核技术利用建设项目

常熟美迪柯医院有限公司扩建项目

（辐射专项）环境影响报告表

常熟美迪柯医院有限公司

2025 年 5 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

常熟美迪柯医院有限公司扩建项目

（辐射专项）环境影响报告表

建设单位名称：常熟美迪柯医院有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：常熟市虞山街道长江路618号，620、622号二楼

邮政编码：215500　　联系人：黄建江

电子邮箱：Huangjj-141@163.com　　联系电话：18962320206

目 录

表 1 项目基本情况 ..... - 1 -
表 2 放射源 ..... - 9 -
表 3 非密封放射性物质 ..... - 9 -
表 4 射线装置 ..... - 12 -
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） ..... - 13 -
表 6 评价依据 ..... - 17 -
表 7 保护目标与评价标准 ..... - 21 -
表 8 环境质量和辐射现状 ..... - 30 -
表 9 项目工程分析与源项 ..... - 40 -
表 10 辐射安全与防护 ..... - 80 -
表 11 环境影响分析 ..... - 93 -
表 12 辐射安全管理 ..... - 140 -
表 13 结论与建议 ..... - 146 -
表 14 审批 ..... - 154 -
附图 1 常熟美迪柯医院有限公司扩建项目（辐射专项）地理位置示意图 ..... - 155 -
附图 2 常熟虞山天地休闲中心总平面布置示意图 ..... - 156 -
附图 3 常熟美迪柯医院有限公司平面布置和周围环境示意图 ..... - 157 -
附图 4 常熟美迪柯医院有限公司扩建院区一楼（101 房屋）平面布局示意图 ..... - 158 -
附图 5 常熟美迪柯医院有限公司扩建院区二楼（201 房屋）平面布局示意图 ..... - 159 -
附图 6 常熟美迪柯医院有限公司扩建院区三楼（301 房屋）平面布局示意图 ..... - 160 -
附图 7 常熟美迪柯医院有限公司扩建院区四楼（401 房屋）平面布局示意图 ..... - 161 -
附图 8 常熟美迪柯医院有限公司扩建院区负一楼平面布局示意图 ..... - 162 -
附图 9 核医学一区影像区放射性废水下水管道布设示意图 ..... - 163 -
附图 10 核医学一区治疗区放射性废水下水管道布设示意图 ..... - 164 -
附图 11 核医学二区（三楼）放射性废水下水管道布设示意图 ..... - 165 -
附图 12 核医学三区（四楼）放射性废水下水管道布设示意图（预留） ..... - 166 -
附图 13 本项目衰变池结构设计示意图（1） ..... - 167 -
附图 14 本项目衰变池结构设计示意图（2） ..... - 168 -

附图 15 核医学一区核素实验室、影像区排风管道布设示意图 ..... - 169 -
附图 16 核医学一区治疗区排风管道布设示意图 ..... - 170 -
附图 17 核医学二区（三楼）排风管道布设示意图 ..... - 171 -
附图 18 核医学二区（四楼）排风管道布设示意图 ..... - 172 -
附件 1 项目委托书 ..... - 173 -
附件 2 非密封放射性物质、射线装置使用承诺书 ..... - 174 -
附件 3 辐射安全许可证 ..... - 177 -
附件 4 辐射环境现状监测报告 ..... - 182 -
附件 5 常熟美迪柯医院有限公司扩建项目备案证 ..... - 194 -
附件 6 常熟美迪柯医院有限公司扩建项目环评及其批复文件 ..... - 195 -
附件 7 江苏省生态环境分区管控综合查询报告书 ..... - 204 -
附件 8 常熟美迪柯医院增加执业地点项目社会稳定风险评估报告 ..... - 207 -

表 1　项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="8">常熟美迪柯医院有限公司扩建项目（辐射专项）</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="8">常熟美迪柯医院有限公司
（统一社会信用代码：91320581MA1N319F93）</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td colspan="2">**</td><td>联系人</td><td>黄**</td><td>联系电话</td><td colspan="2">189****0206</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="8">常熟市虞山街道长江路 618 号，620、622 号二楼</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="8">常熟市虞山北路 163 号虞山天地休闲中心 9 幢 101、201、301、401</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="3">常熟市行政审批局</td><td>批准文号</td><td colspan="3">常行审投备〔2024〕449 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td></td><td colspan="2">项目环保总投资（万元）</td><td></td><td colspan="2">投资比例（环保投资/总投资）</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="4">☐新建 ☐改建 ☑扩建 ☐其他</td><td colspan="2">占地面积（m^2）</td><td>/</td></tr>
<tr><td rowspan="8">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>☐销售</td><td colspan="7">☐Ⅰ类 ☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类 ☐Ⅳ类 ☐Ⅴ类</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="7">☐Ⅰ类（医疗使用）☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类 ☐Ⅳ类 ☐Ⅴ类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>☐生产</td><td colspan="7">☐制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="7">/</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="7">☑乙　☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>☐生产</td><td colspan="7">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="7">☐Ⅱ类 ☐Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="7">☑Ⅱ类 ☑Ⅲ类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="8">/</td></tr>
</table>

项目概述：

一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来

常熟美迪柯医院有限公司（以下简称“医院”）成立于 2016 年，位于常熟市虞山街道长江路 618 号，经营范围为诊疗科目：内科、外科、康复医学科；仅限门诊的科目为妇科、眼科、耳鼻咽喉科、口腔科、皮肤科、中医科、医疗美容科、医学检验科、医学影像科（X 线、CT、超声、心电诊断专业、核医学专业）、健康体检科。内设床位 19 张和 1 张抢救床。

现由于业务发展需求，建设单位拟在原有项目保持不变的情况下进行异地扩建，租赁位于常熟市虞山北路163号虞山天地休闲中心9幢101、201、301、401房屋（商业用房，建筑面积3167.45m^2）建设新院区，购置医学影像诊断设备、医疗急救设备和其他相关公用设施设备，设置医学影像科-核医学专业等诊疗科目，建成后拥有床位22张。常熟美迪柯医院有限公司扩建项目已编制建设项目环境影响报告表，并于2024年6月17日取得苏州市生态环境局的环评批复文件，详见附件6。

常熟美迪柯医院有限公司扩建项目辐射专项内容主要包括：

1、核医学一区：于租赁的101、201房屋新建核医学一区，核医学一区内容包括核素实验室、影像区及治疗区，核素实验室、影像区均位于一楼（即101房屋），治疗区位于二楼（即201房屋）。

（1）核素实验室外购^{188}W-^{188}Re（发生器）、^{68}Ge-^{68}Ga（发生器）及^{177}Lu、^{89}Zr、^{225}Ac、^{64}Cu、^{131}I、^{99m}Tc、^{18}F核素源液。^{188}W-^{188}Re（发生器）、^{68}Ge-^{68}Ga（发生器）用于淋洗^{188}Re、^{68}Ga核素，^{177}Lu、^{225}Ac、^{131}I、^{99m}Tc、^{18}F仅用于科研实验，^{188}Re、^{68}Ga、^{89}Zr、^{64}Cu用于开展科研实验及药物标记，标记的药物经质控后用于影像区的显像诊断。核素实验室拟配置3名辐射工作人员，年工作250天；

（2）影像区新增1台PET/CT（型号未定，最大管电压140kV，最大管电流1000mA）配合使用^{18}F、^{123}I、^{64}Cu、^{89}Zr、^{68}Ga开展核素显像诊断，新增1台SPECT/CT（型号未定，最大管电压140kV，最大管电流1000mA）配合使用^{99m}Tc、^{124}I开展显像诊断，其中^{18}F、^{123}I、^{99m}Tc、^{124}I均拟按需订购成品核素药物，^{64}Cu、^{89}Zr拟通过外购核素源液标记，^{68}Ga拟通过^{68}Ge-^{68}Ga（发生器）淋洗^{68}Ga标记。影像区拟配置6名辐射工作人员，年工作250天；

（3）治疗区新增1台CT开展医疗诊断，新增1台DSA（型号未定，最大管电压125kV，最大管电流1000mA）配合使用^{90}Y玻璃微球开展核素治疗，使用^{188}Re、^{89}Sr、^{223}Ra开展核素治疗，其中^{90}Y玻璃微球、^{89}Sr、^{223}Ra均拟按需订购成品核素药物，^{188}Re拟通过^{188}W-^{188}Re（发生器）淋洗^{188}Re标记。开展^{90}Y玻璃微球治疗时，患者前期诊断与后期复检均依托影像区SPECT/CT进行。治疗区拟配置5名辐射工作人员，年工作250天；

核医学一区合计日等效最大操作量为3.89×10^{9}Bq，属乙级非密封放射性物质工作场所。

2、核医学二区：于租赁的301房屋新建核医学二区，使用^{131}I开展甲状腺吸碘率

测定及甲亢治疗，使用 ^{177}Lu 开展核素治疗，^{131}I、^{177}Lu 均拟按需订购成品核素药物。核医学二区核素日等效最大操作量为 $2.59\times10^{9}Bq$，属乙级非密封放射性物质工作场所。核医学二区拟配置 3 名辐射工作人员，年工作 250 天；

3、核医学三区：于租赁的 401 房屋新建核医学三区，使用 ^{225}Ac、^{211}At 开展核素治疗，^{225}Ac、^{211}At 均拟按需订购成品核素药物。核医学三区核素日等效最大操作量为 $3.33\times10^{9}Bq$，属乙级非密封放射性物质工作场所。核医学三区拟配置 3 名辐射工作人员，年工作 250 天。

为保护环境和公众利益，防止辐射污染，根据《中华人民共和国环境影响评价法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《建设项目环境保护管理条例》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的规定，该项目需进行环境影响评价工作。

受常熟美迪柯医院有限公司的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了该单位扩建项目（辐射专项）的环境影响评价工作。依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第 16 号），本项目 DSA 及核医学属于“172 核技术利用建设项目”中的“使用Ⅱ类射线装置的；乙级非密封放射性物质工作场所”项目，确定为编制环境影响报告表。南京瑞森辐射技术有限公司在资料调研、项目工程分析、现场勘察及现场监测等工作的基础上，编制了该项目环境影响报告表。

常熟美迪柯医院有限公司扩建项目（辐射专项）情况见下表：

表 1-1 常熟美迪柯医院有限公司扩建项目（辐射专项）情况一览表

非密封放射性物质

核医学一区核素实验室

序号	核素名称	用途	单次实验/标记最大用量（mCi）	日最大实验/标记次数	日最大操作量（Bq）
1	^{177}Lu	科研实验	200	2 次	1.48E+10
2	$^{188}W/^{188}Re$	发生器储存	单个发生器 1000	/	3.70E+10
3	^{188}Re	科研及药物标记	100	3 次	1.11E+09
4	$^{68}Ge/^{68}Ga$	发生器储存	单个发生器 50	/	1.85E+09
5	^{68}Ga	科研及药物标记	10mCi	5 次	1.85E+09
6	^{99m}Tc	科研实验	50	3 次	5.55E+09

7	^{18}F	科研实验	10	3 次	1.11E+09
8	^{89}Zr	科研及药物标记	5	5 次	9.25E+08
9	^{225}Ac	科研	0.25	2 次	1.85E+07
10	^{64}Cu	科研及药物标记	10	5 次	1.85E+09
11	^{131}I	科研	20	10 次	7.40E+09

核医学一区影像区

序号	核素名称	用途	单个病人最大用量（mCi/人·次）/用药方式	日最大接诊量（人）	年最大接诊量（人）	日最大操作量（Bq）
1	^{99m}Tc	显像诊断	20（注射）	10	2500	7.40E+09
2	^{123}I	显像诊断	10（注射）	4	80	1.48E+09
3	^{99m}Tc	显像诊断（配合 ^{90}Y）	5（注射）	1	60	1.11E+10
4	^{18}F	显像诊断	10（注射）	15	3750	2.22E+10
		备药	上午：最大 280mCi 下午：最大 320mCi			
5	^{64}Cu	显像诊断	5（注射）	5	100	9.25E+08
6	^{124}I	显像诊断	5（注射）	5	100	9.25E+08
7	^{89}Zr	显像诊断	5（注射）	5	100	9.25E+08
8	^{68}Ga	显像诊断	5（注射）	5	100	9.25E+08

核医学一区治疗区

序号	核素名称	用途	单个病人最大用量（mCi/人·次）/用药方式	日最大接诊量（人）	年最大接诊量（人）	日最大操作量（Bq）
1	^{188}Re	核素治疗	100（注射）	3	150	1.11E+10
2	^{90}Y	核素治疗	约 189（注射）	1	60	7.00E+09
3	^{89}Sr	核素治疗	4（注射）	5	250	7.40E+08
4	^{223}Ra	核素治疗	0.1（注射）	10	300	3.70E+07

核医学二区

序号	核素名称	用途	单个病人最大用量（mCi/人·次）/	日最大接诊量（人）	年最大接诊量（人）	日最大操作量（Bq）

			用药方式			
1	^{131}I	甲状腺吸碘率测定	0.01（口服）	10	1000	3.70E+06
	^{131}I	甲亢治疗	10（口服）	10	1000	3.70E+09
2	^{177}Lu	核素治疗	200（注射）	3	150	2.22E+10

核医学三区

序号	核素名称	用途	单个病人最大用量（mCi/人·次）/用药方式	日最大接诊量（人）	年最大接诊量（人）	日最大操作量（Bq）
1	^{225}Ac	核素治疗	0.25（注射）	4	400	3.70E+07
2	^{211}At	核素治疗	20（注射）	4	400	2.96E+09

射线装置

序号	射线装置名称型号	数量	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	射线装置类别	工作场所名称	使用情况	环评及审批情况	备注
1	SPECT/CT（型号未定）	1	140	1000	Ⅲ	一区影像区 SPECT/CT 机房	未使用	本次环评	拟购
2	PET/CT（型号未定）	1	140	1000	Ⅲ	一区影像区 PET/CT 机房	未使用	本次环评	拟购
3	DSA（型号未定）	1	125	1000	Ⅱ	一区治疗区 DSA 机房	未使用	本次环评	拟购
4	CT（型号未定）	1	140	1000	Ⅲ	一区治疗区 CT 机房	未使用	本次环评	拟购

二、项目选址情况

常熟美迪柯医院有限公司扩建项目位于常熟市虞山北路 163 号虞山天地休闲中心 9 幢 101、201、301、401 房屋，101~401 房屋为虞山天地休闲中心 9 幢一至四层的东南部分。院区东南侧为山茶花路，西南侧为小路，西北侧为新半岛娱乐会所，东北侧为虞山天地休闲中心道路。本项目地理位置见附图 1，常熟美迪柯医院有限公司平面布置和周围环境示意图见附图 2。

医院拟在 101、201 房屋建设核医学一区，拟在 301 房屋建设核医学二区，拟在 401 房屋建设核医学三区。核医学一区下方为配电房、消防控制室、值班室、废水衰变间及车库，核医学三区上方无建筑（楼顶）。常熟美迪柯医院有限公司扩建项目（辐射专项）50m 评价范围东侧隔道路为山茶苑（最近处约 38m），东南侧隔道路为嘉安

特消防工程有限公司（最近处约25m），南侧隔道路为常熟市国土资源局虞山尚湖旅游度假区分局（最近处约35m），西南侧隔道路为常熟新宝德汽车销售服务有限公司（最近处约15m），西侧隔道路为山茶花6号楼（最近处约40m），西北侧为新半岛娱乐会所（毗邻），北侧隔广场为奶牛叔叔摄影美学馆（最近处约40m），东北侧隔广场为爱薇妮婚礼梦空间（最近处约28m），评价范围内除山茶花6号楼（居民楼）外，无居民区、学校等环境敏感点，项目运行后的环境保护目标主要为本项目辐射工作人员、其他非辐射工作人员、患者、患者家属、上述评价范围内人员及其他公众等。

常熟虞山天地休闲中心为商业用地，目前正常运行中；本项目为综合医院，提供经营性诊疗服务，属于商业服务，选址符合所在地土地利用规划要求。常熟虞山天地休闲中心9栋为独栋建筑，地面部分共4层，建筑屋顶高17.9m，周围无更高大建筑，核医学排风口设于建筑屋顶。虞山天地休闲中心9栋东南部分1~4楼由医院租赁，作为本项目拟建址；西北部分1~4楼为新半岛娱乐会所，与本项目毗邻，新半岛娱乐会所目前实际已停止运行，场所为空置状态。本项目拟建址与新半岛娱乐会所之间有实体墙隔断，出入口各自独立，人员、物流通道均无交叉。项目拟建址东侧山茶苑为休闲场所，不属于人员密集区域；项目拟建址西侧山茶苑6号楼为2层居民楼，人口密度较低。核医学废水衰变间设置于负一楼，废水衰变间为单独房间。本项目选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“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”“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”“核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑”的选址要求。常熟市人民政府虞山街道办事处委托苏州市安嘉禾土地房地产资产评估有限公司对常熟美迪柯医院有限公司新增执业地点开展了社会稳定风险评估，根据建设单位提供的《江苏省社会稳定风险评估评审表（试行）》（详见附件8）报告结论：常熟市常熟美迪柯医院增加执业地点项目的社会稳定风险等级为低风险，在做好相关预案及落实化解措施的情况下，建议予以实施。本项目选址具有合理性。

三、实践正当性分析

本项目的运行，可为病人提供多种医疗诊断和治疗服务，并可提高当地医疗卫生水平，具有良好的社会效益和经济效益，经辐射防护屏蔽和安全管理后，其获得的利益远大于对环境的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB

18871-2002）“实践的正当性”的原则。

四、原有核技术利用项目许可情况

常熟美迪柯医院有限公司现持有江苏省生态环境厅2024年2月20日颁发的辐射安全许可证，证书编号：苏环辐证[01354]，有效期至2028年1月3日，许可种类和范围为：使用Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。医院辐射安全许可证详见附件3。

医院现有的核技术利用项目均已履行环保手续，无历史遗留环保问题。医院现有的核技术利用项目情况详见表1-2。

表1-2 常熟美迪柯医院有限公司现有核技术利用项目情况一览表

放射源

序号	名称	活度（Bq）	类别	数量	活动种类	工作场所名称	环评、许可及验收情况	备注
1	^{68}Ge	3.5E+06	Ⅴ类	1	使用	医学影像科（PET/CT检查室）	已环评、已许可，尚未购买	/
2	^{68}Ge	5.5E+07	Ⅴ类	1	使用			/

非密封放射性物质

序号	名称	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	活动种类	工作场所名称	场所等级	环评、许可及验收情况	备注
1	^{11}C	3.7E+07	3.7E+10	使用	医学影像科（PET/CT影像科）	乙级	已环评、已许可，已分期自主验收	/
2	^{18}F	4.44E+06	1.15E+12	使用				
3	^{68}Ga	1.85E+07	1.85E+10	使用				
4	^{124}I	1.85E+08	1.85E+10	使用				
5	^{64}Cu	1.85E+07	1.85E+10	使用				

射线装置

序号	名称	规格型号	数量（台）	类别	工作场所名称	活动种类	环评、许可及验收情况	备注
1	口腔颌面锥形束计算机体层摄影设备	X-TREND	1	Ⅲ类	口腔科（牙CT机房）	使用	已登记备案	/
2	口内X射线机	Focus	1	Ⅲ类	口腔科（牙片机房）	使用	已登记备案	/
3	X射线计算机体层摄影	Revolution ACTs	1	Ⅲ类	医学影像科（CT检查室）	使用	已登记备案	/

	设备							
4	数字化医用X射线系统	uDR 266i	1	Ⅲ类	医学影像科（DR检查室）	使用	已登记备案	/
5	正电子发射断层及X射线计算机体层射线成像系统	Discovery IQ	1	Ⅲ类	医学影像科（PET-CT检查室）	使用	已环评、已许可、已自主验收	/

表 2　放射源

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

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

表 3　非密封放射性物质

序号	核素 名称	理化 性质	活动 种类	实际日最大 操作量（Bq）	日等效最 大操作量 （Bq）	年最大用 量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{177}Lu	液态	使用	1.48E+10	1.48E+09	1.48E+12	科研实验	简单操作	核医学一区核素实验室	按需订购，不贮存
2	^{188}W/^{188}Re	固态	使用	3.70E+10	3.70E+07	3.70E+11	核素发生器储存	源的贮存		贮存于操作间热室内
3	^{188}Re	液态	使用	1.11E+10	1.11E+09	5.55E+11	科研实验及药物标记	简单操作		按需淋洗，不贮存
4	^{68}Ge/^{68}Ga	固态	使用	1.85E+09	1.85E+06	3.70E+10	发生器储存	源的贮存		贮存于操作间热室内
5	^{68}Ga	液态	使用	1.85E+09	1.85E+07	3.70E+10	科研实验标记	简单操作		按需淋洗，不贮存
6	^{99m}Tc	液态	使用	5.55E+09	5.55E+07	3.33E+11	科研实验	简单操作		按需订购，不贮存

7	^{18}F	液态	使用	1.11E+09	1.11E+07	6.66E+10	科研实验	简单操作		按需订购，不贮存
8	^{89}Zr	液态	使用	9.25E+08	9.25E+07	1.85E+10	科研实验及药物标记	简单操作		按需订购，不贮存
9	^{225}Ac	液态	使用	1.85E+07	1.85E+08	9.25E+08	科研实验	简单操作		按需订购，不贮存
10	^{64}Cu	液态	使用	1.85E+09	1.85E+07	3.70E+10	科研实验及药物标记	简单操作		按需订购，不贮存
11	^{131}I	液态	使用	7.40E+09	7.40E+08	4.44E+11	科研实验	简单操作		按需订购，不贮存
12	^{99m}Tc	液态	使用	7.40E+09	7.40E+06	1.85E+12	显像诊断	很简单操作	核医学一区影像区	按需订购，不贮存
13	^{123}I	液态	使用	1.48E+09	1.48E+06	2.96E+10	显像诊断	很简单操作		按需订购，不贮存
14	^{99m}Tc	液态	使用	1.48E+09	1.48E+06	2.96E+10	显像诊断（配合 ^{90}Y）	很简单操作		按需订购，不贮存
15	^{18}F	液态	使用	5.55E+09	5.55E+06	5.55E+12	显像诊断	很简单操作		按需订购，不贮存
				2.22E+10	2.22E+07		核医学备药	源的贮存		按需订购，暂存于手套箱
16	^{64}Cu	液态	使用	1.85E+09	1.85E+07	3.70E+10	显像诊断	很简单操作		按需订购，不贮存
17	^{124}I	液态	使用	9.25E+08	9.25E+06	1.85E+10	显像诊断	很简单操作		按需订购，不贮存
18	^{89}Zr	液态	使用	9.25E+08	9.25E+06	1.85E+10	显像诊断	很简单操作		核素实验室按需提供，不贮存
19	^{68}Ga	液态	使用	9.25E+08	9.25E+06	1.85E+10	显像诊断	很简单操作		核素实验室按需提供，不贮存
20	^{188}Re	液态	使用	1.11E+10	1.11E+08	5.55E+11	核素治疗	很简单操作	核医学一区治疗区	核素实验室按需提供，不贮存

21	^{90}Y	液态	使用	7.0E+09	7.0E+07	4.20E+11	核素治疗	很简单操作		按需订购，不贮存
22	^{89}Sr	液态	使用	7.40E+08	7.40E+06	3.70E+10	核素治疗	很简单操作		按需订购，不贮存
23	^{223}Ra	液态	使用	3.70E+07	3.70E+07	1.11E+09	核素治疗	很简单操作		按需订购，不贮存
24	^{131}I	液态	使用	3.70E+06	3.70E+05	3.70E+08	甲状腺吸碘率测定	简单操作	核医学二区	按需订购，不贮存
25	^{131}I	液态	使用	3.70E+09	3.70E+08	3.70E+11	甲亢治疗	简单操作		按需订购，不贮存
26	^{177}Lu	液态	使用	2.22E+10	2.22E+09	1.11E+12	核素治疗	简单操作		按需订购，不贮存
27	^{225}Ac	液态	使用	3.70E+07	3.70E+07	3.70E+09	核素治疗	简单操作	核医学三区	按需订购，不贮存
28	^{211}At	液态	使用	2.96E+09	2.96E+08	2.96E+11	核素治疗	简单操作		按需订购，不贮存

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类	1 台	未定	140	1000	医疗诊断	核医学一区影像区 PET/CT 机房	/
2	SPECT/CT	Ⅲ类	1 台	未定	140	1000	医疗诊断	核医学一区影像区 SPECT/CT 机房	/
3	DSA	Ⅱ类	1 台	未定	125	1000	引导 ^{90}Y 介入治疗	核医学一区治疗区 DSA 机房	/
4	CT	Ⅲ类	1 台	未定	140	1000	医疗诊断	核医学一区治疗区 CT 机房	/

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5　废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
沾有放射性核素的移液枪头、试管、一次性手套、擦拭废纸等	固体	^{177}Lu、^{188}Re、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{18}F、^{89}Zr、^{225}Ac、^{64}Cu、^{131}I	/	5kg	60kg	/	按长半衰期（＞24h）和短半衰期（＜24h）核素分类收集，暂存于核医学一区核素实验室废物暂存间内	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，含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天；经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α 表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理
沾有放射核素的注射器、核素容器、手套、擦拭废纸等	固体	^{99m}Tc、^{123}I ^{18}F、^{64}Cu、^{124}I、^{89}Zr、^{68}Ga	/	11.3kg	135.8kg	/	按长半衰期（＞24h）和短半衰期（＜24h）核素分类收集，暂存于核医学一区影像区废物暂存库内	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；经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理
沾有放射核素的注射器、核素容器、手套、擦拭废纸等	固体	^{188}Re、^{90}Y、^{89}Sr、^{223}Ra	/	1.3kg	15.2kg	/	按长半衰期（＞24h）和短半衰期（＜24h）核素分类收集，暂存于	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；经监测辐射剂量

							核医学一区治疗区废物间内	率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理
沾有放射核素的注射器、核素容器、手套、擦拭废纸等	固体	^{131}I、^{177}Lu	/	3.6kg	43kg	/	暂存于核医学二区废物间内	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，含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天；经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理
沾有放射核素的注射器、核素容器、手套、擦拭废纸等	固体	^{225}Ac、^{211}At	/	1.3kg	16kg	/	按长半衰期（＞24h）和短半衰期（＜24h）核素分类收集，暂存于核医学二区废物间内	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；经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理
通风系统更换下来的废活性炭	固体	^{177}Lu、^{188}Re、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{18}F、^{89}Zr、^{225}Ac、^{64}Cu、^{131}I、^{123}I、^{124}I、^{90}Y、^{89}Sr、^{223}Ra、^{211}At	/	2.5kg	30kg	/	暂存于核医学一区影像区废物暂存库内	暂存时间超过 180 天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为危险废物交由有资质的单位处理
核医学一区核	液体	^{177}Lu、^{188}Re、	/	7.9L	94.5L	/	使用废液桶收	定期交有资质单位处理，不外排

素实验室产生的实验废水及质控废水		^{68}Ga、^{99m}Tc、^{18}F、^{89}Zr、^{225}Ac、^{64}Cu、^{131}I					集，暂存于废物间内	
核医学一区影像区含放射性核素的卫生间下水及清洗废水	液体	^{99m}Tc、^{18}F、^{89}Zr、^{64}Cu、^{123}I、^{124}I、^{68}Ga	/	5.5m^3	65.7m^3	总排放口总α不大于1Bq/L、总β不大于10Bq/L	流入1#衰变池系统中暂存	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，监测结果经审管部门认可后，按照GB18871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
核医学一区治疗区含放射性核素的卫生间下水及清洗废水	液体	^{188}Re、^{90}Y	/	3.9m^3	47m^3	总排放口总α不大于1Bq/L、总β不大于10Bq/L	流入1#衰变池系统中暂存	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，监测结果经审管部门认可后，按照GB18871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
核医学二区治疗区含放射性核素的卫生间下水及清洗废水	液体	^{177}Lu	/	1.25m^3	15m^3	总排放口总α不大于1Bq/L、总β不大于10Bq/L	流入2#衰变池系统中暂存	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，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
含有液态放射性药物分装时挥发的微量气	气体	^{177}Lu、^{188}Re、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{18}F、^{89}Zr、^{225}Ac、^{64}Cu、	/	/	/	/	不暂存	在热室及手套箱中操作，经热室、手套箱管道内及屋顶排放口活性炭装置过滤后排放

溶胶		^{131}I、^{123}I、^{124}I、^{90}Y、^{89}Sr、^{223}Ra、^{211}At						
退役的核素发生器	固体	$^{188}W/^{188}Re$、$^{68}Ge/^{68}Ga$	/	/	/	/	暂存于热室中	原生产厂家回收
臭氧和氮氧化物	气体	/	/	/	微量	微量	不暂存	通过排风系统排入外环境，臭氧在常温条件下约 50 分钟后可自然分解为氧气

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

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m^3）和活度（Bq）。

表 6　评价依据

法规文件	（1）《中华人民共和国环境保护法》（修订版），中华人民共和国主席令第9号，2015年1月1日起实施； （2）《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正版），中华人民共和国主席令 第二十四号，2018年12月29日发布施行； （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令 第六号，2003年10月1日起实施； （4）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令 第449号，2005年12月1日起施行；2019年修改，国务院令 第709号，2019年3月2日施行； （5）《建设项目环境保护管理条例》（修订版），国务院令 第682号，2017年10月1日发布施行； （6）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021年修正本），生态环境部令 第20号，2021年1月4日起施行； （7）《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），生态环境部令第16号，2021年1月1日起施行； （8）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令 第18号，2011年5月1日起施行； （9）《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会，公告2017年 第66号，2017年12月5日起施行； （10）《放射性废物安全管理条例》，中华人民共和国国务院令 第612号，2012年3月1日起施行； （11）《放射性物品道路运输管理规定》（2016年修正本），交通运输部令2016年第71号公布，2016年9月2日起施行； （12）《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国防科工局公告 2017年公告第65号公布，自2018年1月1日起施行； （13）《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正本），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会第二次会议第2号公告，2018年5月1日起实施；

	（14）《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，环办辐射函〔2016〕430号，2016年3月7日起施行； （15）《关于发布〈建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法〉配套文件的公告》，生态环境部公告 2019年 第38号，2019年10月25日发布； （16）《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告 2019年 第39号，2019年10月25日发布； （17）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019年 第57号，2019年12月24日发布； （18）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令 第9号，2019年11月1日起施行； （19）《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕74号，2018年6月9日发布； （20）《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187号，2021年5月28日发布； （21）《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1号，2020年1月8日发布； （22）《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》，自然资发〔2022〕142号，2018年6月9日发布，2022年8月16日发布； （23）《关于进一步加强生态保护红线监督管理的通知》，苏自然资函〔2023〕880号，2023年10月10日发布； （24）《江苏省辐射事故应急预案》（2020年修订版），苏政办函〔2020〕26号，2020年2月19日发布； （26）《产业结构调整指导目录（2024年本）》，国家发展和改革委员会令第7号，2023年12月27日发布，2024年2月1日起施行； （27）《关于核医学标准相关条款咨询的复函》，国家核安全局，辐射函〔2023〕20号，2023年9月13日发布； （28）《生态环境分区管控管理暂行规定》，生态环境部，环环评〔2024〕41号，2024年7月8日发布，自公布之日起施行。

技术标准	（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）； （2）《医疗机构水污染物排放标准》（GB 18466-2005）； （3）《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）； （4）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）； （5）《表面污染测定 第1部分：β发射体（$E_{\beta max}$＞0.15MeV）和α发射体》（GB 14056.1-2008）； （6）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； （7）《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）； （8）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）； （9）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）； （10）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； （11）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）； （12）《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）； （13）《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）； （14）《核安全导则 核技术利用放射性废物最小化》（HAD 401/11-2020）。
其他	**附图：** （1）常熟美迪柯医院有限公司扩建项目（辐射专项）地理位置示意图； （2）常熟虞山天地休闲中心总平面布置示意图； （3）常熟美迪柯医院有限公司平面布置和周围环境示意图； （4）常熟美迪柯医院有限公司扩建院区一楼（101房屋）平面布局示意图； （5）常熟美迪柯医院有限公司扩建院区二楼（201房屋）平面布局示意图； （6）常熟美迪柯医院有限公司扩建院区三楼（301房屋）平面布局示意图； （7）常熟美迪柯医院有限公司扩建院区四楼（401房屋）平面布局示意图； （8）常熟美迪柯医院有限公司扩建院区负一楼平面布局示意图； （9）核医学一区影像区放射性废水下水管道布设示意图； （10）核医学一区治疗区放射性废水下水管道布设示意图； （11）核医学二区（三楼）放射性废水下水管道布设示意图； （12）核医学二区（四楼）放射性废水下水管道布设示意图；

（13）本项目衰变池结构设计示意图；

（14）核医学一区核素实验室、影像区排风管道布设示意图；

（15）核医学一区治疗区排风管道布设示意图；

（16）核医学二区（三楼）排风管道布设示意图；

（17）核医学二区（四楼）排风管道布设示意图。

附件：

（1）项目委托书；

（2）非密封放射性物质、射线装置使用承诺书；

（3）辐射安全许可证；

（4）辐射环境现状监测报告；

（5）常熟美迪柯医院有限公司扩建项目备案证；

（6）常熟美迪柯医院有限公司扩建项目环评及其批复文件；

（7）江苏省生态环境分区管控综合查询报告书；

（8）常熟美迪柯医院增加执业地点项目社会稳定风险评估报告。

表 7　保护目标与评价标准

评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）中“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围。放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”的规定，结合本项目的特点，确定本项目评价范围为本次扩建项目（辐射专项）所租赁的天地休闲中心 9 幢 101、201、301、401 房屋边界外周围 50m 范围内区域，评价范围详见附图 3。

保护目标

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。根据《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号）和《关于进一步加强生态保护红线监督管理的通知》（苏自然资函〔2023〕880 号）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于一般管控单元虞山街道（编码：ZH32058130413）内，不在生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和重点管控单元。对照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022），本项目评价范围内不涉及受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。

常熟美迪柯医院有限公司扩建项目（辐射专项）50m 评价范围东侧隔道路为山茶苑（休闲场所，最近处约 38m），东南侧隔道路为嘉安特消防工程有限公司（最近处约 25m），南侧隔道路为常熟市国土资源局虞山尚湖旅游度假区分局（最近处约 35m），西南侧隔道路为常熟新宝德汽车销售服务有限公司（最近处约 15m），西侧隔道路为山茶花 6 号楼（最近处约 40m），西北侧为新半岛娱乐会所（毗邻），北侧隔广场为奶牛叔叔摄影美学馆（最近处约 40m），东北侧隔广场为爱薇妮婚礼梦空间（最近处约 28m），评价范围内除山茶花 6 号楼（居民楼）外，无居民区、学校等环境敏感点，项目运行后的环境保护目标主要为本项目辐射工作人员、其他非辐射工作人员、患者、

患者家属、上述评价范围内人员及其他公众等，详见表 7-1。

表 7-1 常熟美迪柯医院有限公司扩建项目（辐射专项）保护目标一览表

保护对象类型	场所	保护目标	方位/位置	距本项目最近距离	人员规模	剂量约束值
辐射工作人员	核医学一区	医师、技师、护士	核医学一区核素实验室内	在场所内开展工作	3 人	5mSv/a
			核医学一区影像区内		6 人	
			核医学一区治疗区内		5 人	
	核医学二区		核医学二区工作场所内		3 人	
	核医学三区		核医学三区工作场所内		3 人	
公众	爱薇妮婚礼梦空间	其他单位工作人员、居民、流动人员等	东北侧	约 28m	约 15 人	0.1mSv/a
	山茶苑		东侧	约 38m	约 20 人	
	嘉安特消防工程有限公司		东南侧	约 25m	约 35 人	
	常熟市国土资源局虞山尚湖旅游度假区分局		南侧	约 35m	约 20 人	
	常熟新宝德汽车销售服务有限公司		西南侧	约 15m	约 30 人	
	山茶花 6 号楼		西侧	约 40m	2 层，约 15 人	
	新半岛娱乐会所		西北侧	毗邻	约 35 人	
	奶牛叔叔摄影美学馆		北侧	约 40m	约 15 人	
	广场		北侧	约 2m	流动人员若干	
	山茶花路		南侧	约 2m	流动人员若干	
	道路		西侧	约 2m	流动人员若干	
	常熟美迪柯医院有限公司	其他非辐射工作人员、患者、患者家属等	医院内	/	流动人员若干	

本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对　象	要　求
职业照射	应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量，20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv； ③眼晶体的年当量剂量，150mSv； ④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。
公众照射	实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值： ①年有效剂量，lmSv； ②特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 lmSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv； ③眼晶体的年当量剂量，15mSv； ④皮肤的年当量剂量，50mSv。

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

1.2 非密封源工作场所的分级

级　别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4\times10^9$
乙	2×10^7～4×10^9
丙	豁免活度值以上～2×10^7

辐射工作场所的分区

应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

控制区：

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

监督区：

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

表 B11 工作场所放射性表面污染控制水平　单位：Bq/cm^2

表面类型	α放射性物质		β放射性物质
	极毒性	其他	

工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4	4×10	4×10
	监督区	4×10^{-1}	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4×10^{-1}	4×10^{-1}	4
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-1}

二、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）：

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。

6.1 屏蔽要求

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

6.1.6 放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构，以保证设备外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25μSv/h。

6.2 场所安全措施要求

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

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

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

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

6.3 密闭和通风要求

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

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

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

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于 0.08Bq/cm^2、β表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；

b）所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；

c）含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.3 液态放射性废物的管理

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

a）所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；

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

10Bq/L。

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

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

8.2 工作场所监测

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

表1 核医学工作场所辐射监测关注点位

监测内容	监测点位	监测频次
辐射水平	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	不少于1次/月
表面放射性污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，核素治疗场所的设施、墙壁和地面等，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）

三、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）：

6 X射线设备机房防护设施的技术要求

6.1 X射线设备机房布局

6.1.1 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。

6.1.3 每台固定使用的X射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求；每台牙椅独立设置诊室的，诊室内可设置固定的口内牙片机，供该设备使用，诊室的屏蔽和布局应满足口内牙片机房防护要求。

6.1.4 移动式X射线机（不含床旁摄影机和急救车配备设备）在使用时，机房应满足相应布局要求。

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

表2 X射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

机房类型	机房内最小有效使用面积 [d] m^2	机房内最小单边长度 [e] m
单管头X射线设备 [b]（含C形臂，乳腺CBCT）	20	3.5

CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5

[b] 单管头、双管头或多管头 X 射线设备的每个球管各安装在 1 个房间内。
[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 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式 X 射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表 3 的规定。

表 3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

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

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

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。

6.4.8 模拟定位设备机房防护设施应满足相应设备类型的防护要求。

6.4.9 CT 装置的安放应利于操作者观察受检者。

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

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

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

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

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

6.5.6 对于移动式X射线设备使用频繁的场所（如：重症监护、危重病人救治、骨科复位等场所），应配备足够数量的移动铅防护屏风。

四、《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）

二、关于控制区剂量率

《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）第6.1.5节规定，距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表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。本条规定的具体含义为:

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

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

五、本项目管理目标限值

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）、《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《关于核医学标准相关条款咨询的复函》（辐射函〔2023〕20号）并考虑本项目实际情况确定：

（一）剂量约束值

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**。

（二）周围剂量当量率控制水平

（1）核医学科工作场所控制区内工作人员经常性停留的场所（人员居留因子≥1/2），周围剂量当量率应小于**2.5μSv/h**；控制区内工作人员较少停留或无需到达的场所(人员居留因子<1/2)，如给药/注射室防护门外、给药后患者候诊室防护门外以及核医学科患者走廊等位置，周围剂量当量率应小于**10μSv/h**；放射性药物分装箱体外表面30cm处、注射窗外30cm处、热室表面30cm处人员操作位处周围剂量当量率应小于**2.5μSv/h**，非正对人员操作位表面的周围剂量当量率应小于**25μSv/h**；固体放射性废物收集桶外表面30cm处、放射性废水下水管道30cm处、放射性废水衰变间外30cm

处周围剂量当量率应小于**2.5μSv/h**；核医学科工作场所控制区外周围剂量当量率应小于**2.5μSv/h**；SPECT/CT 检查室、PET/CT 检查室、DSA 机房、CT 机房外 30cm 处周围剂量当量率应小于**2.5μSv/h**；

（2）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要求见下表：

表面类型		β放射性物质（Bq/cm²）	α放射性物质（Bq/cm²）	
			极毒性	其他
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4×10	4	4×10
	监督区	4	4×10^{-1}	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4	4×10^{-1}	4×10^{-1}
	监督区			
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1}	4×10^{-2}	4×10^{-2}

六、参考资料：

（1）《辐射防护导论》，方杰主编。

（2）《辐射防护手册（第一分册）》，李德平、潘自强著。

（3） ICRP103 号出版物，2007 年，国际放射防护委员会。

（4）《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（辐射防护 第 13 卷第 2 期，1993 年 3 月），江苏省环境监测站。

江苏省原野、道路、建筑物室内γ辐射（空气吸收）剂量率（单位：nGy/h）

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

注：1、根据《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》，上表数据不含宇宙射线电离成分；

2、辐射现状评价时采用“测值范围”作为辐射环境本底水平范围进行评价。

表 8　环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目位置、布局和周边环境

常熟美迪柯医院有限公司扩建项目位于常熟市虞山北路 163 号虞山天地休闲中心 9 幢 101、201、301、401 房屋，101~401 房屋为虞山天地休闲中心 9 幢一至四层的东南部分。院区东南侧为山茶花路，西南侧为小路，西北侧为新半岛娱乐会所，东北侧为虞山天地休闲中心道路。

医院拟在 101、201 房屋建设核医学一区，拟在 301 房屋建设核医学二区，拟在 401 房屋建设核医学三区。核医学一区下方为配电房、废水衰变间及车库，核医学三区上方无建筑（楼顶）。常熟美迪柯医院有限公司扩建项目（辐射专项）50m 评价范围东侧隔道路为山茶苑（休闲场所，最近处约 38m），东南侧隔道路为嘉安特消防工程有限公司（最近处约 25m），南侧隔道路为常熟市国土资源局虞山尚湖旅游度假区分局（最近处约 35m），西南侧隔道路为常熟新宝德汽车销售服务有限公司（最近处约 15m），西侧隔道路为山茶花 6 号楼（最近处约 40m），西北侧为新半岛娱乐会所（毗邻），北侧隔广场为奶牛叔叔摄影美学馆（最近处约 40m），东北侧隔广场为爱薇妮婚礼梦空间（最近处约 28m），评价范围内除山茶花 6 号楼（居民楼）外，无居民区、学校等环境敏感点，项目运行后的环境保护目标主要为本项目辐射工作人员、其他非辐射工作人员、患者、患者家属、上述评价范围内人员及其他公众等。

本项目现场实际情况见图 8-1~图 8-13。



图 8-1 虞山天地休闲中心 9 幢 101



图 8-2 虞山天地休闲中心 9 幢 201



图 8-3 虞山天地休闲中心 9 幢 301



图 8-4 虞山天地休闲中心 9 幢 401



图 8-5 项目拟建址东侧山茶苑



图 8-6 项目拟建址东侧嘉安特消防工程有限公司



图 8-7 项目拟建址南侧常熟市国土资源局虞山尚湖旅游度假区分局



图 8-8 项目拟建址西南侧常熟新宝德汽车销售服务有限公司



图 8-9 项目拟建址西侧山茶花 6 号楼



图 8-10 项目拟建址西北侧新半岛娱乐会所



图 8-11 项目拟建址北侧广场



图 8-12 项目拟建址北侧奶牛叔叔美学摄影馆



图 8-13 项目拟建址东北侧爱薇妮婚礼梦空间

二、辐射环境现状调查

根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，于医院扩建项目（辐射专项）拟建址周围进行布点，测量辐射现状剂量率，监测结果见表 8-3、表 8-5，监

测点位示意图见图 8-14 至图 8-18。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司

监测项目：γ辐射剂量率、表面污染水平

监测日期及监测条件见表 8-1。

表 8-1 检测日期及监测条件

检测日期	天气	温度	湿度
2024 年 7 月 30 日	晴	30℃	72%RH

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

质量控制：本项目监测单位南京瑞森辐射技术有限公司已通过计量认证（证书编号：221020340350，检测资质见附件 4），具备相应的检测资质和检测能力，监测按照南京瑞森辐射技术有限公司《质量管理手册》和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求，实施全过程质量控制。

数据记录及处理：①γ空气吸收剂量率：开机预热，手持仪器，一般保持仪器探头中心距离地面（基础面）为 1m。仪器读数稳定后，每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s。每组数据计算每个点位的平均值并计算标准差，空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源时，换算系数分别取 1.20Sv/Gy。②表面污染水平：选取直接测量，在探测器灵敏窗和待检表面避免接触的情况下，将探测器在表面上方慢慢地移动，读取测量值，每个点位读取 6 个数据，读取间隔不小 2s。

监测人员、监测仪器及监测结果：监测人员均经过考核，所有监测仪器均经过计量部门检定，并在有效期内，监测仪器使用前经过校准或检验，监测报告实行三级审核。

评价方法：参照江苏省天然γ辐射剂量水平调查结果，评价项目周围的辐射环境质量。

1、γ辐射剂量率

γ辐射剂量率检测仪器见表 8-2。

表 8-2 γ辐射剂量率检测仪器

检测日期	仪器设备名称	设备型号	设备编号	设备信息
2024 年 7 月 30 日	X-γ辐射监测仪	6150 AD 6/H+6150 AD-b/H	NJRS-126	能量响应：20keV～7MeV 测量范围：1nSv/h～99.9μSv/h 检定单位：江苏省计量科学研究院 检定证书：Y2023-0173796 检定有效期：2023.10.30~2024.10.29

γ辐射剂量率检测结果见表 8-3。

表 8-3 核医学拟建址及其周围γ辐射剂量率检测结果

测点编号	测点描述	测量结果（nGy/h）	备注
1	核医学一区核素实验室拟建址	80	楼房室内
2	核医学一区核素实验室拟建址东侧	60	室外道路
3	核医学一区影像区拟建址	75	楼房室内
4	核医学一区影像区拟建址东侧	47	室外道路
5	核医学一区影像区拟建址南侧	46	室外道路
6	核医学一区影像区拟建址西侧	58	室外道路
7	核医学一区核素实验室拟建址西侧	62	室外道路
8	核医学一区核素实验室拟建址北侧	76	楼房室内
9	核医学一区治疗区拟建址北侧	84	楼房室内
10	核医学一区治疗区拟建址北部	85	楼房室内
11	核医学一区治疗区拟建址中间	90	楼房室内
12	核医学一区治疗区拟建址南部	90	楼房室内
13	核医学二区拟建址北侧	92	楼房室内
14	核医学二区拟建址北部	92	楼房室内
15	核医学二区拟建址中间	93	楼房室内
16	核医学二区拟建址南部	93	楼房室内
17	核医学三区拟建址北侧	89	楼房室内
18	核医学三区拟建址北部	89	楼房室内

19	核医学三区拟建址中间	90	楼房室内
20	核医学三区拟建址南部	89	楼房室内
21	核医学拟建址北侧广场	55	室外道路
22	核医学拟建址东侧山茶苑楼下	59	室外道路
23	核医学拟建址东南侧嘉安特消防工程有限公司楼下	59	室外道路
24	核医学拟建址南侧常熟市国土资源局虞山尚湖旅游度假区分局楼下	60	室外道路
25	核医学拟建址西南侧常熟新宝德汽车销售服务有限公司楼下	63	室外道路
26	核医学拟建址西侧山茶花 6 号楼楼下	63	室外道路
27	核医学拟建址北侧奶牛叔叔摄影美学馆楼下	64	室外道路
28	核医学拟建址楼下配电房	71	楼房室内
29	核医学拟建址楼下弱电控制室	72	楼房室内

注：1、测量数据已扣宇宙射线响应值；

2、环境γ辐射剂量率测量结果按照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中公式 $\dot{D}=C_f(E_f\dot{X}-\mu_c\dot{X}_c')$ 计算，其中，C_f 为仪器量程检定/校准因子；E_f 为仪器检验源效率因子；$\dot{X}$ 为现场监测时仪器 n 次读数的平均值（n≥10）；μ_c 为建筑物对宇宙射线带电粒子和光子的屏蔽因子，楼房室内取 0.8；$\dot{X}_c'$ 为测点处仪器对宇宙射线的响应值（30nGy/h）。

由表 8-3 监测结果可知，常熟美迪柯医院有限公司扩建项目（辐射专项）核医学拟建址及其周围环境道路γ辐射剂量率为 46nGy/h~64nGy/h，处于江苏省道路γ辐射剂量率 18.1nGy/h~102.3nGy/h 范围内；楼房室内γ辐射剂量率为 71nGy/h~93nGy/h，处于江苏省室内γ辐射剂量率 50.7nGy/h~129.4nGy/h 范围内，均属江苏省环境天然γ辐射剂量率本底水平。

2、表面污染水平

检测仪器见表 8-4。

表 8-4 表面污染水平检测仪器

检测日期	仪器设备名称	设备型号	设备编号	设备信息
2024 年 7 月 30 日	α、β表面污染测量仪	CoMo 170	NJRS-129	测量范围：0cps～20000cps 检定单位：江苏省计量科学研究院 检定证书：Y2024-0027030 检定有效期：2024.3.28~2025.3.27

表面污染水平检测结果见表 8-5。

表 8-5 核医学科门诊核素显像场所拟建址及其周围β表面污染水平检测结果

测点编号	测点描述	测量结果（Bq/cm²）	
		α	β
1	核医学一区核素实验室拟建址北部	未检出	＜LLD
2	核医学一区核素实验室拟建址南部	未检出	＜LLD
3	核医学一区影像区拟建址北部	未检出	＜LLD
4	核医学一区影像区拟建址南部	未检出	＜LLD
5	核医学一区治疗区拟建址北部	未检出	＜LLD
6	核医学一区治疗区拟建址中间	未检出	＜LLD
7	核医学一区治疗区拟建址南部	未检出	＜LLD
8	核医学二区拟建址（三楼）北部	未检出	＜LLD
9	核医学二区拟建址（三楼）南部	未检出	＜LLD
10	核医学二区拟建址（四楼）北部	未检出	＜LLD
11	核医学二区拟建址（四楼）南部	未检出	＜LLD

注：β表面污染水平探测下限（LLD）为 0.08Bq/cm²，α表面污染未检出数据。

由表 8-5 监测结果可知，常熟美迪柯医院有限公司扩建项目（辐射专项）核医学拟建址及其周围环境β放射性表面污染水平均低于仪器探测下限（0.08Bq/cm²），未检出α放射性表面污染。

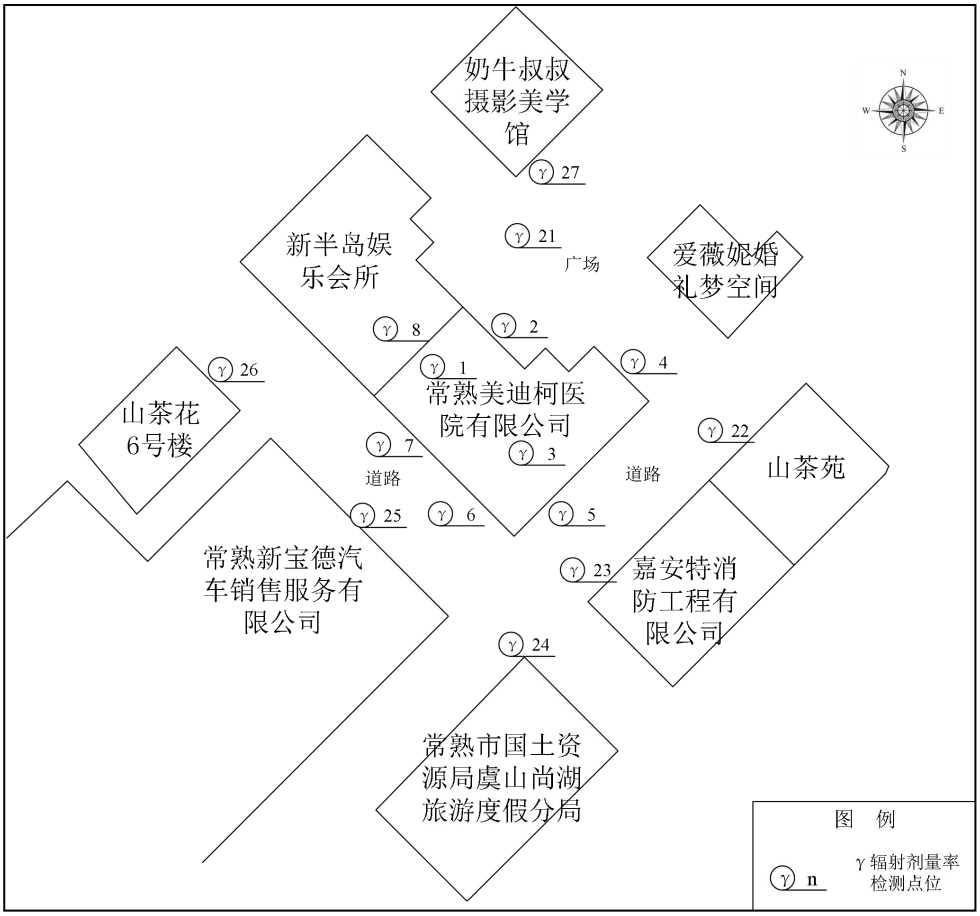


图 8-14 γ辐射剂量率检测点位示意图（一楼）

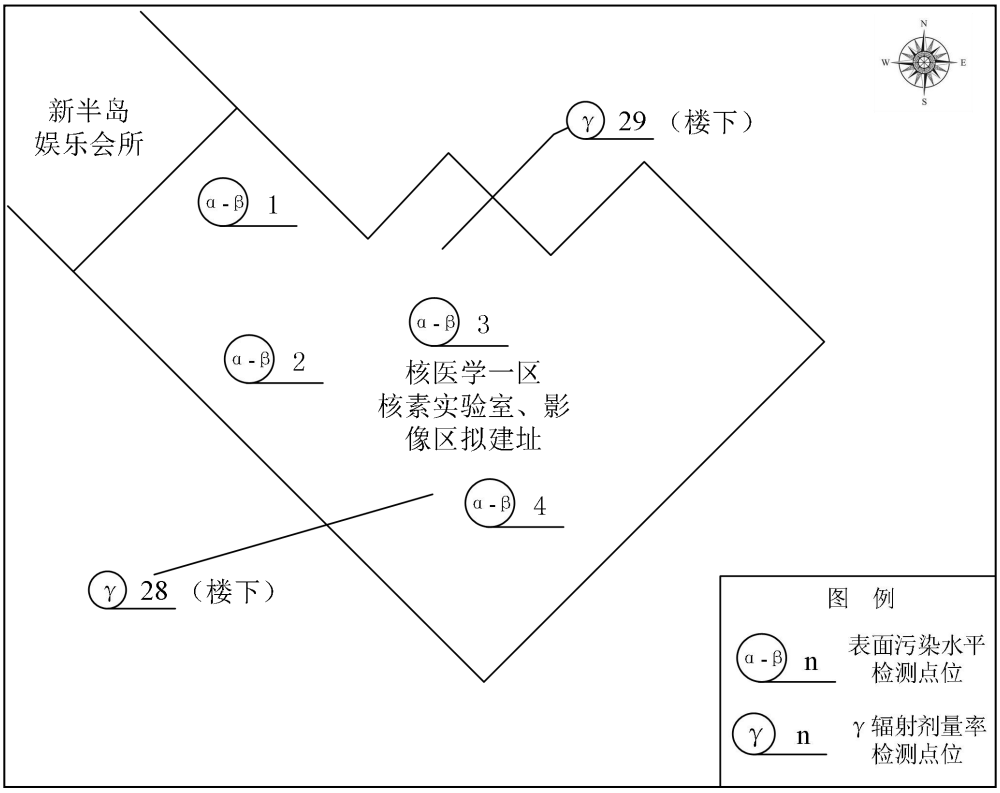


图 8-15 表面污染水平、γ辐射剂量率检测点位示意图（一楼）

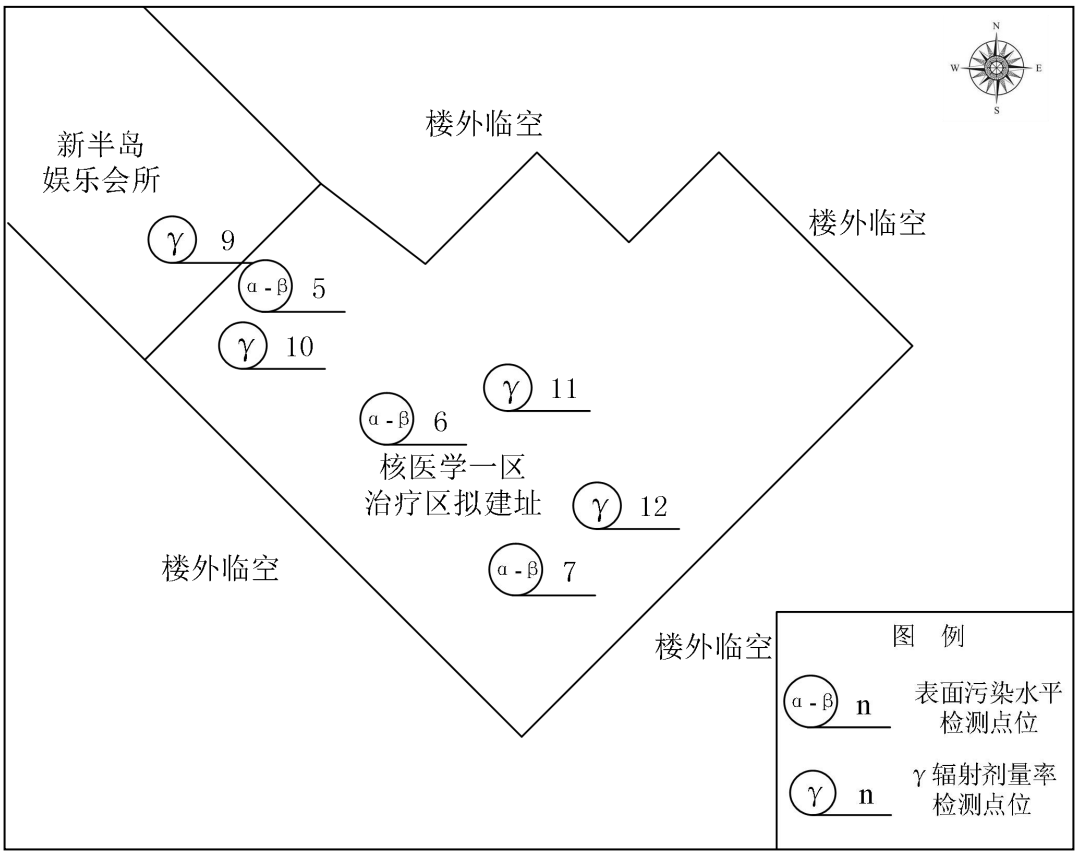


图 8-16 表面污染水平、γ辐射剂量率检测点位示意图（二楼）

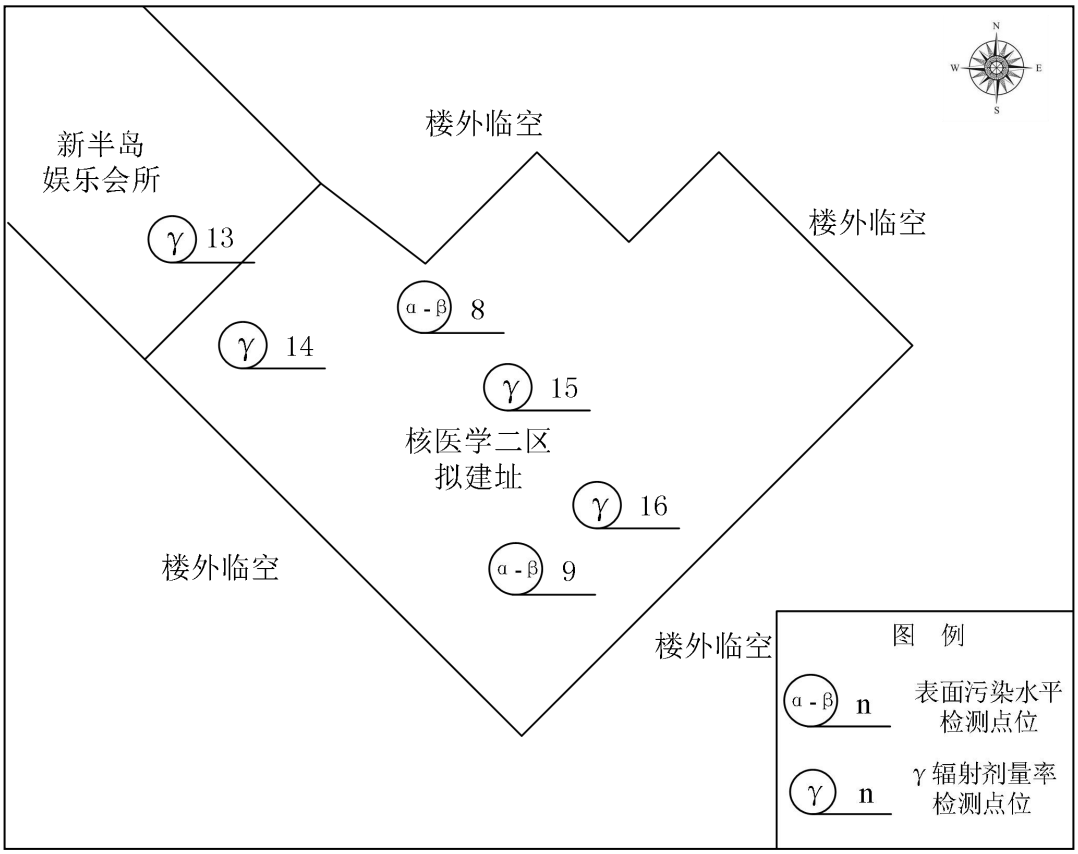


图 8-17 表面污染水平、γ辐射剂量率检测点位示意图（三楼）

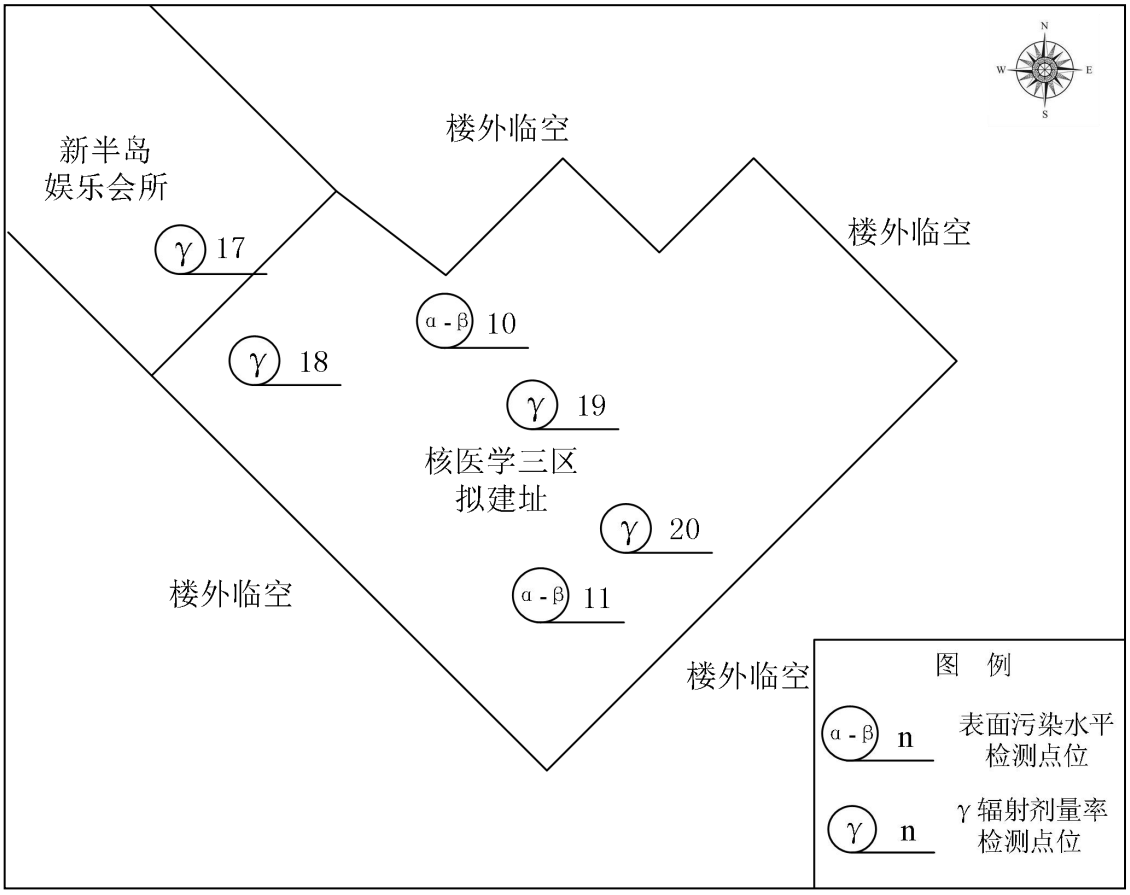


图 8-18 表面污染水平、γ辐射剂量率检测点位示意图（四楼）

表 9　项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析

一、工程设备

常熟美迪柯医院有限公司在虞山北路 13 号虞山天地休闲中心 9 幢 101、201、301、401 新建院区，拟在新院区设置核医学科开展科研实验、核素诊断及核素治疗。本项目仅在本次新扩建的工作场所内开展工作，不涉及对原有项目的工艺改进情况。核医学一区包括核素实验室、影像区及治疗区，影像区、治疗区所用 ^{64}Cu、^{89}Zr、^{68}Ga 核素药物由核素实验室提供，放射性核素、医护人员工作路径涉及核素实验室、影像区及治疗区；治疗区开展 ^{90}Y 玻璃微球治疗时，患者需到影像区进行 SPECT/CT 扫描，^{90}Y 患者路径涉及影像区及治疗区，核素实验室、影像区及治疗区工作流程相互联系，因此整体作为 1 个非密封放射性物质工作场所。核医学二区、三区所用核素药物均外购成品，工作流程互无联系，工作场所各自独立，两个场所的放射性核素、工作人员及患者路径均无交叉重叠，因此作为 2 个非密封放射性物质工作场所管理。

（一）核医学一区

1、核素实验室

核医学一区核素实验室主要承担核素药物的研发试验、成熟核素药物的标记合成以及核素药物的质控检测工作。实验室配备 2 台自屏蔽（防护当量均为 50mmPb）的热室，集成了自动分装仪，内部设机械手柄，配备自动合成模块，核素发生器存放于热室内。使用核素发生器进行淋洗操作时，仅需将核素发生器安装到热室内，后续淋洗操作均可自动完成；使用核素源液进行研发试验或标记成熟的核素药物时，仅需将核素源液连同铅罐放入热室，人员可在热室外通过机械手柄将药物取出并安放到位，后续合成与分装均可通过自动合成模块与自动分装仪完成。质控检测时，通过自动分装仪进行取样，一般取样活度不超过 0.01mCi，通过样品传递窗转移到放射性检验室进行检测化验等操作。

2、影像区

2.1 SPECT/CT 诊断项目

SPECT/CT 的基本结构分 3 部分，即旋转探头装置、电子线路、数据处理和图像重建的计算机系统。SPECT/CT 将功能显像的 SPECT 与解剖显像的 CT 图像有机融合，

提高信噪比，在获取衰减校正后的核医学影像同时与同机 CT 图像融合，实现 SPECT 的高敏感性优势及 CT 的解剖准确性优势互补，既可显示病变的血液及功能改变，又可显示其解剖学影像，有效提高病灶的检出能力和定位能力，提高疾病诊断的准确率从而大大提高了诊断的效能。常见的 SPECT/CT 外观图见图 9-1。



图 9-1 常见 SPECT/CT 示意图

本项目拟新增的 1 台 SPECT/CT 主要技术参数如下：

表 9-1 SPECT/CT 主要技术参数一览表

项　目	参　数
型号	未定
位置	一区 SPECT/CT 机房
额定管电压	≤140kV
额定管电流	≤1000mA
X 射线球管固有滤过	不低于 2.5mmAl
X 射线球管到等中心距离	≥60cm
用途	显像

注：设备技术参数根据建设单位招标意向及主流供货商的常用参数确定，实际采购设备的源强参数不大于表列源强参数。

2.2 PET/CT 诊断项目

PET/CT 是将 PET 与 CT 融为一体，由 PET 提供病灶详尽的功能与代谢等分子信息，而 CT 提供病灶的精确解剖定位。PET 系统的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。探测系统是整个正电子发射显像系统中的主要部分，

它采用的块状探测结构有利于消除散射、提高计数率。CT 主要由扫描部分、计算机系统、图像显示和存储系统组成，其中扫描部分由 X 线管、探测器和扫描架组成。PET/CT 结构示意图见图 9-2。

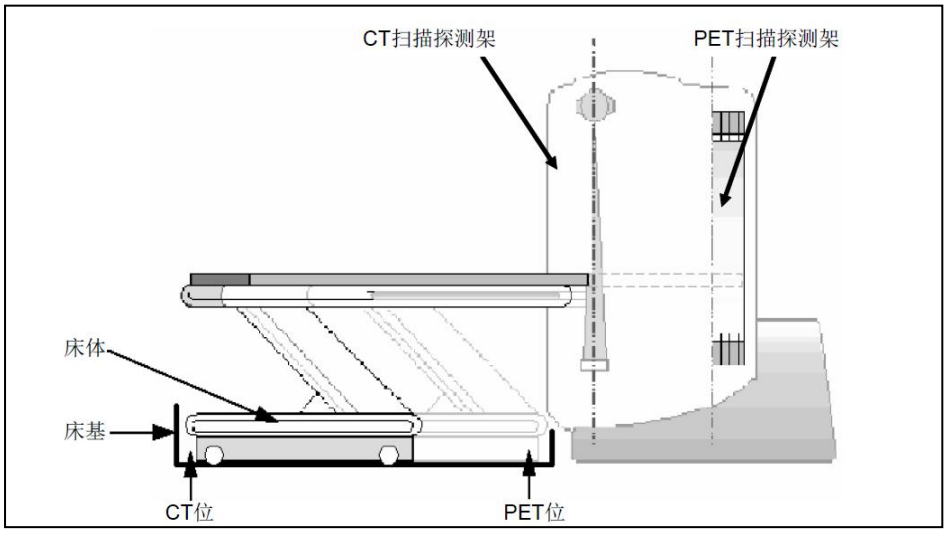


图 9-2 PET/CT 结构示意图

本项目拟新增的 1 台 PET/CT 主要设备技术参数见表 9-2。

表 9-2 核医学科 PET/CT 主要设备技术参数

项　目	参　数
型号	未定
位置	一区 PET/CT 机房
额定管电压	≤140kV
额定管电流	≤1000mA
X 射线球管固有滤过	不低于 2.5mmAl
X 射线球管到等中心距离	≥60cm
用途	显像

注：设备技术参数根据建设单位招标意向及主流供货商的常用参数确定，实际采购设备的源强参数不大于表列源强参数。

3、治疗区

治疗区使用核素实验室提供的 ^{188}Re 以及外购的 ^{90}Y 玻璃微球、^{89}Sr、^{223}Ra 核素药物开展核素治疗。使用 ^{90}Y 开展核素治疗前患者需先进行 SPECT/CT 扫描以诊断病灶，手术注射药物时需以 DSA 血管造影引导介入治疗；^{188}Re、^{89}Sr、^{223}Ra 则直接通过注

射将药物引入患者体内。

治疗区新建 1 座 DSA 机房并配备 1 台 DSA（型号未定，最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA），DSA 因其整体结构像大写的“C”，因此也称作 C 形臂 X 光机，DSA 由 X 线发生装置，包括 X 线球管及其附件、高压发生器、X 线控制器等，和图像检测系统，包括光栅、影像增强管、光学系统、线束支架、检查床、输出系统等部件组成。常见 DSA 外观如图 9-3 所示，DSA 主要设备技术参数见表 9-3。

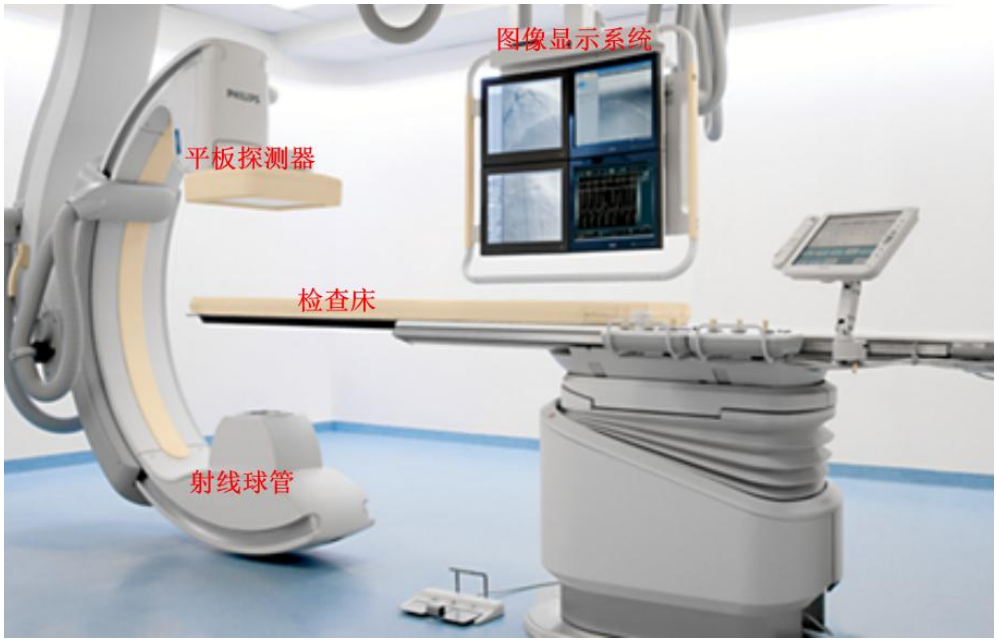


图 9-3 常见 DSA 外观示意图

表 9-3 本项目 DSA 设备主要技术参数

指　标	技 术 参 数
型　号	未定
使用场所	核医学一区治疗区 DSA 机房
设备来源	拟新购
球管类型	单管头
额定管电压	≤125kV
额定管电流	≤1000mA
X 射线球管固有滤过	≥2.5mmAl
焦皮距	≥45cm

照射野	最大：30cm×30cm 最小：12cm×12cm

注：设备技术参数根据建设单位招标意向及主流供货商的常用参数确定，实际采购设备参数不大于表列参数。

配套设备：

本项目 DSA 配套设备配置情况见表 9-4。

表 9-4 每台 DSA 配套设备一览表

序号	名称	数量	用途	位置
1	电源柜	1 套	DSA 配电	设备间
2	高压发生柜	1 套	DSA 高压装置	设备间
3	系统控制柜	1 套	设备控制和数据传输	设备间
4	控制系统	1 套	DSA 设备操作	控制室操作台

上述核素实验室、影像区、治疗区均为核医学一区工作内容，根据医院提供的预估工况，核医学一区放射性核素及核素发生器使用情况见表 9-5。

表 9-5 本项目核医学一区放射性核素使用情况一览表

非密封放射性物质

^{177}Lu（科研实验）	日最大用量	单次最大用量 200mCi×2 次/天=1.48×10^{10}Bq
	年总用量	单次最大用量 200mCi×200 次/年=1.48×10^{12}Bq
^{188}W-^{188}Re 发生器	单个发生器活度	1000mCi（3.70×10^{10}Bq）
	年总用量	单个发生器活度 3.70×10^{10}Bq×10 个/年=3.70×10^{11}Bq
^{188}Re（科研实验及药物标记）	日最大用量	单次最大用量 100mCi×3 次/天=1.11×10^{10}Bq
	年总用量	单次最大用量 100mCi×150 次/年=5.55×10^{11}Bq
^{68}Ge-^{68}Ga 发生器	单个发生器活度	50mCi（1.85×10^{9}Bq）
	年总用量	单个发生器活度 1.85×10^{9}Bq×20 个/年=3.70×10^{10}Bq
^{68}Ga（科研实验及药物标记）	日最大用量	单次最大用量 20mCi×5 次/天=1.85×10^{9}Bq
	年总用量	单次最大用量 20mCi×100 次/年=3.70×10^{10}Bq
^{99m}Tc（科研实验）	日最大用量	单次最大用量 50mCi×3 次/天=5.55×10^{9}Bq
	年总用量	单次最大用量 50mCi×180 次/天=3.33×10^{11}Bq

^{18}F（科研实验）	日最大用量	单次最大用量 10mCi×3 次/天=1.11×10^{9}Bq
	年总用量	单次最大用量 10mCi×180 次/天=6.66×10^{10}Bq
^{89}Zr（科研实验及药物标记）	日最大用量	单次最大用量 5mCi×5 次/天=9.25×10^{8}Bq
	年总用量	单次最大用量 5mCi×100 次/年=1.85×10^{10}Bq
^{225}Ac（科研实验）	日最大用量	单次最大用量 0.25mCi×2 次/天=1.85×10^{7}Bq
	年总用量	单次最大用量 0.25mCi×100 次/年=9.25×10^{8}Bq
^{64}Cu（科研实验及药物标记）	日最大用量	单次最大用量 10mCi×5 次/天=1.85×10^{9}Bq
	年总用量	单次最大用量 10mCi×100 次/年=3.70×10^{10}Bq
^{131}I（科研实验）	日最大用量	单次最大用量 20mCi×10 次/天=7.40×10^{9}Bq
	年总用量	单次最大用量 20mCi×600 次/年=4.44×10^{11}Bq
^{99m}Tc（显像诊断）	日最大用量	每名患者最大用量 20mCi×10 人/天=7.40×10^{9}Bq
	年总用量	每名患者最大用量 20mCi×2500 人/年=1.85×10^{12}Bq
^{123}I（显像诊断）	日最大用量	每名患者最大用量 10mCi×4 人/天=1.48×10^{9}Bq
	年总用量	每名患者最大用量 10mCi×80 人/年=2.96×10^{10}Bq
^{99m}Tc（显像诊断，配合 ^{90}Y）	日最大用量	每名患者最大用量 5mCi×1 人/天=1.85×10^{8}Bq
	年总用量	每名患者最大用量 5mCi×60 人/年=1.11×10^{10}Bq
^{18}F（显像诊断）	日最大用量	每名患者最大用量 10mCi×15 人/天=5.55×10^{9}Bq
	年总用量	每名患者最大用量 10mCi×3750 人/年=1.39×10^{12}Bq
^{18}F（备药）	日最大备药量	每日上午最多 280mCi+下午 320mCi=2.22×10^{10}Bq
	年总备药量	2.22×10^{10}Bq×250 天/年=5.55×10^{12}Bq
^{64}Cu（显像诊断）	日最大用量	每名患者最大用量 5mCi×5 人/天=9.25×10^{8}Bq
	年总用量	每名患者最大用量 5mCi×100 人/年=1.85×10^{10}Bq
^{124}I（显像诊断）	日最大用量	每名患者最大用量 5mCi×5 人/天=9.25×10^{8}Bq
	年总用量	每名患者最大用量 5mCi×100 人/年=1.85×10^{10}Bq
^{89}Zr（显像诊断）	日最大用量	每名患者最大用量 5mCi×5 人/天=9.25×10^{8}Bq
	年总用量	每名患者最大用量 5mCi×100 人/年=1.85×10^{10}Bq

^{68}Ga（显像诊断）	日最大用量	每名患者最大用量 5mCi×5 人/天=9.25×10^{8}Bq
	年总用量	每名患者最大用量 5mCi×100 人/年=1.85×10^{10}Bq
^{188}Re（核素治疗）	日最大用量	每名患者最大用量 100mCi×3 人/天=1.11×10^{10}Bq
	年总用量	每名患者最大用量 100mCi×150 人/年=5.55×10^{11}Bq
^{90}Y（核素治疗）	日最大用量	每名患者最大用量 7.0×10^{9}Bq×1 人/天=7.0×10^{9}Bq
	年总用量	每名患者最大用量 7.0×10^{9}Bq×60 人/年=4.20×10^{11}Bq
^{89}Sr（核素治疗）	日最大用量	每名患者最大用量 4mCi×5 人/天=7.40×10^{8}Bq
	年总用量	每名患者最大用量 4mCi×50 人/年=3.70×10^{10}Bq
^{223}Ra（核素治疗）	日最大用量	每名患者最大用量 0.1mCi×10 人/天=3.70×10^{7}Bq
	年总用量	每名患者最大用量 0.1mCi×300 人/年=1.11×10^{9}Bq

参考《辐射防护手册 第三分册》（原子能出版社，1990 年版）中对于非密封放射性物质的不同操作方式给出的说明（P143）（其中很简单的操作会有少量的放射性物质散布开来，主要是防止撒漏，例如少量稀释溶液合并、分装或稀释，污染不太严重的器皿和工具的洗涤等；简单的操作可能会有较多的放射性物质散布开来，除了会有表面污染外，还会有空气污染出现）以及《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）中的相关内容（医疗机构使用 ^{18}F、^{99m}Tc 相关活动视为“很简单操作”），本项目核医学病一区核素实验室使用核素进行科研项目及药物标记涉及核素的淋洗、稀释、标记、分装、质控等操作，保守将核素实验室核素发生器操作方式界定为“源的贮存”、核素操作方式界定为“简单操作”；核医学一区影像区、治疗区涉及核素药物的分装、注射，将其核素操作方式界定为“很简单操作”；核素药物备药操作方式界定为“源的贮存”。同时查阅 GB 18871-2002 得到 ^{99m}Tc、^{18}F、^{64}Cu、^{68}Ga、^{123}I 核素的毒性组别为“低毒”，^{177}Lu、^{188}W-^{188}Re（发生器）、^{188}Re、^{68}Ge-^{68}Ga（发生器）、^{89}Zr、^{131}I、^{89}Sr、^{90}Y、^{124}I 核素的毒性组别为“中毒”，^{225}Ac、^{223}Ra 核素的毒性组别为“极毒”。根据医院提供的核素日最大操作量，经过毒性组别及操作方式的双重修正，得到非密封放射性物质工作场所的日等效操作量，并判断其工作场所等级。

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商，放射性核素的毒性组别

修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 9-6 和表 9-7。本项目实验室所使用的放射性核素日等效最大操作量核算见表 9-8。

表 9-6 放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表 9-7 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较低的固体	液体，溶液，悬浮液	表面有污染的固体	气体，蒸汽，粉末，压力很高的液体，固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

表 9-8 本项目核医学一区使用的放射性核素日等效最大操作量核算

核素	物理状态/毒性组别	操作方式	日等效最大操作量
^{177}Lu（科研实验）	液态/中毒	简单操作	1.48×10^{10}Bq×0.1/1=1.48×10^{9}Bq
^{188}W/^{188}Re	液态/中毒	源的贮存	3.70×10^{10}Bq×0.1/100=3.70×10^{7}Bq
^{188}Re（科研实验及药物标记）	液态/中毒	简单操作	1.11×10^{10}Bq×0.1/1=1.11×10^{9}Bq
^{68}Ge/^{68}Ga	液态/中毒	源的贮存	1.85×10^{9}Bq×0.1/100=1.85×10^{6}Bq
^{68}Ga（科研实验及药物标记）	液态/低毒	简单操作	1.85×10^{9}Bq×0.01/1=1.85×10^{7}Bq
^{99m}Tc（科研实验）	液态/低毒	简单操作	5.55×10^{9}Bq×0.01/1=5.55×10^{7}Bq
^{18}F（科研实验）	液态/低毒	简单操作	1.11×10^{9}Bq×0.01/1=1.11×10^{7}Bq

^{89}Zr（科研实验及药物标记）	液态/中毒	简单操作	9.25×10^{8}Bq×0.1/1=9.25×10^{7}Bq
^{225}Ac（科研实验）	液态/极毒	简单操作	1.85×10^{7}Bq×10/1=1.85×10^{8}Bq
^{64}Cu（科研实验及药物标记）	液态/低毒	简单操作	1.85×10^{9}Bq×0.01/1=1.85×10^{7}Bq
^{131}I（科研实验）	液态/中毒	简单操作	7.40×10^{9}Bq×0.1/1=7.40×10^{8}Bq
^{99m}Tc（显像诊断）	液态/低毒	很简单操作	7.40×10^{9}Bq×0.01/10=7.40×10^{6}Bq
^{123}I（显像诊断）	液态/低毒	很简单操作	1.48×10^{9}Bq×0.01/10=1.48×10^{6}Bq
^{99m}Tc（显像诊断，配合 ^{90}Y）	液态/低毒	很简单操作	1.85×10^{8}Bq×0.01/10=1.85×10^{5}Bq
^{18}F（显像诊断）	液态/低毒	很简单操作	5.55×10^{9}Bq×0.01/10=5.55×10^{6}Bq
^{18}F（备药）	液态/低毒	源的贮存	2.22×10^{10}Bq×0.01/100=2.22×10^{6}Bq
^{124}I（显像诊断）	液态/中毒	很简单操作	9.25×10^{8}Bq×0.1/10=9.25×10^{6}Bq
^{90}Y（核素治疗）	液态/中毒	很简单操作	7.0×10^{9}Bq×0.1/10=7.0×10^{7}Bq
^{89}Sr（核素治疗）	液态/中毒	很简单操作	7.40×10^{8}Bq×0.1/10=7.40×10^{6}Bq
^{223}Ra（核素治疗）	液态/极毒	很简单操作	3.70×10^{7}Bq×10/10=3.70×10^{7}Bq
合计			3.89×10^{9}Bq

注：影像区所用 ^{64}Cu、^{89}Zr、^{68}Ga 核素药物及治疗区所用 ^{188}Re 核素药物均由核素实验室提供，已考虑其在核素实验室阶段的等效操作量，转移到影像区、治疗区使用时不再重复计算其等效操作量。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）非密封源工作场所的分级原则，结合表 9-4 计算结果可知本项目核医学一区工作场所日等效最大操作量为 3.89×10^{9}Bq，属于“2×10^{7}~4×10^{9}”Bq 范围，确定本项目核医学一区工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。

（二）核医学二区

核医学二区外购成品 ^{131}I、^{177}Lu 核素药物开展核素治疗。

根据医院提供的预估工况，核医学二区放射性核素使用情况见表 9-9。

表 9-9 本项目医学二区放射性核素使用情况一览表

非密封放射性物质		
^{131}I（甲状腺吸碘	日最大用量	平均单次使用量 0.01mCi×日最高峰 10 人=3.70×10^{6}Bq

率测定）	年总用量	平均单次使用量 0.01mCi×年最多 1000 人=3.70×10^{8}Bq
^{131}I（甲亢治疗）	日最大用量	平均单次使用量 10mCi×日最高峰 10 人=3.70×10^{9}Bq
	年总用量	平均单次使用量 10mCi×年最多 1000 人=3.70×10^{11}Bq
^{177}Lu（核素治疗）	日最大用量	单次使用平均量 200mCi×日最高峰 3 人=2.22×10^{10}Bq
	年总用量	平均单次使用量 200mCi×年最多 150 人=1.11×10^{12}Bq

参考《辐射防护手册 第三分册》（原子能出版社，1990 年版）中对于非密封放射性物质的不同操作方式给出的说明（P143）（其中很简单的操作会有少量的放射性物质散布开来，主要是防止撒漏，例如少量稀释溶液合并、分装或稀释，污染不太严重的器皿和工具的洗涤等；简单的操作可能会有较多的放射性物质散布开来，除了会有表面污染外，还会有空气污染出现）以及《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）中的相关内容（医疗机构使用 ^{131}I 相关活动视为“简单操作”），本项目核医学二区使用 ^{131}I 进行甲状腺吸碘率测定及甲亢治疗核素操作方式界定为“简单操作”，使用 ^{177}Lu 进行核素治疗操作方式参考 ^{131}I 保守界定为“简单操作”。同时查阅 GB 18871-2002 得到 ^{131}I、^{177}Lu 核素的毒性组别为“低毒”。

根据医院提供的核素日最大操作量，经过毒性组别及操作方式的双重修正，得到非密封放射性物质工作场所的日等效操作量，并判断其工作场所等级。放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商，放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 9-6 和表 9-7。本项目核医学二区所使用的放射性核素日等效最大操作量核算见表 9-10。

表 9-10 核医学科二区使用的放射性核素日等效最大操作量核算

核素	物理状态/毒性组别	操作方式	日等效最大操作量
^{131}I（甲状腺吸碘率测定）	液态/中毒	简单操作	3.70×10^{6}Bq×0.1/1=3.70×10^{5}Bq
^{131}I（甲亢治疗）	液态/中毒	简单操作	3.70×10^{9}Bq×0.1/1=3.70×10^{8}Bq
^{177}Lu（核素治疗）	液态/中毒	简单操作	2.22×10^{10}Bq×0.1/1=2.22×10^{9}Bq
合计			2.59×10^{9}Bq

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）非密封源工作场所的分级原则，结合表 9-10 计算结果可知本项目核医学科诊断区工作场所日等效最大操作量为 2.59×10^{9}Bq，属于“2×10^{7}~4×10^{9}”Bq 范围，确定本项目核医学二区工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。

（三）核医学三区

核医学三区外购成品 ^{225}Ac、^{211}At 核素药物开展核素治疗。

根据医院提供的预估工况，核医学三区放射性核素使用情况见表 9-11。

表 9-11 本项目医学三区放射性核素使用情况一览表

非密封放射性物质		
^{225}Ac（核素治疗）	日最大用量	单次使用平均量 0.25mCi×日最高峰 4 人=3.70×10^{7}Bq
	年总用量	平均单次使用量 0.25mCi×年最多 400 人=3.70×10^{9}Bq
^{211}At（核素治疗）	日最大用量	平均单次使用量 20mCi×日最高峰 4 人=2.96×10^{9}Bq
	年总用量	平均单次使用量 20mCi×年最多 400 人=2.96×10^{11}Bq

参考《辐射防护手册 第三分册》（原子能出版社，1990 年版）中对于非密封放射性物质的不同操作方式给出的说明（P143）（其中很简单的操作会有少量的放射性物质散布开来，主要是防止撒漏，例如少量稀释溶液合并、分装或稀释，污染不太严重的器皿和工具的洗涤等；简单的操作可能会有较多的放射性物质散布开来，除了会有表面污染外，还会有空气污染出现），本项目核医学三区使用 ^{225}Ac、^{211}At 进行核素治疗操作方式参考 HJ 1188-2021 表 A.2 界定为“简单操作”。同时查阅 GB 18871-2002 得到 ^{225}Ac 核素的毒性组别为“极毒”，^{211}At 核素的毒性组别为“高毒”。

根据医院提供的核素日最大操作量，经过毒性组别及操作方式的双重修正，得到非密封放射性物质工作场所的日等效操作量，并判断其工作场所等级。放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商，放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 9-6 和表 9-7。本项目核医学三区所使用的放射性核素日等效最大操作量核算见表 9-12。

表 9-12 核医学三区使用的放射性核素日等效最大操作量核算

核素	物理状态/毒性组别	操作方式	日等效最大操作量

^{225}Ac（核素治疗）	液态/极毒	简单操作	$3.70\times10^{7}Bq\times10/1=3.70\times10^{8}Bq$
^{211}At（核素治疗）	液态/高毒	简单操作	$2.96\times10^{9}Bq\times1/1=2.96\times10^{9}Bq$
合计			$3.33\times10^{9}Bq$

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）非密封源工作场所的分级原则，结合表 9-12 计算结果可知本项目核医学科诊断区工作场所日等效最大操作量为 $3.33\times10^{9}Bq$，属于“2×10^{7}~4×10^{9}”Bq 范围，确定本项目核医学三区工作场所为乙级非密封放射性物质工作场所。

二、工作原理及工作流程

（一）核医学一区

1、核素实验室

（1）工作原理

核素实验室外购 ^{188}W-^{188}Re 发生器、^{68}Ge-^{68}Ga 淋洗 ^{188}Re、^{68}Ga 核素，外购 ^{177}Lu、^{99m}Tc、^{18}F、^{89}Zr、^{225}Ac、^{64}Cu、^{131}I 核素源液，其中 ^{177}Lu、^{99m}Tc、^{18}F、^{225}Ac、^{131}I 仅用于开展科研实验，^{188}Re、^{68}Ga、^{89}Zr、^{64}Cu 用于开展科研实验及药物标记。

①核素发生器

放射性核素发生器是从长半衰期核素中分离出短半衰期子体核素的装置，用于生产需要的放射性核素。如图 9-4 所示，这种装置通常将母体核素装在一根柱上，而子体核素与母体核素的载体吸附性较差，使用时采用与子体核素相溶性较好淋洗液，即可把柱中的子体核素洗脱下来。本项目使用 HCl 溶液从 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器中洗脱 ^{68}Ga 核素，使用 NaCl 溶液从 ^{188}W-^{188}Re 发生器中洗脱 ^{188}Re 核素。实用的核素发生器中，一般子体核素半衰期较短，母体核素半衰期较长，核素发生器的使用，解决了短半衰期核素需要高频次使用而又无法长期储存的难题。

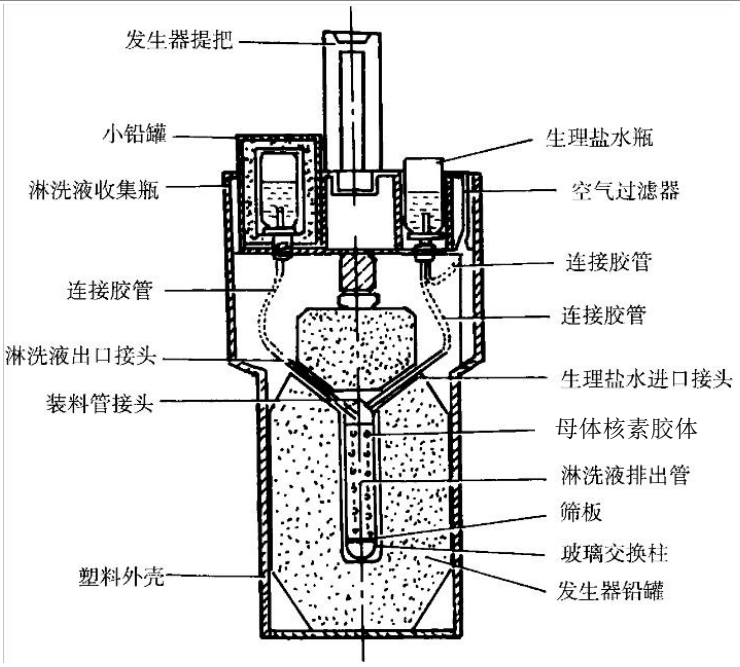


图 9-4 核素发生器结构示意图

②科研实验

核素实验室在操作室 1/2 中的铅屏蔽热室内开展科研实验，使用核素源液与载体化合物进行置换或络合反应，得到含放射性核素的目标化合物。开展科研实验目的是探索新型核素药物及其合成途径，使用对人体组织或器官亲和性不同的载体化合物，研制不同靶向的核素药物，再通过对目标化合物成分纯度、活度的检测分析，可获取核素转化效率，以验证合成途径的可行性与经济性。

③药物标记

使用放射性核素标记药物的基本原理即为同位素标记法。同一种元素的放射性核素与非放射性核素及其化合物具有相同的化学性质，只是放射性核素与非放射性核素具有不同的物理性质。这使得放射性核素可以替代化合物中同元素的非放射性核素，从而制成含有放射性同位素的标记化合物。由于合成标记化合物利用的是核素的化学特性，因此同位素标记化合物的合成与普通化合物的合成没有本质上的区别，理论上只要有合适的试剂，任何反应都可以用于同位素标记化合物的合成。这使得在实际应用中，往往可以选择过程简单、操作安全的合成途径。

（2）工作流程及产污环节

本项目核素淋洗、科研实验及药物标记均在热室内自动进行，其主要工作流程及产污环节如下：

①核素淋洗时将淋洗液瓶插入发生器的双针，1min 后整体拔下外有防护罐的负压瓶，即制得淋洗液；

②制得的淋洗液贮存于外有防护罐的负压瓶之中，热室内配备有自动分装仪，标记药物时使用自动分装仪按照所需活度取相应的淋洗液或核素源液；

③使用自动合成装置将定量的淋洗液或核素源液注入标记物瓶中，进行振荡、摇匀，使其充分反应后即获得标记好的药物；

④使用自动分装仪取约 0.01mCi 的标记物装在试剂瓶中，连同试剂瓶放入铅罐内，通过传递窗转移到放射性检验室进行质检；

⑤研发实验进行到质检操作即结束；标记好的药物在通过质检后，按照显像或治疗所需的量，使用自动分装仪将药物进行分装，然后使用铅罐转移到影像区或治疗区使用。

核素实验室工作流程及产污环节如图 9-5（1）所示。

图 9-5（1） 核素实验室工作流程及产污环节示意图

科研实验及药物标记后，均需取样进行质检。热室中均集成自动分装仪，取样时使用自动分装仪进行取样，每次质检取样不超过 0.01mCi。质检主要工作流程及产污环节如下：

①使用自动分装仪取样，样本直接流入专用容器中（本项目一般使用一次性小玻

璃瓶或试管等）；

②从热室操作窗口取出样本，迅速放入 10mm 铅罐中并封闭铅罐；

③使用推车转移铅罐，并通过传递窗送入放射性检验室，需要留样的，连同铅罐存入放射性检验室的留样间内；直接进行质检的，在放射性检验室内使用检测仪器进行处理；

④需要进一步检测的，在放射性检验室添加试剂预处理后，再使用移液枪细分为多个样本，通过传递窗转移到阳性、无菌、微生物检验室进行检测、分析；

⑤综合各项检验、检测结果，得出质检结论。质检完成后，收集质检过程中产生的放射性固体废物，暂存于废物暂存间内；放射性废液使用废液桶收集，暂存于废物暂存间内。

质检流程及产污环节如图 9-5（2）所示。

图 9-5（2）质检流程及产污环节示意图

2、影像区

◆ PET/CT 诊断项目

（1）工作原理

PET/CT（Positron Emission Tomography and Computer Tomography），全称正电子

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

正电子发射是放射性核素衰变的方式之一。这类核素在自发的从不稳定状态向基态衰变过程中，从核内释放出与普通电子一样但电荷相反的粒子，即正电子。正电子是一种反物质，从核内放出后很快与环境中自由电子碰撞湮灭，转化为一对方向相反、能量为 0.511MeV 的γ光子。如果在这对光子飞行方向上对置一对探测器，便可以几乎同时接收到这两个光子，并可推定光子发源（即正电子发射）点在两探头间连线上。通过环绕 360°排列的多组配对探头，经探头对之间符合线路检验判定每只探头信号时间耦合性，排除其他来源射线的干扰，得到探头对连线上的一维信息，再用滤波反投射方式，将信号按探头对的空间位置向中心点反投射，便可形成与探头组连线轴平行的断层面正电子发射示踪剂分布图像。这种探测方式一次只反映一个层面的信息。实用中常用多层排列的探头对，配合层间符合线路，以利探测并重建更多层面的图像。

（2）工作流程及产污环节

本项目核医学一区影像区所使用的 ^{18}F、^{124}I 放射性药物拟向制药公司订购获得，^{64}Cu、^{89}Zr、^{68}Ga 放射性药物拟通过核素实验室自行制备。医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，可提前向制药公司预订或自行制备，在患者就诊前将药物送到影像区的分装注射室内，核医学科指定专人负责药物的接收和登记，并暂存到分装注射室铅手套箱内，药物当天用完。

患者按预约日期到达候诊大厅，在候诊大厅内接受宣讲和告知，然后进入核医学科，到达注射窗口。医护人员在铅手套箱内根据患者用药情况将药物进行分装（当药物由核素实验室提供时，已提前分装好；外购成品药物需自行分装），装至带铅套的注射器内，经校对无误后，在注射窗口为病人注射。注射完毕后的注射器放入专用废

物铅桶内。每次分装过程中近距离接触正电子药物的时间保守按 2min、注射过程按 1min 估算。

PET/CT 诊断具体工作流程如下：

①接收患者，开具 PET/CT 诊断单并告知患者诊断过程存在辐射危害，并与患者预约诊断的日期；

②医生根据病情确定使用核素的剂量，提前向制药公司订购药物或由核素实验室制备；

③患者按照预约的日期到核医学登记签到。同时制药公司按照约定的时间将药物配送至一区影像区分装注射室，工作人员接收后存放在手套箱中；或由核素实验室提前制备并分装好，转移到影像区分装注射室手套箱中；

④工作人员核对患者信息，无误后按照事前确定的剂量在手套箱内分装药物（核素实验室提供的药物已提前分装好），核对活度无误后，通过广播叫号引导患者至注射窗口，通过注射将放射性药物摄入。在药品摄入过程中存在γ射线污染，同时会产生放射性废水、固废(注射器、棉球、药品盒)；

⑤患者注射完药物后进入 PET/CT 注射后候诊室内等待观察（一般注射放射性药物后需等待约 30min），待药物代谢至靶器官，进入 PET/CT 检查室，经医护人员摆位后，接受 PET/CT 扫描，每次扫描约 10～20 分钟。扫描完成后，患者在留观室休息，留观一段时间后，若无其他情况，从患者专用通道离开。此过程患者带有γ射线。

因此，用 ^{18}F、^{124}I、^{64}Cu、^{89}Zr、^{68}Ga 进行 PET/CT 显像显像主要环境影响为分装、注射期间对工作人员产生的外照射，带药患者产生的外照射；注射过程对工作台面、地面等造成的表面污染；操作过程产生的放射性固体废物，如使用放射性药物的注射器、注射针头、可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物；操作过程产生的放射性废水，如洗涤废水、注射放射性药物患者的排泄物等；PET/CT 扫描时产生的 X 射线外照射。

◆ SPECT/CT 诊断项目

（1）工作原理

SPECT/CT 即单光子发射计算机断层扫描。它将发射单光子的核素药物（本项目使用 ^{99m}Tc、^{123}I）引入生物体，其经代谢后在脏器内外或病变部位和正常组织之间形成放射性浓度差异，这些差异通过计算机处理成 ECT 图像，为肿瘤的诊治提供多方位

信息。γ照相机探头的每个灵敏点探测沿一条投影线（Ray）进来的γ光子，其测量值代表人体在该投影线上的放射性之和。在同一条直线上的灵敏点可探测人体一个断层上的放射性药物，它们的输出称作该断层的一维投影（Projection）。各条投影线都垂直于探测器并互相平行，称之为平行束，探测器的法线与 X 轴的交角θ称为观测角（View）。γ照相机是二维探测器，安装了平行孔准直器后，可以同时获取多个断层的平行束投影，这就是平片。平片表现不出投影线上各点的前后关系。要想知道生物体在纵深方向上的结构，就需要从不同角度进行观测。可以证明，知道了某个断层在所有观测角的一维投影，就能计算出该断层的图像。从投影求解断层图像的过程称作重建（Reconstruction）。这种断层成像术离不开计算机，所以称作计算机断层成像术（Computered Tomography，CT）。CT 设备的主要功能是获取投影数据和重建断层图像。

SPECT/CT 是将 SPECT 和 CT 这两种设备安装在同一个机架上，两种显像技术的定位坐标系统相互校准，在两次扫描期间患者处于同一个检查床上且保持体位不变，可防止因患者移位产生的误差，在一定程度上也解决了时间配准的问题。通过 SPECT/CT 图像融合技术，可以将 SPECT 灵敏反映体内组织器官生理、生化和功能的变化与 CT 提供的精确的解剖结构信息相结合，真正实现了功能、代谢、生化影像与解剖结构影像的实时融合，为临床提供了更加全面、客观、准确的诊断依据。不仅如此，CT 提供的图像数据还可用于 SPECT 的衰减校正，有效提高 SPECT 的图像质量。

（2）工作流程及产污环节

本项目 SPECT/CT 诊断使用的 ^{99m}Tc、^{123}I 放射性药物购自专业供货商，其操作流程如下：医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，向专业供应商订购，供应商根据医院预约的时间和用量定时将药物送达核医学科分装室，医院指定专人负责药物的接收和登记，并暂存到分装标记室专用手套箱内，当天用完。^{99m}Tc、^{123}I 到货时为装入铅罐内的整罐药液，需要由医护人员按患者所需活度进行分装。

少量患者需提前在运动负荷室运动，待患者心律达到一定速率后再至注射室窗口前注射药物。医护人员在手套箱内根据患者用药情况将药物分装至带铅套的注射器内，测定活度，经校对无误后，在注射窗口为患者注射。注射完毕后，废弃注射器放入专用废物铅桶内。每次分装过程中近距离接触 ^{99m}Tc、^{123}I 药物的时间保守按 2min、注射过程按 1min 估算，患者根据注入的 ^{99m}Tc、^{123}I 药物特性，在给药后候诊室内静

坐约 20~30min，待药物代谢至靶器官，进入 SPECT/CT 机房，经医护人员摆位（每次约 1min）后，接受 SPECT/CT 的扫描，每次扫描约 10～20 分钟。扫描完成后，患者在留观室留观一段时间后，若无其他情况，从患者专用通道离开。

影像区 PET/CT、SPECT/CT 诊断项目工作流程及产污环节分析见图 9-6。

图 9-6 PET/CT、SPECT/CT 工作流程及产污环节分析示意图

3、治疗区

◆ ^{90}Y 玻璃微球治疗项目

（1）工作原理

^{90}Y 玻璃微球是一款靶向放射治疗产品，是直径为 20~30μm 的不可溶解的玻璃微球，内含 ^{90}Y 放射性核素。^{90}Y 玻璃微球内放射性 ^{90}Y 是利用中子轰击高纯度的 $^{89}Y^2O^3$ 靶，发生 ^{89}Y（n，γ）^{90}Y 反应而产生，其获得的 ^{90}Y 纯度高，不混杂 ^{90}Sr。^{90}Y 衰变为稳定无毒的 ^{90}Zr，衰变方式为：$_{39}Y^{90}\rightarrow{}_{40}Zr^{90}+\beta^-$。

^{90}Y 玻璃微球被装在含有 0.6mL 无菌、无热原水的 1.0mL 锥形底玻璃小瓶（外含

1 个透明的有机玻璃瓶防护罩）中，微球为白色的自由流动粉末，水为无色透明液体。该产品被广泛应用于肝癌的选择性体内放射治疗（SIRT）中，即在肝脏病灶处，通过靶向的大剂量高能量β辐射起到杀死癌细胞的目的，同时不伤害健康肝脏组织，可用于治疗不可手术切除的原发性肝癌。

（2）工作流程及产污环节

^{90}Y 玻璃微球治疗项目以介入式治疗形式进行，玻璃微球通过导管经由肝总动脉、右肝动脉或左肝动脉注射引导到肝脏肿瘤中，在输送到肝动脉后，玻璃微球被选择性地输送并停留在肿瘤的微血管中，发挥局部放射疗效，具体手术步骤如下：

第一阶段：在治疗前 7~14 天需使用锝标记聚合白蛋白（^{99m}Tc-MAA）注入肝动脉，以评估患者是否适合此项治疗。该阶段锝标记聚合白蛋白（^{99m}Tc-MAA）注射过程在影像区工作场所内完成，其原理为：锝标记聚合白蛋白（^{99m}Tc-MAA）为一种对人体无害的诊断用蛋白，分子大小近似 ^{90}Y 玻璃微球，可模拟 ^{90}Y 玻璃微球于体内分布的状态，确保 ^{90}Y 玻璃微球会停驻在肝脏，而非其他器官，不会造成其他器官的放射性伤害。第一阶段的诊断工作流程具体如下：

①提前 1 天填妥血管摄影同意书，并通知禁食 6~8 小时，送检前排空尿液；

②患者至治疗区 DSA 手术室进行血管造影，放置导管并栓塞胃肠侧支血管；

③将患者转移至影像区，经导管注入锝标记聚合白蛋白（^{99m}TcMAA）至肝脏，再进入 SPECT/CT 机房接受扫描。扫描完成后，若无其他情况，患者即可从患者专用通道离开。

④医生根据显像结果，了解锝标记聚合白蛋白（^{99m}TcMAA）在人体分布情况，确定患者是否适合 ^{90}Y 玻璃微球治疗。

第二阶段：在第一阶段，若确定患者适合 ^{90}Y 玻璃微球治疗，则需在 7~10 天内完成 ^{90}Y 玻璃微球输注，医院根据患者具体情况，制定治疗方案及手术时间后，按照处方剂量向供货公司提前订购 ^{90}Y 玻璃微球，每次订购为分装好的 1 人份剂量。^{90}Y 玻璃微球剂量瓶外含 1 个透明的有机玻璃瓶防护罩，被放置在 1 个 10mmPb 铅罐内由供货商送入一区治疗区，经质检人员核对放射性药物名称、活度，检查药品包装和外观质量，与供药公司办理交接手续后，妥善放入治疗区储源室保险柜中，使用时，再取出送入 DSA 机房。^{90}Y 玻璃微球一般于手术前 1 天送达，第二阶段具体工作流程如下：

①提前 1 天填妥血管摄影同意书，并通知禁食 6~8 小时，送检前排空尿液；

②患者至 DSA 手术室进行血管造影，放置导管并栓塞胃肠侧支血管（插管过程需借助 DSA 血管造影技术，此时 ^{90}Y 玻璃微球存放于铅罐中，故机房内外主要受到 DSA 曝光产生的辐射影响）。将运送至 DSA 手术室的 ^{90}Y 玻璃微球与一次性输入装置组装完毕，于 DSA 手术室内经导管将 ^{90}Y 玻璃微球注入；完成后，拔除输送针管、导管等，并放入废物铅桶中暂存。手术期间需偶尔进行 DSA 透视曝光以观察导管和药物的位置（插管和药物输注过程需借助 DSA 血管造影技术，出束时间约 10min）；

③患者进入 ^{90}Y 玻璃微球患者专用留观病房住院留观，6~24h 后患者可返家。

图 9-7 ^{90}Y 玻璃微球治疗主要工作流程及产污环节示意图

图 9-8 玻璃微球剂量瓶

图 9-9 玻璃微球治疗项目输注配套装置

本项目不涉及放射性药物的生产、合成与分装，医院按照处方剂量向供货公司提前订购，供货商按照订单将单人次用量的 ^{90}Y 玻璃微球封装进 1 个含有 0.6mL 无菌、无热原水的 1.0mL 锥形底玻璃剂量瓶中，剂量瓶外采用 12mm 厚有机玻璃防护罩及 10mmPb 铅罐进行辐射防护。每 1 个 ^{90}Y 玻璃微球剂量瓶都附带有 1 套预先装配的一次性使用输入装置以及 1 个可重复使用的输入附件盒。

一次性输入装置包括 1 套一次性无菌管组和 1 个空的无菌瓶。管组由预先装配的无菌组件制成，包含带针注射器活塞组件和一体化的 20cc 注射器。输入装置中的单向阀用于控制液体流动，保证无菌盐水只朝适当方向流动：抽回注射器活塞会将盐水灌满注射器，推进注射器活塞会将盐水推向带针注射器活塞组件。

输入附件盒主要部件包含 1 个底座、顶部屏蔽盖、可拆卸侧面屏蔽盖（均为有机玻璃材质，厚度为 12.6~13.5mm）和盐水袋挂钩，另含 1 个 9.5mm 厚防辐射有机玻璃废弃物容器。输入附件盒可确保 ^{90}Y 玻璃微球剂量瓶的最佳布局，有利于在输注过程提供辐射防护，输入附件盒上的延伸臂有利于输入装置与患者端导管连接件的对齐和定位。

^{90}Y 玻璃微球治疗项目输入装置使用步骤如下：

1、输入装置预注：打开输入装置包装，取出一次性无菌管组及无菌瓶；将非排气针插入生理盐水袋，盐水袋挂到输入附件盒的盐水袋挂钩上；将排气针插入无菌瓶中；去掉带针注射器活塞组件的红色橡胶帽，缓慢地将注射器充满生理盐水，然后排出，以便将空气从输入装置管线及注射器中排出。预注完成时，将注射器内注满生理盐水。

2、将 1 个个人剂量报警仪装入输入附件盒支架上，记录其显示数值（DSA 手术室本底剂量）。

3、^{90}Y 玻璃微球剂量瓶准备：拿起装有 ^{90}Y 玻璃微球剂量瓶的铅罐，反复倾斜转动，以沾湿附于剂量瓶封口橡胶塞上的玻璃微球。将铅罐底部用力在坚硬表面物体上敲击后，将铅罐放入输入附件盒底座的容器固定架中；取下铅罐盖子，用止血钳、无菌胶条分别去掉剂量瓶有机玻璃防护罩顶部的紫色封口、栓盖；用止血钳夹取酒精棉签擦拭剂量瓶橡胶塞。

4、输入装置与输入附件盒组装：将无菌瓶置于输入附件盒的固定架中，将带针注射器活塞组件插入剂量瓶有机玻璃防护罩中，按压绿帽将其锁定。将输入装置的输

入、输出管线放置在输入附件盒的相应卡槽中，管线环绕输入附件盒侧面布线；将带针注射器活塞组件上的黄色把柄一直向下推，将针头锁入 ^{90}Y 玻璃微球剂量瓶中；将侧面、顶部屏蔽盖组装到输入附件盒底座上，确认管线没有被夹住或扭结。

5、将一条无菌毛巾覆盖在输入附件盒与患者之间的间隙处，将输入装置的输出管与导管连接，接口固定在输入附件盒延伸臂固定架上，使得输出管高于固定架，输注导管垂直悬挂在下方；松开输出管上的止流夹。

6、^{90}Y 玻璃微球输注：推动注射器来输注 ^{90}Y 玻璃微球，输入装置内盐水流速控制在 20cc/min，回拉注射器活塞，至少冲洗 3 次，总量为 60cc。观察输入附件盒支架上的个人剂量报警仪读数，连续冲洗盐水直至个人剂量报警仪读数达到本底剂量。

7、剪断输入装置的输入管线，撤去输入附件盒侧面、顶部屏蔽盖；从患者身上取下输注导管。小心处理输注导管和导引导管的尖端，为了辐射防护，尽量使用纱布、毛巾或止血钳来拿取导管。将输注导管、输入装置、^{90}Y 玻璃微球剂量瓶（含带针注射器活塞组件）、纱布、毛巾、手套等可能带有玻璃微球的物品放入废物容器桶（带β放射性防护板）中。

8、对于所有要离开 DSA 手术室的工作人员、工作场所及相关设备，采用表面沾污仪进行检查，酌情对相关物品进行去污处理。

图 9-10 一次性输入装置示意图

图 9-11 输入附件盒与一次性输入装置示意图

◆ ^{188}Re、^{89}Sr、^{223}Ra 核素治疗项目

（1）工作原理

^{188}Re、^{89}Sr 是一种亲骨性放射性核素，进入体内后同钙一样参加骨矿物质的代谢过程，静脉给药后，恶性肿瘤骨转移病灶内的摄取率大于正常骨组织的 2~25 倍，并滞留在癌灶中，发射出β射线，利用其辐射效应杀伤癌细胞，缩小病灶，起到良好的镇痛作用。

^{223}Ra 核素药物可用于伴有症状性骨转移且无已知内脏转移的 CRPC 患者的治疗。肿瘤发生骨转移后，病灶部位发生骨质破坏，在破坏部位的骨组织会出现代偿性地自我修复并不断地钙质沉积。镭-223 是钙的类似物，可靶向聚集在骨质破坏灶，发射出α粒子，在骨转移病灶对肿瘤细胞产生难以修复的杀伤作用。同时，因其射线射程小于 100μm，穿透力弱，对周围组织尤其骨髓的影响小；另外，镭-223 不经肝、肾代谢，因此在安全性上较β-核素更具优势。

（2）工作流程及产污环节

治疗区所用 ^{188}Re 核素药物由核素实验室自行制备、分装，^{89}Sr、^{223}Ra 核素药物需提前向核药公司订购，并由核药公司负责配送至治疗区，由治疗区专人负责接收和登记，暂存于治疗区源室的保险柜中，当天用完。^{188}Re、^{89}Sr、^{223}Ra 核素治疗项目主要工作流程如下：

①门诊接收患者，确诊病症后制定治疗计划并告知患者放射性核素治疗在辐射危害，并与患者预约治疗的日期；

②患者按照预约的时间到达治疗区进行登记签到，工作人员安排患者到治疗室等候；

③按照治疗计划提前向制药公司订购成品核素药物或由核素实验室制备并分装好药物。订购的药物由制药公司配送至治疗区，暂存于源室的保险柜中；核素实验室制备的药物提前转移到治疗区源室的保险柜中；

④按照治疗计划取相应的核素药物，核对患者信息、药物剂量无误后，将药物带到患者所在的治疗室为患者注射，注射前提醒患者如厕；

⑤^{89}Sr、^{223}Ra 患者在治疗室内观察约 15~20min 后，若无异常即可离开；^{188}Re 患者需住院 1~2 天，经检测符合出院要求后可离开。

^{188}Re、^{89}Sr、^{223}Ra 核素治疗项目工作流程及产污环节如图 9-12 所示。

图 9-12 ^{188}Re、^{89}Sr、^{223}Ra 核素治疗项目工作流程及产污环节示意图

（二）核医学二区

医院核医学二区使用放射性核素 ^{131}I 开展甲状腺吸碘率测定和甲亢治疗，使用 ^{177}Lu 开展核素治疗。

1、工作原理

甲状腺具有高度选择性摄取碘元素的能力，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多，可高达血浆的几百倍，且在甲状腺内停留的时间较长，有效半衰期可达 7.6 天。患者服用 ^{131}I 药物后，90%以上的 ^{131}I 都会聚集到患者的甲状腺，其余的 ^{131}I 随代谢排出体外。^{131}I 衰变为氙-131（^{131}Xe）时放射出β射线，该射线能量低，在甲状腺内的平

均射程仅有0.5mm，一般不会造成甲状腺周围组织（例如甲状旁腺、喉返神经等）的辐射损伤。因此，^{131}I治疗可使部分甲状腺组织受到β射线的集中照射，使部分甲状腺细胞发炎、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的功能恢复正常，达到治疗的目的。一般开展甲亢治疗前，需进行甲状腺吸碘率测定，给予患者0.01mCi的^{131}I后，患者按照医嘱时间定时对甲状腺辐射水平进行检测，可以判断患者甲状腺对碘的摄取能力，从而为甲亢治疗确定所需的剂量提供依据。

^{177}Lu核素药物通常指由^{177}Lu标记的一系列药物，这些药物使用了不同的转运部分（一种蛋白质分子），可以识别位于癌细胞表面并与之结合的靶向受体，^{177}Lu成分附着在这种蛋白质载体上，从而可以将药物靶向递送至恶性细胞。使用不同的转运部分，使得^{177}Lu核素药物不仅可以对抗原发性肿瘤，还可以对抗转移性肿瘤，如前列腺癌、乳腺癌、肺癌、鼻咽癌、神经内分泌肿瘤等晚期恶性肿瘤，并能缓解骨转移所致骨痛。^{177}Lu核素药物通过注射摄入患者体内后，会定向聚集到癌症病灶组织，在癌症病灶处产生较高辐射量，利用辐射生物效应杀灭癌变细胞。^{177}Lu为纯β^-衰变核素，衰变时发射β射线，β射线在生物体内射程短，因此只会对^{177}Lu富集处（即癌症病灶处）细胞产生明显的生物效应；而其他正常组织细胞不会富集^{177}Lu，因此使用^{177}Lu核素药物治疗时不会对正常组织细胞产生不利影响。

2、工作流程及产污环节

核医学二区所用^{131}I、^{177}Lu核素药物均为外购成品药剂，其操作流程如下：医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，向专业供应商订购，供应商根据医院预约的时间和用量定时将药物送达核医学二区，医院指定专人负责药物的接收和登记，并暂存到分装室暂存间内，当天用完。药剂到货时均为装入铅罐内的整罐药液，需要由医护人员按患者所需活度进行分装。

甲状腺吸碘率测定、甲亢治疗的^{131}I药物由工作人员将药物分装到一次性口杯内，通过给药窗口交予患者口服药物（服药前提醒患者如厕），一次性口杯作为放射性固体废物放入专用废物铅桶内。甲状腺吸碘率测定患者口服药物后按照医嘱时间节点，到问诊室接受摄碘率检测，其余时间患者可自行离开，不产生放射性废水；甲亢患者口服药物后在服药场所（药物传递室）短暂留观，无异常后即可离开。

分装好的^{177}Lu通过注射的方式给药，^{177}Lu患者给药后在核医学二区病房住院2~3天治疗观察，经检测体外剂量水平满足出院要求后可以出院。

^{131}I 甲状腺吸碘率测定、甲亢治疗工作流程及产污环节如图 9-13 所示，^{177}Lu 核素治疗工作流程及产污环节如图 9-14 所示。

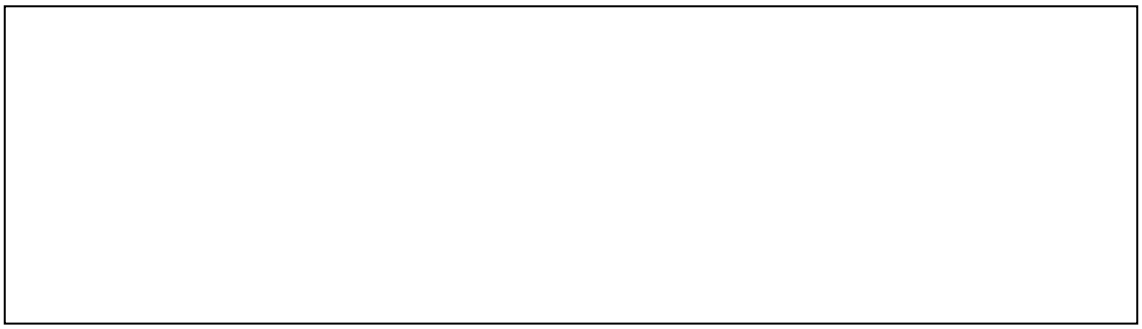


图 9-13 甲状腺吸碘率测定及甲亢治疗工作流程及产污环节示意图

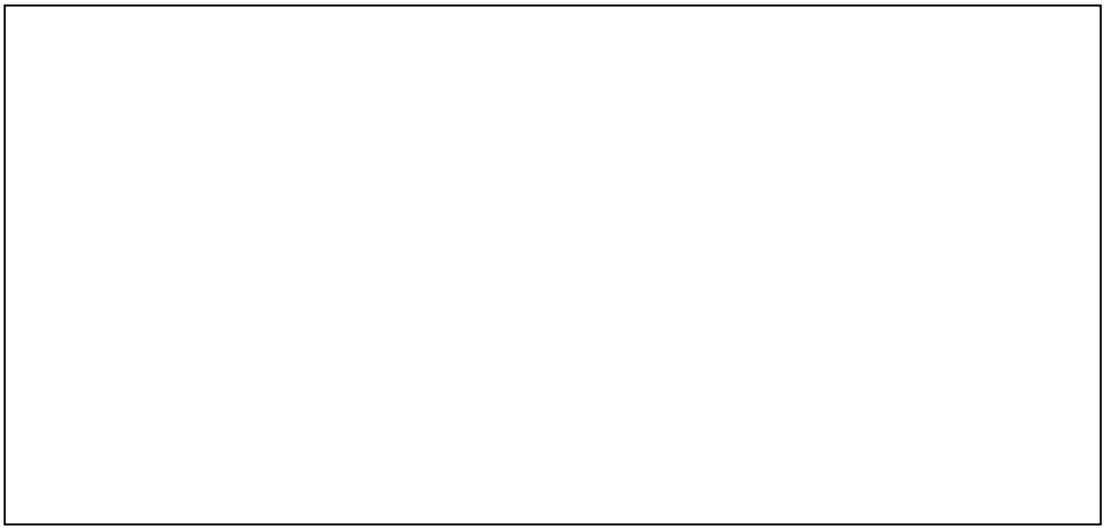


图 9-14 ^{177}Lu 核素治疗工作流程及产污环节示意图

（二）核医学三区

医院核医学三区使用 ^{225}Ac、^{211}At 开展核素治疗。

1、工作原理

^{225}Ac、^{211}At 均为α核素药物，通过将其标记物靶向性引入病变组织或细胞，利用核素发出的α射线的电离辐射生物效应，抑制或破坏病变组织，达到治疗的目的。α射线在生物体内射程很短，且正常组织不会富集核素药物，因此只会对病变组织或细胞产生辐射生物效应，而不会对正常组织细胞产生不利影响。

2、工作流程及产污环节

核医学三区所用 ^{225}Ac、^{211}At 核素药物均为外购成品药剂，其操作流程如下：医院根据患者预约情况，确定当天所使用的药物剂量，向专业供应商订购，供应商根据医院预约的时间和用量定时将药物送达核医学三区，医院指定专人负责药物的接收和

登记，并暂存到分装室暂存间内，当天用完。药剂到货时均为装入铅罐内的整罐药液，需要由医护人员按患者所需活度进行分装。

分装好的 ^{225}Ac、^{211}At 均通过注射的方式给药，给药后在核医学三区病房观20~30min 后，无异常情况即可离开。

^{225}Ac、^{211}At 核素治疗工作流程及产污环节如图 9-15 所示。

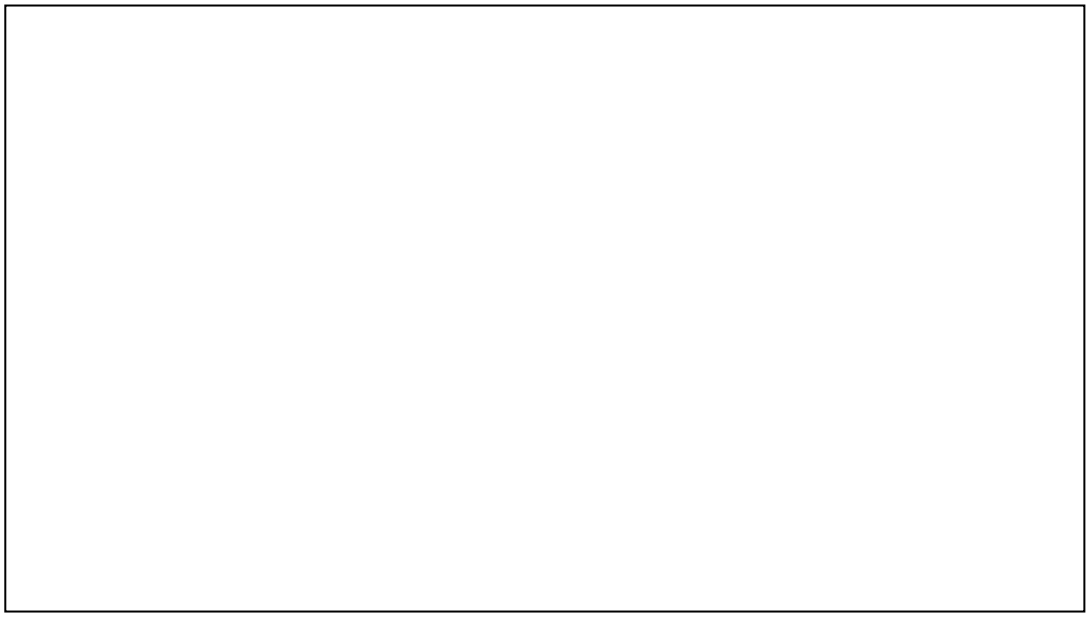


图 9-15 ^{225}Ac、^{211}At 核素治疗工作流程及产污环节示意图

三、工作场所人员、物流路径规划

本次新建核医学一区、二区、三区工作场所控制区和监督区内患者及医护人员均具有独立的出入口和流动路线，能够有效防止交叉污染，避免工作人员、公众受到不必要的外照射。核医学科工作场所人员、物流路径如图 9-16 至 9-20 所示。

1、医护人员路径：

（1）核医学一区核素实验室工作人员由制药组入口进入实验室，经过卫生通过间、制药缓冲室到达制药区走廊，从制药区走廊再依次经过一更、二更、缓冲室进入操作间 1/2 内工作，工作结束后经卫生通过间去污到达制药区走廊，再经出入口的制药缓冲室、卫生通过间离开；放射性检验室的工作人员由制药组入口进入实验室，经过卫生通过间、质检缓冲室进入理化实验区走廊，沿走廊进入放射性检验室，工作结束后原路返回。

（2）核医学一区影像区核素操作人员由医护入口更衣室（即卫生通过间）进入分装/注射室，工作结束后原路返回；PET/CT、SPECT/CT 操作人员直接由控制室出

入口进入控制室，工作结束后原路返回。

（3）核医学一区治疗区工作人员乘电梯到达二楼，DSA 操作人员经医护廊进入控制室，工作结束后原路返回；核素操作人员从治疗区入口进入内部走廊，至储源室取相应核素至 DSA 机房（^{90}Y）或病房（^{188}Re、^{89}Sr、^{223}Ra）为患者注射，工作结束后原路返回。

（4）核医学二区工作人员乘电梯到达三楼，从医护入口进入医护走廊，经卫生通过间进入准备室（即分装注射室），工作结束后原路返回。

（5）核医学三区工作人员乘电梯到达四楼，从医护入口进入医护走廊，经卫生通过间进入准备室（即分装注射室），工作结束后原路返回。

2、患者路径：

（1）核医学一区影像区患者在导诊台登记后到候诊区候诊，听到叫号后由患者入口进入影像区患者廊，根据治疗计划决定是否需要运动，然后在注射窗注射药物；注射药物后向西达到 PET/CT 候诊室或 SPECT/CT 候诊室候诊，每间候诊室最多同时有 1 名患者候诊；听到叫号后到 PET/CT 检查室或 SPECT/CT 检查室接受扫描，扫描结束后向南到达留观室留观，每间留观室最多有 1 名患者同时留观；无异常后出留观室向南经缓冲室离开核医学。

（2）核医学一区治疗区患者在导诊台登记后，乘电梯到达二楼，从治疗区入口进入内部走廊。^{188}Re、^{89}Sr、^{223}Ra 患者按医护人员引导到指定病房候诊，后由医护人员将药物带至病房为患者注射，^{89}Sr、^{223}Ra 患者注射药物后留观 15～20 分钟即可从出院检测室离开，^{188}Re 患者注射药物后需住院治疗观察 1~2 天，再从出院检测室离开；^{90}Y 患者按照指引经准备室进入 DSA 机房进行血管造影、预埋导管，然后转移到一楼影像区 SPECT/CT 机房内通过导管给药，给药后进行扫描，扫描结束后离开影像区返回 DSA 机房接受 ^{90}Y 注入手术，手术结束后转移到 ^{90}Y 病房休息 6~48h，无异常后即可从出院检测室离开核医学。

（3）核医学二区患者在导诊台登记后，乘电梯到达三楼。甲状腺吸碘率检测患者在三楼药物传递室口服药物后，按照医嘱时间节点在问诊室接受检测，其余时间可自行离开；甲亢患者在三楼药物传递室口服药物后即可离开；^{177}Lu 患者经三楼候诊/缓冲区从患者入口进入内部走廊，在注射室接受药物注射后向西到达病房，住院 3~5 天观察治疗，住院期间，患者在病房内休息，不得随意走动，取餐时，按照医护人员

广播引导，每次 1 名患者到取餐间取餐，带回各自病房内用餐，治疗周期结束后从出院检测室离开。

（4）核医学三区患者在导诊台登记后，乘电梯到达四楼。患者经候诊、缓冲区从患者入口进入内部走廊，在注射室接受药物注射后向西到达病房留观 15~20min 后，从出院检测室离开。

3、放射性药物路径：

（1）核医学一区核素实验室的核素发生器、核素源液由供应商配送，从楼梯间北侧的入口送至外清/外包间，由工作人员在缓冲/暂存间进行接收，核素（发生器）通过递药窗口从外清/外包间转移至缓冲/暂存间，签收登记后转移至操作间 1/2 的热室中暂存。核素实验室研发项目及药物标记、分装均在热室内进行，质控检测时取少量样品（一般不超过 0.01mCi）从操作间经缓冲室、走廊，通过递药窗口转移到留样间，工作人员从留样间接收样品，在放射性检验室进行检测；标记好的药物使用自动分装仪分装好后装入铅罐中，通过与核素送达路径相反的路线转移出核素实验室，送至影像区、治疗区使用。

（2）核医学一区影像区核素经医护入口更衣室送至分装注射室，暂存于手套箱内。

（3）核医学一区治疗区核素从治疗区入口经内部走廊送至储源室，暂存于储源室保险柜内。

（4）核医学二区核素由供应商配送，经电梯送至三楼的药物传递室，从传递窗送入暂存间，工作人员在暂存间接收、登记后，将核素转移至准备室的手套箱中暂存。

（5）核医学三区核素由供应商配送，经电梯送至四楼的药物传递室，从传递窗送入暂存间，工作人员在暂存间接收、登记后，将核素转移至准备室的手套箱中暂存。

4、废物路径：

（1）核医学一区核素实验室每日工作结束后，产生的固体废物从各房间收集后按长半衰期（＞24h）和短半衰期（＜24h）分别标记、分开储存于废物暂存间内，满足 HJ 1188-2020 规定的清洁解控要求后错峰清运，从核素送达入口离开。

（2）核医学一区影像区每日工作结束后，产生的放射性废弃物从各房间收集，集中到废物暂存库的铅桶内，暂存衰变满足 HJ 1188-2021 规定的清洁解控要求后，从患者出口错峰送出。

（3）核医学一区治疗区每日工作结束后，产生的放射性废弃物从各房间收集，集中到废物间的铅桶内，暂存衰变满足 HJ 1188-2021 规定的清洁解控要求后，从患者出口错峰送出。

（4）核医学二区每日工作结束后，产生的放射性废弃物从各房间收集，集中到废物间的铅桶内，暂存衰变满足 HJ 1188-2021 规定的清洁解控要求后，从患者出口错峰送出。

（5）核医学三区每日工作结束后，产生的放射性废弃物从各房间收集，集中到废物间的铅桶内，暂存衰变满足 HJ 1188-2021 规定的清洁解控要求后，从患者出口错峰送出。

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

本次核医学诊断项目相关配套布局能够保证各项工作程序沿着相关房间开展，减少了人员的流动性，有助于实施工作程序；注射室与检查室分开，给药后候诊室内设置有患者专用卫生间；核素药物、放射性废物与人员错峰转运，具有相对独立的路径，医护人员与患者有各自相对独立的通道，医院拟采取向患者发放告知单及叫号等措施，避免患者在核医学科工作场所内的随意走动，减少患者间的交叉而受到额外的辐射影响。工作人员离开工作室前洗手和做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，应采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。

本项目乙级非密封放射性物质工作场所路径规划满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中关于临床核

医学工作场所的要求以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）要求。

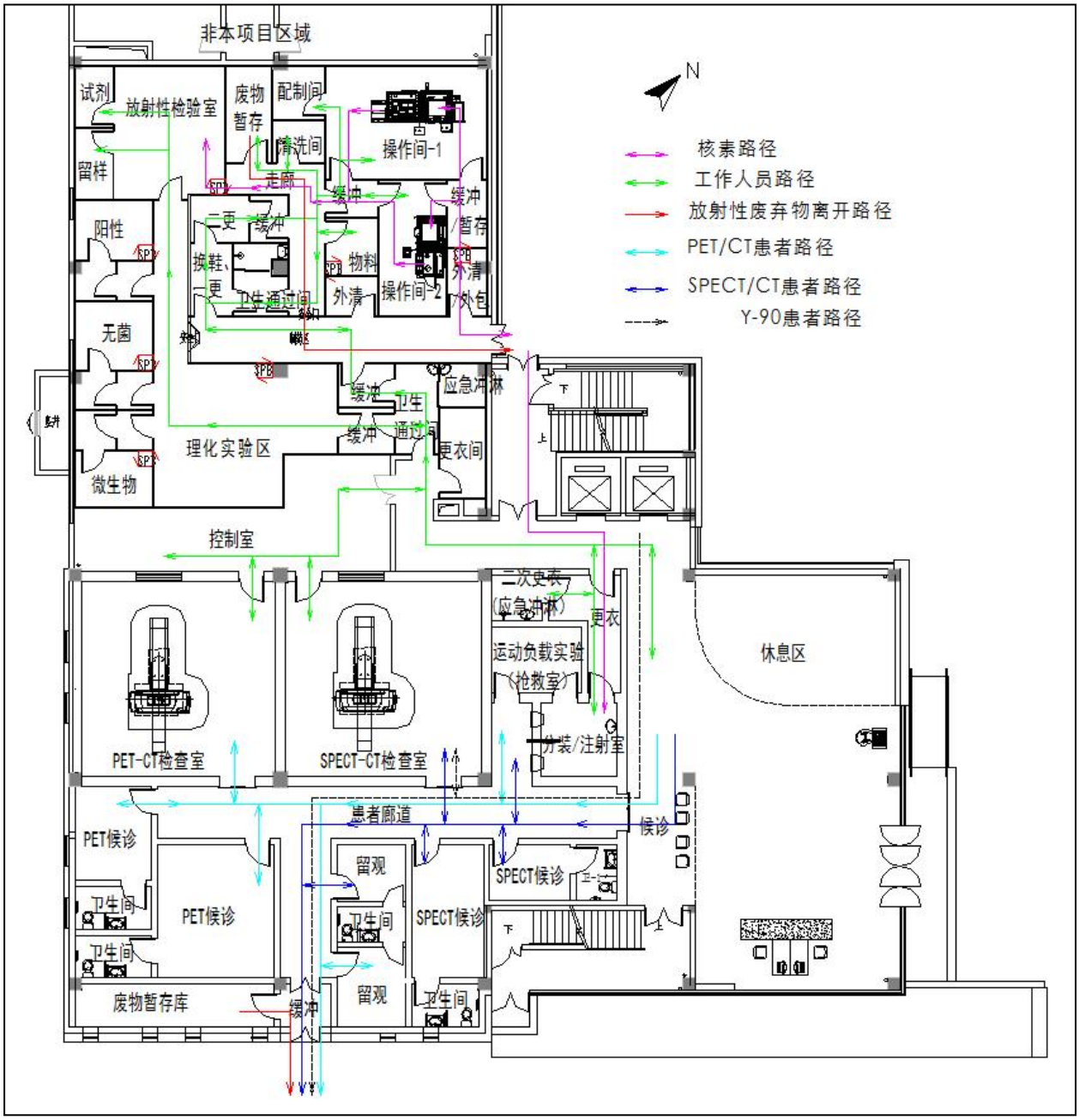


图 9-16 核医学一区核素实验室、影像区工作场所布局及人员、物流路径示意图

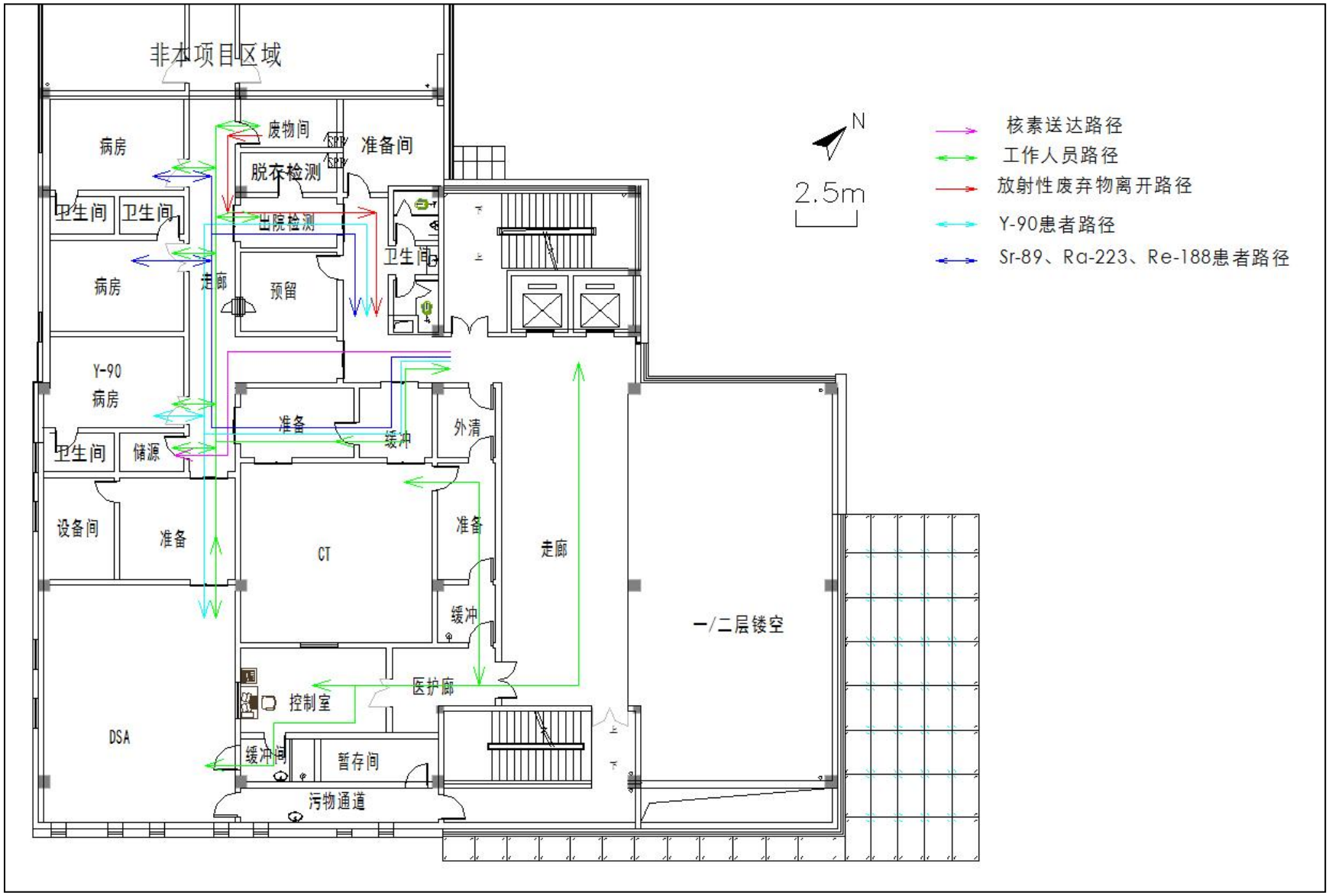


图 9-17 核医学一区治疗区工作场所布局及人员、物流路径示意图

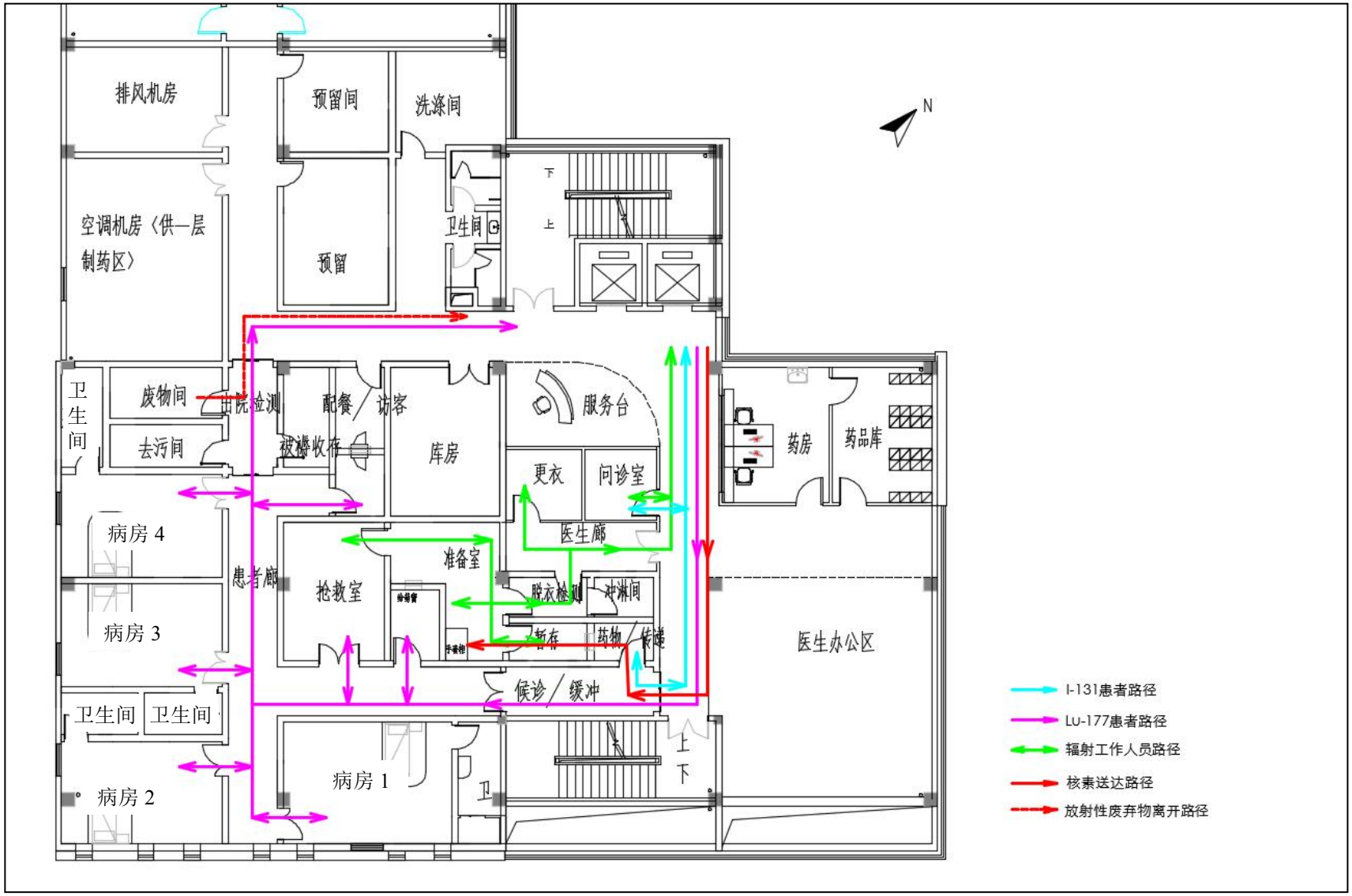


图 9-18 核医学二区工作场所布局及人员、物流路径示意图

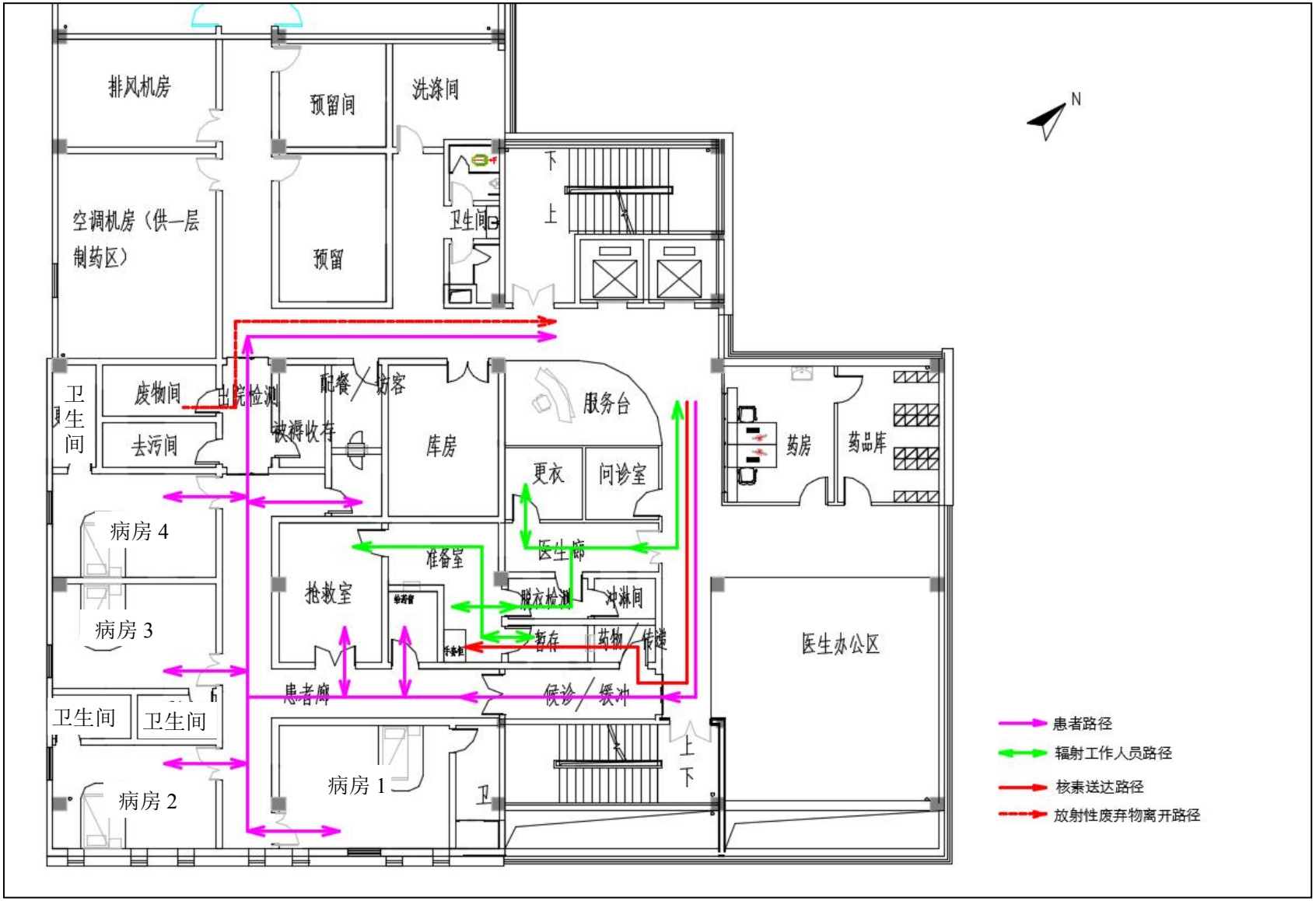


图 9-19 核医学三区工作场所布局及人员、物流路径示意图

污染源项描述

一、放射性污染

（一）辐射

1、放射性核素

放射性核素 ^{177}Lu、^{188}W-^{188}Re（发生器）、^{188}Re、^{68}Ge-^{68}Ga（发生器）、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{18}F、^{89}Zr、^{225}Ac、^{64}Cu、^{131}I、^{124}I、^{90}Y、^{223}Ra、^{211}At 在使用过程会产生α、β、γ射线影响；因操作不当等情况引起液态洒漏时还会造成操作台面、设备、墙壁、地面、工作服、手套等放射性沾污，造成放射性表面污染；放射性核素 ^{225}Ac、^{223}Ra、^{211}At 不慎吸入时会造成α内照射影响。

本项目核医学科拟使用的放射性核素种类及其特性见表 9-13。

表 9-13 放射性核素特性一览表

核素名称	半衰期	衰变模式	α/β最大能量（MeV）	光子能量（MeV）	周围剂量率当量率常数（裸源）*（μSv·m²/MBq·h）
^{177}Lu					
^{188}W/^{188}Re					
^{188}Re					
^{68}Ge/^{68}Ga					
^{68}Ga					
^{99m}Tc					
^{18}F					
^{89}Zr					
^{225}Ac					
^{64}Cu					
^{123}I					
^{131}I					

^{124}I					
^{90}Y					
^{89}Sr					
^{223}Ra					
^{211}At					

注：数据主要来源自《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《Radionuclide Information Booklet》（Canada's Nuclear Regulator）。

2、X 射线

PET/CT、SPECT/CT、CT 扫描时 CT 发出能量最大为 140kV 的 X 射线，DSA 出束时产生能量最大为 125kV 的 X 射线。PET/CT、SPECT/CT、CT、DSA 运行时离靶 1 米处的 X 射线发射率根据运行时管电压和 X 射线管的过滤条件从《辐射防护导论》（方杰著）附图 3 中查取。本项目 PET/CT、SPECT/CT、CT 过滤装置保守拟采用 2.5mmAl 过滤片+附加过滤器，按照过滤材料为 2.5mmAl 滤片进行剂量预测，查《辐射防护导论》附图 3，本项目正常运行时最大电压为 140kV，离靶 1 米处的发射率约为 15mGy·m^2/mA·min；DSA 过滤装置保守拟采用 2.5mmAl 过滤片+附加过滤器，按照过滤材料为 2.5mmAl 滤片进行剂量预测，查《辐射防护导论》附图 3，本项目正常运行时最大电压为 80kV，离靶 1 米处的发射率约为 5mGy·m^2/mA·min。

（二）放射性废气

放射性核素在操作过程中，由于空气的流动而“挥发”出的微量放射性废气，被医务人员或公众吸入体内造成的内照射影响。本项目核素操作均在热室或手套箱中进行，热室、手套箱内保持负压且设有排风系统（通风速率不少于 0.5m/s，排放口高于本建筑屋脊），开放液面挥发散逸的放射性同位素经通风系统内活性炭过滤后，从热室、手套箱的通风管道直接抽出，引至屋顶经活性炭吸附过滤后排放；整个核医学科工作场所均拟设置新风系统，保证工作场所内空气循环。

（三）放射性废水

本项目放射性废水来源主要为：

①核医学一区核素实验室研发项目产生的废水及药物标记质检过程产生的废水，含 ^{177}Lu、^{188}Re、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{18}F、^{89}Zr、^{225}Ac、^{64}Cu、^{131}I 核素。核素实验室核素操作均在热室内进行，质检取样均不超过 0.01mCi，且核素均使用专用容器盛装，因此

实验室废水均可单独收集，不进入衰变池系统。根据建设单位提供资料，单次科研实验所产生废水量不超过 50mL，科研实验年开展总次数不超过 1710 次，则科研实验废水产量约为 85.5L/a，使用 25L 的废液桶收集，年产量不超过 4 桶；单次药物标记所产生废水量不超过 20mL，药物标记年开展总数次不超过 450 次，则药物标记废水产量约 9L/a，使用 25L 的废液桶收集，年产量不超过 1 桶。

②核医学一区影像区带药患者候诊、留观期间产生的放射性废水及场所清洁废水，含 ^{99m}Tc、^{123}I、^{18}F、^{64}Cu、^{124}I、^{89}Zr、^{68}Ga 核素。每位患者在就诊期间产生的放射性废水不超过 6L，场所清洁废水不超过 100L/d，影像区门诊量不超过 50 人/天，则影像区废水日产量不超过 400L；

③核医学一区治疗区核素治疗患者住院治疗期间产生的放射性废水。^{89}Sr、^{223}Ra 核素治疗患者无需住院，且工作人员在注射药物前提醒患者如厕并告知患者注射药物后禁用卫生间，注射药物后简单留观 15~20min 即可离开，因此不产生放射性废水；^{90}Y 玻璃微球治疗项目患者需住院 1~2 天，废水产量按 100L/人·天计算；^{188}Re 核素治疗患者注射药物后需住院治疗 1~2 天，废水产量按 100L/人·天计算；场所清洁废水按 100L/天计算。^{188}Re 核素治疗患者每天最多 3 人，^{90}Y 玻璃微球治疗项目患者每天最多 1 人，则治疗区废水日产量不超过 500L；

④核医学二区核素治疗患者住院治疗期间产生的放射性废水。^{131}I 甲状腺吸碘率测定及甲亢治疗均无需住院，且工作人员在注射药物前提醒患者如厕并告知患者注射药物后禁用卫生间，注射药物后若无异常即可离开，因此不产生放射性废水；^{177}Lu 核素治疗患者给药后需住院治疗 2~3 天，废水产量按 100L/人·天计算，场所清洁废水按 100L/天计算，^{177}Lu 核素治疗患者每天最多 3 人，则核医学二区废水日产量不超过 400L。

⑤核医学三区 ^{225}Ac、^{211}At 核素治疗患者无需住院，且工作人员在注射药物前提醒患者如厕并告知患者注射药物后禁用卫生间，注射药物后留观 20~30min 即可离开，因此不产生放射性废水。

（四）放射性固体废物

放射性核素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、一次性口杯等带微量放射性核素的医疗固体废弃物，通风管道内更换下来的废活性炭，污染途径为操作过程中及收集固废过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射。

①根据建设单位提供资料，核医学一区核素实验室固体废物月产量约为 5kg。

②核医学一区影像区日最大接诊量为 50 人次，放射性固体废物产生量按 0.02kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为 1kg/d；年最大接诊量为 6790 人次，则放射性固体废物年产生量为 135.8kg，平均 11.3kg/月。

③核医学一区治疗区日最大接诊量为 19 人次，放射性固体废物产生量按 0.02kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为 0.38kg/d；年最大接诊量为 760 人次，则放射性固体废物年产生量为 15.2kg，平均 1.3kg/月。

④核医学二区日最大接诊量为 23 人次，放射性固体废物产生量按 0.02kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为 0.46kg/d；年最大接诊量为 2150 人次，则放射性固体废物年产生量为 43kg，平均 3.6kg/月；

⑤核医学三区日最大接诊量为 6 人次，放射性固体废物产生量按 0.02kg/人次计算，则放射性固体废物产生量为 0.12kg/d；年最大接诊量为 800 人次，则放射性固体废物年产生量为 16kg，平均 1.3kg/月。

核医学通风系统每年更换下来的废活性炭总量约 30kg。

二、非放射性污染

（一）废气

PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、DSA 机房内的空气 X 射线作用下及核医学工作场所内空气在γ射线、β射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等气体，通过动力排风装置排入大气，臭氧常温下约 50 分钟后可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

（二）废水

主要是工作人员产生的生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

（三）固体废物

主要是工作人员产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

表 10　辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作场所布局及分区

医院拟在 101、201 房屋建设核医学一区，拟在 301 房屋建设核医学二区，拟在 401 房屋建设核医学三区。一区、二区、三区均为乙级非密封放射性物质工作场所。

常熟美迪柯医院有限公司本次新建的核医学拟将一区核素实验室操作间 1、操作间 2、缓冲间、放射性检验室、试剂间、留样间、废物暂存间、配制间作为辐射防护控制区，将更衣室、卫生通过间、缓冲间、走廊、物料间、理化试验区、清洗间、外清/外包间作为辐射防护监督区；一区影像区拟将分装/注射室、运动负荷室（抢救间）、PET/CT 检查室、SPECT/CT 检查室、患者走廊、PET/CT 候诊室、SPECT/CT 候诊室、留观室、废物暂存间作为辐射防护控制区，将卫生通过间、更衣室、控制室、缓冲间作为辐射防护监督区；一区治疗区拟将 DSA 机房、CT 机房、准备间、储源室、病房、^{90}Y 病房、患者走廊、废物间、暂存间作为辐射防护控制区，拟将控制室、缓冲间、医护廊、出院检测室、脱衣检测室、准备间、缓冲间作为辐射防护监督区；核医学二区拟将准备室、注射室、抢救室、患者廊、病房、去污间、废物间、取餐间、药物传递室作为辐射防护控制区，拟将出院检测室、被褥收存间、脱衣检测室、冲淋间、候诊/缓冲区作为辐射防护监督区；核医学三区拟将准备室、注射室、抢救室、患者廊、病房、去污间、废物间、取餐间作为辐射防护控制区，拟将出院检测、被褥收存、脱衣检测室、冲淋间、候诊/缓冲区、药物传递室作为辐射防护监督区。

本项目平面布局及辐射防护分区见附图 3 至附图 6，辐射防护分区一览表见表 10-1。

表 10-1 核医学科辐射防护分区一览表

场　所	分区	
	控制区	监督区
一区核素实验室	核素实验室操作间 1、操作间 2、缓冲/暂存间、放射性检验室、试剂间、留样间、废物暂存间、配制间	更衣室、卫生通过间、缓冲间、走廊、物料间、清洗间、理化试验区、外清/外包间
一区影像区	分装/注射室、运动负荷室（抢救间）、PET/CT 检查室、SPECT/CT 检查室、患者走廊、PET/CT 候诊室、SPECT/CT 候诊室、留观室、废物暂存间	卫生通过间、更衣室、控制室、缓冲间

一区治疗区	DSA 机房、CT 机房、准备间、储源室、病房、患者走廊、废物间	控制室、缓冲间、医护廊、出院检测室、脱衣检测室、缓冲间、外清/外包间
二区	准备室、注射/给药室、抢救室、患者廊、病房（含卫生间）、去污间、废物间、取餐间、药物传递室、暂存间	出院检测室、被褥收存间、脱衣检测室、冲淋间、候诊/缓冲区
三区	暂存间、准备室、注射室、抢救室、患者廊、病房（含卫生间）、去污间、废物间、取餐间	出院检测室、被褥收存间、脱衣检测室、冲淋间、候诊/缓冲区、药物传递室
负一层	废水衰变间	/

常熟美迪柯医院有限公司本次新增的核医学科工作场所位于独栋建筑的一边，整个工作场所相对独立，与其他场所有明显的界限。拟新建的核医学工作场所人员及物流具有相对的独立通道，且出入口避开了人流量较大的区域，避免了对公众不必要的照射；实验室、诊断区与治疗区分开布置，避免了交叉污染。核医学电梯不作为控制区或监督区管理，给药后患者离开控制区均需进行体外剂量率检测，符合相关要求后才可出院（离开控制区），药物转运期间处于封闭状态（药物专用容器），且药物转运与患者、医护人员错峰转运，可最大程度避免对人员的影响。本项目布局与 HJ 1188-2021 的标准要求符合性对照分析见表 10-2。

表 10-2 本项目核医学布局与 HJ 1188-2021 的标准要求符合性对照分析一览表

序号	标准要求	本项目布局	相符性分析
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。	核医学一区设置影像区用于诊断，设置治疗区用于住院治疗，核医学二区、三区均用于住院治疗，诊断与治疗场所分开布置；医院根据诊疗流程合理设计了场所功能布局，控制区集中布置，注射/给药室设置在靠近入口端；放射性药物统一存放在手套箱内，放射性废水集中在衰变池中暂存，放射性固废集中在废物暂存库中，给药后患者有相应的候诊、留观或住院病房，不随意走动。	符合标准要求
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	本项目核医学患者、工作人员路径相对独立，放射性药物、放射性废物错峰转运，路径相对独立；工作人员通道与患者通道基本实现分开布置，通过加强对带药患者的管理，限制其活动范围，避免随意走动，可减少对其他人员的照射；患者注射药物前后的路径不产生交叉，通过错峰转运，人员与放射性药物通道不产生交叉；注射/给药室靠近控制区	符合标准要求

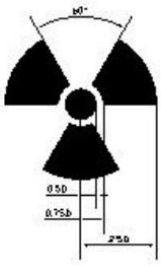
	交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。	入口，放射性废物库靠近控制区出口，放射性药物和放射性废物的运输通道均较为短捷。	
3	核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。	本项目核医学控制区出入口均设置单向门禁，控制区内部设置地面导引线，并通过叫号等管理措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动；控制区出入口设置有缓冲区，拟配备相应的防护用品及表面污染监测设备等；控制区内部候诊室、留观室、住院病房等均设置有患者专用卫生间。	符合标准要求

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

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，医院应做到：

1、控制区的防护手段与安全措施：

（1）核医学工作场所进、出口防护门外、注射后候诊室防护门外、留观室防护门外、病房外、PET/CT、SPECT/CT、DSA、CT 机房防护门外及其他适当位置处设立醒目的“当心电离辐射”警告标志。“当心电离辐射”警告标志须符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）附录 F 要求，如图 10-1 所示。



a.电离辐射标志



b.电离辐射警告标志

图 10-1 电离辐射标志和电离辐射警告标志

（2）制定辐射防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

（3）运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括防护门与门禁等）限制进出控制区；

（4）在缓冲区/卫生通过间备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；

（5）定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界；

（6）工作场所内部设置地面导引线，通过叫号等措施，引导患者正确行进，避免带药患者随意走动。

2、监督区防护手段与安全措施

（1）在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

（2）定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

根据 HJ 1188-2021 的要求，本项目核医学工作场所的放射性核素操作设备的表面、工作台台面等应平整光滑，室内地面与墙壁衔接处无接缝，易于清洗、去污。操作放射性药物拟在手套箱中进行。医院拟为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物容器拟使用铅罐屏蔽。

二、辐射防护屏蔽设计

本项目在虞山天地休闲中心 9 幢 101、201、301、401 房屋内进行建设，该房屋原为休闲场所。本项目建设时需将建筑内隔断、装饰等全部拆除，仅保留原始框架结构（承重柱、楼板）和通道（楼梯、电梯），再按照本项目平面布局与屏蔽设计进行施工。核医学一区核素实验室核素发生器淋洗、科研实验、药物标记均在全屏蔽热室中进行，核素发生器储存在热室中，核素源液连同铅罐储存在热室中，核素转移均使用铅罐，取样质检单次操作量很少，对周围影响较小，因此在热室、铅罐屏蔽厚度足够的情况下，核素实验室房间不再做额外防护。核医学房间使用防护涂料时，房间四周墙壁及地面涂在房间内侧，顶部涂在楼上地面；房间墙壁采用铅板进行防护时，以轻钢龙骨做骨架，铅板铆接在龙骨上；房间门采用铅板防护时，铅板内衬于不锈钢框架内。PET/CT、SPECT/CT、DSA、CT 机房与其相应控制室之间均采用下穿墙的方式预埋穿线管，穿线管两端均使用 3mm 铅盖板进行补偿防护；机房内部插座、开关

等底座内均使用 3mm 铅板进行补偿防护。本项目医学科工作场所具体屏蔽设计见表 10-3。

表 10-3 本项目核医学工作场所屏蔽设计一览表

房间名称		四面墙体	地面	屋顶	防护门	观察窗
核医学一区核素实验室		热室均为 50mm 铅当量屏蔽				
核医学一区影像区	PET/CT 检查室	370mm 砖墙+3mm 铅当量防护涂料	180mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	内衬 8mm 铅板	10mm 铅当量铅玻璃
	SPECT/CT 检查室	西墙：370mm 砖墙+3mm 铅当量防护涂料，东墙、南墙、北墙：轻钢龙骨+4mm 铅板	180mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	内衬 4mm 铅板	6mm 铅当量铅玻璃
	分装注射室	东墙：240m 实心砖+4mm 铅板，南墙、西墙、北墙：轻钢龙骨+4mm 铅板	180mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	内衬 16mm 铅板	/
	运动负载（抢救室）	东墙、北墙：240m 实心砖+4mm 铅板 南墙、西墙：轻钢龙骨+4mm 铅板	180mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	内衬 4mm 铅板	/
	SPECT/CT 候诊室 1、2	轻钢龙骨+4mm 铅板	180mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	内衬 4mm 铅板	/
	PET/CT 候诊室 1	东墙、南墙、北墙：轻钢龙骨+4mm 铅板，西墙：370mm 砖墙+6mm 铅板	180mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	内衬 4mm 铅板	/
	PET/CT 候诊室 2	东墙、南墙、北墙：轻钢龙骨+4mm 铅板，西墙：370mm 砖墙+6mm 铅板	180mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	内衬 4mm 铅板	/
	留观室	东墙、西墙、北墙：轻钢龙骨+4mm 铅板，南墙：370mm 砖墙+6mm 铅板	180mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	内衬 4mm 铅板	/
	患者通道	/	180mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	内衬 4mm 铅板	/

	废物暂存库	东墙、北墙：轻钢龙骨+4mm 铅板，南墙、西墙：370mm 砖墙+4mm 铅板	180mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	内衬 4mm 铅板	/
	手套箱 50mm 铅当量，注射窗 65mm 铅当量					
核医学一区治疗区	DSA 机房	东墙、北墙：轻钢龙骨+3mm 铅板，南墙、西墙：240mm+3mm 铅板	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	内衬 3mm 铅板	3mm 铅当量铅玻璃
	CT 机房	轻钢龙骨+3mm 铅板	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	内衬 3mm 铅板	3mm 铅当量铅玻璃
	储源室、病房、废物间、出院检测室	轻钢龙骨+3mm 铅板	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	内衬 3mm 铅板	/
核医学二区	准备室、抢救室、注射室、病房、废物间	轻钢龙骨+4mm 铅板	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	内衬 4mm 铅板	/
	取餐间	东墙、南墙：轻钢龙骨+5mm 铅板，西墙、北墙：轻钢龙骨+4mm 铅板	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	内衬 4mm 铅板	/
	药物传递室	轻钢龙骨+4mm 铅板	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	内衬 4mm 铅板	传递窗 4mm 铅板
	患者走廊	/	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	内衬 4mm 铅板	/
	手套箱 40mm 铅当量，注射窗 12mm 铅当量，取餐窗口 10mm 铅板及铅玻璃					
核医学三区	房间地面为 120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料，房间墙壁、门、屋顶不做额外防护，手套箱 20mm 铅当量，注射窗 10mm 铅当量					
放射性废水衰变间	房间墙壁为 120mm 混凝土+6mm 铅当量防护涂料，顶面为 180mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料，防护门内衬 4mm 铅板，地面不做额外防护					

注：铅密度为 11.3g/cm^3，混凝土密度为 2.35g/cm^3，实心砖密度为 1.65g/cm^3。

三、辐射安全措施

1、电离辐射警告标志

医院拟将核医学科工作场所划分为控制区和监督区，在控制区入口处均拟设置符

合规范的电离辐射警告标志；

2、工作状态指示灯、闭门装置

PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、DSA 机房门口均拟设置工作状态指示灯，且工作状态指示灯与机房相通的门设置联锁装置，用于提示机房内设备的运行状态；平开机房门拟设自动闭门装置，推拉式机房门拟设自动闭门装置及防夹功能。

3、语音对讲、监控装置

医院拟在 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、DSA 机房与其相应控制室内设置双向语音对讲装置和监控系统，且 PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、DSA 机房控制台处均安装观察窗，在诊断过程中医务人员可以及时观察患者情况和与患者交流，保证诊断质量和防止意外情况的发生。

4、对控制区内带药患者的监督管理

医院拟做好本项目控制区的监督管理工作，防止无关人员入内；拟在控制区出入口设置门禁系统，除甲状腺吸碘率测定患者与甲亢患者可原路返回外，其余患者按照“入口只进不出、出口只出不进”的单向路线；加强对控制区内注射放射性药物患者的监督管理，避免其给药后随意走动；同时告知检查完成后患者离开路线，防止其对公众造成不必要照射。核医学地面拟设置患者行进路线标识，引导不同项目患者行进，不同项目患者不在同一房间候诊、留观或住院治疗。患者出院前拟进行体表剂量率检测及表面污染水平检测，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）的标准要求后方可准予出院。

5、核医学科工作场所安全防护措施管理规定

工作人员离开控制区前洗手和做表面污染监测，如其污染水平超过规定限值，应采取去污措施。从控制区取出任何物件都应进行表面污染水平监测，以保证超过规定限值的物件不携出控制区。工作场所安全防护措施满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的相关要求。

6、工作人员防护用品

医院拟为本项目工作人员配备的辐射防护装置及个人防护用品主要有铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、防污染防护服、个人剂量报警仪、个人剂量计等。

7、监视和对讲装置

医院拟在核医学科的控制区内安装监控及对讲设备，通过监控及对讲设备进行叫号，对控制区内用药后患者进行有序管理，使患者有序进入核医学科用药就诊。核医学一区影像区监控显示器设于控制室，由控制室工作人员负责叫号；核医学一区治疗区监控显示器设于控制室，由控制室工作人员负责叫号；核医学二区、三区监控显示器均设于其问诊室，由问诊室辐射工作人员负责叫号。

8、操作放射性药物的放射防护要求

放射性药物的分装操作均在手套箱中进行，手套箱有专用通风管道且保持良好通风；分装好的核素药物注射器使用铅套包裹。操作放射性核素药物的辐射工作人员应熟练操作技能、缩短接触放射性药物的时间并正确使用个人防护用品。核医学控制区内辐射工作人员不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。

9、放射性物质的安全管控措施

医院拟安排专人负责接收放射性核素药物，并建立放射线核素领用、登记台账，核素实验室的热室设置双人双锁管理；建立放射性废物的出入库台账，放射性固体废物货包应注明核素种类、入库时间、重量、废物状态类型等信息，出库时应进行检测并注明其辐射剂量率及表面污染水平；建立放射性废水的排放记录及每次排放前的采样监测结果。

四、监测仪器和防护用品

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，开展放射诊疗的单位应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。

常熟美迪柯医院有限公司拟为本项目配备 1 台辐射巡测仪、5 台表面沾污仪及 12 台个人剂量报警仪，辐射工作人员工作时将佩带个人剂量计，以监测累积受照情况。医院拟定期组织放射工作人员进行健康体检，并将按相关要求建立放射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

表 10-4 个人防护用品和辅助防护设施配置符合性

场所类型	分项		《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）要求	本项目拟采取措施
普通核医学科	工作人员	必备	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖	4 套铅橡胶围裙、铅橡胶颈套，2 副铅防护眼镜；2 套注射器铅防护套、防护提盒；防污染防护服若干，2 件 2mmPb 铅屏风
		选备	铅橡胶帽、铅玻璃眼镜	

	患者或受检者		/	/
正电子放射性药物和^{131}I的场所	工作人员	必备	放射性污染防护服	放射性污染防护服若干
		选备	/	/
	患者或受检者		/	/
场所类型	分项		《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）要求	本项目拟采取措施
DSA 室	工作人员	个人防护用品	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配：铅橡胶帽子	4 件 0.5mmPb 铅橡胶围裙、 4 件 0.5mmPb 铅橡胶颈套、 4 顶 0.5mmPb 铅橡胶帽子、 2 副 0.5mmPb 铅防护眼镜、 2 副 0.025mmPb 介入防护手套
		辅助防护设施	铅悬挂防护屏/铅防护吊帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	1 个 0.5mmPb 铅悬挂防护屏、 4 个 0.5mmPb 床侧防护帘
	受检者	个人防护用品	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	2 件 0.5mmPb 铅橡胶围裙、 2 件 0.5mmPb 铅橡胶围脖
		辅助防护设施	/	/

除表 10-4 所列防护用品外，医院还拟配备 6 个 5mmPb 铅注射器防护套、4 个 10mmPb 铅防护提盒等辅助防护设施。核素实验室核素发生器均暂存于热室内，核素源液连同铅罐暂存于热室内，核医学一区影像区核素药物连同铅罐暂存于手套箱内，核医学一区治疗区核素药物连同铅罐暂存于储源室内，核医学二区、三区核素药物连同铅罐暂存于手套箱内；核素实验室质检样品及标记好的药物转运时使用有机玻璃瓶装好并置于铅罐中，铅罐使用推车或铅防护提盒进行转移。铅罐、铅防护提盒根据实际工作开展情况按需配备。

三废治理

一、放射性三废

本项目核医学科运行期产生的主要放射性三废为含放射性固废、放射性废水和含放射性核素气溶胶，核医学诊断工作场所拟采取以下“三废”防治措施。

1、含放射性核素气溶胶

核医学的热室、手套箱均有独立排风管道，放射性药物的标记、分装操作均在手

套箱内进行，手套箱由专业厂商提供，根据《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“合成和操作放射性药物所用的通风橱，工作中应有足够风速（一般风速不小于0.5m/s）”要求，医院购买的手套箱排风口处风速不得低于0.5m/s；核医学各房间均有排风管道连接，要确保非密封放射性物质工作为负压工作场所。工作场所各排风管道须密封良好，不与其他排风管道相通，核医学一区核素实验室、影像区、治疗区及核医学二区（三楼、四楼）通风系统相互独立，通过墙外管道引至四楼排风机房内的活性炭过滤箱吸附处理后，出外墙高于屋顶排放。

2、放射性废水

本项目放射性废水来源主要为：

①核医学一区核素实验室研发项目产生的废水及药物标记质检过程产生的废水，含 ^{177}Lu、^{188}Re、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{18}F、^{89}Zr、^{225}Ac、^{64}Cu、^{131}I 核素。核素实验室核素操作均在热室内进行，质检取样均不超过0.01mCi，且核素均使用专用容器盛装，实验室废水均可单独收集，不进入衰变池系统。根据建设单位提供资料，单次科研实验所产生废水量不超过50mL，科研实验年开展总次数不超过1710次，则科研实验废水产量约为85.5L/a，使用25L的废液桶收集，年产量不超过4桶；单次药物标记所产生废水量不超过20mL，药物标记年开展总数次不超过450次，则药物标记废水产量约9L/a，使用25L的废液桶收集，年产量不超过1桶。

②核医学一区影像区带药患者候诊、留观期间产生的放射性废水及场所清洁废水，含 ^{99m}Tc、^{123}I、^{18}F、^{64}Cu、^{124}I、^{89}Zr、^{68}Ga 核素。每位患者在就诊期间产生的放射性废水不超过6L，场所清洁废水不超过100L/d，影像区门诊量不超过50人/天，则影像区废水日产量不超过400L；

③核医学一区治疗区核素治疗患者住院治疗期间产生的放射性废水。^{89}Sr、^{223}Ra 核素治疗患者无需住院，且工作人员在注射药物前提醒患者如厕，注射药物后简单留观15~20min即可离开，因此不产生放射性废水；^{90}Y 玻璃微球治疗项目患者需住院1~2天，废水产量按100L/人•天计算；^{188}Re 核素治疗患者注射药物后需住院治疗1~2天，废水产量按100L/人•天计算；场所清洁废水按100L/天计算。^{188}Re 核素治疗患者每天最多3人，^{90}Y 玻璃微球治疗项目患者每天最多1人，则治疗区废水日产量不超过500L；

④核医学二区核素治疗患者住院治疗期间产生的放射性废水。^{131}I 甲状腺吸碘率

测定及甲亢治疗均无需住院，且工作人员在注射药物前提醒患者如厕，注射药物后若无异常即可离开，因此不产生放射性废水；^{177}Lu 核素治疗患者给药后需住院治疗 2~3 天，废水产量按 100L/人·天计算，场所清洁废水按 100L/天计算，^{177}Lu 核素治疗患者每天最多 3 人，则核医学二区废水日产量不超过 400L。

⑤核医学三区 ^{225}Ac、^{211}At 核素治疗患者无需住院，且工作人员在注射药物前提醒患者如厕，注射药物留观 20~30min 即可离开，因此不产生放射性废水。

医院在本建筑负一楼原设备间内设计 2 套槽式衰变池系统，1#衰变池系统用于核医学一区影像区及治疗区，2#衰变池系统用于核医学二区，衰变池结构详见附图 13。核医学产生的放射性废水先进入降解池进行初步降解后排入第一个衰变池中，待第一个衰变池的废水装满后自动关闭第一个衰变池的进水阀门，打开第二个衰变池的进水阀门，核医学的废水通过降解池会排入第二衰变池内，此时第一个衰变池不外排放射性废水，待第二个衰变池的废水装满后，自动关闭第二个衰变池的进水阀门，打开第三个衰变池的进水阀门，此时核医学科产生的放射性废水均进入第三个衰变池内，待第三个衰变池即将装满放射性废水时，此时打开第一个衰变池的排水阀门，将放射性废水排至医院污水处理站，三个衰变池以此往复运行。两套衰变池独立运行，运行原理相同。

1#衰变池系统由 1 个降解池和 3 个衰变池组成，降解池尺寸为 1m（L）×2m（W）×1m（H），容积 2m^3；衰变池尺寸均为 4m（L）×1.5m（W）×3m（H），容积为 18m^3。核医学一区影像区及治疗区放射性废水日总产量最大为 0.9m^3，废水中所含核素半衰期最长的为 ^{124}I（$T_{1/2}$=4.18d）。根据衰变池运行原理，装满两个衰变池需要 40 个工作日，按月平均 22.5 个工作日计算，则实际需要约 53 天，即说明第一个衰变池中的废水最长可暂存衰变 53 天，满足 HJ 1188-2021 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”（一区为 41.8 天）的要求。即使衰变池有效容积按最大设计容积的 90%计算，衰变池中废水仍可暂存衰变 47 天以上，也能满足上述要求。

2#衰变池系统由 1 个降解池和 3 个衰变池组成，降解池尺寸为 1m（L）×2m（W）×1m（H），容积 2m^3；衰变池尺寸均为 4.5m（L）×2m（W）×3m（H），容积为 27m^3。核医学二区放射性废水日总产量最大为 0.4m^3，废水中所含核素半衰期最长的为 ^{177}Lu（$T_{1/2}$=6.71d），根据衰变池运行原理，装满两个衰变池需要 135 个工作日，按月平均

22.5个工作日计算，则实际需要约180天，即说明第一个衰变池中的废水最长可暂存衰变180天，满足HJ 1188-2021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”（二区为67.1天）的要求。即使衰变池有效容积按最大设计容积的90%计算，衰变池中废水仍可暂存衰变162天以上，也能满足上述要求。

为进一步保证衰变池的长效可靠运行及人员安全，医院应切实做好以下工作：

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

②衰变池周围需设立明显的“电离辐射警告标志”，同时衰变池四周应设立拦挡隔离，防止无关人员靠近；

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

本项目二至四楼放射性废水管道均布设于楼板下方、室内吊顶上方，放射性废水管道均使用2mm铅皮包覆；一楼放射性废水管道埋设于负一楼上方1m厚的架空夯实层中。衰变池设于负一楼，放射性废水产生点均高于衰变池位置，放射性废水因重力可迅速自然流入衰变池，不会在管道中留存。衰变池为成品不锈钢槽罐，安装于放射性废水衰变间内，衰变间内设置通风装置；放射性废水衰变间为独立房间，作为控制区管理，公众不可达。

3、放射性固废

放射性核素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、一次性口杯等带微量放射性核素的医疗固体废弃物，通风管道内更换下来的废活性炭，污染途径为操作过程中及收集固废过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射。

根据建设单位提供资料，核医学一区核素实验室固体废物月产量约为15kg，体积不超过1m^3；核医学一区影像区放射性固体废物年产生量为135.8kg，平均11.3kg/月，体积不超过1m^3；核医学一区治疗区放射性固体废物年产生量为15.2kg，平均1.3kg/月，体积不超过0.5m^3；核医学二区放射性固体废物年产生量为43kg，平均3.6kg/月，体积不超过0.5m^3；核医学三区放射性固体废物年产生量为16kg，平均1.3kg/月，体积不超过0.5m^3；核医学通风系统每年更换下来的废活性炭总量约30kg，体积不超过1m^3。

核医学一区的核素实验室、影像区、治疗区各单独设置有废物间，面积分别为

6.47m²、12.75m²、7.41m²，核医学二区、三区各单独设有废物间，面积均为 7.78m²，废物间内均配备 20mm 铅当量的铅废物桶。放射性固体废物按核素分类收集，并按含长半衰期（＞24h）核素和短半衰期（＜24h）核素的分区存放。含短半衰期核素的放射性固废可在放射性废物间内暂存超过 30 天，含长半衰期核素的放射性固废可在废物间内暂存超过 10 倍最长半衰期，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。同时放射性废物包装袋还应满足“放射性废物每袋不超过 20kg”的标准要求。

为进一步保证放射性废物的科学管理及人员安全，医院应切实做好以下工作：

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

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

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》的相关规定；

④建立放射性废物收集、暂存、转运、回收台账，确保放射性固废不乱丢、不乱弃；

⑤不同核素种类放射性固废进行分类收集，达到清洁解控水平后，按照医疗废物执行转移联单制度，由有资质单位统一回收处理。

二、非放射性三废

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

2、废水：工作人员产生的医疗废水和生活污水，将进入医院污水处理系统，处理达标后排入城市污水管网，对周围环境影响较小。

3、固体废物：产生的医疗废物集中收集后交资质单位处置；生活垃圾经分类收集后，交由市政环卫部门处理，对周围环境影响较小。

表 11　环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本次扩建项目（辐射专项）机房建设时主要工作为建筑施工、墙体隔断与内饰装潢，将产生施工噪声、扬尘和建筑垃圾污染，建设施工时对环境会产生如下影响：

1、大气：本项目在建设施工期需进行的墙体砌筑、隔断等作业，各种施工将产生地面扬尘，另外机械作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：及时清扫施工场地，设立围挡，并保持施工场地一定的湿度。

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

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

4、废水：项目施工期间，有一定量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水进行初级沉淀处理，并经隔渣后排放或回收用于施工场地洒水降尘。

医院在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在医院院区内部，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

本项目主要污染因子为放射性核素在标记、分装等操作过程中产生的α、β、γ射线及放射性表面污染；PET/CT、SPECT/CT 装置 CT 扫描时及 DSA 出束时产生的 X 射线。

（一）一区核素实验室

本项目核素实验室使用放射核素 ^{177}Lu、^{99m}Tc、^{18}F、^{225}Ac、^{131}I 开展科研项目，使用 ^{188}W-^{188}Re 淋洗 ^{188}Re 用于开展科研项目及药物标记，使用 ^{68}Ge-^{68}Ga 发生器淋洗 ^{68}Ga 用于开展科研项目及药物标记，使用 ^{89}Zr、^{64}Cu 开展科研项目及药物标记。核素实验室标记、分装核素均使用热室进行自动操作，热室均为 50mm 铅当量的全屏蔽热

室。

1、β射线辐射影响分析

核素实验室所用放射性核素 ^{177}Lu、^{188}W、^{188}Re、^{18}F、^{131}I、^{68}Ga、^{64}Cu、^{89}Zr 均产生β射线，β射线的穿透性能较差，其在铅中的射程采用《辐射防护导论》（方杰主编）中公式 4.15 进行计算：

$$d \approx R/\rho \qquad \text{公式 11-1}$$

式中：d—β粒子的最大射程，cm；

ρ—物质的密度，g/cm^3，

R—β粒子在低 Z 物质中的射程，g/cm^2，采用《辐射防护导论》（方杰主编）中公式 4.13 计算：

$$R=0.412 \cdot E^{(1.265-0.0954 \cdot lnE)} \qquad \text{公式 11-2}$$

式中：E—β射线能量，MeV。

主要计算参数及结果见表 11-1。

表 11-1 β射线在铅中的射程

核素	E（MeV）	屏蔽材料	ρ（g/cm^3）	R（g/cm^2）	d（cm）
^{177}Lu					0.014
^{188}Re					0.089
^{18}F					0.020
^{131}I					0.019
^{68}Ga					0.079
^{64}Cu					0.021
^{89}Zr					0.032

核素实验室开展科研项目及药物标记、分装均在 50mmPb 热室中进行，由表 11-1 计算结果可知，热室的屏蔽满足β射线的防护要求。核素发生器为自屏蔽装置且存放在热室内，其对周围环境及人员的影响可以忽略；核素源液储存时，使用专用玻璃药剂瓶装好并置于铅罐中，再连同铅罐存放在热室中，热室的屏蔽厚度均已大于β射线在铅介质中的射程；分装好的核素药物转移时，药物被装在玻璃试剂瓶中，并放入不低于 20mm 铅当量的铅罐中，铅罐的屏蔽厚度大于β射线在铅介质中的射程。因此β

射线对本项目核素实验室影响较小。

2、β射线所致韧致辐射影响分析

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《辐射防护导论》（方杰主编）中的公式 4.21 进行计算。

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

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

A—放射源活度，Bq；

Z_e—屏蔽材料有效原子序数；

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

q —居留因子，保守取 1；

r —参考点距放射源的距离，m；

η —透射比，查《辐射防护导论》附表 11 中的减弱倍数 K，η=1/K；

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 $E_b\approx E_{max}/3$”。

核素实验室科研项目及药物标记分装均在热室中进行，分装后转移过程及取样质检过程所用量均低于热室中的单次最大操作量，因此主要考虑核素在热室中操作时β射线所致韧致辐射的影响，计算参数及结果见表 11-2。

表 11-2 β射线所致韧致辐射影响理论预测计算参数及结果

核素	单次操作最大活度（Bq）	Z_e	μ_{en}/ρ（m^2/kg）	r（m）	η	E_{max}（MeV）	E_b（MeV）	$\dot{H}_r$（μSv/h）
^{177}Lu								3.60E-07
^{188}Re								1.30
^{18}F								1.01E-07
^{131}I								1.84E-07
^{68}Ga								2.62E-02

^{64}Cu		3.06E-08
^{89}Zr		7.37E-04

注：查取 K 值时，屏蔽厚度取热室的屏蔽厚度，即 5cm 铅；当表中未给出 5cm 铅对应的衰减倍数时，取最接近但不超过 5cm 铅的衰减倍数；当表中未给出 E_b 对应的衰减倍数时，取最接近但不小于 E_b 的衰减倍数，这种衰减倍数取值方法是保守的取值方法。

由表 11-2 计算结果可知，核素药物在热室中操作过程中，韧致辐射所致最大剂量率为 1.30μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“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”的标准要求。

3、γ射线辐射影响分析

参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I 中第 1.2 款 ^{99m}Tc 诊断等工作场所的屏蔽计算，保守起见，核素实验室工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。

本项目核素实验室开展时，单次所用核素种类及用量不完全一致，且核素所产生的γ射线能量不一致、核素周围剂量当量率常数不一致，因此本报告对每一种核素的外照射影响分别进行预测计算分析。

$$x = TVL \times \lg(\frac{A \cdot \Gamma}{\dot{H}_p \times r^2}) \qquad 11\text{-}4$$

式中：x—屏蔽厚度，mm；

TVL—γ射线的十分之一值层厚度，mm；

A—单个患者或者受检者所用放射源的最大活度，MBq；

Γ—距源 1m 处的周围剂量当量率常数，μSv·m^2/MBq·h；

$\dot{H}_p$—屏蔽体外关注点剂量率，μSv/h；

R—放射源到考察点的距离，m。

由公式 11-3 推导可得：

$$\dot{H}_p = \frac{A \cdot \Gamma}{r^2} 10^{(-\frac{x}{TVL})} \qquad \text{公式 } 11\text{-}5$$

由《Radionuclide Information Booklet》（Canada's Nuclear Regulator）查出铅对 ^{177}Lu、

^{68}Ga、^{99m}Tc、^{18}F、^{89}Zr、^{225}Ac、^{64}Cu、^{131}I 什值层见表 11-3。

表 11-3 核素屏蔽材料十分之一值层厚度（*TVL*）

核素	*TVL*（mm）
^{177}Lu	
^{68}Ga	
^{99m}Tc	
^{18}F	
^{89}Zr	
^{225}Ac	
^{64}Cu	
^{131}I	

根据工程分析可知，核素实验室工作人员主要在操作热室时近距离接触核素，取样进行质检时核素操作量远低于热室中单次操作量（不超过 0.01mCi），因此主要考虑热室外辐射水平对工作人员的影响。

根据公式 11-4 可估算出热室外的辐射水平，结果见表 11-4。

表 11-4 操作核素时热室外辐射水平估算结果

核素	单次操作最大量		距离（m）	屏蔽材料及厚度	透射比	参考点辐射水平（μSv/h）
	mCi	Bq				
^{177}Lu	200	7.40E+09				5.71E-19
^{68}Ga	10	3.70E+08				0.14
^{99m}Tc	50	1.85E+09				3.08E-44
^{18}F	10	3.70E+08				0.30
^{89}Zr	5	1.85E+08				1.51
^{225}Ac	0.25	9.25E+06				1.91E-03
^{64}Cu	10	3.70E+08				3.00E-02
^{131}I	20	7.40E+08				3.37E-03

注：1、参考点均取热室外 30cm 处；

2、热室中不同时进行多种核素的操作。

由表 11-5 计算结果可知，本项目核素实验室所配备的热室能够满足操作核素时的辐射防护要求。

4、保护目标的有效剂量估算

参考点人员的年有效剂量由《辐射防护导论》给出的公式进行估算：

$$D_{Eff} = H \cdot t \cdot T \cdot U$$ 公式 11-6

式中：D_{Eff} —考察点人员有效剂量（Sv）；

H—考察点的周围辐射剂量率（Sv/h）；

t—考察点处年受照时间（h）；

T—居留因子；

U—使用因子。

核素实验室的科研项目及药物标记均在热室中自动完成，工作人员仅需在热室外进行简单操作，根据建设单位提供资料，单次操作时间不超过 25min。根据表 11-2、表 11-4 计算所得操作不同核素时热室外的辐射剂量率，结合工作时间，使用公式 11-6 可计算辐射工作人员的年受照剂量，见表 11-5。

表 11-5 核素实验室热室操作人员年有效剂量估算

核素	热室外剂量率（μSv/h）			受核素影响时间	居留因子	有效剂量（mSv）
	韧致辐射	γ辐射	合计			
^{177}Lu	3.60E-07	5.71E-19	3.60E-07			3.00E-08
^{188}Re	1.30	/	1.30			0.08
^{68}Ga	2.62E-02	0.14	0.17			7.07E-03
^{99m}Tc	/	3.08E-44	3.08E-44			2.31E-45
^{18}F	1.01E-07	0.30	0.30			0.02
^{89}Zr	7.37E-04	1.51	1.51			0.06
^{225}Ac	/	1.91E-03	1.91E-03			7.97E-05
^{64}Cu	3.06E-08	3.00E-02	3.00E-02			1.25E-03
^{131}I	1.84E-07	3.37E-03	3.37E-03			8.42E-04
合计						0.175

注：同一核素，热室外剂量率取韧致辐射剂量率与γ辐射剂量率之和。

由表 11-5 计算结果可知，核素实验室辐射工作人员使用热室进行科研项目及药物标记时，即使全部工作由 1 位辐射工作人员承担，也能满足工作人员 5mSv/a 的剂量约束值要求；由于热室在实验室内部，热室周围公众不可达，实验室外东侧为广场，北侧为娱乐休闲场所，楼下为地下车库，公众的有效剂量计算方式与辐射工作人员相同，屏蔽距离保守取距离热室最近的北侧娱乐休息场所 2.3m，居留因子全部保守取 1，在不考虑其他建筑结构屏蔽作用前提下重复表 11-2、表 11-4、表 11-5 的计算，可得公众人员的年有效剂量为 0.021mSv，能够满足公众人员 0.1mSv/a 的剂量约束值要求。医院拟为核素实验室配置 3 名辐射工作人员共同承担相关工作，且周围公众受其他建筑结构的屏蔽，则实际辐射工作人员、周围公众的年有效剂量还将进一步降低。

（二）一区影像区

1、β射线辐射影响分析

一区开展核素显像诊断项目所用核素药物中，^{64}Cu、^{89}Zr、^{68}Ga 均由核素实验室提供，^{99m}Tc、^{123}I、^{18}F、^{124}I 均为外购成品核素药物。^{64}Cu、^{89}Zr、^{68}Ga、^{18}F 的β射线射程见表 11-1，^{99m}Tc、^{123}I 不考虑β射的影响，^{124}I 的β射线射程同样使用公式 11-1、公式 11-2 计算，结果见表 11-6。

表 11-6 最大射程对应的防护厚度计算参数及结果

核素	E（MeV）	屏蔽材料	ρ（g/cm^3）	R（g/cm^2）	d（cm）
^{124}I					0.035

核医学一区影像区取药、分装均在手套箱中进行，注射窗为 40mm 铅当量铅板和铅玻璃，运动负荷（抢救）室、分装注射室、候诊室、留观室、废物暂存库、SPECT/CT 检查室等房间墙壁均有不低于 4mm 铅当量的防护，防护门均内衬不低于 4mm 铅板，PET/CT 检查室墙壁均为 370mm 实心砖+3mm 铅当量硫酸钡涂料，影像区屋顶均为 120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料，地面均为 180mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料。由表 11-1、表 11-6 计算结果可知，影像区屏蔽厚度设计均大于β射线射程，同时在整个使用过程中辐射工作人员还穿戴有 0.5mm 铅当量的防护铅服，且周围公众与放射性核素之间还采取了距离隔离措施，因此β射线对辐射工作人员和周围公众辐射影响很小。

2、β射线所致韧致辐射影响分析

由表 11-2、表 11-5 计算结果可知，β射线所致韧致辐射的影响低于核素产生的γ射线的影响。影像区按照γ射线的防护要求进行屏蔽设计，当γ射线的屏蔽符合要求时，也能满足β射线所致韧致辐射的防护要求。

3、γ射线辐射影响分析

γ射线辐射影响使用公式 11-4 进行计算。影像区使用 ^{99m}Tc、^{123}I 配合 SPECT/CT 开展核素显像诊断，使用 ^{18}F、^{64}Cu、^{124}I、^{89}Zr、^{68}Ga 配合 PET/CT 开展核素显像诊断。工作人员在取药、分装时，不同核素对手套箱外的辐射影响见表 11-7。

表 11-7 取药、分装阶段不同核素对手套箱外的辐射影响

核素	单次操作最大量		距离（m）	屏蔽材料及厚度	透射比	参考点辐射水平（μSv/h）
	mCi	Bq				
^{99m}Tc	200	7.40E+09				2.07E-61
^{123}I	40	1.48E+09				3.61E-48
^{18}F	150	5.55E+09				2.70E-01
^{64}Cu	25	9.25E+08				1.53E-02
^{124}I	25	9.25E+08				1.87
^{89}Zr	25	9.25E+08				1.58
^{68}Ga	25	9.25E+08				7.42E-02

注：参考点位置均取手套箱外 30cm 处。

由表 11-7 计算结果可知，影像区分装注射室使用 50mm 铅当量手套箱能够满足放射核素药物辐射防护要求。同时表明，在相同防护条件下，SPECT/CT 诊断项目中 ^{123}I 的辐射影响更大，PET/CT 诊断项目中 ^{124}I 的辐射影响更大。因此本报告 SPECT/CT 诊断项目选取 ^{123}I 核素、PET/CT 诊断项目选取 ^{124}I 核素对注射、患者候诊、扫描、留观等过程的辐射影响进行理论计算。

由《Radionuclide Information Booklet》（Canada's Nuclear Regulator）查出铅、混凝土对 ^{123}I、^{124}I 核素的什值层厚度见表 11-8。

表 11-8 核素屏蔽材料十分之一值层厚度（*TVL*）

核素	铅（11.3g/cm^3）	混凝土（2.35g/cm^3）
^{123}I		

^{124}I		

根据公式 11-4 可估算出影像区各参考点处的辐射水平，各参考点位置见图 11-1，预测结果见表 11-9。

表 11-9 影像区工作场所辐射水平估算结果

序号	参考点位置	源强 (MBq)	与源的距离（m）	屏蔽材料及厚度	透射比	参考点辐射水平（μSv/h）	控制目标值（μSv/h）
1	运动负荷（抢救）室东墙外 30cm 处	185（^{124}I）				1.167	2.5
2	运动负荷（抢救）室南门外 30cm 处（患者廊道）	185（^{124}I）				4.977	10
	运动负荷（抢救）室南门外 30cm 处（分装/注射室）	185（^{124}I）				4.977	10
3	运动负荷（抢救）室西墙外 30cm 处	185（^{124}I）				4.977	10
4	运动负荷（抢救）室北墙外 30cm 处	185（^{124}I）				1.986	2.5
5	运动负荷（抢救）室楼上地面 30cm 处	185（^{124}I）				0.729	2.5
6	运动负荷（抢救）室楼下地面 170cm 处	185（^{124}I）				0.485	2.5
7	分装注射室东墙外 30cm	185（^{124}I）				2.273	2.5
8	分装注射室南外 30cm	185（^{124}I）				5.913	10
9	分装注射室西墙外 30cm	185（^{124}I）				5.695	10
10	分装注射室北门外 30cm	185（^{124}I）				2.265	2.5
11	分装注射室楼上地面 30cm	185（^{124}I）				0.729	2.5

12	分装注射室楼下地面 170cm	185（^{124}I）				0.485	2.5
13	工作人员注射位	185（^{124}I）				1.926	2.5
14	SPECT/CT 候诊室 1 东墙外 30cm	370（^{123}I）				3.06E-03	2.5
15	SPECT/CT 候诊室 1 南墙外 30cm	370（^{123}I）				1.26E-02	2.5
16	SPECT/CT 候诊室 1 西墙外 30cm	370（^{123}I）				3.06E-03	10
17	SPECT/CT 候诊室 1 防护门外 30cm	370（^{123}I）				1.24E-01	10
18	SPECT/CT 候诊室 1 北墙外 30cm	370（^{123}I）				1.26E-02	10
19	SPECT/CT 候诊室 1 楼上地面 30cm	370（^{123}I）				1.75E-03	2.5
20	SPECT/CT 候诊室 1 楼下地面 170cm	370（^{123}I）				7.53E-04	2.5
21	SPECT/CT 候诊室 2 东墙外 30cm	370（^{123}I）				7.76E-03	2.5
22	SPECT/CT 候诊室 2 南墙外 30cm	370（^{123}I）				1.55E-03	2.5
23	SPECT/CT 候诊室 2 西墙外 30cm	370（^{123}I）				8.25E-03	10
24	SPECT/CT 候诊室 2 防护门外 30cm	370（^{123}I）				4.77E-02	10
25	SPECT/CT 候诊室 2 北墙外 30cm	370（^{123}I）				1.87E-03	10
26	SPECT/CT 候诊室 2 楼上地面 30cm	370（^{123}I）				1.75E-03	2.5
27	SPECT/CT 候诊室 2 楼下地面 170cm	370（^{123}I）				7.53E-04	2.5

28	SPECT/CT 检查室东墙外 30cm	370（^{123}I）				1.50E-03	2.5
29	SPECT/CT 检查室南墙外 30cm	370（^{123}I）				1.66E-03	2.5
30	SPECT/CT 检查室南门外 30cm	370（^{123}I）				1.19E-03	2.5
31	SPECT/CT 检查室西墙外 30cm	370（^{123}I）				8.70E-03	2.5
32	SPECT/CT 检查室北墙外 30cm	370（^{123}I）				1.56E-03	2.5
33	SPECT/CT 检查室北门外 30cm	370（^{123}I）				1.20E-03	2.5
34	SPECT/CT 检查室观察窗外 30cm	370（^{123}I）				5.77E-05	2.5
35	SPECT/CT 检查室楼上地面 30cm	370（^{123}I）				1.75E-03	2.5
36	SPECT/CT 检查室楼下地面 170cm	370（^{123}I）				7.53E-04	2.5
37	PET/CT 候诊室 1 东墙外 30cm	185（^{124}I）				3.358	10
38	PET/CT 候诊室 1 南墙外 30cm	185（^{124}I）				2.670	10
39	PET/CT 候诊室 1 西墙外 30cm	185（^{124}I）				0.488	2.5
40	PET/CT 候诊室 1 北墙外 30cm	185（^{124}I）				2.670	10
41	PET/CT 候诊室 1 防护门外 30cm	185（^{124}I）				2.031	10
42	PET/CT 候诊室 1 楼上地面 30cm	185（^{124}I）				0.729	2.5
43	PET/CT 候诊室 1 楼下地面 170cm	185（^{124}I）				0.485	2.5

44	PET/CT 候诊室 2 东墙外 30cm	185（^{124}I）				6.326	10
45	PET/CT 候诊室 2 南墙外 30cm	185（^{124}I）				2.360	10
46	PET/CT 候诊室 2 西墙外 30cm	185（^{124}I）				0.488	2.5
47	PET/CT 候诊室 2 北墙外 30cm	185（^{124}I）				2.186	10
48	PET/CT 候诊室 2 防护门外 30cm	185（^{124}I）				2.739	10
49	PET/CT 候诊室 2 楼上地面 30cm	185（^{124}I）				0.729	2.5
50	PET/CT 候诊室 2 楼下地面 170cm	185（^{124}I）				0.485	2.5
51	PET/CT 检查室东墙外 30cm	185（^{124}I）				0.150	2.5
52	PET/CT 检查室南墙外 30cm	185（^{124}I）				0.148	2.5
53	PET/CT 检查室南门外 30cm	185（^{124}I）				0.772	2.5
54	PET/CT 检查室西墙外 30cm	185（^{124}I）				0.130	2.5
55	PET/CT 检查室北墙外 30cm	185（^{124}I）				0.147	2.5
56	PET/CT 检查室北门外 30cm	185（^{124}I）				0.702	2.5
57	PET/CT 检查室观察窗外 30cm	185（^{124}I）				0.885	2.5
58	PET/CT 检查室楼上地面 30cm	185（^{124}I）				0.729	2.5
59	PET/CT 检查室楼下地面 170cm	185（^{124}I）				0.485	2.5

60	留观室东墙外30cm	185（^{124}I）				7.528	10
61	留观室南墙外30cm	185（^{124}I）				0.425	2.5
62	留观室西墙外30cm	185（^{124}I）				7.528	10
63	留观室北墙外30cm	185（^{124}I）				9.109	10
64	留观室防护门外30cm	185（^{124}I）				2.265	10
65	留观室楼上地面30cm	185（^{124}I）				0.729	2.5
66	留观室楼下地面170cm	185（^{124}I）				0.454	2.5
SPECT/CT 摆位/取消摆位		370（^{123}I）				22.570	/
PET/CT 摆位/取消摆位		185（^{124}I）				34.225	/

注：1、透射比是根据核素对不同材料的什值层厚度计算得出，混凝土密度为 2.35g/cm^3，铅板密度为 11.34g/cm^3；

2、^{123}I、^{124}I 无实心砖对应的什值层厚度，将实心砖以等密度换算为混凝土，再以混凝土对应的什值层厚度计算透射比；

3、与源的距离由建设单位提供的 CAD 图纸上读取。

由表 11-9 计算结果可知，本项目核医学一区影像区的屏蔽防护设计能够满足 ^{123}I、^{124}I 的辐射防护要求，则也能满足本项目其他核素的辐射防护要求。诊断期间由于患者相对集中，医院必须采取分批预约、分批注射（服药）、分批候诊（治疗）的方式，严格按要求控制候诊室（治疗室）内患者的数量，减少对患者对外环境的辐射影响。

4、CT 环境影响分析

本项目按额定管电压 140kV 核算 PET/CT、SPECT/CT 机房各屏蔽部位屏蔽材料的等效铅当量厚度。本项目 PET/CT 机房辐射防护设计及其等效铅当量见表 11-10。

表 11-10 影像区 PET/CT、SPECT/CT 机房辐射防护设计及其等效铅当量一览表

参数		屏蔽设计[1)]	铅当量	屏蔽要求	评价
PET/CT 机房	墙体	370mm 实心砖+3mm 铅当量	5.6mm	CT 机房屏蔽防护铅当量	满足

		防护涂料		厚度要求：有用线束方向、非有用线束方向铅当量 2.5mm。	
	防护门	内衬 8mm 铅板	8mm		满足
	观察窗	10mm 铅当量铅玻璃	10mm		满足
	顶部	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	4.2mm		满足
	地面 3)	180mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	5mm		满足
	面积	7.56m×7.63m=57.72m^2		CT 机房内最小有效新建面积不小于 30m^2，单边长度不小于 4.5m。	满足
SPECT/CT 机房	东墙、南墙、北墙	轻钢龙骨+4mm 铅板	4mm	CT 机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向、非有用线束方向铅当量 2.5mm。	满足
	西墙	370mm 实心砖+3mm 铅当量防护涂料	5.6mm		满足
	防护门	内衬 4mm 铅板	4mm		满足
	观察窗	6mm 铅当量铅玻璃	6mm		满足
	顶部	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	4.2mm		满足
	地面 3)	180mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	5mm		满足
	面积	7.6m×7.7m=58.52m^2		CT 机房内最小有效新建面积不小于 30m^2，单边长度不小于 4.5m。	满足

注：1、混凝土密度为 2.35g/cm^3，铅板密度为 11.34g/cm^3；

2、按照 GBZ 130-2020 附录 C 中方法计算 180mm 混凝土、120mm 混凝土在 140kV（CT）管电压下的等效铅当量为 2.0mm、1.2mm；

3、370mm 实心砖以等密度换算为 222mm 混凝土，再按照 GBZ 130-2020 附录 C 中方法计算 222mm 混凝土在 140kV（CT）管电压下的等效铅当量为 2.6mm。

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

本项目 PET/CT、SPECT/CT 机房辐射屏蔽主要考虑散射辐射与泄漏辐射的影响。本项目 PET/CT、SPECT/CT 设备型号未定，以 CT 模式运行时，其常用最大管电流约为 200mA、最大管电压为 140kV，根据《辐射防护手册（第一分册）》P448 的能量散射公式计算一次散射能量与初级射线能量的比值，140kV 射线经过一次散射后的射线能量约为 109.9kV，故本项目保守按 120kV 进行计算。

（1）关注点处散射辐射空气比释动能率计算

由《辐射防护手册（第一分册）》（李德平 潘自强著）给出的X射线机散射线在关注点的周比释动能计算公式（公式 10.10）进行推导，得到散射线在关注点处的比释动能率 H_s 的计算公式（推导中，将原公式中的使用因子、居留因子均取为 1）：

$$H_s = \frac{H_0 \cdot I \cdot a \cdot (s/400) \cdot B_s}{d_0^2 \cdot r^2} \qquad \text{公式 11-7}$$

式中：H_0—X 射线机发射率常数（当管电流为 1mA 时，距离阳极靶 1m 处由主束产生的比释动能率），$mGy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$，具体数值可根据 X 射线机管电压、过滤片等条件从《辐射防护导论》附图 3 查取，按本项目 CT 的最大管电压为 140kV、过滤片为 2.5mmAl 的条件从《辐射防护导论》附图 3 查得 H_0 为 $15mGy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$，即 $900000\mu Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot h^{-1}$；

I—管电流，mA；本项目 CT 模式下正常使用的最大管电流为 200mA；

a—人体对 X 射线的散射照射量与入射照射量之比值，查《辐射防护手册（第一分册）》表 10.1，本项目最大常用管电压为 140kV，采用内插法查取散射角 90º 时 140kV 对应的 a 值为 0.0016；

S—主束在受照人体上的散射面积，本项目取 $314cm^2$；

d_0—源至受照点的距离，本项目保守取 0.6m；

r—受照体至关注点的距离；

B_s—屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-8：

$$B_s = \left[\left(1+\frac{\beta}{\alpha}\right)e^{\alpha\gamma X} - \frac{\beta}{\alpha}\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \qquad \text{公式 11-8}$$

式中：X—铅厚度，本项目机房屏蔽体的铅厚度见表 11-11；

α、β、γ—铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数，具体见表 11-11。

表 11-11 铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的有关的拟合参数

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

（2）关注点处泄漏辐射空气比释动能率计算

泄漏辐射剂量率$\dot{H}_L$采用下式计算：

$$\dot{H}_L = \frac{H_i \cdot B}{r^2}$$ 公式 11-9

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

B—屏蔽材料对散射线的透射因子，无量纲，计算公式见式 11-8。

按照公式 11-7 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B，机房外关注点处的辐射剂量率理论估算结果汇总见表 11-12、表 11-13。

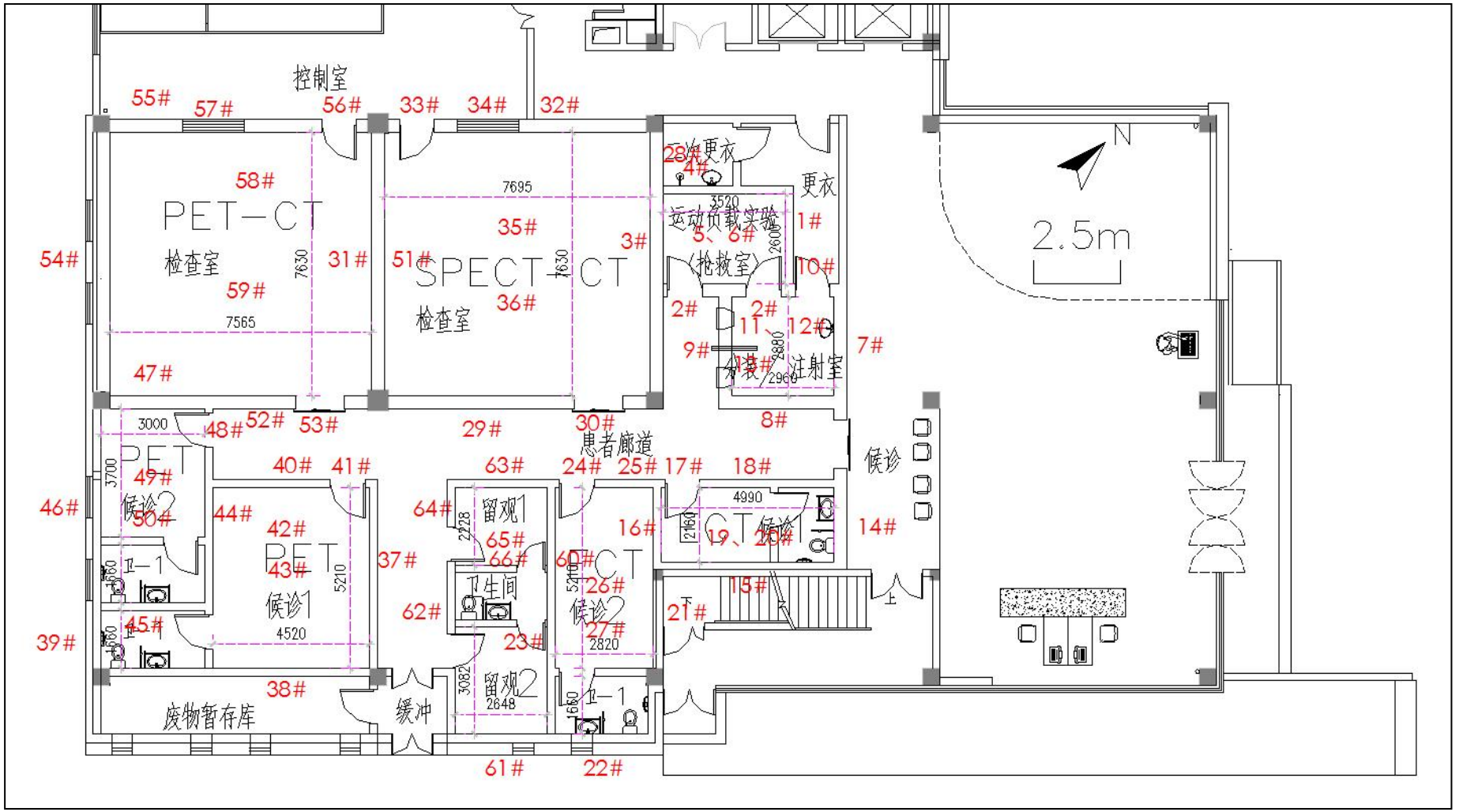


图 11-1 影像区计算参考点位示意图

表 11-12 SPECT/CT 机房 CT 出束状态下参考点处及叠加 ^{123}I 放射性药物的辐射剂量率核算值

点位	参考点位置	r（m）	散射辐射 H_s		泄漏辐射 H_L		剂量率估算值 H（μSv/h）	^{123}I 致参考点辐射水平（μSv/h）	^{123}I 与 CT 叠加致参考点辐射水平（μSv/h）	控制目标值（μSv/h）	是否满足
			B_s	H_s（μGy/h）	B	H_L（μGy/h）					
28	SPECT/CT 检查室东墙外 30cm			3.74E-01		5.71E-07	0.632	1.50E-03	0.632	2.5	满足
29	SPECT/CT 检查室南墙外 30cm			4.14E-01		6.33E-07	0.700	1.66E-03	0.700	2.5	满足
30	SPECT/CT 检查室南门外 30cm			8.09E-03		2.32E-08	0.014	1.19E-03	0.014	2.5	满足
31	SPECT/CT 检查室西墙外 30cm			4.20E-01		6.42E-07	0.710	8.70E-03	0.710	2.5	满足
32	SPECT/CT 检查室北墙外 30cm			3.90E-01		5.97E-07	0.660	1.56E-03	0.660	2.5	满足
33	SPECT/CT 检查室北门外 30cm			3.00E-01		4.59E-07	0.507	1.20E-03	0.507	2.5	满足
34	SPECT/CT 检查室观察窗外 30cm			4.30E-03		1.47E-08	0.007	5.77E-05	0.007	2.5	满足
35	SPECT/CT 检查室楼上地面 30cm			3.65E-01		5.98E-07	0.616	1.75E-03	0.616	2.5	满足
36	SPECT/CT 检查室楼下地面 170cm			6.73E-02		1.50E-07	0.114	7.53E-04	0.114	2.5	满足

注：1、SPECT/CT 机房 CT 出束状态下参考点处剂量率估算值 $H=H_S \cdot K_S+H_L \cdot K_L$，式中：$K_S$、$K_L$ 为有效剂量与空气比释动能转换系数，查《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）表 B2，K_S 取 1.69，K_L 取 1.64；

2、距离 r 由建设单位提供的 CAD 图纸上读取。

表 11-13 PET/CT 机房 CT 出束状态下参考点处及叠加 ^{124}I 放射性药物的辐射剂量率核算值

点位	参考点位置	r（m）	散射辐射 H_s		泄漏辐射 H_L		剂量率估算值 H（μSv/h）	^{124}I 致参考点辐射水平（μSv/h）	^{124}I 与 CT 叠加致参考点辐射水平（μSv/h）	控制目标值（μSv/h）	是否满足
			B_s	H_s（μGy/h）	B	H_L（μGy/h）					
51	PET/CT 检查室东墙外 30cm			1.08E-02		3.10E-08	0.018	0.150	0.168	2.5	满足
52	PET/CT 检查室南墙外 30cm			1.07E-02		3.06E-08	0.018	0.148	0.166	2.5	满足
53	PET/CT 检查室南门外 30cm			3.71E-05		3.19E-10	6.28E-05	0.772	0.772	2.5	满足
54	PET/CT 检查室西墙外 30cm			9.36E-03		2.68E-08	0.016	0.130	0.146	2.5	满足
55	PET/CT 检查室北墙外 30cm			1.06E-02		3.03E-08	0.018	0.147	0.165	2.5	满足
56	PET/CT 检查室北门外 30cm			3.38E-05		2.90E-10	5.71E-05	0.702	0.702	2.5	满足
57	PET/CT 检查室观察窗外 30cm			5.43E-07		1.22E-11	9.18E-07	0.885	0.885	2.5	满足
58	PET/CT 检查室楼上地面 30cm			3.65E-01		5.98E-07	0.616	0.729	1.345	2.5	满足
59	PET/CT 检查室楼下地面 170cm			6.73E-02		1.50E-07	0.114	0.485	0.599	2.5	满足

注：1、PET/CT 机房 CT 出束状态下参考点处剂量率估算值 $H=H_S \cdot K_S+H_L \cdot K_L$，式中：$K_S$、$K_L$ 为有效剂量与空气比释动能转换系数，查《用于光子外照射放射防护的剂量转换系数》（GBZ/T 144-2002）表 B2，K_S 取 1.69，K_L 取 1.64；

2、距离 r 由建设单位提供的 CAD 图纸上读取。

由表 11-12、表 11-13 计算结果可知，PET/CT 以 CT 模式运行（工况：140kV/200mA）时，叠加 ^{124}I 放射性药物的辐射影响，PET/CT 机房四周墙体、顶部及防护门外的辐射剂量率为（0.146~1.345）μSv/h；SPECT/CT 以 CT 模式运行（工况：140kV/200mA）时，叠加 ^{123}I 放射性药物的辐射影响，SPECT/CT 机房四周墙体、顶部及防护门外的辐射剂量率为（0.007~0.710）μSv/h。PET/CT、SPECT/CT 机房外辐射剂量率均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）及《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）的标准要求。

5、保护目标的有效剂量估算

根据表 11-7、表 11-9、表 11-12、表 11-13 计算所得各关注点处辐射剂量率，结合工作时间，辐射工作人员和公众停留概率，使用公式 11-6 可计算各关注点处公众及辐射工作人员的年受照剂量，见表 11-14。

表 11-14 核医学一区影像区工作场所公众及辐射工作人员年有效剂量估算

点位	参考点位置	参考点辐射水平（μSv/h）	参考点处受放射性核素影响的时间	居留因子	参考点人员有效剂量（mSv/a）	主要关注对象	位置
1	运动负荷（抢救）室东墙外 30cm	1.167			0.027	辐射工作人员	卫生通过间
2	运动负荷（抢救）室南门外 30cm	4.977			0.117	辐射工作人员	分装注射室
6	运动负荷（抢救）室楼下地面 170cm	0.485			0.011	公众	配电房
7	分装注射室东墙外 30cm	2.273			0.064	公众	过道
13	工作人员注射位	36.864			4.172	辐射工作人员	工作人员注射位
14	SPECT/CT 候诊室 1 东墙外 30cm	3.06E-03			3.92E-04	公众	候诊区
15	SPECT/CT 候诊室 1 南墙外 30cm	1.26E-02			8.05E-04	公众	楼梯道
20	SPECT/CT 候诊室 1 楼下地面 170cm	7.53E-04			2.41E-05	公众	配电房
21	SPECT/CT 候诊室 2 东墙外 30cm	7.76E-03			4.97E-04	公众	楼梯道
22	SPECT/CT 候诊室 2 南墙外 30cm	1.55E-03			9.92E-05	公众	道路

27	SPECT/CT 候诊室 2 楼下地面 170cm	7.53E-04			4.82E-05	公众	配电房
32	SPECT/CT 检查室北墙外 30cm	1.56E-03			2.40E-04	公众	过道
33	SPECT/CT 检查室北门外 30cm	1.20E-03			0.001	辐射工作人员	控制室
34	SPECT/CT 检查室观察窗外 30cm	5.77E-05			7.10E-05	辐射工作人员	控制室
36	SPECT/CT 检查室楼下地面 170cm	7.53E-04			6.21E-05	公众	配电房
39	PET/CT 候诊室 1 西墙外 30cm	0.975				公众	道路
43	PET/CT 候诊室 1 楼下地面 170cm	0.485			0.068	公众	配电房
46	PET/CT 候诊室 2 西墙外 30cm	0.488			0.069	公众	道路
50	PET/CT 候诊室 2 楼下地面 170cm	0.485			0.068	公众	配电房
54	PET/CT 检查室西墙外 30cm	0.130			0.033	公众	道路
55	PET/CT 检查室北墙外 30cm	0.147			0.305	辐射工作人员	控制室
56	PET/CT 检查室北门外 30cm	0.702			1.457	辐射工作人员	控制室
57	PET/CT 检查室观察窗外 30cm	0.885			1.836	辐射工作人员	控制室
59	PET/CT 检查室楼下地面 170cm	0.485			0.063	公众	配电房
61	留观室南墙外 30cm	0.140			0.030	公众	道路
66	留观室楼下地面 170cm	0.454			0.048	公众	配电房
SPECT/CT 摆位/取消摆位		22.570			0.993	辐射工作人员	SPECT/CT 检查室
PET/CT 摆位/取消摆位		34.225			2.367	辐射工作人员	PET/CT 检查室

注：1、假设平均每天有 1 名患者需要抢救，抢救时长 45min，年工作 250 天；

2、工作人员取出分装好的药物，到注射位为患者注射，单份药物在分装注射室滞留时间保守取 1min；

3、注射后患者一般需要候诊 25min，SPECT/CT 诊断项目年接诊总量为 2640 人次，每间 SPECT/CT 候诊室平均候诊 1320 人次；

4、SPECT/CT 扫描单人次保守取 30min；

5、注射后患者一般需要候诊 25min，PET/CT 诊断项目年接诊总量为 4150 人次，每间 PET/CT 候诊室平均候诊 2075 人次；

6、PET/CT 扫描单人次保守取 30min；

7、每名患者留观时间约为 15min；

8、工作人员指导患者摆位、取消摆位时间取 1min/人次。

影像区工作人员主要受照射环节为分装、注射过程及患者扫描诊断过程。一般情况下，取药送至注射窗口、注射过程约 1 分钟，候诊约 25 分钟，指导患者摆位/取消摆位约 1 分钟，扫描过程约 30 分钟，留观约 15 分钟。根据建设单位提供资料，预估 PET/CT、SPECT/CT 诊断项目年接诊量最大分别为 4150、2640 人次。本项目 PET/CT、SPECT/CT 以 CT 模式运行的时间较短，平均每名患者约 20s，机房内 CT 出束致公众及辐射工作人员年有效剂量估算见表 11-15、表 11-16。

表 11-15 SPECT/CT 机房内 CT 出束致公众及辐射工作人员年有效剂量估算

点位	参考点位置	CT 致参考点辐射水平（μSv/h）	参考点处受 CT 影响的时间	居留因子	CT 致参考点人员有效剂量（mSv/a）	关注对象	位置
28	SPECT/CT 检查室东墙外 30cm	0.632			2.32E-03	辐射工作人员	更衣室
29	SPECT/CT 检查室南墙外 30cm	0.700			1.28E-03	患者	患者过道
30	SPECT/CT 检查室南门外 30cm	0.014			2.51E-05	患者	患者过道
31	SPECT/CT 检查室西墙外 30cm	0.710			2.60E-03	辐射工作人员	PET/CT 检查室
32	SPECT/CT 检查室北墙外 30cm	0.660			9.68E-03	辐射工作人员	控制室
33	SPECT/CT 检查室北门外 30cm	0.507			7.44E-03	辐射工作人员	控制室
34	SPECT/CT 检查室观察窗外 30cm	0.007			1.07E-04	辐射工作人员	控制室
36	SPECT/CT 检查室楼下地面 170cm	0.114			1.04E-04	公众	配电房

表 11-16 PET/CT 机房内 CT 出束致公众及辐射工作人员年有效剂量估算

点位	参考点位置	CT 致参考点辐射水平（μSv/h）	参考点处受 CT 影响的时间	居留因子	CT 致参考点人员有效剂量（mSv/a）	关注对象	位置
51	PET/CT 检查室东墙外 30cm	0.018			1.05E-04	辐射工作人员	SPECT/CT 检查室

52	PET/CT 检查室南墙外 30cm	0.018			5.19E-05	患者	患者过道
53	PET/CT 检查室南门外 30cm	6.28E-05			1.81E-07	患者	患者过道
54	PET/CT 检查室西墙外 30cm	0.016			4.56E-05	公众	道路
55	PET/CT 检查室北墙外 30cm	0.018			4.11E-04	辐射工作人员	控制室
56	PET/CT 检查室北门外 30cm	5.71E-05			1.32E-06	辐射工作人员	控制室
57	PET/CT 检查室观察窗外 30cm	9.18E-07			2.12E-08	辐射工作人员	控制室
59	PET/CT 检查室楼下地面 170cm	0.114			1.64E-04	公众	配电房

取药、分装过程手套箱外最大剂量率为 0.50μSv/h，每次取药、分装时间取 1min；影像区接诊量最大为 6790 人次/a，则取药分装过程中工作人员受到的年有效剂量保守估算为 0.056mSv；注射过程中工作人员受到的年有效剂量为 4.172mSv；SPECT/CT 扫描过程中工作人员受到的年有效剂量约为 1.004mSv（0.993mSv/a+0.001mSv/a+0.010mSv/a）；PET/CT 扫描过程中工作人员受到的年有效剂量约为 4.204mSv（1.836mSv/a+2.367mSv/a+＜0.001mSv/a）。医院拟为影像区安排 2 名护士（负责分装及注射，PET/CT、SPECT/CT 诊断项目共用，轮岗）、2 名医师及 2 名技师（负责操作设备、指导病人摆位，PET/CT、SPECT/CT 诊断项目共用，轮岗）。医院拟合理安排各辐射工作人员工作量，根据理论估算可知，本项目 2 名护士（负责分装及注射）平均年有效剂量为 2.114mSv，2 名医师及 2 名技师（负责操作设备并指导病人摆位、取消摆位）平均年有效剂量最大约为 1.302mSv，均能够满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv 的限值要求。

根据上述估算结果，影像区工作过程中，周围公众（控制区、监督区外）年有效剂量最大为 0.068mSv，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）对公众受照剂量限值要求以及本项目剂量约束值要求（公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

（三）一区治疗区

本项目核医学一区治疗区使用 ^{188}Re、^{90}Y（玻璃微球）、^{89}Sr、^{223}Ra 开展核素治

疗。

1、^{188}Re 核素治疗项目

由表 11-1 可知，^{188}Re 的β射线在铅中的射程仅为 0.89mm，一区治疗区病房墙壁使用轻钢龙骨+3mm 铅板、防护门使用 3mm 铅板、屋顶及地面均采用 120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料作为屏蔽，能满足 ^{188}Re 的β射线的防护要求。

β射线穿透性差，但其所致韧致辐射的 X 射线具有较强穿透性，因此还需考虑韧致辐射的影响。韧致辐射按公式 11-3 计算，核医学一区病房使用面积及防护设计均相同，因此仅对其中一间的防护能力进行理论预测计算，主要计算参数取值见表 11-17，计算结果见表 11-18。

表 11-17 ^{188}Re 韧致辐射所致病房外辐射影响理论预测计算主要参数取值

参数	取值
单次操作最大活度（Bq）	3.70E+09
Z_e	
μ_{en}/ρ	
E_{max}（MeV）	
E_b（MeV）	

表 11-18 ^{188}Re 韧致辐射所致病房外辐射影响理论预测计算结果

参考点位置	屏蔽设计	r（m）	η	$\dot{H}_r$（μSv/h）
病房东墙外 30cm	轻钢龙骨+3mm 铅板			0.080
病房东门外 30cm	3mm 铅板			0.070
病房南墙外 30cm	轻钢龙骨+3mm 铅板			0.150
病房西墙外 30cm	轻钢龙骨+3mm 铅板			0.080
病房北墙外 30cm	轻钢龙骨+3mm 铅板			0.146
病房楼上 30cm	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料			0.062
病房楼下 170cm	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料			0.069

注：1、保守计算仅考虑了铅的屏蔽作用；

2、将带药患者视为裸源，未考虑人体的屏蔽作用；

3、距离 *r* 由建设单位提供的 CAD 图纸上读取。

由表 11-18 计算结果可知，开展 ^{188}Re 核素治疗时，病房的外的辐射剂量率最大为 0.150μSv/h，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的标准要求。

2、^{89}Sr 核素治疗项目

使用公式 11-1 计算 ^{89}Sr 的β射线在铅中的射程，结果见表 11-19。

表 11-19 ^{89}Sr 最大射程对应的防护厚度计算参数及结果

核素名称	*E*（MeV）	屏蔽材料	*ρ*（g/cm^3）	*R*（g/cm^2）	*d*（cm）
^{89}Sr		铅	11.3		0.018

由表 11-19 计算结果可知，一区治疗区治疗室房间墙壁及防护门均使用 3mm 铅板作为屏蔽，能满足 ^{89}Sr 的β射线的防护要求。^{89}Sr 的β射线能量低于 ^{188}Re，且单次使用活度也远低于 ^{188}Re，则由表 11-18 计算结果可推断核医学一区治疗区病房的屏蔽设计也能够满足 ^{89}Sr 的β射线所致韧致辐射的防护要求。

3、^{223}Ra 核素治疗项目

^{223}Ra 核素主要放出α射线，α射线的穿透性能较差，根据《辐射防护手册（第三分册）》，α射线在不同物质中与最大射程对应的防护厚度为：

$$R = 0.323E_{\alpha}^{3/2}$$ 公式 11-10

式中：*R*—标准状态下的空气中的射程，cm；

E_{α}—*α*射线的能量，MeV。

$$R' = 0.00122R$$ 公式 11-11

式中：*R* ′—组织或水中的射程，cm；

R—标准状态下的空气中的射程，cm。

根据公式 11-9 和公式 11-10 可估算出 ^{223}Ra 核素衰变放出的α射线在不同材料中的射程，预测结果见表 11-20。

表 11-20 ^{223}Ra 核素衰变放出的α射线在不同材料中的射程

核素	E_{α}（MeV）	*R* 空气中射程（cm）	*R* ′组织或水中射程（cm）
^{223}Ra			0.0056

由表 11-20 计算结果可知，^{223}Ra 衰变产生的α射线在空气中、人体组织中的射程

均极短，在操作核素过程中穿戴好防护用品并控制好距离时，基本可以消除α射线对辐射工作人员及周围公众的辐射影响。

4、^{90}Y 玻璃微球治疗项目

^{90}Y 放射性核素为β$^-$衰变，衰变时仅产生β$^-$射线，β射线与物质相互作用会产生韧致辐射，因而在评价工作场所的辐照水平时，需要同时考虑β射线和韧致辐射；此外还需考虑 DSA 在诊断和介入治疗过程中 X 射线产生的外照射影响。

（1）β射线辐射影响分析

β射线的穿透性能较差，使用公式 11-1 可计算 ^{90}Y 的β射线在不同屏蔽材料中的射程，结果见表 11-21。

表 11-21 与最大射程对应的防护厚度计算参数及结果

核素	E（MeV）	屏蔽材料	ρ（g/cm^3）	R（g/cm^2）	d（cm）
^{90}Y		空气			849
		有机玻璃			0.928
		铅			0.097
		混凝土			0.466
		实心砖			0.664

^{90}Y 玻璃微球治疗项目所用核素由医院按照处方剂量向供货公司提前订购，订购回的药品已按 1 人/份份量分装好。^{90}Y 玻璃微球被装在含有 0.6mL 无菌、无热原水的 1.0mL 锥形底玻璃剂量瓶（外含 1 个透明的有机玻璃瓶防护罩（H：64mm，Ø：38mm，壁厚：12mm，密度：1.18g/cm^3））中，剂量瓶被放置在 1 个 10mmPb 铅罐（H：95mm，Ø：59mm）内由供货商送入核医学科，经质检人员核对放射性药物名称、活度，检查药品包装和外观质量，与供药公司办理交接手续后，妥善放入核医学科一区治疗区储源室保险柜中，使用时，再取出送入 DSA 手术室。

在整个转运及输注过程，剂量瓶被放置在有机玻璃瓶防护罩及铅罐内，DSA 手术室四周墙体均采用轻钢龙骨+3mm 铅板、底部及顶部均为 120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料、防护门及观察窗均为 3mm 铅当量的铅板或铅玻璃，屏蔽厚度均大于β射线在相应介质中的射程；^{90}Y 发射纯β射线，辐射范围小，在组织中最大穿透为 11mm，平均为 2.5mm，^{90}Y 玻璃微球患者在转运至专用留观病房并在内留观期间，

患者组织可对β射线起到屏蔽作用。因此本项目β射线对辐射环境影响较小。

（2）β射线所致韧致辐射影响分析

β射线所致韧致辐射使用公式 11-3 计算，主要计算参数见表 11-22，计算结果见表 11-23。

表 11-22 ^{90}Y 韧致辐射所致病房外辐射影响理论预测计算主要参数取值

参数	取值
单次操作最大活度（Bq）	7.0E+09
Z_e	
μ_{en}/ρ	
E_{max}（MeV）	
E_b（MeV）	

表 11-23 ^{90}Y 玻璃微球治疗过程中工作场所韧致辐射水平估算结果

参考点位置		Z_e	距离（m）	屏蔽材料及厚度	η	参考点辐射水平（μSv/h）
药物转运位				考虑无屏蔽状态		10.369
DSA 手术室	东墙表面 30cm			轻钢龙骨+3mm 铅板		0.111
	观察窗表面 30cm			3mm 铅当量铅玻璃		0.121
	东门表面 30cm（缓冲间）			3mm 铅板		0.097
	东门表面 30cm（污物通道）			3mm 铅板		0.067
	南墙表面 30cm			240mm 实心砖+3mm 铅板		0.029
	西墙表面 30cm			240mm 实心砖+3mm 铅板		0.044
	北墙表面 30cm			轻钢龙骨+3mm 铅板		0.082
	北门表面 30cm（准备间）			3mm 铅板		0.067
	顶部表面 30cm			120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料		0.113
	下方距地 170cm			120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料		0.086
	第一术者位			考虑无屏蔽状态		11.805
	第二术者位			考虑无屏蔽状态		2.951
患者转运				考虑无屏蔽状态		11.593

SPECT/CT 检查室	东墙外 30cm			轻钢龙骨+4mm 铅板		0.104
	南墙外 30cm			轻钢龙骨+4mm 铅板		0.116
	南门外 30cm			轻钢龙骨+4mm 铅板		0.083
	西墙外 30cm			370mm 实心砖+3mm 铅当量防护涂料		0.019
	北墙外 30cm			轻钢龙骨+4mm 铅板		0.109
	北门外 30cm			轻钢龙骨+4mm 铅板		0.084
	观察窗外 30cm			6mm 铅当量铅玻璃		0.102
	楼上地面 30cm			120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料		0.096
	楼下地面 170cm			180mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料		0.048
^{90}Y 病房	东墙外 30cm			轻钢龙骨+3mm 铅板		0.205
	防护门外 30cm			3mm 铅板		0.179
	南墙外 30cm			轻钢龙骨+3mm 铅板		0.417
	西墙外 30cm			轻钢龙骨+3mm 铅板		0.209
	北墙外 30cm			轻钢龙骨+3mm 铅板		0.417
	楼上地面 30cm			120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料		0.096
	楼下地面 170cm			120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料		0.107

注：距离由建设单位提供的 CAD 图纸上读取。

由表 11-23 计算结果可知，使用 ^{90}Y 玻璃微球开展核素治疗过程中，DSA 机房外辐射剂量率最大为 0.121μSv/h，SPECT/CT 检查室外辐射剂量率最大为 0.116μSv/h，^{90}Y 病房外辐射剂量率最大为 0.417μSv/h，均能满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的标准要求。

（3）DSA 的 X 射线外照射影响

DSA 机房的屏蔽等效铅当量计算方法与影像区 PET/CT 检查室、SPECT/CT 检查室屏蔽等效铅当量计算方法相同，计算结果与标准要求符合性分析见表 11-24。

表 11-24 DSA 机房屏蔽等效铅当量与标准要求符合性分析一览表

屏蔽体		屏蔽材料及厚度	等效铅当量	屏蔽要求	评价
DSA	东墙、北墙	轻钢龙骨+3mm 铅板	3mm	C 形臂 X 射线设备	满足

机房	南墙、西墙	240mm 实心砖+3mm 铅板	5.3	机房屏蔽防护铅当量厚度要求：有用线束方向铅当量 2mm，非有用线束方向铅当量 2mm。	满足
	防护门	3mm 铅板	3mm		满足
	观察窗	3mm 铅当量铅玻璃	3mm		满足
	顶面	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	4.4		满足
	地面	120mm 混凝土+3mm 铅当量防护涂料	4.4		满足
	机房面积	9.65m×7.7m=74.3m^2		单管头 X 射线机机房内最小有效新建面积不小于 20m^2，单边长度不小于 3.5m。	满足

注：等效铅当量按 125kV（主束）管电压条件核算。

由上表可知，本项目 DSA 机房屏蔽防护措施满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的要求。

为了进一步评价屏蔽效果辐射防护效果，采用理论预测的方法进行影响分析。本项目 DSA 设备主射线方向向上，介入手术过程中，DSA 图像增强器对 X 射线主束有屏蔽作用，NCRP147 号报告“Structural Shielding Design for Medical Imaging X-ray Facilities”4.1.6 节（Primary Barriers，P41-45）及 5.1 节（Cardiac Angiography，P72）指出，DSA 屏蔽估算时不需要考虑主束照射。因此本项目 DSA 需要屏蔽的辐射仅考虑泄漏辐射和散射辐射。

散射辐射剂量率预测使用公式 11-6 计算、泄漏辐射剂量率预测使用公式 11-8 计算。

在 DSA 机房外共选取 8 个参考点位，具体如下：

1#—DSA 机房东墙外 30cm，控制室；

2#—DSA 机房观察窗外 30cm，控制室；

3#—DSA 机房防护门外 30cm，缓冲间；

4#—DSA 机房防护门外 30cm，污物通道；

5#—DSA 机房北墙外 30cm，准备间；

6#—DSA 机房防护大门外 30cm，准备间；

7#—DSA 机房楼上地面 30cm，观察室；

8#—DSA 机房楼下地面 170cm，PET/CT 候诊室。

预测点布设见图 11-2 至图 11-3 所示，预测计算结果见表 11-25。

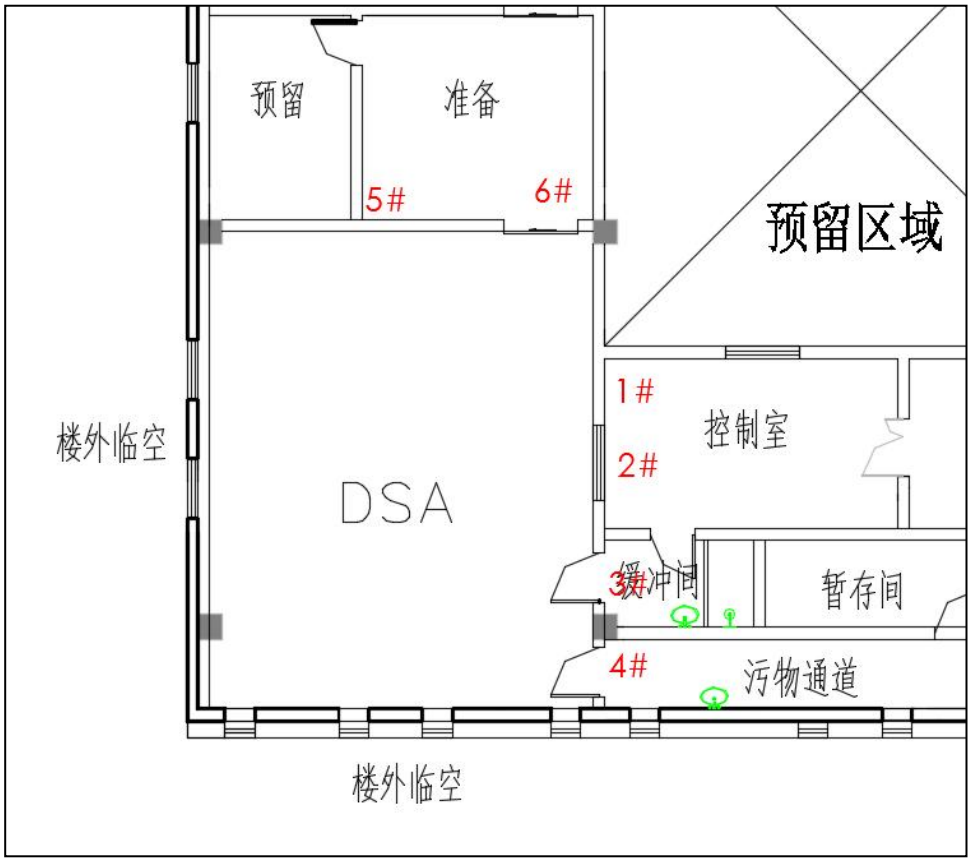


图 11-2 DSA 室预测计算参考点位布设示意图

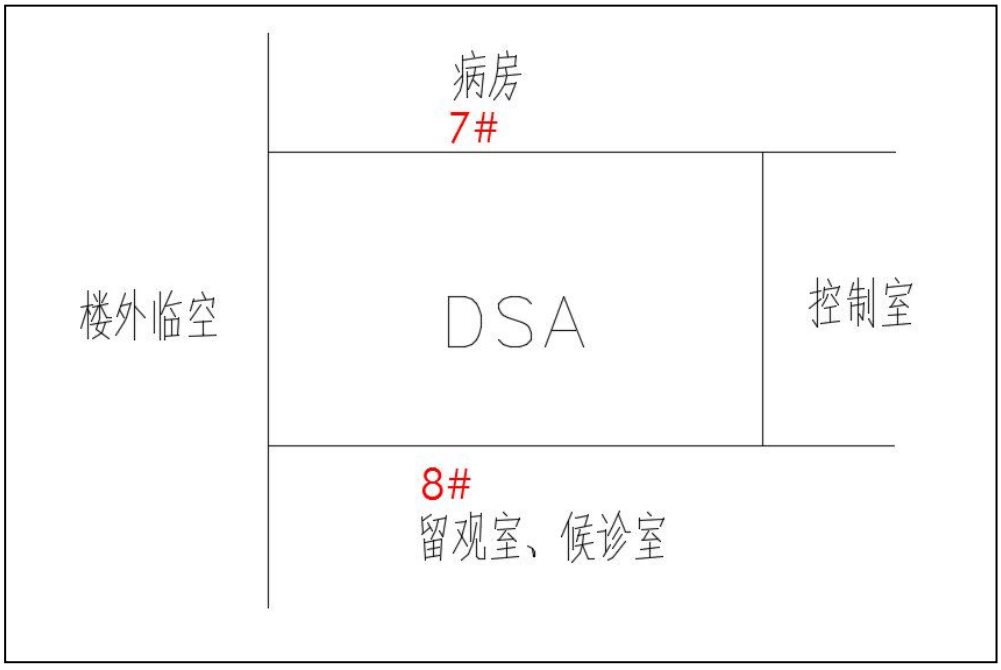


图 11-2 DSA 室预测计算参考点位布设示意图

表 11-25 DSA 机房周围预测点剂量率估算结果

预测点位	照射类型	模式	H_0（μGy·m²/mA·h）	X（mm）	B		d（m）	X 射线辐射剂量率（μSv/h）		
					散射线	漏射线		散射线	漏射线	合计
1#—DSA 机房东墙外 30cm，控制室	散射、漏射	透视	300000					8.24E-06	7.23E-05	8.05E-05
		拍片						2.06E-04		2.78E-04
2#—DSA 机房观察窗外 30cm，控制室	散射、漏射	透视	300000					9.01E-06	7.90E-05	8.80E-05
		拍片						2.25E-04		3.04E-04
3#—DSA 机房防护门外 30cm，缓冲间	散射、漏射	透视	300000					7.24E-06	6.35E-05	7.07E-05
		拍片						1.81E-04		2.44E-04
4#—DSA 机房防护门外 30cm，污物通道	散射、漏射	透视	300000					5.02E-06	4.40E-05	4.90E-05
		拍片						1.26E-04		1.70E-04
5#—DSA 机房北墙外 30cm，准备间	散射、漏射	透视	300000					6.08E-06	5.33E-05	5.94E-05
		拍片						1.52E-04		2.05E-04
6#—DSA 机房防护大门外 30cm，准备间	散射、漏射	透视	300000					5.00E-06	4.39E-05	4.89E-05
		拍片						1.25E-04		1.69E-04
7#—DSA 机房楼上地面 30cm，观察室	散射	透视	300000					8.28E-09	/	透视合计 5.61E-07

			拍片						2.07E-07		
		漏射	透视	300000					/	5.53E-07	拍片合计 7.60E-07
			拍片						/		
8#—DSA 机房楼下地面 170cm，PET/CT 候诊室		散射	透视	300000					6.29E-09	/	透视合计 7.34E-07
			拍片						1.57E-07		
		漏射	透视	300000					/	7.28E-07	拍片合计 8.85E-07
			拍片						/		
第一术者位	铅衣内	散射、漏射	透视	300000					27.54	9.55	37.09
	铅衣外								519.2	91.54	610.8
第二术者位	铅衣内	散射、漏射	透视	300000					6.88	2.39	9.27
	铅衣外								129.81	22.88	152.69

注：1、X 为屏蔽材料的等效铅当量厚度；

2、距离 d 从建设单位提供的 CAD 图纸上读取；

3、术者位工作人员身着铅衣并立于铅屏风后（0.5mmPb+0.5mmPb），第一术者位距离约 0.5m；第二术者位距离约 1m。

根据表 11-25 计算统计结果，本项目 DSA 机房外关注点处的辐射剂量率均不大于 0.001μSv/h，满足《放射诊断防护要求》（GB 130-2020）的标准要求及本项目“距 DSA 机房墙体、门、窗表面外 30cm 处、顶棚上方（楼上）距顶棚地面 100cm 处、地面下方（楼下）距楼下地面 170cm 处的辐射剂量率目标控制值均为 2.5μSv/h”的管理目标限值要求。

（4）周围公众及辐射工作人员年有效剂量估算

一区治疗区 ^{89}Sr、^{223}Ra 核素治疗项目的辐射影响均很小，人员有效剂量主要考虑 ^{188}Re 核素治疗、^{90}Y 玻璃微球治疗项目的贡献。参考点人员的有效剂量使用公式 11-6 计算。根据各关注点处估算的辐射剂量率，结合工作时间、辐射工作人员和公众停留概率，即可得到各关注点处辐射工作人员及公众的年受照剂量，结果见表 11-26 至表 11-29。

表 11-26 ^{188}Re 核素对辐射工作人员及公众年有效剂量贡献值估算

参考点位置	参考点辐射水平（μSv/h）	居留因子	参考点处受放射性核素影响的时间	参考点人员有效剂量（mSv/a）	关注对象	位置
病房东墙外 30cm	0.080			0.024	辐射工作人员	走廊
病房东门外 30cm	0.070			0.021	辐射工作人员	走廊
病房北墙外 30cm	0.146			0.088	公众	娱乐休闲场所
病房楼下 170cm	0.069			0.165	辐射工作人员	核医学一区核素实验室

注：1、病房西墙外临空，人员不可达，不考虑有效剂量；
2、病房南墙外为相邻病房，不考虑患者的有效剂量；
3、病房楼上为核医学二区病房，不考虑患者的有效剂量。

表 11-27 ^{90}Y 核素对辐射工作人员及公众年有效剂量贡献值估算

参考点位置		参考点辐射水平（μSv/h）	居留因子	参考点处受放射性核素影响的时间	参考点人员有效剂量（mSv/a）	关注对象	位置
药物转运位		10.369			0.052	辐射工作人员	/
DSA 手术室（输注过程）	东墙表面 30cm	0.111			3.32E-04	辐射工作人员	控制室
	观察窗表面 30cm	0.121			3.63E-04	辐射工作人员	控制室
	东门表面 30cm	0.097			7.29E-05	辐射工作人员	缓冲间

	东门表面 30cm	0.067			2.53E-05	辐射工作人员	污物通道
	北墙表面 30cm	0.082			6.12E-05	辐射工作人员	准备间
	北门表面 30cm	0.067			5.04E-05	辐射工作人员	准备间
	顶部表面 30cm	0.113			1.70E-04	公众	病房
	下方距地 170cm	0.086			1.29E-04	公众	候诊室
	第一术者位	11.805			0.035	辐射工作人员	DSA 机房
	第二术者位	2.951			0.009	辐射工作人员	DSA 机房
患者转运位		11.593			0.023	辐射工作人员	/
SPECT/CT 检查室	东墙外 30cm	0.104			3.91E-04	辐射工作人员	更衣室
	南墙外 30cm	0.116			/	患者	走廊
	南门外 30cm	0.083			/	患者	走廊
	西墙外 30cm	0.019			1.46E-04	辐射工作人员	PET/CT 检查室
	北墙外 30cm	0.109			3.27E-03	辐射工作人员	控制室
	北门外 30cm	0.084			2.52E-03	辐射工作人员	控制室
	观察窗外 30cm	0.102			3.06E-03	辐射工作人员	控制室
	楼上地面 30cm	0.096			/	/	预留区域
	楼下地面 170cm	0.048			9.03E-05	公众	配电房
患者专用留观病房（留观过程）	东墙外 30cm	0.205			0.025	辐射工作人员	走廊
	防护门外 30cm	0.179			0.022	辐射工作人员	走廊
	南墙外 30cm	0.417			0.025	辐射工作人员	储源室
	西墙外 30cm	0.209			/	/	楼外临空
	北墙外 30cm	0.417			/	患者	相邻病房
	楼上地面 30cm	0.096			/	患者	病核医学二区房
	楼下地面 170cm	0.107			0.103	辐射工作人员	控制室

表 11-28 DSA 对辐射工作人员及公众年有效剂量贡献值估算

关注点位置	操作模式	t（h）	T	辐射剂量率（μSv/h）	年有效剂量 H_{Er}*（mSv/a）	
1#—DSA 机房东墙外 30cm，控制室	透视模式	20		8.05E-05	1.61E-06	2.17E-06
	摄影模式			2.78E-04	5.57E-07	
2#—DSA 机房观察窗外 30cm，控制室	透视模式			8.80E-05	1.76E-06	2.37E-06
	摄影模式			3.04E-04	6.08E-07	
3#—DSA 机房防护门外 30cm，缓冲间	透视模式			7.07E-05	3.54E-07	4.76E-07
	摄影模式			2.44E-04	1.22E-07	
4#DSA 机房防护门外 30cm，污物通道	透视模式			4.90E-05	1.23E-07	1.65E-07
	摄影模式			1.70E-04	4.24E-08	
5#—DSA 机房北墙外 30cm，准备间	透视模式			5.94E-05	2.97E-07	4.00E-07
	摄影模式			2.05E-04	1.03E-07	
6#—DSA 机房防护大门外 30cm，准备间	透视模式			4.89E-05	2.44E-07	3.29E-07
	摄影模式			1.69E-04	8.45E-08	
7#—DSA 机房楼上地面 30cm，观察室	透视模式			5.61E-07	5.60E-09	5.75E-09
	摄影模式			7.60E-07	1.57E-10	
8#—DSA 机房楼下地面 170cm，PET/CT 候诊室	透视模式			7.34E-07	7.34E-09	7.50E-09
	摄影模式			8.85E-07	1.57E-10	

注：1、^{90}Y 治疗项目年最大接诊量为 60 人次，每名患者 DSA 拍片出束约 2min，透视出束约 20min。

表 11-29 介入操作人员年有效剂量估算结果

位置	α	β	部位	辐射剂量率（μSvh）			年照射时间（h）	年有效剂量 E*（mSv）
				散射线	漏射线	合计		
DSA 第一术者	0.79	0.051	铅衣内	27.54	9.55	37.09		2.02
			铅衣外	519.24	91.54	610.77		
DSA 第二术者			铅衣内	6.88	2.39	9.27		0.50
			铅衣外	129.81	22.88	152.69		

由表 11-26 至表 11-29 计算结果可知，DSA 技师在控制室隔室操作受到的年有效剂量最大不超过 0.001mSv（3.14×10^{-4}mSv+2.37×10^{-6}mSv），护士在转运核素药物、患者及配合医师介入操作（第二术者位）过程中受到的年有效剂量最大为 0.584mSv（0.052mSv+0.023mSv+0.009mSv+0.5），医师在介入操作（第一术者位）过程中受到的年有效剂量最大为 2.055mSv（0.035mSv+2.02mSv），均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员的剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过 5mSv）。

本项目 DSA 机房位于二楼，^{90}Y 核素治疗场所周围公众不可达，DSA 技师隔室操作所受年有效剂量不超过 0.001mSv，^{90}Y 专用病房周围辐射工作人员年有效剂量最大为 0.103mSv，医院周围公众与上述参考点位置人员相比有更远的距离且受到其他建筑结构的屏蔽作用，公众所受年有效剂量将远低于上述参考点处人员有效剂量，能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对公众的剂量限值要求和本项目剂量约束值要求（公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

（四）二区

医院在二区使用 ^{131}I 开展甲状腺吸碘率测定、甲亢治疗，使用 ^{177}Lu 开展核素治疗。

1、^{131}I 诊断、治疗

甲状腺吸碘率测定患者单次口服剂量不超过 3.7×10^{5}Bq（0.01mCi），甲亢治疗患者单次口服剂量不超过 3.7×10^{8}Bq（10mCi），均能满足 HJ 1188-2021 中要求的放射治疗患者出院时体内放射性活度不大于 400MBq 的要求，患者在服药后若无异常情况即可直接离开，其外照射影响基本可以忽略。

2、^{177}Lu 核素治疗

^{177}Lu 核素治疗单人次最大用药量为 200mCi（7.40×10^{9}Bq），每天最多 3 名患者，年接诊量累计 150 人次。

（1）β射线辐射影响分析

^{177}Lu 核素衰变放出的β射线能量约为 0.4983MeV，根据公式 11-1、11-2 可估算出 ^{177}Lu 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 11-30。

表 11-30 β射线在不同材料中的射程

核素名称	E（MeV）	屏蔽材料	ρ（g/cm^3）	R（g/cm^2）	d（cm）

^{177}Lu		空气		34.062
		有机玻璃		0.037
		混凝土		0.019
		铅		0.004

本项目 ^{177}Lu 核素药物操作均在 40mmPb 的铅手套箱内进行，患者留观、住院过程均在有实体屏蔽的专用病房内进行，本项目 ^{177}Lu 放射性核素β射线在上述屏蔽材料中射程均极短。在核素操作过程中，在穿戴好防护用品后，基本可以消除β射线对辐射工作人员及周围公众的辐射影响。

2、γ射线辐射影响分析

^{177}Lu 核素在治疗过程中释放出γ射线，将会对周围环境产生辐射影响。^{177}Lu 核素光子能量为 0.2084MeV，由《辐射安全手册》图 6.4 查得铅、混凝土对 ^{177}Lu 什值层为 6mm、15cm，根据公式 11-4 可估算出核医学二区（三楼）^{177}Lu 患者专用病房周围各参考点处的辐射水平，预测结果见表 11-31。

表 11-31 ^{177}Lu 患者专用病房外各参考点位辐射水平计算结果

参考点位置	活度（Bq）	衰减距离（m）	防护措施	透射比	参考点辐射水平（μSv/h）
手套箱表面 30cm	7.40E+09				3.03E-05
准备室东墙外 30cm	7.40E+09				0.809
准备室东门外 30cm	7.40E+09				1.857
准备室南墙外 30cm	7.40E+09				0.788
注射窗口人员操作位	7.40E+09				1.407
准备室西门外 30cm	7.40E+09				0.768
准备室北墙外 30cm	7.40E+09				0.788
病房东墙外 30cm	7.40E+09				0.611
病房东门外 30cm	7.40E+09				0.553
病房南墙外 30cm	7.40E+09				1.262
病房西墙外 30cm	7.40E+09				0.626

病房北墙外 30cm	7.40E+09				1.262
病房楼上地面 30cm	7.40E+09				0.152
病房楼下地面 170cm	7.40E+09				0.116
抢救室东墙外 30cm	7.40E+09				1.315
抢救室东门外 30cm	7.40E+09				0.814
抢救室南门外 30cm	7.40E+09				0.788
抢救室南墙外 30cm	7.40E+09				0.731
抢救室西墙外 30cm	7.40E+09				1.315
抢救室北墙外 30cm	7.40E+09				0.788
取餐间东墙外 30cm	7.40E+09				2.489
取餐间南墙外 30cm	7.40E+09				1.851
取餐间西墙外 30cm	7.40E+09				3.654
取餐间西门外 30cm	7.40E+09				3.035
取餐间传递窗外 30cm	7.40E+09				0.272

注：1、^{177}Lu 病房墙体、屋顶、地面所用屏蔽材料及厚度均一致，取面积最小的病房作为典型进行计算；

2、衰减距离由建设单位提供的 CAD 图纸上读取；

3、准备室、抢救室及取餐间楼上、楼下辐射水平与病房楼上、楼下辐射水平一致。

由表 11-32 计算结果可知，^{177}Lu 核素治疗患者在留观、住院期间对周围环境产生的辐射影响满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关标准要求。

（3）人员有效剂量计算

根据各关注点处估算的辐射剂量率，结合工作时间、辐射工作人员和公众停留概率，使用公式 11-6 计算各关注点处辐射工作人员及公众的年受照剂量，见表 11-32。

表 11-32 工作场所辐射工作人员及公众年有效剂量估算

参考点位置	参考点辐射水平（μSv/h）	居留因子	年工作时间	参考点人员有效剂量（mSv/a）	关注对象
手套箱表面 30cm	3.03E-05				辐射工作人员
准备室东墙外 30cm，医生走廊	0.809				公众
准备室东墙外 30cm，脱衣检测室	1.857				辐射工作人员

注射窗口人员操作位	1.407				辐射工作人员
准备室西墙外 30cm，抢救室	0.768				辐射工作人员
准备室北墙外 30cm，库房	0.788				公众
准备室楼上地面 30cm，准备室	0.152				辐射工作人员
准备室楼下地面 30cm，CT 机房	0.116				辐射工作人员
病房东墙外 30cm，过道	0.611				辐射工作人员
病房东门外 30cm，过道	0.553				辐射工作人员
病房北墙外 30cm，去污间	1.262				辐射工作人员
病房楼上地面 30cm，治疗室	0.152				公众
病房楼下地面 170cm，DSA 室	0.116				公众
抢救室东墙外 30cm，准备室	1.315				辐射工作人员
抢救室东门外 30cm，准备室	0.814				辐射工作人员
抢救室楼下地面 170cm，CT 机房	0.116				辐射工作人员
抢救室楼上地面 30cm，抢救室	0.152				辐射工作人员
取餐间东墙外 30cm，库房	2.489				公众
取餐间南墙外 30cm，准备室	1.851				辐射工作人员
取餐间传递窗外 30cm，送餐间	0.272				公众
取餐间楼下地面 170cm，CT 机房	0.116				辐射工作人员

注：1、^{177}Lu 病房西侧均为楼外临空；

2、^{177}Lu 病房南侧均为相邻病房或楼外临空；

3、^{177}Lu 患者年总量为 150 人次，共设 3 间 ^{177}Lu 病房，每间病房累计住院 50 人次/年。

由表 11-34 计算结果可知，开展 ^{177}Lu 核素治疗项目期间，工作场所辐射工作人员年有效剂量最大为 0.631mSv，周围公众年有效剂量最大为 0.076mSv，均能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求以及本项目剂量约束值要求（辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.1mSv）。

（五）核医学三区

核医学三区使用 ^{225}Ac、^{211}At 开展核素治疗，^{225}Ac、^{211}At 衰变主要产生α射线，α射线的穿透性差，其射程使用公式 11-10 计算，结果见表 11-33。

表 11-33 ^{225}Ac、^{211}At 的α射线在不同材料中的射程

核素	E_α（MeV）	*R* 空气中射程（cm）	*R* ′组织或水中射程（cm）
^{225}Ac			0.0057
^{211}At			0.0058

由表 11-33 计算结果可知，^{225}Ac、^{211}At 产生的α射线在上述屏蔽材料中射程均极短。在核素操作过程中，在穿戴好防护用品后，基本可以消除α射线对周围人员的辐射影响。

当 ^{225}Ac、^{211}At 核素不慎吸入，可对人体造成内照射影响。医院拟通过管理措施，禁止人员在核医学内饮食；工作人员工作期间穿戴防护服及防护口罩，涉及核素药物开放液面的操作均在手套箱内进行，手套箱设置机械排风，保持负压以防止放射性气溶胶逸散到手套箱外；工作场所设置良好的通风，避免放射性核素的累积。通过以上措施，可有效避免放射性核素内照射影响。

核医学每日工作结束后，采用擦拭法进行去污；从核医学离开的人员或从核医学带离的物件均需进行表面污染检测，发现污染及时采取去污措施。医院拟加强对辐射工作人员专业能力的培训，以减少工作人员操作过程中的失误造成的表面污染；通过熟练操作，以减少接触核素的时间。通过以上措施可有效减轻放射性表面污染的影响并防止放射性表面污染的扩大。

二、放射性“三废”影响分析

1、放射性废气

在进行液态放射性药物活度测量操作过程中，若放射性药物液面处于开放状态，空气中可能挥发微量放射性同位素，污染途径为放射性药物在空气中挥发散逸造成人员吸入的内照射。本项目核医学配备的热室、手套箱等均设置独立通风管道，整个核医学科工作场所均拟设置新风系统及独立的排风系统。排风管道按照从低活区往高活区的原则进行布设，采用较大功率抽风机（手套箱配备独立风机）并设置多级气体止回阀以保证气流按照设计的流向行进，确保工作场所为负压并保持各区之间的压差。

核素操作均在手套箱中进行，手套箱内保持负压且设有排风系统（设计通风速率不少于0.5m/s，排放口高于病房楼屋顶），满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）中“排气口应高于本建筑物屋顶”的要求，能够有效防止放射性废气对周围环境产生的影响，符合放射性工作场所相关要求。同时医院拟在手套箱管道内及屋顶排放口处设置活性炭过滤吸附装置，对放射性气溶胶进行吸附，降低放射性气溶胶外排浓度，吸附材料应定期更换（一年更换1～2次）并作为放射性固体废物处理。

2、放射性废水

本项目放射性废水来源主要为：

①核医学一区核素实验室研发项目产生的废水及药物标记质检过程产生的废水，含^{177}Lu、^{188}Re、^{68}Ga、^{99m}Tc、^{18}F、^{89}Zr、^{225}Ac、^{64}Cu、^{131}I核素。核素实验室核素操作均在热室内进行，质检取样均不超过0.01mCi，且核素均使用专用容器盛装，实验室废水均可单独收集，不进入衰变池系统。根据建设单位提供资料，单次科研实验所产生废水量不超过50mL，科研实验年开展总次数不超过1710次，则科研实验废水产量约为85.5L/a，使用25L的废液桶收集，年产量不超过4桶；单次药物标记所产生废水量不超过20mL，药物标记年开展总数次不超过450次，则药物标记废水产量约9L/a，使用25L的废液桶收集，年产量不超过1桶。

核素实验室废水使用废液桶单独收集后存放于核素实验室的废物暂存间内，定期交有资质单位处理，对周围环境影响较小。

②核医学一区影像区带药患者候诊、留观期间产生的放射性废水及场所清洁废水，含^{99m}Tc、^{123}I、^{18}F、^{64}Cu、^{124}I、^{89}Zr、^{68}Ga核素。每位患者在就诊期间产生的放射性废水不超过6L，场所清洁废水不超过100L/d，影像区门诊量不超过50人/天，则影像区废水日产量不超过400L；

③核医学一区治疗区核素治疗患者住院治疗期间产生的放射性废水。^{89}Sr、^{223}Ra核素治疗患者无需住院，且工作人员在注射药物前提醒患者如厕，注射药物后简单留观15~20min即可离开，因此不产生放射性废水；^{90}Y玻璃微球治疗项目患者需住院1~2天，废水产量按100L/人•天计算；^{188}Re核素治疗患者注射药物后需住院治疗1~2天，废水产量按100L/人•天计算；场所清洁废水按100L/天计算。^{188}Re核素治疗患者每天最多3人，^{90}Y玻璃微球治疗项目患者每天最多1人，则治疗区废水日产量不超过500L；

④核医学二区核素治疗患者住院治疗期间产生的放射性废水。^{131}I 甲状腺吸碘率测定及甲亢治疗均无需住院，且工作人员在注射药物前提醒患者如厕，注射药物后若无异常即可离开，因此不产生放射性废水；^{177}Lu 核素治疗患者给药后需住院治疗 2~3 天，废水产量按 100L/人·天计算，场所清洁废水按 100L/天计算，^{177}Lu 核素治疗患者每天最多 3 人，则核医学二区废水日产量不超过 400L。

⑤核医学三区 ^{225}Ac、^{211}At 核素治疗患者无需住院，且工作人员在注射药物前提醒患者如厕，注射药物留观 20~30min 即可离开，因此不产生放射性废水。

医院在本建筑负一楼原设备间内设计 2 套槽式衰变池系统，1#衰变池系统用于核医学一区影像区及治疗区，2#衰变池系统用于核医学二区，衰变池结构详见附图 12。核医学产生的放射性废水先进入降解池进行初步降解后排入第一个衰变池中，待第一个衰变池的废水装满后自动关闭第一个衰变池的进水阀门，打开第二个衰变池的进水阀门，核医学的废水通过降解池会排入第二衰变池内，此时第一个衰变池不外排放射性废水，待第二个衰变池的废水装满后，自动关闭第二个衰变池的进水阀门，打开第三个衰变池的进水阀门，此时核医学科产生的放射性废水均进入第三个衰变池内，待第三个衰变池即将装满放射性废水时，此时打开第一个衰变池的排水阀门，将放射性废水排至医院污水处理站，三个衰变池以此往复运行。两套衰变池独立运行，运行原理相同。

1#衰变池系统由 1 个降解池和 3 个衰变池组成，降解池尺寸为 1m（L）×2m（W）×1m（H），容积 $2m^3$；衰变池尺寸均为 4m（L）×1.5m（W）×3m（H），容积为 $18m^3$。核医学一区影像区及治疗区放射性废水日总产量最大为 $0.9m^3$，废水中所含核素半衰期最长的为 ^{124}I（$T_{1/2}$=4.18d）。根据衰变池运行原理，装满两个衰变池需要 40 个工作日，按月平均 22.5 个工作日计算，则实际需要约 53 天，即说明第一个衰变池中的废水最长可暂存衰变 53 天，满足 HJ 1188-2021 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”（一区为 41.8 天）的要求。即使衰变池有效容积按最大设计容积的 90%计算，衰变池中废水仍可暂存衰变 47 天以上，也能满足上述要求。

2#衰变池系统由 1 个降解池和 3 个衰变池组成，降解池尺寸为 1m（L）×2m（W）×1m（H），容积 $2m^3$；衰变池尺寸均为 4.5m（L）×2m（W）×3m（H），容积为 $27m^3$。核医学二区放射性废水日总产量最大为 $0.4m^3$，废水中所含核素半衰期最长的为 ^{177}Lu

（$T_{1/2}$=6.71d），根据衰变池运行原理，装满两个衰变池需要135个工作日，按月平均22.5个工作日计算，则实际需要约180天，即说明第一个衰变池中的废水最长可暂存衰变180天，满足HJ 1188-2021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”（二区为67.1天）的要求。即使衰变池有效容积按最大设计容积的90%计算，衰变池中废水仍可暂存衰变162天以上，也能满足上述要求。

1#衰变池废水暂存衰变超过41.8天、2#衰变池废水暂存衰变超过67.1天后，对废水进行采样监测，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。放射性废水排放方式满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的标准要求。

为进一步保证衰变池的长效可靠运行及人员安全，医院应切实做好以下工作：

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

②衰变池周围需设立明显的“电离辐射警告标志”，同时衰变池四周应设立拦挡隔离，防止无关人员靠近；

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

本项目核医学一区治疗区、核医学二区的放射性废水管道及核医学三区预留的放射性废水管道均布设于地面楼板之下、楼下房间吊顶之上，竖管设于管道井内，管道均使用2mm铅皮包覆；核医学一区影像区放射性废水下水管道布设于负一楼地上的1m厚夯实层中，废水管道的布设位置人员不可接近。衰变池设于负一楼放射性废水衰变间内，各放射性废水产生点位置均高于衰变池位置，放射性废水由于重力作用可自然迅速流入衰变池中，不会在管道中留存。放射性废水衰变间为单独用房，房间墙壁、门及顶面采用不低于6mm铅当量的屏蔽防护，废水中的放射性核素经水体本身的屏蔽和放射性废水衰变间的屏蔽后，对周围环境影响较小。衰变池池体采用成品不锈钢槽罐，池体坚固、耐腐蚀、内壁光滑、无渗透性；设备间内设置集水池，设备间地面做自流平防水，墙壁做1.2m卷材防水，具备良好的防渗漏功能。本项目放射性废水管道及衰变池设置合理，对周围环境及人员的辐射影响较小，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的标准要求。

3、放射性固体废物

放射性核素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、一次性口杯等带微量放射性核素的医疗固体废弃物，通风管道内更换下来的废活性炭，污染途径为操作过程中及收集固废过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射。

根据建设单位提供资料，核医学一区核素实验室固体废物月产量约为15kg，体积不超过1m^3；核医学一区影像区放射性固体废物年产生量为135.8kg，平均11.3kg/月，体积不超过1m^3；核医学一区治疗区放射性固体废物年产生量为15.2kg，平均1.3kg/月，体积不超过0.5m^3；核医学二区放射性固体废物年产生量为43kg，平均3.6kg/月，体积不超过0.5m^3；核医学三区放射性固体废物年产生量为16kg，平均1.3kg/月，体积不超过0.5m^3；核医学通风系统每年更换下来的废活性炭总量约30kg，体积不超过1m^3。

核医学一区的核素实验室、影像区、治疗区各单独设置有废物间，面积分别为6.47m^2、12.75m^2、7.41m^2，核医学二区、三区各单独设有废物间，面积均为7.78m^2，废物间内均配备20mm铅当量的铅废物桶，放射性固体废物暂存于前废物桶内，对周围环境影响较小。放射性固体废物按核素分类收集，并按含长半衰期（＞24h）核素和短半衰期（＜24h）核素的分区存放，含^{131}I核素的单独存放。含短半衰期核素的放射性固废可在放射性废物间内暂存超过30天，含长半衰期核素的放射性固废可在废物间内暂存超过10倍最长半衰期，含^{131}I核素的可暂存超过180天，满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）的要求。同时放射性废物包装袋还应满足“放射性废物每袋不超过20kg”的标准要求。放射性固体废物暂存衰变达到上述时间后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于0.08Bq/cm^2、β表面污染小于0.8Bq/cm^{2}的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

为进一步保证放射性废物的科学管理及人员安全，医院应切实做好以下工作：

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

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

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》的相关规定；

④建立放射性废物收集、暂存、转运、回收台账，确保放射性固废不乱丢、不乱弃；

⑤不同核素种类放射性固废进行分类收集，达到清洁解控水平后，按照医疗废物执行转移联单制度，由有资质单位统一回收处理。

四、非放射性“三废”影响分析

1、废气

PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、DSA 机房内的空气在 X 射线作用下、核医学工作场所在核素α/β/γ射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入大气，臭氧常温下约 50 分钟可自行分解为氧气，对周围环境影响较小。

2、废水

工作人员和部分患者产生的医疗废水和生活污水，由院内污水处理站统一处理。

3、固体废物

工作人员和病人产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理。

事故影响分析

一、可能发生的事故

本项目新增的 PET/CT、SPECT/CT、CT 均为Ⅲ类射线装置，DSA 为Ⅱ类射线装置，核医学一区、二区、三区均为乙级非密封放射性物质工作场所。医院在开展放射治疗和诊断过程中，如果安全管理或防护不当，可能对人员产生误照射。因此本项目主要事故风险为：

1、DSA、PET/CT、SPECT/CT、CT 工作状态下，未按工作流程进行清场，人员误留、误入机房内，导致发生误照射（或机房门-机联锁装置失效，导致防护门无法关闭，使人员受到误照射）。

2、操作人员违反操作规程或误操作，造成意外超剂量照射。

3、核医学科药物注射时，注射器排气有可能挤出放射性药物，注射器有损漏以及注射针头没有装牢固，造成放射性药物泼洒或者散逸挥发，产生γ辐射，操作台面或仪器设备受到放射性污染。

4、注射药物的患者未按要求停留于控制区，导致公众遭受较大剂量照射。

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

6、放射性废水专用管道长期使用老化破裂，或衰变池渗漏，造成衰变池附近地面或周围环境受到放射性污染；

7、放射性固废、废水未经足够的时间衰变，存放时间过短，即提前进行擅自处理，可能对环境造成污染；

8、在放射性核素药物治疗中，出现患者或靶组织辨识错误，或使用的药物、剂量，或剂量的分次给予情况等未按执业医生的处方进行，造成给药核素错误或用量错误等情况。

二、事故预防措施

针对本项目可能发生的辐射事故，医院拟采取如下事故预防措施：

1、定期检查射线装置机房的安全联锁装置，确保其正常、有效运行；

2、加强辐射工作人员培训，不断提高人员的辐射安全意识；

3、加强辐射安全管理，辐射安全管理人员定期检查；

4、严格执行辐射安全管理规章制度，按照操作规程操作，工作期间，辐射工作人员不得脱岗；

5、辐射工作人员工作期间注意佩戴好个人剂量计，携带个人剂量报警仪，关注固定式剂量监测系统报警状态。当发出警报信号时，应立即采取应对措施；

6、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；

7、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；

8、给药前，医生对患者进行健康教育，加强对给药后患者的管理，避免给药后患者在病房外随意走动。

三、事故处理措施

针对本项目可能发生的辐射事故，医院拟采取如下事故处理措施：

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

（2）迅速安排受照人员接受医学检查和救治。

（3）当发生液态放射性药物泼洒、泄漏导致的表面沾污事故时，封闭工作场所，控制人员走动，以避免放射性污染扩散，并进行场所和人员的去污。

（4）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，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。

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

（6）对发生事故的射线装置，请有关供货单位或相关检测部门进行检测或维修，分析事故发生的原因，并提出改进意见。

（7）事故发生后，积极配合生态环境等管理部门做好事故调查和善后处理工作。

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

表 12　辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

常熟美迪柯医院有限公司扩建项目（辐射专项）中，PET/CT、SPECT/CT 均为Ⅲ类射线装置，DSA 为Ⅱ类射线装置，所用核素为非密封放射性物质，核医学一区、二区、三区均为乙级非密封放射性物质工作场所。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用乙级非密封放射性物质工作场所和使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置的单位，应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责。从事辐射工作的人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核。

根据上述要求，常熟美迪柯医院有限公司已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。医院应根据本次扩建项目（辐射专项）修订相关文件，明确医院相关辐射项目的管理人员及其职责，将该项目辐射安全管理纳入全院的辐射安全管理工作中。医院拟为核医学一区配置 14 名辐射工作人员，拟为核医学二区配备 3 名辐射工作人员，拟为核医学三区配备 3 名辐射工作人员。根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告 2019 年第 57 号）：“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，应当通过生态环境部‘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”。

医院现有辐射安全管理人员已通过“辐射安全管理”类培训考核，本项目核医学的辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加“核医学”类、DSA 操作人员需参加“X 射线诊断与介入放射学”类辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，考核合格的人员，每 5 年接受一次再培训考核。

辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安

全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关要求，使用放射源和射线装置的单位要“有健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施”。医院目前已成立了辐射安全管理机构并制定了相应的辐射安全管理规章制度，满足医院现有的核技术利用项目辐射安全管理，建议医院根据本次扩建项目（辐射专项）的特点及以下内容制定并完善相关制度，并落实到实际工作中，严格执行，加强辐射安全管理。

针对本项目提出以下完善建议：

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

①提高辐射工作人员对放射性药物操作的熟练程度，尽量减少辐射工作人员与放射性药物的近距离接触时间；

②确保开展辐射工作时所有辐射屏蔽措施均已到位，严格按照规定操作流程操作，防止发生辐射事故；

③从事辐射工作时必须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪；

④在工作场所严禁吸烟、进食；

⑤放射性“三废”的处理需严格按照操作规程执行。

2）岗位职责：明确射线装置、放射性药品使用工作人员、台账管理人员、药物注射人员及辐射安全管理人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任。

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

①定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换，确保辐射安全联锁装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪和表面沾污仪保持良好工作状态；

②工作人员定期开展个人剂量监测和职业健康监护；

③放射性药物注射后患者应严格限制在控制区内；

④当注射后候诊室内有多位注射放射性药物的患者同时候诊时，建议医院在患者之间采用铅屏风进行隔离，减少患者间的交叉辐射影响。

4）设备维修制度：明确放射源、射线装置和辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保射线检测装置、安全措施（联锁装置、警示标志、工作指示灯、急停按钮）、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

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

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

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

①明确监测项目和频次；

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

③对发生放射性药物泼洒的事故处理进行全程监测；

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

⑤委托有资质监测单位对本单位的放射性同位素和射线装置的安全和防护状况进行年度检测，每年1月31日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

8）放射性“三废”管理：明确放射性废气、放射性废水、放射性固废的收集、处理方式，建立放射性固废出入库台账登记、放射性废水排放记录，明确放射性废物暂存场所及暂存时间，指定放射性“三废”管理人员，定期巡查废气过滤装置、废物间、放射性废水衰变间运行情况，发现隐患的应及时维护。

辐射监测

根据辐射管理要求，常熟美迪柯医院有限公司拟为本项目配备辐射巡测仪 1 台、表面沾污仪 5 台、12 台个人剂量报警仪，用于辐射防护监测和报警，同时结合本项目实际情况，拟制定如下监测计划：

1）委托有资质的单位定期对项目周围环境 X-γ辐射剂量率及场所内放射性表面污染水平进行监测，周期：1～2 次/年；

2）辐射工作人员开展个人剂量监测（周期：每 1 至 3 个月 1 次），建立个人剂量档案；

3）定期使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录。

表 12-1 本项目放射辐射监测计划

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、α、β表面沾污	请有资质单位监测，建设项目竣工后 3 个月内	**辐射水平：**控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性的点位及放射性废物铅桶表面；**表面沾污：**核医学放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面等；DSA 室的手术床、工作台面、墙壁和地面；留观病房床、座椅、墙壁和地面；放射性废物铅桶和包装袋表面；工作人员的手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等。	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、α、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、α、β表面沾污	X-γ辐射剂量率自主监测不少于 1 次/月，α、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	/	年有效剂量≤5mSv

常熟美迪柯医院有限公司须根据上述监测计划，明确监测频次和监测项目，定期（不少于1次/季）使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录，每年委托有资质的单位定期对项目周围环境X-γ辐射剂量率进行监测，监测结果上报生态环境行政主管部门。

常熟美迪柯医院有限公司已为现有辐射工作人员配备个人剂量计，组织辐射工作人员进行个人剂量监测（1次/季）和职业健康体检（1次/2年），医院公共卫生科负责全院人员个人剂量的收发和管理，职业健康监护、个人剂量监测档案均存放于公共卫生科。

常熟美迪柯医院有限公司每年编写放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告，包括放射性同位素与射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容，每年1月31日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。医院2024年度评估报告已上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

辐射事故应急

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

①应急机构和职责分工；

②应急的具体人员和联系电话；

③应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；

④辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；

⑤辐射事故调查、报告和处理程序。

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况的，医院应根据《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》（原国家环保总局，环发〔2006〕145号）和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，并在事故发生后1小时内向所在地生态环境和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康行政部门报告；并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康行政部门报告。

医院已按照现有的辐射事故应急预案定期组织应急演练，医院现有核技术利用项目运行以来，均未发生过辐射事故（事件）。

表 13　结论与建议

结论

一、项目概况

常熟美迪柯医院有限公司租赁位于常熟市虞山北路 163 号虞山天地休闲中心 9 幢 101、201、301、401 房屋扩建新院区，扩建项目辐射专项内容包括：

1、核医学一区：于租赁的 101、201 房屋新建核医学一区，核医学一区内容包括核素实验室、影像区及治疗区，核素实验室、影像区均位于一楼（即 101 房屋），治疗区位于二楼（即 201 房屋）。

（1）核素实验室外购 ^{188}W-^{188}Re（发生器）、^{68}Ge-^{68}Ga（发生器）及 ^{177}Lu、^{89}Zr、^{225}Ac、^{64}Cu、^{131}I、^{99m}Tc、^{18}F 核素源液。^{188}W-^{188}Re（发生器）、^{68}Ge-^{68}Ga（发生器）用于淋洗 ^{188}Re、^{68}Ga 核素，^{177}Lu、^{225}Ac、^{131}I、^{99m}Tc、^{18}F 仅用于科研实验，^{188}Re、^{68}Ga、^{89}Zr、^{64}Cu 用于开展科研实验及药物标记，标记的药物经质控后用于影像区的显像诊断。核素实验室拟配置 3 名辐射工作人员，年工作 250 天；

（2）影像区新增 1 台 PET/CT（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA）配合使用 ^{18}F、^{123}I、^{64}Cu、^{89}Zr、^{68}Ga 开展核素显像诊断，新增 1 台 SPECT/CT（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA）配合使用 ^{99m}Tc、^{124}I 开展显像诊断，其中 ^{18}F、^{123}I、^{99m}Tc、^{124}I 均拟按需订购成品核素药物，^{64}Cu、^{89}Zr 拟通过外购核素源液标记，^{68}Ga 拟通过 ^{68}Ge-^{68}Ga（发生器）淋洗 ^{68}Ga 标记。影像区拟配置 6 名辐射工作人员，年工作 250 天；

（3）治疗区新增 1 台 CT（型号未定，最大管电压 140kV，最大管电流 1000mA）用于医疗诊断，新增 1 台 DSA（型号未定，最大管电压 125kV，最大管电流 1000mA）配合使用 ^{90}Y 玻璃微球开展核素治疗，使用 ^{188}Re、^{89}Sr、^{223}Ra 开展核素治疗，其中 ^{90}Y 玻璃微球、^{89}Sr、^{223}Ra 均拟按需订购成品核素药物，^{188}Re 拟通过 ^{188}W-^{188}Re（发生器）淋洗 ^{188}Re 标记。开展 ^{90}Y 玻璃微球治疗时，患者前期诊断与后期复检均依托影像区 SPECT/CT 进行。治疗区拟配置 5 名辐射工作人员，年工作 250 天；

核医学一区合计日等效最大操作量为 3.89×10^{9}Bq，属乙级非密封放射性物质工作场所。

2、核医学二区：于租赁的 301 房屋新建核医学二区，使用 ^{131}I 开展甲状腺吸碘率

测定及甲亢治疗，使用 ^{177}Lu 开展核素治疗，^{131}I、^{177}Lu 均拟按需订购成品核素药物。核医学二区核素日等效最大操作量为 $2.59\times10^{9}Bq$，属乙级非密封放射性物质工作场所。核医学二区拟配置 3 名辐射工作人员，年工作 250 天；

3、核医学三区：于租赁的 401 房屋新建核医学三区，使用 ^{225}Ac、^{211}At 开展核素治疗，^{225}Ac、^{211}At 均拟按需订购成品核素药物。核医学三区核素日等效最大操作量为 $3.33\times10^{9}Bq$，属乙级非密封放射性物质工作场所。核医学三区拟配置 3 名辐射工作人员，年工作 250 天。

二、实践正当性

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

对照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目不属于“限制类”或“淘汰类”项目，符合国家现行的产业政策。

三、选址合理性

常熟美迪柯医院有限公司扩建项目位于常熟市虞山北路 163 号虞山天地休闲中心 9 幢 101、201、301、401 房屋，101~401 房屋为虞山天地休闲中心 9 幢一至四层的东南部分。院区东南侧为山茶花路，西南侧为小路，西北侧为新半岛娱乐会所，东北侧为虞山天地休闲中心道路。

医院拟在 101、201 房屋建设核医学一区，拟在 301 房屋建设核医学二区，拟在 401 房屋建设核医学三区。核医学一区下方为配电房、废水衰变间及车库，核医学三区上方无建筑（楼顶）。常熟美迪柯医院有限公司扩建项目（辐射专项）50m 评价范围东侧隔道路为山茶苑（休闲场所，最近处约 38m），东南侧隔道路为嘉安特消防工程有限公司（最近处约 25m），南侧隔道路为常熟市国土资源局虞山尚湖旅游度假区分局（最近处约 35m），西南侧隔道路为常熟新宝德汽车销售服务有限公司（最近处约 15m），西侧隔道路为山茶花 6 号楼（最近处约 40m），西北侧为新半岛娱乐会所（毗邻），北侧隔广场为奶牛叔叔摄影美学馆（最近处约 40m），东北侧隔广场为爱薇妮婚礼梦空间（最近处约 28m），评价范围内除山茶花 6 号楼（居民楼）外，无居民区、学校等环境敏感点，项目运行后的环境保护目标主要为本项目辐射工作人员、

其他非辐射工作人员、患者、患者家属、上述评价范围内人员及其他公众等。

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。根据《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号）和《关于进一步加强生态保护红线监督管理的通知》（苏自然资函〔2023〕880 号）要求，经江苏省生态环境厅江苏省生态环境分区管控综合服务系统查询，本项目所在地块位于一般管控单元虞山街道（编码：ZH32058130413）内，不在生态保护红线内，评价范围内也不涉及优先保护单元和重点管控单元。对照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022），本项目评价范围内不涉及受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。

常熟虞山天地休闲中心为商业用地，目前正常运行中；本项目为综合医院，提供经营性诊疗服务，属于商业服务，选址符合所在地土地利用规划要求。常熟虞山天地休闲中心 9 栋为独栋建筑，地面部分共 4 层，建筑屋顶高 17.9m，周围无更高大建筑，核医学排风口设于建筑屋顶。虞山天地休闲中心 9 栋东南部分 1~4 楼由医院租赁，作为本项目拟建址；西北部分 1~4 楼为新半岛娱乐会所，与本项目毗邻，新半岛娱乐会所目前实际已停止运行，场所为空置状态。本项目拟建址与新半岛娱乐会所之间有实体墙隔断，出入口各自独立，人员、物流通道均无交叉。项目拟建址东侧山茶苑为休闲场所，不属于人员密集区域；项目拟建址西侧山茶花 6 号楼为 2 层居民楼，人口密度较低。核医学废水衰变间设置于负一楼，废水衰变间为单独房间。本项目选址符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）中“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”“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”“核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑”的选址要求。

本项目选址及布局合理，项目工作场所分区符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。

四、辐射环境现状评价

常熟美迪柯医院有限公司扩建项目（辐射专项）核医学拟建址及其周围环境道路

γ辐射剂量率为46nGy/h~64nGy/h，处于江苏省道路γ辐射剂量率18.1nGy/h~102.3nGy/h范围内；楼房室内γ辐射剂量率为71nGy/h~93nGy/h，处于江苏省室内γ辐射剂量率50.7nGy/h~129.4nGy/h范围内，均属江苏省环境天然γ辐射剂量率本底水平；核医学拟建址及其周围环境β放射性表面污染水平均低于仪器探测下限（0.08Bq/cm^2），未检出α放射性表面污染。

五、环境影响评价

根据预测估算结果，常熟美迪柯医院有限公司扩建项目（辐射专项）在落实本报告提出的各项辐射安全与防护措施的情况下，项目投入运行后对辐射工作人员和公众所受辐射剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众年有效剂量限值要求以及本项目剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过5mSv，公众年有效剂量不超过0.1mSv）。

六、“三废”的处理处置

本项目放射性核素操作均在热室或手套箱中进行，热室及手套箱内保持负压且设有排风系统（通风速率不小于0.5m/s，排风口高于本建筑屋顶），管道内及外排放口处设置活性炭过滤吸附装置，能够有效防止放射性废气对周围环境产生的影响；本项目产生的放射性废水由独立下水管道统一集中到衰变池中，暂存衰变超过核素10倍最长半衰期，监测结果经审管部门认可后，按照GB 18871-2002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；核医学产生的放射性固体废物分类收集，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，含碘-131核素的暂存时间超过180天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于0.08Bq/cm^2、β表面污染小于0.8Bq/cm^{2}的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理，废活性炭作为危险废物交由有资质单位处理。

PET/CT机房、SPECT/CT机房、DSA机房、CT机房内的空气在X射线作用下分解产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入大气，臭氧常温下约50分钟可自然分解为氧气，对周围环境影响较小；工作人员和部分患者产生的生活污水，由院内污水处理站统一处理；工作人员和病人产生的生活垃圾，分类收集后，将交由城市环卫部门处理，对周围环境影响较小。

七、主要污染源及拟采取的主要辐射安全防护措施

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021），确定本项目核医学工作场所均为乙级非密封放射性物质工作场所。PET/CT、SPECT/CT、CT 及 DSA 出束时产生的 X 射线，放射性核素在操作过程中产生的α、β、γ射线会造成医务人员和公众的外照射。本项目核医学工作场所控制区出入口拟设置“当心电离辐射”警告标志；PET/CT 机房、SPECT/CT 机房、CT 机房、DSA 机房入口处拟设置“当心电离辐射”警示标识和工作状态指示灯；PET/CT 机房、SPECT/CT 机房拟设置门机联锁装置，DSA 机房拟设置门灯联动装置，机房内外均拟设置急停按钮，核医学科控制区出入口设置单向门禁系统，符合《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中的安全管理要求。

八、辐射安全管理评价

常熟美迪柯医院有限公司已设立辐射安全与环境保护管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以医院内部文件形式明确其管理职责。医院拟进一步完善辐射安全管理制度，建议根据本报告的要求，对照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，建立符合本院实际情况的、完善可行的辐射安全管理制度，并在日常工作中落实。

常熟美迪柯医院有限公司需为本项目辐射工作人员配置个人剂量计，定期送有资质部门监测个人剂量，建立个人剂量档案；定期进行健康体检，建立个人职业健康监护档案。常熟美迪柯医院有限公司拟为本项目配备辐射巡测仪 1 台、表面沾污仪 5 台、个人剂量报警仪 12 台。此外，医院应根据相关标准要求，为本项目辐射工作人员和受检者配备足够数量的个人防护用品和辅助防护设施。

综上所述，常熟美迪柯医院有限公司扩建项目（辐射专项）在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该单位将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

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

2、各项安全措施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。

3、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

4、医院取得本项目环评批复后，应及时申请换领辐射安全许可证，按照法规要求开展竣工环境保护验收工作，环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月，最长不超过 12 个月。

辐射污染防治“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施		预期效果	预计投资（万元）
辐射安全管理机构	建立辐射安全与环境保护管理机构，或配备不少于1名大学本科以上学历人员从事辐射防护和环境保护管理工作。医院已设立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。		满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。	/
辐射安全和防护措施	屏蔽措施：热室及手套箱均自带铅屏蔽，工作场所房间墙壁采用实心砖、铅板进行辐射屏蔽防护，屋顶及地面均采用混凝土+防辐射涂料进行屏蔽防护。		满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的剂量约束值要求。	260
	安全措施	DSA机房入口处拟设置“当心电离辐射”警告标志和工作状态灯，拟设置门灯联动装置，射线装置机房内外均拟设置急停按钮，拟设置双向语音对讲装置、观察窗。	满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。	
		核医学控制区入口、放射性废物桶表面、PET/CT机房、SPECT/CT机房、CT机房防护门上均设置电离辐射警告标志，同时在PET/CT机房、SPECT/CT机房防护门处设置工作状态指示灯及闭门装置，并设置门灯联动、急停按钮及对讲装置，核医学控制区出入口设置单向门禁系统。	满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。	
	放射性“三废”处理措施： 本项目使用的放射性核素在操作过程中均在密封、负压并带有通风过滤系统的环境中进行，通风管道内及外排放口处设置活性炭过滤吸附装置；本项目衰变池有效容积能够满足来自核医学楼工作场所内产生放射性废水的贮存要求，满足排放标准后流入医院污水处理系统作为医疗废水处理；核医学科产生的放射性固体废物集中到放射性废物库中暂存超过相应时间，经检测合格后，统一作为医疗废物处理进行处理。符合辐射环境保护管理要求。		满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB 11930-2010）及《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）的相关要求。	
人员配备	辐射安全管理人员和辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并考核，考核合格后上岗。		满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求。	20
	辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检（两次监测的时间间隔不应超过3个月），加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。			

	辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立辐射工作人员职业健康档案。		
监测仪器和防护用品	拟配备辐射巡测仪 1 台、表面沾污仪 5 台、个人剂量报警仪 12 台。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》有关要求。	10
	核医学科配备手套箱、热室，放射性核素操作人员及摆位工作人员配备铅橡胶围裙、铅橡胶围脖、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品。 DSA 介入治疗医师配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套等，同时设置铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏等防护用品。	满足《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ 1188-2021）及《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）的相关要求。	10
辐射安全管理制度	制定操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施等制度：根据环评要求，按照项目的实际情况，补充相关内容，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关要求。	/
总计	/	/	300

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

表 14　审批

下一级环保部门预审意见：   公 章 经办人：　　年　月　日
审批意见：   公 章 经办人：　　年　月　日