检索号	QQHP-2023-002
商密级别	普通商密

核技术利用建设项目

昆山市中医医院新建核医学科项目

环境影响报告表

昆山市中医医院

2023 年 5 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

昆山市中医医院新建核医学科项目

环境影响报告表

建设单位名称：昆山市中医医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：

邮政编码：215300 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 8
表 3 非密封放射性物质 8
表 4 射线装置 10
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） 11
表 6 评价依据 13
表 7 保护目标与评价标准 17
表 8 环境质量和辐射现状 31
表 9 项目工程分析与源项 36
表 10 辐射安全与防护 51
表 11 环境影响分析 65
表 12 辐射安全管理 94
表 13 结论与建议 100
表 14 审批 104
附表 105

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="7">昆山市中医医院新建核医学科项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="7">昆山市中医医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td></td><td>联系人</td><td></td><td>联系电话</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="7"></td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="7"></td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">/</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></td><td>项目环保投资（万元）</td><td></td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>6.25%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">☑新建 ☐改建 ☐扩建 ☐其他</td><td>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="5">☐I类 ☐II类 ☐III类 ☐IV类 ☐V类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">☐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="5">☐制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="5">/</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">☑乙 ☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>☐生产</td><td colspan="5">☐II类 ☐III类</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="5">☐II类 ☐III类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">☐II类 ☑III类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="6">/</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

1、建设单位基本情况

昆山市中医医院创立于 1985 年 1 月，是一家集医疗、教学、科研、康复、预防、保健为一体的现代化综合性三级甲等中医医院。目前昆山市中医医院共有 2 个院区，老院区位于昆山市朝阳路 189 号；新院区又称昆山西部医疗中心，位于昆山市巴城镇祖冲之南路 388 号。

昆山市中医医院（昆山西部医疗中心）总用地面积约 128184.77m^2，共分三期建设，其中二期建设项目已取得批复（苏行审环评[2021]40302 号，见附件 7）。

昆山西部医疗中心二期工程总用地面积约 18795m^2，总建筑面积为 115446m^2。主要建设内容包括：新建 1 栋科教研综合楼（地下 2 层，地上 17 层/5 层），1 栋医疗辅助楼（地下 2 层，地上 4 层）以及配套的污水处理站、道路、绿化、给排水等工程。

本次新建核医学科项目，位于昆山西部医疗中心二期工程的科教研综合楼负一楼。昆山西部医疗中心总体效果如图 1-1。



图 1-1　昆山西部医疗中心总体效果图

2、建设项目由来

为了改善城区及周边群众门诊服务质量，提升当地和周边区域群众的医疗服务水平，昆山市中医医院（昆山西部医疗中心）拟在科教研综合楼东南部负一楼新建一座核医学科，开展放射诊疗项目，主要包括：

（1）开展PET/CT和SPECT/CT显像检查：新建一座PET/CT扫描室（使用^{18}F核素）；新建一座SPECT/CT扫描室（使用^{99m}Tc、^{201}Tl、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I）。

（2）开展^{89}Sr核素治疗、^{153}Sm核素治疗、^{188}Re核素治疗。

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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，本项目需要进行环境影响

评价。

3、项目建设规模

本项目核技术利用项目建设规模主要为：

（1）核医学科—PET、SPECT 检查

① PET/CT 显像检查：配备 1 台 PET/CT，并配备 2 枚 ^{22}Na V 类校准源，使用 ^{18}F 正电子药物进行显像检查，^{18}F 到货时为装入铅罐内的整罐药液，需要由工作人员按患者所需活度进行分装。日最大门诊量约为 10 人，单人单次最大用药量 10mCi（3.7×10^{8}Bq），考虑到放射性药物的衰变，每天分两批次进行送药，每批次送药量最大为 5.55×10^{9}Bq（按照最大用药量的 3 倍备药），确保足够的备药量。则日最大操作量为 1.11×10^{10} Bq，年门诊量约 2500 人。

② SPECT/CT 显像检查：配备 1 台 SPECT/CT，使用 ^{99m}Tc、^{201}Tl、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I 进行显像检查。核素到货时为分装好的成品针剂、无需分装。

^{99m}Tc 影像诊断日最大门诊量约为 25 人，单人单次最大用药量 9.25×10^{8}Bq（25mCi），年门诊量约 6250 人；^{201}Tl 影像诊断日最大门诊量约为 2 人，单人单次最大用药量 2.10×10^{8}Bq（5.7mCi），年门诊量约 50 人；^{67}Ga 影像诊断日最大门诊量约为 2 人，单人单次最大用药量 2.10×10^{8}Bq（5.7mCi），年门诊量约 50 人；^{111}In 影像诊断日最大门诊量约为 2 人，单人单次最大用药量 3.70×10^{4}Bq（0.001mCi），年门诊量约 50 人；^{123}I 影像诊断日最大门诊量约为 2 人，单人单次最大用药量 3.70×10^{8}Bq（10mCi），年门诊量约 50 人。

（2）核医学科—核素治疗

①^{89}Sr治疗：使用^{89}Sr进行骨转移肿瘤治疗，每天最多接收1名患者，单人单次最大用药量约为6.30×10^{8} Bq（17mCi）；年门诊量约为10人。

② ^{153}Sm治疗：使用^{153}Sm进行骨转移肿瘤治疗，每天最多接收1名患者，单人单次最大用药量约为3.70×10^{4} Bq（0.001mCi），年门诊量约为10人。

③ ^{188}Re治疗：使用^{188}Re进行肿瘤治疗，每天最多接收1名患者，单人单次最大用药量约为3.70×10^{5} Bq（0.01mCi），年门诊量约为10人。

治疗用核素到货时为分装好的成品针剂、无需分装。核素诊断与核素治疗错时开展。

本项目核技术利用具体情况见表 1-1。

表 1-1　本项目核技术利用一览表

放射源									
序号	放射源名称	数量	单枚活度(Bq)	放射源类别	工作场所名称	活动种类	环评情况	许可情况	备注
1	^{22}Na	2	1.48×10^{7}	V	核医学科 PET/CT 扫描室	使用	**新建项目本次环评**	未许可	校准源

非密封放射性物质工作场所							
序号	工作场所等级	核素名称	活动种类	工作场所名称	日等效最大操作量(Bq)	年最大用量(Bq)	环评情况
1	乙级	^{18}F	使用	科教研综合楼负一楼核医学科	1.11×10^{7}	2.78×10^{12}	**新建项目本次环评**
2		^{99m}Tc	使用		2.31×10^{7}	5.78×10^{12}	
3		^{201}Tl	使用		4.20×10^{6}	1.05×10^{10}	
4		^{67}Ga	使用		4.20×10^{7}	1.05×10^{10}	
5		^{111}In	使用		7.40×10^{3}	1.85×10^{6}	
6		^{123}I	使用		7.40×10^{6}	1.85×10^{10}	
7		^{89}Sr	使用		6.30×10^{7}	6.30×10^{9}	
8		^{153}Sm	使用		3.70×10^{3}	3.70×10^{5}	
9		^{188}Re	使用		3.70×10^{4}	3.70×10^{6}	

射线装置								
序号	射线装置名称	数量	最大管电压(kV)	最大管电流(mA)	类别	工作场所名称	许可情况	备注
1	PET/CT（型号未定）	1	≤140	≤800	III	科教研综合楼负一楼核医学科	未许可	**新建项目本次环评**
2	SPECT/CT（型号未定）	1	≤140	≤800	III		未许可	

本项目 PET-CT 质控用校准源 ^{22}Na 属于 V 类放射源，核医学科使用非密封放射性物质属于乙级非密封放射性物质工作场所，PET/CT、SPECT/CT 属于 III 类射线装置，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），应编制环境影响报告表。受昆山市中医医院委托，江苏清全科技有限公司承担该医院本次核技术利用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，并在结合现场勘察（委托南京宁亿达环保科技有限公司、江苏省苏核辐射科技有限责任公司对项目拟建场址及周围环境进行辐射环境现状监测）等工作的基础上，编制了该项目的环境影响报告表。

（3）人员配置及工作制度

本项目核医学科目前拟配备 9 名辐射工作人员，其中高活室/分装室配备 2 名工作人员，负责核素的分装、活度测定、注射及给药。PET/CT 扫描室配备 2 名人员负责摆位、扫描及质控，SPECT/CT 扫描室配备 2 名负责摆位及扫描，医护人员 3 名，负责核医学

科其他辅助工作。每周工作 5 天，每天 8 小时工作制，年工作 50 周。

二、项目周边保护目标及项目选址情况

1、医院位置

昆山市中医医院（昆山西部医疗中心）位于江苏省昆山市巴城镇祖冲之南路 388 号。东侧为祖冲之路，南侧为前进西路，西侧为小石桥河、通澄南路，北侧为康居路。医院地理位置示意图见附图 1，新院区平面布局和周围环境情况见附图 2。

2、核医学科位置

本项目核医学科拟建址位于科教研综合楼东南部负一楼，科教研综合楼东侧为住院大厅及门诊医技综合楼，南侧为质子治疗中心，西侧为院内道路及院外的小石桥河和通澄南路，北侧为三期预留地。

核医学科东南侧 50m 范围内为土层、太平间及配套的辅助用房、地下车库、厨房及配套的辅助用房、各类设备用房等，西南侧 50m 范围内为核医学科候诊登记处、各类电梯及楼梯、地下停车场及各类设备用房及辅助用房等，西北侧 50m 范围内为医生办公室、阅片室、更衣间、休闲区及室外庭院、各类设备用房、充电停车位等，东北侧 50m 范围内为各类电梯及楼梯、各类设备用房、充电停车位等，楼上为电梯、库房、商业用房等，楼下为衰变室、停车场、排风机房。

衰变室位于核医学科正下方（科教研综合楼负二楼）。衰变室东南侧 50m 范围内为停车场、土层，西南侧 50m 范围内为各类设备用房、电梯、工具间及停车场，西北侧 50m 范围内为停车场，东北侧 50m 范围内为各类电梯及楼梯、各类设备用房，楼上为核医学科，楼下为土层，无建筑。

本项目评价范围内平面布置图见附图 3-1 和附图 3-2，核医学科平面布局见附图 4，科教研综合楼一楼平面布局见附图 5，科教研综合楼负二楼平面布局见附图 6。

综上所述，本项目周围无环境制约因素，项目选址合理。本项目 50m 评价范围均在医院范围内，评价范围内无居民区、学校等环境敏感目标。本项目环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、医院内其他工作人员、病患及陪同家属等流动人员。

三、“三线一单”符合性分析

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），《苏州市“三线一单”生态环境分区管控实施方案》（苏环办字[2020] 313 号）本项目评价范围内不涉及生态保护红线和生态空间管控区域。并根据现场监测与环评预测，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。本项目与江苏省环境管控区域位置关系图见附图 14。

四、实践正当性评价

本项目投入使用能够更好的满足患者的就诊需求，在做好辐射防护的基础上，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《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。

五、医院现有核技术利用项目许可情况及辐射安全管理情况

1、医院现有核技术利用项目许可情况

昆山市中医医院朝阳路院区（老院区）与昆山西部医疗中心（新院区）共计使用 35 台射线装置。所有核技术利用项目均已履行了环保手续并取得了辐射安全许可证（苏环辐证[E1357]），许可种类和范围：使用 II 类、III 类射线装置，有效期至 2027 年 7 月 8 日，医院辐射安全许可证正副本见附件 5。

（1）老院区现有核技术利用项目许可情况

昆山市中医医院朝阳路院区（老院区），在用 II 类射线装置 2 台（其中 DSA 已完成拆除，准备搬迁至新院区，环评批复见附件 9）、III 类射线装置 1 台（位于昆山市看守所卫生所），共计 3 台射线装置。

（2）新院区现有核技术利用项目许可情况

昆山西部医疗中心（新院区），在用 II 类射线装置 3 台、III 类射线装置 29 台，共计 32 台射线装置。

许可证中共有 36 台射线装置，其中位于朝阳路院区放射体检机房的 DR 目前已报废。医院现有核技术利用项目一览表见附件 8。

医院现有核技术利用项目位于本项目 50m 评价范围外，经距离的衰减后，基本湮没在本底水平里，对本项目辐射工作人员和周围公众影响很小。

2、医院现有辐射安全管理情况

医院已成立了专门的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，已针对现有核技术利用项目制定了辐射安全管理制度，每年委托有资质单位对本单位的辐射工作场所进行了监测，监测结果满足相关标准要求。并每年对本单位辐射工作场所的安全和防护状况进行了年度评估，于每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交了上一年度的射线装置安全和防护状况评估报告，满足环保相关管理要求。

医院现有辐射工作人员约 125 名，均已参加并通过辐射安全与防护的培训，培训证书均在有效期内。医院现有辐射工作人员的数量满足现有核技术利用项目对人员的需求。医院已安排所有辐射工作人员参加了职业健康体检，并建立了辐射工作人员职业健康监护档案，根据辐射工作人员的职业健康体检报告，现有辐射工作人员均可继续原放射工作；医院委托有资质单位对辐射工作人员进行了个人剂量监测，并建立了个人剂量档案，根据辐射工作人员的个人剂量检测报告，现有辐射工作人员最近一年的受照剂量均未超过职业人员年剂量管理限值 5mSv/a，满足环保相关管理要求。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度（Bq）/活度（Bq）×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	^{22}Na	$1.48\times10^{7}\times2$ 枚	V	使用	校准源	核医学科 PET/CT 扫描室	贮存在储源罐中，放置在核医学科的储源室内；使用时从储源罐取出，放在检查床的支架上进行相关质控操作	定期更换，退役后交由原生产厂家回收或由省城市放射性废物库回收处置
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{18}F	液态、低毒 $T_{1/2}$=109.8min	使用	1.11×10^{10}	1.11×10^{7}	2.78×10^{12}	显像诊断	很简单的操作	核医学科	不贮存，按需购买，当天送达，当天使用
2	^{99m}Tc	液态、低毒 $T_{1/2}$=6.02h	使用	2.31×10^{10}	2.31×10^{7}	5.78×10^{12}	显像诊断	很简单的操作	核医学科	不贮存，按需购买，当天送达，当天使用
3	^{201}Tl	液态、低毒 $T_{1/2}$=3.03d	使用	4.20×10^{8}	4.20×10^{6}	1.05×10^{10}	显像诊断	简单操作	核医学科	不贮存，按需购买，当天送达，当天使用

4	^{67}Ga	液态、中毒 $T_{1/2}$=3.26d	使用	4.20×10^{8}	4.20×10^{7}	1.05×10^{10}	显像诊断	简单操作	核医学科	不贮存，按需购买，当天送达，当天使用
5	^{111}In	液态、中毒 $T_{1/2}$=2.80d	使用	7.40×10^{4}	7.40×10^{3}	1.85×10^{6}	显像诊断	简单操作	核医学科	不贮存，按需购买，当天送达，当天使用
6	^{123}I	液态、低毒 $T_{1/2}$=13.2h	使用	7.40×10^{8}	7.40×10^{6}	1.85×10^{10}	显像诊断	简单操作	核医学科	不贮存，按需购买，当天送达，当天使用
7	^{89}Sr	液态、中毒 $T_{1/2}$=50.53d	使用	6.30×10^{8}	6.30×10^{7}	6.30×10^{9}	核素治疗	简单操作	核医学科	不贮存，按需购买，当天送达，当天使用
8	^{153}Sm	液态、中毒 $T_{1/2}$=1.93d	使用	3.70×10^{4}	3.70×10^{3}	3.70×10^{5}	核素治疗	简单操作	核医学科	不贮存，按需购买，当天送达，当天使用
9	^{188}Re	液态、中毒 $T_{1/2}$=0.7d	使用	3.70×10^{5}	3.70×10^{4}	3.70×10^{6}	核素治疗	简单操作	核医学科	不贮存，按需购买，当天送达，当天使用

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	≤140	≤800	显像诊断	核医学科 PET/CT 扫描室	/
2	SPECT/CT	III	1	未定	≤140	≤800	显像诊断	核医学科 SPECT/CT 扫描室	/

（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	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
核医学科场所诊断用药患者产生的含放射性核素的排泄物和冲洗水、辐射工作人员的清洗水和应急淋浴废水、场所清洗废水	液体	^{18}F、^{99m}Tc、^{201}Tl、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I	/	约 8.95m³	约 107.4m³	总β≤10Bq/L	经专用管道排至放射性废水衰变系统	在衰变系统中自然衰变至少 33 天，经监测满足总β不大于 10Bq/L 的要求，监测结果经审管部门认可后，排放至医院污水处理系统，作为医疗废水处理
核医学科场所产生的注射器、一次性手套、口罩棉签、滤纸、擦拭废纸等	固体	^{18}F、^{99m}Tc、^{201}Tl、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I、^{153}Sm、^{188}Re	/	约 74.75kg	约 897kg	清洁解控水平： ^{18}F≤1×10^{4}Bq/kg 其余核素≤1×10^{5}Bq/kg	集中收集于各场所的放射性废物桶内，送至核医学科的废物间	集中收集放置在核医学科废物间专用废物桶中，其中所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固废暂存至少 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固废自然衰变至少十个半衰期，经监测，辐射剂量率处于环境本底水平、β表面沾污小于 0.8Bq/cm² 后，作为非放射性固体废物处理
核医学科场所 ^{89}Sr 核素治疗产生的注射器、一次性手套、口罩棉签、滤纸等	固体	^{89}Sr	/	约 0.08kg	约 1kg	清洁解控水平： ^{89}Sr≤1×10^{6}Bq/kg	单独收集于高活室内的放射性废物桶内，送至核医学科的废物间	单独收集放置在核医学科废物间专用废物桶中，自然衰变至少十个半衰期，经监测，辐射剂量率处于环境本底水平、β表面沾污小于 0.8Bq/cm² 后，作为非放射性固体废物处理
核医学科非密封放射性物质工作场所更换	固体	^{18}F、^{99m}Tc、^{201}Tl、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I、	/	/	约 112kg	≤1×10^{4}Bq/kg	集中收集放置在核医学科的放射	集中收集放置在核医学科废物间专用废物桶中，自然衰变至

下来的废活性炭		^{153}Sm、^{188}Re、^{89}Sr					性废物间	少十个半衰期，经监测，辐射剂量率处于环境本底水平、β表面沾污小于 0.8Bq/cm^2 后，作为非放射性固体废物处理
含微量放射性核素的挥发气体	气态	^{18}F、^{99m}Tc、^{201}Tl、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I、^{153}Sm、^{188}Re、^{89}Sr	/	微量	微量	/	不暂存	经活性炭过滤装置过滤后通过专用通风管道延伸至科教研综合楼的楼顶排放
PET/CT 扫描室、SPECT/CT 扫描室产生的臭氧和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	不暂存	经专用通风管道延伸至科教研综合楼的楼顶排放，臭氧常温下约 50min 可自行分解为氧气，对环境影响较小
^{22}Na 退役废源	固体	^{22}Na	/	/	/	/	贮存在储源罐中，放置在核医学科的储源室内	交由原生产厂家回收或由省城市放射性废物库回收处置

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m^3，年排放总量用 kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/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），2015 年 1 月 1 日起施行 （2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修正版），2018 年 12 月 29 日起施行 （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起施行 （4）《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020 年修订版），2020 年 9 月 1 日起施行 （5）《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修订版），国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行 （6）《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 日起施行 （7）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正版），生态环境部令第 20 号，自 2021 年 1 月 4 日起施行 （8）《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 （9）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行 （10）《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，原国家环境保护总局文件，环发[2006] 145 号，2006 年 9 月 26 日起施行 （11）《关于发布<射线装置分类>的公告》，原环境保护部 国家卫生和计划生育委员会公告，第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行 （12）《关于发布<放射源分类>办法的公告》，原国家环保总局公告，公告 2005 年第 62 号，2005 年 12 月 23 日发布 （13）《关于发布<放射性废物分类>的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告 2017 年公告第 65 号公布，自 2018 年 1 月 1 日起施行 （14）《国家危险废物名录（2021 年版）》，2021 年 1 月 1 日起施行 （15）关于印发《建设项目环境影响评价政府信息公开指南（试行）》的通知，环办[2013]103 号，2014 年 1 月 1 日起施行

	（16）《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 （17）《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部公告 2019 年第 38 号，2019 年 11 月 1 日起施行 （18）《生态环境部关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019 年第 39 号，2019 年 10 月 25 日发布 （19）《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，2020 年 1 月 1 日起施行 （20）《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修改），中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第 49 号，2021 年 12 月 30 日起施行 （21）《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修订版），江苏省人大常委会公告第 2 号，2018 年 5 月 1 日起施行 （22）《江苏省辐射事故应急预案》（2020 年修订版）（苏政办函[2020] 26 号） （23）《江苏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） （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） （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） （26）《江苏省人民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） （27）《苏州市“三线一单”生态环境分区管控实施方案》（苏环办字[2020] 313 号） （28）《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）
技术标准	（1）《建设项目环境影响评价技术导则　总纲》（HJ 2.1-2016） （2）《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） （3）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）

	（4）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021） （5）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002） （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）《表面污染测定 第 1 部分：β 发射体($E_{\beta max}$＞0.15 MeV)和α发射体》(GB/T 14056.1－2008) （9）《医疗机构水污染物排放标准》 (GB18466-2005) （10）《操作非密封源的辐射防护规定》 (GB 11930-2010) （11）《核医学放射防护要求》 (GBZ120-2020) （12）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）
其他	**附图：** 附图 1：昆山市中医医院地理位置示意图 附图 2：昆山西部医疗中心平面布置图和周围环境示意图 附图 3-1：本项目 50m 评价范围内平面布置图 1（核医学科） 附图 3-2：本项目 50m 评价范围内平面布置图 2（衰变室） 附图 4：本项目核医学科平面布置图 附图 5：科教研综合楼一楼平面布置图（核医学科正上方） 附图 6：科教研综合楼负二楼平面布置图（核医学科正下方） 附图 7：昆山市中医医院核医学科排风管平面图 附图 8-1：昆山市中医医院核医学科分区图 1 附图 8-2：昆山市中医医院核医学科分区图 2 附图 9-1：本项目核医学科人流、物流路径图 1 附图 9-2：本项目核医学科人流、物流路径图 2 附图 10-1：本项目核医学科参考点位图 附图 10-2：本项目核医学科周围公众年有效剂量参考点位图 附图 11：本项目核医学科衰变系统控制图 附图 12：本项目核医学科排水管平面图 附图 13：本项目核医学科衰变室排水平面图 附图 14：昆山西部医疗中心与江苏省环境管控区域位置关系示意图 **附件：**

	附件 1：项目委托书 附件 2：射线装置使用承诺书 附件 3：放射性核素使用承诺书 附件 4：核医学科屏蔽设计说明 附件 5：医院辐射安全许可证正、副本及法人证 附件 6：本项目辐射环境本底检测报告及检测单位资质 附件 7：西部医疗中心二期工程项目环评批复 附件 8 医院现有核技术利用项目情况 附件 9 老院区 DSA 设备搬迁环评批复

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，乙级、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。

本项目为使用非密封放射性物质（乙级非密封放射性物质工作场所），使用 III 类射线装置，使用V类放射源，根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的要求，本项目评价范围为核医学科拟建位置边界外 50m 以内区域，详见附图 3-1”（说明：衰变室（负二楼）是核医学科的组成部分，且由附图 3-1、图 3-2 可见，其在平面上的位置未超出负一楼“核医学科”的投影范围，其评价范围也未超出“核医学科”评价范围的投影范围）。

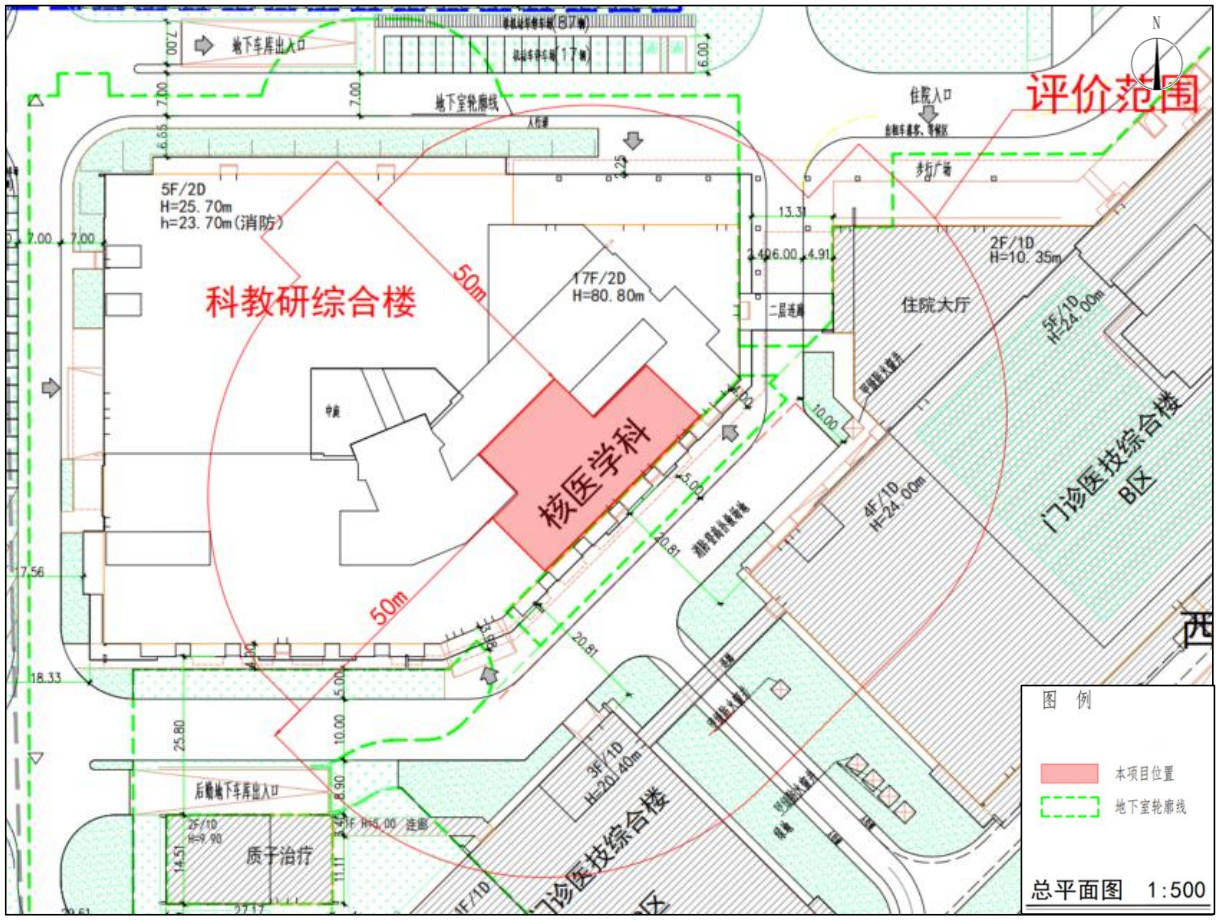

图 7-1 本项目评价范围示意图

保护目标

根据医院提供的资料、现场调查及附图 3-1 和附图 3-2 可知，本项目 50m 评价范围

均在医院范围内，评价范围内无居民区、学校等环境敏感目标。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法定生态保护区域、重要生境以及其他具有重要生态功能、对保护生物多样性具有重要意义的区域等生态敏感区，不涉及重要物种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。

本项目环境保护目标主要是本项目辐射工作人员、医院内其他工作人员、病患及陪同家属等流动人员。本项目环境保护目标具体详见表 7-1。

表 7-1　本项目环境保护目标分布情况

<table>
<tr><th>名称</th><th>场所</th><th colspan="2">环境保护目标</th><th>方位</th><th>距本项目最近距离</th><th>规模</th><th>受照类型</th></tr>
<tr><td rowspan="4">本项目辐射工作人员</td><td rowspan="4">核医学科</td><td colspan="2" rowspan="4">操作技师、核素操作人员、核医学科医护工作人员</td><td>设备控制室</td><td>/</td><td rowspan="4">4 名操作技师、
2 名核素操作人员，
3 名医护人员，
共 9 名工作人员</td><td rowspan="4">职业照射</td></tr>
<tr><td>高活室/分装室</td><td>/</td></tr>
<tr><td>医生办公室、阅片室、核医学科设备用房、更衣间</td><td>西北侧</td></tr>
<tr><td>核医学科候诊登记处、诊室</td><td>西南侧</td></tr>
<tr><td colspan="8">核医学科 50m 评价范围内环境保护目标</td></tr>
<tr><td>名称</td><td colspan="2">场所</td><td>环境保护目标</td><td>方位</td><td>距本项目最近距离</td><td>规模</td><td rowspan="11">公众照射</td></tr>
<tr><td rowspan="10">评价范围内公众</td><td rowspan="10">科教研综合楼负一楼</td><td>太平间及配套的辅助用房</td><td>医院工作人员、家属等流动人员</td><td rowspan="4">东南侧</td><td>8m</td><td>约 6 名工作人员，其余为流动人员</td></tr>
<tr><td>地下车库</td><td>医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员</td><td>8m</td><td>流动人员</td></tr>
<tr><td>厨房及配套的辅助用房</td><td>医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员</td><td>32m</td><td>约 15 名工作人员，其余为流动人员</td></tr>
<tr><td>各类辅助用房及设备用房</td><td>医院工作人员</td><td>20m</td><td>平时无人员逗留</td></tr>
<tr><td>核医学科未注射人员候诊室、候诊登记处、诊室</td><td>病患及陪同家属等流动人员</td><td rowspan="3">西南侧</td><td>相邻</td><td>流动人员</td></tr>
<tr><td>各类电梯及楼梯</td><td>医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员</td><td>相邻</td><td>流动人员</td></tr>
<tr><td>地下停车场</td><td>医院工作人员、病患及陪同家属等</td><td>16m</td><td>流动人员</td></tr>
</table>

			流动人员				
		各类设备用房及辅助用房	医院工作人员		17m	平时无人员逗留	
		医生办公室、阅片室	病患及陪同家属等流动人员	西北侧	3m	流动人员	
		休闲区及室外庭院	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		10m	流动人员	
		各类设备用房（不包括核医学科设备用房）	医院工作人员		8m	平时无人员逗留	
		充电停车位	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		28m	流动人员	
		各类电梯及楼梯	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	东北侧	相邻	流动人员	
		各类设备用房	医院工作人员		4m	流动人员	
		充电停车位	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		28m	流动人员	
	科教研综合楼一楼	库房、商业用房、电梯	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	正上方	相邻	流动人员	
	科教研综合楼负二楼	停车场、衰变室、排风机房	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	正下方	相邻	流动人员	
	科教研综合楼负二楼	停车场	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	东南侧	与衰变室相邻	流动人员	
		各类设备用房、电梯、工具间	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	西南侧	至衰变室3m	流动人员	
		停车场	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员		至衰变室27m	流动人员	
		停车场	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	西北侧	至衰变室4m	流动人员	
		停车场	医院工作人员、病患及陪同家属等流动人员	东北侧	至衰变室4m	流动人员	
		各类电梯、楼	医院工作人员、		/	流动人员	

		梯及设备用房	病患及陪同家属等流动人员				

注：衰变室正下方为土层，无建筑，正上方为核医学科。

评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

（1）剂量限值

本项目辐射工作人员及公众的年照射剂量限值，见表 7-2：

表 7-2 照射剂量限值

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

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

（2）辐射管理分区

6.4.1 控制区

6.4.1.1 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。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 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。

（3）工作场所分级

非密封源工作场所的分级应按附录 C （标准的附录 C）的规定进行。

C1 非密封源工作场所的分级

应按表 7-3 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-3 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq

甲	>4×10^9
乙	2×10^7~4×10^9
丙	豁免活度值以上~2×10^7

C2 放射性核素的日等效操作量的计算

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）与该核素毒性因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。

$$\text{放射性核素的日等效操作量}=\frac{\text{放射性核素的实际日操作量}\times\text{核素毒性因子}}{\text{与操作方式有关的修正因子}}$$ （公式 7-1）

本项目放射性核素的毒性分组及毒性组别修正因子见表 7-4，与操作方式有关的修正因子见表 7-5。

表 7-4 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 7-5 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

（4）表面污染控制水平

表 7-6 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 [a]	4	40	40
	监督区	0.4	4	4
工作服、手套、工 作鞋	控制区	0.4	0.4	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		0.04	0.04	0.4

a 该区内的高污染子区除外

（5）放射性废液向环境排放的控制

8.6.2 不得将放射性废液排入普通下水道， 除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流的普通下水道，并应对每次排放做好记录：

a）每月排放的总活度不超过 10 ALI_{min}。

b）每一次排放的活度不超过 1 ALI_{min} ，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗

2、清洁解控水平推荐值

根据 GB18871-2002 中 4.2.5.2 的原则，将其附录 A 所给出的豁免水平作为清洁解控水平的取值依据，由此得出本项目放射性核素的清洁解控水平推荐值，列于表 7-7 中。

表 7-7 以核素活度浓度表示的清洁解控水平推荐值

解控水平（Bq/g）	核素
1×10^{1}	^{18}F
1×10^{2}	^{99m}Tc 、^{201}Tl、^{111}In、^{123}I、^{153}Sm、^{188}Re
1×10^{3}	^{89}Sr
注 1：上述解控水平推荐值原则上只适用于在组织良好、人员训练有素的工作场所对产生小量放射性固体废物的医学应用或实验室。 注 2：严禁为申报清洁解控而采用人工稀释等方法来降低核素活度浓度。	

3、《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）

根据本项目污水排放放射性，在衰变池排放口执行“**总β≤10Bq/L**”的要求。

4、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）

5.3.1 辐射工作人员应熟练掌握安全与防护技能，取得相应资质。

5.3.2 辐射工作人员应根据实际需要配备适用、足够和符合标准的个人防护用具（器械、衣具），并掌握其性能和使用方法。个人防护用具应有备份，均应妥善保管，并应对其性能进行检验。

5.3.3 辐射工作场所应具备适当的防护手段与安全措施，做好个人防护工作。

5.3.4 在伴有外照射的工作场所，应做好个人外照射防护，包括β外照射防护。

5.3.5 在任何情况下均不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件的操作。

5.3.6 辐射工作场所应根据所操作非密封源的特点配备适当的医学防护用品和急救品箱，供处理事故时使用。严重污染事件的医学处理应在医学防护人员的指导下进行。

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权活度计算方法见附录 G。

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用的排风装置，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 2.5μSv/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 25μSv/h，宜不大于 2.5μSv/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 25μSv/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。

6、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）

4.3 辐射工作场所分区

4.3.1 应按照GB 18871的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区，并进行相应的管理。

4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。

4.3.3 核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。

4.3.4 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区

入口处应设置标明监督区的标志。

4.4 剂量限值与剂量约束值

4.4.1 剂量限值

核医学工作人员职业照射剂量限值应符合GB 18871附录B中B1.1的相关规定，核医学实践使公众成员所受到的剂量照射限值应符合GB 18871附录B中B1.2的相关规定。

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过0.1mSv/a。

4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照GB 18871执行。

4.5 服药患者出院要求

4.5.1 为确保放射性核素治疗患者出院后，不至于使接触患者的家庭成员及公众超过相关的剂量约束或剂量限值，出院患者体内放射性核素活度应符合附录B的相关规定。

5 选址和布局

5.1 选址

5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内，或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层，设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。

5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，并应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

5.2 布局

5.2.1 核医学工作场所应合理布局，住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置；同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。

5.2.2 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。

5.2.3 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。

6 工作场所的辐射安全与防护

6.1 屏蔽要求

6.1.1 核医学场所屏蔽层设计应适当保守，按照可能使用的最大放射性活度、最长时间和最短距离进行计算。

6.1.2 设计核医学工作场所墙壁、地板及顶面的屏蔽层时，除应考虑室内的辐射源外，还要考虑相邻区域存在的辐射源影响以及散射辐射带来的照射。

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。

6.1.7 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面30 cm处的周围剂量当量率小于2.5μSv/h。

6.1.8 放射性物质贮存在专门场所内，并应有适当屏蔽。

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。

6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。

6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。

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

7.2.1 固体放射性废物收集

7.2.1.1 固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。

7.2.1.2 含尖刺及棱角的放射性废物，应预先进行包装处理，再装入废物桶，防止刺破废物袋。

7.2.1.3 放射性废物每袋重量不超过20 kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

7.2.2 固体放射性废物贮存

7.2.2.1 产生少量放射性废物和利用贮存衰变方式处理放射性废物的单位，经审管部门批准可以将废物暂存在许可的场所和专用容器中。暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。

7.2.2.2 放射性废物贮存场所应安装通风换气装置，放射性废物中含有易挥发放射性核素的，通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施。

7.2.2.3 废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。

7.2.2.5 废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

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 Bq/cm^2、β表面污染小于0.8 Bq/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；

7.2.3.2 不能解控的放射性固体废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，表面污染水平对β和γ发射体以及低毒性α发射体应小于4Bq/cm^2、其他α发射体应小于0.4Bq/cm^2。

7.2.3.3 固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.1 放射性废液收集

7.3.1.1 核医学工作场所应设置有槽式或推流式放射性废液衰变池或专用容器，收集放射性药物操作间、核素治疗病房、给药后患者卫生间、卫生通过间等场所产生的放射性废液和事故应急时清洗产生的放射性废液。

7.3.1.2 核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液应收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。

7.3.1.3 核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

7.3.1.4 放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。

7.3.2 放射性废液贮存

7.3.2.1 经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池或专用容器的容积应充分考虑场所内操作的放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研

究中预期产生贮存的废液量以及事故应急时的清洗需要；衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。

7.3.2.2　含碘-131治疗病房的核医学工作场所应设置槽式废液衰变池。槽式废液衰变池应由污泥池和槽式衰变池组成，衰变池本体设计为2组或以上槽式池体，交替贮存、衰变和排放废液。在废液池上预设取样口。有防止废液溢出、污泥硬化淤积、堵塞进出水口、废液衰变池超压的措施。

7.3.2.3 核医学诊断和门诊碘-131治疗场所，可设置推流式放射性废液衰变池。推流式衰变池应包括污泥池、衰变池和检测池。应采用有效措施确保放射性废液经污泥池过滤沉淀固形物，推流至衰变池，衰变池本体分为3-5级分隔连续式衰变池，池内设导流墙。污泥池池底有防止和去除污泥硬化淤积的措施。

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。

7.4 气态放射性废物的管理

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

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

7、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）

6.1 X 射线设备机房布局

6.1.1 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束

直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

6.1.2 X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。

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（即表 7-8）的规定。

表 7-8 本项目 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

设备类型	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
d 机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。 e 机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。		

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（即表 7-9）的规定。

表 7-9 本项目 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（不含头颅移动 CT）	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：

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 2.5 μSv/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。

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

8、辐射剂量约束限值

综合考虑上述标准要求，本项目辐射剂量约束限值为：

①辐射剂量率约束限值：距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗、墙壁、顶部外表面30cm、楼下地面1.7m处及周围人员可居留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；

分装室内手套箱外表面30cm处人员操作位及注射窗外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率应小于2.5μSv/h，手套箱非正对人员操作位表面5cm处的周围剂量当量率应小于25μSv/h。

②β表面污染控制水平：核医学科β表面污染控制水平具体见表7-6。

③年有效剂量约束限值：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。

9、参考资料

（1）《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辐射剂量率调查结果　单位：nGy/h

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

注：1、测量值已扣除宇宙射线响应值；

2、现状评价时，以“均值±3s”作为参考值：原野为（50.4±21.0）nGy/h；道路为（47.1±36.9）nGy/h；室内为（89.2±42.0）nGy/h。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

1、医院位置

昆山西部医疗中心（昆山市中医医院新院区）位于江苏省昆山市巴城镇祖冲之南路388号。东侧为祖冲之路，南侧为前进西路，西侧为小石桥河、通澄南路，北侧为康居路。医院地理位置示意图见附图1，新院区平面布局和周围环境情况见附图2。

2、核医学科位置

本项目核医学科拟建址位于科教研综合楼东南部负一楼，科教研综合楼东侧为住院大厅及门诊医技综合楼，南侧为质子治疗中心，西侧为院内道路及院外的小石桥河和通澄南路，北侧为三期预留地。

核医学科东南侧50m范围内为土层、太平间及配套的辅助用房、地下车库、厨房及配套的辅助用房、各类设备用房等，西南侧50m范围内为核医学科候诊登记处、各类电梯及楼梯、地下停车场及各类设备用房及辅助用房等，西北侧50m范围内为医生办公室、阅片室、更衣间、休闲区及室外庭院、各类设备用房、充电停车位等，东北侧50m范围内为各类电梯及楼梯、各类设备用房、充电停车位等，楼上为电梯、库房、商业用房等，楼下为衰变室、停车场、排风机房。

衰变室位于核医学科正下方（科教研综合楼负二楼）。衰变室东南侧50m范围内为停车场、土层，西南侧50m范围内为各类设备用房、电梯、工具间及停车场，西北侧50m范围内为停车场，东北侧50m范围内为各类电梯及楼梯、各类设备用房，楼上为核医学科，楼下为土层，无建筑。

本项目评价范围内平面布置图见附图3-1和附图3-2，核医学科平面布局见附图4，科教研综合楼一楼平面布局见附图5，科教研综合楼负二楼平面布局见附图6。

本项目核医学科拟建场址及周围环境现状见图 8-1和图 8-6。



图 8-1 昆山西部医疗中心东侧

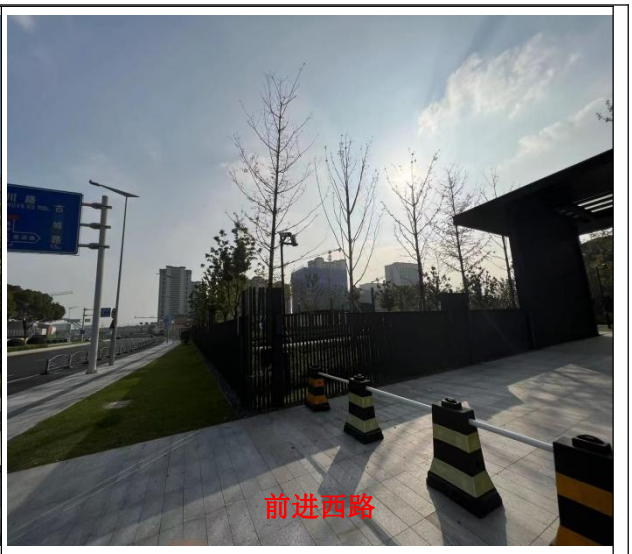

图 8-2 昆山西部医疗中心南侧



图 8-3 昆山西部医疗中心西侧



图 8-4 昆山西部医疗中心北侧



图 8-5 科教研综合楼



图 8-6 核医学科拟建址

二、环境现状检测

本项目运行期间主要的环境污染物为放射性同位素产生的γ射线、β射线和β表面污染以及射线装置开机时产生的 X 射线等电离辐射污染。项目在进行现状调查时，主要调查本项目核医学科拟建场址及周围环境的γ辐射剂量率和β表面污染水平。

1、X-γ辐射剂量率

检测单位：南京宁亿达环保科技有限公司（证书编号： 181012050340）

检测时间：2022 年 7 月 14 日

检测天气：晴

检测仪器：FH40G 便携式 X-γ辐射仪

仪器探头：FHZ672E-10

仪器编号：031804+11553

能量响应范围：40keV~4.4MeV

量程范围：1nSv/h~100μSv/h

有效期：2021.12.3~2022.12.2

校准参考辐射源：^{137}Cs

2 、β 表面沾污检测

检测单位：江苏省苏核辐射科技有限责任公司（证书编号： 221020340440）

检测仪器： RADIAGEM2000+SABG- 100 型α、β 表面污染测量仪

仪器编号： 5210+2028

α 、β 辐射测量范围：0~10000cps

能量响应范围：主机探测器：40keV-1.5MeV；探头：α>3MeV，β>150keV

检定有效期：2021.12.3~2022.12.2

3、质量保证措施

①委托的检测机构已通过计量认证（证书见附件 6），具备有相应的检测资质和检测能力；

②委托的检测机构制定有质量体系文件，所有活动均按照质量体系文件要求进行，实施全过程质量控制；

③委托的检测机构所采用的监测设备均通过计量部门检定，并在检定有效期内；

④所有检测人员均通过专业的技术培训和考核；

⑤检测仪器在使用前、后进行性能检查；

⑥检测报告实行三级审核。

4、检测结果及评价

本项目核医学科拟建场址及周围环境的γ辐射剂量率和β表面污染水平检测结果见表8-1和表8-2，检测点位见图8-7，详细检测结果见附件6。

表8-1　本项目核医学科拟建址及周围环境辐射剂量率检测结果

序号	检测点位	测量结果（nSv/h）*	备注
1	核医学科拟建址内	111	/
2	核医学科拟建址东北侧	113	
3	核医学科拟建址西北侧	121	
4	核医学科拟建址西南侧	114	
5	核医学科拟建址东南侧 （门诊医技综合楼负一楼停车场）	129	
6	核医学科拟建址上方	111	
7	核医学科拟建址下方（衰变室拟建址处）	100	

注：①测量结果已扣除检测仪器宇宙射线响应；

②检测点位均位于室内。

表8-2　本项目核医学科拟建址及周围环境 β表面沾污检测结果

序号	检测点位	检测结果(Bq/cm^2)	备注
1	核医学科拟建址地面	0	α表面沾污
	核医学科拟建址地面	0	β表面沾污
2	核医学科拟建址东北侧地面	0	
3	核医学科拟建址西北侧地面	0	
4	核医学科拟建址西南侧地面	0	
5	核医学科拟建址东南侧地面 （门诊医技综合楼负一楼停车场）	0	
6	核医学科拟建址上方地面	0	
7	核医学科拟建址下方地面（衰变室拟建址处）	0	

注：检测点位均位于室内。

根据表8-1可知，本项目核医学科拟建址及周围环境辐射水平在100nSv/h～129nSv/h范围内（参照HJ 1157-2021，Sv/Gy换算系数取1.2，即83.3nGy/h~107.5nGy/h）。对照江苏省环境天然γ辐射剂量率调查结果，本项目核医学科拟建址及周围环境辐射剂量率处于江苏省环境天然γ辐射水平涨落范围。

根据表8-2可知，本项目核医学科拟建址及周围环境未检出α、β表面污染。

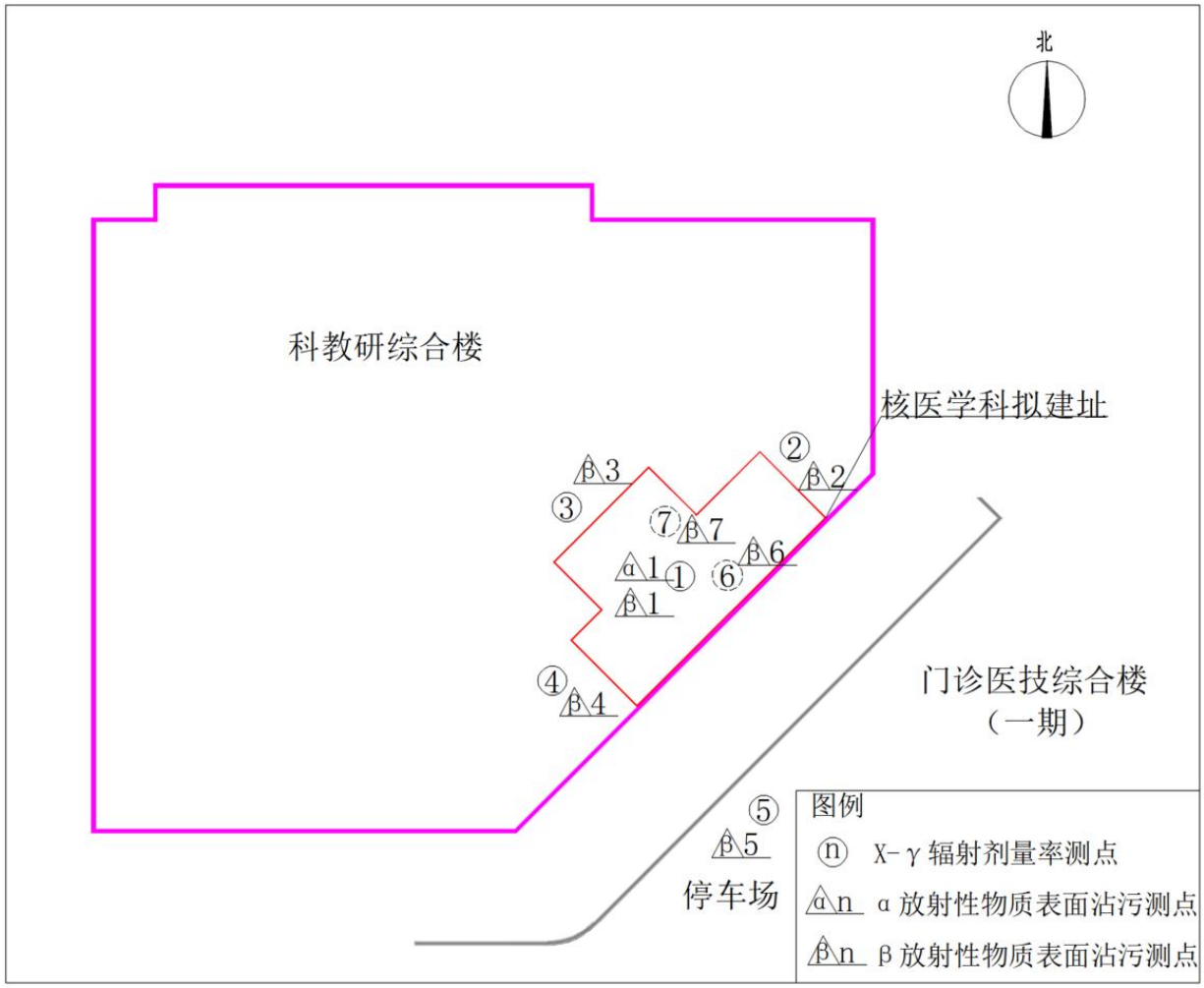

图 8-7 本项目核医学科拟建址周围环境监测点位示意图

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、工程设备

1、 PET/CT

PET/CT 全称为正电子发射断层与计算机断层诊断技术，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，一次显像可获得全身各方位的断层图像，具有灵敏、准确、特异及定位精确等特点，可一目了然的了解全身整体状况，达到早期发现病灶和诊断疾病的目的。

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。许多块结构组成一个环，再由数十个环构成整个探测器。

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。常见 PET/CT 外观示意图见图 9-1。



图 9-1 常见 PET/CT 外观图

2、SPECT/CT

SPECT/CT 是单光子发射计算机断层成像技术的英文缩写（ Single-Photon Emission Computed Tomography），是一种进行功能代谢显像的分子影像学设备，其工作原理是利用仪器探测人体内同位素的动态分布而成像，特点是可做功能、代谢方面的影像观察。SPECT/CT 不仅能显示二维平面图像，更主要的还能给出脏器的断层图像。它实际上就是一个探头可以围绕病人某一脏器进行 360°旋转的 γ 相机，在旋转时每隔一定角度（3°或 6°）采集一帧图片，然后经电子计算机自动处理，将图像叠加，并重建为该脏器的横断面、冠状面、矢状面或任何需要的不同方位的断层和切面图像，利用专用的

核医学应用软件，对断层图像和数据做进一步的分析和处理，为核医学医生提供更多更精确的信息和定量分析的数据，从而极大地提高了诊断的灵敏度和准确性，将功能代谢与解剖结构完美结合显示成像，是目前临床核医学最广泛应用的医学影像诊断设备。常见 SPECT/CT 外观示意图见图 9-2。

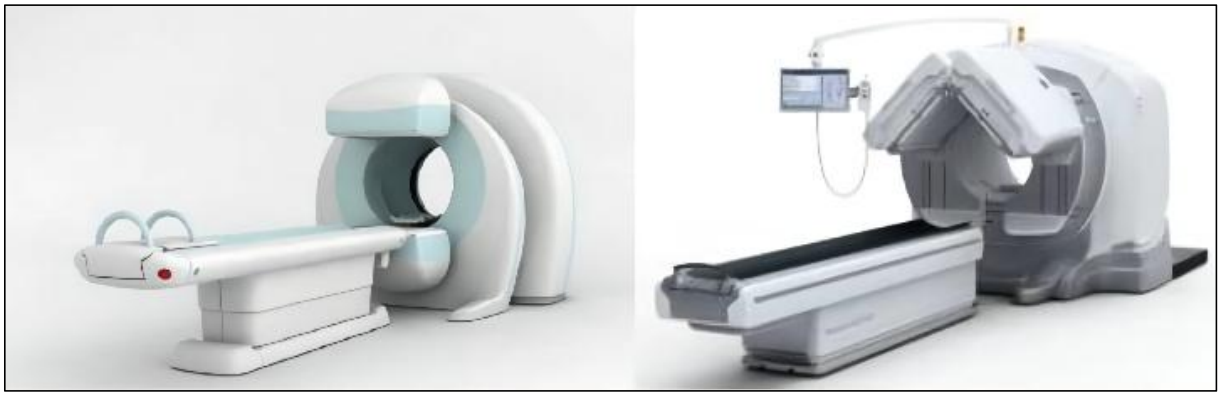

图 9-2　常见 SPECT/CT 外观图

二、工作原理、工作流程及产污环节

1 、PET/CT 显像检查

（1）工作原理

PET/CT 是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，藉此诊断疾病，又称为生化显像或功能分子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术；同时结合应用高档多排 CT 技术进行精确定位，可精确地提供靶器官的解剖和功能双重信息，并能够独立完成多排螺旋 CT 的临床显像，大大提高临床使用价值。

正电子发射是放射性核素衰变的方式之一。这类核素在自发的从不稳定状态向基态衰变过程中，从核内释放出与普通电子一样但电荷相反的粒籽，即正电子。正电子是一种反物质，从核内放出后很快与环境中自由电子碰撞湮灭，转化为一对方向相反、能量为 0.511MeV 的 γ 光子。如果在这对光子飞行方向上对置一对探测器，便可以几乎同时接受到这两个光子，并可推定光子发源（即正电子发射）点在两探头间连线上。通过环绕 360°排列的多组配对探头，经探头对之间符合线路检验判定每只探头信号时间耦合性，排除其他来源射线的干扰，得到探头对连线上的一维信息，再用滤波反投射方式，将信号按探头对的空间位置向中心点反投射，便可形成与探头组连线轴平行的断

层面正电子发射示踪剂分布图像。这种探测方式一次只反映一个层面的信息。实用中常用多层排列的探头对，配合层间符合线路，以利探测并重建更多层面的图像。

（2）工作流程及产污环节分析

订药：昆山西部医疗中心根据患者预约情况提前向供货商按需订购，供货商将药物运至医院，由核医学科专职人员接收，暂存在分装室的 PET 手套箱内。

分装：医院订购的正电子药物 ^{18}F 一般为成罐药剂，工作人员先在手套箱内进行药物分装及活度测量，首先将正电子药液抽取到带防护套的一次性注射器里，达到一定体积后，用活度计测量所抽吸的药液活度是否满足要求，若不满足，再次抽吸调整药量直到符合活度要求，有经验的熟练护士一般能够一次性成功，不熟练的护士需要反复一至两次。每次分装保守按 1min 估算。建议医院在 PET 手套箱内配备自动分装装置，可减少药物操作人员的受照剂量。

注射：分装好注射试剂后，工作人员手持带防护套的一次性注射器，在注射窗口为患者注射。注射完毕后将沾有放射性核素的固体废物放入分装室内废物铅桶内（其中，一次性注射器等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入利器盒中），注射器防护套回收重复利用。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。

诊断：患者注射正电子药物后，在 PET 注射后候诊室候诊，候诊约 30~40min 待药物代谢至靶器官，进入 PET/CT 扫描室，经医护人员通过对讲装置指导摆位或现场指导摆位后（每位患者现场摆位时间约 1min），接受 PET/CT 的扫描，每次扫描约 20~30min。扫描完成后，患者进入 PET 留观室观察约 20~30min，无碍后由患者专用通道离开。

本项目 PET/CT 显像检查流程如下：

①在科室开诊之前，供货商将 ^{18}F 药物运至医院，由核医学科专职人员接收，暂存在分装室的 PET 手套箱内；

②患者在未注射人员候诊室候诊时，在诊室进行问诊、称重、测血糖等相关准备工作，医生告知患者检查需要注意的事项等；

③工作人员在分装室手套箱内进行分装，根据患者体重抽取所需活度的原液，用生理盐水稀释并测定活度，直至分装的药物活度满足要求；

④经语音呼叫后，患者到达注射窗口，工作人员在注射窗口为患者注射药物；

⑤注射药物后的患者进入 PET 注射后候诊室进行候诊；

⑥候诊约 30~40min，待药物代谢至靶器官后进入 PET/CT 扫描室，经工作人员指

导摆位后进行扫描，单次扫描用时约 20~30min；

⑦扫描完成后，患者到 PET 留观室留观，留观约 20~30min，无碍后由患者专用通道离开。

本项目 PET/CT 显像检查具体工艺流程及产污环节见图 9-3。

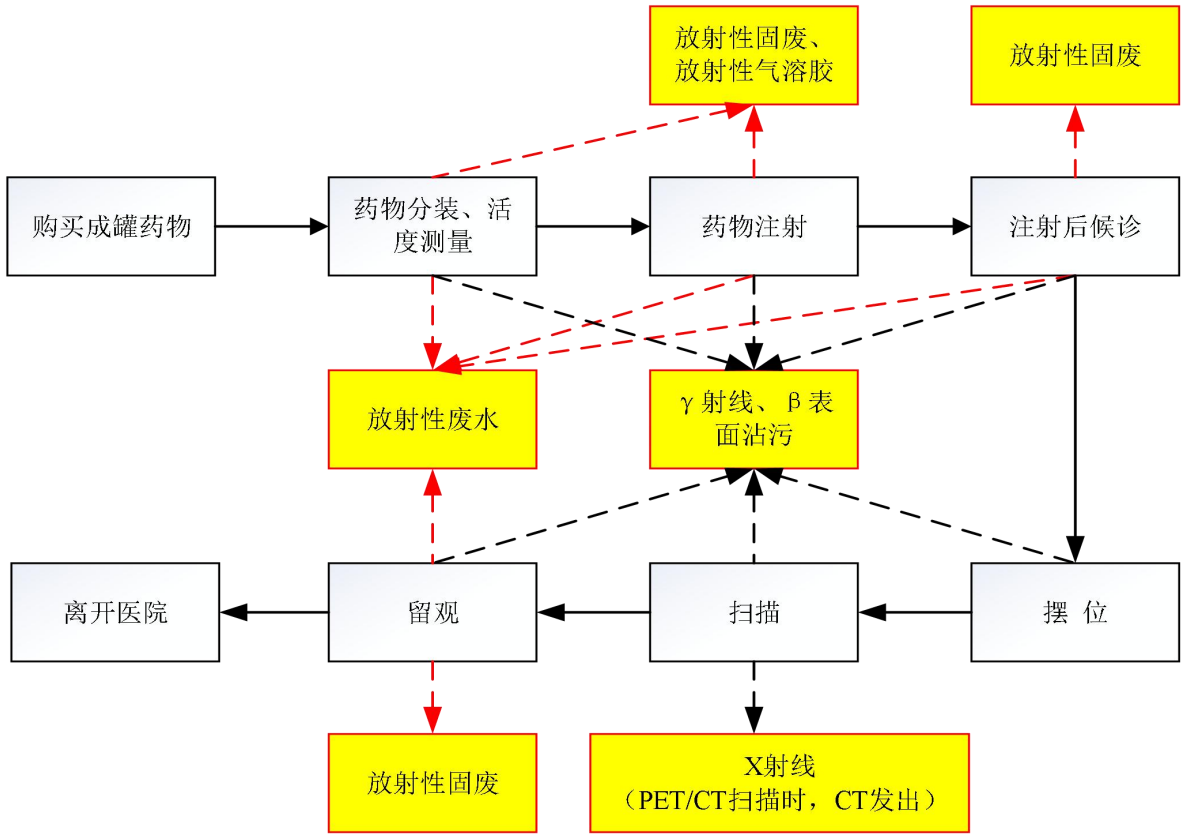

图 9-3　PET/CT 显像检查具体工艺流程及产污环节示意图

因此，PET 显像主要环境影响为：

分装、注射对工作人员产生的外照射；对工作台面、地面等造成的表面污染；分装、注射过程产生的放射性废气、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；工作人员操作过程手部受到微量污染的清洗废水。

患者候诊及留观过程产生的放射性废水，如注射放射性药物患者的排泄物和冲洗水、擦拭废纸、对地面造成的表面污染以及病人带有的 γ 射线。

PET/CT 扫描时产生的 X 射线。

2 、SPECT/CT 显像检查

（1）工作原理

SPECT 显像原理是利用引入人体内的放射性核素发出的 γ 射线经碘化钠晶体产生闪光，闪烁光子再与光电倍增管的光阴极发生相互作用，产生光电效应。光电效应产生

的光电子经光电倍增管的打拿极倍增放大后在光阳极形成电脉冲，其经过放大器放大成形，再经过位置计算电路形成 X 、Y 位置信号。各个光电倍增管输出信号之和为能量信号 Z。X、Y 信号经处理后加入显示器偏转极，Z 信号加入启挥极，从而在荧光屏上形成闪烁影像。利用滤波反投影方法，借助计算机处理系统可以从一系列投影影像重建横向断层影像，由横向断层影像的三维信息再经影像重建组合获得矢状、冠状断层或任意斜位方向的断层影像。

本项目 SPECT/CT 使用含放射性同位素 ^{99m}Tc、^{201}Tl、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I 的药物进行显像，其中 ^{99m}Tc 主要用于骨骼显像、心肌灌注显像等，用途较广；^{201}Tl 主要用于非特异性肿瘤显像、甲状腺肿瘤显像、心肌显像；^{67}Ga 主要用于肿瘤显像、感染/炎症显像；^{111}In 主要用于血栓显像、生长抑素受体显像；^{123}I 主要用于甲状腺显像、肾脏显像。本项目所使用的核素均为外购。

（2）工作流程及产污环节分析

订药：医院根据患者预约情况提前向供货商按需订购，供货商将分装好的针剂运至医院，由核医学科专职人员接收，暂存在分装室的 SPECT 手套箱内。

分装：医院订购的药物到货时均为分装好的针剂、无需分装。

注射：工作人员手持带防护套的一次性注射器，在注射窗口为患者注射。注射完毕后将沾有放射性核素的固体废物放入分装室内废物铅桶内（其中，一次性注射器等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入利器盒中），注射器防护套回收重复利用。每次注射过程中近距离接触药物的时间保守按 1min 估算。

诊断：注射药物后的患者在 SPECT 注射后候诊室内候诊约 30min 待药物代谢至靶器官，部分患者可能需要在运动功能室内加强运动使心率达到一定水平、促使药物代谢至靶器官。进入 SPECT/CT 扫描室，躺在扫描床上，经医护人员通过对讲装置指导摆位或现场指导摆位后（每位患者现场摆位时间约 1min），开始 SPECT/CT 扫描检查，每次平均扫描约 15~30min，得到最终的 SPECT/CT 扫描图像。扫描完成后，患者进入 SPECT 留观室观察约 20~30min，无碍后由患者专用通道离开。

本项目 SPECT 显像检查流程如下：

①在核医学科开诊之前，供货商将分装好的成品药剂运至医院，由核医学科专职工作人员接收，暂存在高活室的 SPECT 手套箱内，并进行活度测量，确定活度是否满足需求；

②患者在未注射人员候诊室候诊时，在诊室进行问诊、称重、测血糖等相关准备工

作，医生告知患者检查需要注意的事项等；

③患者在未注射人员候诊室候诊，经语音呼叫后，至注射窗口注射放射性药物；

④注射药物后的患者在 SPECT 注射后候诊室内候诊约 30min 待药物代谢至靶器官，部分患者可能需要在运动功能室内加强运动使心率达到一定水平、促使药物代谢至靶器官；

⑤药物代谢至靶器官的患者，进入 SPECT/CT 扫描室，经医护人员通过对讲装置指导摆位或现场指导摆位后（每位患者现场摆位时间约 1min），开始 SPECT/CT 扫描检查，每次扫描约 15~30min，得到最终的 SPECT/CT 扫描图像；

⑥扫描完成后，患者进入 SPECT 留观室留观约 20~30min，无碍后由患者专用通道离开。

本项目 SPECT/CT 显像检查具体工艺流程及产污环节见图 9-4

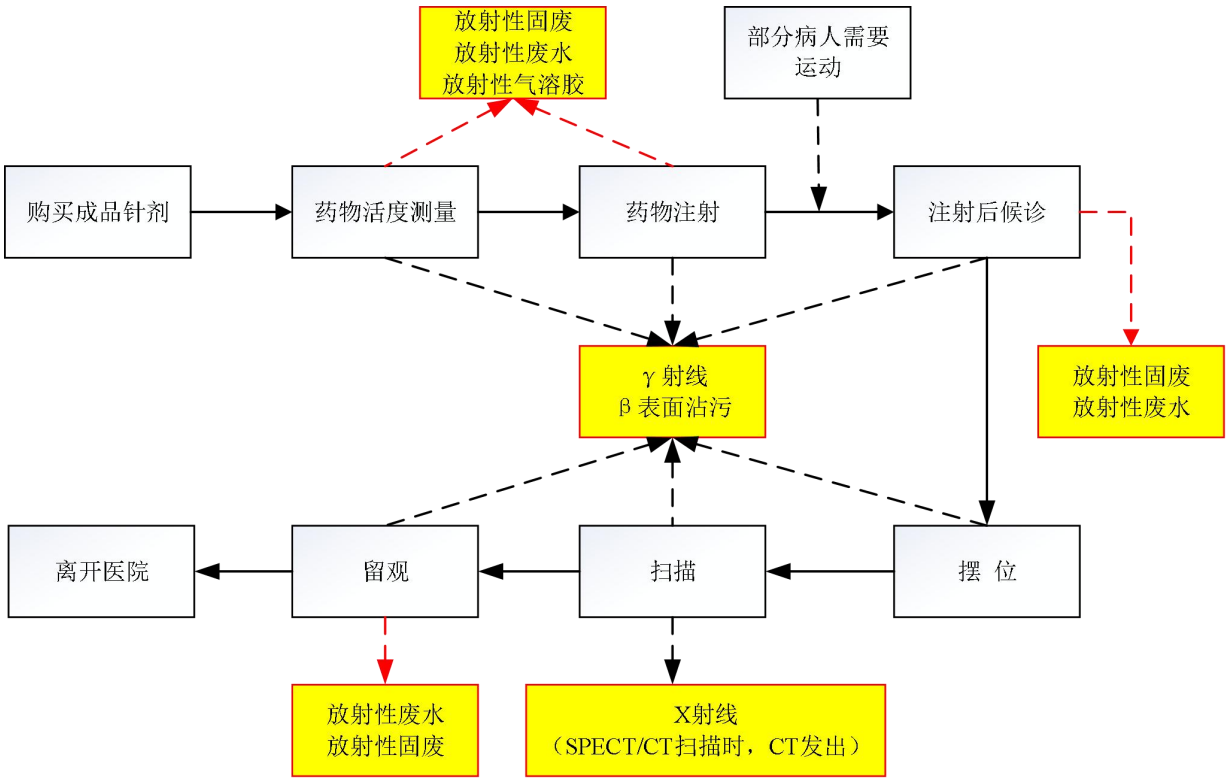

图 9-4　SPECT/CT 显像检查具体工艺流程及产污环节示意图

因此，SPECT 显像主要环境影响为：

活度测量、注射对工作人员产生的外照射；对工作台面、地面等造成的表面污染；测量、注射过程产生的放射性废气、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；工作人员操作过程手部受到微量污染的清洗废水。

患者候诊及留观过程产生的放射性废水，如注射放射性药物患者的排泄物和冲洗水、擦拭废纸、对地面造成的表面污染以及病人带有的γ射线。

SPECT/CT 扫描时产生的 X 射线。

3、^{89}Sr、^{153}Sm、^{188}Re 核素治疗

（1）工作原理

每年的癌症新发患者中，约有一半会发生癌症的骨转移，且在肺癌、乳腺癌、前列腺癌患者中，约有 70%~80%的患者有骨转移。70%以上的骨转移患者有骨痛症状。发生广泛的骨转移后，由于骨内膜和骨外膜受到肿瘤生长产生的张力或压力以及肿瘤直接累及骨膜,临床上常常会出现明显的难以控制的顽固性骨痛，因其严重的影响患者的生活质量和预后。近年来由于放射性核素治疗骨转移癌和缓解转移性骨痛的飞速发展，已经逐渐替代了传统的麻醉药品对骨痛的治疗。目前用于治疗骨转移肿瘤的放射性药物主要有 $^{89}SrCl_2$、^{153}Sm-EDTMP、^{188}Re-HEDP 等。这些药物均具有趋骨性、在骨组织代谢活跃的部分浓聚更多。静脉注射后骨转移肿瘤病灶呈明显的浓聚，利用这些趋骨性放射性药物发射的β射线对肿瘤进行内照射，达到止痛、抑制或破坏骨转移肿瘤病灶。经国内外大量的文献资料显示其有效率达 80%~90%，能明显的缓解转移性骨痛，显著地提高患者的生活质量，且相对于止痛药、化疗、放疗和激素治疗产生的毒副作用要小。因此转移性骨痛的放射性核素靶向治疗已经成为临床治疗骨转移癌和缓解骨转移疼痛中最具应用前景的治疗手段之一。

（2）工作流程及产污环节分析

医院根据与患者预约情况提前向药物供货商订药，由药物供货商负责药物运输至核医学科内，医生通知患者进入，在 SPECT 注射窗口给患者注射。待患者离开后，医生对注射室进行清理。预计每名患者所使用 ^{89}Sr 的活度约为 $6.3\times10^{8}Bq$ （17mCi）左右，年门诊量约为 10 人；使用 ^{153}Sm 的活度约为 $3.7\times10^{4}Bq$（0.001mCi）左右，年门诊量约为 10 人；使用 ^{188}Re 的活度约为 $3.7\times10^{5}Bq$（0.01mCi）左右，年门诊量约为 10 人。医院计划对 ^{89}Sr、^{153}Sm、^{188}Re 核素治疗患者采用分时段候诊，由于门诊量较少，医院根据患者数量进行约诊治疗，采用错时就诊，在核医学科开诊前进行治疗，频次约每月一次。

^{89}Sr、^{153}Sm、^{188}Re 核素治疗具体过程如下：

①患者提前预约，医院向厂家预约定药；

②当天由厂家按需供药，由核医学科专职人员负责药物接收与登记；

③患者就诊时，告知患者核素治疗需要注意的事项；

④经语音呼叫后，在 SPECT 注射窗口注射药物，注射后患者直接离开医院。

核素治疗工作流程及产污环节见图 9-5。

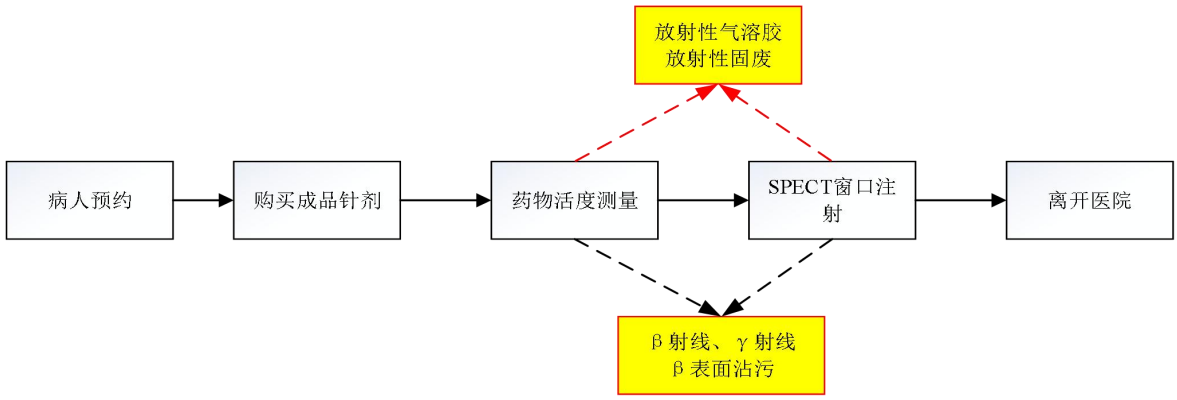

图 9-5　^{89}Sr、^{153}Sm、^{188}Re 核素治疗具体工艺流程及产污环节示意图

因此，核素治疗主要环境影响为：

操作过程对工作人员产生的外照射；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废气、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；病人带有的γ射线。

三、人流、物流路径规划

1、医护人员路径

操作技师路径：经核医学科西北侧医护人员入口进入设备控制室，在操作位进行设备的操作以及在扫描室为患者摆位等工作；工作结束后，原路返回离开。

核素操作人员路径：经核医学科西北侧医护人员入口进入更衣/缓冲间，经更衣后进入高活室/分装室，进行药物的分装及注射工作；工作结束后，在更衣/缓冲间进行表面沾污检测，若检测合格，直接更衣后离开，若其污染水平超过 GB18871-2002 规定值，则将被污染的工作服等防护用品脱下放入衣物篮并在淋浴间冲洗，直至检测合格，方可离开。

2、患者路径

患者首先在未注射人员候诊室等候，候诊时在诊室进行称重、测血糖以及问诊等相关准备工作，准备工作完毕后从患者入口进入。

PET 诊断患者路径：接受 PET/CT 显像检查的患者在 PET 注射窗口注射药物，注射完毕后到 PET 注射后候诊室候诊，待放射性药物代谢到相应的靶器官后，到 PET/CT 扫描室进行扫描，扫描完毕后再到 PET 留观室留观，留观后从患者出口离开。

SPECT 诊断患者路径：接受 SPECT/CT 显像检查的患者在 SPECT 注射窗口注射药

物，注射后需要进行运动的患者在运动室加强运动一段时间后进入 SPECT 注射后候诊室候诊，待放射性药物代谢到相应的靶器官后，到 SPECT/CT 扫描室进行扫描，扫描完毕后再到 SPECT 留观室留观，留观后从患者出口离开。

^{89}Sr、^{153}Sm、^{188}Re 核素治疗患者路径：在 SPECT 注射窗口注射后，直接从患者出口离开。

3、放射性药物路径

本项目订购的药物由供货商每天在核医学科上班之前送至医院，核医学科工作人员接收药物后，从核医学科药物专用通道进入核医学科，将放射性药物送入高活室/分装室的手套箱内。

4、放射性固体废物路径

本项目核医学科场所各房间产生的放射性固体废物先放在各房间的废物铅桶内，下班后再分类收集，放置在核医学科的放射性废物间，其中所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固废暂存至少 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固废暂存至少十个半衰期，并经检测辐射剂量率处于所处环境本底水平、β表面沾污小于 0.8Bq/cm²后，从患者出口运至医院医疗废物处理站，作为医疗废物处理。

本项目核医学科工作场所人流、物流路径见附图 9-1、9-2。

污染源项描述

1、核医学科工作场所等级划分

本项目核医学科拟开展 PET/CT 和 SPECT/CT 显像检查及核素治疗项目：

（1）核医学科—PET、SPECT 检查

① PET/CT 显像检查：配备 1 台 PET/CT，并配备 2 枚 ^{22}Na V 类校准源，使用 ^{18}F 正电子药物进行显像检查。^{18}F 到货时为装入铅罐内的整罐药液，需要由工作人员按患者所需活度进行分装。

^{18}F 影像诊断日最大门诊量约为 10 人，单人单次最大用药量 10mCi（3.7×10^{8}Bq），考虑到放射性药物的衰变，每天分两批次进行送药，每批次送药量最大为 5.55×10^{9}Bq（按照最大用药量的 3 倍备药），确保足够的备药量。则日最大操作量为 1.11×10^{10} Bq，年门诊量约 2500 人，则年最大用量为 2.78×10^{12}Bq。

② SPECT/CT 显像检查：配备 1 台 SPECT/CT，使用 ^{99m}Tc、^{201}Tl、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I 进行显像检查。核素到货时均为分装好的成品针剂、无需分装。

^{99m}Tc 影像诊断日最大门诊量约为 25 人，单人单次最大用药量 9.25×10^{8}Bq（25mCi），则日最大操作量为 2.31×10^{10}Bq，年门诊量约 6250 人，则年最大用量为 5.78×10^{12}Bq；

^{201}Tl 影像诊断日最大门诊量约为 2 人，单人单次最大用药量 2.10×10^{8}Bq（5.7mCi），则日最大操作量为 4.20×10^{8}Bq，年门诊量约 50 人，则年最大用量为 1.05×10^{10}Bq；

^{67}Ga 影像诊断日最大门诊量约为 2 人，单人单次最大用药量 2.10×10^{8}Bq（5.7mCi），则日最大操作量为 4.20×10^{8}Bq，年门诊量约 50 人，则年最大用量为 1.05×10^{10}Bq；

^{111}In 影像诊断日最大门诊量约为 2 人，单人单次最大用药量 3.70×10^{4}Bq（0.001mCi），则日最大操作量为 7.40×10^{4}Bq，年门诊量约 50 人，则年最大用量为 1.85×10^{6}Bq；

^{123}I 影像诊断日最大门诊量约为 2 人，单人单次最大用药量 3.70×10^{8}Bq（10mCi），则日最大操作量为 7.40×10^{8}Bq，年门诊量约 50 人，则年最大用量为 1.85×10^{10}Bq。

本项目 PET、SPECT 显像检查放射性核素用药量见表 9-1。

表 9-1　本项目 PET、SPECT 检查放射性核素用量一览表

工作场所	核素	单人单次最大用药量（Bq）	日最大门诊量	日最大操作量（Bq）	年门诊量	年最大用量（Bq）
核医学科	^{18}F	3.70×10^{8}	10 人	1.11×10^{10}	2500 人	2.78×10^{12}
	^{99m}Tc	9.25×10^{8}	25 人	2.31×10^{10}	6250 人	5.78×10^{12}
	^{201}Tl	2.10×10^{8}	2 人	4.20×10^{8}	50 人	1.05×10^{10}
	^{67}Ga	2.10×10^{8}	2 人	4.20×10^{8}	50 人	1.05×10^{10}
	^{111}In	3.70×10^{4}	2 人	7.40×10^{4}	50 人	1.85×10^{6}
	^{123}I	3.70×10^{8}	2 人	7.40×10^{8}	50 人	1.85×10^{10}

注：^{18}F 因半衰期较短，按照最大用药量的 3 倍备药，确保足够的备药量。

（2）核医学科—核素治疗

① ^{89}Sr治疗：使用^{89}Sr进行骨转移肿瘤治疗，每天最多接收1名患者，单人单次最大用药量约为6.30×10^{8} Bq（17mCi），则日最大操作量为6.30×10^{8} Bq；年门诊量约为10人，则年最大用量为6.30×10^{9} Bq。核素到货时均为分装好的成品针剂、无需分装。

②^{153}Sm治疗：使用^{153}Sm进行骨转移肿瘤治疗，每天最多接收1名患者，单人单次最大用药量约为3.70×10^{4} Bq（0.001mCi），则日最大操作量为3.70×10^{4} Bq；年门诊量约为10人，则年最大用量为3.70×10^{5} Bq。核素到货时均为分装好的成品针剂、无需分装。

③^{188}Re治疗：使用^{188}Re进行肿瘤治疗，每天最多接收1名患者，单人单次最大用药量约为3.70×10^{5} Bq（0.01mCi），则日最大操作量为3.70×10^{5} Bq；年门诊量约为10人，则年最大用量为3.70×10^{6} Bq。核素到货时均为分装好的成品针剂、无需分装。

本项目核素治疗用药量见表 9-2。

表 9-2 本项目核素治疗放射性核素用量一览表

工作场所	核素	单人单次最大用药量（Bq）	日最大门诊量	日最大操作量（Bq）	年门诊量	年最大用量（Bq）
核医学科	^{89}Sr	6.30×10^{8}	1 人	6.30×10^{8}	10 人	6.30×10^{9}
	^{153}Sm	3.70×10^{4}	1 人	3.70×10^{4}	10 人	3.70×10^{5}
	^{188}Re	3.70×10^{5}	1 人	3.70×10^{5}	10 人	3.70×10^{6}

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）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021)和《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020），核素^{18}F、^{99m}Tc的操作方式为很简单的操作；其余核素操作方式为简单操作，经过毒性组别及核素的操作方式双重修正后，本项目非密封放射性物质工作场所日等效操作量计算见表9-3。

表 9-3　本项目非密封放射性工作场所日等效最大操作量及工作场所分级一览表

工作场所	核素	日最大操作量(Bq)	毒性组别修正因子	操作方式与放射源状态修正因子	日等效最大操作量	合计(Bq)

					(Bq)	
核医学科（乙级）	^{18}F	1.11×10^{10}	低毒，0.01	很简单的操作(液体)，10	1.11×10^{7}	1.51×10^{8}
	^{99m}Tc	2.31×10^{10}	低毒，0.01	很简单的操作(液体)，10	2.31×10^{7}	
	^{201}Tl	4.20×10^{8}	低毒，0.01	简单操作(液体)，1	4.20×10^{6}	
	^{67}Ga	4.20×10^{8}	中毒，0.1	简单操作(液体)，1	4.20×10^{7}	
	^{111}In	7.40×10^{4}	中毒，0.1	简单操作(液体)，1	7.40×10^{3}	
	^{123}I	7.40×10^{8}	低毒，0.01	简单操作(液体)，1	7.40×10^{6}	
	^{89}Sr	6.30×10^{8}	中毒，0.1	简单操作(液体)，1	6.30×10^{7}	
	^{153}Sm	3.70×10^{4}	中毒，0.1	简单操作(液体)，1	3.70×10^{3}	
	^{188}Re	3.70×10^{5}	中毒，0.1	简单操作(液体)，1	3.70×10^{4}	

根据表 9-3 可知，本项目核医学科日等效最大操作量为 1.51×10^{8}Bq，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，本项目核医学科属于**乙级非密封放射性物质工作场所**（日等效最大操作量 2×10^{7}~4×10^{9}Bq）。

2、辐射

本项目核医学科共使用 9 种核素，分别为 ^{18}F、^{99m}Tc、^{201}Tl、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I、^{89}Sr、^{153}Sm、^{188}Re。放射性药物在分装、注射、给药等过程中，以及给药后患者在候诊、扫描、留观等过程中，由于核素的持续衰变产生的 γ 射线、β射线及其韧致辐射，将会造成辐射工作人员及周围公众的外照射。

此外，PET/CT 和 SPECT/CT 在扫描时 CT 发射出 X 射线，对辐射工作人员和周围公众造成外照射。本项目 X 射线能量最大为 140kV。

本项目注射 3.7×10^{8}Bq ^{18}F 放射性药物的患者所致 1m 处周围剂量当量率最大为 52.9μSv/h，注射 9.25×10^{8}Bq ^{99m}Tc 放射性药物的患者所致 1m 处周围剂量当量率最大为 28μSv/h。PET/CT 和 SPECT/CT 扫描时 CT 发出能量最大为 140kV 的 X 射线，日常使用中管电压范围为 80kV~120kV，根据《辐射防护导论》附图 3，在 120kV 下 1m 处的 X 射线发射率为 $9mGy\cdot m^{2}\cdot mA^{-1}\cdot min^{-1}$（过滤板保守取 2.5mmAl）。

本项目校准源 ^{22}Na 的活度为 1.48×10^{7}Bq，贮存在不低于 40mmPb 储源罐中，经过 40mmPb 储源罐屏蔽后，储源罐表面 30cm 处的辐射剂量率约为 0.169μSv/h，其对周围环境的辐射影响较正电子药物可忽略不计。

根据表 11-1，放射性核素发出的β射线穿透能力较弱，对周围环境影响很小，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。故本项目核医学科场所主要考虑放射性核素发出的 γ 射线的辐射影响。

本项目核医学科拟使用放射性核素 特性见表 9-4。

表 9-4 核医学科拟使用放射性核素特性一览表

核素种类	半衰期	衰变类型及分支比(%)	主要α、β辐射能量(keV)与绝对强度(%)	主要 γ 、X 射线能量(keV)与绝对强度(%)	周围剂量当量率常数(μSv•m²/MBq •h)
^{18}F	109.8min	EC (3.27) β+ (96.73)	633.5 (96.73)	XK：0.52 (0.01795) γ± ：511 (≤193.46)	0.143
^{99m}Tc	6.02h	IT(100)	—	140.511(88.5)	0.0303
^{201}Tl	3.03d	EC(100)	—	5.84（0.52） 30.6（0.253） 32.19（0.258） 135.34（2.565） 165.88（0.155） 167.43（10.0） $XK_{\alpha1}$:70.819（46.4）	0.0198
^{67}Ga	3.26d	EC (100)	—	91.266（3.16） 93.311（39.2） 184.577（21.2） 208.951（2.4） 300.219（16.8） 593.529（4.68） XK_{β}：9.57（6.8） $XK_{\alpha2}$:8.61578（17.0） $XK_{\alpha1}$:8.63886（33.3）	0.0265
^{111}In	2.80d	EC (100)	—	150.81（0.00282） 171.28（90.66） 245.4（94.09） XL：3.13（6.9） XK_{β}：26.1（14.5） $XK_{\alpha2}$:22.9841（23.5） $XK_{\alpha1}$:23.1736（44.3）	0.0893
^{123}I	13.2h	EC (100)	—	158.97（83.3） 528.96（1.39） XKα1:27.4723（46.0）	0.061
^{89}Sr	50.53d	β^- (100)	584.6	—	—
^{153}Sm	1.93d	β^- (100)	265.2	69.673（4.85） 103.18011（29.8） XL:5.85(11.8) XK_{β}：47.0（12.3） $XK_{\alpha2}$:40.9019（17.4） $XK_{\alpha1}$:41.5422（31.4）	0.072
^{188}Re	0.7d	β^- (100)	2120.4（71.1） 1965.4（25.6）	155.041（15.1） 632.983（1.27）	0.00385
^{22}Na	2.6a	EC (9.7) β+ (90.26)	545.4 (89.8) 1820.0 (0.056)	1274.53 (99.94) XK:0.84(0. 1253)	0.283

				γ±：511 (179.79)	

注：数据来源于《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、《简明放射性同位素应用手册》、《发射光子的放射性核素各向同性点源的剂量学常数（续 I）》、《发射光子的放射性核素各向同性点源的剂量学常数（续 II）》。

2、放射性废水

本项目核医学科产生的放射性废水主要为用药患者的排泄物和冲洗水、工作人员的清洗废水、应急淋浴以及工作场所的清洗废水等。

本项目 PET/CT 显像检查日门诊量最大为 10 人，年门诊量最大为 2500 人。平均每人产生放射性废水约 10L，PET/CT 显像检查的患者每日最大约产生放射性废水 100L。

本项目 SPECT/CT 显像检查日门诊量最大为 33 人，年门诊量最大为 6450 人。平均每人产生放射性废水约 10L，SPECT/CT 显像检查的患者每日最大约产生放射性废水 330L。则本项目核医学科场所显像检查每日最多产生放射性废水最大约 0.430m^3，年产生放射性废水最大约 89.5m^3。

分装室共 2 名工作人员，年工作 250 天。平均每人每天的清洗废水约 10L；则每日工作人员产生放射性废水 20L。核医学科工作场所平均每天的清洗废水约 50L。应急淋浴按照每半年一次，每次废水量约为 200L。则辐射工作人员清洗废水、应急淋浴废水和场所清洗废水每日大约产生放射性废水 0.0716m^3，年产生放射性废水最大约 17.9m^3。

^{89}Sr、^{153}Sm、^{188}Re 核素治疗过程中，患者注射药物后无异常情况即可离开医院，无放射性废水产生。

综上所述，核医学科工作场所产生的放射性废水量见表 9-5。

表 9-5 核医学科放射性废水产生量及去向

废水产生位置	核素种类	来源	日废水量	年门诊量/年工作天数	年产生量	废水去向
PET 注射后候诊室、留观室 SPECT 注射后候诊室、留观室	^{18}F、^{99m}Tc、^{201}Tl、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I	排泄及冲洗废水	0.43m^3	8950 人	89.5m^3	衰变池
清洁间		清洗废水	0.05m^3	250 天	12.5m^3	
卫生通过间洗手池		清洗废水	0.02m^3	250 天	5m^3	
淋浴间		应急淋浴废水	0.2m^3/半年	/	0.4m^3	

注：淋浴间仅供辐射工作人员表面沾污检测不合格时，应急淋浴冲洗用。

3、放射性废气

本项目使用的药物在带有通风装置的手套箱内进行分装，注射时药物在针筒内，基本无开放液面，空气中挥发散逸的放射性同位素几乎没有，因此放射性气溶胶非常少，

其对医务人员和公众呼吸入体内造成的内照射影响可以忽略。

4、放射性固体废物

本项目核医学科产生的放射性固体废物主要为放射性药物操作过程中产生的如一次性注射器、手套、口罩、棉签、滤纸、擦拭纸等带微量放射性核素的医疗固体废弃物。本项目核医学科年门诊量共约 8980 人，平均每人产生放射性固体废物约 0.1kg，则核医学科场所年放射性固体废物年产生量约 898kg。

其中，核素检查和 ^{153}Sm、^{188}Re 核素治疗年门诊量约 8970 人，年放射性固体废物年产生量约 897kg；

^{89}Sr 核素治疗年门诊量约 10 人，年放射性固体废物年产生量约 1kg；

本项目核医学科共设置 5 套通风系统，其中手套箱设置有二级活性炭吸附装置（手套箱顶及排口处）。核医学科通风系统的活性炭每季度更换一次，根据医院及设计单位提供的资料，本项目采用活性炭板式过滤器，其中手套箱顶部采用 500mm×500mm×50mm×2（约 3kg），排风口处采用 1000mm×800mm×50mm×5（约 25kg），每季度产生的废活性炭约 28kg。年产生废活性炭约 112kg。

质控用校准源使用到一定年限后会产生退役、报废的放射源。

5、非放射性污染

（1）辐射工作人员工作中产生的生活污水和办公垃圾。

（2）PET/CT、SPECT/CT 开机扫描时，扫描室内产生的少量臭氧和氮氧化物。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、工作场所布局与分区

1、核医学科选址

本次核医学科项目拟建于医院新院区科教研综合楼东南部负一楼。核医学科项目未邻接产科、儿科、食堂等部门，且核医学科设置相对集中，并设有单独出、入口，出口位于科教研综合楼东北角，避开了门诊大厅、收费处等人群稠密区域。选址合理。

2、核医学科工作场所布局

本项目核医学科项目包括 PET/CT 显像检查、SPECT/CT 显像检查和核素治疗项目。核医学内设有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，显像检查与核素治疗错时开展，进药时间与就诊时间错开，医护通道出入口设有卫生通过间，为工作人员提供可更换的衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备，控制区内设有注射后候诊室、留观室和给药后患者的专用卫生间，患者在控制区内为单向流动，给药后患者与给药前患者不交叉，可有效避免工作人员、患者与放射性药物之间的交叉污染，布局合理。

3、核医学科工作场所分区

医院拟对本项目核医学科进行分区管理，控制区与监督区的划分见表 10-1 和附图 8-1、8-2。

表 10-1　本项目核医学科控制区和监督区划分一览表

场所	控制区	监督区
核医学科	高活室/分装室、储源室、废物间、PET/CT 扫描室、SPECT/CT 扫描室、患者走廊、运动功能室、抢救室、SPECT 注射后候诊室（含卫生间）、PET 注射后候诊室 1（含卫生间）、PET 注射后候诊室 2（含卫生间）、PET 留观室（含卫生间）、SPECT 留观室（含卫生间）、库房、清洁间、衰变室、备用间 1、备用间 2	未注射人员候诊室、预约登记、诊室、卫生通过间（包括卫生间、淋浴间、更衣/缓冲间）、医护走廊、控制室、主任室、医生办公室、示教室/阅片室、更衣间、设备间、患者出口走廊、患者出口专用电梯厅及电梯、排风机房

注：核医学科的衰变室划为控制区，入口处粘贴电离辐射警告标志，禁止无关人员进入。

综上所述，本项目核医学科的控制区和监督区划分明显，布局合理，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中有关辐射工作场所的分区规定。

二、辐射防护屏蔽设计

本项目核医学科工作场所控制区的屏蔽防护设计方案见表 10-2。

表 10-2　核医学科工作场所控制区屏蔽防护设计一览表

场所	四周墙体	顶板（地面）	防护门/观察窗/注射窗
高活室/分装室	200mm 砖+6mm 铅当量硫酸钡	220mm 混凝土+6mm 铅当量硫酸钡	防护门：6mmPb 注射窗： 40mmPb（PET） 10mmPb（SPECT） 手套箱： 60mmPb（PET） 10mmPb（SPECT）
运动功能室	西南墙、西北墙：200mm 砖+4mm 铅当量硫酸钡 东北墙、东南墙：200mm 砖+6mm 铅当量硫酸钡	220mm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡	防护门：6mmPb
抢救室	200mm 砖+8mm 铅当量硫酸钡	220mm 混凝土+8mm 铅当量硫酸钡	防护门：8mmPb
SPECT/CT 扫描室	200mm 砖+6mm 铅当量硫酸钡	220mm 混凝土+6mm 铅当量硫酸钡	防护门：8mmPb 观察窗：8mmPb 铅玻璃
SPECT/CT 注射后候诊室	西南墙、东北墙：200mm 砖+8mm 铅当量硫酸钡 西北墙：200mm 砖+6mm 铅当量硫酸钡 东南墙：400mm 混凝土	220mm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡	防护门：4mmPb
SPECT/CT 留观室	西南墙：200mm 砖+8mm 铅当量硫酸钡 东北墙：200mm 砖+4mm 铅当量硫酸钡+4mm 铅板 西北墙：200mm 砖+6mm 铅当量硫酸钡 东南墙：400mm 混凝土	220mm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡	防护门：4mmPb
PET/CT 扫描室	200mm 砖+4mm 铅当量硫酸钡+4mm 铅板	220mm 混凝土+8mm 铅当量硫酸钡	防护门：8mmPb 观察窗：12mmPb 铅玻璃
PET/CT 注射后候诊室 1	东北墙、西南墙、西北墙：200mm 砖+8mm 铅当量硫酸钡 东南墙：400mm 混凝土	220mm 混凝土+8mm 铅当量硫酸钡	防护门：8mmPb
PET/CT 注射后候诊室 2	东北墙、西南墙、西北墙：200mm 砖+8mm 铅当量硫酸钡 东南墙：400mm 混凝土	220mm 混凝土+8mm 铅当量硫酸钡	防护门：10mmPb
PET/CT 留观室	东北墙、西南墙、西北墙：200mm 砖+4mm 铅当量硫酸钡+4mm 铅板 东南墙：400mm 混凝土	220mm 混凝土+8mm 铅当量硫酸钡	防护门：8mmPb
患者通道	/	220mm 混凝土+6mm 铅当量硫酸钡	防护门：6mmPb
清洁间	200mm 砖+6mm 铅当量硫酸钡	220mm 混凝土	防护门：6mmPb

		+6mm 铅当量硫酸钡	
废物间、储源室	200mm 砖+6mm 铅当量硫酸钡	220mm 混凝土+6mm 铅当量硫酸钡	防护门：6mmPb
库房	东北墙、东南墙：200mm 砖+8mm 铅当量硫酸钡 西南墙、西北墙：200mm 砖+6mm 铅当量硫酸钡	220mm 混凝土+6mm 铅当量硫酸钡	防护门：8mmPb

注：实心砖密度不小于 1.65g/cm^3，混凝土密度为 2.35g/cm^3，铅密度为 11.34g/cm^3，硫酸钡防护涂料密度不小于 3.5g/cm^3。

表 10-3　本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 扫描室有效使用面积、单边长度一览表

机房名称	设备	机房内最小有效使用面积 m^2		机房内最小单边长度 m	
		本项目	标准要求*	本项目	标准要求*
PET/CT 扫描室	PET/CT	49	30	6.2	4.5
SPECT/CT 扫描室	SPECT/CT	36.5	30	5.0	4.5
*注：《放射诊断放射防护要求》GBZ 130-2020 中表 2 规定					

表 10-4　本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 扫描室屏蔽设计参数

机房名称	屏蔽体	屏蔽设计参数
PET/CT 扫描室	四周	200mm 砖+4mm 铅当量硫酸钡+4mm 铅板
	顶部	220mm 混凝土+8mm 铅当量硫酸钡
	地面	220mm 混凝土+8mm 铅当量硫酸钡
	防护门	8mm 铅板
	观察窗	12mm 铅当量防护玻璃
SPECT/CT 扫描室	四周	200mm 砖+6mm 铅当量硫酸钡
	顶部	220mm 混凝土+6mm 铅当量硫酸钡
	地面	220mm 混凝土+6mm 铅当量硫酸钡
	防护门	8mm 铅板
	观察窗	8mm 铅当量防护玻璃

本项目 PET/CT 扫描室有效使用面积约为 49m^2（长约 7.91m、宽约 6.2m），SPECT/CT 扫描室有效使用面积约为 36.5m^2（长约 7.3m、宽约 5.0m），能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“CT 机房最小单边长度应不小于 4.5m、最小有效使用面积应不小于 30m^2”的要求以及屏蔽防护要求。

三、辐射安全和防护措施分析

根据《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)、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020），本项目核医学科设计有如下辐射安全和防护措施：

（1）工作状态指示灯

PET/CT 扫描室、SPECT/CT 扫描室的患者通道防护门上方设计有工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的警示语句，工作状态指示灯与患者通道防护门设置门灯联动装置。

（2）防夹和自动闭门装置

PET/CT 扫描室、SPECT/CT 扫描室的平开防护门设计有自动闭门装置，电动推拉门设计有防夹装置。

（3）门禁和监控系统

储源室、高活室/分装室设计有门禁和监控系统，监控显示器位于医院保卫处的值班室，实时监控放射性药物和校准源的情况。

（4）电离辐射警告标志

控制区内各防护门表面、手套箱表面、废物铅桶表面、保险柜表面粘贴有符合 GB18871-2002 要求的电离辐射警告标志，警告无关人员不要靠近和逗留。

（5）单向门及门禁

患者进、出口防护门设计为单向门并设有门禁，入口只进不出，出口只出不进，禁止无关人员进入。患者出口专用电梯设有门禁，禁止无关人员使用，且电梯只能到达地面一层；患者出口楼梯间门设有门禁，禁止无关人员进入。控制区与外部相通的其他防护门为常闭消防门，设计有门禁，禁止人员进出。

（6）监控及对讲系统

各注射后候诊室、扫描室、留观室、运动功能室、抢救室、及患者走廊均设计有监控探头，并设计有对讲系统，监控显示器位于核医学科的护士台处，实时监控控制区给药后患者的情况，一旦发现给药后患者在核医学工作场所内随意走动，不在规定的区域内停留，工作人员应立刻通过语音系统告知，使患者回到规定的区域内。

扫描室设计有观察窗、监控及对讲系统，工作人员在控制室内可实时观察患者情况，防止意外情况的发生。

（7）自动闭门装置

控制区内各房间防护门设计有自动闭门装置，确保防护门处于常闭状态。

（8）导向标识

控制区入口设计有符合 GB 18871-2002 要求的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处设计有标明监督区的标志，并标出患者进出口通道和流动路线及文字说明。

（9）双人双锁

储源室内配置保险柜，用于贮存 PET 校准源，储源室和保险柜钥匙分别由专人保管，做到双人双锁。

除此之外，核医学科还拟采取如下辐射安全和防护措施：

（1）工作场所内放射性药物操作设备的表面、工作台台面等平整光滑，地面与墙壁衔接处无接缝，易于清洗、去污。

（2）辐射工作人员在控制区内不得进食、饮水、吸烟、化妆，也不得进行无关工作及存放无关物件，防止含有微量放射性核素的空气被医务人员吸入体内造成内照射。

（3）场所的卫生通过间配备 1 台α-β表面沾污仪，辐射工作人员操作放射性药物后离开控制区前应洗手和做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

（4）核医学科工作场所的上水配备洗消处理设备，控制区内的淋浴、洗手池、拖把池选用脚踏式或自动感应式的开关，马桶采用节水模式，以上措施可减少放射性废水的产生和场所内的设备放射性污染；洗手池安装伸缩式水龙头，方便头、眼和面部受污染时，采用向上流动的水进行冲淋。

（5）为核医学科辐射工作人员至少配备 6 套铅橡胶衣、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、个人剂量计等等个人防护用品，并在 PET/CT 扫描室和 SPECT/CT 扫描室内各配备 1 扇 10mmPb 铅屏风。

表 10-5 本项目核医学科个人防护用品符合性分析一览表

场所类型			《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 K	本项目拟配备用品
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	6 套铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖、铅橡胶帽、铅玻璃眼镜
		选备	铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	
	患者或受检者		——	

（6）在高活室/分装室、注射后候诊室、留观室等位置放置废物铅桶，废物铅桶表面粘贴电离辐射警示标志。

（7）废物铅桶内放置专用塑料袋直接收纳废物，每日工作结束后集中收集密封并

及时转送放射性固废暂存间，放入废物桶中存储，每袋废物的表面剂量率应不超过0.1mSv/h，α、β表面污染水平＜0.4Bq/cm^2，质量不超过 20kg。

（8）注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入利器盒中，然后再装入专用塑料袋内；废物袋、废物桶安全可靠，并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。

本项目核医学工作场所的辐射安全与防护措施与《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）中要求对比，均符合该标准要求，符合性分析情况见表 10-6、10-7。

表 10-6 本项目核医学工作场所的辐射防护措施与 GBZ 120-2020 的符合性分析一览表

GBZ120-2020 中要求	本项目设计方案	符合性
5.1.1 在医疗机构内部区域选择核医学场址，应充分考虑周围场所的安全，不应邻接产科、儿科、食堂等部门，这些部门选址时也应避开核医学场所。尽可能做到相对独立布置或集中设置，宜有单独出、入口，出口不宜设置在门诊大厅、收费处等人群稠密区域。	本项目核医学工作场所选址充分考虑了邻室(含楼上)及周围场所的人员防护与安全，不与产科、儿科、食堂等部门邻接，避开了人员聚集区，场所位置相对独立，有单独的出、入口，出口设置于人员较少的室外道路。	符合
5.1.2 c) 在核医学诊疗工作区域，控制区的入口和出口应设置门锁权限控制和单向门等安全措施，限制患者或受检者的随意流动，保证工作场所内的工作人员和公众免受不必要的照射。	本项目控制区内患者出入口拟设置带有门禁系统的单向门，实现“入口只进不出，出口只出不进”的单向路线，患者走廊与监督区相连的非出入口防护门拟设置门禁系统，加强对控制区带药患者的管理，并防止无关人员入内，告知患者检查/治疗路线及注意事项，场所中相应位置拟设置明确的患者导向标识或导向提示。	符合
5.1.2 d)在分装和给药室的出口处应设计卫生通过间，进行污染检测。	高活室/分装室出口处设计有卫生通过间，医护人员离开前均进行表面污染检测。	符合
5.1.3 c)诊断工作场所和治疗工作场所都需要设置清洁用品储存场所、员工休息室、护士站、更衣室、卫生间、去污淋浴间、抢救室或抢救功能区等辅助用房；	本项目设有清洁间、更衣室、卫生间、淋浴室、抢救室等有关辅助用房，满足项目开展需求。	符合
5.1.4 核医学放射工作场所应划分为控制区和监督区。	核医学工作场所按其功能拟划分为控制区和监督区，并实施分区管理，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）第 6.4 款中有关辐射工作场所的分区规定。	符合
5.1.5 核医学工作场所的布局应有助于开展工作，避免无关人员通过。	核医学工作场所的布局有助于开展工作。控制区出入口设有门禁系统，避免无关人员通过。	符合
5.1.6 通过设计合适的时间空间交通模式来控制辐射源（放射性药物、放射性废物、给药后患	本项目控制区内医务人员及患者均具有独立的出入口和流动路线。通过时间空间交	符合

者或受检者）的活动，给药后患者或受检者与注射放射性药物前患者或受检者不交叉，给药后患者或受检者与工作人员不交叉，人员与放射性药物通道不交叉。合理设置放射性物质运输通道，便于放射性药物、放射性废物的运送和处理；便于放射性污染的清理、清洗等工作的开展。	通模式，避免了各种交叉影响。	
5.1.7 应通过工作场所平面布局的设计和屏蔽手段，避免附近的辐射源（核医学周边场所内的辐射装置、给药后患者或受检者） 对诊断区设备成像、功能检测的影响。	PET/CT、SPECT/CT 均放置在满足屏蔽要求的专用机房内，附近的辐射源（核医学周边场所内的辐射装置、给药后患者或受检者）不会对诊断区设备成像、功能检测造成影响。	符合
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。	按照非密封源工作场所分级规定，本项目属于乙级非密封源工作场所，按要求采取了相应的防护措施。	符合
5.2.3 核医学工作场所的通风按 GBZ 120-2020 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用的排风装置，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。	本项目高活室/分装室内设置有手套箱，放射性核素均在手套箱内操作。核医学科辐射工作场所、手套箱拟设独立通风管道，保持良好的通风条件，吸风口设置于控制区内。PET/CT 扫描室、SPECT/CT 扫描室等含放射性核素场所，控制气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计；工作场所设计风速不小于 1.5m/s。放射性废气经专用排风管道排出，排气口高于本项目所在科教研综合楼屋顶，且手套箱的顶壁、通风管道排风口处均拟设置活性炭过滤装置，对放射性气溶胶进行吸附。	符合
5.2.4 分装药物操作宜采用自动分装方式。	本项目 ^{18}F 药物采取手动分装方式，其余药物均采购成品试剂。	符合
5.2.5 放射性废液衰变池的设置按环境主管部门规定执行。暴露的污水管道应做好防护设计。	本项目设计有专门的放射性废水衰变池和衰变系统，满足放射性废水的贮存衰变要求。放射性废水管道裸露部分采用 5mm 铅板包裹，满足防护要求。	符合
5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。	控制区的入口拟设置电离辐射警告标志。	符合
5.2.7 核医学场所中相应位置应有明确的患者或受检者导向标识或导向提示。	核医学工作场所中相应位置拟设置明确的患者或受检者导向标识或导向提示。	符合
5.2.8 给药后患者或受检者候诊室、扫描室应配备监视设施或观察窗和对讲装置。	给药后患者候诊室、扫描室拟设置监控和对讲装置，扫描室同时设置观察窗。	符合
5.2.9 应为放射性物质内部运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器。容器表面应设置电离辐射标志。	核医学科拟配备有足够屏蔽的储存、转运容器，如注射器防护套、屏蔽铅罐、铅盒、放射性废物铅桶等，容器表面拟设置电离辐射标志。	符合
5.2.10 扫描室外防护门上方应设置工作状态指	PET/CT 扫描室、SPECT/CT 扫描室门口	符合

示灯。	均拟设置工作状态指示灯。	
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。	根据理论估算，本项目核医学工作场所控制区用房能够满足所开展项目的屏蔽防护要求。	符合
5.3.2 应根据使用核素的特点、操作方式以及潜在照射的可能性和严重程度，做好工作场所监测，包括场所周围剂量当量率水平、表面污染水平或空气中放射性核素浓度等内容。开展核医学工作的医疗机构应定期对放射性药物操作后剂量率水平和表面污染水平进行自主监测，每年应委托有相应资质的技术服务机构进行检测。	本项目拟按要求开展相关监测工作，包括场所周围剂量当量率水平、表面污染水平等内容。医院拟定期不少于 1 次/月对放射性药物操作后剂量率水平进行自主监测，每次工作结束后均拟对表面污染水平进行自主监测，出现放射性药物洒落均及时对表面污染水平进行自主监测，同时每年委托有相应资质的技术服务机构进行检测。	符合

表 10-7　本项目核医学工作场所的辐射防护措施与 HJ 1188-2021 的符合性分析一览表

HJ 1188-2021 中要求	本项目设计方案	符合性
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。	本项目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无接缝，易于清洗、去污。	符合
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。	本项目分装注射室内设置有手套箱，并有独立通风管道，放射性核素的操作均在手套箱内进行；从事放射性药物操作的工作人员拟配备铅橡胶衣、铅橡胶围裙、放射性污染防护服、铅橡胶围脖等个人防护用品；^{18}F 针剂外拟设置 5mmPb 注射器防护套，^{99m}Tc 针剂外拟设置 2mmPb 注射器防护套；多人给药后患者候诊室内拟设置铅屏风，PET 患者座椅/病床之间拟设置 10mm 铅当量的铅屏风屏蔽，SPECT 患者座椅之间拟设置 2mm 铅当量的铅屏风屏蔽；PET/CT 扫描室配备 10mmPb 摆位移动铅屏风，SPET/CT 扫描室配备 10mmPb 摆位移动铅屏风。	符合
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。	高活室/分装室出口处设计有卫生通过间，并配备表面沾污仪，从控制区离开的人员和物品均进行表面污染监测，如表面污染水平超出控制标准，则采取相应的去污措施。	符合
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。	放射性药物均放置在铅罐内，^{18}F 药物暂存在 PET 手套箱内，^{99m}Tc 药物暂存在 SPECT 手套箱内，所有放射性药物当天用完，医院定期进行辐射水平监测。医院拟建立放射性物质台账，及时登记，确保账物相符。	符合

6.2.5 应为核医学工作场所内部放射性物质运送配备有足够屏蔽的贮存、转运等容器，容器表面应张贴电离辐射标志，容器在运送时应有适当的固定措施。	核医学科拟配备有足够屏蔽的储存、转运容器，如注射器防护套(5mmPb 与 2mmPb)、屏蔽铅罐、铅盒、放射性废物铅桶(10mmPb) 等，容器表面拟设置电离辐射标志，容器在运送时均拟设置适当的固定措施。	符合
6.2.9 扫描机房外门框上方应设置工作状态指示灯。	PET/CT 扫描室、SPECT/CT 扫描室门口均拟设置工作状态指示灯，灯箱上拟设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，且工作状态指示灯与扫描室相通的门设置联动装置，用于提示扫描室内设备的运行状态。	符合
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。	本项目分装室内设置有手套箱，放射性核素均在手套箱内操作。核医学科辐射工作场所、手套箱及放射性废物库拟设独立通风管道，保持良好的通风条件，吸风口设置于控制区内，PET/CT 扫描室、SPECT/CT 扫描室等含放射性核素场所，控制气流流向遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计。	符合
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。	本项目分装室内设置有手套箱，放射性核素均在手套箱内操作，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出，手套箱顶壁安装活性炭过滤装置。	符合
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。	手套箱内设计风速不小于 0.5m/s ，放射性废气经专用排风管道排出，排气口高于本项目所在科教研综合楼屋顶，且手套箱的顶壁、通风管道排风口处均拟设置活性炭过滤装置，对放射性气溶胶进行吸附。	符合

项目核医学科拟设置的辐射安全和防护措施在认真落实后，能够满足《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)、《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020)、《操作非密封源的辐射防护规定》(GB 11930-2010)、《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 以及《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中的相关辐射安全要求，符合本项目的辐射安全需要。

三废的治理

1、放射性废水处理措施

医院拟在核医学正下方（负二楼）新建一个衰变室，衰变室周边为地下停车场及各类设备用房，无常驻人群，且衰变池位于科教研综合楼的最底层，周围无建设衰变池处理系统的不利因素，衰变池选址合理。

本项目产生的放射性废水主要来自于核医学科患者的排泄废水、工作人员清洗废水、应急淋浴废水及场所的清洗废水，核医学科设置有独立的患者专用卫生间，且设置有独立的排水系统，并与衰变池相连。为提高衰变池利用率，医院计划在衰变室内配备一套一体化不锈钢衰变池。衰变系统包含 1 个多功能降解槽及 3 个衰变池，用于暂存核医学科 PET/CT 和 SPECT/CT 工作过程中产生的放射性废水。本项目衰变系统工作原理示意图见图 10-1，放射性废水衰变系统结构见附图 11，核医学科放射性废水排水管道布设见附图 12、附图 13。

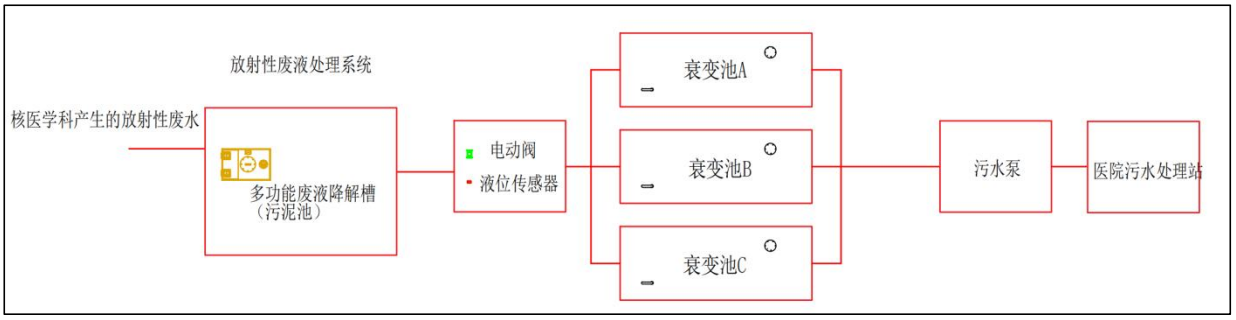

图 10-1　本项目放射性废水衰变系统工作流程示意图

本项目核医学科产生的放射性废水（患者排泄物及冲洗废水）经专用管道排至衰变系统，其中核素 ^{67}Ga 半衰期最长为 3.26d。本项目放射性废水衰变系统由 1 个多功能降解槽、3 个衰变池组成，降解槽和衰变池内均设有电缆浮球液位计，顶部设有检修口，检修口设有不锈钢盖板。该放射性废水衰变系统的单个衰变池的容积为 8.19m^3 (3m×1.3m×2.1m)。

本项目放射性废水衰变系统具体工作流程为：核医学科产生的放射性废水首先由泵抽至多功能降解槽，经沉降后将上清液先抽至衰变池 A，当衰变池 A 电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将自动关闭衰变池 A 的进水阀，同时打开衰变池 B 的进水阀，当衰变池 B 电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将自动关闭衰变池 B 的进水阀，同时打开衰变池 C 的进水阀，当衰变池 C 中放射性废水储存到该衰变池容积的 80%时，电子控制系统自动打开衰变池 A 的排水阀，通过泵排空衰变池 A 中放射性废水，当衰变池 C 电缆浮球液位计报警时，电子控制系统将自动关闭衰变池 C 的进水阀，同时打开衰变池 A

的进水阀，3 个衰变池轮流使用。每次排放前均需监测（委托有资质单位），监测结果满足总β不大于 10 Bq/L 的要求，监测结果经审管部门认可后，方可排放至医院的污水处理系统，作为医疗废水进行处理。本项目放射性废水控制系统的控制中心设置于核医学科医生办公室内。

本项目核医学科产生的放射性废水日产生量最大为 0.5016m^3，每周约产生放射性废水 2.51m^3。而本项目放射性废水衰变系统设有 3 个衰变池，单个衰变池有效容积为 8.19m^3，根据槽式放射性废水衰变系统的工作原理，放射性废水可在该衰变系统中衰变约 41 天（（8.19m^3+8.19m^3×0.8）/2.51m^3），满足 HJ1188-2021 中“所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期”的要求。

本项目核医学科位于地下一层，其放射性废水排水管道使用含铅铸铁，并在管道走向上设有标记，便于检测和维修。核医学科的放射性废水排水管道位于地下二层的吊顶处，管道外包裹 5mm 铅皮。同时，本项目放射性废水衰变系统位于负二楼停车场，衰变室四周将设置电离辐射警告标志和警示标语，禁止公众靠近和在此逗留。

综上所述，本项目放射性废水衰变室和衰变系统的结构设计合理，满足防腐、防渗、耐酸碱腐蚀的要求。本项目核医学科产生的放射性废水经专用管道排至放射性废水衰变系统，自然衰变至少十个半衰期，满足排放标准后流至医院的污水处理系统作为普通医疗废水处理，满足放射性废水处置要求。

此外，医院应安排专人负责放射性废水的暂存和处理，并建立废水暂存和处理台账，详细记录放射性废水所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间等信息。采取上述措施后，方能满足放射性废水的辐射安全管理要求。

2、放射性废气处理措施

本项目核医学科场所设计一套独立的排风系统，核医学科场所内的手套箱设计独立的排风系统，监督区相对清洁区为微负压，控制区相对监督区为负压，手套箱相对控制区为负压，保证各工作场所内的空气由清洁区向监督区再向控制区流动。核医学科各房间的排风量为（100~1700）m^3/h，手套箱的风速不小于 0.5m/s，核医学科内空气经各自排风管道（内设止回阀）引至核医学科专用排风井，再经排风井引至科教研综合楼的楼顶排放，排风口处设有活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。手套箱箱体顶部和排风口处设置两级活性炭过滤系统，工作场所的排风管道在排风口处设置一级活性炭过滤系统。

医院科教研综合楼共 17 层，建筑高度为 80.8mm，核医学科排气口位于科教研综合

楼顶楼的西南侧，排气口周围无高层建筑，对周围环境辐射影响很小。综上所述，本项目核医学科放射性废气的排放满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置的要求。本项目核医学科的排风系统布设见附图 7。

本项目排风管道采用不锈钢和镀锌钢材质，核医学科中挥发的放射性气溶胶非常少，且排风管道布设在核医学科吊顶上方，对周围环境辐射影响很小，排风管道外无额外的屏蔽防护。本项目核医学科通风系统安装的活性炭过滤装置应不影响通风效率，并应定期更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间，建议每季度更换一次，更换的废活性炭作为放射性固体废物处理。

3、放射性固体废物处理措施

本项目核医学科产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物先装入利器盒中，再放入废物铅桶的专用塑料袋中，每日工作结束后集中收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在核医学科废物间的废物桶内，所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、β表面沾污小于 0.8Bq/cm^2 后，作为医院医疗废物统一处理。

医院在核医学科设有一间放射性废物间，面积为 8m^2（2.5m×3.2m），总容积约为 24m^3，废物间内设有若干废物箱（防护厚度不低于 10mmPb），废物箱表面注明核素名称、入库信息等。为有效利用废物库空间，可采用货架摆放方式。废物库可容纳 3 个废物架（1.5m×0.8m×1.8m），设置情况如图 10-2 所示，废物库有效使用容积为 6.48m^3。

本项目核医学科年门诊量最大为 8980 人，按照每人 0.1kg/次估算，废物年产生量约为 898kg，月产生量约为 74.8kg。

其中针头先装入利器盒中（规格为 1L），再装入塑料袋内。每月使用利器盒所需容量约为 30L。

沾有核素 ^{89}Sr 的放射性固体废物单独存放，年门诊量最大为 10 人，废物年产生量约为 1kg，按照 0.8g/cm^3 进行估算，每年产生放射性固体废物约 1.25L。

沾有其他核素的放射性固废集中收集，年门诊量最大为 8970 人，废物年产生量约为 897kg，月产生量约为 74.75kg，按照 0.8g/cm^3 进行估算，每月产生放射性固体废物约 93.4L。

本项目核医学科共设置 5 套通风系统，由排风井延伸至科教研综合楼楼顶东南侧并经活性炭过滤后排放（详见附图 7），其中手套箱设置有二级活性炭吸附装置（手套箱顶及排口处）。根据医院及设计单位提供的资料，本项目采用活性炭板式过滤器（如图 10-2 所示），其中手套箱顶部采用 500mm×500mm×50mm×2（2 个手套箱），排风口处采用 1000mm×800mm×50mm×5（5 套通风），每季度产生的废活性炭约 0.225m^3。



图 10-2　本项目放射性废物库设计图及活性炭过滤器图

本项目废物库有效容积为 6.48m^3，能够满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021） 中“所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍”的要求。

本项目退役的校准源 ^{22}Na 贮存在储源罐中，放置在储源室内，最终由原生产厂家回收或由省城市放射性废物库回收处置，满足相关要求。

本项目核医学科放射性废物间的设计及废物桶的配置能够满足放射性固体废物的暂存需求。所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍，并经监测满足要求后集中处理，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关放射性固体废物处理的要求。

此外，医院应安排专人负责放射性固体废物的存储和处理，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性固体废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。采取上述措施后，方能满足放射性固体废物的辐射安全管理要求。

5、非放废物处理措施

（1）项目运行期间产生的生活污水将依托医院的污水处理系统进行处置；办公垃圾将依托医院的保洁措施，分类收集后交由环卫部门统一处理。

（2）PET/CT 扫描室、SPECT/CT 扫描室产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，臭氧常温下约 50min 自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目依托于医院科教研综合楼主体工程的建设，目前科教研综合楼主体工程已建设完成。本项目在建设阶段会产生一定量的扬尘、施工噪声、施工废水、固体垃圾等污染物，将对周围环境产生一定的影响。本项目建设施工时对环境的影响及应采取的污染防治措施如下：

（1）大气：本项目在建设施工期，各种施工作业将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：a.及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；b.车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；c.施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

（2）噪声：本项目在建设施工期，各种施工设备及运输车辆等在运行中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时将严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的标准，尽量使用噪声低的先进设备，合理安排施工时间，禁止运输车辆鸣笛等措施，保证施工过程对施工现场附近区域的影响满足标准要求。同时严禁夜间进行强噪声作业，若需在夜间作业，需取得生态环境部门同意。

（3）固体废物：本项目施工期间产生的固体废物主要有建筑施工过程中产生的建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾，建筑垃圾应堆放在指定地点并委托有资质的单位清运，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；装修垃圾和生活垃圾由环卫部门统一及时清运处理，做到日产日清。施工期临时堆放场地应妥善处置，减少雨水冲刷造成地表污染，并保持工区环境的洁净卫生。

（4）废水：本项目施工期污水主要为各种施工机械设备的清洗用水和施工现场清洗、建材清洗产生的废水以及施工人员的生活污水，生活污水经化粪池预处理后，纳入市政污水管网，清洗用水用于场地洒水抑尘、场地浇灌等，含有泥浆的建筑废水进行回收利用。

综上所述，项目施工期间对环境存在一定的影响，但是这些影响具有时效性，随着施工期的结束，对环境的影响也消除。医院只要在施工阶段采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在医院内，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

一、核医学科辐射环境影响水平分析

本项目核医学科使用 ^{18}F、^{99m}Tc、^{201}Tl、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I、^{89}Sr、^{153}Sm、^{188}Re 放射性药物开展核素诊断和治疗，这些核素在诊断和治疗过程中由于自身衰变会放射出β粒子和γ射线，对工作人员及周围环境产生一定的辐射影响。其中β粒子电离能力较强，但射程较短，穿透能力弱，会对近距离接触的工作人员产生一定的外照射影响；γ射线穿透能力强，会对核医学科内的工作人员和公众，以及核医学科周围活动的公众产生外照射影响。

1、β射线辐射影响分析

（1）β射线所致韧致辐射影响

根据表 9-1 中各核素的特性，本项目核医学科涉及的 ^{89}Sr、^{153}Sm、^{188}Re 核素为纯β衰变，在衰变过程中主要考虑β射线，β粒子在低 Z 物质中的射程，与能量等于β粒子最大能量的单能电子的射程是一样的，可以采用方杰主编的《辐射防护导论》中的公式（4.15）进行计算：

$$d \approx R/\rho \qquad （式 11-1）$$

公式中：d：β粒子的最大射程，cm；

R：β粒子在低 Z 物质中的射程，g/cm^2；

ρ：物质的密度，g/cm^3，查《辐射防护导论》P129 表 4.4。

本项目核素在低 Z 物质中的射程 R 可根据方杰主编的《辐射防护导论》中的公式（4.13）进行计算：

$$R=0.412 \cdot E^{(1.265-0.0954 \cdot \ln E)} \qquad （式 11-2）$$

公式中：E：β射线能量（MeV），见表 9-1。

根据公式（11-1）和公式（11-2）可估算出本项目核素衰变放出的β射线在不同材料中的射程，预测结果见表 11-1。

表 11-1　核素衰变放出的β射线在不同材料中的射程

核素	E（MeV）	R（$g \cdot cm^{-2}$）	材料	密度（$g \cdot cm^{-3}$）	射程（cm）
^{89}Sr	0.585	0.203	混凝土	2.35	0.087
			实心砖	1.65	0.123
			铅	11.34	0.018
			有机玻璃	1.18	0.172
			空气	1.293×10^{-3}	157
^{153}Sm	0.265	0.065	混凝土	2.35	0.028

			实心砖	1.65	0.039
			铅	11.34	0.006
			有机玻璃	1.18	0.055
			空气	1.293×10^{-3}	50.2
^{188}Re	2.12	1.01	混凝土	2.35	0.430
			实心砖	1.65	0.612
			铅	11.34	0.089
			有机玻璃	1.18	0.856
			空气	1.293×10^{-3}	781

由表 11-1 可知，放射性核素 ^{89}Sr、^{153}Sm、^{188}Re 产生的β射线在空气中的射程很短，最大为 781cm，而本项目核医学科非密封放射性物质工作场所设置了足够的空间，且有墙体、铅门进行屏蔽，同时β射线在铅中的射程最大为 0.089cm，医护人员在操作过程中穿戴 0.5mm 铅当量的防护服，且有铅玻璃进行屏蔽，故放射性核素 ^{89}Sr、^{153}Sm、^{188}Re 产生的β射线对辐射工作人员及周围公众影响很小。

本项目 ^{89}Sr、^{153}Sm、^{188}Re 核素为纯β衰变，屏蔽强β粒子的高原子序数材料会产生韧致辐射。^{89}Sr、^{153}Sm、^{188}Re 核素均采用成品针剂，无需进行分装。注射后无异常后即可离开。

对于能量为 E 的β射线在屏蔽材料中产生的韧致辐射可采用方杰主编的《辐射防护导论》中的公式（4.21）进行计算：

$$\dot{H}_r=4.58\times10^{-14}A\cdot Z_e\cdot\left(\frac{E_b}{r}\right)^2\cdot\frac{\mu_{en}}{\rho}\cdot q\cdot\eta \qquad （式 11-3）$$

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

A－放射源活度，Bq；

Z_e－吸收β粒子的屏蔽材料有效原子序数，查《辐射防护导论》P129 表 4.4；

μ_{en}/ρ－韧致辐射的平均能量在空气中的质量能量吸收系数，$m^2.kg^{-1}$，可查《辐射防护导论》附表 1；

q－居留因子；

r－参考点到放射源的距离，m；

η－透射比；

E_b－韧致辐射的平均能量，MeV，根据《辐射防护导论》P132“韧致辐射具有连续能谱。在实际屏蔽计算时，可以假定韧致辐射的平均能量 E_b 是入射β粒子的最大能量的 1/3，即 $E_b\approx E_{max}/3$”。E_{max} 取值参考表 9-1。

在进行韧致辐射预测时做以下保守假设：①注射过程，源至参考点之间除空气外无任何吸收β粒子的屏蔽材料；②居留因子 q 取 1。β射线所致韧致辐射防护计算参数及预测结果见表 11-2。

表 11-2　β射线所致韧致辐射剂量预测结果

位置 / 参数	注射过程（注射位）		
	^{89}Sr	^{188}Re	^{153}Sm
r（m）	0.5	0.5	0.5
A（Bq）	6.3×10^{8}	3.7×10^{5}	3.7×10^{4}
E_{max}（MeV）	0.585	2.12	0.265
E_b（MeV）	0.195	0.707	0.088
μ_{en}/ρ	2.672×10^{-3}	2.882×10^{-3}	2.318×10^{-3}
η	1	1	1
q	1	1	1
Z_e	7.36	7.36	7.36
参考点处剂量率$\dot{H}_r$估算值（μSv/h）	0.086	7.19×10^{-4}	8.96×10^{-7}

注：保守假设注射位至工作人员的最近距离为 0.5m；

由表 11-2 可知：核素注射过程，在无任何屏蔽情况下，距源 0.5m 处产生的韧致辐射剂量当量率最大为 0.086μSv/h，经过注射窗（10mmPb）的进一步屏蔽后，能够满足注射窗表面 30cm 处周围剂量当量率小于 2.5μSv/h 的要求。

（2）β表面沾污辐射影响分析

β表面沾污的影响主要来源于液体放射性药物操作时打翻、漏洒造成地面、台面、设备仪器表面污染，对周围环境产生辐射影响。因此，为了使本项目非密封放射性物质工作场所的放射性表面污染水平达到 GB18871-2002 规定的要求，医院拟采取以下防护措施：

（1）使用、操作放射性物质的工作人员接受相关培训，具备相应的技能与防护知识；

（2）易产生放射性物质逸出或飞散的操作，其操作在手套箱内进行；

（3）操作液体放射性物质在易去除污染的工作台上进行，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）放射性操作之后对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检测（控制区内配备 1 台表面沾污仪），如表面污染水平超过 GB18871-2002 规定值，暂停开展相关业务，去污经监测符合标准后方可重新开展工作。

2、γ 射线辐射影响分析

发射 γ 射线的放射性药物，其周围剂量当量率可近似按照点源模式计算，采用《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I 中公式（I.1）计算参考点周围剂量当量率：

$$K_a = \frac{A \cdot \Gamma}{R^2} \cdot \eta \qquad （式 11-4）$$

上式中： K_a—周围剂量当量率，μSv/h；

A—放射性药物的活度，MBq；

Γ—周围剂量当量率常数，μSv·m²/(MBq·h)，其值见表 9-1；

R—距放射源的距离，m；

η—透射比，无屏蔽情况下取 1，有屏蔽情况下，根据相对应屏蔽材料的什值层计算相应的透射比。

$$\eta = 10^{-X/TVL} \qquad （式 11-5）$$

上式中： X—屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位。

本项目核医学科使用 ^{18}F 进行 PET/CT 诊断，在进行γ射线辐射影响分析时，PET/CT 诊断选取 ^{18}F 进行计算；

本项目核医学科使用 ^{99m}Tc、^{201}Tl、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I 进行 SPECT/CT 诊断，其中 ^{99m}Tc 单人单次用量为 9.25×10^8Bq（25mCi），年门诊量为 6250 人次，周围剂量当量率为 0.0303μSv•m²•MBq^{-1} •h^{-1}。其他核素单人单次用量很低且门诊量很少，综合考虑上述情况，SPECT/CT 诊断时选取 ^{99m}Tc 进行γ射线辐射影响分析计算；

参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020），放射性核素 ^{18}F 、^{99m}Tc 对应铅、砖、混凝土的什值层见表 11-3。

表 11-3 放射性核素对应屏蔽物质的什值层取值一览表（单位：mm）

核素	铅(11.3g/cm³)	砖(1.65g/cm³)	混凝土(2.35g/cm³)
^{18}F	16.6	263	176
^{99m}Tc	1	160	110

表 11-4 给出了患者单次最大用药在无屏蔽状态下，其周围不同距离位置的周围剂量当量率值。

表 11-4　无屏蔽状态下不同距离的放射性核素周围剂量当量率（μSv/h）

距离(m)	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0
单次注射 ^{18}F $3.7\times10^{8}Bq$（10mCi）时周围剂量当量率	587.9	211.6	52.9	13.2	5.9
单次注射 ^{99m}Tc $9.25\times10^{8}Bq$（25mCi）时周围剂量当量率	311.4	112.1	28.0	7.0	3.1

从表中结果看出，裸露状态下的放射性核素辐射水平较高，对周围辐射影响较大；而用药后的患者都可以看做是近似裸源状态。因此，放射性核素的操作均需在良好的屏蔽下进行，而用药后的患者也必须在具有一定辐射防护的房间内候诊、留观，减小其 γ 射线对外环境的辐射影响。

（1）PET/CT 诊断中的γ射线辐射影响水平预测

根据工程分析可知，PET/CT 放射诊断项目辐射影响主要包括药物分装、药物注射、注射后患者候诊、患者扫描和患者检后留观，主要对核医学科工作场所辐射工作人员及室外公众产生外照射辐射影响。

本项目 PET/CT 每天分上午、下午两次送药，暂存于高活室 PET 手套箱内。每批次送药量最大为 $5.55\times10^{9}Bq$（按照最大用药量的 3 倍备药），确保足够的备药量。在开展核素诊断时，每个 PET 注射后候诊室每次最多 2 名患者同时候诊，PET 留观室每次最多 2 名患者同时留观。

根据公式（11-4）、（11-5）可估算出项目周围各关注点处的辐射水平，具体见表 11-5。

表 11-5　本项目 PET/CT 诊断各参考点位辐射水平估算结果

参考点位			活度（Bq）	衰减距离（m）	防护措施	透射比	参考点辐射水平（μSv/h）
高活室/分装室	1	PET 手套箱人员操作位表面 30cm	5.55×10^{9}（^{18}F，单次最大送药量）	0.5	60mmPb 手套箱	2.43×10^{-4}	0.771
	2	PET 手套箱非正对人员操作位表面 5cm		0.25		2.43×10^{-4}	3.086
	5	PET/CT 注射位	3.7×10^{8}（^{18}F，单名患者单次最大用药量）	0.5	40mmPb	3.89×10^{-3}	0.823
	7	西北侧防护门表面 30cm 处（储	5.55×10^{9}（^{18}F，单次	2.547	60mmPb 手套箱+6mmPb	1.06×10^{-4}	0.013

		源室）	最大送药量）		防护门		
	8	西北侧防护门表面 30cm 处（医护走廊）		4.172		1.06×10^{-4}	4.83×10^{-3}
	9	西南侧防护门表面 30cm 处（药物通道入口）		5.05		1.06×10^{-4}	3.30×10^{-3}
	10	西南侧防护门表面 30cm 处（运动功能室）		5.357		1.06×10^{-4}	2.93×10^{-3}
	11	东南侧防护门表面 30cm 处（患者走廊）		5.791		1.06×10^{-4}	2.51×10^{-3}
	12	东南墙表面 30cm 处		4.16	60mmPb 手套箱+200mm 砖+6mm 铅当量硫酸钡	1.84×10^{-5}	8.44×10^{-4}
	13	东北墙表面 30cm 处		1.2		1.84×10^{-5}	0.010
	14	西北墙表面 30cm 处		2.04		1.84×10^{-5}	3.51×10^{-3}
	15	西南墙表面 30cm 处		5.05		1.84×10^{-5}	5.73×10^{-4}
	16	楼上地面 30cm 处		6.52	60mmPb 手套箱+220 混凝土+6mm 铅当量硫酸钡	5.94×10^{-6}	1.11×10^{-4}
	17	楼下地面 170cm 处		2.42		5.94×10^{-6}	8.05×10^{-4}
PET/CT 扫描室	18	东南墙表面 30cm 处	3.7×10^{8}（^{18}F，单名患者单次最大用药量）	4.4	200mm 砖+4mm 铅当量硫酸钡+4mm 铅板	0.057	0.156
	19	东北墙表面 30cm 处		3.715		0.057	0.219
	20	西北墙表面 30cm 处		3.6		0.057	0.233
	21	西南墙表面 30cm 处		5.507		0.057	0.099
	22	患者防护门表面 30cm 处		4.828	8mmPb 防护门	0.330	0.749
	23	工作人员防护门表面 30cm 处		5.832		0.330	0.513
	24	观察窗表面 30cm 处		5.285	12mmPb 铅玻璃	0.189	0.359
	25	摆位处		1.0	0.5mmPb	0.933	49.365
	26	楼上地面 30cm 处		6.52	220 混凝土+8mm 铅当	0.019	0.024

	27	楼下地面 170cm 处		2.42	量硫酸钡	0.019	0.172
抢救室	28	东南墙表面 30cm 处	3.7×10^8（^{18}F，单名患者单次最大用药量）	1.72	400mm 混凝土	5.34×10^{-3}	0.096
	29	东北墙表面 30cm 处		1.59	200mm 砖+8mm 铅当量硫酸钡	0.057	1.193
	30	西北墙表面 30cm 处		4.03		0.057	0.186
	31	西南墙表面 30cm 处		2.16		0.057	0.646
	32	防护门表面 30cm 处		4.03	8mmPb	0.330	1.075
	33	楼上地面 30cm 处		6.52	220mm 混凝土+8mm 铅当量硫酸钡	0.019	0.024
	34	楼下地面 170cm 处		2.42		0.019	0.172
PET/CT 注射后候诊室 1	35	东南墙表面 30cm 处	$3.7\times10^8\times2$（^{18}F，2 名患者同时候诊）	1.2	400mm 混凝土	5.34×10^{-3}	0.392
	36	东北墙表面 30cm 处		1.585	200mm 砖+8mm 铅当量硫酸钡	0.057	1.511
				3.115			
	37	西北墙表面 30cm 处		4.55		0.057	0.291
	38	西南墙表面 30cm 处		1.535		0.057	1.601
				3.065			
	39	防护门表面 30cm 处		4.55	8mmPb	0.33	1.687
	40	楼上地面 30cm 处		6.52	220mm 混凝土+8mm 铅当量硫酸钡	0.019	0.047
	41	楼下地面 170cm 处		2.42		0.019	0.343
PET/CT 注射后候诊室 2	42	东南墙表面 30cm 处	$3.7\times10^8\times2$（^{18}F，2 名患者同时候诊）	1.2	400mm 混凝土	5.34×10^{-3}	0.392
	43	东北墙表面 30cm 处		2.8	200mm 砖+8mm 铅当量硫酸钡	0.057	0.620
				3.58			
	44	西北墙表面 30cm 处		2.65		0.057	0.860
	45	西南墙表面 30cm 处		3.07		0.057	0.523
				3.85			
	46	防护门表面 30cm 处		3.282	10mmPb	0.250	2.46
	47	楼上地面 30cm 处		6.52	220mm 混凝土+8mm 铅	0.019	0.047

	48	楼下地面 170cm 处		2.42	当量硫酸钡	0.019	0.343
PET/CT 留观室	49	东南墙表面 30cm 处	$3.7\times10^{8}\times2$（^{18}F，2 名患者同时留观）	1.745	400mm 混凝土	5.34×10^{-3}	0.186
	50	东北墙表面 30cm 处		1.37 3.27	200mm 砖+4mm 铅当量硫酸钡+4mm 铅板	0.057	1.889
	51	西北墙表面 30cm 处		7.805		0.057	0.099
	52	西南墙表面 30cm 处		1.68 3.58		0.057	1.304
	53	防护门表面 30cm 处		7.805	8mmPb	0.330	0.573
	54	楼上地面 30cm 处		6.52	220mm 混凝土+8mm 铅当量硫酸钡	0.019	0.047
	55	楼下地面 170cm 处		2.42		0.019	0.343

注：①参考点距离=辐射源至屏蔽体距离+0.3m，辐射源至屏蔽体距离见附图 10-1，参考点距离保守取各座位/床位中心点至参考点的最短距离；

②核医学科（科教研综合楼负一楼）层高约 7m；负二楼层高约 3.9m，故核医学科上方参考点距离=7m+0.22m+0.3m-1m=6.52m；核医学科下方参考点取负二楼地面 1.7m 处=3.9m+0.22m-1.7m=2.42m；

③参考点辐射水平分析时保守不考虑核素衰变情况，防护措施保守不考虑铅屏风的防护。

（2）SPECT/CT 诊断中的γ射线辐射影响水平预测

根据工程分析可知，SPECT/CT 放射诊断项目辐射影响主要包括药物注射、注射后患者候诊、患者扫描和患者检后留观，主要对核医学科工作场所辐射工作人员及室外公众产生外照射辐射影响。

在开展核素诊断时，SPECT 注射后候诊室每次最多 4 名患者同时候诊，SPECT 留观室每次最多 2 名患者同时留观。

根据公式（11-4）、（11-5）可估算出项目周围各关注点处的辐射水平，具体见表 11-6。

表 11-6 本项目 SPECT/CT 诊断各参考点位辐射水平估算结果

参考点位			活度（Bq）	衰减距离（m）	防护措施	透射比	参考点辐射水平（μSv/h）
高活室/分装室	3	SPECT 手套箱人员操作位表面 30cm	$9.25\times10^{8}\times25$（^{99m}Tc，日最大操作量）	0.5	10mmPb 手套箱	1.00×10^{-10}	2.80×10^{-7}
	4	SPECT 手套箱非正对人员操		0.25		1.00×10^{-10}	1.12×10^{-6}

		作位表面 5cm					
	6	SPECT/CT 注射位	9.25×10^{8}（^{99m}Tc，单名患者单次最大用药量）	0.5	10mmPb	1.00×10^{-10}	1.12×10^{-8}
运动功能室	56	东南墙表面 30cm 处	9.25×10^{8}（^{99m}Tc，单名患者单次最大用药量）	2.03	200mm 砖+6mm 铅当量硫酸钡	5.62×10^{-8}	3.82×10^{-7}
	57	东北墙表面 30cm 处		5.05		5.62×10^{-8}	6.18×10^{-8}
	58	西北墙表面 30cm 处		1.67	200mm 砖+4mm 铅当量硫酸钡	5.62×10^{-6}	5.65×10^{-5}
	59	西南墙表面 30cm 处		1.2		5.62×10^{-6}	1.09×10^{-4}
	60	东北侧防护门表面 30cm 处		5.05	6mmPb	1.00×10^{-6}	1.10×10^{-6}
	61	东南侧防护门表面 30cm 处		4.3	6mmPb	1.00×10^{-6}	1.52×10^{-6}
	62	楼上地面 30cm 处		6.52	220mm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡	1.00×10^{-6}	6.59×10^{-7}
	63	楼下地面 170cm 处		2.42		1.00×10^{-6}	4.79×10^{-6}
SPECT/CT 扫描室	64	东南墙表面 30cm 处	9.25×10^{8}（^{99m}Tc，单名患者单次最大用药量）	3.5	200mm 砖+6mm 铅当量硫酸钡	5.62×10^{-8}	1.29×10^{-7}
	65	东北墙表面 30cm 处		3.03		5.62×10^{-8}	1.72×10^{-7}
	66	西北墙表面 30cm 处		3.35		5.62×10^{-8}	1.40×10^{-7}
	67	西南墙表面 30cm 处		5.77		5.62×10^{-8}	4.73×10^{-8}
	68	患者防护门表面 30cm 处		4.432	8mmPb	1.00×10^{-8}	1.43×10^{-8}
	69	工作人员防护门表面 30cm 处		5.635		1.00×10^{-8}	8.83×10^{-9}
	70	观察窗表面 30cm 处		4.292	8mmPb 铅玻璃	1.00×10^{-8}	1.52×10^{-8}
	71	摆位处		1.0	0.5mmPb	0.316	8.857
	72	楼上地面 30cm 处		6.52	220mm 混凝土+6mm 铅当量硫酸钡	1.00×10^{-8}	6.59×10^{-9}
	73	楼下地面 170cm 处		2.42		1.00×10^{-8}	4.79×10^{-8}
SPECT/CT 注射后候	74	东南墙表面 30cm 处	$9.25\times10^{8}\times4$（^{99m}Tc，4	1.29	400mm 混凝土	2.31×10^{-4}	0.016

诊室	75	东北墙表面30cm处	名患者同时候诊）	1.0	200mm 砖+8mm 铅当量硫酸钡	5.62×10^{-10}	6.30×10^{-8}
	76	西北墙表面30cm处		3.26	200mm 砖+6mm 铅当量硫酸钡	5.62×10^{-8}	5.93×10^{-7}
	77	西南墙表面30cm处		1.0	200mm 砖+8mm 铅当量硫酸钡	5.62×10^{-10}	6.30×10^{-8}
	78	防护门表面30cm处		3.26	4mmPb	1.00×10^{-4}	1.05×10^{-3}
	79	楼上地面30cm处		6.52	220 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡	1.00×10^{-6}	2.64×10^{-6}
	80	楼下地面170cm处		2.42		1.00×10^{-6}	1.91×10^{-5}
SPECT/CT留观室	81	东南墙表面30cm处	$9.25\times10^{8}\times2$（^{99m}Tc，2名患者同时留观）	1.95	400mm 混凝土	2.31×10^{-4}	3.41×10^{-3}
	82	东北墙表面30cm处		3.615	200mm 砖+4mm 铅当量硫酸钡+4mm 铅板	5.62×10^{-10}	2.41×10^{-9}
	83	西北墙表面30cm处		5.70	200mm 砖+6mm 铅当量硫酸钡	5.62×10^{-8}	9.70×10^{-8}
	84	西南墙表面30cm处		1.545	200mm 砖+8mm 铅当量硫酸钡	5.62×10^{-10}	1.32×10^{-8}
	85	防护门表面30cm处		5.70	4mmPb	1.00×10^{-4}	1.73×10^{-4}
	86	楼上地面30cm处		6.52	220mm 混凝土+4mm 铅当量硫酸钡	1.00×10^{-6}	1.32×10^{-6}
	87	楼下地面170cm处		2.42		1.00×10^{-6}	9.57×10^{-6}

注：①参考点距离=辐射源至屏蔽体距离+0.3m，辐射源至屏蔽体距离见附图 10-1，参考点距离保守取各座位/床位中心点至参考点的最短距离；

②核医学科（科教研综合楼负一楼）层高约 7m；负二楼层高约 3.9m，故核医学科上方参考点距离=7m+0.22m+0.3m-1m=6.52m；核医学科下方参考点取负二楼地面 1.7m 处=3.9m+0.22m-1.7m=2.42m；

③参考点辐射水平分析时保守不考虑核素衰变情况，防护措施保守不考虑铅屏风的防护；根据对手套箱表面剂量的计算可知，最大为 1.12×10^{-6}，经过高活室的墙体屏蔽和距离衰减后，^{99m}Tc 对其周围影响很小，可不考虑。

（3）^{89}Sr、^{188}Re、^{153}Sm 核素治疗的辐射影响分析

核素 ^{89}Sr、^{188}Re、^{153}Sm 在衰变过程中只有β射线产生，因此本项目预测γ射线辐射影响分析时不考虑核素 ^{89}Sr、^{188}Re、^{153}Sm。

3、核素诊断设备中CT装置的X射线辐射影响分析

（1）机房的屏蔽防护铅当量厚度与标准要求的相符性

对于 PET/CT 扫描室、SPECT/CT 扫描室，除考虑放射性药物产生的 γ 射线的辐射影响外，还需考虑 PET/CT、SPECT/CT 运行时 CT 产生的 X 射线的辐射影响。针对 CT 发出的 X 射线，根据表 10-3、10-4 并对照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录表 C，PET/CT 扫描室和 SPECT/CT 扫描室屏蔽体等效屏蔽铅当量及尺寸大小见表 11-8。

表 11-8　本项目 PET/CT 扫描室和 SPECT/CT 扫描室屏蔽符合性分析

场所名称	屏蔽体	屏蔽设计参数	等效铅当量（mm）	标准要求铅当量（mm）	评价结果
PET/CT 扫描室	四周	200mm 砖+4mm 铅当量硫酸钡+4mm 铅板	约 9	2.5	满足要求
	顶部	220mm 混凝土+8mm 铅当量硫酸钡	10.5		满足要求
	地面	220mm 混凝土+8mm 铅当量硫酸钡	10.5		满足要求
	防护门	8mm 铅板	8		满足要求
	观察窗	12mm 铅当量防护玻璃	12		满足要求
	尺寸大小	长 7.91m、宽 6.2m，有效使用面积约为 49m^2			
SPECT/CT 扫描室	四周	200mm 砖+6mm 铅当量硫酸钡	约 7	2.5	满足要求
	顶部	220mm 混凝土+6mm 铅当量硫酸钡	8.5		满足要求
	地面	220mm 混凝土+6mm 铅当量硫酸钡	8.5		满足要求
	防护门	8mm 铅板	8		满足要求
	观察窗	8mm 铅当量防护玻璃	8		满足要求
	尺寸大小	长 7.2m、宽 5.0m，有效使用面积约为 36m^2			

注：①实心砖密度不小于 1.65g/cm^3；混凝土密度为 2.35g/cm^3；硫酸钡防护涂料密度不小于 3.5g/cm^3；

②根据《放射诊断放射防护要求》表 C.4、C.5，200mm 砖保守等效为 1mm 铅；

③根据公式（11-7）计算可知，220mm 混凝土等效为 2.5mm 铅。

根据表 11-8，本项目 PET/CT 扫描室和 SPECT/CT 扫描室的尺寸大小能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中“CT 机房最小单边长度应不小于 4.5m、最小

有效使用面积应不小于 30m²”的要求，扫描室四周墙体、顶部、防护门及观察窗屏蔽厚度均不小于 2.5mm 铅当量，能够满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）“CT 机房屏蔽防护铅当量厚度不小于 2.5mm 铅当量”的要求。

（2）机房屏蔽效果预测

此外，PET/CT 和 SPECT/CT 中的 X 线球管和探测器分别安装在被扫描组织的两侧，方向相对，有用线束透射方向为朝向扫描床（即患者方向），当球管产生的 X 线穿过患者扫描组织，透过组织的剩余射线为探测器所接收。因此，PET/CT 和 SPECT/CT 开机过程中主要考虑泄漏和散射辐射影响。为了防止球管烧毁并延长其使用寿命，实际使用时，管电压和管电流通常留有一定的裕量，本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 日常使用中管电压范围为 80kV~120kV、管电流为 20mA~200mA，本项目在计算漏射线和散射线辐射影响时，工况保守取 120kV、200mA 进行计算。

① 泄漏辐射预测

泄漏辐射剂量率$\dot{H}_L$采用下式计算：

$$\dot{H}_L = \frac{H_i \cdot B \cdot K}{R^2} \qquad （式 11-6）$$

式中：H_i—距靶 1m 处泄漏射线的空气比释动能率，μSv/h；参考国际放射防护委员会第 33 号出版物《医用外照射源的辐射防护》“（77）用于诊断目的的每一个 X 射线管必须封闭在管套内，以使得位于该套管内的 X 射线管在制造厂规定的每个额定值时，离焦点 1m 处所测得的泄漏辐射在空气中的比释动能不超过 1mGy/h”以及《医用电气设备第 1-3 部分:全通用要求三.并列标准《诊断 X 射线设备的辐射防护》（GB9706.103-2020）泄漏辐射空气比释动能率为允许的最大值 1.0mGy/h。本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 离焦点 1m 处的泄漏辐射空气比释动能率为 1.0mGy/h。

R—靶点至关注点的距离，见附图 10-1；

K—有效剂量与空气比释动能转换系数，Sv/Gy，从《用于光子外照射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）附录表 B2 查取，对于本项目运行时最大常用管电压 120kV，K 值保守取 1.71；

B—屏蔽透射因子，无量纲，计算公式见式（11-7）。

$$B = [\,(1+\frac{\beta}{\alpha})\,e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha}\,]^{-\frac{1}{\gamma}} \qquad （式 11-7）$$

式中：α、β、γ－铅对相应管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，根据 GBZ 130-2020 表 C.2 管电压为 120kV（本项目正常运行最大管电压）下铅的α、β、γ 数值分

别为 2.246、5.73、0.547；

X—铅厚度。

将有关参数代入公式（11-6）和公式（11-7），PET/CT 和 SPECT/CT 扫描室四周墙体、顶部、防护门、观察窗外关注点处的泄漏辐射剂量率计算结果见表 11-9。

表 11-9　PET/CT 和 SPECT/CT 扫描室外关注点处泄漏辐射剂量率计算结果

场所名称	关注点位置	H_l（mGy/h）	等效铅当量（mmPb）	R（m）	B	$\dot{H}_L$（μSv/h）
PET/CT 扫描室	东北墙表面外 30cm	1	9	3.715	1.64×10^{-10}	**2.03×10^{-8}**
	东南墙表面外 30cm	1	9	4.4	1.64×10^{-10}	**1.45×10^{-8}**
	西南墙表面外 30cm	1	9	5.507	1.64×10^{-10}	**9.25×10^{-9}**
	西北墙表面外 30cm	1	9	3.6	1.64×10^{-10}	**2.16×10^{-8}**
	楼上地面 30cm	1	10.5	6.52	5.65×10^{-12}	**2.27×10^{-10}**
	楼下地面 170cm	1	10.5	2.42	5.65×10^{-12}	**1.65×10^{-9}**
	患者防护门表面外 30cm	1	8	4.828	1.55×10^{-9}	**1.14×10^{-7}**
	医护防护门表面外 30cm	1	8	5.832	1.55×10^{-9}	**7.80×10^{-8}**
	观察窗表面外 30cm	1	12	5.285	1.94×10^{-13}	**1.19×10^{-11}**
SPECT/CT 扫描室	东北墙表面外 30cm	1	7	3.03	1.47×10^{-8}	**2.73×10^{-6}**
	东南墙表面外 30cm	1	7	3.5	1.47×10^{-8}	**2.05×10^{-6}**
	西南墙表面外 30cm	1	7	5.77	1.47×10^{-8}	**7.53×10^{-7}**
	西北墙表面外 30cm	1	7	3.35	1.47×10^{-8}	**2.23×10^{-6}**
	楼上地面 30cm	1	8.5	6.52	5.04×10^{-10}	**2.03×10^{-8}**
	楼下地面 170cm	1	8.5	2.42	5.04×10^{-10}	**1.47×10^{-7}**
	患者防护门表面外 30cm	1	8	4.432	1.55×10^{-9}	**1.35×10^{-7}**
	医护防护门表面外 30cm	1	8	5.635	1.55×10^{-9}	**8.35×10^{-8}**
	观察窗表面外 30cm	1	8	4.292	1.55×10^{-9}	**1.44×10^{-7}**

② 散射辐射预测

由《辐射防护手册》（第一分册）给出的X射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.10）进行推导，得到散射线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）：

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

式中：H_0—距靶点 1m 处的最大剂量率，$mGy\cdot m^2\cdot mA^{-1}\cdot min^{-1}$；本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 型号未定，根据《辐射防护手册（第一分册）》P232 可知，对于医用 X 射线机来说，为了减少低能光子对皮肤的照射，机头窗口处安装有符合要求的永久性过滤片，其中 100kV 以上用 2.5mm 铝片，本项目 PET/CT 和 SPECT/CT 过滤板保守取 2.5mmAl，最大管电压 120kV，运行时离靶 1 米处的 X 射线发射率根据运行时管电压和设备 X 射线管的过滤条件从《辐射防护导论》附图 3 查取，为 $9mGy\cdot m^2\cdot mA^{-1}\cdot min^{-1}$；

a—人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，查《辐射防护手册》（第一分册）表 10.1，对于本项目设备正常工作使用电压最大为 120kV 时的 a 保守取值为 0.0015；

S—主束在患者体上的散射面积，本项目取 $100cm^2$；

d_0—源至受照点的距离，根据 GBZ130-2020 第 5.2.1 条，本项目 d_0 保守取最小值 0.3m；

d_s—受照体至关注点的距离，m；

B_s—屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，按公式（11-8）计算。此处的散射线指本项目最大常用管电压（120kV，即 0.12MV）下有用线束（初级 X 射线）的散射线，其能量偏保守取有用线束侧向（散射角θ=90º）的一次散射线能量，可根据根据《辐射防护手册（第一分册）》康普顿散射线能量公式计算：

$$\frac{E}{E_0}=\frac{1}{1+\frac{E_0}{0.511}(1-\cos\theta)}=0.810 \qquad (式\ 11\text{-}9)$$

散射后的 X 射线能量可按 120kV×0.810=97.2kV 的管电压 X 射线进行计算，本次散射后的 X 射线保守取值以 100kV 管电压 X 射线进行计算。查 GBZ 130-2020 表 C.2 中 100kV 管电压下铅的α、β、γ拟合数据，分别为 2.507、15.33、0.9124。

K—意义同前，按前述 90º方向一次散射线能量对应的 kV 值“100kV”，从《用于光子外照射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）附录表 B2 查取，保守取 1.71。

将有关参数代入公式（11-8），PET/CT 和 SPECT/CT 扫描室四周墙体、顶部、防护门、观察窗外关注点处的散射辐射剂量率计算结果见表 11-10。

表 11-10　PET/CT 和 SPECT/CT 扫描室外关注点处散射辐射剂量率计算结果

场所	关注点	H_0（$mGy\cdot m^2\cdot$	I	a	S	Bs	d_0	ds	Hs

名称	位置	$mA^{-1}\cdot min^{-1}$）	（mA）		（cm^2）		（m）	（m）	（μSv/h）
PET/CT 扫描室	东北墙表面外 30cm	9	200	0.0015	100	1.85×10^{-11}	0.3	3.715	**1.03×10^{-6}**
	东南墙表面外 30cm	9	200	0.0015	100	1.85×10^{-11}	0.3	4.4	**7.35×10^{-7}**
	西南墙表面外 30cm	9	200	0.0015	100	1.85×10^{-11}	0.3	5.507	**4.69×10^{-7}**
	西北墙表面外 30cm	9	200	0.0015	100	1.85×10^{-11}	0.3	3.6	**1.10×10^{-6}**
	楼上地面 30cm	9	200	0.0015	100	4.30×10^{-13}	0.3	6.52	**7.79×10^{-9}**
	楼下地面 170cm	9	200	0.0015	100	4.30×10^{-13}	0.3	2.42	**5.65×10^{-8}**
	患者防护门表面外 30cm	9	200	0.0015	100	2.27×10^{-10}	0.3	4.828	**7.49×10^{-6}**
	医护防护门表面外 30cm	9	200	0.0015	100	2.27×10^{-10}	0.3	5.832	**5.13×10^{-6}**
	观察窗表面外 30cm	9	200	0.0015	100	1.00×10^{-14}	0.3	5.285	**2.76×10^{-10}**
SPECT/CT 扫描室	东北墙表面外 30cm	9	200	0.0015	100	2.78×10^{-9}	0.3	3.03	**2.33×10^{-4}**
	东南墙表面外 30cm	9	200	0.0015	100	2.78×10^{-9}	0.3	3.5	**1.75×10^{-4}**
	西南墙表面外 30cm	9	200	0.0015	100	2.78×10^{-9}	0.3	5.77	**6.43×10^{-5}**
	西北墙表面外 30cm	9	200	0.0015	100	2.78×10^{-9}	0.3	3.35	**1.91×10^{-4}**
	楼上地面 30cm	9	200	0.0015	100	6.48×10^{-11}	0.3	6.52	**1.17×10^{-6}**
	楼下地面 170cm	9	200	0.0015	100	6.48×10^{-11}	0.3	2.42	**8.51×10^{-6}**
	患者防护门表面外 30cm	9	200	0.0015	100	2.27×10^{-10}	0.3	4.432	**8.89×10^{-6}**
	医护防护门表面外 30cm	9	200	0.0015	100	2.27×10^{-10}	0.3	5.635	**5.50×10^{-6}**
	观察窗表面外 30cm	9	200	0.0015	100	2.27×10^{-10}	0.3	4.292	**9.48×10^{-6}**

4、外照射辐射叠加影响分析

（1）γ射线辐射叠加影响分析（高活室）

本项目 PET 手套箱和 SPECT 手套箱位于高活室内。根据对表 11-6 中对 SPECT 手套箱表面剂量的计算可知，SPECT 手套箱表面剂量最大为 1.12×10^{-6}，经高活室的墙体屏蔽（200mm 砖+6mm 铅当量硫酸钡）和距离衰减后，对高活室周围影响很小，可忽略不计。可不考虑 SPECT 手套箱对高活室周围的叠加辐射影响。

（2）γ射线、X 射线叠加影响分析（PET/CT 和 SPECT/CT 扫描室）

根据表 11-9 和表 11-10，并叠加放射性核素发出的 γ 射线对 PET/CT 和 SPECT/CT 扫描室外关注点的辐射影响，PET/CT 和 SPECT/CT 扫描室四周墙体、顶部、防护门、观察窗外关注点处的叠加辐射剂量率计算结果见表 11-11。

表 11-11 PET/CT 和 SPECT/CT 扫描室外关注点处叠加辐射剂量率计算结果（μSv/h）

场所名称	关注点位置		X 射线泄漏辐射	X 射线散射辐射	γ射线辐射	叠加剂量率	剂量率限值
PET/CT 扫描室	18	东南墙表面外 30cm	1.45×10^{-8}	7.35×10^{-7}	0.156	0.156	2.5
	19	东北墙表面外 30cm	2.03×10^{-8}	1.03×10^{-6}	0.219	0.219	2.5
	20	西北墙表面外 30cm	2.16×10^{-8}	1.10×10^{-6}	0.233	0.233	2.5
	21	西南墙表面外 30cm	9.25×10^{-9}	4.69×10^{-7}	0.099	0.099	2.5
	22	患者防护门表面外 30cm	1.14×10^{-7}	7.49×10^{-6}	0.749	0.749	2.5
	23	工作人员防护门表面外 30cm	7.80×10^{-8}	5.13×10^{-6}	0.513	0.513	2.5
	24	观察窗表面外 30cm	1.19×10^{-11}	2.76×10^{-10}	0.359	0.359	2.5
	26	楼上地面 30cm	2.27×10^{-10}	7.79×10^{-9}	0.024	0.024	2.5
	27	楼下地面 170cm	1.65×10^{-9}	5.65×10^{-8}	0.172	0.172	2.5
SPECT/CT 扫描室	64	东南墙表面外 30cm	2.05×10^{-6}	1.75×10^{-4}	1.29×10^{-7}	1.77×10^{-4}	2.5
	65	东北墙表面外 30cm	2.73×10^{-6}	2.33×10^{-4}	1.72×10^{-7}	2.36×10^{-4}	2.5
	66	西北墙表面外 30cm	2.23×10^{-6}	1.91×10^{-4}	1.40×10^{-7}	1.93×10^{-4}	2.5
	67	西南墙表面外 30cm	7.53×10^{-7}	6.43×10^{-5}	4.73×10^{-8}	6.51×10^{-5}	2.5
	68	患者防护门表面外 30cm	1.35×10^{-7}	8.89×10^{-6}	1.43×10^{-8}	9.04×10^{-6}	2.5
	69	工作人员防护门表面外 30cm	8.35×10^{-8}	5.50×10^{-6}	8.83×10^{-9}	5.59×10^{-6}	2.5
	70	观察窗表面外 30cm	1.44×10^{-7}	9.48×10^{-6}	1.52×10^{-8}	9.64×10^{-6}	2.5
	72	楼上地面 30cm	2.03×10^{-8}	1.17×10^{-6}	6.59×10^{-9}	1.20×10^{-6}	2.5
	73	楼下地面 170cm	1.47×10^{-7}	8.51×10^{-6}	4.79×10^{-8}	8.70×10^{-6}	2.5

根据表 11-11 可知，PET/CT 和 SPECT/CT 中的 CT 运行对扫描室周围环境的辐射影响较小，PET/CT、SPECT/CT 扫描装置产生的 X 射线对扫描室外环境的辐射影响叠加

放射性核素产生的 γ 射线对扫描室外环境的辐射影响仍满足小于 2.5μSv/h 的要求。

根据表 11-5~11-11 估算结果可知：

1）本项目核医学科 PET 手套箱表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 0.771μSv/h，非正对人员操作位表面的辐射剂量率最大为 3.086μSv/h；SPECT 手套箱表面 30cm 处人员操作位的辐射剂量率最大为 2.80×10^{-7}μSv/h，非正对人员操作位表面的辐射剂量率最大为 1.12×10^{-6}μSv/h。单人注射最大活度的放射性药物时，PET 注射窗外表面 30cm 处人员注射位的辐射剂量率最大为 0.823μSv/h，SPECT 注射窗外表面 30cm 处人员注射位的辐射剂量率为 1.12×10^{-8}μSv/h，满足辐射环境剂量率控制水平要求：治疗工作场所分装室内手套箱外人员操作位及注射窗外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，手套箱非正对人员操作位表面的周围剂量当量率应小于 25μSv/h。

2）本项目核医学科各控制区内各房间防护门、观察窗、墙体以及注射窗外表面 30cm 处的辐射剂量率最大为 2.46μSv/h，满足核医学科控制区内房间防护门、观察窗、墙体以及注射窗外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h 的要求。

此外，本项目校准源 ^{22}Na 的活度最大为 1.48×10^{7}Bq，贮存在不低于 40mmPb 储源罐中，储源罐表面 30cm 处的辐射剂量率约为 0.169μSv/h，其对周围环境的辐射影响很小，其所致校准源室表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h。

二、保护目标剂量评价

参考点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式算出：

$$D_{Eff}=K_{\alpha}\cdot t\cdot T\cdot U \qquad （式 11-10）$$

上式中：D_{Eff} —参考点人员有效剂量（Sv）；

K_{α}—参考点的周围剂量当量率（$Sv\cdot h^{-1}$）；

t—参考点处受照时间（h）；

T—居留因子；

U—使用因子，以点源考虑，U 取 1。

1、核医学科辐射工作人员剂量评价

本项目核医学科辐射工作人员年受照剂量计算结果见表 11-12。

表 11-12　本项目核医学科辐射工作人员年有效剂量估算

保护目标	参考点位置	参考点辐射剂量率（μSv/h）	年工作时间（h）	居留因子	年有效剂量(mSv)	叠加年有效剂量(mSv)
药物分装、活度	PET 手套箱人员操	0.771	42（^{18}F，年分	1	0.032	0.067

检测人员（操作PET手套箱药物时）	作位表面30cm（参考点1）		装、检测2500次，每次1min）			
	SPECT手套箱非正对人员操作位表面5cm（参考点84）	1.12×10^{-6}		1		
注射人员（PET注射位给药时）	PET注射位（参考点5）	0.823	42（年注射2500次，每次1min）	1	0.035	
药物活度检测人员（操作SPECT手套箱药物时）	SPECT手套箱人员操作位表面30cm（参考点3）	2.80×10^{-7}	108（年检测6480次，每次1min）	1	0.333	0.333
	PET手套箱非正对人员操作位表面5cm（参考点2）	3.086		1		
注射人员（SPECT注射位给药时）	SPECT注射位（参考点6）	1.12×10^{-8}	108（年注射6480次，每次1min）	1	1.21×10^{-9}	
PET/CT操作技师	观察窗表面30cm（参考点24）	0.359	1250（年扫描2500次，每次扫描约30min）	1	0.449	1.554
	摆位处（参考点25）	49.365	21（人均年摆位1250次，每次摆位约1min）	1	1.037	
	衰变室顶部30cm处	0.027	2000（操作技师年工作时间）	1	0.054	
	校准源	/	/	/	0.014	
SPECT/CT操作技师	观察窗表面30cm（参考点70）	9.64×10^{-6}	3225（年扫描6450次，每次扫描约30min）	1	3.11×10^{-5}	0.530
	摆位处（参考点71）	8.857	53.75（人均年摆位3225次，每次摆位约1min）	1	0.476	
	衰变室顶部30cm处	0.027	2000（操作技师年工作时间）	1	0.054	
核医学科诊室、预约登记处医护人员	核医学科诊室处	0.092	2000（日工作约8h，年工作日250天）	1	0.184	0.184

核医学科医生办公室、阅片室、示教室医护人员	PET/CT 扫描室西北墙表面 30cm（参考点 20）	0.234	2000（日工作约 8h，年工作日 250 天）	1	0.468	0.468

注：①SPECT 药物活度检测包括 ^{99m}Tc、^{201}Tl、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I、^{153}Sm、^{89}Sr、^{188}Re，年操作量共计 6480 次；

②PET 注射窗口注射核素 ^{18}F；SPECT/CT 注射窗口注射核素包括 ^{99m}Tc、^{201}Tl、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I、^{153}Sm、^{89}Sr、^{188}Re，年操作量共计 6480 次；

③PET/CT 和 SPECT/CT 操作技师摆位工作由操作技师每月轮岗；

④由于衰变室顶部与控制室有部分重叠，故在计算操作技师年有效剂量时叠加了衰变室顶部的影响，衰变室顶部剂量见表 11-14；

⑤核医学科诊室处剂量保守取抢救室西南侧经墙体和备用房间防护门屏蔽后的剂量（200mm 砖+8mm 铅当量硫酸钡+3mmPb），为 0.092μSv/h。

根据表 11-12 可知，本项目核医学科辐射工作人员年有效剂量最大约为 1.554mSv，能够满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的要求。

此外，PET/CT 操作技师还需用校准源对 PET/CT 进行质控，质控一般每周一次。操作技师在对设备进行质控前，穿戴 0.5mmPb 的铅衣和铅眼镜将装有校准源的储源罐拎至检查床旁，用长柄镊子将校准源放置在检查床上，然后退出扫描室，在控制室的操作位对设备进行质控；质控结束后，穿戴 0.5mmPb 的铅衣和铅眼镜进入扫描室，用长柄镊子将校准源夹至储源罐，并将储源罐送至储源室。

本项目使用的校准源 ^{22}Na 的活度最大为 1.48×10^{7}Bq，在取源、收源过程，工作人员处的辐射剂量率约为 15.7μSv/h（距裸源约 0.5m），每次取源、收源共用时约 1min，则取源、收源过程所致操作技师的年有效剂量约为 0.013mSv；在质检过程，操作位处的辐射剂量率为 0.087μSv/h，每次质控用时约 15min，则质控过程所致操作技师年有效剂量约为 1.09×10^{-3}mSv；在送、取储源罐过程，工作人员处的辐射剂量率约为 0.169μSv/h（距储源罐约 30cm），每次送、取储源罐共用时约 2min，则送、取源过程所致操作技师年有效剂量约为 2.82×10^{-4}mSv；则整个质控过程所致操作技师的年有效剂量约为 0.014mSv，对辐射工作人员辐射影响较小。

为防止核医学科个别岗位辐射工作人员的年有效剂量偏高，医院将采取每月轮岗的工作方式来平均工作量，降低个别岗位的年受照剂量。同时，根据表 11-13 可知，辐射工作人员近距离指导患者摆位时所致受照剂量较大，辐射工作人员应尽量使用语音系统远距离指导患者进行摆位，当必须要近距离指导患者摆位时，应尽量保持与患者之间的距离以及缩短摆位时间。医院应加强对辐射工作人员的个人剂量监测管理，当个人累积

剂量将超过年有效剂量 5mSv 时，应及时告知本人，并减少其辐射工作量或为其调整工作岗位，确保其年累积剂量不超过项目管理目标。

2、核医学科周围公众剂量评价

将相关参数代入公式（11-10），本项目核医学科周围公众年受照剂量计算结果见表 11-13，参考点位图见附图 10-2。

表 11-13　本项目核医学科周围公众年有效剂量估算

关注对象	参考点位置（参考点）	参考点辐射剂量率 (μSv/h)	年受照时间（h）	居留因子	人员年有效剂量 (mSv)
核医学科西南侧走廊处公众 ①△	运动功能室西南墙表面 30cm（参考点 59）	1.09×10^{-4}	2000（年工作时间）	1/5	4.36×10^{-5}
核医学科西北侧走廊处公众 ②△	PET/CT 扫描室西北墙表面 30cm（参考点 20）	0.233	2000（年工作时间）	1/5	0.093
	PET/CT 扫描室东北墙表面 30cm（参考点 19）	0.219	2000（年工作时间）	1/5	0.088
核医学科楼上预留商业用房、库房、电梯处公众 ③△	高活室/分装室楼上表面 30cm（参考点 16）	1.11×10^{-4}	2000（年工作时间）	保守取 1	2.22×10^{-4}
	运动功能室楼上表面 30cm（参考点 62）	6.59×10^{-7}	2000（年工作时间）	保守取 1	1.32×10^{-6}
	SPECT/CT 扫描室楼上表面 30cm（参考点 72）	1.20×10^{-6}	2000（年工作时间）	保守取 1	2.40×10^{-6}
	PET/CT 扫描室楼上表面 30cm（参考点 26）	0.024	2000（年工作时间）	保守取 1	0.048
	抢救室楼上表面 30cm（参考点 33）	0.024	2000（年工作时间）	保守取 1	0.048
	SPECT 注射后候诊室楼上表面 30cm（参考点 79）	2.64×10^{-6}	2000（年工作时间）	保守取 1	5.28×10^{-6}
	PET 注射后候诊室 1 楼上表面 30cm（参考点 40）	0.047	2000（年工作时间）	保守取 1	0.094
	PET 注射后候诊室 2 楼上表面 30cm（参考点 47）	0.047	2000（年工作时间）	保守取 1	0.094

	SPECT 留观室楼上表面 30cm（参考点 86）	1.32×10^{-6}	2000（年工作时间）	保守取 1	2.64×10^{-6}
	PET 留观室楼上表面 30cm（参考点 54）	0.047	2000（年工作时间）	保守取 1	0.092
核医学科楼下停车场、辅助用房 ④	高活室/分装室楼下地面 170cm 处（参考点 17）	8.05×10^{-4}	2000（年工作时间）	1/40	4.03×10^{-5}
	运动功能室楼下地面 170cm 处（参考点 63）	4.79×10^{-6}	2000（年工作时间）	1/40	2.40×10^{-7}
	SPECT/CT 扫描室楼下地面 170cm 处（参考点 73）	8.70×10^{-6}	2000（年工作时间）	1/40	4.35×10^{-7}
	PET/CT 扫描室楼下地面 170cm 处（参考点 27）	0.172	2000（年工作时间）	1/40	8.60×10^{-3}
	抢救室楼下地面 170cm 处（参考点 34）	0.172	2000（年工作时间）	1/40	8.60×10^{-3}
	SPECT 注射后候诊室楼下地面 170cm 处（参考点 80）	1.91×10^{-5}	2000（年工作时间）	1/40	9.55×10^{-7}
	PET 注射后候诊室 1 楼下地面 170cm 处（参考点 41）	0.343	2000（年工作时间）	1/40	0.017
	PET 注射后候诊室 2 楼下地面 170cm 处（参考点 48）	0.343	2000（年工作时间）	1/40	0.017
	SPECT 留观室楼下地面 170cm 处（参考点 87）	9.57×10^{-6}	2000（年工作时间）	1/40	4.79×10^{-7}
	PET 留观室楼下地面 170cm 处（参考点 55）	0.343	2000（年工作时间）	1/40	0.017
核医学科东南侧停车场、污物走廊处公众（一期工程） ⑤	PET 注射后候诊室东南墙表面 30cm（参考点 35、42）	6.13×10^{-3}	2000（年工作时间）	1/5	2.45×10^{-3}

注：核医学科东南侧混凝土墙体与一期工程停车场、污物走廊之间为土层，厚度约为 8m，取核医学

科东南侧剂量值最大（PET 注射后候诊室，0.392μSv/h）处计算，经距离衰减后剂量率约为 6.13×10^{-3}μSv/h。

根据表 11-13 可知，本项目核医学科所致四周公众年有效剂量最大约为 0.093mSv，所致楼上公众年有效剂量最大约为 0.094mSv，所致楼下公众年有效剂量最大约为 0.017mSv，50m 评价范围内其他公众距本项目核医学科相对较远，经距离的进一步衰减后，基本湮灭在环境本底辐射中，满足公众年有效剂量不超过 0.1mSv 的要求。

现有射线装置已超出本项目评价范围，经距离的衰减后，对本项目的影响很小，可忽略不计。

三、三废治理措施评价

1、放射性废水处理措施评价

医院拟在核医学科正下方（科教研综合楼负二楼）建设一间衰变室，衰变室内设置 1 套废水衰变系统，能够满足防腐、防渗、耐酸碱腐蚀的要求。

本项目核医学科中的 PET 和 SPECT 显像检查产生的放射性废水（排泄物及冲洗废水）经专用管道排至衰变系统，该衰变系统设有 3 个衰变池，单个衰变池有效容积为 $8.19m^3$，放射性废水可在该衰变系统中衰变 41 天，满足 HJ1188-2021 中“所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期”的要求。

（1）衰变池环境影响分析

参考《放射毒理学》（朱寿彭主编）给出的放射性核素的生理代谢规律，核医学门诊注射或口服的放射性药物在就诊时间内，约有 10%排入衰变池。

本项目核医学科 PET/CT 每小时大约可诊断 1 名患者，每小时排入放射性废水衰变系统的核素活度约为 10mCi/名×1 名×10%=1mCi。考虑到核素的衰变，2 小时排入放射性废水衰变系统的核素总活度为 1mCi（$1+e^{-0.693/1.83}$）；3 小时排入放射性废水衰变系统的核素总活度为 1mCi（$1+e^{-0.693/1.83}+(e^{-0.693/1.83})^2$）。依次类推，本项目核医学科每天最大门诊量约为 10 人，一天排入放射性废水衰变系统的核素总活度约为 1mCi（$1+e^{-0.693/1.83}+(e^{-0.693/1.83})^2+(e^{-0.693/1.83})^3+(e^{-0.693/1.83})^4\cdots\cdots+(e^{-0.693/1.83})^9$）≈3.10mCi，至第二天接纳新的放射性废水时，前一天的放射性废水已至少衰变 12h，前一天放射性废水中核素总活度已衰变至 0.032mCi，相对第二天的放射性废水中的核素活度可忽略不计。

本项目核医学科 SPECT/CT 每小时大约可诊断 3 名患者，每小时排入放射性废水衰变系统的核素活度约为 25mCi/名×3 名×10%=7.5mCi。考虑到核素的衰变，2 小时排入放

射性废水衰变系统的核素总活度为 7.5mCi（$1+e^{-0.693/6.02}$）；3 小时排入放射性废水衰变系统的核素总活度为 7.5mCi（$1+e^{-0.693/6.02}+(e^{-0.693/6.02})^{2}$）。依次类推，本项目核医学科每天最大门诊量约为 25 人，一天排入放射性废水衰变系统的核素总活度约为 7.5mCi（$1+e^{-0.693/6.02}+(e^{-0.693/6.02})^{2}+(e^{-0.693/6.02})^{3}+(e^{-0.693/6.02})^{4}+(e^{-0.693/6.02})^{5}+(e^{-0.693/6.02})^{6}+(e^{-0.693/6.02})^{7}$）≈41.5mCi，至第二天接纳新的放射性废水时，前一天的放射性废水已至少衰变 12h，前一天放射性废水中核素总活度已衰变至 10.4mCi，相对第二天的放射性废水中的核素活度较小。

本项目衰变室四周墙体为 200mm 实心砖+8mm 铅当量硫酸钡防护涂料、顶部为 220mm 混凝土+8mm 铅当量硫酸钡、防护门为 8mmPb，保守将衰变池作为点源，衰变池的中心至衰变室墙体表面 30cm 辐射剂量率计算结果见表 11-14。

表 11-14　核医学科衰变池外辐射水平估算结果

序号	参考点位置	源强（mCi）		屏蔽材料及厚度	屏蔽距离（m）	透射比	参考点辐射水平（μSv/h）	
1	衰变室东北墙外 30cm 处	^{18}F	3.10	200mm 实心砖+8mm 铅当量硫酸钡	7.42	0.057	0.017	0.017
		^{99m}Tc	41.5		7.42	5.62×10^{-10}	4.75×10^{-10}	
2	衰变室东南墙外 30cm 处	^{18}F	3.10		5.3	0.057	0.033	0.033
		^{99m}Tc	41.5		5.3	5.62×10^{-10}	9.31×10^{-10}	
3	衰变室西南墙外 30cm 处	^{18}F	3.10		2.53	0.057	0.146	0.146
		^{99m}Tc	41.5		2.53	5.62×10^{-10}	4.09×10^{-9}	
4	衰变室西北墙外 30cm 处	^{18}F	3.10		4.135	0.057	0.055	0.055
		^{99m}Tc	41.5		4.135	5.62×10^{-10}	1.53×10^{-9}	
5	衰变室顶部 30cm 处	^{18}F	3.10	220mm 混凝土+8mm 铅当量硫酸钡	3.42	0.019	0.027	0.027
		^{99m}Tc	41.5		3.42	1.00×10^{-10}	3.98×10^{-10}	
6	衰变室防护门表面 30cm 处	^{18}F	3.10	8mmPb	4.135	0.330	0.317	0.317
		^{99m}Tc	41.5		4.135	1.00×10^{-8}	2.72×10^{-8}	

由表 11-14 估算结果可知，衰变池周围辐射剂量率最大为 0.317μSv/h，满足不大于 2.5μSv/h 的管理目标限值要求。本项目衰变池拟建址位于核医学科正下方（科教研综合楼负二层），衰变室四周为停车场及各类设备及辅助用房，基本无公众在此逗留，衰变室顶部为核医学科，下方为土层。本项目衰变室对周围公众辐射影响很小。

（2）放射性废水管道外环境影响分析

本项目核医学科的放射性废水排水管道位于地下二层的吊顶处，管道外包裹 5mm 铅皮，管道从衰变室顶部进入衰变室。无曝露于地面的放射性废液管道。

参考《放射毒理学》（朱寿彭主编）给出的放射性核素的生理代谢规律，核医学门诊注射或口服的放射性药物在就诊时间内，约有 10%的放射性核素排出体外。本项目保守假设患者服药量 10%的药物一次性排出体外。放射性废水排水管道外包裹 5mm 铅皮。

本项目计算放射性废水管道对外环境的辐射影响时，参照《辐射防护导论》P78 公式（c）：

$$K_{\alpha}=\frac{2A\Gamma_{K}}{Lr}tg^{-1}\frac{L}{2r}.\eta \qquad （式 11-11）$$

式中：

K_{α} —周围计量当量率，μSv/h；

L —线源长度，本项目横管最短约为 14m；

r —参考点至线源的垂直距离，m；

A —线源活度，MBq；

Γ_K —距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为 μSv·m^2·MBq^{-1}·h^{-1}

表 11-15 放射性废水排水管道表面 30cm 处辐射水平计算结果一览表

核素	A（MBq）	Γ（μSv•m^2/(MBq•h)）	L（m）	r（m）	η	K_{α}（μSv/h）
^{18}F	37	0.143	14	0.5	0.5	1.133

注：①^{18}F、^{99m}Tc 核医学诊断项目患者，排泄物内核素活度排泄比率保守按 10%进行计算，源强按照单次排放 ^{18}F、^{99m}Tc 的活度计算；

② ^{18}F、^{99m}Tc 共用管道，选取影响最大的 ^{18}F 进行计算。

由表 11-15 可知，本项目核医学科放射性废水排水管道表面 30cm 处的辐射剂量率最大约为 1.133μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中：曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施，以保证其外表面 30cm 处的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h 的要求。对周围环境辐射影响很小。

2、放射性固体废物处理措施评价

本项目核医学科产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物先装入利器盒中，再放入废物铅桶的专用塑料袋中，每日工作结束后集中收集密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在核医学科废物间的废物桶内（防护厚度不低于 10mmPb），其中所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固废暂存至少 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固废暂存至少十个半衰期。沾有核素 ^{89}Sr 的放射性固体废物单独收集，自然衰变至少 505 天。核医学科通风系统更换的废活性炭集中收集放置在放射性废物间的废物桶内，暂存至少 33 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、β表面沾污小于 0.8Bq/cm^2 后，作为医院医疗废物统一处理。

本项目退役的校准源 ^{22}Na 贮存在储源罐中，放置在储源室内，最终由原生产厂家回收或由省城市放射性废物库回收处置，满足相关要求，对周围环境辐射影响很小。

此外，医院应安排专人负责放射性固体废物的存储和处理，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性固体废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。采取上述措施后，方能满足放射性固体废物的辐射安全管理要求。

由上述可知，本项目放射性固体废物的处理措施有效可行，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关放射性固体废物处理的要求。本项目放射性固体废物本身沾染的放射性核素活度浓度较低，各房间每天产生的放射性固体废物较少，经过各房间废物铅桶的屏蔽后，废物铅桶外的辐射剂量率满足小于 2.5μSv/h 的要求，对周围环境辐射影响很小。

3、放射性废气处理措施评价

本项目核医学科内场所和手套箱均设计有独立的排风系统，监督区相对清洁区为微负压，控制区相对监督区为负压，手套箱相对控制区为负压，保证工作场所内的空气由清洁区向监督区再向控制区流动。核医学科内空气经排风管道引至核医学科专用排风井，再经排风井引至科教研综合楼（17 层）的楼顶排放，排风口处设有活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。手套箱分别在箱体顶部和排风口处设置两级活性炭过滤系统，场所的排风管道在排风口处设置一级活性炭过滤系统。科教研综合楼共 17 层，建筑高度约为 80.8m，周围 50m 范围内无高层建筑，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中排气口应高于本

建筑物屋顶并安装专用过滤装置的要求，对周围环境辐射影响很小。

4、非放废物处理措施评价

（1）项目运行期间产生的生活污水将依托医院的污水处理系统进行处置；办公垃圾将依托医院的保洁措施，分类收集后交由环卫部门统一处理，对周围环境影响很小。

（2）PET/CT 扫描室、SPECT/CT 扫描室产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，臭氧常温下自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

采取上述措施后，本项目的废物处置方式合理恰当，能够满足当前环保管理的要求。

事故影响分析

1、本项目核医学科可能产生的辐射事故主要有：

（1）由于保管或管理工作不到位导致放射性药物、校准源丢失、被盗等情况导致公众受到大剂量照射。

（2）操作人员违反操作规程或误操作导致操作台面、地面或仪器设备受到表面沾污。

（3）射线装置机房门-机联锁失效或操作人员失误，人员误入机房，造成误照射。

（4）放射性废物、废水、废气管理或处置不当，可能对环境造成污染和对公众造成危害。

（5）给药后患者未按要求在相应的场所内等候、留观，在本项目核医学科工作场所以外的区域随意走动，导致公众受到照射。

2、事故预防措施

（1）制定放射性药物安全管理制度，在日常工作中，设置专人负责放射性药物的管理，做好日常检查，防止放射性药物丢失、被盗。

（2）工作人员进行岗前培训，合格后方可上岗；制定完善的操作规范，对辐射工作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物洒漏事故的发生。操作过程中，操作者应穿戴防护服、防护眼镜及手套，如果意外事故下放射性液体溅到皮肤上，立即用自来水冲洗。

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

（4）加强放射性废物的管理，对放射性废物制定放射性三废的处理制度，设置放射性废物专职管理员，对放射性废物单独收集，按照国家规定处理，并做好相应的记录。

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

3、应急处理措施

（1）当发生放射性药物丢失、被盗时，应立即启动本单位辐射事故应急措施，封锁现场，工作场所外划出警戒范围，设置明显的电离辐射警告标志，禁止相关人员入内，并第一时间将事故情况通报有关主管部门（生态环境、公安、卫生健康等），向主管部门提供有用线索，并积极配合主管部门查找丢失的放射性药物。

（2）当发生液态放射性药物泼洒、泄漏导致的表面沾污事故时，应及时去污，尽量转移至放射性固废。如：迅速用吸附衬垫或滤纸吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。去污结束后，需用α、β表面沾污仪测量污染区，如果β表面污染大于40Bq/cm^2，表明该污染区未达到去污控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，确保符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中表B11对于控制区的要求。

（3）如发生误照射，应立即切断电源，确保射线装置停止工作，误入或误留人员应在最短的时间内撤离机房。

（4）当放射性废物管理或处置不当造成污染时，应立即划定警戒区，设置放射性污染标识，限制人员随意走动或靠近，由专业人员处理，现场处置任务的工作人员应佩带防护用具及个人剂量计和剂量报警仪。根据现场辐射强度，确定工作人员在现场处置的工作时间，现场经监测满足解控要求后方可解除警戒，并尽可能记录下现场有关情况，对工作人员可能受到的事故照射剂量，可针对事故实际情况进行评估，并对工作人员进行健康检查和跟踪，按照国家有关放射卫生防护标准和规范以及相关程序，评估事故对工作人员健康的影响。对可能受到大剂量照射的人员，应及时送医院检查和治疗。

（5）一旦发现给药后患者在核医学工作场所内随意走动，不在规定的区域内停留，工作人员应立刻通过语音系统告知，使患者回到规定的区域内。

医院应加强管理，严格要求辐射工作人员按照操作规程进行操作，并在实际工作中不断对辐射安全管理制度进行完善，加强职工辐射防护知识的培训，定期检查辐射安全措施的有效性，定期对工作场所进行检测，定期、具有针对性的对可能发生的放射事故进行演练，尽可能避免辐射事故的发生。

发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，同时在 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。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

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

医院已成立了专门的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，并以文件形式明确了各成员管理职责。医院辐射防护专职管理人员及现有辐射工作人员均已参加辐射安全和防护的培训，培训证书均在有效期内。

本项目辐射工作人员均为新招工作人员。医院应组织新进人员通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（网址：http：//fushe.mee.gov.cn）报名，学习核医学的辐射安全和防护知识，通过考核后，方能满足辐射工作人员的岗位要求。同时，医院应为本项目新增辐射工作人员配备个人剂量计并定期送检，定期组织其进行职业健康体检，建立个人剂量档案及职业健康档案。

医院应及时关注辐射工作人员辐射安全和防护专业知识的培训时间，辐射安全培训合格证书快到期人员应当及时通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名，重新学习并通过相应考核后，方能继续从事辐射工作。

辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中的有关要求，昆山市中医医院已针对现有核技术利用项目制定了相关的辐射安全管理制度，主要有《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《岗位职责》、《设备检修维护制度》、《人员培训计划》、《监测方案》、《台账管理制度》及《辐射事故应急预案》等，医院制定的辐射安全管理规章制度具有一定的针对性和可操作性，满足现有核技术利用项目对辐射安全管理规章制度的需求。

医院还应根据本项目具体情况对现有辐射安全管理规章制度进行补充和完善，本报

告对各项制度需补充的要点提出以下建议：

辐射防护和安全保卫制度：根据本项目的具体情况补充完善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，确保辐射安全装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测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；

⑤做好辐射工作场所的安全保卫工作，并定期检查。

操作规程：根据本项目的具体情况补充制定放射性药物的操作规程，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。

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，并层层落实。

设备检修维护制度：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。

放射性同位素、射线装置使用登记制度：针对本项目具体情况完善使用登记制度，规范放射性药物、校准源、射线装置台账和使用登记记录，对购入的放射性药物、校准源、射线装置的使用情况进行专人登记和跟踪记录，确保正确无误、账物相符。

人员培训计划：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，内外结

合，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。辐射工作人员应当及时通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名，自主学习并报名参加考核，通过考核后，方能继续从事辐射工作。同时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、最新的操作技术等。

个人剂量监测方案和职业健康管理：明确辐射工作人员开展辐射工作时均应佩戴个人剂量计，个人剂量计定期送有资质部门进行监测，明确个人剂量计的佩戴和监测周期，个人剂量监测结果及时告知辐射工作人员，使其了解其个人剂量情况，以个人剂量检测报告为依据，严格控制职业人员受照剂量，防止个人剂量超标；明确辐射工作人员进行职业健康体检的周期，建立个人累积剂量和职业健康体检档案。

辐射环境监测方案：针对本项目完善辐射环境监测方案，明确本项目日常工作的监测项目和监测频次，监测结果定期上报生态环境行政主管部门。

事故应急方案：针对本项目可能产生的辐射事故补充完善辐射事故应急方案，明确相应的辐射防护措施及事故处理程序等，并完善预案中应急机构的组成、职责分工、应急人员的培训、事故报告制度、辐射防护措施及事故处理程序等。当发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后1小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，同时在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。

监测异常报告制度：明确按照有关标准、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；当发现辐射工作场所及周围环境监测出现异常情况的，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部门报告；当发现个人剂量监测结果异常的，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。

辐射监测

1、监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用放射性同位素和射线装置的单位，应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量报警、便携式辐射监测、表面污染监测等设备，对直接从事使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

医院应为本项目配备 1 台环境辐射巡测仪，2 台α、β表面沾污仪（1 台用于辐射工作人员的表面污染测定，1 台用于工作场所的表面污染测定）、4 台个人剂量报警仪，

个人剂量报警仪可放置在控制室的控制台和高活室/分装室内。落实后，能够满足辐射监测仪器配备要求。

2、监测方案

根据国家相关法律法规要求，开展辐射工作的单位应当对其工作场所防护以及放射工作人员职业受照情况定期开展自主或者委托监测，以保障辐射工作的正常开展以及人员的健康和安全。医院已根据现有核技术利用项目制定了相应的辐射监测计划，并已认真落实以上监测方案，并于每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统提交了上一年度的评估报告。

本项目监测计划如下：

（1）个人剂量和职业健康监测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《职业性外照射个人监测规范》中的相关要求，医院委托有资质的单位定期（不少于 1 次/3 个月）对辐射工作人员个人剂量进行监测，并建立辐射工作人员个人剂量档案，个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《放射工作人员健康要求及监护规范》中的相关要求，医院组织辐射工作人员定期进行职业健康检查，职业健康检查包括上岗前、在岗期间、离岗时、受到应急照射或者事故照射时的健康检查，以及职业性放射性疾病患者和受到过量照射的放射工作人员的医学随访观察；放射工作人员在岗期间职业健康检查周期为 1~2 年，但不得超过 2 年，必要时可适当增加检查次数。医院对从事辐射工作的工作人员建立并终生保存职业健康监护档案，并由专人负责管理。

（2）工作场所及周围环境监测

昆山市中医医院应根据辐射管理要求，制定如下监测方案：

（1）请有资质单位定期对辐射工作场所及周围环境辐射水平以及核医学科的表面污染水平进行监测，每年 1～2 次；

（2）定期请有资质的单位对产生辐射的仪器设备进行防护监测，包括仪器设备防护性能的检测，每年 1～2 次；

（3）辐射工作人员佩带个人剂量计监测累积剂量，定期（不少于 1 次/三个月）送有资质部门进行个人剂量测量，并建立个人剂量档案；

（4）所有辐射工作人员上岗前进行职业性健康体检，以排除职业禁忌症。开展辐

射工作后，定期开展职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立个人职业健康档案；

（5）利用自配备的辐射监测仪器对医院的辐射工作场所定期进行自主监测，并记录档案。

本项目落实上述监测方案后，方能满足辐射安全管理的要求。本项目核医学科监测方案见表 12-1。

表 12-1　本项目核医学科辐射监测计划

监测项目	监测类型	监测因子	监测单位和监测频次	监测点位	控制要求
工作场所监测	竣工环保验收监测	X-γ辐射剂量率、β表面沾污	请有资质单位监测，建设项目竣工后 3 个月内	参考 HJ 1188-2021 中的表 1	见评价标准中表面污染控制水平和辐射剂量率控制水平
	年度监测	X-γ辐射剂量率、β表面沾污	请有资质单位监测，不少于 1 次/年		
	日常监测	X-γ辐射剂量率、β表面沾污	X-γ辐射剂量率自主监测不少于 1 次/月，β表面沾污自主监测为每次工作结束后进行监测（出现放射性药物洒落应及时进行监测）		
个人剂量监测	/	职业性外照射个人剂量	定期送有资质部门进行监测，不少于 1 次/三个月	/	/

辐射事故应急

依照国家环保总局的《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号文）中的有关要求，辐射事故可分为特别重大辐射事故、重大事故、较大事故和一般辐射事故。本项目事故多为放射性药物的丢失、被盗或泼洒而发生污染，校准源的丢失、被盗以及开机误照射。

为加强辐射工作过程中的辐射安全和管理，预防和控制放射性突发事故的发生而造成的危害，保障辐射工作人员和周围公众的健康与安全，医院已根据现有核技术利用项目制定了事故应急方案，应急方案内容包括：

（1）应急机构和职责分工；

（2）辐射事故分级与应急响应措施；

（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）应急演习计划；

（5）辐射事故调查、报告和处理程序。

医院还应根据本项目核医学科可能产生的辐射事故对辐射事故应急方案进行补充和

完善，明确相应的辐射防护措施及事故处理程序等，使其具有一定的操作性。医院应加强管理，加强职工辐射防护知识的培训，学习结束后应进行总结，积极开展辐射应急演习，发现问题及时解决，并在实际工作中不断完善辐射安全管理制度，尽可能避免辐射事故的发生，确保辐射工作安全有效运转。

当发生辐射事故时，应当立即启动事故应急方案，采取必要的防范措施，并在事故发生后1小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，同时在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。

表 13 结论与建议

结论

1、项目概况

为了改善城区及周边群众门诊服务质量，提升当地和周边区域群众的医疗服务水平，昆山市中医医院（昆山西部医疗中心）拟在科教研综合楼东南部负一楼建设一座核医学科，配备1台PET/CT、1台SPECT/CT、2枚^{22}Na V类校准源，使用放射性核素^{18}F、^{99m}Tc、^{201}Tl、^{67}Ga、^{111}In、^{123}I 、^{89}Sr、^{153}Sm、^{188}Re开展核素诊断和治疗，日等效最大操作量为1.51×10^{8}Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。

2、实践正当性评价

本项目投入使用能够更好的满足患者的就诊需求，在做好辐射防护的基础上，本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益能够弥补其可能引起的辐射危害，该项目符合《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。

3、选址、布局合理性评价

昆山西部医疗中心位于江苏省昆山市巴城镇前进西路北侧、祖冲之路西侧、通澄南路东侧，本次核医学科项目拟建于医院新院区科教研综合楼东南部负一楼，并与非放射性工作场所有明确的分界隔离，不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区，周围无环境制约因素，项目选址合理。

本项目核医学科设有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，制定相应的制度使进药时间与就诊时间错开，工作人员控制区出入口设有卫生缓冲区，注射放射性药物后的患者与注射放射性药物前的患者不交叉，患者在控制区内为单向流动，注射后候诊室和留观室内设有用药患者的专用卫生间，可有效避免工作人员、患者与放射性药物之间的交叉污染，布局合理。

本项目将核医学科的高活室/分装室、储源室、废物间、PET/CT 扫描室、SPECT/CT 扫描室、患者走廊、运动功能室、抢救室、留观室、注射后候诊室（含卫生间）、留观室（含卫生间）、库房、清洁间、衰变室、备用间 1、备用间 2 作为控制区，将未注射人员候诊室、预约登记、诊室、卫生通过间（包括卫生间、淋浴间、更衣/缓冲间）、医护走廊、控制室、主任室、医生办公室、示教室/阅片室、更衣间、设备间、患者出口走廊、患者出口专用电梯厅及电梯、排风机房作为监督区，符

合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中有关辐射工作场所的分区规定。

4、辐射防护措施评价

本项目核医学科东南侧墙体采用混凝土结构，其余墙体采用实心砖+硫酸钡涂料/铅板，顶部和底部采用混凝土+硫酸钡防护涂料，门采用铅防护门，观察窗、注射窗采用铅玻璃等实体屏蔽防护措施；根据理论预测及分析，本项目核医学科的屏蔽防护设计满足辐射防护要求，辐射剂量率满足相应剂量率管理限值。

5、辐射安全措施评价

本项目核医学科拟采取的辐射安全措施主要有：工作状态指示灯、防夹和自动闭门装置、门禁和监控系统、电离辐射警告标志、单向门及门禁、监控及对讲系统、自动闭门装置、导向标识、双人双锁等。

落实以上辐射安全和防护措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全防护要求。

6、辐射防护监测仪器评价

医院应至少配备 1 台辐射巡测仪，还应为本项目核医学科配备 2 台α-β表面沾污仪、4 台个人剂量报警仪。落实后，方能满足辐射监测仪器配备要求。

7、保护目标剂量评价

根据理论估算结果，本项目在做好个人防护措施、安全措施的情况下，辐射工作人员和公众年有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和本项目管理目标（职业人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）的剂量约束值要求。

8、放射性废物处理措施评价

（1）放射性废水处理措施评价

医院拟在核医学科正下方新建一个衰变室，衰变室内配备一套衰变系统，可使放射性废水在该衰变系统中至少衰变 41 天，满足 HJ1188-2021 中“所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期”的要求。本项目核医学科产生的放射性废水通过专用管道排至放射性废水衰变系统，暂存满足上述要求后，直接排至医院的污水处理系统作为医疗废水处理，满足放射性废水处置要求。

（2）放射性废气处理措施评价

本项目核医学科内场所和手套箱均设计有独立的排风系统，监督区相对清洁区为

微负压，控制区相对监督区为负压，手套箱相对控制区为负压，保证工作场所内的空气由清洁区向监督区再向控制区流动。核医学科内空气经排风管道引至核医学科专用排风井，再经排风井引至科教研综合楼（17 层）的楼顶排放，排风口处设有活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。手套箱分别在箱体顶部和排风口处设置两级活性炭过滤系统，场所的排风管道在排风口处设置一级活性炭过滤系统。科教研综合楼共 17 层，建筑高度约为 80.8m，周围 50m 范围内无高层建筑，满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置的要求，对周围环境辐射影响很小。

（3）放射性固体废物处理措施评价

本项目核医学科的核素诊断和治疗所产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶内，废物铅桶内放有专用塑料袋，注射器针头等尖刺和棱角的放射性废物先装入利器盒中，再放入废物铅桶的专用塑料袋中，每日工作结束后进行分类收集，收集后密封并贴上标签（标明核素种类、存放日期等信息）放置在核医学科废物间的废物箱内。所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固废暂存至少 30 天，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固废暂存至少十个半衰期，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、β表面沾污小于 0.8Bq/cm^2 后，作为医院医疗废物统一处理。

本项目核医学科场所通风系统更换的废活性炭集中收集放置在放射性废物间的废物桶内，暂存至少 33 天，并经监测辐射剂量率处于所处环境本底水平、β表面沾污小于 0.8Bq/cm^2 后，作为非放射性固体废物处理。

本项目退役的校准源 ^{22}Na 贮存在储源罐中，放置在储源室内，最终由原生产厂家回收或送省城市放射性废物库收贮，满足相关要求。

本项目放射性废物的收集和处理方法基本合理，放射性废物处置得当，符合《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关放射性固体废物处理的要求。

9、通风措施评价

本项目 PET/CT 扫描室、SPECT/CT 扫描室拟设置机械排风装置，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中机房应设置动力通风装置并保持良好通风的要求，各机房产生的臭氧和氮氧化物由通风系统排出，臭氧在常温下约 50min 自动分解为氧气，对周围环境影响很小。

10、辐射安全管理评价

昆山市中医医院已成立了专门的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，并将以文件形式明确各成员的管理职责。医院辐射安全专职管理人员和本项目辐射工作人员应参加并通过辐射安全和防护的培训及考核，医院应为辐射工作人员配备个人剂量计并定期送检，定期组织辐射工作人员进行职业健康体检，建立个人剂量监测档案及职业健康监护档案。医院还应根据本项目具体情况制定各项管理制度，同时在工作中将其落到实处，确保辐射工作的安全。医院在落实上述各项辐射防护措施及管理要求后，医院将具备从事本项目辐射活动的综合能力。

可行性结论：

综上所述，昆山市中医医院新建核医学科项目在落实本报告所提出的各项污染防治和管理措施后，该院具备与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响较小，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设运行是可行的。

建议与承诺

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

（2）项目取得批复并建成后，应根据有关规定及时申领辐射安全许可证。

（3）建设项目取得辐射安全许可证后，公司应按照国务院生态环境行政主管部门规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用，并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

除需要取得排污许可证的水和大气污染防治设施外，其他环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月；需要对该类环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。

验收期限是指自建设项目环境保护设施竣工之日起至建设单位向社会公开验收报告之日止的时间。

本项目竣工环保验收“三同时”检查内容见附表。

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

附表

“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	医院成立专门的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，并以文件形式明确各成员的管理职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用放射性同位素和射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构的管理或者至少有 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的要求。	/
辐射安全和防护措施	**屏蔽措施:** 核医学科采用实体屏蔽防护措施，具体见表 10-2。	辐射工作场所表面外辐射剂量率满足本项目辐射剂量管理限值要求，辐射工作人员和周围公众年受照剂量应满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年受照剂量不超过 5mSv，公众年受照剂量不超过 0.1mSv。	260.0
	核医学科辐射安全措施：工作状态指示灯、防夹和自动闭门装置、门禁和监控系统、电离辐射警告标志、单向门及门禁、监控及对讲系统、自动闭门装置、导向标识、双人双锁等。	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）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的相关要求。	
人员配备	本项目辐射工作人员应参加并通过辐射安全和防护专业知识的培训和考核。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核的管理要求。	5.0
	本项目辐射工作人员配备个人剂量计，每 3 个月定期送检，并建立辐射工作人员个人剂量档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展个人剂量监测的管理要求。	
	本项目辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立职业健康监护档案。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射工作人员必须开展职业健康体检的管理要求。	

监测仪器和防护用品	核医学科配备 1 台辐射巡测仪、2 台表面沾污仪、4 台个人剂量报警仪 配备 6 套铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖、铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中辐射监测仪器和《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中防护用品的配置要求。	5.0
辐射安全管理制度	针对本项目具体情况对已制定的《辐射防护和安全保卫制度》、《操作规程》、《岗位职责》、《设备检修维护制度》、《人员培训计划》、《监测方案》、《台账管理制度》及《辐射事故应急预案》等辐射安全管理制度进行补充和完善，在之后的实际工作中落实到实处。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用放射性同位素和射线装置的单位需具备有健全的辐射安全管理制度的管理要求。	/
放射性“三废”处理措施	**放射性废水处理措施：**医院拟在核医学科正下方新建一个衰变室，衰变室内配备一套衰变系统，衰变系统可满足 HJ1188-2021 中“所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期”的要求。本项目核医学科产生的放射性废水通过专用管道排至放射性废水衰变系统，暂存满足上述要求后，直接排至医院的污水处理系统作为医疗废水处理。	满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中放射性废水处置要求。	220.0
	放射性废气处理措施：核医学科内场所和手套箱均设计有独立的排风系统，手套箱的风速不小于 0.5m/s，工作场所内的空气由清洁区向监督区再向控制区流动，控制区内空气经排风管道引至排风井，再经排风井引至科教研综合楼的楼顶排放，排风口处设有活性炭过滤装置对放射性气溶胶进行吸附。	满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中排气口应高于本建筑物屋顶并安装专用过滤装置的要求。	

	放射性固体废物处理措施：核医学科通风系统更换的废活性炭集中收集放置在放射性废物间的废物桶内，核医学科产生的放射性固体废物先暂存在各房间的废物铅桶内，每日工作结束后集中收集密封并贴上标签放置在放射性固废间的废物桶内，沾有核素 ^{89}Sr 的放射性固体废物集中收集，自然衰变至少 505 天。并经检测辐射剂量率处于所处环境本底水平、β表面沾污小于 0.8Bq/cm²后，作为医院医疗废物统一处理。	满足《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）及《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中有关放射性固体废物处理的要求。	
	退役的校准源 ^{22}Na 贮存在储源罐中，放置在校准源室内，最终由原生产厂家回收或送省城市放射性废物库收贮。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中关于放射性废源处置的要求。	
通风措施	PET 和 SPECT 扫描室内设置机械通风系统	满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中机房应设置动力通风装置并保持良好通风的要求。	10.0

注：“三同时”措施应与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。