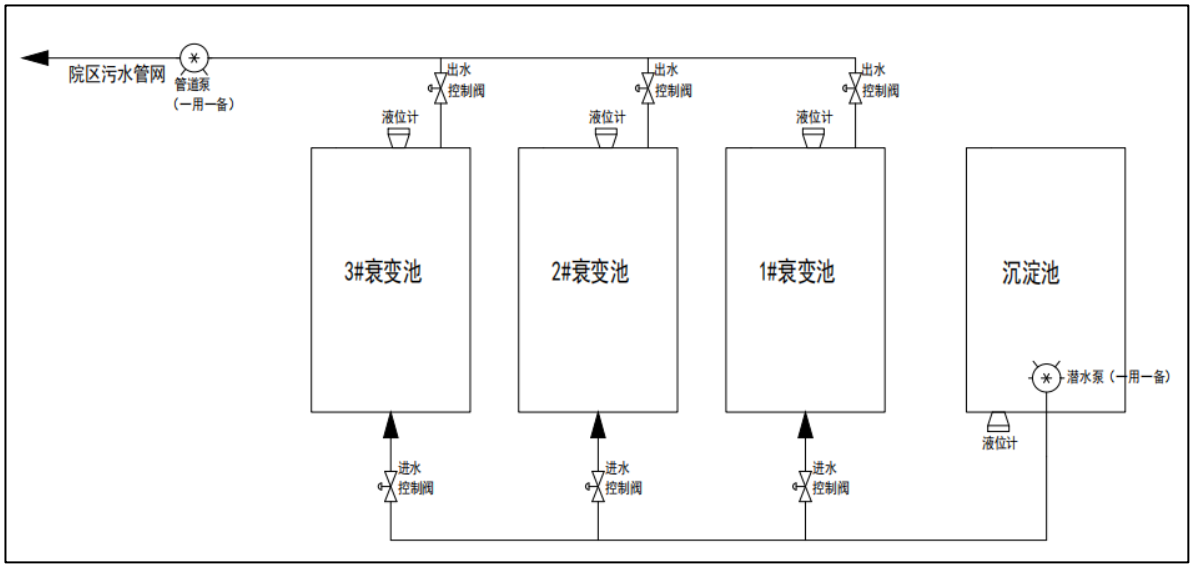

图 10-3 本项目衰变系统工作原理简易示意图

放射性废水主要有沾有放射性核素的医疗器械、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。本项目核医学科工作场所中，本次拟改建 PET/CT 诊断项目及现有 SPECT/CT 诊断项目日接诊量最大均为 20 人次，放射性废水产生量按 10L/人次计算，核医学工作场所每天的清洗废水约为 100L，则本次改建 PET/CT 诊断项目后，医院核医学工作场所每日放射性废水排放量为 500L/d（10L/人×（20 人/d+20 人/d ）+100L/d）。

根据放射性废水衰变系统工作原理，及医院提供每天放射性废水产生量，估算放射性废水可在该衰变系统内衰变时间为 50 天左右，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、衰变池设置在单独的房间中，防止无关人员靠近，且衰变池室门上设立有明显的“电离辐射警告标志”；

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。

（三）放射性固废

核医学科产生的放射性固体废物主要有废弃的注射器、一次性手套、棉签、滤纸等。核医学科分装注射室、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 20mmPb），另外，医院在本项目核医学科区域设有 1 个放射性废物库，面积约为 4.97m^2，总容积约为 19.88m^3。核医学科各房间放射性废物桶内的废弃物在下班后统一集中到放射性废物间内，放射性固体废物可在放射性废物间内暂存超过 30 天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求，同时放射性废物包装袋还应满足“放射性废物每袋不超过 20kg”的标准要求。

手套箱通风管道内更换下来的废活性炭，连同其他放射性固体废物在放射性废物间暂存时间超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平、β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，作为医疗废物进行处理。

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，固体废物桶应避开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。

4、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；

5、不同核素种类放射性固废进行分类收集，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

（一）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，常温下臭氧约 50min 可自动分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

（二）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。

（三）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

本次改建 PET/CT 诊断项目工作场所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：

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

二、噪声：整个建筑施工阶段，如墙体拆除、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。

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。

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。

（一）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

本项目手套箱采用铅板及铅玻璃进行防护，工作场所墙体、顶部采用混凝土+铅板，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 放射性核素装在 40mm 铅罐中，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，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。

（二）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手套箱中进行；

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）。

（三）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。

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

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，μSv·m^2/MBq·h；

$\dot{H}_p$—屏蔽体外关注点剂量率，μSv/h；

R—放射源到考察点的距离，m。

由公式I.1推导可得：

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

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什值层见表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，核医学诊断项目辐射影响主要包括药物注射、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可估算出核医学科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 11-3。

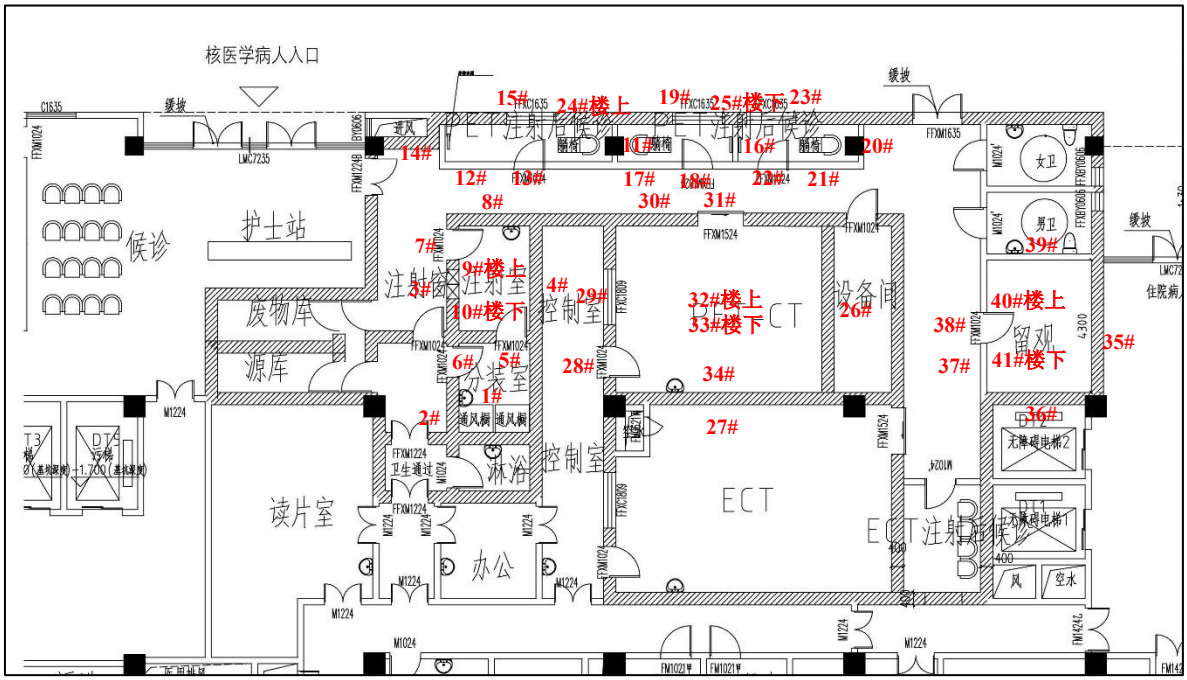

图 11-1 本项目核医学场所剂量率估算点位示意图

表 11-3 核医学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[1)]	透射比	参考点辐射水平（μSv/h）	控制目标值（μSv/h）	备注
本次改建 PET/CT 诊断项目	1	手套箱操作位[2)]	1.48E+10	0.5	40mmPb+50mmPb	3.79E-06	0.032	2.5	铅罐为 40mmPb，手套箱为 50mmPb
	2	手套箱侧面	1.48E+10	0.3	40mmPb+30mmPb	6.07E-05	1.427	25	铅罐为 40mmPb，手套箱为 30mmPb
	3	注射位	3.70E+08	0.5	50mmPb	9.73E-04	0.206	/	注射窗为 50mmPb
	4	注射室东墙外 30cm 处	3.70E+08	1.8	40cm 混凝土	5.34E-03	0.087	2.5	/
	5	注射室南侧防护门外 30cm 处	3.70E+08	2.4	10mmPb 防护板	2.50E-01	2.295	10	/
	6	注射室南墙外 30cm 处	3.70E+08	2.1	400mm 混凝土	5.34E-03	0.064	2.5	/
	7	注射室西侧防护门外 30cm 处	3.70E+08	2.4	10mmPb 防护板	2.50E-01	2.295	10	/
	8	注射室北墙外 30cm 处	3.70E+08	2.1	400mm 混凝土	5.34E-03	0.064	2.5	/
	9	注射室楼上 30cm 处	3.70E+08	4.4	300mm 混凝土	1.97E-02	0.054	2.5	/
	10	注射室楼下 30cm 处	3.70E+08	1.3	300mm 混凝土	1.97E-02	0.618	2.5	/
	11	注射后候诊室 1 东墙外 30cm 处	3.70E+08	3.2	200mm 混凝土	7.31E-02	0.377	2.5	假设每间 PET/CT 注射后候诊室有 1 位带药病人
	12	注射后候诊室 1 南墙外 30cm 处	3.70E+08	1.3	200mm 混凝土	7.31E-02	2.287	10	
	13	注射后候诊室 1 南侧防护门外 30cm 处	3.70E+08	3.3	8mmPb 防护板	3.30E-01	1.602	10	
	14	注射后候诊室 1 西墙外 30cm 处	3.70E+08	3.2	400mm 混凝土	5.34E-03	0.028	10	
	15	注射后候诊室 1 北墙外 30cm 处	3.70E+08	1.3	400mm 混凝土	5.34E-03	0.167	2.5	
	16	注射后候诊室 2 东墙外 30cm 处	3.70E+08	2.4	200mm 混凝土	7.31E-02	0.671	10	
	17	注射后候诊室 2 南墙外 30cm 处	3.70E+08	1.3	200mm 混凝土	7.31E-02	2.287	10	

	18	注射后候诊室 2 南侧防护门外 30cm 处	3.70E+08	3.3	8mmPb 防护板	3.30E-01	1.602	10	
	19	注射后候诊室 2 北墙外 30cm 处	3.70E+08	1.3	400mm 混凝土	5.34E-03	0.167	2.5	
	20	注射后候诊室 3 东墙外 30cm 处	3.70E+08	2.4	200mm 混凝土	7.31E-02	0.671	10	
	21	注射后候诊室 3 南墙外 30cm 处	3.70E+08	1.3	200mm 混凝土	7.31E-02	2.287	10	
	22	注射后候诊室 3 南侧防护门外 30cm 处	3.70E+08	3.3	8mmPb 防护板	3.30E-01	1.602	10	
	23	注射后候诊室 3 北墙外 30cm 处	3.70E+08	1.3	400mm 混凝土	5.34E-03	0.167	2.5	
	24	注射后候诊室楼上 30cm 处	3.70E+08	4.4	300mm 混凝土	1.97E-02	0.054	2.5	
	25	注射后候诊室楼下 30cm 处	3.70E+08	1.3	300mm 混凝土	1.97E-02	0.618	2.5	
	26	PET/CT 机房东墙外 30cm 处	3.06E+08	5.2	400mm 混凝土	5.34E-03	0.009	2.5	假设扫描时患者位于 PET/CT 机房中间
	27	PET/CT 机房南墙外 30cm 处	3.06E+08	3.4	400mm 混凝土	5.34E-03	0.020	2.5	
	28	PET/CT 机房西侧防护门外 30cm 处	3.06E+08	5.6	8mmPb 防护板	3.30E-01	0.460	2.5	
	29	PET/CT 机房西侧观察窗外 30cm 处	3.06E+08	5.2	8mmPb	3.30E-01	0.534	2.5	
	30	PET/CT 机房北墙外 30cm 处	3.06E+08	3.4	400mm 混凝土	5.34E-03	0.020	10	
	31	PET/CT 机房北侧防护门外 30cm 处	3.06E+08	4.8	8mmPb 防护板	3.30E-01	0.626	10	
	32	PET/CT 机房楼上 30cm 处	3.06E+08	4.4	300mm 混凝土	1.97E-02	0.045	2.5	
	33	PET/CT 机房楼下 30cm 处	3.06E+08	1.3	300mm 混凝土+1mm 铅当量硫酸钡水泥	1.97E-02	0.445	2.5	

	34	摆位/取消摆位	3.06E+08	1	5mmPb	5.00E-01	21.882	/	5mmPb 屏风
	35	留观室东墙外 30cm 处	2.70E+08	2.3	400mm 混凝土	5.34E-03	0.039	2.5	假设 1 名病人位于留观室中间
	36	留观室南墙外 30cm 处	2.70E+08	2.8	400mm 混凝土	5.34E-03	0.026	2.5	
	37	留观室西墙外 30cm 处	2.70E+08	2.3	200mm 混凝土	7.31E-02	0.533	10	
	38	留观室西侧防护门外 30cm 处	2.70E+08	2.3	8mmPb	3.30E-01	2.405	10	
	39	留观室北墙外 30cm 处	2.70E+08	2.8	200mm 混凝土	7.31E-02	0.360	10	
	40	留观室楼上 30cm 处	2.70E+08	4.4	300mm 混凝土	1.97E-02	0.039	2.5	
	41	留观室楼下 30cm 处	2.70E+08	1.3	300mm 混凝土	1.97E-02	0.451	2.5	

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，混凝土密度为 2.35g/cm^3，铅板密度为 11.3g/cm^3，实心砖密度为 1.65g/cm^3，硫酸钡水泥密度为 3.2g/cm^3；

2、核医学科 PET/CT 诊断项目单日人数较多时，将分上下午两次订购药物，手套箱内药物最多 1.48×10^{10}Bq（10 人 PET/CT 备药量）；

3、核医学科 PET/CT 诊断项目核素注射阶段，周围剂量当量率常数（裸源）取 0.143μSv·m^2/MBq·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 0.143μSv·m^2/MBq·h；

4、核医学科注射后候诊室各休息位之间有铅板隔离，计算时选取距离参考点最近的休息位作为源强位置；

5、本次计算，考虑病人注射后候诊 30min，在机房内扫描 20min，计算核素活度的衰减。

由表 11-3 的理论估算结果可以看出，由于有 50mm 铅当量手套箱屏蔽，^{18}F 药物取药过程中对操作人员的躯干辐射影响较小。^{18}F 药物针剂外设有铅套，^{18}F 药物在操作过程中及患者在显像过程中对注射室、给药后候诊室及 PET/CT 机房外的环境影响较小，注射室、给药后候诊室及 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，严格按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。

（四）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 核医学科 PET/CT 机房辐射防护设计及其等效铅当量一览表

参数		设计厚度[1)]	铅当量[2)]	屏蔽要求	评价
PET/CT 机房	四周墙体	40cm 混凝土	5.42mm	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 铅板	8mm		满足
	观察窗	8mm 铅当量	8mm		满足
	顶部	30cm 混凝土	3.79mm		满足
	地面	30cm 混凝土+1mm 铅当量硫酸钡水泥	4.79mm		满足
	面积	48.33m^2，最小单边长度为 5.4m		CT 机房内最小有效新建面积不小于 30m^2，单边长度不小于 4.5m。	满足

注：1、混凝土密度为 2.35g/cm^3，铅板密度为 11.3g/cm^3，硫酸钡水泥密度为 3.2g/cm^3；

2、混凝土参照 GBZ 130-2020 中表 C.5 及表 C.6 中等效铅当量厚度数值采用插值法求得。

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

本项目 PET/CT 机房辐射屏蔽主要考虑散射辐射与泄漏辐射的影响。本项目 PET/CT，以 CT 模式运行时，其常用最大管电流约为 200mA、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）：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s}{d_0^2 \cdot r^2}$$ 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），$mGy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$，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 $15mGy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$，即 $900000\mu Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot h^{-1}$；

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 90º 时 140kV 对应的 a 值为 0.0016；

S—主束在受照人体上的散射面积，本项目取 $314cm^2$；

d_0—源至受照点的距离，本项目保守取 0.6m；

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：

$$B_s = \left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}}$$ 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：

$$\dot{H}_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2}$$ 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；根据《医用电气设备 第 1-3 部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：诊断 X 射线设备的辐射防护》中“12.4 加载状态下的泄漏辐射”的要求，本项目 1m 处泄漏射线的空气比释动能率取 1.0mGy/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 11-5 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（μSv/h）	^{18}F 致参考点辐射水平（μSv/h）	^{18}F 与 CT 叠加致参考点辐射水平（μSv/h）	控制目标值（μSv/h）	是否满足
			B_s	H_s（μGy/h）	B	H_L（μGy/h）					
26	PET/CT 机房东墙外 30cm 处	5.2	5.10E-07	0.02	7.99E-07	＜0.001	0.02	0.009	0.029	2.5	满足
27	PET/CT 机房南墙外 30cm 处	3.4	5.10E-07	0.047	7.99E-07	＜0.001	0.047	0.020	0.067	2.5	满足
28	PET/CT 机房西侧防护门外 30cm 处	5.6	1.55E-09	＜0.001	4.31E-09	＜0.001	＜0.001	0.460	0.460	2.5	满足
29	PET/CT 机房西侧观察窗外 30cm 处	5.2	1.55E-09	＜0.001	4.31E-09	＜0.001	＜0.001	0.534	0.534	2.5	满足
30	PET/CT 机房北墙外 30cm 处	3.4	5.10E-07	0.047	7.99E-07	＜0.001	0.047	0.020	0.067	2.5	满足
31	PET/CT 机房北侧防护门外 30cm 处	4.8	1.55E-09	＜0.001	4.31E-09	＜0.001	＜0.001	0.626	0.626	2.5	满足
32	PET/CT 机房楼上 30cm 处	4.4	2.01E-05	1.10	2.33E-05	0.001	1.10	0.045	1.145	2.5	满足
33	PET/CT 机房楼下 30cm 处	1.3	2.10E-06	1.32	2.91E-06	0.001	1.321	0.445	1.766	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《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T830-2024）表 G.2，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、底部及防护门处的辐射剂量率为（0.029～1.833）μSv/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的要求。

（五）保护目标的有效剂量估算

根据表 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 核医学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（μSv/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
PET/CT 诊断项目	1	手套箱操作位[2)]	0.032	取药 2min×20 次×250 天	1	0.005	工作人员	分装室
	2	手套箱侧面	1.427	取药 2min×20 次×250 天	1/4	0.059	工作人员	分装室
	3	注射位	0.206	注射 1min×20 次×250 天	1	0.017	工作人员	注射室
	4	注射室东墙外 30cm 处	0.087	注射 1min×20 次×250 天	1	0.007	工作人员	控制室
	5	注射室南侧防护门外 30cm 处	2.295	注射 1min×20 次×250 天	1/8	0.024	工作人员	分装室
	6	注射室南墙外 30cm 处	0.064	注射 1min×20 次×250 天	1	0.005	工作人员	分装室
	9	注射室楼上 30cm 处	0.054	注射 1min×20 次×250 天	1/16	＜0.001	公众	室外露台
	10	注射室楼下 30cm 处	0.618	注射 1min×20 次×250 天	1/16	0.003	公众	地下车库
	15	注射后候诊室 1 北墙外 30cm 处	0.167	休息 30min×7 次×250 天	1/16	0.009	公众	室外
	19	注射后候诊室 2 北墙外 30cm 处	0.167	休息 30min×7 次×250 天	1/16	0.009	公众	室外
	23	注射后候诊室 3 北墙外 30cm 处	0.167	休息 30min×7 次×250 天	1/16	0.009	公众	室外
	24	注射后候诊室楼上 30cm 处	0.054	休息 30min×7 次×250 天	1/16	0.003	公众	室外露台
	25	注射后候诊室楼下 30cm 处	0.618	休息 30min×7 次×250 天	1/16	0.034	公众	地下车库
	28	PET/CT 机房西侧防护门外 30cm 处	0.460	检查 20min×20 次×250 天	1	0.767	工作人员	控制室
	29	PET/CT 机房西侧观察窗	0.534	检查 20min×20 次×250 天	1	0.89	工作人员	控制室

		外 30cm 处						
	32	PET/CT 机房楼上 30cm 处	0.045	检查 20min×20 次×250 天	1/16	0.005	公众	室外露台
	33	PET/CT 机房楼下 30cm 处	0.445	检查 20min×20 次×250 天	1/16	0.053	公众	地下车库
	34	摆位/取消摆位	21.882	（摆位 1min+取消摆位 1min）×20 次×250 天	1	3.647	工作人员	/
	35	留观室东墙外 30cm 处	0.039	休息 10min×20 次×250 天	1/4	0.008	公众	住院病人门厅
	36	留观室南墙外 30cm 处	0.026	休息 10min×20 次×250 天	1/8	0.003	公众	电梯厅
	40	留观室楼上 30cm 处	0.039	休息 10min×20 次×250 天	1/16	0.002	公众	室外露台
	41	留观室楼下 30cm 处	0.451	休息 10min×20 次×250 天	1/16	0.023	公众	地下车库

核医学诊断项目过程中，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 2 分钟，送至注射窗口、注射过程约 1 分钟，扫描过程约 20 分钟。预测本项目运行后，PET/CT 诊断项目日接诊量最大为 20 人次。本项目 PET/CT 以 CT 模式运行的时间较短，平均每名患者约 20s，机房内 CT 出束致公众及辐射工作人员年有效剂量估算见表 11-8。

表 11-8 PET/CT 机房内 CT 出束致公众及辐射工作人员年有效剂量估算

点位	参考点位置	CT 致参考点辐射水平（μSv/h）	参考点处受 CT 影响的时间	居留因子	CT 致参考点人员有效剂量（mSv/a）	关注对象	位置
28	PET/CT 机房西侧防护门外 30cm 处	＜0.001	检查 20s×20 次×250 天	1	＜0.001	工作人员	控制室
29	PET/CT 机房西侧观察窗外 30cm 处	＜0.001		1	＜0.001	工作人员	控制室
32	PET/CT 机房楼上 30cm 处	1.10		1/16	0.002	公众	室外露台
33	PET/CT 机房楼下 30cm 处	1.321		1/16	0.002	公众	地下车库

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为 0.005mSv，注射过程中工作人员受到的年有效剂量为 0.017mSv，扫描过程中工作人员受到的年有效剂量约为 0.89mSv（0.89mSv+＜0.001mSv），摆位/取消摆位过程中工作人员受到的年有效剂量为 3.647mSv。

医院拟为 PET/CT 诊断项目安排 2 名护士（负责取药及注射）、2 名医师及 1 名

技师（负责操作设备、指导病人摆位）。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（负责取药及注射）年有效剂量为 0.022mSv（0.005mSv+0.017mSv）；2 名医师及 1 名技师（负责操作设备并指导病人摆位、取消摆位）平均年有效剂量最大约为 1.216mSv，则 2 名医师及 1 名技师年有效剂量最大约为 2.106mSv（0.89mSv+1.216mSv），均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 11-7 至表 11-8 估算结果，核医学诊断项目工作过程中，周围公众（控制区外）年有效剂量最大为 0.055mSv（0.053mSv+0.002mSv），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剂量约束值要求（公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

二、放射性“三废”影响分析

本次改建 PET/CT 诊断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。

（一）放射性废气

在进行液态放射性药物活度操作过程中，若放射性药物液面处于开放状态，空气中可能挥发微量放射性同位素，污染途径为放射性药物在空气中挥发散逸造成人员吸入的内照射。本项目 PET/CT 工作场所分装注射室设有 1 个 ^{18}F 专用手套箱（前后面防护参数为 50mm 铅当量，两侧防护参数为 30mm 铅当量），本项目核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（设计通风速率不少于 0.5m/s，排放口高于本建筑屋顶），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。同时医院拟在手套箱管道内及屋顶排放口处设置活性炭过滤吸附装置，对放射性气溶胶进行吸附，降低放射性气溶胶外排浓度，吸附材料应定期更换（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。

（二）放射性废水

来自 PET/CT 工作场所给药后患者专用卫生间等高活区的放射性废水，含有 ^{18}F 等放射性核素，由独立下水管道统一集中到核医学科的衰变池中，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。

衰变系统包含 1 个沉淀池和 3 个衰变池，单个衰变池有效容积约 $9m^3$，总有效容积约 $27m^3$。该衰变系统为不锈钢一体浇筑成型，并采用坚固耐腐蚀、防渗漏措施。衰变系统所处的衰变间为 240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护砂浆砌成，防护门采用 10mm 的铅板进行辐射防护屏蔽。衰变池运行时，废水先进入第一个衰变池，其余两个衰变池进水阀门关闭，待第一个衰变池达到预定水位时，关闭进水阀，打开第二个衰变池的进水阀；当第二个衰变池达到预定水位时，关闭进水阀，打开第三个衰变池的进水阀。当第三个衰变池达到预定水位时，关闭进水阀，打开第一个衰变池的排水阀，排空第一个衰变池的废水后，重新打开打一个衰变池的进水阀。三个衰变池以此往复运行。

本项目投入运行后，核医学科工作场所中 PET/CT 诊断项目和现有 SPECT/CT 诊断项目日接诊量最大均为 20 人次，放射性废水产生量按 10L/人次计算，核医学科工作场所每天的清洗废水约为 100L，则本次改建 PET/CT 诊断项目后，医院核医学工作场所每日放射性废水排放量为 500L/d。

根据放射性废水衰变系统工作原理，放射性废水可在该衰变系统内衰变约 54d，而使用的 ^{18}F、^{99m}Tc 两种核素中，较长寿命核素 ^{99m}Tc 的半衰期为 6.02h，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。

核医学科放射性废水经专用管道流入衰变系统，裸露管道外采用 5mm 铅当量铅皮包覆进行辐射防护，避免含放射性废水流动时造成管道穿行区域的辐射泄漏。

本项目对 ^{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：

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

式中：K—比释动能率，$Sv\cdot s^{-1}$；

A—总活度，Bq；

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

L—线源长度，m；

r—线源到考察点的距离，m。

表 11-9 核医学中心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
	1.11×10^{8}Bq
Γ_K：距源 1m 处的周围剂量当量率常数（$Sv\cdot m^2\cdot Bq^{-1}\cdot h^{-1}$）[2)]	0.143×10^{-12}
L：线源长度（m）	0.5
r：线源到考察点的距离（m）[3)]	2.8
参考点处辐射剂量率（无屏蔽，μSv/h）	2.02
屏蔽材料及厚度（mm）	5mm 铅
透射比	0.5
参考点处辐射剂量率（μSv/h）	1.01
周围公众受照时间（s）	1s/次×20 次/天×250 天
周围公众受照剂量（mSv/a）	＜0.01

注：1、单次 PET/CT 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 10mCi×30%=3mCi/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内科楼一楼，放射性废水管道裸露段位于负一层地下车库的吊顶处，距负一层地面最近约 4.5 m，人员无法近距离接触，故考察点设置于负一层地面 170cm 处，线源到考察点的距离取 2.8m

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。

放射性废水经专用下水管道集中到医院核医学科所在内科楼负一层地下车库的衰变系统中，该衰变系统为不锈钢一体浇筑成型，并采用坚固耐腐蚀、防渗漏措施。衰变系统所处的衰变间采用 240mm 实心砖+30mm 硫酸钡防护砂浆进行辐射防护屏蔽。

将衰变系统内放射性废水看作点源，参照公式 11-2 计算衰变系统内废水对衰变间外产生的辐射影响，其预测计算结果见表 11-10。

表 11-10 核医学科衰变间周围辐射水平估算结果

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（μSv/h）	控制目标值（μSv/h）

衰变间墙体外表面 30cm 处	16.16mCi	1.72	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡	7.17E-02	2.07	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 10mCi×30%=3mCi/次，保守按 10 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 2 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，核医学科衰变系统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。

（三）放射性固体废物

核医学科产生的放射性固体废物主要有废弃的注射器、一次性手套、棉签、滤纸等。核医学科设有放射性废物库，注射室、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 20mmPb，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h）。

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/CT 诊断项目日接诊量最大为 20 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 0.4kg/d（体积约为 1m^3/月），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。

核医学科各房间收集的含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（放射性废物间中设置有铅桶，防护厚度不低 20mmPb）中暂存，在放射性废物间内暂存时间超过 30 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平、β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，作为医疗废物进行处理。

手套箱通风管道内更换下来的废活性炭，在放射性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、β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，作为医疗废物进行处理。

本项目核医学科的放射性废物库面积约为 4.97m^2，总容积约为 19.88m^3。放射性废物间的有效使用面积按房间总容积的 30%计算，约为 5.96 m^3，该放射性废物间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

（一）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，臭氧常温下约 50min 可自行分解为氧气，

对周围环境影响较小。

（二）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。

（三）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

本项目新增 PET/CT 为III类射线装置，核医学科工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。医院在开展核素诊断过程中，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：

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

二、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。

三、操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射。

四、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。

五、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。

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

七、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：

一、发生误照射（人员误留、误入机房内；操作人员违反操作规程或误操作；机房门-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 停止工作。

二、迅速安排受照人员接受医学检查和救治。

三、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。

四、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。

五、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。

六、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。

七、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

南京市浦口人民医院拟在内科楼一楼核医学科改建 PET/CT 诊断项目，用于医疗诊断。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用乙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，南京市浦口人民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。医院应根据本次改建 PET/CT 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。医院拟为本项目配备 5 名辐射工作人员，为医院新增辐射工作人员。辐射安全管理人员与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，辐射安全管理人员应参加“辐射安全管理”辐射防护上岗考核。核医学科的辐射工作人员“核医学”辐射安全与防护考核，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。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，考核合格的人员，每 5 年接受一次再培训考核

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，使用非密封放射性物质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”。南京市浦口人民医院已制定相关辐射安全与防护管理制度，如《岗位职责》《辐射防护和安全保卫制度》《设备维修保养制度》《医用射线装置使用登记、

台帐管理制度》《放射工作人员培训管理制度》《放射工作人员职业健康管理制度》《个人剂量监测管理制度》《放射防护检测与评价制度》《放射事故应急预案》及不同设备相应的《操作规程》等。医院现有管理制度内容较为全面，基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求，拟根据本次改建 PET/CT 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。

一、操作规程：明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤。重点是：

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

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

（三）从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；

（四）取药、注射等过程中，工作人员手部剂量高，配备指环式个人剂量计；

（五）在工作场所严禁吸烟、进食；

（六）放射性“三废”的处理需严格按照操作规程执行。

二、岗位职责：明确射线装置、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。

三、辐射防护和安全保卫制度：根据射线装置及放射性药物操作的具体情况制定相应的辐射防护和安全保卫制度。重点是：

（一）定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全联锁装置、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；

（二）工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护；

（三）放射性药物注射后患者应严格限制在控制区内；

（四）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。

四、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（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。

五、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。

六、人员培训计划和健康管理制度：医院需加强内训，明确培训对象、内容和要求（例如放射性核素的性质，操作要求，内照射的防护原则和方法，监测仪器的使用，可能的事故及处置方法等）、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。

七、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Ⅲ类射线装置的辐射安全，该单位应制定监测方案，重点是：

（一）明确监测项目和频次；

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

（三）对发生放射性药物泼洒的事故处理进行全程监测；

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

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

辐射监测

根据辐射管理要求，南京市浦口人民医院拟为本项目配备辐射巡测仪 1 台、表面污染仪 1 台及个人剂量报警仪 5 台，用于辐射防护监测和报警，同时结合本项目实际情况，拟制定如下监测计划，见表 12-1：

表 12-1 本项目拟制定监测计划

监测内容		监测方式	监测点位	监测频次	备注
工作场所监测	辐射水平	自检	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/设备表面	不少于 1 次/月	保留自检记录
		委托有资质单位	项目周围环境	1～2 次/年	出据检测报告
	表面放射性污染	自检	放射性核素操作台、设备表面、墙面和地面，给药后患者候诊室，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。	每次工作结束后对核医学工作场所进行表面放射性污染检测	保留自检记录
个人剂量		委托有资质单位	辐射工作人员配备的个人剂量计	不少于 1 次/季	建立个人剂量档案
职业健康体检		委托有资质单位	辐射工作人员	不少于 1 次/2 年	建立个人职业健康档案

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

南京市浦口人民医院已根据上述监测计划，明确监测项目，定期（不少于 1 次/季）使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录，每年委托有资质的单位定期对项目周围环境 X-γ 辐射剂量率进行监测，监测结果上报生态环境行政主管部门。

本项目辐射工作人员可能受到内照射，医院已为辐射工作人员配备个人剂量计，组织辐射工作人员进行个人剂量监测（1 次/季，空气的流动而“挥发”出的微量 ^{18}F 放射性废气，至少每月用体外测量方法监测一次）和职业健康体检（1 次/2 年），医院

公共卫生科负责全院人员个人剂量的收发和管理，职业健康监护、个人剂量监测档案均存放于公共卫生科。

南京市浦口人民医院每年编写放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告年度评估报告，包括放射性同位素与射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容，每年1月31日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

医院已将 2023 年年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统，且医院现有核技术利用项目辐射防护检测结果满足相关标准要求。

辐射事故应急

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

一、应急机构和职责分工；

二、应急的具体人员和联系电话；

三、应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；

四、辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；

五、辐射事故调查、报告和处理程序。

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。

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

表 13　结论与建议

结论

一、项目概况

南京市浦口人民医院位于江苏省南京市浦口区江浦街道上河街 166 号。为了适应医院发展要求，服务患者，南京市浦口人民医院拟对医院内科楼一楼核医学科工作场所进行部分改造，同时拟于内科楼负一楼地下车库新建 1 座衰变系统。本项目拟在核医学科 PET/CT 机房内配置 1 台上海联影医疗科技股份有限公司生产的 PET/CT（型号待定，最大管电压≤140kV，最大管电流≤1000mA），属Ⅲ类射线装置。本项目拟使用放射性核素 ^{18}F 配合 PET/CT 开展核素显像诊断。

医院核医学科原环评许可放射性核素日等效最大操作量为 8.57E+08Bq，本次增加放射性核素 ^{18}F 后，核医学科工作场所日等效最大操作量为 8.64 E+08Bq，仍为乙级非密封放射性物质工作场所。

二、项目建设的必要性及产业政策符合性

本项目的建设，可为医院提供多种诊断手段，有着重要临床应用价值，可为患者提供放射诊断服务，并可提高当地医疗卫生水平。对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修订），不属于“限制类”或“淘汰类”项目，符合国家现行的产业政策。

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

南京市浦口人民医院位于江苏省南京市浦口区江浦街道上河街 166 号，医院东侧为浦云路，南侧为浦虹路，西侧为浦华路即江浦大桥，北侧为上河街。

本次改建 PET/CT 工作场所位于内科楼一楼核医学科，内科楼东侧为院内道路及康复体检中心，南侧为院内道路，西侧为院内道路及脑科专科治疗楼，北侧为院内道路及科研教学楼。

本项目 PET/CT 工作场所位于核医学科内，核医学科东侧为住院病人门厅、电梯间及楼梯间，南侧为药房、检查室及核医学实验室区域，西侧为护士站及候诊大厅，北侧为院内道路，上方为室外露台及医生办公室，下方为地下停车库。本项目新建衰变系统位于医院核医学科所在内科楼负一楼地下车库的衰变间内。

本项目 PET/CT 工作场所周围 50m 评价范围内均位于医院内，评价范围内无学校、居民区等环境敏感点，项目运行后的环境保护目标主要为从事本项目的辐射工作人员、院内的其他医务人员、病患及其他公众等。

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《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。本项目拟建址评价范围内不涉及国家公园、世界文化和自然遗产地等环境敏感区。

本项目核医学科工作场所划分了控制区及监督区，其中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，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、辐射环境现状评价

南京市浦口人民医院改建 PET/CT 诊断项目拟建址及其周围环境 γ 辐射剂量率在 55nGy/h～68nGy/h 之间，位于江苏省环境天然 γ 辐射水平涨落区间，属江苏省环境天然 γ 辐射本底水平；南京市浦口人民医院改建 PET/CT 诊断项目拟建址及其周围环境 β 表面污染水平均小于 0.07Bq/cm^2。

六、环境影响评价

根据预测估算结果，南京市浦口人民医院改建 PET/CT 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，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的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中的要求。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剂量约

束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

七、“三废”的处理处置

核医学科核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（通风速率不少于 0.5m/s，排放口高于本建筑屋脊），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 PET/CT 工作场所的注射室、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，由独立下水管道统一集中到内科楼负一楼衰变池房间的现有衰变池中，衰变 30 天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；核医学科产生的放射性固体废物集中到放射性废物间中的放射性废物桶中暂存，在放射性废物间内自然衰变 30 天后，作为医疗废物进行处理。符合辐射环境保护管理要求。

PET/CT 机房内的空气在 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，臭氧常温下约 50min 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。

八、主要污染源及拟采取的主要辐射安全防护措施

南京市浦口人民医院改建 PET/CT 诊断项目，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），确定核医学科工作场所仍为乙级非密封放射性物质工作场所。

核医学科 PET/CT 机房扫描时产生的 X 射线；^{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。本项目核医学工作场所控制区出入口拟设置“当心电离辐射”警告标志；PET/CT 机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态灯。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，核医学工作场所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。

九、辐射安全管理评价

南京市浦口人民医院已设立辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以医院内部文件形式明确其管理职责。医院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。

南京市浦口人民医院拟为本项目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。南京市浦口人民医院拟为核医学配备辐射巡测仪 1 台、表面沾污仪 1 台及个人剂量报警仪 5 台。此外，医院应根据相关标准要求，为核医学诊断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，南京市浦口人民医院改建 PET/CT 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

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

二、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。

三、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。

四、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

五、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	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+铅板进行辐射防护，顶部采用混凝土+铅板进行辐射防护，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剂量约束值要求。	125
	安全措施	核医学工作场所控制区入口处（包括 PET/CT 机房、分装注射室、放射性废物间、注射后候诊室、留观室、抢救室等）、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手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（通风速率不少于 0.5m/s，排放口高于本建筑屋脊），管道内及外排放口处设置活性炭过滤吸附装置，符合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内科楼负一层的衰变池中，暂存 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。衰变系统采用并联衰变池，包含 1 个沉淀池和 3 个衰变池，单个衰变池有效容积约 9m^3，总有效容积约 27m^3。 本项目产生的放射性固体废物集中到放射性废物间中的铅桶中暂存，在放射性废物间内自然衰变 30 天后，作为医疗废物进行处理。符合辐射环境保护管理要求。		满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）及《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。		满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。	/

	辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检（两次监测的时间间隔不应超过 3 个月），加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。		
	辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立辐射工作人员职业健康档案。		
监测仪器和防护用品	拟配备辐射巡测仪 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。	1
	拟配备表面沾污仪 1 台。		
	拟配备个人剂量报警仪 5 台。		
	PET/CT 工作场所配备 1 个手套箱，放射性核素操作人员及摆位工作人员配备放射性污染防护服等个人防护用品。	满足《核医学放射防护要求》（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。	24
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	/	/	150

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：   公 章 经办人：　　年　月　日
审批意见：   公 章 经办人：　　年　月　日